
MOKSLAS
VISIEMS

MEDŽIAGŲ IR TECHNOLOGIJŲ ISTORINĖ RAIDA

ALGIRDAS VACLOVAS VALIULIS

VILNIUS | 2021

Leidinio bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos nacionalinės Martyno Mažvydo bibliotekos Nacionalinės bibliografijos duomenų banke (NBDB).

Knygų serija „Mokslas visiems“ yra leidžiama įgyvendinant Lietuvos mokslų akademijos kartu su partneriais vykdomą projektą „Nacionalinės mokslo populiarinimo priemonių sistemos sukūrimas ir įgyvendinimas“, kuris yra finansuojamas Europos socialinio fondo lėšomis.

TEISĖS GINAMOS. Šį leidinį draudžiama atkurti bet kokia forma ar būdu, viešai skelbti, įskaitant padarymą viešai prieinamą kompiuterių tinklais (internete), išleisti ir versti, platinti jo originalą ar kopijas parduodant, nuomojant, teikiant panaudai ar kitaip perduodant nuosavybėn. Draudžiama šį kūrinį, esantį bibliotekose, mokymo įstaigose, muziejuose arba archyvuose, mokslinių tyrimų ar asmeninių studijų tikslais atkurti, viešai skelbti ar padaryti viešai prieinamą kompiuterių tinklais tam skirtuose terminaluose tų įstaigų patalpose.

ISSN 2351-5368

ISBN 978-609-462-159-8

© Lietuvos mokslų akademija, 2021

Viršelio nuotrauka sukurta „Labirinto do Outeiro do Cribo“. Naudojimo licencija CC BY-SA 3.0

Turinys

Padėka 7

Įvadas 9

1 SKYRIUS. Technologijų vieta istorijoje 12

2 SKYRIUS. Medžiagų naudojimo priešistorė 54

3 SKYRIUS. Graikijos laikotarpis 75

4 SKYRIUS. Inžinerijos raida Romos ir Bizantijos imperijose, musulmonų pasaulyje ir Amerikoje 91

5 SKYRIUS. Mokslas ir technologijos Renesanso ir Apšvietos epochose 119

6 SKYRIUS. Metalinių medžiagų gavybos raida 133

7 SKYRIUS. Garo ir mechanikos inžinerijos raida 203

8 SKYRIUS. Hidrotechnikos ir sanitarijos raida 227

9 SKYRIUS. Gamyba ir jos įrankiai 235

10 SKYRIUS. Elektros inžinerijos raida 269

11 SKYRIUS. Informacijos perdavimas. Garso ir vaizdo technologijos 310

12 SKYRIUS. Telegrafas, telefonas ir radijas 320

13 SKYRIUS. Televizija, internetas ir radaras 342

14 SKYRIUS. Spausdinimas 362

15 SKYRIUS. Fotografija 375

16 SKYRIUS. Skaičiavimas ir duomenų apdorojimas **385**
17 SKYRIUS. Oro ir kosminės erdvės transportas **397**
18 SKYRIUS. Naftos ir dujų inžinerija **421**
19 SKYRIUS. Tiltai **438**
20 SKYRIUS. Vandens ir kelių transportas **455**
21 SKYRIUS. Geležinkelio transportas **509**
22 SKYRIUS. Aeronautikos inžinerija **530**
23 SKYRIUS. Branduolinės energijos atradimas ir plėtra **554**
24 SKYRIUS. Chemijos inžinerija: degalai, medžiagos, trąšos **578**
25 SKYRIUS. Biomedicininė inžinerija **593**
26 SKYRIUS. Viešųjų paslaugų ir buities technologijų raida **613**
27 SKYRIUS. Puolimo ir gynybos ginklai bei technologijos **643**
28 SKYRIUS. Technologijų plėtra artimiausioje ateityje **676**

Literatūra **693**

PRIEDAI

1 PRIEDAS. Geologinė ir biologinė Žemės raidos chronologija **697**
2 PRIEDAS. Technologinės plėtros riboženkliai **711**
3 PRIEDAS. Naujos technologijos **729**
4 PRIEDAS. Svarbiausios medžiagų mokslo ir inžinerijos veiklos kryptys siekiant visuomenės plėtros strateginių tikslų **739**

Padėka

Ši knyga skirta skaitytojams, norintiems praplėsti medžiagų ir technologijų raidos istorines žinias. Knygoje pateikiama informacija yra paimta iš atviroje erdvėje skelbiamų informacijos šaltinių: knygų, mokslinių straipsnių ar mokslo darbų. Tokio plataus masto medžiaga neišvengiamai remiasi daugelio mokslininkų surastais ir aprašytais artefaktais, jų keliamomis teorijomis. Rašant šią knygą buvo džiugu mokytis iš žmonių, dirbančių kitose mokslo ar interesų srityse. Daugybė žmonių galėtų parašyti bet kurį šios knygos skyrių geriau, negu tai pavyko padaryti man. Dalis technologijų plėtros atvejų iliustruojama vietiniais ar regioniniais technologijų pavyzdžiais, ir tai gali būti pateisinama noru supažindinti skaitytojus su rytinės Baltijos jūros pakrantės šalių technologijų raida. Šios knygos tikslas – sujungti į vieną visumą įvairių autorių ir mokslininkų atrastas, atskleistas ir publikuotas žinias. Jos rašymas buvo tam tikras nuolatinis bendravimas su draugais, ekspertais ir daugeliu asmeniškai nepažįstamų žmonių, vykęs tiek asmeniškai, tiek elektroniniu paštu, laiškais ir telefonu. Internetas suteikė beribį priėjimą prie informacijos šaltinių, neriboto dydžio (ir duomenų prieigos greičio) bibliotekų. Esu dėkingas visiems įvairių mokslo sričių mokslininkams, sutikusiems taip bendrauti. Galiausiai norėčiau padėkoti mokslo muziejams, įmonėms ir asmenims, leidusiems publikuoti jų turimas iliustracijas šioje knygoje.

Akademikas
ALGIRDAS VACLOVAS VALIULIS

Įvadas

Knygoje pristatomi išradimai nuo akmens kirvio iki erdvėlaivio, nuo titnaginių įrankių iki silicio vienkristalių šiuolaikiniame kompiuteryje. Daugiausia dėmesio skiriama technologijų istorinei raidai. Skaitytojas knygoje, iliustruotoje nuotraukomis ir schemomis, ras kiek supaprastintą medžiagų ir technologijų raidos paveikslą. Iš esmės technologija reiškia žinių visumą, kuria remiantis galima tikslinga praktinė veikla, transformuojanti išteklius (gamtinius, intelektinius, žmogiškuosius ir pan.) į reikiamus procesus, produktus ar paslaugas. Nuo pat pradžių žmogus egzistavo priešiškoje aplinkoje ir turėjo panaudoti savo protą kovoje dėl išgyvenimo. Daugelio technologijų pradžia skendi istoriniame rūke, nes jos pradėtos taikyti dar priešistoriniais laikais. Iš supančios gamtos medžiagų žmogus sukūrė pirmuosius paprastus įrankius – titnaginius grandiklius, akmeninius strėlių antgalius, peilius, ietis, išmoko siūti odinius ir kailinius drabužius, palapines, iš akmenų, kaulų ar kriauklelių daryti papuošalus. Technologija keitė žmonių visuomenę ir jos gyvenamąją aplinką. Kaupiantis žinioms išsirutuliojo metalo apdirbimas, statyba, anglių ir rūdų kasyba, buvo sukurtas garo variklis, įvairios staklės, vidaus degimo variklis, elektros mašinos, šiuolaikinis transportas, chemijos pramonė ir kt. Sukurtos technologijos labai padidino žmogaus gebą prisitaikyti prie atšiaurios ar priešiškos aplinkos.

Dažnai manoma, kad technologijų plėtra būdinga tik žmonėms. Tačiau naujausi moksliniai tyrimai rodo, kad nemažai kitų primatų gali pasidaryti paprasčiausius įrankius ir tą patirtį perduoti kitoms kartoms. Skirtumai tarp mokslo, inžinerijos ir technologijų ne visada aiškūs. Mokslas – objektyvios žinios apie gamtą ir visuomenę, gaunamos teoriškai ir empiriškai tiriant

tikrovę. Jis padeda prognozuoti ateitį bei pritaikyti gautas žinias technologijose. Kitaip tariant, mokslinė tiriamoji veikla, naudodama mokslinius metodus, nežinomą ir nesuprantamą transformuoja į tai, kas yra suprantama ir akivaizdu. Inžinerija – tai į tikslą orientuota veiklos sritis, praktiškai pritaikanti fizikos, chemijos, matematikos, medžiagų mokslo, biologijos, ekonomikos ir kitas žinias įvairiose gyvenimo srityse – statinių, kelių, kanalų, ryšio linijų, įrenginių, technologinių sistemų ir procesų projektavime ir kūrime. Technologija – žmogaus sukurtų tikslingos veiklos produktų ir procesų visuma. Iš esmės technologija reiškia žinių visumą, kuria remiantis galima tikslinga praktinė veikla, transformuojanti turimus išteklius į reikiamus produktus, procesus ar paslaugas. Technologijos buvo svarbiausias veiksnys daugelyje pasaulio istorijos įvykių, pradedant priešistorine agrarine revoliucija, kuri lėmė maisto produktų perteklių ir atvėrė kelius sudėtingų socialinių bendruomenių formavimuisi, ir baigiant pramonės revoliucija, paskatinusia masinę prekių gamybą ir pasaulinę prekybą. Kartais technologijos turi tenkinti prieštaringus reikalavimus, susijusius su naudingumu, ilgaamžiškumu, saugumu ir kt.

Keista, kad inžinerinėse studijose tiek mažai dėmesio skiriama technologijų raidos istorijai. Faraonų, imperatorių, generolų ar valstybių veikėjų veikla, jų laimėtos kovos daugiausia priklausė nuo turėtų ar naudotų technologijų. Praeities studijavimas padeda įvertinti sėkmes ir suvokti padarytas klaidas. Pradėdamas inžinerinį projektą projektuotojas ar konstruktorius parengiamajame darbų etape išnagrinėja dabarties ir praeities pasiekimus, ir tai yra pirmas žingsnis ieškant naujo sprendimo. Taigi technologijų istorija ir išradimų istorija yra labai susijusios. Kur pažvelgsi, aplink mus visur yra technologijos, nes viskas, kas egzistuoja, gali būti klasifikuojama kaip gamtos ar žmogaus darbai. Technologijos veikia visuomenę įvairiais būdais. Daugelyje visuomenių technologijos padėjo ar padeda gerinti ekonomikos būklę, tačiau daug technologinių procesų didina aplinkos taršą, išeikvoja gamtinius išteklius ir daro didelę žalą gamtai. Per pastaruosius keletą dešimtmečių mokslinės žinios kuriamos daug greičiau negu bet kuriuo kitu istorijos laikotarpiu. Atsirado daug naujų mokslo krypčių, tokių kaip dirbtinis intelektas, didelių duomenų masyvų apdorojimas, implantuojamos sistemos, robotika, nanotechnologijos ir kvantiniai skaičiavimai. Pasaulyje daug

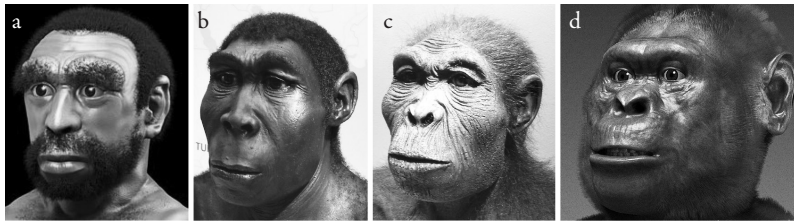
diskutuojama dėl esamo ir būsimo technologijų naudojimo ir dažnai nesutariama, ar technologijos gerina žmogų supančios biosferos būklę ar blogina. Deja, nesame istorijos stebėtojai iš šalies, mes – šio greitai judančio progreso traukinio keleiviai, stebintys aplinką iš vidaus. Šiuo metu visuomenėje vis geriau suvokiama, kad technologijos iš dalies yra kaltos dėl didžiausių žmonijai iškilusių aplinkosaugos problemų, aplinkos degradacijos, gamtinių žaliavų stygiaus, kylančio socialinio nestabilumo ar konfliktų. Technologijos tapo savo sėkmės aukomis. Kita vertus, toks fatališkas vertinimas ne visai tikslus. Technologijas kuria žmogus, tad jis gali vengti individui, visuomenei ar gamtai žalingų sprendimų.

1 SKYRIUS
TECHNOLOGIJŲ VIETA ISTORIJOJE

ŽMOGAUS TECHNOLOGINĖS VEIKLOS AUŠRA

Žmogaus istorija prasidėjo pleistocene – geologinėje epochoje, kuri tęsėsi nuo maždaug 2 588 000 iki 11 700 metų ir apėmė paskutinį pasikartojantį pasaulinį ledynmetį. Tuo metu per 30 % žemės paviršiaus dengė ledynai. Šios epochos pradžioje gyveno ankstyvieji žmogaus protėviai – *paranthropus* gentis, išnykusi ankstyvojo paleolito laikotarpiu. Posūkį, kada žmogaus vystymasis tampa ne tik biologijos, bet ir istorijos objektu, įprasta sieti su pirmaisiais pasigamintais įrankiais. Iš šio laikotarpio hominidinių fosilijų randamos tik pleistocene gyvenusių *homo erectus* fosilijos (1.1 pav.). *Hominidai* – tai primatai, kurie naudojo primityvius įrankius (akmenis, lazdas) ir net mokėjo juos patobulinti. *Humanoidas* morfologiškai buvo panašus į žmogų, pavyzdžiui, skeletu, bet jam netapatus.

Taigi prieš 3–2,5 mln. metų Afrikoje gyvenęs *australopithecus* jau naudojosi iš akmens pasigamintais įrankiais ir tapo *homo habilis*, arba „sumaniuoju žmogumi“. Maždaug tarp 2–1 mln. metų pr. m. e. išsivystė *homo erectus*, arba „stačiasis žmogus“, pasižymėjęs tiesia laikysena ir didesniu kaukolės tūriu. Ši humanoidų rūšis pirmoji iškėlė koją iš Afrikos, prieš maždaug 1,6 mln. metų pasiekė Europą ir išplito po visą Euraziją. Prieš 1,2 mln. metų jau mokėta gaminti dviašmenius kirvius, apie 400 tūkst. m. pr. m. e. įvaldyta ugnis. Iš 300 tūkst. m. pr. m. e. ir vėlesnių laikotarpių randami ankstyviausi medžioklės pėdsakai. *Neandertaliečiai* išsivystė prieš maždaug 200 tūkst. metų. Ši protinga hominidų rūšis ilgai dominavo Europoje ir Vakarų Azijoje. Jie ištobulino savo pirmtakų (*homo erectus*) titnago skaldymo techniką, mokėjo gaminti kombinuotus medžio



1.1 pav. Humanoidai: a – *homo heidelbergensis* (prieš 0,6 mln. metų) (Homo_heidelbergensis_-_forensic_facial_reconstruction-crop.png); b – *homo erectus* (prieš 1,9 mln. metų) (Homo erectus new.JPG); c – *homo habilis* (prieš 2,8 mln. metų) (Homo habilis.JPG); d – *australopithecus* (prieš 4,0 mln. metų) (fosil-australopithecus-afarensis-terbaru-ditemukan-di-kenya)

ir akmens įrankius, mirusiuosius laidodavo ir su įkapėmis, taigi turėjo sampratą apie pomirtinį gyvenimą.

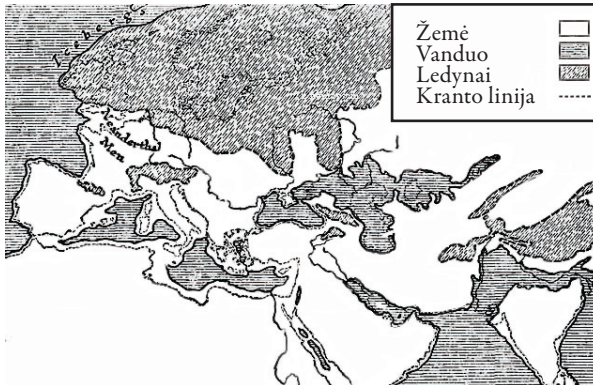
Homo sapiens taip pat atėjo iš Afrikos – tai įvyko maždaug prieš 120 000 metų. Pirmoji banga keliavo nedidelėmis grupėmis, tikriausiai ne didesnėmis nei 100 žmonių. Kai kurie nukeliavo į Europą, kurioje tuo metu gyveno neandertaliečiai, kiti nužygiavo į Indiją. Euroazijoje vėstant orams, neandertaliečiai patraukė labiau į pietus (Viduriniai ir Artimieji Rytai) ir sutiko iš Afrikos išėjusius žmones. Tuo metu *homo erectus* paplitimas Azijoje buvo pats didžiausias. Tikriausiai veikiami klimato pokyčių ir sustiprėjusios *homo sapiens* konkurencijos dėl maisto per 40 000 metų jie palengva buvo išstumiami iš apgyvendintų teritorijų. *Homo erectus* buvo šiek tiek didesni ir stipresni nei *homo sapiens*, tai kodėl jie išnyko, o *homo sapiens* klestėjo toliau? Paaiškėjo, jog skyrėsi *homo erectus* smegenų sritis, atsakinga už kalbą. Vienas iš esminių *homo sapiens* pažangos ir geresnės adaptacijos elementų yra smegenų priekinėje dalyje išsivystęs gebėjimas planuoti, darna su kalba bei mokėjimas perduoti naujas idėjas iš vieno individo kitam. Planavimas, mainai, bendravimas, be kitų dalykų, padėjo pasigaminti geresnių įrankių ir ginklų, kurie greitai plito visoje populiacijoje. *Homo erectus* tokius pačius kirvukus gaminosi daugiau nei milijoną metų, o *homo sapiens* sukūrė efektyvesnių ginklų, pavyzdžiui, ietį, kurią galima mėtyti ir kuri buvo gerokai pranašesnė medžioklėje ir kovoje. *Homo sapiens* ir neandertaliečiai kelias dešimtis

tūkstančių metų gyveno greta, kol apie 31–29 tūkst. m. pr. m. e. paskutiniai neandertaliečiai išnyko. Išnykimo priežastys iki šiol lieka neaiškios. Matyt, įveikti kitą protingų humanoidų rūšį – neandertaliečius – konkurencinėje kovoje *homo sapiens* padėjo tie patys pranašumai.

Dar prieš 100 000 metų žemėje egzistavo kelios protingų humanoidų rūšys, tačiau, ir tai yra gana keista, iš visų evoliucijos „eksperimentų“ išlikome tik mes. Paskutinieji *homo erectus* humanoidai Azijoje gyvavo dar prieš 30 000 metų. Ilgiausiai jų palikuonių išliko Flores saloje Indonezijoje – *homo floresiensis* išnyko prieš 12 000 metų, ir tuomet planetoje liko tik viena humanoidų rūšis – *homo sapiens*.

Vėlyvojo paleolito laikotarpis truko nuo 40–35 tūkst. iki 10 tūkst. m. pr. m. e. Jo metu, maždaug prieš 24–20 tūkst. metų, buvo ženklus klimato atšalimas (1.2 pav.). Atvėsus klimatui, šiaurei būdinga gyvūnija atsitraukė iki maždaug Pietų Europos. To meto klajoklių žmonių Pietų Prancūzijoje ir Ispanijoje urvuose ir uolose palikti piešiniai (gyvūnų, žmonių, abstrakčių figūrų) stebina aukštu atlikimo lygiu. Laikotarpio pradžioje buvo išrasta svaidoma ietis, o laikotarpio pabaigoje pradėtas naudoti lankas su strėle. Vėlyvojo paleolito humanoidai mokėjo ręsti gyvenamuosius būstus iš akmens ir medžio, gebėjo išdirbti odą, iš kailių pasidaryti drabužių. Ant uolų, molinių būsto sienų pasirodė pirmieji piešiniai, reljefai, graviruoti vaizdai. Viskas buvo piešiama mineraliniais dažais – suodžiais. Atsirado apvalioji skulptūra.

Paleolito pabaiga siejama su ledynmečio epochos pabaiga (apie 10 tūkst. m. pr. m. e.), kai klimato pokyčiai privertė žmones keisti gyvenimo būdą. Vidurinio ir vėlyvojo paleolito laikotarpiais keitėsi humanoidų išvaizda, jie sukūrė ar pradėjo naudotis sudėtingesnėmis priemonėmis. Remiantis mitochondrijų laiko nustatymo metodais, humanoidai iš Afrikos pradėjo plisti vidurinio paleolito laikotarpiu ir išplito visame pasaulyje vėlyvojo pleistoceno metu sumažėjus pasauliniam apledėjimui. Žmonijos istorinėje raidoje svarbų vaidmenį vaidinio vandenynų ir jūrų lygio kaita. Didelė dalis Europos, Šiaurės Amerikos (įskaitant Grenlandiją), Pietų Amerika, visa Antarktida ir mažos Azijos atkarpos buvo visiškai padengtos ledu. Prieš 18 000 metų Šiaurės Amerikoje buvo du didžiuliai ledynai. Rytų Lorantidų ir Vakarų Kordiljerų ledynų skydai buvo per 3 900 m storio. Prieš 95 000–20 000 metų Lorantidų kontinentinis ledo skydas Šiaurės Amerikoje



1.2 pav. Europa ir Artimieji Rytai prieš 50 tūkst. metų (Wells Europe 4th ice age.png)

apėmė šimtus tūkstančių kvadratinių mylių (Dyke, Andrews ir kt. 2002). Vis labiau tikėtina, kad Šiaurės Amerikoje žmonės paplito iki paskutinio vėlyvojo Viskonsino ledynmečio prieš 20–25 tūkst. metų. Tiltas susidarė maždaug prieš 100 000 m., kai prasidėjo paskutinis ledynmetis ir pasaulinio vandenyno vandens lygis nukrito daugiau kaip 90 metrų. Kada ir kaip atsirado pirmosios gyvenvietės Amerikoje, tebėra vienas prieštaringiausiai traktuojamų archeologijos klausimų. Vieni mano, kad žmonės į Naująjį pasaulį atvyko prieš 40 000, kitų tvirtinimu – per paskutinį ledynmetį, prieš 20 000 metų. Pažemėjus jūros lygiui humanoidai pradėjo judėti iš Azijos į Šiaurės Ameriką per dabartinio Beringo sąsiaurio vietoje buvusią žemės sąsmauką. Viskonsino ledynmečio pabaigoje (apie 11 000 m. pr. m. e.) susidaręs „koridorius“ galėjo būti ir „dvipusio priešpriešinio eismo“. Naujojoje Meksikoje surasti titnaginiai strėlių atgaliai datuojami 11 500–11 000 m. pr. m. e. laikotarpiu. Vėliau susidaręs ledo barjeras žmonių judėjimui būtų buvęs neįveikiama kliūtimi.

Prieš 10 000 m. kylantys Agasiso ežero (Š. Amerika) vandenys 1 100 km ruožu užliejo atsitraukiantį Lorantidų ledo skydą. Agasisas buvo didžiausias iš daugelio tirpsmo vandens ežerų prie pietinio Lorantidų ledo skydo pakraščio 11 500 m. pr. m. e. Ledynmečio ežeras per 4 000 egzistavimo metų užėmė 440 000 km^2 plotą, kuris apytikriai buvo lygus Juodosios jūros plotui (1.3 pav.). Dėl globalinio atšilimo plūstant ledo tirpsmo vandenims, Agasisas plėtėsi, kol 11 000 m. pr. m. e. išplito taip toli į rytus, kad ledo



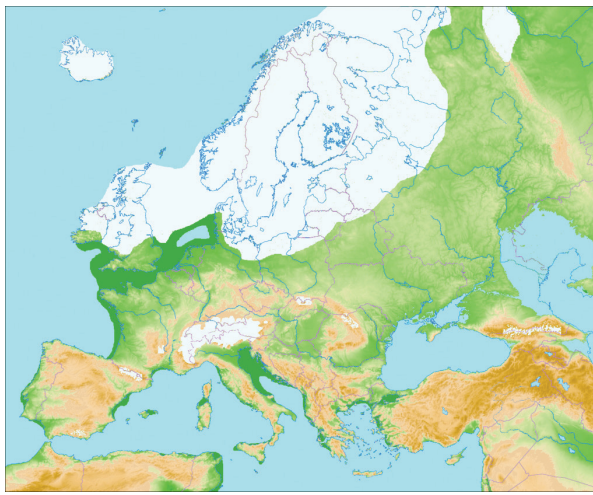
1.3 pav. Ledynmečio ežeras Agasisas Šiaurės Amerikoje (youtube.com/watch?v=xOqy_IeQ6b0&ab_channel=WalterJahn)

tirpsmo vandenų masės prasiveržė į Šv. Lauryno upę. Per kelis mėnesius, o gal net savaites, Agasiso nebeliko. Gėlas Agasiso vanduo uždengė tankesnį sūrų Golfo srovės vandenį ir kaip koks laikinas dangtis neleido šiltam vandeniui atvėsti ir grimzti gilyn. Agasiso vandenys atkirto Atlanto vandens konvejerio juostą. Atlanto cirkuliacija staiga sustojo, nes vandens cirkuliaciją vandenynuose lemia vandens tankio skirtumai. Iš poliarinių regionų atitekantis šaltas, druskingas vanduo pamažu šyla ir pasiekęs tropikų zoną pakyla į vandenyno paviršių. Tirpstantys ledynai poliarinėse jūrų ekosistemose padidina šilto ir gėlo vandens kiekį. Tai sulėtina šalto, druskingo, maistinių medžiagų turinčio vandens, nuo kurio priklauso visos jūrų ekosistemos, susidarymą. Temperatūra greitai krito (per kelias žmonių kartas), ir Skandinavijos ledo skydai vėl pradėjo slinkti pirmyn. Per trumpą laiką susidarė jūros ledo danga, neleidžianti Golfo srovei atnaujinti veiklos, ir Europoje įsigalėjo labai šaltas klimatas. Atšalimas truko 10 šimtmečių.

Lorantidams subyrėjus, greitai pakilo visų vandenynų lygis. 6 200 m. pr. m. e. Šiaurės jūroje jis kilo beveik 46 mm per metus. Po vandeniu paniro dideli Pietų Skandinavijos plotai. Britanija buvo visiškai atskirta nuo žemyno. Pietuose dar labiau pakilo Marmuro jūros vandens lygis. 5 800 m. pr. m. e. atsinaujino Atlanto cirkuliacija ir klimatas staiga ėmė šilti. Lorantidų ledo skydas pradėjo greitai trauktis. Hadsono įlankos ledo tirpsmo vandens srautas sulėtėjo ir visai nutrūko. Labradoro jūroje atsinaujino sūraus vandens grimzdimas ir Šiaurės Atlanto cirkuliacija. Vėl ėmė tekėti Golfo srovė ir į

Šiaurės vakarų Europą plūstelėjo gerokai šiltesnės oro masės. Prieš 15 000 m. Europoje tebebuvo baisiai šalta, didžiulis ledo skydas dengė visą Skandinaviją, Šiaurės Vokietiją ir dalį dabartinių Nyderlandų, Baltijos valstybių teritoriją bei didelį plotą Britanijos, kuri tuo metu dar nebuvo atsiskyrusi nuo žemyno (1.4 pav.). Vandens lygis jūrose buvo 90 m žemesnis už dabartinį.

Prasidėjęs atšilimas vos per kelis tūkstančius metų neatpažįstamai pakeitė kraštovaizdį. 12 700 m. pr. m. e. kai kuriose vietovėse vasarą buvo šilčiau nei dabar. Po 9 000 m. pr. m. e., praėjus tik 4 000 m. nuo didžiojo atšilimo pradžios, dauguma medžiotojų-rinkėjų grupių Europoje gyveno atvirose vietovėse ir pajūriuose, kurių estuarijose ir įlankose buvo pakankamai paukščių, žuvų, moliuskų ir jūros žinduolių. Atsiradę lankai buvo paprastas, bet galingas ginklas. Seniausi lankai, rasti Skandinavijos pelkėse, turėjo timpas iš plaušo ar odinių dirželių, buvo apie 1,6 m ilgio, jais paleista strėlė galėjo pramušti tvirtą meškos, esančios už 50 m, kailį. Lankai ir strėlės turėjo ir kitų svarbių pranašumų. Strėlė svėrė mažiau už vieną ietį su ietisvaide. Lankas ir strėlė buvo universalus ginklas prieš daugelį žvėrių. Ietys ir ietisvaidės labai tiko medžioti iš arti, kai reikėjo nudurti vejamus šiaurės elnius ar laukinius arklius. Šie ginklai netiko medžiojant pavienius greitai judančius žvėris, nes medžiotojas turėjo spėti nusitaikyti ir iššauti per sekundės dalį.



1.4 pav. Prieš 26 000–20 000 metų buvęs Europos apledėjimas (Weichsel-Würm-Glaciation.png)

Drėgnos vakarų oro masės pasiekė rytinę Vidužemio dalį ir Balkanus. Europa įžengė į „klimatinio optimumo“ laikotarpį, kuris tęsėsi 2 000 metų. Prieš 13 000 m. Artimųjų Rytų gyventojai, dabar vadinami *Natufo kultūra*, žolių varpų derlių nuimdavo akmeniniais pjautuvais. Nors jie buvo labai susiję su žemdirbyste, tam tikru momentu nuo žemės ūkio atsitraukė. Numanoma šios pertraukos priežastis – 1 000 metų trukęs atšalimas, vadinamas *ankstyvuoju driasu*. Jį lėmė staigus Šiaurės Atlanto atšalimas, kurį sukėlė Šiaurės Amerikos žemyną užgriuvę didžiuliai ledynai arba netikėtai užplūdęs Arkties vandenyno vanduo. Atšalus klimatui buvo ne tik šalčiau ir sausiau, orai darėsi vis nepastovesni. Negalėdami pasitikėti lietumi ar derlių brandinančia saulėkaita žmonės nebegalėjo intensyviai maitintis grūdais. Tikriausiai daugelis jų badavo, o išgyvenusieji vėl grįžo prie klajokliško medžiotojų-rinkėjų gyvenimo būdo. Toks gyvenimo būdas leido žmonėms be didelių pastangų prisitaikyti prie sausrų ir potvynių, prie šiltesnio ir šaltesnio oro ar vandens lygio kilimo jūroje; tam jiems pakako persikelti į kitą vietą ar pakeisti savo mitybą. Ir štai maždaug prieš 11 500 m. visame pasaulyje oras gerokai atšilo, pasidarė drėgnesnis ir labiau nuspėjamas. Intensyvus grūdų vartojimas Levante tikriausiai atsinaujino – Natufo kultūros atstovai galėjo grįžti į savo gyvenvietes ir sėti avinžirnius, rugius, laukinius kviečius, nors galbūt jau prieš 10 000 m. buvo auginamos figos ir laikomi prijaukinti šunys. Didžiojo atšilimo metu gyventojai maitinosi ne tik mėsa, bet ir augaliniu maistu, sėklomis ir riešutais. Gilės turi iki 70 % angliavandenių, apie 5 % baltymų ir 4,5–8 % riebalų, taigi yra maistingos, tačiau joms apdoroti reikia nemažai darbo, jose esančią karčią tanino rūgštį prieš verdant reikia išplauti. Gilės ir pistacijos užtikrino pakankamą maistinių medžiagų kiekį, tad Natufo bendruomenės vienoje vietoje galėjo gyventi ilgą laiką.

Šio laikotarpio pabaigoje žmones ištiko viena didžiausių stichinių nelaimių. Tai įvyko apie 5 600 m. pr. m. e., kai kylantis Vidužemio jūros vanduo užliejo gilų gėlą Euksino ežero baseiną, buvusį 150 m žemiau Marmuro jūros lygio, ir jo vietoje susidarė Juodoji jūra. Uždaras Euksino ežeras buvo ledynų traukimosi į Šiaurę padarinys. Per 2 000 m. iš šiaurės į pietus nutekėjo daug tirpstančio vandens. Iš Euksino ežero pro siaurą prataką dabartinio Bosforo sąsiaurio vietoje jis tekėjo į Vidužemio jūrą. Prasidėjus ankstyvajam driasui

(atšalimui), vandens pritekėjimas į ją iš esmės nutrūko, nes pamažu susidarė berma. Iš ežero vandens išgaruodavo daugiau, nei įtekėdavo. Euksino ežero, kurio vanduo jau buvo sūrokas, lygis pamažu nukrito 150 m žemiau Vidužemio jūros lygio. Ežerui traukiantis, formavosi upių slėniai ir deltos. Derlingose pakrantėse augo vietiniai kviečiai ir kitos žolės, klestėjo žemdirbystė. Seklumose knibždėjo žuvies. Ledynmečio pabaigoje vandens lygis Vidužemio jūroje vėl pradėjo kilti. 5 600 m. pr. m. e. Marmuro jūra pasiekė bermos kraštus ir galų gale atėjo metas, kai vanduo pradėjo plūsti į kitą bermos pusę ir kaskadomis šlaitu kristi į apačioje telkšantį ežerą. Per kelias dienas srovelė tapo srautu, netrukus – ir kriokliu, kurio vandens greitis viršijo 90 km/val. Didžiausiame pasaulyje gėlajame ežere vandens lygis kilo vidutiniškai 15 cm per dieną greičiu. Per kelerius metus Euksino ežere prisikaupė tiek vandens, kad pasiekė Vidužemio jūros lygį. Didžiausias pasaulyje gėlasis ežeras tapo sūroka Juodąja jūra. Nežinoma, kiek žmonių žuvo šio kataklizmo metu. Maždaug po dvejų metų vandens lygis stabilizavosi. Kai Vidužemio jūra užtvindė Euksino ežerą, šimtai sėslių žemdirbių bendruomenių, įsikūrusių prie jo, skubiai spruko į žemyno vidų įvairiomis kryptimis. Daugelis iš jų pasirodė Bulgarijos lygumose, o iš ten pasuko Dunojaus slėniu aukštyn į šiaurinę Vengrijos lygumos dalį. Dar kiti kilo Dniepru, vėliau – vakarų link į patį žemyno vidurį, kur niekada anksčiau dar nebuvo buvę. Per 2 000 m. trukusį šilto klimato laikotarpį jų palikuonys nusigavo į šiaurę ir vakarus, į patį vidurį Europos vidutinio klimato zonos, kur tankūs miškai žalia skara dengė kalvų šlaitus ir slėnius, vinguriavo didelės upės. Vos per kelis šimtus metų žemdirbiai pasiekė Atlanto pakrantę ir apsigyveno visoje pietinėje Europos pusėje, kartais ir savo kaimynus vietinius medžiotojus-rinkėjus (autochtonus) užkrėsdami noru išmėginti ūkininkavimą. Čia ganėsi stumbrai, elniai, briedžiai. Per kelias kartas upių slėniuose ir miškų pakraščiuose susidarė pavienių sodybų, kaimelių ir kaimų tinklas. Tačiau atvykėliai kėlėsi į ne visai tuščias teritorijas: įsikurdami netoli vandens telkinių esančiose pievose ar pakrantėse jie įsibraudavo į senąsias vietinių medžiotojų-rinkėjų teritorijas. Bėgant amžiams klajoklių ir sėslių žemdirbių kultūros asimiliavosi. Baltijos jūrą žemdirbiai pasiekė dar po 1 000 m. – daugiausia dėl to, kad toje pakrantėje itin tankiai gyveno žvejai, kurie nejautė poreikio ūkininkauti. Žemdirbystė pamažu išstumė rinkimą, o gyvulių ganymas – medžioklę. Dalis

Juodosios jūros bėglių palikuonių apsigyveno dabartinės Ukrainos lygumose ir čia prisijaukino arklį.

5 000 m. pr. m. e. didžiausi klimato pokyčiai, turėję įtakos žmonijai, iš esmės jau baigėsi. Jūrų lygis nusistovėjo, didieji ledo skydai beveik išnyko, augalija visame pasaulyje tapo beveik tokia, kaip ir šiandien, išskyrus žmonių veiklos nulemtus pokyčius. Holocenas buvo ilgiausias stabilaus šiltesnio klimato laikotarpis per pastaruosius 15 000 metų.

Tirpstantys ledynai gali radikaliai paveikti šilumos cirkuliaciją, kurią sukuria vadinamoji „vandenyno konvejerio juosta“. Kai maždaug prieš 100 000 m. klimatas Šiaurėje smarkiai atšalo, Šiaurės Afrika išdžiūvo ir joje gyvenę žvėrys bei žmonės ėmė trauktis į pakraščius – į šiaurę prie Vidužemio jūros ir į rytuose esantį Nilo slėnį. Truputį vėliau šiuolaikinių žmonių protėviai *kromanjoniečiai* pradėjo kurtis Pietryčių Azijos olose ir 50 000 m. gyveno šalia kitos rūšies – neandertaliečių. Prieš 45 000 m. žmonės atsikraustė į daug šaltesnes vietoves galbūt tuo metu, kai temperatūra čia buvo truputį aukštesnė. Dar po 5 000 m. jie pasklido Vakarų Europos upių slėniuose ir ten 10 000 m. klestėjo šalia nykstančios neandertaliečių populiacijos. Pamažu įsibėgėjant naujoms technologijoms, maždaug prieš 45 000 m. vakarų Eurazijos gyventojai gerokai patobulino savo įrankius. Iš ritininių akmens „branduolių“ jie išskaptuodavo plonus, aštrius ašmenis – ši gudrybė padėjo suformuoti dešimtkart ilgesnę pjaunamąją briauną nei senasis įrankio gaminimo būdas, tik tai padaryti buvo kur kas sunkiau. Prieš 34 000 m. jau buvo gaminami kauliniai iečių antgaliai, o prieš 26 000 m. – adatos. Kaulinės ietisvaidės, labai pagreitinusios aksties skrydį, pasirodė prieš 18 000 metų. Netrukus pradėti gaminti ir lankai su strėlėmis. Skylutėms adatose ir karoliukuose pragręžti buvo naudojami mažyčiai rėžtukiniai grąžtai-ylos. Kromanjoniečiai (*homo sapiens*) stūmė neandertaliečius į vis atokesnes teritorijas, kol šie visai išnyko. Maždaug prieš 30 000 m. kromanjoniečiai tapo Europos šeimininkais. Paskutiniu ledynmečiu Europa buvo gyvas žemynas: šiltesniu metu aplinka priviliodavo žmones ir žvėris, o šaltesniu juos išstumdavo, bet po kelių tūkstančių metų jie vėl sugrįždavo. Žmonės šio žemyno niekada nebuvo visiškai palikę, tik jų populiacija, kaip ir žvėrių, nuo kurių ji priklausė, tai didėjo, tai mažėjo. Maždaug prieš 8 000 m. toks ritmas kito labiau, klimato pokyčiai kartais būdavo nepaprastai staigūs. Kai kuriais metais vasara baigdavosi tik

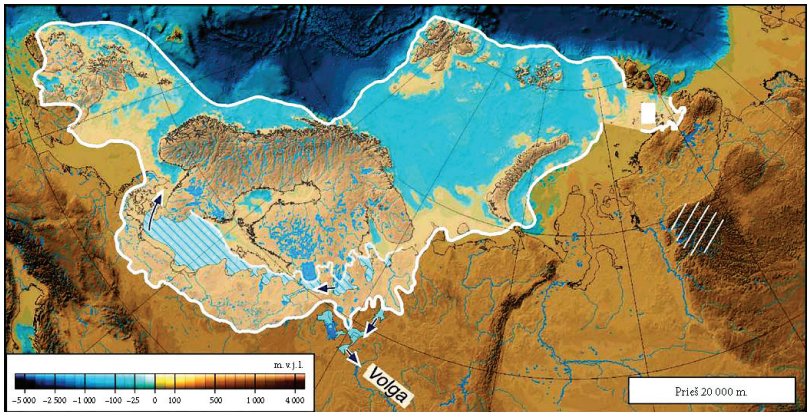
rugsėjo mėnesį, ir trumpas augalų vegetacijos laikotarpis nuo savaičių pailgėdavo iki mėnesių. Kai klimatas atšilo ir šiaurės elnių migracija sumažėjo, kromanjoniečiai be didelių pastangų perėjo prie riešutų ir kitų valgomųjų augalų rinkimo nuolat ilgėjančios vasaros metu. Ledynmečio žvėrys – mamutai, stumbrai, arktinės lapės ir šiaurės elniai – iškeliavo į šiaurę paskui besitraukiančią tundrą. Prieš 12 000 m. paskutinio ledynmečio kromanjoniečių medžiotojų bendruomenės visai išnyko, susidūrusios su globaliu atšilimu. Su ledynu besiribojanti stepė-tundra net šilčiausiomis dienomis buvo atšiauri vieta, tačiau čia vis tiek gyveno keli tūkstančiai žmonių, priviliotų šaltį mėgstančių žinduolių kaimenių. Čia ganėsi mamutai, antilopių saigų kaimenės, stepių bizonai, laukiniai arkliai, šiaurės elniai, muskusiniai jaučiai, arktinės lapės. Ten, kur neandertaliečiai retai tesirodė, *homo sapiens* klestėte klestėjo. Jie labai išradingai įveikė aplinkos iššūkius. Lygumose ir slėniuose medžių nebuvo, taigi nebuvo ir medienos, todėl jie statėsi žemus, pusiau įgilintus į žemę namus-žemines, stogą darė iš mamuto kaulų, dengė žvėrių kailiais ir velėna. Vietoj žabų ir malkų didelius židinius kūreno mamuto iltimis. Augalinis maistas buvo toks retas, kad jie maitinosi beveik vien tik sumedžiotų žvėrių, vandens paukščių mėsa ir žuvimi.

Klimato pokyčiai šiaurės pusrutulyje buvo tokie dideli, kad jie paveikė jūros lygį ir galbūt ankstyvąją žmonijos raidą. Manoma, kad iš Agasiso ežero į Arkties vandenyną ištekantys gėlavandeniai srautai galėjo sutrikdyti vandenyno cirkuliaciją ir sukelti laikiną klimato atšalimą. Sutrikusia Šiaurės Atlanto vandens srovių cirkuliacija, kai buvo išbalansuota Golfo srovė, bandoma paaiškinti sparčius klimato pokyčius ir staigų atšalimą Europoje. Šiandien tropikų zonoje sušildytas vanduo vandenyno paviršiumi teka apie Europą tolyn į šiaurę ir, pasiekęs Barenco jūrą, atvėsta bei leidžiasi gilyn. Golfo srovė – tai 800–1 200 m gylyje vandenyne tekanti 100 km pločio upė. Keliaudamas į šiaurę šiltas Golfo srovės vanduo, veikiamas vėjo, intensyviai garuoja. Garuodamas vanduo vėsta, didėja jo druskingumas bei tankis. Šiaurinėse platumose formuojasi bedruskio ledo lytys, todėl likusio vandens druskingumas didėja dar labiau. Dėl šių dviejų procesų susidaro tankesnis ir šaltesnis vanduo. Šiaurės Atlanto platumose vanduo tampa toks tankus, kad jis pradeda skęsti ne tokio sūraus ir tankaus vandens sluoksniuose. Šio šalto didesnio tankio vandens giluminė srovė yra Šiaurės Atlanto giliavandenio

pietinio srauto dalis. Srovė pagal vandenyno dugną teka atgal į pietus ir pasiekusi Centrinę ir Pietų Ameriką užbaigia ciklą.

Maždaug prieš 10 000 metų, tirpstant Šiaurės Amerikos ledynams, atsirado ir gėlu polaidžio vandeniu persipildė dideli ežerai. Paskutinis didelis ežero vandens proveržis įvyko prieš 8 200 metų, kai susikaupęs vanduo nutekėjo į Hudzono įlanką. Ištekėjusio vandens kiekis buvo toks didelis, kad pasaulinis vandens lygis pakilo apie 0,8–2,8 metro.

Didžiausią ledo skydo storį Europoje ledynai pasiekė apie 25 000–13 000 m. pr. m. e., tačiau tokio storio skydas išsilaikė palyginti trumpą laiką. Skandinavijoje didžiausio apledėjimo laikotarpiu nepadengtos ledu buvo tik Vakarų Jutlandijos dalys. Didelė dalis šiandieninės Šiaurės jūros buvo sausuma, jungianti Jutlandiją (dabartinė Danija) su Britanija (1.5 pav.). 13 000–10 300 m. pr. m. e. dabartinėje Baltijos jūros baseino vietoje telkšojo gėlavandenis Baltijos ledyninis ežeras. Jutlandijos pusiasalis neleido gėlam ežero vandeniui maišytis su druskingu Atlanto vandeniu. Ežero vandens lygis buvo 25 m aukščiau jūros lygio. Ledui tirpstant vandens lygis ežere nuolat didėjo, kol prieš 11 200 m. jis pralaužė siaurą koridorių pietvakarių Švedijoje ir apie 10 800 m. vandens lygis ežere nukrito daugiau nei 50 metrų. Dėl prasidėjusio naujo klimato atšalimo vėl užšalo koridorius, jungęs Baltijos ledyninį ežerą su Atlantu, ir vandens lygis ežere pakilo apie 25 metrus. Prieš 10 300 m. vanduo vėl pralaužė daug koridorių pietvakarių Švedijoje, galiausiai ežero lygis susilygino su jūros lygiu ir susidarė Joldijos jūra. Tirpstant ledynams ir mažėjant jų slėgiui, prieš 9 500 m. žemės pluta pradėjo kilti, sąsiauris, jungiantis Joldijos jūrą su vandenynu, nuseko ir maždaug prieš 8 900 m. Joldijos jūra užsivėrė. Jos vietoje susidarė gilus gėlavandenis Ancilijaus ežeras. Kaupiantis ežere tirpstančių ledynų vandeniui, maždaug prieš 8 000 m. pakilęs jūros vanduo prasiveržė pro vietovę, dabar žinomą Didžiojo Belto sąsiaurio pavadinimu, ir ežeras virto apysūre Litorinos jūra. Ši jūra baigė egzistuoti prieš 4 tūkst. metų. Optimumo metu, maždaug prieš 4,5 tūkst. metų, jūros vandens tūris buvo dukart didesnis, o plotas 26,5 % didesnis nei dabartinės Baltijos jūros. Tuo laikotarpiu susidarė dabartiniai Skagerako ir Kategato sąsiauriai, per kuriuos į ežerą pateko Šiaurės jūros vanduo ir jai būdinga gyvūnija. Ledynų slėgis veikė ir žemės plutą, padarydamas joje geologinius įlinkius.



1.5 pav. Europa per paskutinį ledynmetį, buvusį prieš 20 000 metų (doi:10.1016/j.quascirev.2003.12.009)

Ir šiandien dar juntamas buvęs ledynų poveikis. Skandinavijos pusiasalis, daugiausia jo šiaurinė dalis, kasmet kyla į viršų 8–9 mm greičiu, arba apie vieną metrą per 100 metų.

2002 m. Lietuvos archeologai Baltijos jūroje ties Juodkrante 27 m gylyje aptiko 0,4–1 m skersmens ir 0,5–1,5 m aukščio reliktinio miško kelmus. Medžių ir durpių liekanos rodo buvusių Joldijos, Ancyliaus ir Litorinos jūrų krantų vietas. Baltijos jūros pakrantės prieš 10–11 tūkst. metų tarp Nidos ir Šventosios yra buvusios 15–50 km toliau į vakarus nei dabartinės. Reliktinių pušų iš jūros dugno radioizotopiniai tyrimai atskleidė, kad tie medžiai augo maždaug prieš 10 090 metų. Ties Klaipėda 11–12 m jūros gylyje išliko prieš 9 500 m. augusių medžių kelmai ir iš stulpų bei karčių pastatytos žvejybinių užtvarų liekanos (Žulkus 2020).

AR GALIMA IŠMATUOTI ŽMONIJOS RAIDOS PAŽANGĄ?

Socialines ir kultūros evoliucijos teorijas yra kūrę daugelis sociologų ir antropologų. Mokslininkai bando surasti ar apibrėžti svarbiausius veiksnius, lemiančius žmogiškųjų civilizacijų raidą. Prieš 10 000 metų planetoje

buvo tik apie 10 mln. gyventojų. XXI a. pradžioje gyventojų skaičius viršijo 7 milijardus. Beveik 99 % jų geriau maitinasi, turi būstą ir yra geriau apsaugoti nuo ligų negu jų akmens amžiaus protėviai. Beveik viskas, ko žmogui reikia ar jis nori, yra laisvai pasiekiama. Reikalingas kalorijų kiekis, vitaminai, švarus vanduo, transporto priemonės, kuriomis galima keliauti greičiau, negu žmogus gali bėgti, komunikacijos būdai, padedantys bendrauti didesniu atstumu, negu galima girdėti šauksmą ir kt.

Iki šiol nesibaigia ginčai dėl žmonių kilmės, tačiau mokslininkai sutaria, kad visos egzistavusios žmonių rūšys yra kilę iš į beždžiones panašių gyvūnų, kurie prieš šešis milijonus metų Afrikoje vaikščiojo stačiomis. Pirmieji sutvėrimai, kuriuos galėtume vadinti žmonėmis, Afrikoje atsirado prieš du milijonus metų.

Priešistorinėmis vadinamos technologijos, kurios buvo naudojamos anksčiau, negu atsirado raštas. Jų pradžią nuo dabartinių laikų skiria beveik 2,5 mln. metų. Pirmieji hominidai naudojo akmens įrankius, kuriais galėjo įžiebti ugnį, medžioti ar laidoti mirusiuosius. Priešistorinių technologijų apžvalgą palengvina tam tikrų technologijų raidos riboženklių nustatymas ir aprašymas.

Akmens amžius – tai platus priešistorinis laikotarpis, kurio metu akmuo buvo plačiai naudojamas aštriabriaunių ar smailų mušimo ar daužymo įrankių gamybai. Laikotarpis truko maždaug 2,5 mln. metų, tai yra nuo ankstyvųjų hominidų iki *homo sapiens* vėlyvojo pleistoceno eroje. Ši era baigėsi tarp 6 000 ir 2 000 m. pr. m. e., kai atsirado metalo apdorojimo technologijos. Akmens amžiaus gyventojų gyvenimas buvo grįstas medžiokle ir augalinio maisto rinkimu. Technologiniai pokyčiai šiame istoriniame periode buvo minimalūs. Baigiantis paskutiniajam ledynmečiui (prieš 12 500 m.), ženkliai keitėsi klimatas, išnyko didieji gyvūnai, tokie kaip mamutai ir senoviniai bizonai. Žmonės prisitaikė prie šių pokyčių ir efektyviau išnaudojo aplinką, rinkdami ir valgydami daugiau laukinių augalų rūšių, medžiodami ar žvejodami mažesnius gyvūnus. Gyvulių prijaukinimas ir grūdinių kultūrų auginimas Afrikos-Eurazijos regionuose prasidėjo mezolito laikotarpiu, o Amerikos žemyne – archajiniame periode. Gyventojai labiau rėmėsi žemdirbyste ir kliovėsi jos vaisiais. Žemdirbystės plėtra klajoklinį gyvenimo būdą darė sėslesnį, labiau

nusistovėjusį ir tinkamesnį technologinei pažangai. Lietuvoje paleolitas datuojamas XI–IX tūkst. pr. m. e.

Ankstyvasis paleolitas – pirmasis paleolito, arba senojo akmens amžiaus, periodas, kuris prasideda hominidams pradėjus gamintis akmeninius įrankius (maždaug prieš 2,6 mln.) ir tęsiasi iki žemdirbystės atsiradimo maždaug prieš 10 tūkst. metų pr. m. e. Šis periodas apima apie 2,5 mln. metų. Archeologiniai tyrimai rodo, kad šiuo laikotarpiu hominidai plėtojo kai kuriuos primityvius amatus ir naudojo akmeninius įrankius. Įrankiai ir ginklai dar buvo gaminami iš kaulo, odos ar medžio. Paleolito pradžia sutampa su pirmųjų beždžionžmogių (archantropų), priklausiusių Oldovajaus *homo habilis* (sumaniojo žmogaus) tipui, atsiradimu. *Homo habilis* gyveno Afrikoje maždaug 2,3–1,4 mln. metų pr. m. e. Paleolito pabaigoje hominidų evoliuciją užbaigia šiuolaikinio žmogaus – *homo sapiens* – atsiradimas.

Maždaug 2–1 mln. metų pr. m. e. išsivystęs *homo erectus* (stačiasis žmogus) iš savo pirmtakų išsiskyrė tiesia laikysena. Tai pirmasis hominidas, iškėlęs koją iš Afrikos. Prieš maždaug 1,6 mln. metų jis pasiekė Europą ir išplito po visą Euraziją. Prieš 1,2 mln. metų išmokta gamintis dviašmenius kirvius, maždaug prieš 400 tūkst. m. pr. m. e. įvaldyta ugnis, o dar po 100 tūkst. metų aptinkami archeologiniai ankstyviausi medžioklės pėdsakai. Akmeniniai kirviai buvo panašūs į primatų gamintus kirvius, o jų protavimo lygis prilygo šiuolaikiniams 3–5 metų amžiaus vaikams ir mažai keitėsi milijonus metų. *Homo ergaster* gyveno rytinėje ir pietinėje Afrikoje 2,5–1,7 mln. metų pr. m. e. ir naudojosi įvairesniais bei sudėtingesniais akmens įrankiais. *Homo ergaster* gaminosi įrankius, buvo geri bėgikai ir puikūs medžiotojai. Panašu, kad *homo ergaster* išsivystė per ilgai trukusią stiprią sausrą, kuri sukūrė didžiules dykumas, nes sugebėjo prisitaikyti prie karščio (lygi ir beveik neplaukuota oda efektyviau išskirdavo prakaitą). Ši rūšis galėjo keliauti didelį atstumą ir sugebėjo pasklisti už Afrikos ribų, pirmiausia Azijoje. Naujoje gamtiškai palankesnėje aplinkoje jie toliau vystėsi ir antropologų buvo pavadinti nauju, *homo erectus*, vardu. Ši žmogbeždžionių rūšis išplito nuo Mažosios Azijos iki Kinijos, tačiau jų populiacija greičiausiai buvo nedidelė. Medžiotojų ir rinkėjų grupelės gyveno atvirose vietovėse, nes čia galėjo lengviau ir greičiau nusigauti iki maisto. Kūno forma ir sandara jie buvo labai panašūs į dabartinius žmones. *Homo erectus* gyveno 1,8–1,3 mln.

metų Vakarų Azijoje ir Afrikoje ir, manoma, rūpinosi paliegusiais ar silpnesniais giminaičiais. *Homo antecessor* – anksčiausiai Šiaurės Europoje pasirodęs hominidas – gyveno nuo 1,2 mln. iki 800 000 metų pr. m. e. ir naudojosi akmens įrankiais. *Homo heidelbergensis* gyveno 600 000–400 000 metų pr. m. e. ir naudojosi panašiomis akmens įrankių gamybos technologijomis kaip ir *homo erectus* hominidai. *Homo heidelbergensis* galėjo būti pirmoji hominidų rūšis, kuri prieš 500 000 metų laidojo mirusius gentainius.

Vidurinis paleolitas Europoje ir Artimuosiuose Rytuose apima prieš 350/250–45/35 tūkst. metų laikotarpį. Tuo metu čia jau gyveno neandertaliečiai. Australijoje panašios gyvenvietės datuojamos prieš maždaug 40 000 metų, kai šiuolaikiniai žmonės perėjo iš Azijos į Australiją. Uolose randami ankstyviausi Indijoje gyvenusių hominidų gyvenimo pėdsakai datuojami maždaug prieš 30 000 metų. *Homo neanderthalensis* naudoti akmens įrankiai buvo sukurti prieš maždaug 300 000 metų. Šiai epochai būdingi mažesni peiliai ar gremžtukai. *Homo neanderthalensis* laidojo mirusiuosius sekliuose kapuose, mirusiajam į kapavietę dėdavo įrankius ir gyvūnus, žmogaus skeleto likučiai buvo dažomi raudona ochra. Anksčiausiai datuojamas žmonių laidojimas siekia prieš 130 000 metų. *Homo sapiens* porūšis maždaug prieš 120 000 metų taip pat atkeliavo iš Afrikos, be kitų teritorijų, pasklido ir Europoje, kurioje tuo metu vyravo neandertaliečiai. Maždaug prieš 74 000 metų Sumatros saloje išsiveržęs Tobos ugnikalnis buvo pats stipriausias per pastaruosius du milijonus metų. Vėjo genami Tobos pelenų debesys padengė milžiniškus Azijos plotus. Prieš ugnikalnio išsiveržimą *homo erectus* populiacija Azijoje buvo pati didžiausia. Vėliau, tikriausiai dėl klimato pokyčių, jie palengva paliko apgyvendintas teritorijas.

Vėlyvasis paleolitas yra trumpiausias paleolito epochos laikotarpis, trukęs nuo 40/35 tūkst. iki 10 tūkst. m. pr. m. e. Maždaug prieš 24–20 tūkst. metų klimatas buvo gerokai atšalęs. Atvėsus klimatui, Šiaurei būdinga gyvūnija atsitraukė iki maždaug Pietų Europos. To meto žmonės mokėjo ręsti gyvenamuosius būstus iš akmens, medžio bei odos, išdirbti odą, kailius, iš jų pasidaryti rūbų. Drabužius žmonės pradėjo siūti prieš 190 000 metų. Siuvimo adatos pasirodė prieš 40 000 metų. *Homo sapiens* galėjo abstrakčiai protauti, bendrauti kalba ir spręsti kylančias problemas. To meto klajokliai žmonės vertėsi medžiokle ir rinkimu. Naujas žmonijos išradimas – svaidoma ietis,

laikotarpio pabaigoje pradėtas naudoti lankas su strėle. Buities ir medžioklės įrankiai buvo daromi iš titnago, akmens, kaulo, nusmailinto ir apdeginto medžio. Atsirado pirmieji religijos požymiai (neolitinio Deivės Motinos kulto užuomazga), pirmieji piešiniai, vaizdai ar reljefai ant uolų. Piešta ant urvų ar olų, molinių būsto sienų mineraliniais dažais – suodžiais, ochra. Atsirado apvalioji skulptūra, kaulo graviūros, kauliniai muzikos instrumentai (fleita).

Paleolito pabaiga siejama su ledynmečio epochos pabaiga (apie 10 tūkst. pr. m. e.), kai klimato pokyčiai privertė žmones keisti gyvenimo būdą. *Homo erectus* buvo šiek tiek didesni ir stipresni nei *homo sapiens*, tačiau *homo sapiens* turėjo didesnes ir geriau išsivysčiusias smegenis. Archeologiniai tyrimai rodo, kad *homo erectus* tuos pačius paprastus kirvukus gaminosi daugiau nei milijoną metų. Tuo pat metu *homo sapiens* sukūrė efektyvesnių priemonių, pavyzdžiui, ietį, kurią galima mėtyti ir kuri akivaizdžiai pranašesnė medžioklėje ir kovoje. Tai padėjo jiems konkurencinėje kovoje įveikti *neandertaliečius*, kai Europoje dėl ledynmečio smarkiai sumažėjo maisto išteklių. Neandertaliečiai ir *homo erectus* išmirė maždaug prieš 30 000 metų. Dar prieš 100 000 metų Žemėje egzistavo kelios hominidų rūšys, tačiau evoliucija planetoje paliko tik vieną.

Dėl specifinės geografinės Lietuvos padėties (gerokai šiauriau pirmųjų žmonių paplitimo arealo) ir visus pėdsakus sunaikinusio ledyno pirmosios Lietuvos teritorijoje paleolito kultūros randamos gerokai vėliau. Apie 14 000 m. pr. m. e. ledynas galutinai pasitraukė iš Lietuvos. Manoma, kad maždaug 11 tūkst. pr. m. e. atklydo pirmieji elnių medžiotojai iš Danijos, Šiaurės Vokietijos. Lietuvoje randamos tik vėlyvojo paleolito pabaigos kultūros. Žmonės vertėsi retmiškyje (tundroje) gyvenusių žvėrių medžiokle ir rinkimu. Žuvys taip pat buvo medžiojamos, o ne žvejojamos. Seniausi išlikę dirbiniai yra titnaginiai. Pirmieji Lietuvos gyventojai titnago rasdavo Pietų ir Vidurio Lietuvoje – Neries, Merkio, Nemuno upių pakrantėse. Pagrindiniai įrankiai: įkotiniai antgaliai, gremžtukai, rėžtukai, strėlių antgaliai, žeberklai, ylos, grąžteliai. Stovyklos buvo trumpalaikės (kultūrinis sluoksnis jose plonas, radinių nedaug, papuošalų nėra), sausose smėlėtose vietose prie pat vandens.

Mezolitas – paleolito medžiotojų-rinkėjų pereinamasis laikotarpis, kuris prasidėjo šiltame holocene 11 660 m. pr. m. e. ir baigėsi neolito periodo ūkinės veiklos pradžioje. Kiekvienoje geografinėje vietovėje šio laikotarpio

pabaiga buvo skirtinga. Reikėjo prisitaikyti prie vykstančių klimato pokyčių, kurie turėjo įtakos tiek aplinkai, tiek ir naudojamoms maisto rūšims. Mezolito laikotarpiu žmogus kaip biologinė būtybė prisitaikė gyventi pakitusioje gamtinėje, daugiausia miškų, aplinkoje. Tarp klajoklių medžiotojų, žvejų ir maisto rinkėjų bendruomenių susidarė sėslių gyvulių augintojų ir žemdirbių bendruomenės. Mezolito metu atsirado pirmieji kultūriniai augalai ir pamažu buvo jaukinami pirmieji naminiai gyvūnai. Lietuvoje mezolitas apima 8 000–5 000 m. pr. m. e. laikotarpį. Skirstomas į ankstyvąjį (8 tūkstantmetis pr. m. e.), viduriniį (7 tūkstantmetis pr. m. e.) ir vėlyvąjį (6 tūkstantmečio pr. m. e. pirmoji pusė). Ankstyvajame mezolite klimatas atšilo, šiaurės elniai pasitraukė į šiaurę, ir anksčiau Lietuvos ir aplinkinėse teritorijose gyvenę paleolito kultūrų žmonės migravo paskui juos. Mezolito pabaigoje gyventojai išplito visoje Lietuvos teritorijoje. Greičiausiai jie buvo medžiotojai. Medžiota strėlėmis su titnago ar mediniais antgaliais, primityviomis ietimis. Žūklei naudoti žeberklai ir ietys, deginti ar skaptuoti luotai su irklais.

Neolito metu klajoklinį medžiotojų-rinkėjų gyvenimo būdą keitė sėsli žemdirbystė ir gyvulininkystė. Išskirtiniai neolito bruožai buvo keramikos, žemdirbystės (plūgas, kaplys) ir gyvulininkystės atsiradimas, naujoviškas akmens įrankių apdorojimas (šlifavimas). Įsitvirtino vienintelė žmogaus rūšis – kromanjonietis (*homo sapiens*), susiformavo atskiros rasės. Žmogus paplito visose klimato juostose – nuo šiaurinės Eurazijos iki pietinės Afrikos. Ne visos kultūros perėmė neolito pasiekimus vienu metu, be to, skirtingomis gamtinėmis sąlygomis pasireiškė kiti neolito bruožai. Artimuosiuose Rytuose (9 500 m. pr. m. e.) iš pradžių susiformavo sėslios bendruomenės, kurios išvystė žemdirbystę ir tik vėliau pradėjo gaminti keramiką. Priešingai, Japonijos neolito kultūra labai anksti įsisavino keramikos technologiją ir tik vėliau perėjo prie gamybinio ūkio ir žemdirbystės. Dar kitur (pvz., Eurazijos stepėje) neolitas turėjo įtakos klajokliškų gyvulių augintojų bendruomenių susiformavimui, o atšiauriomis gamtinėmis sąlygomis (pvz., Sibire) – tik medžioklės ir žvejybos įrankių patobulinimui. Pirmasis buvo prijaukintas šuo, kuris saugojo žmogų nuo žvėrių ir priešų, padėjo medžioklėje, vėliau – avys, ožkos, galvijai ir kiaulės. Iš pradžių gyvulius žmonės augino mėsai, vėliau naudojo jų vilną, melžė. Taip atsirado gyvulininkystė. Namų statybai buvo naudojamos nedegto molio plytos, moliu apdrėbtų pinučių

sienos ar pertvaros. Buvo statomi pastatai maisto atsargoms saugoti, įrengiamos laidojimo kapavietės.

Varis pradėtas naudoti dar 9 000 m. pr. m. e. Šiaurės Irake rastas vario pakabukas datuojamas 8 700 m. pr. m. e. Apie 8 000 m. pr. m. e. Šumere (dabartinis Pietų Irakas) pradėta naudoti skaičiavimo priemones (mažus molio žetonus). Vėlyvojo neolito laikotarpiu išrastas žiedimo ratas buvo naudojamas keramikos gamybai.

Lietuvoje neolitas prasidėjo atsiradus keramikai, gludintiems titnaginiams ir kitokiems akmeniniams įrankiams, išmokus juos pragręžti, o baigėsi atsiradus pirmiesiems metalų lydiniams. Seniausi puodai dažniausiai neornamentuoti, kartais tik papuošti įspaustomis netaisyklingomis duobutėmis, menkai išdegti. Pagrindinis puodų tipas – dideli, smailiadugniai, plačiaangiai puodai. Žemę apdirbdavo kapliais. Maistui buvo naudojamos kanapės ir soros. Svarbiausi dirbiniai: žeberklai, durklai, peikenos, ietigaliai, kabliukai, kirviai, kaltai, kapliai. Iš gintaro daryti papuošalai – pakabukai, vamzdeliniai karoliai, sagutės ir figūrėlės. Vėlyvajame neolite iš Vidurio Europos į Lietuvos teritoriją atsikėlė virvelinės keramikos ir laivinių kovos kirvių kultūros giminės – indoeuropiečiai. Atsikėlę indoeuropiečiai susiliejo su vietos gyventojais, atsirado prabaltai – baltų protėviai.

Pagal Mattą Ridley (Ridley 2010), pažangos istorija remiasi paprasta, bet nepopuliaria idėja: pažangai svarbiausia *specializacija* ir *prekyba*. Gebėjimas specializuoti veiklą ir keistis pagamintais produktais žmones paverčia unikalia biologine rūšimi. Vietoj to, kad kiekvienas susirastų sau maisto, susikurtų savo būstą ir kt. (kaip daro kiti gyvūnai), žmonės sukūrė sistemą, kurioje kiekvienas gali daryti tai, ką geriausiai sugeba ar moka, o sau reikalingų daiktų gali gauti iš kitų žmonių, su jais keisdamasis savo gaminiais ar jais prekiaudamas. Tai reiškia, kad tie, kurie geriausiai moka statyti būstus, juos ir stato, tie, kurie geriausiai ruošia maistą, jį ir gamina ir pan. Prekyboje kiekvienas gali turėti naudos iš to, ką daro kiti, ir atvirkščiai. Pirmykštis *homo erectus* (stačiasis žmogus) turėjo beveik visus žmogaus požymius: dvi kojas, dvi rankas, dideles smegenis, į išorę nukreiptą nykštį, naudojo ugnį, virė maistą, naudojo primityvius įrankius ir technologijas, pasižymėjo tarpusavio bendravimo įgūdžiais, ilgai trunkančia vaikyste ir draugišku elgesiu. Visgi jie neturėjo jokių kultūrinių pradmenų, jų pažanga

technologijų srityje buvo menka, o rūšies plitimo mastai nedideli. Tuo metu žemėje atsirado naujos rūšies hominidai, kurie, būdami labai panašios kūno sudėties, nuo ankstesniųjų išsiskyrė savo įpročiais. Taigi pirmą kartą naudojamos technologijos pasikeitė greičiau negu primato anatomija. Visa tai netaikytina kitoms protingoms būtybėms, pavyzdžiui, šimpanzėms, delfinams ar papūgoms. Šie gyvūnai kartais gali naudoti įrankius, keisti savo ekologinę nišą, tačiau jie neturi gebėjimų „gerinti gyvenimo lygį“ ar „ugdyti ekonominę patirtį“. Netgi vėlyvieji neandertaliečiai, turėję vidutiniškai didesnes smegenis negu šiuolaikinis žmogus, nepatyrė didelių kultūrinių pokyčių. Savo kalba, pažinimu, ugnies naudojimu, maisto virimu, įrankių gamyba, savimone, gudravimu, mėgdžiojimu, menu, religija, svaidomais ginklais, vertikalia kūno padėtimi, rūpinimusi senoliais ir kitomis žmogui būdingomis savybėmis jie buvo panašūs į *homo sapiens*. Norint sukurti technologiškai modernų gyvenimą, reikia ir didesnių smegenų bei kalbinio bendravimo, tačiau tai dar neužtikrina gerovės ar pažangos, nesuteikia supratimo apie gyvenimo lygio augimą. Neandertaliečiai turėjo dideles smegenis, turbūt sudėtingą kalbos sandarą, naudojo daug technologijų, tačiau jie niekada neišsiveržė iš savo nišos. Šimpanzės gali mokyti viena kitą, kaip aštria lazda palenkti krūmų ūglius, o plėšrieji banginiai gali mokyti vieni kitus, kaip iš paplūdimio pagriebti jūros liūtą, bet tik žmonės turi mąstymo savybę, padedančią jiems iškepti duonos kepalą ar pasidaryti drabužį. Ankstyvuoju žmonijos raidos momentu buvo posūkio taškas, kai turintys įgūdžių ir žinių žmonės pradėjo keistis vieni su kitais turimais daiktais ar įrankiais. Dėl tokio elgesio jų kultūroje įvyko lūžis ir prasidėjo nepertraukiamas žmogiškosios ekonominės „pažangos“ eksperimentas. Keisdamasis turimais daiktais žmogus atrado „darbo pasidalijimą“, abipusiai naudingą pastangų bei talento specializaciją. Kai kurios žmogbeždžionės pradėjo keistis maistu ar įrankiais dėl naudos ir kad galėtų daryti tai, ką moka geriausiai, arba specializuotis. Kuo daugiau žmonių tapo skirtingais vartotojais ar gamintojais, tuo daugiau jie keitėsi turimais daiktais ar maistu ir galbūt suprato, kad tokie veiksmai lengvina jų egzistavimą. Šimpanzės renka ir valgo vaisius, termitus, medžiotojai-rinkėjai visada turėjo specializuotis maisto produktų paieškoje ir perdirbime. Šaknis reikėjo ne tik surasti, bet iškasti ir išvirti, moliuskų kriaukles reikėjo

atidaryti, riešutus reikėjo perskelti, skerdieną reikėjo supjaustyti į gabalus. Mokymasis išgauti ir apdoroti maistą užima daug laiko, tam reikia praktinės patirties ir protavimo, bet pamažu žmogus suvokė, kad jis gali pagaminti maisto perteklių ir juo pasidalyti su kitais žmonėmis. Tradicinėse visuomenėse veiksnus žmogus tiesiogiai suvartoja 1/3–2/3 pagaminto produkto, o turimą perteklių keičia į drabužius, pastogę, vaistus. Žmonės vertina tai, ko neturi. Ir kuo labiau jie pasikliauja mainais, tuo daugiau specializuojasi, o tai mainus daro dar patrauklesnius. Įprotį mainytis pirmykščiai žmonės išsiugdė maždaug prieš 100 000 metų.

XXI a. viduryje žmonija išaugs nuo prieš tūkstantmetį buvusių dešimties milijonų iki beveik dešimties milijardų žmonių. Didelė dalis žmonių vis dar gyvena nepritekliuje ir skurde, kartais net didesniame negu akmens amžiuje. Vis dėlto didesnė dalis daug geriau maitinasi, turi geresnį būstą, gali daugiau pramogauti, yra geriau apsaugoti nuo ligų ir labiau tikėtina, kad senatvėje gyvens daug geriau, negu gyveno jų protėviai. Žinių kaupimas ir specialistų gausa leidžia kiekvienam naudoti vis daugiau ir daugiau skirtingų dalykų, prie kurių gamybos asmeniškai kiekvienas vis mažiau prisideda.

Kai kurie mokslininkai teigia, kad pagrindinis žmonijos civilizacijos raidos veiksnys yra *technologinė pažanga*. Pagal medžiagas, iš kurių buvo pagaminti archeologiniai radiniai (akmuo, bronza ir geležis), Danijos archeologas Christianas J. Thomsenas 1819 m. visą žmonijos civilizacijos raidą suskirstė į tris archeologinius periodus – *akmens*, *bronzos* ir *geležies* amžius. Kasinėjimų metu rastus ar žinomus artefaktus jis suklasifikavo pagal technologinius požymius. Toks skirstymas iš pradžių nebuvo visuotinai pripažintas, kol jį 1876 m. patvirtino Budapešte vykęs Tarptautinis archeologijos kongresas. Priimtoje periodizacijoje tarp akmens ir bronzos amžiaus dar buvo įterptas vario amžius.

Vienas iš būdų apžvelgti žmogaus sukurtų medžiagų raidą yra vertinimas, kaip šios medžiagos buvo sukurtos ir laikui bėgant naudojamos, kokia yra jų įvairovė, kokybė ir našumas. Net ir prabėgomis apžvelgus pokyčius nuo bronzos ir geležies amžių iki XX a. pabaigoje dominavusio silicio amžiaus, aiškiai matyti, kokia fenomenali buvo pažanga. Medžiagos yra svarbiausia grandis kuriant esamus ir dar neegzistuojančius produktus, jos gali suteikti gaminiams naujas funkcijas, pagerinti jų savybes, sukurti jų pridėtinę

vertę. Medžiagų tyrimai prasideda nuo pačių medžiagų (pvz., metalų, biomedžiagų, polimerų) kūrimo, pramoninės medžiagų gamybos (pvz., metalurgija, chemija) ir jų taikymo (pvz., energetikoje, transporte, medicinoje). Medžiagų kūrimui pasitelkiamos įvairios mokslo sritys – chemija, fizika, biologija, inžinerija, o pastaruoju metu ir nanotechnologijos bei biotechnologijos.

Australų archeologas Vere Gordonas Childe'ė buvo įsitikinęs, kad žmonijos priešistorę turėtume pažinti per technologijų raidos istoriją. Jo darbas „Europos visuomenės priešistorė: praeities tarpsnių jungimas pagal archeologinių duomenų interpretavimą" (*Piecing Together the Past: The Interpretation of Archaeological Data*) pasirodė 1956 m. (Childe 1956). Medžioklės priemonių ir ginklų gamybos, ganymo ir galvijų prijaukinimo, augalų auginimo ir žemės ūkio, keramikos ir metalo apdirbimo technologijų kilimas ir nuopuolis buvo svarbiausi ankstyvųjų technologijų pradžios veiksniai. V. G. Childe'ės manymu, technologijos padėjo vienai genčiai įveikti kitą kovose, o technologijos, su kuriomis žmonės galėjo pagaminti maisto perteklių, lėmė tokių valstybių kaip Egipto, Mesopotamijos klestėjimą.

Tyrinėjant žmonijos istoriją technologijų raidos požiūriu, kai kurie mokslininkai mano, kad priešistorinė agrarinė revoliucija sukūrė maisto produktų perteklių ir atvėrė kelius kurtis sudėtingoms socialinėms bendruomenėms, o pramonės revoliucija sukūrė masinę prekių gamybą ir pasaulinę prekybą. Jie išskiria kelis kai kuriais aspektais persidengiančius amžius:

– prieš 10–12 tūkst. metų – klajoklių medžiotojų-rinkėjų amžius, naudojo įrankius ir ginklus iš lengvai prieinamų medžiagų (medienos, kaulų ar akmens) ir mokėjo uždegti ir kontroliuoti ugnį; perėjimas nuo maisto ieškojimo ir rinkimo prie žemės ūkio;

– agrarinė revoliucija – gyvūnų prijaukinimas ir žemdirbystė;

– pramonės revoliucijos – žmonių fizinį darbą keičia mechanizmai:

• pirmoji (1760–1840 m.) – garo variklio plitimas, paveikęs visas ekonomikos ir socialinio gyvenimo sritis;

• antroji (XIX a. pabaiga – XX pradžia) – sparti elektros energijos ir surinkimo linijų plėtra, fabrikinė gamybos sistema negrįžtamai keičia amatu grindžiamą gamybą; vidaus degimo varikliai per 50 metų išstūmė garą kaip ankstesnį svarbiausią energijos šaltinį;

• trečioji (1960–1980 m.) – centriniai kompiuteriai, asmeniniai kompiuteriai, internetas; skaitmeninės technologijos tampa sudėtingesnėmis ir labiau integruotomis, todėl keičia visuomenę ir pasaulio ekonomiką;

• ketvirtoji pramonės revoliucija vyksta ant trečiosios skaitmeninės revoliucijos pamatų; robotika, dirbtinis intelektas, genomika, autonominės transporto priemonės, mobilusis kompiuteris, išmanieji telefonai, virtualioji realybė, daiktų internetas, 3D ir 4D spausdinimas, kvantinis kompiuteris, medžiagų mokslas, bioinžinerija, naujos energijos technologijos, skaitmeninės valiutos ir blokų grandinės, metaduomenys, duomenų analizė, sutelktinis finansavimas ir kt.; skaitmeninės medijos, tinklinė visuomenė, socialiniai tinklai, virtualios bendruomenės, duomenų apsauga, asmens privatumas, emocinis ir kūrybinis intelektas – visa tai ketvirtosios pramonės revoliucijos išdava; sėkmingam ketvirtosios revoliucijos įgyvendinimui svarbiausiais veiksniais tampa informacinių technologijų saugumas, įskaitant duomenų apsaugą, bei duomenų analizė.

Leslie'io White'o (White 1959) nuomone, kultūrinę ir socialinę raidą galima vertinti pagal energijos naudojimą. Jis išskiria penkis žmonijos raidos etapus:

– pirmajame etape žmonės naudojo tik savo raumenų energiją;

– antrajame etape – naminių gyvūnų energiją;

– trečiajame etape – augalų energiją (žemės ūkio revoliucija);

– ketvirtajame etape žmonės išmoko naudoti gamtos išteklių energiją (anglies, naftos, dujų ir kt.);

– penktajame etape išmoko naudoti branduolinę energiją.

Pasak jo, „kultūra vystosi, kai energijos kiekis, sunaudojamas vienam gyventojui per metus, auga arba kai mechaninių įrenginių naudingumas, jiems teikiant daugiau energijos, didėja". Daugiau energijos imančios ir ją veiksmingiau naudojančios visuomenės yra pranašesnės už kitas. L. White'as pasiūlė formulę, kuri rodo visuomenės kultūrinio išsivystymo lygį pagal sukuriamą produktą:

$P = ET$;

čia P – kultūrinio vystymosi lygis pagal sukuriamą produktą, E – vieno gyventojo sunaudojamos energijos per metus matas, T – energijos naudojimo efektyvumas.

Gerhardas Lenskis daugiausia dėmesio skiria informacijai (Lenski 2005). Kuo daugiau tam tikra visuomenė turi informacijos ir žinių (ypač padedančių formuoti natūralią aplinką), tuo labiau ji yra pažengusi. Remdamasis komunikacijų raida, žmonijos istorijos pažangą jis skirsto į keturis etapus:

– pirmajame etape informacija perduodama genais;

– antrajame etape žmonės įgyja bausmės patirtį, todėl gali mokytis ir vertinti gaunamą informaciją per įgytą patirtį;

– trečiajame etape žmonės naudoja sutartinius ženklus, vystosi logika;

– ketvirtajame etape žmonės kuria simbolius, vysto kalbą ir rašybą.

Komunikacinių technologijų pažanga virsta visuomenių ekonomine ir politine pažanga, kuri sąlygoja turto pasiskirstymą, socialinę nelygybę ir kitus socialinio gyvenimo aspektus. G. Lenskis diferencijuoja visuomenes pagal jų technologijų, ryšių ir ekonomikos lygį:

– medžiotojų ir rinkėjų,

– paprasto žemės ūkio ir ganomosios gyvulininkystės,

– pažangaus žemės ūkio,

– pramoninės,

– specialiosios (pvz., žvejyba, jūrinės visuomenės ir pan.).

Galiausiai 1970-ųjų pabaigoje sociologai ir antropologai pasiūlė postindustrinės visuomenės teoriją, teigiančią, kad dabartinė pramoninės eros visuomenė artėja prie pabaigos, o *paslaugos* ir *informacija* tampa svarbesnėmis negu pramonė ir jos gaminamos prekės.

PIRMIEJI ĮRANKIAI IR TECHNOLOGIJOS

Ankstyvieji įrankiai ir technologijos padėjo žmonėms sukurti priemones, iškėlusias juos į mitybos piramidės ir konkurencijos su visomis kitomis gyvomis būtybėmis dėl išgyvenimo viršų. Oldovano stovyklavietėse (Kenijoje ir Tanzanijoje), kurios atsirado prieš 2,6–1,5 mln. metų, greta beždžionių gyveno ir pirmieji žmonės, tarp jų buvo ir *homo habilis*. Dabartinės šimpanzės ir šiandien, kaip ir prieš kelis milijonus metų, skaldo akmenimis riešutus, virbais krapšto termitus, iš plačialapių augalų pasidaro skėčius. Galbūt žmogus riešutų daužymo technologiją perėmė iš beždžionių. Sudėtingesni įrankiai atsirado prieš 2,6 mln. metų, bet mokslininkai mano, kad hominidai

įrankiais naudojosi gerokai seniau. Šie primityvūs aštriabriauniai akmens įrankiai buvo gaunami daužant akmenis vienas į kitą. Senajame akmens amžiuje (paleolite) iš pradžių akmens skaldymu ir gludinimu buvo tobulinama dirbinio forma (gremžtukas, grandukas, rėžtukas ir kt.), vėliau daromi kompoziciniai darbo įrankiai – raginis žeberklas su titnaginiais ašmenėliais, ietis, strėlė, kirvis ir kiti. Vienas seniausių įrankių yra rankinis kirvis. Šis įrankis atskyrė žmones nuo beždžionių. Rankinis kirvis buvo aštriabriaunis, netašytas ir neglūdintas akmens gabalas, gautas sąmoningai daužant akmenis. Manoma, kad kirvis buvo pjovimo, smulkinimo ar kasimo įrankiu, taip pat galėjo turėti ritualinę paskirtį.

Lietuvoje rasti ankstyviausi darbo įrankiai (grandukas, gremžtukas, rėžtukas) yra pagaminti iš titnago ir priklauso vėlyvojo paleolito pabaigai (11–10 tūkstantmetis pr. m. e.). Mezolite paplito makrolitai ir mikrolitai, neolite titnaginiai darbo įrankiai buvo retušuojami, dažniausiai pakraščiai, kartais visas paviršius.

Archeologų nuomone, *ietis* atsirado prieš 400 tūkst. metų. Ši priemonė tikriausiai buvo viena iš seniausių, nes ją sugeba pasigaminti net kai kurios primatų rūšys. Senovinės medžioklinės ietys (akstys) buvo lengvos – sverdavo apie 0,3 kg, jų ilgis iki ~2 metrų. Pirmuosius peilius prieš daugiau nei 2 mln. metų naudojo dabar jau išnykusi *homo erectus* žmonių rūšis. Vis dėlto akmens peiliai pasirodė apie akmens amžiaus vidurį, t. y. prieš 2–5 šimtus tūkstančių metų. Peiliu galima laikyti ir akmens nuoskylą, kurios ilgis apie du kartus didesnis už plotį, su dviem plokščiais lygiagrečiais šonais ir dviem pjaunančiomis briaunomis.

Svaidyklė pasirodė maždaug prieš 64 000 metų, tuo pačiu metu kaip ir lankas bei strėlės. Svaidyklės panaudojimo atvejis aprašytas ir Biblijoje: ja berniukas Dovydas nugalėjo galingą karį Galijotą. Iš diržo ar virvės padarytos svaidyklės viename gale yra kilpa, į kurią įkišama ranka, kitas svaidyklės galas laikomas tos pačios rankos pirštais; per vidurį yra platesnė dalis (įdubęs odos lopas, pinta įduba ar pan.), į kurią dedamas svaidyklės „sviedinys“ (pavyzdžiui, akmuo). Svaidyklė įsukama virš galvos vis didinant sukimo greitį ir, paleidus svaidyklės galą be kilpos, akmuo išsviedžiamas. Svaidymui parinkdavo kuo taisyklingesnės formos apvalų iki 200 g sveriantį akmenį. Sviestas akmuo lėkdavo iki 90 m, bet taiklumas dažnai būdavo prastas, kadangi

nusitaikyti svaidykle neįmanoma, taikliam šūviui reikėdavo didelės patirties. Vėlesnių laikų svaidyklės, kuriose vietoje akmens buvo naudojami švino gabalai (kulkos), galėjo sulaužyti kaulus, o šarvuotus kovotojus kontūzydavo.

Lankas ir *strėlės* pasirodė maždaug prieš 64 000 metų. Lankas palengvino medžioklę, taip pat juo buvo galima įveikti priešininką iš gerokai didesnio nuotolio, negu naudojant ietį ar svaidyklę. Daugeliu atžvilgių už svaidyklę pranašesnis lankas buvo naudojamas tūkstančius metų kaip vyraujantis nuotolinis ginklas, kol prieš tris šimtus metų pasirodė šaunamieji ginklai.

Net ir toks nedidelis dalykas kaip rankinio siuvimo *adata* suvaidino svarbų vaidmenį žmonijos istorijoje. Dešimtis tūkstančių metų žvėrių kailių apsiaustai ir paprasti siūti drabužiai žmonėms padėjo atlaikyti rūsčias ledynmečio žiemas. Naudojantis adata buvo galima pasiūti drabužį konkrečiam žmogui, be to, panaudoti kelių skirtingų žvėrių kailius. Adata atnešė ir kitą naujovę – kelių sluoksnių drabužius. Prieš 17 000 m. orai vėl gerokai atšilo, ir beveik iš karto negiliuose stepės-tundros upių slėniuose atsirado medžiotojų gyvenviečių, kurių egzistavimui adata buvo labai svarbi. Iš pradžių siuvimo adatos buvo daromos iš kaulo ar medžio. Archeologiniai tyrinėjimai rodo, kad adatos naudojamos tūkstančius metų. Rastos akmens amžiaus kaulinės adatos. Linų siūlais siūti įvairios paskirties drabužiai iš kailių, odos ar net lapų padėdavo išlaikyti kūno vikrumą ir šilumą keliaujant ar medžiojant. Manoma, kad žmogus pradėjo rengtis paleolito laikais – maždaug prieš 100 000–500 000 metų. Seniausia patvirtinta adata rasta Prancūzijoje, jos amžius datuojamas 19–15 tūkst. m. pr. m. e. Iš vario, sidabro ir bronzos pagamintos adatos buvo naudojamos senovės Egipte. Seniausia žinoma geležinė adata šiuo metu yra Vokietijoje ir datuojama III a. pr. m. e. Amerikos indėnai adatas gamindavo iš agavos lapų. Įdomu, kad kartu pasigamindavo ir adatą, ir siūlą. Lapus ilgai mirkydavo, iš spyglio pavidalo lapo smaigalio susidarydavo smaili adata, nuo kurios eidavo lapo gyslos – siūlai. Metalinių adatų gamyba XI a. buvo tobulinama musulmoniškoje Ispanijoje. Europiečiai adatos gamybos technologiją įsisavino iš arabų adatų gamintojų, ši technologija XVII a. pasiekė Angliją. Iki tol vietinių Europos kalvių gaminamos metalinės adatos buvo menkai apdirbtos ir šiurkščios. Rankų darbo adatos buvo naudojamos iki pramoninio amžiaus pradžios. Iš pradžių reikėjo išpjauti ilgą ruošinį, kurio pakaktų dviejų adatų gamybai. Tada ruošinio galai buvo suplojami, o suplotos

aikštelės viduryje gręžiama skylutė, tai yra ąselė. Išgręžus skylutes adatos buvo atskiriamos ir pasmailinamos. Dabar nuo adatos paskirties priklauso smailojo galo bukumas, ąselės forma bei dydis. Adatos gaminamos iš anglinio plieno vielos, apsaugai nuo korozijos padengiamos nikeliu ar auksu. Ypač aukštos kokybės adatos gaminamos iš platinos.

Siuvimas – tai tekstilės ar kailių detalių sujungimas tarpusavyje. Taip gaminami įvairūs dirbiniai: drabužiai, namų apyvokos reikmenys ir pan. Siūlai yra iš dviejų ar daugiau skaidulų glaudžiai susukta gija. Dažniausiai siūlai naudojami rankiniam ir mašininiam siuvimui, tekstilės gaminių audimui. Priklausomai nuo šalies ir laikmečio siūlams gaminti buvo naudojama skirtinga žaliava – augalinės (linas, medvilnė, kanapė, sizalis, agava, abaka, juka ir kt.) ir gyvūninės kilmės pluoštai (gyvūnų sausgyslės, avių, ožkų, kupranugarių, lamų, jakų ir kitų gyvūnų vilna). Šilko siūlas taip pat yra gyvūninės kilmės produktas. Šilką (kitaip tariant, siūlu virstančią tam tikrą baltyminę medžiagą) gamina šilkmedžių vikšrai, kurie aplink save susisuka jaukų namelį – kokoną. Vieną kokoną sudaro vientisas vidutiniškai 3 000 m ilgio siūlas. Pastaruoju metu plačiai naudojami dirbtiniai (sintetiniai) pluoštai. Skirtumas tarp siūlų ir verpalų tas, kad siūlai naudojami drabužių ir kitų gaminių siuvimui, o verpalai – megztos ar austos tekstilės gamybai.

Medvilnė yra augalinio pluošto, naudojamo siūlams, pavyzdys. Šis pluoštas gaunamas iš vilnamedžio (*gossypium*) genties augalų sėklas gaubiančio audinio. Medvilnės pluoštas dažniausiai perdirbamas į siūlus, iš kurių gaminami minkšti, orui pralaidūs tekstilės audiniai. Medvilninė apranga yra plačiausiai pasaulyje naudojama natūralaus pluošto apranga. Dabartiniu metu plačiai naudojami sintetiniai nailono ir poliesterio siūlai.

Yla – tai adata su rankena, skirta skylėms pradurti (ar praplatinti) tankiose, kietose medžiagose (pvz., batų odoje). Ylos amžius prilygsta adatos amžiui. Paleolito laikų ylos buvo daromos iš kaulo ar kieto medžio. Į odoje pradurtas skylutes įvėrus sausgysles ar kitą pluoštą buvo siuvami drabužiai, odinės palapinės, būstų danga. Pradėjus naudoti metalą, ji buvo daroma iš bronzos, geležies ar plieno. Ties rankena yla storesnė, o link galo smailėja, gali būti tiesi ar šiek tiek lenkta. Siuvimo ylų smaigalyje gali būti skylutė siūlui įverti. Tokiomis ylomis ne tik praduriamos skylės, bet ir siuvama (daromi dygsniai).

Kada išmokta naudotis ugnimi ir ją kontroliuoti, tikslių žinių nėra. Dauguma archeologijos ekspertų mano, kad žmogus įvaldė ugnį mažiausiai prieš 400 000 metų, nors kai kurie duomenys rodo, kad pradžia galėjo būti prieš 1,5 mln. metų. Alistrati urve (Makedonija) gana toli nuo įėjimo aptikta buvusi laužavietė, kurioje ugnis degė prieš 1,5 mln. metų. Į tokį gilų urvą gamtinio gaisro ugnis savaime patekti negalėjo.

Žinių apie darbus, kurie gali būti laikomi ankstyvųjų inžinerijos darbų pavyzdžiais, suteikia archeologija (1.1 lentelė). Per ilgą ankstyvųjų žmonių raidą sukurtas ir naudotas technologijas tikslingiausia įvardyti kaip „konservatyvias“. Inovacijos buvo vienetinės ir dažnai jas skyrė tūkstantmečiai. Ankstyvųjų akmens įrankių kūrimas yra tokios raidos pavyzdys. Antropologai mano, kad šią raidą galėjo lemti biologiniai veiksniai, pavyzdžiui, žmogaus smegenų išsivystymas. Technologinės minties, taigi ir „inžinerinės“ minties, raida yra tiesiogiai susijusi su žmogaus smegenų evoliucija. Ši sąsaja matoma tyrinėjant pleistoceno žmogaus skeleto ir žmonių kultūrinės veiklos liekanas. Viena iš pirmųjų žmogaus inovacijų buvo akmens įrankių gamyba. Pirmieji archeologų atpažįstami kaip savadarbiai įrankiai pasirodė prieš maždaug 2,25 mln. metų. Seniausi (naudoti prieš 2–2,25 mln. metų) akmeniniai įrankiai rasti Afrikos vietovėse palei pleistoceno laikais buvusius ežerus ar upelius. Olduvajaus priekalnėse (Didžiojo Afrikos lūžio griovyje) Kenijos archeologas L. B. Leakey'is aptiko primato skeletą, kuris buvo pavadintas *homo habilis* (nagingas žmogus). Archeologai nustatė, kad stovyklavietėje surastos įrankių liekanos priklauso hominidams. Tokios ilgesnį laiką naudotos stovyklavietės, kuriose rasta kontroliuojamos ugnies pėdsakų, pasirodė tik prieš 500 000 metų (1.1 lentelė).

Antropologija žmonijos kilmės pėdsakų ieško materialioje kūrybinio intelekto išraiškoje. Pirmieji tokios veiklos įrodymai yra įvairios akmens įrankių formos ir ugnies kontrolės būdai. Kinijoje Zhoukoudiano urvuose surasta *homo erectus sinanthropus*, arba „Pekino žmogaus“, pusės milijono metų senumo kaulų ir veiklos pėdsakų. Mokslininkai įsitikinę, kad „Pekino žmonės“ mokėjo naudotis ugnimi, ietimis, gebėjo atlikti tam tikrus darbus su mediena, pasidaryti drabužius. Naudodami akmeninius įrankius *homo erectus* užėmė didelius Afrikos, Europos ir Azijos rajonus. Jie medžiojo pleistoceno epochos megafauną: mamutus, dramblio dydžio tinginius, kupranugarius, arklius ir bizonus.

1.1 lentelė. Ankstyviausieji žmonijos raidos požymiai

Žmonių veiklos pobūdis	Metai (skaičiuojant nuo dabarties)
Sąmoninga žemės ūkio veikla ir maisto gamyba	10 000–12 000
Mechaniniai įrankiai, tokie kaip lankas ir mėtoma ietis	30 000
Olų ir uolų menas	30 000
Smeigiamųjų ir kertamųjų įrankių atsiradimas	50 000–100 000
Žmonių slinktis į vėsaus klimato zonas	300 000–500 000
Kontroliuojamos ugnies naudojimo pėdsakai	300 000–500 000
Paskutiniai skirtingų hominidų grupių bendro egzistavimo pėdsakai	1 mln.
Seniausios aptiktos hominidų stovyklavietės	2 mln.
Seniausi žinomi akmeniniai gaminiai (akmeniniai įrankiai)	2–2,25 mln.
Seniausia iškastinė kaukolė, kurios smegenys daug didesnės negu bet kurios beždžionės	2–2,5 mln.
Seniausiai žinomi ryškūs dvikojo vaikčiojimo požymiai	3–4 mln.
Seniausi žinomi hominidų su dantimis ir žandikauliais pėdsakai, panašūs į vėlesnius (*Ramapithecus*, *Sivapithecus* ir *Gigantopithecus*) hominidus	9–14 mln.

Archeologiniai tyrinėjimai Nicoje (Prancūzija) atskleidė žmogaus statinių pėdsakus. Šių statinių ilgis didesnis nei 1 m, stogas buvo paremtas keturiomis vertikaliomis atramomis ir tikriausiai buvo dengtas lapais, nors dangai galėjo būti naudojama ir žvėrių ar gyvulių oda. Iš vėjo užpučiamos pusės pamatas pagal perimetrą buvo padarytas iš akmenų. Per visą pleistoceno epochą, kuri iki holoceno tęsėsi maždaug tris milijonus metų, žmogaus veiklos pokyčių variklis buvo klimato kaita. Nicos stovyklavietės gyventojai buvo vidurinio pleistoceno (prieš 400 000–500 000 m.) medžiotojai, gyvenę atokvėpį nuo ledynų turėjusioje Europoje. Per pleistoceną buvo

užslinkę keturi pagrindiniai ledynmečiai, kuriuos keitė šiltesni ar šaltesni dalinio ledynų atsitraukimo ar plitimo laikotarpiai. Šie medžiotojai ir jų naudota akmens kirvio technologija buvo išplitusi po Afriką, Europą ir Aziją nuo vidurinio pleistoceno iki maždaug trečiojo kvartero periodo ledynmečio, dar vadinamo Riso ledynmečiu, pabaigos. Maždaug prieš 100 000 metų iškasenose nebeliko *homo erectus* pėdsakų. Juos pakeitė pažangesnės hominidų formos, pvz., *homo sapiens neanderthalensis*. Šie pirmykščiai žmonės naudojo kitokią akmens apdorojimo technologiją: kumščio dydžio akmens gabalas būdavo apskaldomas taip, kad akmens branduolio gale susidarytų smailė.

Diskutuojant apie pirmykščius žmones svarbu suprasti priežastis, kodėl žmonijos technologinė raida buvo tokia lėta. Žmonės nuolat sprendė kilusias problemas, siekė patenkinti savo poreikius. Tų žmonių įrankiai ir technologijos buvo labai paprastos. Net ir paprasti įrankiai, tokie kaip rankinio siuvimo adata, ankstyvoje žmonių istorijoje suvaidino didžiulį vaidmenį. Turėdamas apdarą pirmykštis žmogus galėjo iš gamtinių urvų išeiti į atviras erdves ir sekti gyvūnų bandas. Pasiūti drabužiai ir palapinės žiemą saugojo žmones nuo sniego ir atšiaurių vėjų, jie galėjo išgyventi subarktiniuose regionuose, kuriuose, atsitraukus ledynams, buvo gausu įvairių medžiojamų gyvūnų. Seniausiems Europoje surastiems kaulams gali būti daugiau negu 25 000 metų. Seniausių kaulinių adatų amžius yra 61 000 metų, jos rastos viename Pietų Afrikos urve. Rusijoje rastų dramblio kaulo adatų amžius yra apie 30 000 metų.

JAV fizikas-chemikas Willardas Frankas Libby'is 1946 m. pasiūlė radiokarboninį organinių medžiagų amžiaus nustatymo būdą. Kai kurie elementų izotopai yra nestabilūs – kažkuriuo momentu pavirsta kitais nuklidais. Šis procesas vadinamas savaiminiu skilimu. Skilimo pusamžis yra pastovus dydis, todėl bet kurioje medžiagoje, kurioje yra radioaktyvaus nuklido, santykis tarp pradinio jo kiekio ir jo skilimo produkto nuolat keičiasi ir gali būti panaudojamas nustatant medžiagos amžių. C14 – vienintelis radioaktyvus iš trijų anglies izotopų, kuris, kosminiams spinduliams veikiant žemės atmosferą, kaupiasi visoje gyvojoje medžiagoje. Jo yra kauluose, kūno audiniuose, mėsoje, plaukuose, virvėse, drabužiuose, medienoje ir daugelyje kitų medžiagų, gausiai randamų archeologinių kasinėjimų vietose. Kai organizmas miršta, izotopas pradeda irti. Jo irimo pusperiodis yra 5 730

metų, o vidutinis skilimo amžius apie 8 033 metai. C14 izotopo koncentracija sumažėja 1 % maždaug per 80 metų. Praėjus daugiau nei 60 000 metų, C14 izotopo mėginyje praktiškai nebelieka, todėl šiuo metodu neįmanoma datuoti senesnių pavyzdžių. Šis organinių medžiagų amžiaus nustatymo būdas pradėtas naudoti 1960 m. ir buvo pažymėtas Nobelio premija.

Europoje randami olų piešiniai datuojami 14 000–21 000 metų. Sulavesi saloje (Indonezija) olose rastiems gyvūnų piešiniams yra 44 000 metų. Juose vaizduojamos ietimis ir virvėmis ginkluotos iš dalies žmogaus, iš dalies gyvūnų pavidalo būtybės, medžiojančios buivolus. Piešinių amžius nustatytas radiometriniu datavimo būdu. Uolienoje šalia piešinių esantis radioaktyvus uranas lėtai skyla į torį. Išmatavus įvairių torio izotopų kiekį nustatyta, kad ant piešinių susidaręs kalcitas pradėjo formuotis mažiausiai prieš 40 900–43 900 metų. 2018 m. Pietų Afrikos Respublikoje surastas dar senesnis olų piešinio fragmentas, padarytas net prieš 73 000 metų.

2015 m. Biržų rajone penkių metrų gylyje rastas šiaurės elnio rago fragmentas. Atlikus radiokarboninį datavimą, paaiškėjo, kad tai kol kas vienintelis 12 tūkstančių metų senumo Lietuvoje rastas žmogaus rankų darbo dirbinys. Ragas, be abejo, yra buvęs žmogaus darbo įrankiu. Jis šiek tiek tam tikru kampu nukirstas, o viršutinėje dalyje esantys papildomi dariniai tikriausiai yra susiję su tiesioginiu jo naudojimu. Manoma, kad tai pirmykštis kaplys. Šiaurės elniai Lietuvoje gyvavo prieš 13 tūkst. metų, atsitraukus ledynui ir prasidėjus atšilimui.

Stepė-tundra, kaip ir Sachara prieš kelis tūkstančius metų, tapo tarsi didžiuliu siurbliu. Atšalimas stūmė žmones į pietus, atšilimas traukė juos į lig tol netinkamas gyventi teritorijas. Prieš 15 000 m. stepė-tundra vėl tapo gyvenama teritorija. Upių slėniuose žmonės statėsi apskritimo ar ovalo formos būstus su sudėtingos konstrukcijos stogais iš mamuto kaulų.

PIRMYKŠČIAI STATYBININKAI

Yra žinoma, kad jau 10 000 m. pr. m. e. buvo statomi dideli laivai, vandens saugyklos, laukų drėkinimo sistemos, atsirado primityvioji metalurgija. Prijaukintus gyvūnus pradėta naudoti kaip darbo jėgą. Šis neolito periodas, vadinamas naujuoju akmens amžiumi, prasidėjo po sunkaus ledynmečio

laikotarpio, kurio metu dideli žemės plotai buvo netinkami gyventi nei gyvūnams, nei žmonėms. Vėlyvojo paleolito žmogus, medžiodamas ir rinkdamas augalus ir vaisius, susikūrė gana pasiturimą gyvenimą, tačiau jo naudojamų technologijų pagrindas buvo akmeniniai ir kauliniai įrankiai (1.6 pav., 1.7 pav.).

Traukiantis ledynams, klimatas šilo, išnyko daug pleistoceno epochos gyvūnų, tokių kaip mamutas, urvinis lokys, kardadantis tigras, amerikinis arklys ir daug kitų rūšių. Neolito laikotarpiu klajoklinį gyvenimo būdą keitė sėslus. Vienas svarbiausių neolito laikotarpio veiksnių buvo primityvaus žemės ūkio plėtra. Neolito laikotarpio (13 000–8 000 m. pr. m. e.) žemdirbiai naudojo liosinį dirvožemį, susidariusį atsitraukus ledynams. Tokie dirbamos žemės plotai susiformavo Europos upių slėniuose (pvz., Dunojaus). Pirmykščiai poledyninių miškų gyventojai nuo Vidužemio iki Baltijos jūros žemės ūkiui pradėjo naudoti ant smėlėtų upių krantų ir liosų susiformavusius aliuvinius dirvožemius. Toks persipynusio gyvenimo būdo, žemės ūkio ir daugelio pastatų statybos pavyzdys yra netoli Negyvosios jūros, Užjordanėje, atkastas Jericho miestas (1.8 pav.). Jericho oazė yra dykumoje, 256 metrų žemiau jūros lygio. Dykumos viduryje archeologai aptiko nuolatinės gyvenvietės likučius. Šiandien šią gyvenvietę dengia 20 m storio apnašų sluoksnis. Ši vietovė kaip gyvenamoji vieta buvo naudojama daugiau kaip 11 tūkstančių metų, beveik nuo pat holoceno epochos pradžios.

Pavasarinio polaidžio vanduo stipriu srautu tekėjo į netoliese esančią Jordano upę. 10 000 m. pr. m. e. žmonės apjuosė gyvenvietę didžiule akmens siena. Sienos pagrindui kietoje uolienoje buvo iškirstas 8,2 m pločio ir 2,1 m gylio griovys. Šiandien, praėjus dešimčiai tūkstantmečių, siena vis dar tebėra beveik keturių metrų aukščio. Sienos supamoje gyvenvietėje iš saulėje džiovintų plytų buvo statomos gyvenamos lūšnos. Šiame keturių hektarų ploto kaime žmonės augino kviečius ir ožkas. Jericho kultūra papildo kultūrinės evoliucijos seką vėlyvojo pleistoceno medžiotojams-rinkėjams perėjus į kaimišką ūkininkavimą neolite. Maisto ruošimui arba jo laikymui keramika nebuvo būtina. Pirmykštėse kultūrose akmeninės grūstuvės, mediniai arba odiniai kubilai ir krepšiai visiškai tenkino maisto ruošimo ir saugojimo poreikius. Keramikos gamyba galbūt buvo naujo žmonių technologinio žingsnio – metalurgijos – pirmtakas. Pirmykščiai



1.6 pav. Titnaginių įrankių gamyba (medžioklės ir rinkimo)



1.7 pav. Akmeniniai kirviai (medžioklės ir rinkimo)



1.8 pav. Atkasti gyvenamo namo pamatai Jeriche (Jerycho8.jpg)

Jericho gyventojai sienos tranšėją uolėtame grunte iškasė be jokio metalinio įrankio. Metalinių įrankių reikėjo laukti dar tris tūkstančius metų, kol žmonės išmoko lydyti vario rūdą.

Į vakarus nuo Jericho, šiandieninės Turkijos teritorijoje, buvo aptiktas galbūt vienas seniausių pasaulyje miestų – Çatal Hüyük (1.9 pav.). Pradėtas statyti prieš 10 300 metų miestas klestėjo iki 7 600 m. pr. m. e. Anatolijos plynaukštėje įsikūrusiame mieste gyveno apie 6 000 gyventojų, kurie prekiavo obsidianu, augino kviečius, miežius ir naminius gyvūnus. Europoje vidurinio neolito laikotarpiu tokių miestų kaip Jerichas arba Çatal Hüyük nebuvo.

Dar vienas senovės civilizacijos ir kultūros liekanas archeologai aptiko Indo upės dešiniajame krante, pietų Pakistano provincijoje Sinde. Senovės miestas Mohendžo Daras buvo vienas pagrindinių Indo slėnio civilizacijos miestų ir vienas svarbiausių miestų senovės pasaulyje, iškilęs tuo pat metu kaip Senovės Egiptas ir Mesopotamija. Mohendžo Daras buvo įkurtas 2 600 m. pr. m. e., o po 900 metų, maždaug 1 900 m. pr. m. e., sugriautas. Mohendžo Daras buvo gerai suplanuotas stačiakampio plano miestas, pastatytas iš degtų sumūrytų plytų bei plaušaplyčių (1.10 pav.). Klestėjimo metu mieste galėjo gyventi apie 35 000 žmonių. Mieste buvo centrinė aikštė su giliu šuliniu, o individualūs ūkiai turėjo mažesnius šulinius. Nuotekos ištekėdavo dengtais latakais. Turtingesniuose namuose buvo pirtys. Rasta



1.9 pav. Çatal Hüyük kasinėjimų metu atkasti pastatų pamatai (James_Mellaart_and_his_team..jpg)

netgi šildomų grindų. Dalis namų buvo dviaukščiai, namai turėjo vidinius kiemelius. Mieste buvo didelis baseinas – 12 m ilgio, 7 m pločio ir 2,4 m gylio statinys, išklotas vandeniui nepralaidžiu bitumu. Miestą supo sienos su gynybiniais bokštais. Rasta bronzinė mergaitės skulptūra rodo, kad gyventojai žinojo bronzos gamybos ir liejimo technologijas. Akmeninė vyro skulptūra liudija aukštą ją padariusių žmonių estetinį lygį.

Atsitraukus ledynams, Europa per šimtus metų patyrė ciklinius drėgno ir sauso klimato laikotarpius. Ištirpusius ledynus pamažu keitė tundra, o vėliau – taiga ir miškai. Paleolito epochos žmonės, per stepes, taigą ar tundrą sekdami šiaurės elnių bandas, pamažu slinko į šiaurę. Gyventojus supantys brandūs miškai buvo ne tik medžioklės plotai, bet ir gera medžiaga būsto statybai. Neolito epochos žmonės, gyvenę dabartinės Vakarų Prancūzijos, Šveicarijos, šiaurės Italijos, Vokietijos ir Lenkijos teritorijose, kaip pagrindinę būsto statybinę medžiagą naudojo medieną. Prieš 9 000 m. jie statė didelius iki 30 metrų ilgio ir 5–8 metrų pločio būstus. Sienų vidiniai paviršiai buvo išlyginami ir baltinami. Pastate būdavo trys skirtingos zonos: centrinė zona



1.10 pav. Gatvių ir pastatų liekanos Mohendžo Dare (Moen Jo Daro (The Mond of the Deads).jpg)

buvo skirta maisto ruošimui ir miegojimui, pietinėje būdavo maisto atsargų saugykla, o šiaurinė zona buvo skirta galvijams ir paukščiams.

1991 m. Alpių aukštikalnėse buvo aptiktas mumifikavęsis „sniego žmogus“. Šis žmogus nešėsi tiek pat įrangos, kaip ir jį radę keliautojai. Jis turėjo varinių, titnaginių, kaulinių įrankių ir 6 rūšių malkų: šermukšnio, putino, liepos, sedulos, kukmedžio ir beržo. Jo drabužiai buvo pagaminti iš suktos žolės, medžių žievės, sausgyslių ir keturių rūšių odų: meškos, stirnos, ožio ir veršiuko. Nešėsi dvejopų grybų: vieni buvo kaip vaistai, kiti, pvz., pintis, – ugniai įskelti. Dar turėjo tuziną žolių ir pirito kibirkščiai įskelti. Žmogus gyveno Alpių slėnyje maždaug prieš 5 300 m., kai jau 2 000 metų Pietų Europoje buvo žemdirbystė. Šis žmogus naudojosi daugelio kartų patyrimu, nes gyveno pačioje žalvario amžiaus pradžioje, kai buvo pradėtas lydyti varis. Jo 99,7 % grynumo vario kirvio gamybai reikėjo lydymo krosnies, liejimo technologijos žinių. Drabužiuose rasti pelų likučiai buvo atsiradę nuimant grūdų derlių, kuris buvo užaugintas sukaupus sėklų ir jas įterpus į paruoštą dirvožemį. Praėjus daugiau nei 1 000 m. po šio žmogaus mirties, kiek toliau į vakarus, Mitenbergo regione (dabartinėje Austrijoje), gyveno žmonės, kurių svarbia veikla galėjo būti vario kasimas iš netoliese kalnuose randamų klodų ir lydymas. Gyvenantiems šaltame kalnų slėnyje naudingiau buvo išgauti varį ir jį mainyti, pavyzdžiui, į mėsą ir grūdus iš Dunojaus lygumų, negu auginti galvijus patiems. Surastas mumifikavęsis žmogus atskleidė, kad atsiradus žemdirbystei nesibaigė nuolatinis žemdirbių ir medžiotojų-rinkėjų tarpusavio smurtas. Šis žmogus mirė smurtine mirtimi. Kaip liudija tyrimai, nušovęs iš lanko du žmones ir nešęs ant nugaros sužeistą draugą, jis pats buvo nušautas iš nugaros strėle, kuri pervėrė peties arteriją. DNR tyrimu nustatyta, kad ant jo peilio liko ketvirtojo žmogaus kraujo. Kovos metu šis giliai perrėžė jo nykštį ir smogė mirtiną smūgį į galvą. Mirusiojo padėtis rodo, kad žudikas jį apvertė, ištraukė strėlę, bet akmeninis strėlės antgalis pasiliko jo kūne.

Apie 4 600–3 000 m. pr. m. e. europiečių kultūros pradėjo statyti statinius iš didelių akmenų, arba „megalitų“, svėrusių iki 30 tonų. Statiniuose buvo laidojimo ertmė ar kambarys, vertikalūs akmenys (menhirai), sustatyti apskritimo ar alėjos forma, pilkapiai. Daug diskutuojama apie šių apskritimo formos statinių funkciją (1.11 pav.). Pastaraisiais metais vyrauja nuomonė, kad jie buvo skirti



1.11 pav. Stonehendžas (D. Britanija) buvo statomas daugiau kaip tūkstantį metų (2006 Aug 06 025.JPG – Wikimedia Commons)

astronominiams matavimams, buvo ritualų ar kulto šventovė, senovės administravimo ar politinio bendravimo vieta, kaip, pavyzdžiui, Islandijoje veikiantis *Altingas*. Šiuolaikiniais fizikiniais datavimo būdais nustatyta, kad IV–II tūkst. pr. m. e. europiečiai nepriklausomai nuo Vidužemio jūros regiono kultūrų buvo sukūrę savitą civilizacijos lygį (įskaitant metalurgiją).

Homo erectus ir neandertaliečiai buvo puikūs medžiotojai, tokių pasaulyje vargu ar dar kada nors bus. Prieš 350 000 m. Nicos stovyklavietės pirmykščiams žmonėms ar į žmones panašioms būtybėms rengiant „planuojamą“ būstą reikėjo daug tarpusavyje bendrauti. Neandertaliečiai išgyveno tokiomis aplinkos sąlygomis, kurios netgi dabartinėms specializuotoms technologijoms būtų kietas riešutas.

Kol kas daug dvejonių kelia augalų sukultūrinimas ir gyvūnų prijaukinimas. Kažkokį bendrą vaizdą galima susidaryti nagrinėjant pirmykščio Irano ir Irako folklorą ir žaidimus. Mažuose kaimuose gyvenusios nedidelės gyventojų grupės rinko riešutus, pasėlių sėklas ir gabeno juos maišais. Su savo prekėmis jie keliavo pagal Levanto upes, Balkanus ir pasiekdavo Europą. Kiekvienoje vietovėje žmonės savas technologijas pritaikydavo prie vietinių sąlygų ir atvirkščiai.

Sumanesni žmonės reiškėsi kaip projektuotojai, irigacinių sistemų, visuomeninių pastatų, didelių kapaviečių ir įtvirtinimų statytojai.

Prieš keturis tūkstantmečius gyventojų populiacija augo greitai, todėl pirmykščiai žemdirbiai pragyvenimui turėjo ieškoti naujų žemių. Jų sklaidą lydėjo neolito epochos žemės ūkio technika ir technologijos. Primityvios bendruomenės buvo konservatyvios, tad nesėkmingi technologiniai eksperimentai joms buvo pražūtingi. Posakis – „jei veikia, tai geriau nieko nekeisk“ – gali būti gerokai senesnis, negu manome.

Vis dėlto primityvios technologijos negalėjo išmaitinti didelių populiacijų. Žmonės gyveno mažomis grupėmis, juos tikriausiai siejo glaudūs šeimos ryšiai. Teritorijos, reikalingos išgyventi tokioms grupėms, buvo didelės ir apibrėžiamos medžiojamų gyvūnų kiekio / grobio pusiausvyra. Tačiau kad ir kokie geri medžiotojai jie buvo, nudobto grobio išgyvenimui nepakako. Plintantys miškai ribojo didžiųjų bandų migracijos kelius, todėl žmogus buvo priverstas ieškoti alternatyvių išgyvenimo strategijų. Tokia nauja veiklos kryptimi tapo žemės ūkis, padėjęs sukurti maisto perteklių, paskatinęs populiacijų augimą ir padėjęs atsirasti civilizacijai. Pirmykščiai Zagros kalnų (Irane, Irake ir Pietryčių Turkijoje) žemdirbiai nusileido į didžiųjų upių Tigrio ir Eufrato lygumas ir jų derlingus dirvožemius. Šiose vietovėse greitai kaimai tapo miesteliais ir miestais. Mesopotamijoje ši plėtra prasidėjo 5 500 m. pr. m. e., kai joje įsivyravo šumerų kultūra. Per šį laikotarpį buvo plėtojami raštas ir metalurgija, vykdomos didelės statybos. Šio laikotarpio genezę rodo Uruko gyventojų centralizavimas: 5 000 m. pr. m. e. valstybėje buvo 146 kaimai, po 300 metų jų liko 76, o 4 400 m. pr. m. e. tebuvo 24 kaimai. Kaimų gyventojų skaičiaus nemažino nei karai, nei užkrečiamos ligos. Gyventojai kėlėsi į Uruką, Urą ir kitus ankstyvuosius miestus, arba „polius“, kaip vėliau juos vadins graikai. Šių jaunų civilizacijų žmonės pradėjo medžiagų „užkariavimą“, kuris tęsiasi jau daug tūkstantmečių.

KERAMIKOS SVARBA

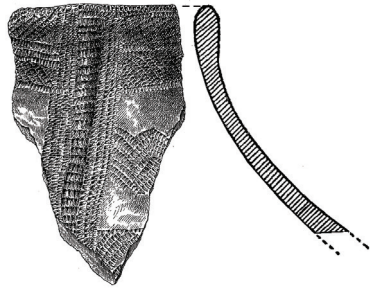
Beveik visų išsivysčiusių kultūrų (kinų, Kretos, graikų, persų, majų, japonų, korėjiečių, taip pat šiuolaikinės Vakarų Europos šalių) raidą archeologai dažnai vertina pagal keramikos gaminius arba šių gaminių duženas.

Archeologų surasti keramikos radiniai padeda suprasti praeities žmonių kultūrą, technologijas ir gyvenimo būdą. Keramikos šukės yra viena labiausiai paplitusių ir daugiausiai randamų archeologinių objektų. Keraminės medžiagos yra atsparios gniuždymui, rūgštinei ar šarminei aplinkai, tačiau silpnos veikiant šlyties ir tempimo įtempiams. Keramika gali išlaikyti 1 000–1 600 °C temperatūrą. Ankstyvoji žmonių gaminta keramika (puodai arba figūrėlės) buvo iš molio arba molio ir smėlio mišinio, sukietinto kaitinimu laužavietėse. Vėlesniais laikotarpiais keramika buvo glazūruojama ir išdegama. Šių technologinių procesų metu virš kristalinės sandaros substrato buvo sukuriamas amorfinės (stiklinės) medžiagos sluoksnis, suteikiantis gaminiui spalvą ir mažinantis substrato akytumą. Jau vėlyvajame paleolite kulto reikalams buvo lipdomos molinės statulėlės (1.12 pav.).



1.12 pav. Žemutinės Vestonicės (Moravija) Venera, apie 25 000 m. pr. m. e. (Vestonicka venuse edit.jpg)

Neolite iš molio pradėta lipdyti indus maistui gaminti ir laikyti. Iš pradžių indai buvo be dekoro, storomis sienelėmis, apvaliais arba smailėjančiais dugnais, vėliau atsirado dekoras (geometrinis). Vėlyvajame neolite indų formos ir dekoras jau buvo sudėtingesni. Pagal keraminių dirbinių puošybą, paskirtį ir gamybos būdą skiriamos šukinės duobėtosios keramikos, Dunojaus ir virvelinės keramikos archeologinės kultūros. Pirmykščiai nedegti molio keramikos gaminiai buvo pralaidūs vandeniui. Jie gaminti iš molio, kvarco ir lauko špato. Ankstyvoji keramika nuo viršaus iki apačios puošta įspaudais. 7 000–5 000 m. pr. m. e. ji buvo paplitusi Adrijos jūros pakrantėse (dab. Albanija, Serbija ir Juodkalnija, Pietryčių Italija) ir Vakarų Graikijoje (1.13 pav.). Įspaudinės keramikos kultūros žmonės gyveno kalnų pašlaičių urvuose ir atvirose gyvenvietėse. Šiai kultūrai būdinga gerai išdegta su smėlio, žvyro ar smulkinto titnago priemaišomis lipdytinė keramika, puošta sraigių kriauklelių, nagų ar pagaliukų įspaudais, ornamentais ir simboliais. Puodai dideli, daugiausia pusrutulio, kūgio formos arba ovalūs, plokščiu dugnu. Ankstyvieji puodai buvo gaminami vadinamuoju „vyniojimo“ metodu: gaminys lipdomas iš molio juostelių, o pabaigoje išlyginamas paviršius. Žiedimo ratas tikriausiai buvo išrastas



1.13 pav. Neolito įspaudinės keramikos indo kaklelio šukė. Cueva Grande de Collbató olos kasinėjimai, Ispanija (Cardial_fragmento.png)

Mesopotamijoje dar 4000 m. pr. m. e. ir išplito beveik visoje Eurazijoje bei daugelyje Afrikos regionų, nors Amerikos žemyne iki europiečių atvykimo jo nežinojo.

Jau prieš 5 000 m. egiptiečiai gamino pleišto pavidalo plytas pastatų skliautams mūryti. Nuo IV tūkst. pr. m. e. Egipte, Babilonijoje ir kitose Artimųjų Rytų šalyse naudotas žiedžiamasis ratas. Sukurta įvairaus dydžio ir formų plokščiadugnių puodų, dubenų, ąsočių (1.14 pav.).

Statyboje pradėtos naudoti molio plytos (iš pradžių džiovintos, vėliau degtos), interjerų ir eksterjerų sienos buvo dekoruojamos glazūruotomis plytelėmis. Nors keramikos figūrėlės aptinkamos labai ankstyvų Europos laikotarpių, visgi seniausi keramikos indai ar kiti kasdienio naudojimo daiktai yra kilę Rytų Azijoje 20 000–10 000 m. pr. m. e. Ekspertų manymu, pirmasis tikrasis porcelianas buvo pagamintas Kinijoje dar 1 000 m. pr. m. e. Tyrimai rodo, kad keramika buvo kietinama ją kaitinant iki 1 260–1 300 °C. Kinijoje jau IV tūkst. pr. m. e. keraminiai indai buvo puošiami spalvotais geometriniais ornamentais. Nuo II tūkst. pr. m. e. pradėta gaminti glazūruotus indus, keraminės plytos pradėtos naudoti architektūroje. Tuo laikotarpiu architektūrinė keramika, žaislai, skulptūrėlės, indai plito ir Indijoje. Didelę įtaką keramikos raidai turėjo senovės graikų *terakotos* technologijos ir dirbinių įvairovė. Terakota (it. *terra cotta* – degta žemė) – žemos degimo temperatūros,



1.14 pav. Keraminis indas, Mesopotamija, 4 500–4 000 m. pr. m. e. (Frieze-group-3-example1.jpg)

poringa, natūralios molio spalvos, kartais gludinta, dengta keraminiu laku arba spalvinta *angobu* keramika. Angobas – plonas balto arba spalvoto molio, porceliano sluoksnis, kuriuo dengiamas padžiovinto arba išdegto keramikos dirbinio paviršius. Padengtas angobu dirbinys dar kartą išdegamas. Angobu išlyginamas rupus paviršius, pakeičiama spalva, sumažinamas dirbinio sienelių pralaidumas skysčiui. 1974 m. Kinijoje atrasta tūkstantinė pirmojo Kinijos imperatoriaus Čin Ši Huango (259–210 m. pr. m. e.) terakotinių karių ir arklių figūrų armija (1.15 pav.), tarp jų yra kovos vežimai, valdininkai, akrobatai, stipruoliai ir muzikantai. Terakotiniai kariai buvo puošniai išpiešti. Rasta per 8 000 karių, 130 karo vežimų su 520 arklių, 150 arklių su raitininkais ir 40 000 ginklų. Figūros datuojamos 210 m. pr. m. e. Kiekviena skulptūra buvo unikali, padaryta iš atskirų dalių. Priklausomai nuo vaidmens figūrų aukštis svyruoja nuo 183 cm iki 195 cm. Šio imperatoriaus mauzoliejų statė 700 000 darbininkų, statyba truko 36 metus. Terakota buvo naudojama gėlių vazonams, vandens ir nuotekų vamzdžiams, plytoms bei pastatų paviršiams puošti, įvairiems keraminio meno gaminiams.

Senovės romėnų keraminiai indai buvo puošiami reljefiniu, dažniausiai augalinių motyvų ornamentu, dažomi raudonu laku. Ypač plito plytų, čerpių, laidojimo urnų, puoštų reljefinėmis kompozicijomis, gamyba. Vidurinės Azijos, Užkaukazės, arabų šalyse buvo paplitę įvairių formų ir puošybos buitiniai bei dekoratyviniai indai, architektūriniai dirbiniai. Pastatų sienos buvo



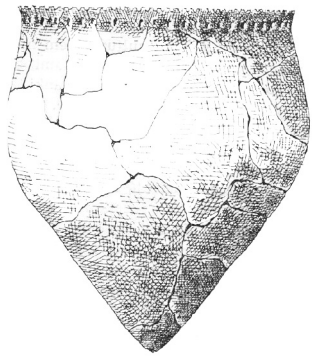
1.15 pav. Terakotinių karių eilės iš nugaros (Terracota warriors 002.jpg)

puošiamos spalvotų arba reljefinių plytelių raštais (X–XV a. Samarkando, Bucharos polichrominė mozaikų keramika).

Lietuvos teritorijoje nuo IV tūkst. pr. m. e. buvo naudojami rankomis lipdyti mažai profiliuoti smailiadugniai arba plokščiadugniai mažai degti moliniai puodai. Puodų kakleliai buvo puošiami įspaustų duobučių ornamentais. Buvo naudojami ir dideli neornamentuoti storasieniai puodai. Maždaug V–IV tūkst. pr. m. e. tarp Narvos upės Estijoje ir Nemuno Lietuvoje buvo paplitusi ankstyvojo ir vėlyvojo neolito, o šiaurinėje dalyje – ir bronzos amžiaus pradžios archeologinė *Narvos-Nemuno kultūra*. Šiai kultūrai buvo būdingi smailiadugniai plačiaangiai mažai ornamentuoti puodai, pailgi dubenėliai (1.16 pav.).

III–II tūkst. pr. m. e. plito rutulio ar taurės pavidalo plačiadugniai puodai, dubenėliai, puošti šukomis įspaustų duobučių eilėmis, virvelėmis, įrėžta eglute ir kt. raštais. Vėlyvajame neolite iš Vidurio Europos pietų ir pietvakarių į Lietuvos teritoriją atsikėlė virvelinės keramikos kultūros indoeuropiečiai – etninė-gentinė grupuotė, išplatinusi virvelinės keramikos kultūrą III tūkst. pr. m. e. Šie žmonės naudojo virvelinę puošybą, gamino plokščiadugnius puodus, į molį įmaišydami grūsto granito, todėl keramika buvo patvaresnė. Puodai turėjo nedideles storokas ąseles (kai kur su skylutėmis virvelei įverti) arba prilipdytus atsikišimus.

Žalvario amžiaus indai dažniausiai buvo padaryti iš rupios molio masės, mažai ornamentuoti. I tūkst. pr. m. e. pabaigoje Rytų Lietuvoje plito gerai



1.16 pav. Narvos kultūros smailiadugnis plačiaangis puodas (Narva-vessel.jpg)

išdegti kibiro pavidalo puodai be ąsų, su žemais stačiais kakleliais. Jų sienelės buvo lygios arba puoštos vertikaliais, kai kada įstrižais brūkšneliais, peteliai – įspaustų duobučių eilėmis. Mūsų eros pradžioje Žemaitijoje, pietvakarių Užnemunėje ėmė plisti grublėto paviršiaus mažai ornamentuoti vazono pavidalo indai. Lygaus ir grublėto paviršiaus indai ilgainiui paplito visoje Lietuvoje ir buvo naudojami iki IX–X amžiaus. Žiedžiamasis ratas Lietuvoje pradėtas naudoti nuo X amžiaus.

XVII a. pabaigoje Prancūzijoje sukurtas *minkštasis*, XVIII a. pr. Vokietijoje (Meisene) – *kietasis porcelianas* greitai paplito visoje Europoje ir galutinai nurungė ilgaamžę Kinijos porceliano hegemoniją.

2 SKYRIUS
MEDŽIAGŲ NAUDOJIMO PRIEŠISTORĖ

Paleolito amžiuje žmonės pasidarydavo tik primityvius įrankius ir ginklus, neolito laikotarpiu kaplius, kirvius, ginklus ir medžioklės įrankius gamino iš akmens. Ankstyvieji žemdirbiai (Natufijos kultūra, 12 500–9 500 m. pr. m. e.) egzistavo Vidužemio jūros rytinėje dalyje esančiame Levante. Natufijos bendruomenės galėjo būti pirmieji anksčiausiai pasaulyje atsiradę neolito gyvenviečių statytojai. Yra šiek tiek įrodymų, kad šio laikotarpio bendruomenės augino grūdines kultūras, ypač rugius. Natufai maistui naudojo laukinius javus, medžiojo antilopes (gazeles), svarbiausias jų įrankis buvo akmeninis pjautuvo formos peilis. Žmonės gyveno mažuose bendruomeniniais ryšiais susietuose kaimuose. Bendruomeninę struktūrą atspindėjo būsto konstrukcija – ilgi pastatai, kuriuose tilpdavo daugiau negu viena šeima. Miškingose vietovėse statyboms buvo naudojama mediena, Egipte – akmuo, Mesopotamijoje – plytos, Kinijoje – mediena. Penkiuose svarbiausiuose pasaulio regionuose augalų ir gyvūnų domestikacija vyko tuo pačiu metu. Šie žmonijos raidos „branduoliai“ įsikūrė Tigro ir Eufrato upių slėnyje, Egipte (Nilo slėnyje), Kinijoje ir Pietryčių Azijoje, Afrikoje, Meksikoje ir Peru. Tai, kad čia kūrėsi pirmosios valstybinės sandaros bendruomenės, galėjusios suburti daugiau žmonių inžineriniams darbams arba pasiskirstyti pagal darbų pobūdį, nebuvo atsitiktinumas.

ŠUMERAS IR EGIPTAS

Artimuosiuose Rytuose, tarp Tigro ir Eufrato upių, žmonių gyventa jau prieš 8 000 metų. Maždaug prieš 7 000 metų čia staiga atsirado labai išsivysčiusi civilizacija. Iki šiol tvirtai nėra žinoma, iš kur ji atėjo. Jų išvaizda, kalba, kultūra buvo visiškai svetimi gentims, gyvenusioms tais laikais Mesopotamijoje. Dar daugiau – šumerų kalba negimininga nė vienai iki

mūsų laikų išlikusiai kalbai. Šios civilizacijos laimėjimai praktinėje žmogaus veikloje ir įvairiose mokslo srityse stebina ir šiandien. Jos kultūrą ar elementus vėliau paveldėjo akadai, asirai, chaldėjai, iš dalies hetitai ir netgi persai, graikai ir romėnai. Didžiausia šumerų civilizacijos palikimo vertė – išlikę jų tekstų įrašai. Šumerai rašė ant drėgnų molio plytelių, kurias vėliau išdegindavo kaip plytas. Dalis įrašų raižyta kalkakmenio plytelėse ir stelose. Pradžioje šumerai naudojo simbolių rašmenis, panašiai kaip tai vėliau darė egiptiečiai, vėliau sukūrė dantiraštį, kurio principus iš jų perėmė kitos tautos. Didžiausias jų rašto paminklas yra epas apie Gilgamešą (XXVI a. pr. m. e.) – Uruko miesto-valstybės Šumere valdovą. Jame aprašoma Gilgamešo kelionė ieškant nemirtingumo paslapties ir kiti nuotykiai. Legenda apie Gilgamešą paplito tarp hetitų, churitų, Palestinoje ir kitur. Mokslininkai suskaičiavo, kad net 39 dabar naudojamų daiktų sukūrimas priskirtinas šumerams. Jie sugalvojo ratą, mokyklą, dviejų rūmų parlamentą, kažką panašaus į laikraštį ar žurnalą. Pirmieji užsiėmė kosmogonijos ir kosmologijos mokslais, sugalvojo pinigus, mokesčius, leido įstatymus, vykdė socialines reformas, daug pasiekė medicinoje (naudojo vaistų receptus, mokėjo amputuoti nesveikus organus, suauginti lūžius, aprašė higienos taisykles, kataraktos pašalinimą, spirito naudojimą dezinfekcijai), sukūrė šešiasdešimtainę skaičiavimo sistemą, irigacijai panaudojo vandens kėlimo rato, akvedukų, drenažo vamzdžių ir kanalų sistemą, balino ir dažė drabužius, mokėjo lituoti, kniedyti ir raižyti metalą, gręžimui naudojo deimantą. Pirmą krosnį plytoms degti irgi pastatė šumerai. Kai baigėsi vario grynuolių atsargos, jie išrado metalų lydymo iš rūdos technologiją, kaitindami vario rūdą daugiau kaip 800 °C temperatūroje uždaroje krosnyje, į kurią patekdavo mažai deguonies. Šumerų civilizaciją atrado ne archeologai, o lingvistai – analizuodami dantiraščio tekstus jie aptiko iki šiol nežinomos tautos pėdsakus. Ji buvo maždaug 800 metų senesnė už Egipto, apie 1 000 metų – už Indijos, o asirai, hetitai, lioniečiai, finikiečiai pasirodė dar vėliau.

Šumero regione nebuvo daug gamtinių išteklių, todėl vietinė šumerų žaliava buvo molis, nendrės, o irigaciniai įrenginiai padėjo auginti žemės ūkio produktus. Tigro ir Eufrato slėnio gyventojai, neturėdami medienos, statyboms naudojo dumblą ir nendres. Čia pirmą kartą viena statybinės medžiagos forma virsta kita – ilgą laiką naudotas dumblas virsta plytomis.

Ankstyvosios Tigro ir Eufrato tarpupio šumerų bendruomenės statė būstus iš nendrių, kurios gausiai augo upių pakrantėse ir kurių aukštis siekė net 10 metrų. Nendrės buvo rišamos į storus paketus – *fašinas*, kurie kaip statramsčiai buvo statomi vertikaliai. Plonesnius nendrių ryšulius horizontaliai pririšus prie vertikalių buvo formuojamas pastato sienos rėmas, ant kurio užtempiami nendrių dembliai. Baigiamasis statybos etapas buvo stogas. Aukštų vertikalių fašinų viršus buvo lenkiamas į vidų, kol susiliesdavo su kitos sienos išlenktais meldų ryšuliais. Ant šių „gegnių" buvo klojami ir rišami nendrių ryšuliai. Priklausomai nuo fašinų išlenkimo stogas būdavo pusiau apvalaus skliauto arba smailios arkos formos. Vis dar neaišku, kaip nuo nendrinių būstų buvo pereita prie statybos iš plytų. Nendriniai namai teikė pakankamą prieglobstį, jei nebuvo vėjo ar lietaus, todėl kitas žingsnis buvo sienų ir stogo sandarinimas dumblo sluoksniu. Šie būstai turėjo vieną didelį trūkumą – galėjo lengvai užsidegti, todėl ugniavietę dengdavo dumblo stogeliu. Archeologai sudegusių nendrinių pastatų viduje randa išlikusius keramikinius ugniaviečių „stogelius". Labai tikėtina, kad mūrinės konstrukcijos koncepciją paskatino tokia atsitiktinė patirtis.

Pirmuosius reikšmingesnius žmonių gyvenimo sąlygų pokyčius lėmė prieš 3 000 m. pr. m. e. prasidėjęs miestų augimas. Miesto ir kaimo gyventojų buitis išsiskyrė: kaimo žmonės užsiėmė žemės ūkio produktų gamyba, o miestų gyventojų ši veikla buvo ribota.

Dideli miestai neatsirado staiga ir pastatų statybos būdai keitėsi labai pamažu, nes dauguma ankstyvųjų žinių buvo vien tik iš kartos į kartą perduodama patirtis. Prieš 3 000 m. pr. m. e. daugelis pastatų buvo iš nendrių arba iš dumblo-molio plytų (2.1 pav.).

Vėliau pastatai įgyja ir architektūrinę funkciją. Daugiausiai žinių apie Mesopotamijos inžineriją suteikia senųjų miestų griuvėsiai. Kasinėjimų metu buvo surastos šventyklų, arba zikuratų, liekanos. Zikuratas – tai keturkampis, laiptuotas, 3–7 aukštų į viršų siaurėjantis statinys su aikštele viršuje, skirtas religiniams tikslams. Jis simbolizavo žemę ir dangų jungiančius laiptus. Aukšti zikuratai kažkiek yra panašūs į šiuolaikinius dangoraižius. Zikuratas buvo statomas iš saulėje džiovintų plytų, sutvirtintų nendrių plaušų, smėlio ir mėšlo mišiniu. Pastatyti aukštas sienas iš saulėje džiovintų molio plytų dėl didelių gniuždymo jėgų buvo neįmanoma. Norėdami sumažinti vertikalią



2.1 pav. Plaušaplytės (Milyanfan-adobe-bricks-8038.jpg)

apkrovą statytojai ant žemės pylimo, supilto už pirmosios sienos, mūrydavo antrą sieną, o jeigu reikėdavo, tai ir daugiau tokių sienų. Sienų paviršiai buvo dengiami degtų plytų ir akmenų danga. Plytų rišimui buvo naudojamas asfaltas arba bitumas. Siekiant dar labiau sumažinti plytų mūro statinį spaudimą ir pagerinti vandens nutekėjimą, į tarpus buvo dedami išmirkyti bitume nendrių dembliai. Zikurato pakopos būdavo dažomos skirtingomis spalvomis: apačia – juodai, vidurinė pakopa būdavo plytų spalvos, o trečią, aukščiausią, pakopą šumerų statybininkai nubaltindavo. Svarbiausia zikurato dalis – aukštas bokštas, kurį supdavo plokščios terasos, todėl susidarydavo įspūdis, kad zikuratas yra keli vienas ant kito užkelti bokštai. Tose terasose greičiausiai buvo sodinami augalai. Prie zikurato buvo turgus, maisto sandėliai, svirnai, diendaržiai galvijams, kepyklos, alaus daryklos, amatininkų dirbtuvės.

Augantys miestai kėlė ir problemų, kurias palaipsniui sprendė hidraulinė inžinerija. Kritulių nuotekoms šalinti buvo statomi atviri drenažo grioviai. Užtvankos, rezervuarai ir kanalai padėjo kontroliuoti potvynius, sukaupti vandenį laukų drėkinimui. Miestų gyventojams reikėjo daug vandens, todėl vanduo iš artimiausių šaltinių tuneliais ar kanalais tekėjo į miestuose įrengtus baseinus. Kartais vanduo vandens kėlimo ratu buvo keliamas iš irigacinių griovių ar kanalų. Vandens kėlimo rato skersmuo siekė 6 ar daugiau metrų. Vandens perteklius buvo nukreipiamas į gamtines

dykumos įdubas, kurios kartais apėmė apie 1 700 km^2 plotą, o sukaupto vandens gylis galėjo siekti 7 metrus. Laukų drėkinimui reikėjo labai daug vandens, nes tik apie 25 % irigaciniais kanalais paduodamo vandens buvo panaudojama pasėlių auginimui, dėl didelio garavimo ir susigėrimo į gruntą 75 % jo buvo prarandama.

Šumerui ir visai Mesopotamijai pagrindiniu vandens šaltiniu buvo Tigro ir Eufrato upės. Tiek vandens debitu, tiek srovės stipriu abi upės yra gana skirtingos. Armėnijos kalnyno priekalnėse prasidėjęs Tigras ties Kurnos miestu susilieja su Eufratu ir sudaro Šat el Arabos upę, įtekančią į Persų įlanką. Tigro upė plukdo maždaug 2,5 karto daugiau vandens negu Eufratas ir yra už jį gilesnė. Tigro vandeniu buvo laistoma žemė kairiajame, arba vakariniame, upės krante. Eufrato vaga yra aukščiau aplinkinių lygumų, todėl sunkio veikiamą vandenį buvo lengviau nukreipti į drėkinimo kanalus. Tiek Mesopotamijoje, tiek ir Egipte vanduo buvo svarbus žemdirbystei, tačiau sąlygos labai skyrėsi (2.1 lentelė). Miestų plėtra, politinių, ekonominių, religinių ir socialinių struktūrų pokyčiai skatino inžinerijos vystymąsi, o ši darė įtaką politikai, ekonomikai, religijai ir socialiniam gyvenimui.

Matematika ir raštas. Šumerų inžinieriai žinojo stačiakampio trikampio skaičiavimus ir naudojo juos žemės plotams apskaičiuoti, mokėjo apskaičiuoti sumūryto mūro ar kanalu tekančio vandens tūrį.

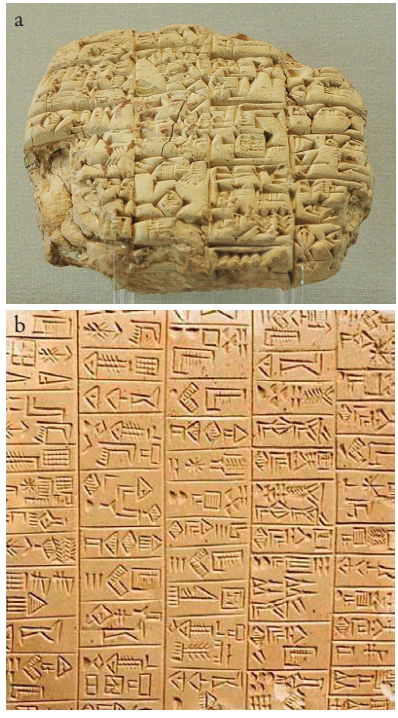
Dantiraštis, arba *pleištaraštis* – rašto sistemų grupė, III–I tūkst. pr. m. e. naudota Mesopotamijoje. Nuo kitų senovės Artimuosiuose Rytuose naudotų rašto sistemų skyrėsi pirmiausia danties formos ženklais bei horizontaliais ir vertikaliais brūkšneliais. Užuot brėžus linijas molyje, buvo greičiau tam tikra tvarka įspausti brūkšnelius. Taip susiformavo ankstyviausias dantiraščio variantas – šumerų dantiraštis. Dantiraščio įrašai galėjo būti iškalami akmenyje, įrašyti odoje, papiruse, vaško lentelėse, tačiau dažniausiai jie buvo įspaudžiami dar minkštose molio lentelėse. Paprastai naudotos stačiakampės 2,5 cm storio įvairių matmenų lentelės, pavyzdžiui, Ea-nasir molio lentelė, parašyta 1750 m. pr. m. e., yra 11,6 cm aukščio, 5 cm pločio, 2,6 cm storio. Buvo naudojamos ir kitos formos – molinės vinys ar moliniai cilindrai. Ženklai buvo įspaudžiami specialiu nendriniu įrankiu *kalamu*. Kadangi molis greitai džiūdavo, dirbti reikėjo labai greitai. Įrašyta lentelė buvo džiovinama saulėje. Ypač svarbūs dokumentai buvo degami krosnyse ir vėliau archyvuojami, todėl išliko tūkstančius

2.1 lentelė. Irigacijos sąlygų palyginimas Senovės Egipte ir Mesopotamijoje

Veiksnys	Egiptas	Mesopotamija
Klimatas	Pusiau tropinis	Žemyninis
– vidutinė vasaros temperatūra	43 °C	48 °C
– vidutinė žiemos temperatūra	12 °C	12 °C
Potvynio laikas	Rugpjūtis–spalio pradžia	Balandis–birželio pradžia
Metų laikas po potvynio	Žiema	Vasaros karščiai
Derliaus ir potvynio ryšys	Žieminių ir vasarinių kultūrų auginimo metas	Nebetinkamas metas žieminėms kultūroms
Vandens lygio kilimas ir kritimas	Lėtas ir aiškus kilimas ir kritimas	Staigus kilimas ir kritimas
Upės vagos profilis	Nėra netekančio vandens	Vandens balos, tvenkiniai, pelkės
Nuogrimzdų rūšis ir kiekis	Bedruskės nuogrimzdos, nedidelis kanalų užduMblėjimas	5 kartus druskingesnės nuogrimzdos, greitas kanalų užduMblėjimas
Irigacijos poveikis žemės ūkio naudmenoms	Irigacija išplauna druskas iš dirvožemio, kanalai nedaug užduMblėja	Druskų ir šarmų junginiai kaupiasi dirvožemyje, kanalai greitai užduMblėja

metų. Buvo galima aprašyti abi lentelės puses. „Knygą“ sudarydavo kelios dešimtys ar net šimtai numeruotų lentelių. Tokios knygos buvo saugomos gerai tvarkomuose archyvuose ir bibliotekose.

IV tūkst. pr. m. e. pabaigoje atsiradęs dantiraštis iš tiesų buvo piktografinis raštas, kurio atskiri ženklai buvo labai panašūs į savo realius prototipus. Apie 2 600 m. pr. m. e. šumerų piktogramos įgijo abstrakčius pavidalus, nedaug siejamus su realiu prototipu, t. y. tapo ideografiniu raštu (2.2 pav., a). Nuo III tūkst. pr. m. e. antros pusės dantiraštyje mažėjo ideogramų, daugėjo silabogramų, ilgainiui susiformavo „skiemenynai“, labai sumažėjo naudojamų ženklų skaičius. I tūkst. pr. m. e. pradžioje kai kuriose kalbose iš viso atsisakyta ideogramų ir dantiraštis tapo visiškai fonografinis.



2.2 pav. Šumerų dantiraščio tekstas: a – 2 400 m. pr. m. e. (Issue of barley rations. JPG), b – trikampio profilio lazdele atliktas raštas (Sumerian 26th c Adab.jpg)

Šumerų raštą perėmė eblai, akadai, hetitai, urartiečiai, elamiečiai, luviečiai ir daugelis kitų tautų ar valstybių. Mesopotamijoje buvo gausūs molio klodai, todėl jis buvo naudojamas ne tik pastatams, bet ir molio lentelėms. Suvokta, kad molyje lengviau daryti įspaudus, o ne jį pjaustyti.

Šumerai įvairius ženklus molyje įspaudinėjo trikampio profilio lazdele – taip pleišto formos įspaudai tapo rašymo sistema (2.2 pav., b).

Šumerų ideografinis raštas apie 3 200–3 100 m. pr. m. e. galėjo išreikšti simboliais tokias sąvokas kaip „vaikščioti“, „paimti“ ir t. t. Tokiai vaizdinei rašymo sistemai, pagrįstai bendrų sąvokų ženklais, reikėjo apie 2 000 ženklų. Į klausimą, kodėl šumerų skaičiavimo sistema pagrįsta skaičiumi 60, o ne 10, kaip kad yra šiandien, kol kas atsakymo nėra. Dar galima pridurti, kad Mesopotamijos civilizacijos išvystė ratų transportą, rašytines teisines nuostatas, pirotechnologiją (stiklo, metalų gamyba). Chronologinis Šumero ir Egipto palyginimas yra pateiktas 2.2 lentelėje.

Egiptas. Egipto civilizacijos raidą galima atsekti iki 4 000 m. pr. m. e., kai po ilgų vidaus kovų valstybė buvo suvienyta. Nuo karalystės iki imperijos Egiptas keitėsi lėtai. Senosios karalystės laikotarpiu (2 650–2 175 m. pr. m. e.) įsitvirtino faraonų kultas, suklestėjo kultūra, buvo statomos piramidės. Tai buvo valstybės stabilumo ir klestėjimo laikotarpis. Žlugus aštuntajai dinastijai prasidėjo suirutė, įsigalėjo lokalios dinastijos, tarp kurių stipriausios buvo Tėbuose (XI–XII dinastijos) ir Herakleopolyje (IX–X dinastijos).

2.2 lentelė. Šumero ir Egipto raidos palyginimas

Šumero regionas	
534–330 m. pr. m. e.	Persų imperija
612–534 m. pr. m. e.	Antroji Babilono imperija
1 350–612 m. pr. m. e.	Asirų imperija
1 990–1 790 m. pr. m. e.	Pirmoji Babilono imperija
2 900–1 990 m. pr. m. e.	Šumerų civilizacija
Nilo slėnio regionas	
715–332 m. pr. m. e.	Vėlyvasis laikotarpis
1 069–715 m. pr. m. e.	Trečiasis tarpuvaldis
1 550–1 069 m. pr. m. e.	Naujoji karalystė
1 640–1 550 m. pr. m. e.	Antrasis tarpuvaldis
2 055–1 640 m. pr. m. e.	Vidurinė karalystė
2 160–2 055 m. pr. m. e.	Pirmasis tarpuvaldis
2 613–2 160 m. pr. m. e.	Senoji karalystė
2 950–2 613 m. pr. m. e.	Ankstyvasis dinastinis laikotarpis
5 300–2 950 m. pr. m. e.	Priešdinastinis laikotarpis

Vidurinės karalystės laikotarpiu vėl atkurta faraonų valdžia, suklestėjo literatūra, valstybės sostine tapo Memfio miestas. Pietinė siena pasiekė antruosius Nilo slenksčius (antrasis, arba Didysis, slenkstis buvo Nubijoje ir dabar yra paniręs po Nasero tvenkiniu). Faraonai pradėjo varžytis su besiplečiančia Hetitų imperija, įsikūrusia Anatolijoje (dabartinėje Turkijoje) ir Palestinoje. Šiuo laikotarpiu pasirodė pirmosios Vidurinės karalystės šventyklos (Amono šventykla Karnake ir Amenemio III Sobeko šventykla Medinet Madi). Tikėtina, kad statant naujas šventyklas buvo perstatomos senosios ar naudojamos jų liekanos. Pirmajame Nilo slenkstyje (Egipte ties Asuanu) iškasus kanalą, valtys netrukdomos galėjo plaukti nuo antrojo Nilo slenksčio iki Vidužemio jūros. Suirus Vidurinei karalystei, žlugo Žemutinio ir Aukštutinio Egipto dalių vienybė. Beveik tuo pačiu metu Egiptas patyrė pirmą tikrą užsienio invaziją – į šalies šiaurę įsiveržė klajokliai *hiksai*, prasidėjo antrasis suirutės laikotarpis.

Vieningą Egipto valdžią atkūrė Tebų kunigaikščiai, kai 1 567 m. pr. m. e. įsikūrė XVIII dinastija. Naujosios Egipto karalystės (1 580–1 080 m. pr. m. e.) metais neregėtai išaugo jos karinė galybė. Faraonų Sečio I, Ramzio II, Akenatono ir Tutanchamono armijos veržėsi į pietus (Kušą) ir šiaurę (Kanaaną ir Siriją), plėsdamos imperiją. Vėlyvuoju laikotarpiu Egiptas pamažu neteko savo galios. Paskutinė egiptietiškos kilmės dinastija žlugo XI a. pr. m. e. Nuo to laiko, pradedant XXI dinastija, Egipte vis labiau įsigalėjo svetimšaliai valdovai. Iki 715 m. pr. m. e. Egiptas buvo susiskaldęs, dalį jo valdė berberai libiai, vėliau šalyje įsigalėjo pietiniai kaimynai nubiai. 525 m. pr. m. e. Egiptą užvaldė Achemenidų imperija. 332 m. pr. m. e. jį užkariavo Aleksandras Makedonietis, ir nuo 306 m. pr. m. e. čia ėmė viešpatauti graikai Ptolemėjai. 30 m. pr. m. e. Egiptą užėmus Romos Respublikai jis buvo paverstas Romos imperijos provincija.

Egiptas klestėjimo metu buvo viena labiausiai apgyvendintų šalių. Apie 29 000 km^2 plote gyveno 8 mln. gyventojų (2017 m. – 95 mln.). Iš rytų pusės ribojamas Nilo upės, iš vakarų pusės – Nubijos dykumos, šiaurėje – Viduržemio jūros, Nilo slėnis nutįso giliai į Afrikos pietus, sukurdamas didelius žemdirbystei tinkamus žemės plotus, kuriuose gyventojų tankis siekė 275 gyventojai / km^2.

Drėkinamoji žemdirbystė. Drėkinimas buvo esminis Egipto išlikimo ir klestėjimo pagrindas. Kaip ir Mesopotamijoje, čia nebuvo galima kliautis, kad gamta visada užtikrins nuolatinį ir pakankamą vandens kiekį. Nilas drėkino visą slėnį – pasitelkę sukauptas mokslo žinias, egiptiečiai sugebėjo panaudoti jo vandenį. Tebų valdovai (2 000–1 788 m. pr. m. e.) Fajumo dykumoje (šiaurės rytinis Libijos dykumos pakraštys), 130 km į pietvakarius nuo Kairo, iškasė didelį baseiną. Dabar čia telkšo Karūno ežeras, kanalu sujungtas su Nilu. Žemutinio Nilo vakarų kraštas tapo derlinga ir gausiai apgyvendinta žeme. Per griovas buvo statomos užtvankos ir šioje gamtinėje įduboje kaupiamas lietaus ar drėgnojo sezono vanduo. Viena iš tokių užtvankų buvo 250 m ilgio, jos pagrindas buvo 143 m pločio ir buvo keturis kartus didesnis už užtvankos aukštį. Užtvanka buvo statoma sluoksniais, dugne klojami stambūs akmenys, o tarpai tarp jų užpildomi moliu. Nuo viršaus iki apačios išorinis užtvankos paviršius pakopomis buvo padengtas kalkakmenio ar akmenų danga. Tokia konstrukcija saugojo užtvanką nuo vandens, tekančio per užtvankos viršų, ardančio poveikio.

Trečiajame tūkstantmetyje pr. m. e. egiptiečių naudojami inžineriniai metodai buvo susiję su aplinka. Tuos pačius metodus jie taikė daugiau kaip 30

šimtmečių, iki pat jų šalies kaip atskiro subjekto egzistavimo pabaigos. Egipto inžinerijos pobūdį lėmė trys pagrindiniai veiksniai. Pirmiausia buvo didelė žmonių darbo jėgos pasiūla. Arklys darbams nebuvo naudojamas, nes Egipte apie jį nežinota iki maždaug 1 700 m. pr. m. e. Egipto valstietis visada tikėjosi, kad jis bus pakviestas viešiesiems darbams, kai klimatas ir upė neleis jam užsiimti žemės ūkio darbais savo laukuose. Kitas svarbus veiksnys buvo vienvaldė šios darbuotojų armijos kontrolė. Ir trečias svarbus veiksnys buvo dideli statybinio akmens kiekiai Aukštutinio Nilo slėnyje. Kalkakmenio, smiltainio ir granito karjeruose iškertami 2,5–30 tonų gabalai buvo naudojami didžiausių ir seniausių pasaulyje akmens konstrukcijų statybai. Akmeniniai, dažniausiai vieno gabalo, obeliskai svėrė per 1 000 tonų. Karjeruose šiems darbams egiptiečiai naudojo tik paprasčiausias mechanines priemones. Uolienos paviršiuje pažymėdavo reikiamus matmenis ir formą, plaktuku, kūju ir kirstuku iškaldavo griovelius, į juos įstatydavo slankias plonas metalines plokšteles, tarp kurių kaldavo bronzinius kylius ar pleištus tol, kol uoliena trūkdavo.

Matininkai ir matematikai. Egipto matininkai žinojo, kad stataus trikampio statinių kvadratų suma yra lygi įžambinės kvadratui. Jie mokėjo apskaičiuoti reikalingą kietųjų medžiagų kiekį, piramidės pagrindo ilgio ir jos aukščio santykį ar nustatyti nuožulnumą. Skaičiavimams jie naudojo dešimtainę sistemą, žinojo skaičiaus π (santykio tarp apskritimo ir skersmens) reikšmę. Egiptiečiai naudojo savitus skaičių ženklus (2.3 pav.): 1 buvo vaizduojamas vertikaliu brūkšniu, 10 – galvijų pančiais, 100 – susuktu palmės lapu, 1 000 – lotoso žiedu, 10 000 – iškeltu pirštu, 100 000 – buožgalviu arba varle ir milijonas – dievo figūra iškeltomis į viršų rankomis. Senovės egiptiečiai naudojo trupmenas su vienetu vardiklyje, pvz., 1/4, 1/7, 1/15. Kitas trupmenas užrašydavo sudėtimi, pvz., 4/7 = 1/2 + 1/14. Rašydami trupmenas egiptiečiai prieš vardiklį parašydavo raidės r hieroglifą, kuris reiškė „dalis“ (2.4 pav.).



2.3 pav. Egiptietiški skaitmenys



2.4 pav. Egiptietiški trupmenų ženklai (1/3; 1/5; 1/6; 1/10; 1/100)

Senovės egiptiečiai buvo sukūrę ilgio matavimo sistemą. Visi matai buvo paremti žmogaus kūno dalių ilgiais. Pagrindinis ilgio matavimo vienetas *uolektis* buvo atstumas nuo alkūnės iki ištiesto vidurinio piršto galo. Kadangi žmonių kūnai skirtingi, buvo padarytos kiekvieno mato standartinio ilgio lazdelės, labai panašios į dabar naudojamas liniuotes. Egiptiečiai įvedė kai kuriuos matų pavadinimus: *uolektis*, *delnas* (1/7 uolekties) ir *pirštas* (1/4 delno, 1/28 uolekties).

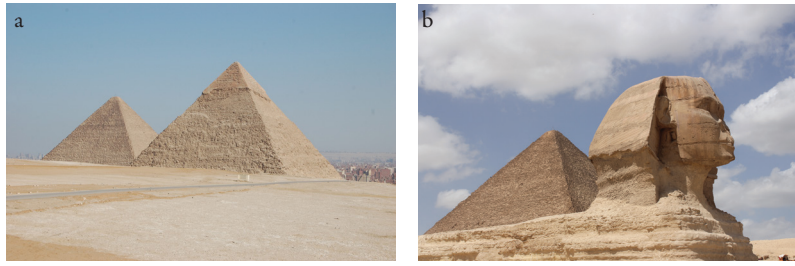
Piramidės ir šventyklos. Maždaug apie 3 200 m. pr. m. e. mirusieji buvo laidojami didelėse molio plaušaplyčių arba akmens blokų kapavietėse – *mastabose*. Mastabos – apie 40 m^2 ploto ir 8 m aukščio stačiakampiai statiniai. Mastabą sudarė požeminė ir antžeminė dalys. Požeminėje dalyje buvo laidojimo patalpa, antžeminėje – viena arba kelios patalpos mirusiojo statulai ir apeigoms. Abi dalis jungė koridorius. Laikui bėgant kapavietės ženkliai keitėsi. Po mastabų atsirado didelės *laiptuotosios piramidės*. Laiptuotoji piramidė yra architektūrinė konstrukcija iš plokščių, viena ant kitos pastatytų mažėjančio perimetro platformų, kuri užbaigiama į geometrinę piramidę panašia forma. Jos buvo beveik dvigubai didesnės už mastabas, o keturių ar šešių pakopų piramidžių aukštis padidėjo iki 70 metrų. Laiptuotoji Sakaros piramidė, tarsi sudaryta iš į viršų mažėjančių 6 mastabų, buvo pastatyta 2 630–2 611 m. pr. m. e. (2.5 pav.).

Ketvirtosios dinastijos metu valdant faraonui Cheopsui (Chufui) buvo pradėta statyti didelė piramidė, turėjusi būti jo kapaviete. 2 700–2 550 m.



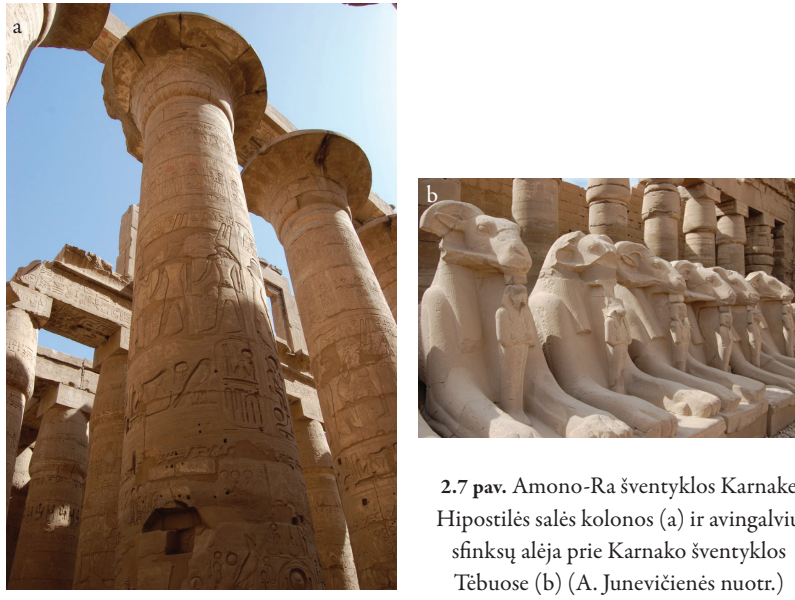
2.5 pav. Laiptuotoji Sakaros piramidė (A. Junevičienės nuotr.)

pr. m. e. apie 11 mln. tonų akmens luitų buvo iškirsta karjeruose ir atgabenta prie statomos piramidės. Uolienos buvo skirtos ne tik piramidei, bet ir šventykloms bei tiesiamiems keliams. Statytojai suprato, kad milžiniško statinio (dabartiniais skaičiavimais sveriančio 6 400 000 t) pagrindas turėjo būti itin tvirtas. Tvirtas uolėtas pagrindas, galintis išlaikyti piramidės svorį, buvo surastas dykumos plynaukštėje, už 7 km į vakarus nuo Gizos. Piramidės aukštis buvo apie 146 m, o kvadratinio pagrindo kraštinės ilgis 235,5 metro. Jos statybai panaudota apie 2,14 mln. akmens blokų. Piramidę sudaro 203 akmenų eilės. Sienų polinkio kampas 51°51', o piramidės perimetro ilgio santykis su jos aukščiu buvo lygus 2π skaičiui. Piramidės pagrindas pastatytas itin tiksliai. Jo aukščio skirtumai neviršija 2,1 cm, o kraštinių ilgis skiriasi tik 4,4 cm. Kylant aukštyn kiekvienai pakopai buvo naudojami mažesnių matmenų blokai. Akmens luito aukštis ir ilgis – 0,80–1,45 m, vidutiniškai luitas svėrė apie 2,5 tonos. Kai kurie pagrindo akmenys sveria iki 15 tonų, o faraono laidojimo patalpos lubų granito blokai gali sverti 50–80 tonų. Didieji granito blokai atgabenti iš Nilo aukštupyje buvusių Asuano akmens skaldyklų. Išorės apdailai buvo naudojami poliruoti balto kalkakmenio blokai iš kitoje Nilo pusėje buvusių Turos skaldyklų. Šiek tiek apdailos blokų yra išlikę Mikerino piramidės apačioje, tačiau didžioji dalis buvo nuplėšta ir panaudota Kairo statybose. Piramidės viduje įrengtas 10,5 m ilgio, 5,2 pločio ir 5,8 m aukščio faraono laidojimo kambarys. Jis buvo išpuoštas granitu. Luitams surišti buvo naudojamas gipso ir smėlio skiedinys. Piramidė buvo statoma terasomis. Norint išvengti konstrukcijos deformacijų, terasos turėjo būti gerai išlygintos. Šiam tikslui buvo statomos vandeniu pripildomos tranšėjos. Naudojant tokį vandens horizontą, 5 ha ploto statinio kampų aukštis skiriasi tik 10–12 mm. Akmens blokai buvo keliami naudojant medinius ir bronzinius pleištus ar svertus. Dabar manoma, kad akmenys į terasas buvo užvelkami rampomis. Dvi ir daugiau tonų sveriantys blokai negalėjo būti velkami minkšto smėlio paviršiumi. Manoma, kad rampos paviršius buvo sutvirtintas akmens blokais, iš karjerų atvežtomis akmens nuoskilomis arba drėgno smėlio, dumblo ir molio mišiniu. Piramidė buvo pastatyta per 20 metų (2.6 pav.). Piramidžių statybos inžineriniai sprendimai ir mechanizmai nėra žinomi. Neišliko jų aprašymų. Tikėtina, kad buvo naudojami įvairūs akmenų užkėlimo ir pastatymo į vietą būdai.



2.6 pav. Cheopso ir Chefreno piramidės (a) ir didysis sfinksas (b) Gizoje (Kairas) (A. Junevičienės nuotr.)

Be piramidžių, egiptiečiai iš akmens statė ir kitus objektus. Vidurinės karalystės Amono-Ra šventykla Karnake buvo viena didžiausių pasaulyje kolonomis paremtų pastatų (2.7 pav.). Jos užimame 103 × 372 m plote tilptų Romos Šv. Petro bazilika, Milano katedra ir Paryžiaus Notre Dame. Ramzio II pastatyta Hipostilės salė yra 102 × 53 m dydžio. Tai didžiausia po stogu



2.7 pav. Amono-Ra šventyklos Karnake Hipostilės salės kolonos (a) ir avingalvių sfinksų alėja prie Karnako šventyklos Tėbuose (b) (A. Junevičienės nuotr.)

pastatyta šventykla. Jos lubas remia 134 kolonos. Salės viduryje kolonų aukštis 21 metras, o šonuose – 13 metrų. Kolonų skersmuo didesnis kaip 3 metrai, o jas rišančios sijos sveria 60–70 tonų. Šventykla turėjo plokščią dviejų lygių stogą, tarp kurių pirmą kartą statybų istorijoje buvo įrengti choro langai. Pastatyti į vietą kelis šimtus tonų sveriančias kolonas net ir šiandien turimais mechanizmais būtų nelengvas uždavinys.

Vidurinės karalystės laikais paplito jau Senojoje karalystėje naudotas laidojimo būdas – uolinis kapas (2.9 a), išstūmęs laidojimą mastabose ir piramidėse. Laidojimo patalpos buvo iškertamos kalno šlaite, sienos puoštos reljefais ir tapyba (2.8 pav.). Daugiausiai tokių kapaviečių yra Karalių slėnyje vakariniame Nilo krante šalia Tėbų – Egipto faraonų laidojimo vietovėje. Egipto pietuose, Abu Simbelyje, yra įspūdingiausia iš vientisos uolos iškalta šventykla. Ji baigta statyti valdant faraonui Ramziui II apie 1 265 m. pr. m. e. Beveik visą šventyklos fasadą užima keturios milžiniškos, apie 22 m aukščio, sėdinčio faraono statulos, tarp jų iškirsta anga veda į giliai uoloje išskobtus vidinius kambarius (2.9 b pav.).

Egipto karinė inžinerija. Egipto statiniai Nilo slėnyje žemiau pirmojo slenksčio ties Asuanu neturėjo karinės paskirties. Įtvirtinimų buvo, tačiau juos sudarė tik vienos sienos pylimas. Už pirmųjų Nilo slenksčių egiptiečiai Nubijos žemėse pastatė aštuonias tvirtoves, už antrojo slenksčio (dabar panirusio po Nasero tvenkiniu) pastatė šešias. Iki Asuano aukštutinės užtvankos geriausiai



2.8 pav. Libis, nubietis, siras ir egiptietis. Faraono Seti I kapo piešinio kopija (Heinrich von Minutoli, 1820 m.) (Egyptian_races.jpg.)



2.9 pav. Naujosios karalystės 18-os dinastijos (1 473–1 458 m. pr. m. e.) faraonės Hačepsutos laidojimo šventykla Karalių slėnyje (a) (A. Junevičienės nuotr.), 1 244 m. pr. m. e. pastatytos Abu Simbelio didžiosios šventyklos fasadas (b) (Abu Simbel Egypt 1.jpg)

išsilaikė įtvirtinimai Buhene, piečiausiai esančioje tvirtovėje iš pirmųjų aštuonių. Buhenas – senovės Egipto gyvenvietė Nilo vakariniame krante, 260 km į pietus nuo Asuano, žemiau antrojo slenksčio. Vietovė gerai žinoma dėl savo tvirtovės, pastatytos maždaug 1 860 m. pr. m. e. Įtvirtinimai užėmė 13 000 m^2 plotą, juos supo 3 metrų gylio vandens gynybinis griovys, trukdantis puolantiesiems pasiekti sieną ar pylimą. Griovys su vandeniu saugodavo gynybines sienas, kad nebūtų po jomis pasikasama. Tvirtovėje buvo pakeliami tiltai, gynybiniai bokštai, atramos, turėklai ir galerijos kovotojams, šaudymo angos, katapultos. Jos sienos (apie 5 m storio ir 10 m aukščio) buvo sumūrytos iš dumblo plytų, sustiprintų mediena, ir pastatytos ant uolų ar smulkinto akmens sanpilos. Tvirtovėje daugiausiai galėjo būti apie 3 500 žmonių. Šiandien Buheno tvirtovė yra Nasero tvenkinio, kuris suformuotas pastačius Asuano užtvanką, dugne.

Senovės egiptiečių hieroglifus padėjo iššifruoti atsitiktinai surastas senovinės stelos fragmentas, vadinamasis *Rozetos akmuo* (2.10 pav.). Ant jos tas pats tekstas užrašytas egiptiečių hieroglifais (14 eilučių), demotiniu raštu (32 eilutės) ir graikų kalba (54 eilutės). Hieroglifų raštas susiformavo IV tūkst. pr. m. e. pabaigoje iš piktografinio rašto. Demotinis raštas buvo VIII–VII tūkst. pr. m. e. iš šnekamosios egiptiečių kalbos išsirutuliojusi nauja greitraščio forma. Tekstą 1822 m. pirmas perskaitė prancūzas Jeanas-François Champollionas. Steloje užrašytas Egipto faraono įsakymas datuojamas 196 m. pr. m. e. ir yra dedikuotas karaliaus karūnavimo sukakčiai.



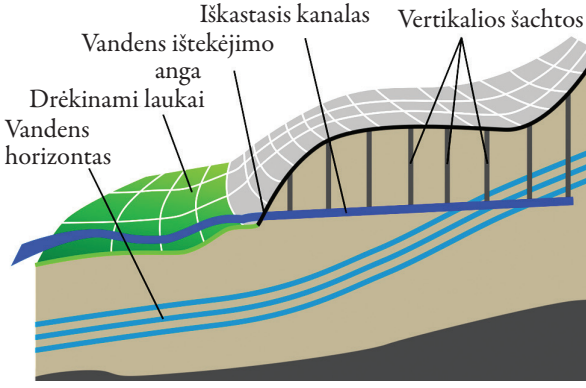
2.10 pav. Egipto hieroglifų iššifravimas (Britų muziejus) (Rosetta Stone BW.jpeg)

MESOPOTAMIJA: ASIRIJA IR BABILONAS

Asirija – senovinis regionas Tigro ir Eufrato baseinų aukštupyje, kuriame vyrauja drėgnos ir derlingos lygumos. Rytuose ir šiaurėje šias lygumas supa Armėnijos, o pietryčiuose – Irano kalnynai. Pietuose dykumos ruožas skyrė regioną nuo Šumero, o vėliau – Babilono. Pietvakariuose derlingas vietoves keitė retai gyvenama bevaisė Sirijos dykuma. Asiriečiai kildinami iš miesto-valstybės *Ašuro*, buvusio aukštutinėje Tigro upės dalyje. Nuo trečiojo tūkstantmečio pr. m. e. miestas buvo senosios Asirijos karalystės sostinė. Karalius Sargonas II (722–705 m. pr. m. e.) perkėlė sostinę į Korsabado miestą, kuriame pastatė rūmus, papuoštus didžiuliais sparnuotais jaučiais, šventyklas, zikuratą ir sodus su egzotiniais augalais bei medžiais. Šiame viename iš pirmųjų mieste panaudotas miesto planavimas dideliais kvadratais su stačiu kampu susikertančiomis gatvėmis. Karaliui mirus, sostinė buvo perkelta į Ninevijos miestą (dabar Mosulas). Ši vietovė buvo dykumoje, o karalius labai troško žalumos. Miestas su karaliaus rūmais ir apsaugine siena buvo pastatytas per dvejus metus. Rūmus supo parkas, o miestą juosė plati vaismedžių sodų juosta. Parkų ir sodų drėkinimui Kerchės upė (Tigro

intakas), esanti 16 km nuo Ninevijos, buvo ištiesinta ir vanduo kanalais nukreiptas į miestą. Pylimai pakėlė upės lygį, todėl buvo galima drėkinti apie Nineviją esančius žemės plotus. Ši dykumos plotų drėkinimo sistema buvo išplėsta 700 m. pr. m. e. pastačius trijų upių užtvankas 20 km į šiaurės rytus nuo Ninevijos ir kanalais sujungus susidariusį baseiną su Ninevija.

690 m. pr. m. e. nuo šiaurėje stūksančio kalnagūbrio buvo nutiestas 237 km ilgio kanalas. Statant kanalą reikėjo kirsti upelį, todėl statybininkai per jį pastatė įspūdingą penkiomis smailiomis arkomis paremtą 25 m pločio ir 280 m ilgio akveduką. Slėnyje esančios upės buvo įveiktos gembinėmis arkomis. Visai 7 m aukščio konstrukcijai sunaudota apie du milijonai akmenų. Vanduo iš kalnuotose vietovėse esančių šaltinių tekėjo požeminiais kanalais (2.11 pav.). 80 km ilgio Baviano kanalas ir jo akvedukai buvo pastatyti per vienerius metus ir tris mėnesius. Kanalas buvo klojamas ant 40 cm storio betono sluoksnio, kuris buvo pilamas ant 2,5 cm storio mastikos, sumaišytos su smulkiu žvyru. Betoną sudarė viena dalis kalkių, dvi dalys smėlio ir keturios dalys kalkakmenio, o mastika buvo bitumas, sumaišytas su užpildais. Speciali darbininkų grupė, vadinama *ummani*, Asirijoje tiesė kelius ir statė laikinus tiltus. Miesto sienos perimetras siekė 80 km, aukštis – 40 m, sienos viršaus plotis – 10 m, joje buvo įrengta 15 bokštų. Siena buvo pastatyta iš džiovinto dumblo ar molio blokų, jos paviršius padengtas degtomis plytomis, o vidus užpildytas skalda. Žemutinėje sienos dalyje dažnai buvo klojami



2.11 pav. Vandens tiekimo požeminiais kanalais sistema (Qanat-3.svg.)

dideli 20 tonų kalkakmenio monolitai. Monolitų architektūrinė ir inžinerinė paskirtis iki šiol yra neaiški. Rūmų kiemai buvo grįsti į asfalto pagrindą įspaustais akmenimis. Kaip miestas-tvirtovė Ninevija išbuvo trumpiau negu šimtmetį. Babilono karalius Nabopolasaras su medų karaliumi Kserksu 612 m. pr. m. e. sugriovė Nineviją ir Asirija žlugo.

Babilonas – senovės miestas Žemutinėje Mesopotamijoje (centrinėje šiuolaikinio Irako dalyje) prie Eufrato upės. Babiloną supo tarp Eufrato ir Tigro upių plytinti aliuvinė lyguma. Po Ninevijos ir Asirijos žlugimo 612 m. pr. m. e. Babilonas pasiekė savo klestėjimo viršūnę ir tapo senovės Artimųjų Rytų sostine. Karaliaus nurodymu mieste buvo pastatytas Babilono bokštas, įrengti garsūs kabantieji sodai. Net Babilono valstybę užkariavęs persų karalius Kyras Didysis (539 m. pr. m. e.) miesto nesugriovė. Jis ir toliau liko puikiu ir svarbiu miestu. Aleksandras Didysis ir Seleukidų karaliai gerbė miestą, tačiau po II tūkst. pr. m. e. vidurio prasidėjo miesto nuosmukis. Naujasis Babilonas buvo stačiakampio plano miestas, Eufrato upės perskirtas į dvi dalis. Miesto sienos perimetras siekė apie 80 km, aukštis buvo iki 45 m, o plotis sienos viršuje – 10 metrų. Palyginimui – Didžiosios kinų sienos plotis apačioje vidutiniškai 6 m, aukštis 7,6 m, o viršutinės dalies plotis 7,6 m. Sienos parapetas buvo zigzaginis. Tokius parapetus jau daug vėliau turėjo viduramžių tvirtovės. Svarbus ankstyvosios inžinerijos pasiekimas buvo grįstos gatvės. Asirijoje akmeniniu grindiniu žmonės vaikščiojo jau prieš 4 000 metų. Tokios plytomis ir kalkakmenio blokais grįstos gatvės buvo ir Babilone. Garsusis Procesijų kelias, vedantis į tiltą per Eufratą, taip pat buvo iš plytų ir kalkakmenio. Kalkakmenio blokų kraštai buvo nusklembti, o blokų sandūros užpildytos bitumu ar skiediniu. Važiuojamąją dalį dengė vieno kvadratinio metro dydžio akmens plokštės. Šaligatviams buvo naudojamos mažesnių matmenų raudonos brekčijos (susicementavusios nuosėdinės uolienos) plokštės. Didelis trikampis iškyšulys, kurį sudarė išorinė siena rytinėje upės pusėje, supo miesto gyvenamąją zoną. Miesto sienoje buvo 8 vartai. Ištaigingiausi miesto vartai buvo skirti deivei Ištarei (2.12 pav.), jie vedė į miesto pagrindinę gatvę ir karaliaus rūmus. Vartai buvo pastatyti iš degtų plytų, jų išorė dengta mėlynos, baltos, rudos ir geltonos spalvų glazūruotomis plytelėmis. Vartų išorėje buvo pavaizduoti jaučiai ir drakonai. Bokštai buvo papuošti mėlynos, o jungiančios sienos – žalios ir rožinės emalės plytelėmis. Prieš vartus driekėsi 20 m pločio Procesijų kelias, jungęs vartus su šventykla. Šis



2.12 pav. Babilono Ištarės vartai. Pergamo muziejus, Berlynas (Ishtar Gate at Berlin Museum.jpg)

kelias buvo dekoruotas liūtų vaizdais. Dekoruotos kelio atkarpos ilgis Babilone siekė 180 metrų. Babilone buvo aukščiausias, net 91 m, dievui Mardukui skirtas zikuratas. Jo pagrindo plotas buvo beveik 7 000 m^2. Zikuratas egzistavo 1 792–1 750 m. pr. m. e. Vėliau keletą kartų buvo perstatytas. Zikurato sienos buvo dekoruotos spalvota emale dengtomis plytomis ir reljefinėmis figūromis.

SENOVĖS LAIVININKYSTĖ

Pirmieji laivai buvo iš rąstų padaryti plaustai. Nuo seno naudoti ir luotai, skobti iš medžių kamienų. Ankstyvojoje Mesopotamijoje plaukiojo laiveliai iš nendrių ar galvijų odos. Senovės Egipte laivai buvo daromi iš nendrių. X a. pr. m. e. finikiečių laivai jau turėjo pagrindinius konstrukcinius elementus. VIII a. pr. m. e. Mesopotamijoje naudotos oda aptemptos pintinės galėjo išlaikyti iki 100 t krovinį. Rytų Bengalijos gyventojai plaukiojo degto molio valtimis. Burlaivius naudojo daugelis senovės tautų: finikiečiai, egiptiečiai, graikai, romėnai, kinai. Laivai buvo varomi irklais ir dažniausiai keturkampe bure su rėja ir giku. Gikas – tai galu prie stiebo pritaisytas skersinis, skirtas burės apatiniam kraštui pritvirtinti, o rėja – laivo stiebo skersinis tiesiosioms burėms pritvirtinti. Laivo burės buvo silpnos, todėl, siekiant sumažinti susidarančius įtempius, buvo naudojami keli žiedai. Bronzos amžius buvo vadinamas



2.13 pav. Asirų karo laivas, galbūt pastatytas finikiečių. Ninevija, 700 m. pr. m. e. (AssyrianWarship.jpg)

pirmuoju dideliu jūreivystės amžiumi. Nuo 2 500 m. pr. m. e. bekyliai egiptiečių laivai gabeno į finikiečių miestus kedro medieną ir kitas prekes. Finikiečiai plaukiojo irkliniais laivais: keleiviniais, transporto, kariniais, dar vadinamais galeromis (2.13 pav.). Apie 600 m. pr. m. e., išplaukę iš Raudonosios jūros, jie apiplaukė Afriką; savo laivais pasiekdavo Britanijos salas. Apie X a. pr. m. e. finikiečių laivai jau turėjo pagrindinius konstrukcinius elementus: kilį, števenius, špantus, kevalą (iš pradžių tašytų, vėliau pjautų lentų). Lentos buvo tvirtinamos medinėmis, vėliau varinėmis ar geležinėmis vinimis.

Egiptiečiai XV–XI a. pr. m. e. intensyviai prekiavo su Puntu, kuris iš rašytinių šaltinių žinomas kaip Egipto prekybos partneris. Punto vieta iki šiol nėra nustatyta. Spėjama, kad jis galėjo būti ten, kur dabar yra Eritrėja, Džibutis, šiaurės Somalis, šiaurės Etiopija ir rytų Sudanas. Egiptas iš Punto gaudavo smilkalus, asfaltą ir ligroiną, juodmedį, dramblio kaulą, žirafas, begemotus, leopardus. Egipto prekyba su Puntu tęsėsi iki pat XX valdovų dinastijos pabaigos. Egiptiečių laivą valdė šeši irklininkai, o dar šešiolika varė laivą. Irklininkų įgula būdavo didelė, todėl jie dažnai galėdavo keistis. Prie laivo stiebo buvo pritvirtinta burė, o laivo priekį puošė didelė akis. Kaip laivo inkaras buvo naudojamas sunkus akmuo. Pučiant stipriam vėjui, toks inkaras vilkdavosi jūros dugnu ir iš jo nebuvo jokios naudos. Senovės buriniai laivai negalėjo plaukti prieš vėją, todėl esant nepalankiai vėjo krypčiai, pasiekti tikslą buvo galima tik irklais.

Naujosios karalystės laikotarpiu (1 500 m. pr. m. e.) laivai buvo apie 22 m ilgio ir 5 m pločio. Medinio kilio jie neturėjo, stabilumui užtikrinti prie dugno buvo tvirtinamos trys plačios ir sunkios lentos. Abiejose laivo pusėse buvo po penkiolika irklininkų, du irklininkai valdė laivą. Laive buvo vienas stiebas su pritvirtinta 15 m pločio horizontalia bure. Virvės buvo gaminamos iš lino pluošto, o burės – iš lino audinio. Buvo statomi ilgoms kelionėms tinkami, 70–80 t krovinį išlaikantys laivai. Denio paklotą laikė plokščios skersinės sijos, sujungtos su laivo bortais. Laivo viduryje, tiesiai po denio sijomis, buvo statoma vientisa medžio santvara, jungianti skersines sijas. Santvaros galai buvo sujungti su laivo priekiu ir laivagaliu. Tokie kryžminiai sutvirtinimai turėjo padidinti laivo šoninį atsparumą vandens slėgio sukeliamam įtempiui. Egiptiečių laivuose kilis atsirado apie 1500 m. pr. m. e. ir tikriausiai tai nebuvo jų išradimas. Šių laivų silpnoji vieta – santvarų konstrukcijų tvirtinimas. Laivo santvaros buvo sutvirtinamos virvėmis, pervertomis pro medinių konstrukcijų skyles. Dėl įtempio ir drėgmės jos greitai atsipalaiduodavo, ištįsdavo ir sutrūkinėdavo.

Viduramžiais irklai palaipsniui ėmė nykti, laivai trumpėjo ir platėjo, stiebų skaičius padidėjo iki trijų. Vietoj vienos didelės burės imta naudoti kelias mažesnes. Pasaulyje ir šiandien statomi mediniai įvairios paskirties laivai (2.14 pav.), tik juos varo vidaus degimo ar elektros variklio sukamas sraigtas.



2.14 pav. Žvejybos laivų statykla Agadire (Marokas). Apie 15 m ilgio laivai rankiniu būdu statomi iš eukalipto medienos (A. V. Valiulio nuotr.)

3 SKYRIUS
GRAIKIJOS LAIKOTARPIS

GRAIKŲ MINTIS IR JŲ SUKURTI „STEBUKLAI“

Inžinerijos, mokslo ar technologijų istorijoje Graikija užminė daug mįslių ir paliko nemažai vadinamųjų pasaulio „stebuklų“, tokių kaip Rodo kolosas, Aleksandrijos Faro švyturys ir Partenonas, apie kuriuos yra išlikę patikimų žinių arba artefaktų. Technologijas graikai suvokė kaip kokių nors darbų mechanizavimą. Apie Graikijos Mikėnų laikotarpį mes sužinome iš Homero epų. Mikėnų periodo miestai buvo statomi ne tik gynybai, bet ir gyvenimui (3.1 pav., 3.2 pav.). Ši kultūra klestėjo 1 450–1 100 m. pr. m. e. Svarbiausi jos centrai buvo Mikėnai ir Tirintas Argolyje, Atėnai Atikoje, Tėbai ir Orchomenas Beotijoje, Jolkas Tesalijoje, Pilas Mesenėje, Knosas Kretoje. Mikėniečių gyvenviečių randama Egėjo jūros salose, Mažojoje Azijoje ir net Kipre. Mikėnų civilizacija žlugo greitai ir netikėtai. Apie 1 250 m. pr. m. e. daug Peloponeso pusiasalio miestų buvo sugriauta, sudeginta, kai kurie visiškai



3.1 pav. Vartų portikas su dviem liūtėmis Mikėnuose, apie 1 250 m. pr. m. e. (A. V. Valiulio nuotr.)



3.2 pav. Javų saugyklos Mikėnuose (A. V. Valiulio nuotr.)

apleisti. Po kurio laiko atsigavę miestai statėsi tvirtoves su dar galingesniais gynybiniais įtvirtinimais. Miestus juosė ne tik masyvios akmenų sienos, vartai, buvo iškasti ir požeminiai gynybiniai tuneliai. Antroji ir lemiama Mikėnų civilizacijos naikinimo banga prasidėjo apie 1 190 m. pr. m. e. ir baigėsi apie 1 100 m. pr. m. e. Peloponeso pusiasalyje populiacija sumažėjo 90 %. Vėliau kraštas nebeatsigavo. Kas sužlugdė Mikėnų civilizaciją – neaišku. Geologai kalba apie tuo metu prasidėjusį seisminio aktyvumo periodą, trukusį mažiausiai 50 metų, istorikai – apie to meto minimus „jūros žmones“, kurie siaubė Vidužemio jūros pakrantes. Greičiausiai „civilizacinę griūtį“ nulėmė priežasčių grandinė, kai nelaimės sekė viena paskui kitą. Nuo 1 100 m. pr. m. e. graikai „nugrimzdo“ į antikinių „viduramžių“ periodą, kuris tęsėsi iki 750 m. pr. m. e.

Mikėnų kultūroje ryškūs karingos visuomenės bruožai. To meto graikų miestų kapavietėse rasta daug ginklų, karinės amunicijos. Peloponeso pusiasalio miestų gynybiniai įtvirtinimai nepaprastai masyvūs. Mikėnuose sąramų ir vartų akmenys svėrė 20–100 tonų. Miesto gynybinės sienos, kurios vietomis siekė 8 m pločio, buvo pastatytos iš didelių negludintų riedulių. Tik vartų statybai buvo naudojami nugludinti blokai. Kad gynybinių sienų skliautai išlaikytų tokį svorį, Mikėnų statybininkai sukūrė netikrosios ir „strėlinės“ arkos konstrukcijas. Vėliau šios patobulintos konstrukcijos buvo plačiai naudotos romėnų ir viduramžių architektūroje. Būdami karingi graikai buvo geri

amatininkai ir prekybininkai. Jie importuodavo metalą (varį, geležį, alavą, sidabrą), dramblio kaulą, stiklą, iš šių medžiagų gamindavo gaminius ir jais prekiaudavo; eksportuodavo alyvuogių aliejų, vyną, parfumeriją, vilną, keramikos dirbinius. Svarbiausi Mikėnų ekonomikos sektoriai buvo vilnos ir lino pluošto tekstilės gamyba, metalurgija (gamino kalavijus, kirvius), žemės ūkis. Mikėnų akropolyje kilmingi vyrai laidoti su auksinėmis kaukėmis ir šarvais, moterys – su auksinėmis karūnomis ir auksu siuvinėtais drabužiais. Vyrų kapuose randama daug ginklų – iečių, kardų, kirvių, kuokų, skydų, lankų, svaidyklių, durtuvų, šarvų. Iki XIII a. pr. m. e. graikų kariuomenių pėstininkai buvo ginkluoti sunkiomis ietimis ir dideliais skydais. Vėliau ginkluotė lengvėjo, nes pėstininkai buvo mobilesni. Vežimus graikai dažniausiai naudojo kaip transporto priemonę. Iš geležies pradėti gaminti ginklai sumenkino karo vežimų vaidmenį, nes plieno kardais nesunkiai buvo galima sužeisti žirgus ir sustabdyti vežimą. Graikų kariai turėjo labai specifinius storos šerno odos šalmus, kurių viršus buvo dengtas šernų arba kiaulių iltimis. Iš apačios šalmas būdavo pamuštas veltiniu. Vario ar geležies šalmai būtų buvę saugesni, bet metalas, matyt, dar buvo per brangus.

Epidauro teatras šiaurės rytų Peloponese buvo suprojektuotas IV tūkst. pr. m. e. (3.3 pav.). Dirbami laukai bei alyvmedžių giraitės ilgus metus slėpė



3.3 pav. Antikinis Epidauro teatras, pastatytas maždaug 330 m. p. m. e. šiaurės rytinėje Peloponeso dalyje (A. V. Valiulio nuotr.)

šį prieš daugelį amžių apleistą statinį. 1881 m. archeologai aptiko beveik nesugriauto teatro fragmentus. Tyrėjų nuomone, tai žymiausias ir geriausiai išsilaikęs graikų teatras. Iš pradžių teatre buvo 6 000 sėdimų vietų, tačiau II tūkst. pr. m. e. viršutinę teatro dalį praplėtus dar 21 eile, sėdimų vietų skaičius viršijo 13 000. Epidauro teatras garsus savo ypatinga akustika. Menkiausias garsas – gilus atodūsis ar plėšomo popieriaus šlamesys – girdimas iki pačios paskutinės sėdimų vietų eilės.

Epidaure yra ir garsiausioji medicinos ir gydymo dievo Asklepijaus (Eskulapo) šventykla. Visoje Graikijoje žmonės garbino Asklepijų, statė jam šventyklas. Norėdami išgyti jie keliaudavo iki jų ir po atnašavimo miegodavo šventyklų viduje, tikėdami, kad tai padeda atgauti sveikatą. Asklepijaus šventovės buvo panašios į šiandieninius sveikatos kurortus: jose buvo laikomasi mitybos dietų, taikomos gydomosios mankštos ir kiti metodai. Asklepijaus simbolis buvo gyvatė, tokia ji ir dabar naudojama vaistinių iškabose. Garsi Hipokrato priesaika prasideda žodžiais: „Prisiekiu gydytoju Apolonu, Eskulapu, Higėja ir Panacėja, taip pat šaukiuosi liudininkais visus dievus ir deives, kad šią priesaiką ir šį pasižadėjimą vykdysiu nepriekaištingai pagal savo jėgas ir sąžinę...“ Įspūdingi graikų statiniai, tamsios šventyklos ar laidojimo panteonai ir šiandien traukia žmones (3.4 pav.). Tolų tipo kapaviečių tradicija į Mikėnus atkeliavo iš Kretos. Tolas – tai monumentalus apskrito



3.4 pav. Tolų tipo kapavietės netoli Mikėnų, 1 450–1 200 m. pr. m. e. (A. V. Valiulio nuotr.)

plano kulto arba memorialinis statinys, dengtas kupolu. Tolo kupolas buvo formuojamas iš akmens blokų (rečiau – iš degtų plytų) į viršų vis siaurėjančiais žiedais – susidarydavo smailėjantis netikro kupolo formos skliautas. Didžiausių tolų pagrindo skersmuo siekia 15 metrų.

Peloponeso pusiasalio pagrindinius miestus jungė akmens blokais grįsti keliai. Kaip ir Kretoje, Peloponeso pusiasalyje archeologai randa senovines drenažo sistemas, dambas vandeniui kaupti, iš akmens statytus tiltus, akvedukus, keramikinius vandentiekio vamzdžius. Pusiasalio architektūroje dominavo ne šventyklos, o masyviais gynybiniais įtvirtinimais apjuosti miestai su centre esančiais karalių rūmais. Šventyklos buvo palyginti nedidelės. Mikėnų civilizacijos miestuose stogams dengti jau buvo naudojamos degto molio čerpės. Vėlyvojo bronzos amžiaus statybose naudojo akmenį ir medieną. Iš jų buvo statomi arkiniai fasadai, terasiniai laiptai, langai ir interjero stulpai, kurie, priešingai nei Egipto architektūroje, ne užverdavo, o atverdavo aplinkinę erdvę.

Kretiečių architektūra išsiskyrė unikalios formos kolonomis. Skirtingai nei klasikinės graikų kolonos, kretiečių kolonos apačioje buvo siauresnės, o viršuje – platesnės. Manoma, kad rūmuose galėjo būti vandens šildymo sistema, buvo ir ventiliacija su vidiniais kanalais sienose. Apsaugai nuo saulės kaitros buvo statomi portikai ir dengtos kolonados. Knoso rūmų ne tik sienos, bet ir lubos buvo gausiai dekoruotos freskomis. Jose pavaizduoti figūrų judesiai, gamtos detalės, spalvos, bet nėra agresijos ir karo žygių vaizdų. Knoso rūmuose 1,5 tūkst. metų anksčiau nei Romoje buvo įrengtas molinių vamzdžių vandentiekis, kanalizacija, drenažo sistema, pirtys, vonių kambariai. Vanduo į rūmus 10 km ilgio akveduku patekdavo iš kalnų šaltinių. Vandentiekiui naudoti terakotiniai vamzdžiai (terakota – nelabai aukštoje temperatūroje degta keramika). Kanalizacijos sistema buvo požeminė ir uždara; nutekamojo vandens kanalus dengė akmeninės plokštės. Knoso rūmuose buvo 3 atskiros kanalizacijos sistemos, kurios galiausiai sueidavo į vieną centrinę kanalizaciją. Rūmuose rasti 2 klozetai su nuleidžiamu vandeniu – vanduo tekėdavo virvute palenkus ąsotį. Nuotekos paraboliniais latakais subėgdavo į cisternas, kuriose nusėsdavo kietosios įvairių teršalų dalelės. Vandens saugojimo baseinai buvo atviri saulės spinduliams,

kurių ultravioletinė spinduliuotė sumažindavo vandens biologinį užterštumą. Knoso keliai buvo grįsti akmenimis ir turėjo drenažą. Panašūs keliai Romos imperijoje atsirado tik po 1 000 metų. Stambios akmens plokštės buvo klojamos ant molio pagrindo. Kelio plotis buvo 3,5 metro. Skirtingai negu vėlesniuose Romos keliuose, vanduo nuo kelio paviršiaus nutekėdavo tik viena kryptimi, nes nebuvo suformuotas paviršinis išlinkis. Kelių paviršiuje nerasta jokių ženklų, kad jais būtų riedėję vežimai, todėl keliai pavadinti „procesiniais keliais“. Nepriklausomai nuo funkcijos jie yra vienas iš nedaugelio to laikotarpio išlikusios inžinerijos pavyzdžių. Kretoje buvo gaminami indai aliejui ir vynui laikyti bei gabenti.

Apie 1 100 m. pr. m. e. Mikėnų, Knoso ir daugelio kitų centrų reikšmė sunyko. Vėlesniais šimtmečiais graikai judėjo į rytus link žemyninės Anatolijos pakrantės, o Peloponeso centrai buvo sugriauti arba apleisti. Po tris šimtus metų trukusių „tamsiųjų amžių“ (1 000–700 m. pr. m. e.) Graikijos civilizacija atsigavo – tą liudija susikūrę pavieniai miestai-valstybės, arba *poliai*. Graikai pasauliui paliko ne tik daug puikių meno kūrinių (skulptūrų, architektūros), Maratono mūšyje 479 m. graikai nugalėjo persų kariuomenę, ir Graikija įžengė į „aukso amžių“.

Graikijos Ilirijos pakrantės filosofai buvo mokslinės minties raidos pradininkai. Ilirijos regionas apėmė teritorijas, kur dabar yra vidurio ir šiaurės Albanija, Juodkalnija, Bosnija ir Hercegovina, Vakarų Kroatija (Dalmatija), Kosovas, Pietvakarių Serbija. Manoma, kad Talesas iš Mileto (624–548 m. pr. m. e.) pirmasis savo teiginius apie geometrines figūras grindė samprotavimais, pavyzdžiui, kad lygiašonio trikampio pagrindo kampai yra lygūs. Pitagoras – vienas žymiausių antikos filosofų (582–500 m. pr. m. e.) – sukūrė abstrakčiąją matematiką. Demokritas (460–370 m. pr. m. e.) – filosofas, materialistas, vienas atomizmo kūrėjų, matematikos, geometrijos pionierių – teigė, kad egzistuoja tik atomai (būtis) ir tuštuma (nebūtis). Atomai – nedalomos ir nekintančios, tuštumoje judančios materialios dalelės, kurios skiriasi forma, dydžiu, svoriu, padėtimi. Atomų judėjimas amžinas ir savaiminis, sąlygojamas visatoje viešpataujančio būtinumo. Archimedas (287–212 m. pr. m. e.) – graikų matematikas, fizikas, astronomas, išradėjas inžinierius. Labiausiai žinomas dėl atrasto dėsnio (Archimedo

dėsnis) apie jėgą, veikiančią panardintus kūnus, dar jis išrado sraigtą, kuris naudotas irigacijoje, apskaičiavo elipsės, parabolės nuopjovos plotus, sukūrė hidrostatikos pagrindus.

VI tūkst. pr. m. e. senovės graikų inžinierius ir geometras Eupalinas iš Megaros Samo saloje nutiesė Eupalino tunelį. Jo ilgis 1 036 m, o aukštis ir plotis po 1,75 m (3.5 pav.). Šis požeminis tunelis-akvedukas buvo skirtas aprūpinti miestą vandeniu. Statinys turėjo svarbią gynybinę vertę, nes apgulties atveju priešas negalėjo užblokuoti požeminio vamzdžio. Vanduo buvo imamas iš salos viduryje esančių vandens šaltinių. Tunelis yra dviejų lygių: žemutinis skirtas vandeniui, o aukštutinis – tunelį prižiūrinčiam personalui. Tarpas tarp abiejų tunelių keli metrai, vietomis jie sujungti vertikaliomis šachtomis. Šiaurinės tunelio dalies gruntas minkštas, todėl sumūrytos akmeninės lubos. Pietinėje tunelio dalyje gruntas yra tvirtas ir jokių papildomų sustiprinimų nėra. Tunelis buvo kasamas iš dviejų pusių. Stebina kasimo darbų tikslumas: kasėjų susitikimo vietoje pagal vertikalę tuneliai nesutapo tik 4 cm. Patekęs į miesto teritoriją vanduo buvo nukreipiamas į vandens paskirstymo baseiną. Kaip rodo archeologiniai kasinėjimai, akvedukas buvo naudojamas per tūkstantį metų, užmirštas ir vėl atrastas 1882–1884 metais. Šiandien Eupalino požeminis akvedukas laikomas vienu iš senovės inžinerijos šedevrų.



3.5 pav. Eupalino tunelis iš vidaus (Eupalinian aqueduct.jpg.)

1881–1893 m. Korinto sąsmaukoje buvo pastatytas 5 km ilgio kanalas, jungiantis Jonijos ir Egėjo jūras. Laivams nebereikėjo plaukti aplink Peloponeso pusiasalį, kelias sutrumpėjo apie 400 km. Kanalo ilgis – 6,3 km, plotis – 24 m, gylis – 8 metrai. Kanalą supo 17 m aukščio uolos (3.6 pav.). Dar antikos valdovai svajojo apie kanalą per sąsmauką. VII tūkst. pr. m. e. šioje vietoje buvo nutiestas akmenimis grįstas kelias, skirtas laivams pertempti ridenant ritinius. Šio kelio likučiai tebėra šalia kanalo. Imperatorius Neronas (54–68 m. e. m.) pradėjo kanalo kasimo darbus, bet jam mirus projektas buvo nutrauktas. Galų gale graikai nutiesė kelią, kuris sujungė miestą su Akrokorinto šventykla. Šiame kelyje buvo iškirsti grioveliai, t. y. padarytas „akmens geležinkelis“, kurio vėžės plotis buvo 138–144 cm. Patys grioveliai buvo 7–10 cm gylio, 20–22 cm pločio ir buvo pritaikyti ratiniams vežimėliams. Korinto kanalo kasimo darbai buvo atnaujinti 1870 m., sėkmingai atidarius Sueco kanalą 1869 metais.

Graikų statybininkai naudojo tik penkias paprastas priemones: svirtį, ratą, skriemulį, pleištą ir sraigtą, o pirmenybę statyboje teikė geležiai. Partenono šventyklos gembės buvo pagamintos iš geležies. Kolonų elementai tarp savęs buvo jungiami kaltinės geležies įtvarais. Statybininkai kalkakmenį ir marmurą taip pat jungdavo geležies elementais. Stalių darbams buvo naudojamas švinas ir kaltinė geležis. Graikai mokėjo pasidaryti statybinį skiedinį ir buvo sukūrę hidraulinį cementą. Pastatuose dažnai naudojo iš vertikalių ir horizontalių sijų sudarytas konstrukcijas. Jie



3.6 pav. Korinto kanalas (a – Canal of korinth greece.jpg., b – A. V. Valiulio nuotr.)

žinojo apie arką, tačiau ją naudojo retai. Nors graikai naudojo tik paprastas konstrukcijos formas, jas ištobulinę sukūrė daug pačių gražiausių architektūros šedevrų.

V a. pr. m. e. atėniečių karinio jūrų laivyno viešpatavimą Egėjo jūroje lėmė triremos – siauri laivai, plaukdavę pakeltomis burėmis. Tačiau jūrų mūšiuose jų varomoji jėga būdavo irklai, kuriais irklavo apie 170 irkluotojų. Tikslas būdavo ne tiek pulti priešo laivus abordažu, kiek išvesti juos iš rikiuotės smogiant metaliniu triremos smaigaliu.

KASYKLOS

Graikai ginklams ir įrankiams naudojo alavo ir vario mišinį – bronzą. Vėliau kietesni įrankiai ir ginklai buvo gaminami iš geležies. Apie 60 km į pietryčius nuo Atėnų buvusios Laurijo kasyklos buvo turtingos sidabro rūdų. Atėniečiai išmoko apdoroti rūdas ir iš jų išgauti sidabrą. Šiuose rūdynuose vienu metu dirbo iki 20 000 kalnakasių. Visi jie buvo vergai. Dažniausiai jie buvo karo belaisviai, o ne nusikaltėliai. Buvo sakoma, kad tapti vergu Laurijo sidabro kasyklose yra blogiau, negu būti kankinamam ar pasmerktam mirti. Kalnakasiai nuolat badavo, buvo mušami, retai matydavo dienos šviesą ir kasyklose dirbdavo iki mirties. Pinigus, gaunamus už sidabrą, atėniečiai naudojo laivyno statybai ir išlaikymui. Aplink Atėnus buvo ne vien tik sidabro kasyklos. Trakijos šiaurinės dalies kalnuose buvo randama aukso, Kipras buvo garsus vario, aukso ir geležies gaminiais, Laurijo apylinkėse buvo geležies rūdos klodai. Kalnakasiai savaitę dirbdavo ir gyvendavo po žeme ir tik trumpam būdavo išleidžiami į žemės paviršių. Iškastose kasyklų štolnėse buvo įrengtos virtuvės ir miegamosios patalpos. Uolienose iškirstos nišos buvo naudojamos pasidėti daiktams ar apšvietimo priemonėms. Į nedidelius krepšius ar dėžes sukrautą rūdą sukant veleną virviniu keltuvu pakeldavo į paviršių. Šachtų gylį dažniausiai ribojo į šachtą tekantis vanduo, nes dar neturėta galimybių jį išsiurbti. Giliose šachtose (apie 110 m) buvo atskiri ventiliaciniai šuliniai (50 × 80 cm). Šachtų dugne randamos laužavietės tikriausiai buvo reikalingos džiovinimui. Lygiagrečiai būdavo kasamos dvi šachtos, tarp jų suformuojant dažnas ventiliacijai reikalingas jungiančias angas. Per mėnesį kalnakasys pasislinkdavo apie 4,5 metro. Medinės galerijos šachtose nebuvo statomos.



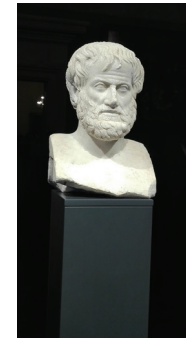
3.7 pav. Vergų darbas senovės Graikijos kasykloje (terakotos piešinys, 500 m. pr. m. e.). Pergamo muziejus (Berlynas)

Kasyba ir rūdų perdirbimas turėjo poveikį ir aplinkai. Rūdų sodrinimo atliekos, lydymo metu susidarę perdirbimo produktai (šlakai) keliaudavo į aplinką. Metalurgijos kurui reikalinga mediena buvo tiekiama iš artimiausių miškų, todėl mažėjo miškingumas. Lydymo metu susidarydavo ne tik dūmų, bet ir kenksmingų dujų. Be vandens drenažo sistemų kasyklos negalėjo būti gilesnės negu požeminio vandens horizonto lygmuo. Graikijos kasyklų šachtų koridoriai ar pakopos proporcijomis ir harmonija labai panašėjo į šventyklų architektūrą. Šachtos ir tuneliai siekdavo didesnį nei 100 m gylį. Darbas buvo ypač sunkus, nes kalnakasys naudojosi tik kirtikliu ir geležiniu kūju, o rūdą tekdavo kasti susirietus mažoje erdvėje (3.7 pav.).

HELENISTINĖ INŽINERIJA

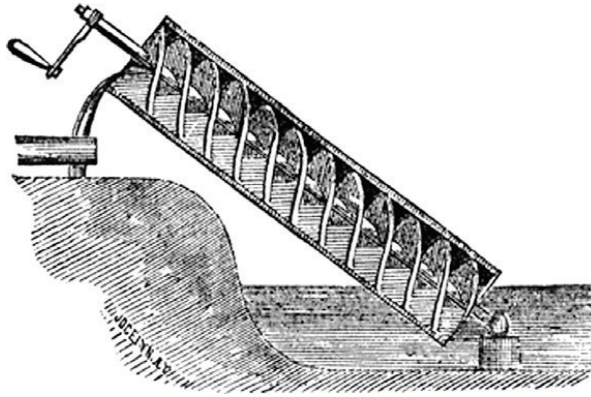
352 m. pr. m. e. Graikijos politiniame pasaulyje atsirado nauja jėga – Makedonija. Po Aleksandro Didžiojo (356–323 m. pr. m. e.) užkariavimų graikų kultūra, nors ir skirtingu mastu, pasklido didelėje teritorijoje. Helenistine tapo visa Anatolija, Egiptas buvo paveiktas paviršutiniškai, o Mesopotamija – labai mažai arba nepaveikta visiškai. Helenistinės kultūrinės raiškos sostinė buvo Aleksandrija. Čia klestėjo graikų mokykla, mokslas ir inžinerija. Aleksandrija klestėjo galbūt dėl to, kad čia susibūrė talentingiausi graikų mokslininkai ir inžinieriai. Helenizmo laikais antikinis pasaulis tarytum buvo pasidalijęs į dvi dalis: filosofija „atiteko“ Atėnams, o mokslas – Aleksandrijai. Aleksandrijos astronomai tiksliai aprašė 1 000 žvaigždžių judėjimą, Saulės metus apskaičiavo 7 min. tikslumu. Aristarchas (310–230 m. pr. m. e.) veikale „Apie Saulės ir Mėnulio dydžius bei atstumus“ pateikė heliocentrinės sistemos modelį. Teiginys, kad Saulė yra visatos centras, o Žemė, Mėnulis ir visos kitos planetos sukasi aplink ją, naujaisiais

amžiais Aristarchui pelnė amžiną šlovę. Antikoje jo teorija nebuvo pripažinta. Aristotelis gimė 384 m. pr. m. e. Šiaurės Graikijos Chalkidikės pusiasalyje. 342 m. pr. m. e. Aristotelis buvo pakviestas Makedonijos karaliaus Pilypo II tapti jo sūnaus Aleksandro Didžiojo, trylikamečio berniuko, mokytoju. Vėliau, jau būdamas valstybės vadovu, Aleksandras Didysis neprašė buvusio mokytojo patarimų, tačiau parūpino priemonių Aristotelio tyrimams. Tai buvo pirmas pavyzdys istorijoje, kai mokslininkas gavo didelę valstybės paramą savo studijoms ir tyrimams. Praėjus daugiau nei 2 300 metų po jo mirties, Aristotelis (322 m. pr. m. e.) vis dar išlieka vienu įtakingiausių kada nors gyvenusių žmonių (3.8 pav.). Jis pradėjo formaliosios logikos tyrimus, buvo zoologijos pradininkas, praturtino beveik kiekvieną filosofijos atšaką ir daug kuo nusipelnė mokslui. Jo darbai „Fizika“, „Apie dangų“, „Meteorologika“, „Metafizika“ ir daugybė kitų (parašė apie 400 veikalų) buvo pirmieji bendro gamtos dėsningumo pažinimo žingsniai.



3.8 pav. Geriausiai išlikęs marmurinis skulptūrinis Aristotelio atvaizdas, archeologų aptiktas 2005 m. Atėnuose. Datuojamas I m. e. a. LDK Valdovų rūmų laikinoji ekspozicija, Vilnius, 2018 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

Stratono (340–268 m. pr. m. e.) nuopelnas buvo tas, kad tyrinėdamas fizinius reiškinius jis eksperimentavo. Stratonas pritarė Demokrito atominei teorijai ir atrado suspaudimo reiškinį. Archimedas (287–222 m. pr. m. e.) iš Sirakūzų žinomas kaip atradęs dėsnį apie jėgą, veikiančią panardintus kūnus (Archimedo dėsnis), apskaičiavęs elipsės, parabolės nuopjovos plotus. Jis sukūrė hidrostatikos – mokslo, tiriančio skysčių pusiausvyrą ir skysčiuose panirusių kūnų bei skysčio sąveiką, pagrindus; taip pat nustatė, kad skystyje ar dujose panardintą kūną veikia aukštyn nukreipta jėga, kuri lygi kūno išstumto skysčio (dujų) svoriui. Archimedas labiausiai išgarsėjo sraigtu vandeniui kelti ir skridiniais, kurie buvo plačiai naudojami statybose. Jo sukurtą vandens siurblį sudarė plataus sriegio sraigtas, įdėtas į sandarų vamzdį (3.9 pav.). Sraigto vijos prie veleno buvo pritvirtintos derva. Mediniame cilindre sukamo rotoriaus ilgio ir skersmens santykis buvo 16:1. Perimetras buvo padalytas į aštuonis



3.9 pav. Archimedo sraigtas (Archimedes screw.jpg.)

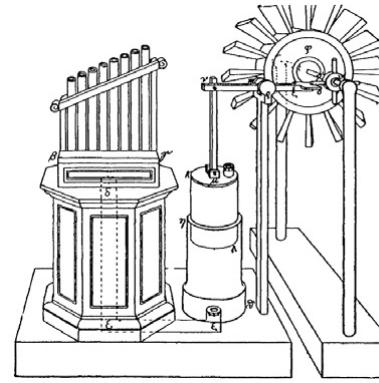
lygius lankus. Sraigto pokrypio kampas 45°. Guoliai aprašyti neaiškiai, bet rotoriaus galai tikriausiai sukosi geležies gaubteliuose.

Archimedas buvo vienas iš mechanikos mokslo kūrėjų. Jis nustatė įvairių figūrų ir kūnų masės centrus, matematiškai apibrėžė sverto dėsnius, apskaičiavo π (pi) (matematinę konstantą, išreiškiančią apskritimo ilgio ir skersmens santykį) reikšmę. Pasak legendos, sukūręs sverto teoriją, Archimedas yra pasakęs: „Duokit atramos tašką ir aš pajudinsiu Žemę."

Ktesibijus (300–230 m. pr. m. e.) buvo garsiausias helenizmo laikų inžinierius konstruktorius. Pagrindiniai Ktesibijaus išradimai siejosi su hidraulika. Jis sukūrė dviejų cilindrų vandens siurblį (pompą) vandeniui pumpuoti iš pakankamai gilių šulinių. Jam priskiriamas sifono principo atradimas. Pagal šį principą, pasinaudojant tik gravitacijos jėga, galima pro išlenktą vamzdelį „pakelti vandenį" ir išpilti jį lauk arba į kitą žemiau stovintį indą. Jis sukūrė klavišinį instrumentą – hidraulinius vargonus, kuriuose oras į vargonų vamzdžius buvo paduodamas naudojant vandens sunkio jėgą. Kitą jo sukurtą mechanizmą – vandens laikrodį – sudarė cilindras, į kurį pamažu tekėjo vanduo, keldamas cilindre įtaisytą plūdę. Plūdės viršuje pritaisyta mentelė rodė vertikaliai sužymėtas valandas.

Nors Heronas Aleksandrietis (10–70 m. e. m.) gyveno jau Romos imperijos laikais, jis laikomas Aleksandrijos garsios fizikų, matematikų, mechanikų-inžinierių mokyklos paskutiniąja įžymybe. Knygoje „Pneumatica" Heronas aprašė 100 mechanizmų, tarp jų ir „ugnies variklį" (garais varomą

mechanizmą). Daug dirbo tobulindamas įvairias mašinas ir automatus, imituojančius žmogaus veiksmus. Jis kūrė geriančias ir dainuojančias skulptūras (veikė suspaustu oru), garinį šildytuvą, knatą „nukerpančią“ lempą ir žvakidę, kurioje žvakės liepsnos šiluma versdavo suktis virš jos pakabintas mažas figūrėles; žinojo apie vakuumą ir jį pritaikė, naudojo išlenktą sifoną. Herono vandens pompa buvo pagaminta iš bronzos, cilindrai buvo tepami. Vožtuvas ribojo vandens kėlimo aukštį, nes pompos vamzdžiai, kuriuose susidarydavo didelis vidinis hidrostatinis slėgis, didesnio slėgio galėjo neišlaikyti ir suirti. Vožtuvui prispausti buvo naudojama grūdintos geležies spyruoklė. Tokiam tikslui metalo spyruoklė buvo panaudota pirmą kartą. Heronas sukūrė vėjo vargonus. Tai buvo pirmas kartas, kai vėjo energija buvo panaudota mechaniniame įrenginyje (3.10 pav.). Jis pirmasis sukonstravo garo turbiną – reaktyvinio variklio prototipą. Pirmajame m. e. amžiuje jis aprašė prietaiso veikimo principą, todėl laikomas šio įtaiso išradėju. Variklį sudarė rutulio ar cilindro formos indas, galintis suktis apie ašį. Sukimąsi skatino per du į priešingas puses išlenktus vamzdelius besiveržiantys garai, sukeliantys reaktyvinę stūmimo jėgą (3.11 pav.). Nežinoma, ar šis prietaisas išties buvo panaudotas senovėje.



3.10 pav. Herono vėjo vargonai (rekonstrukcija) (Heron's Windwheel.jpg.)



3.11 pav. Herono garo variklis (Aeolipile illustration.png.)

Euklidas (mirė apie 270 m. pr. m. e.) buvo graikų matematikas, dažnai vadinamas „geometrijos tėvu“. Darbuodamasis Aleksandrijoje parašė žymųjį veikalą „Geometrijos pradmenys“, kuris daugiau kaip 2 000 metų buvo svarbiausias geometrijos vadovėlis. Žymusis geometras ir matematikas taip pat buvo optikos ir katoptrikos (mokslo, tiriančio šviesos atspindžius nuo veidrodinių paviršių) mokslų pradininkas. Jis įrodė Pitagoro teoremą, nors tvirtai nežinoma, ar tai padarė pats Euklidas.

Idėją, kad Žemė yra rutulio formos, matyt, pirmieji pasiūlė Pitagoro sekėjai. Ją savo veikaluose aiškiai suformulavo Platonas, o Aristotelis pabandė nustatyti ir pagrįsti Žemės matmenis. Galiausiai Aristotelio bandymus realizavo Eratostenas (276–194 m. pr. m. e.), kuris apskaičiavo, kad aplink Žemę yra 39 690 km, t. y. jis apsiriko tik 310 km. Jo apskaičiuotas Žemės spindulys nuo dabartinių skaičiavimų skyrėsi 71 km. Dar jis sukūrė ganėtinai tikslų antikinio pasaulio žemėlapį: Žemėje išskyrė du šalčio polius ir 5 klimato zonas. Norėdamas kuo tiksliau nurodyti koordinates, pirmasis sugalvojo lygiagrečių ir dienovidinių sistemą.

Graikų astronomas ir geografas Klaudijus Ptolemėjas (100–170 m.) dažnai stebėdavo astronominius objektus Aleksandrijoje. Kartais naudodavosi prietaisu, pavadintu *triquetrum* (gr. su trimis kojomis). Šį prietaisą sudarė trys sujungtos dalys: pirmoji dalis įkasta į žemę, o likusios dvi sukinėjamos taip, kad kartu su įkastu strypu suformuotų lygiašonį trikampį. Prie kito strypo, tiesiogiai prijungto prie vertikaliojo, pritvirtinti du prietaisai, kuriais galima stebėti žvaigždes ir planetas. Zenitiniai kampai matuojami nuo linijų, pažymėtų trečiajame strype. Tokio tipo prietaisais dažniausiai buvo stebimas mūšio laukas.

Pirmasis rankinis navigacijos prietaisas, sukurtas įvairaus dydžio kampams matuoti, yra *astroliabas*. Jį naudojo Artimųjų Rytų keliautojai kelionėse po vandenynus. Šie sudėtingi įrenginiai buvo sukurti laivo padėčiai jūroje nustatyti pagal žvaigždžių ir planetų išsidėstymą. Astroliabo autorystė priskiriama graikų mokslininkui Apolonijui iš Pergamo karalystės (220–150 m. pr. m. e).

Kai kurie helenistiniai inžineriniai pasiekimai vadinami „pasaulio stebuklais“. III tūkst. pr. m. e. Faro salelėje netoli Aleksandrijos pastatytas žinomiausias pasaulio švyturys prastovėjo apie 1 500 metų, kol jį galutinai sugriovė žemės drebėjimas. Naujausieji tyrinėjimai leidžia daryti prielaidą,

kad statinio aukštis galėjo siekti net 134 metrus. Kuras į švyturio viršų spiraliniu pandusu buvo užvežamas mulų arba arklių traukiamais vežimais. Šviesai atspindėti jūros kryptimi buvo įrengti dideli bronziniai veidrodžiai, todėl jūreiviai Aleksandrijos švyturio šviesą naktimis matydavo būdami už 50 km. Švyturio paskutinis (trečiasis) bokštas turėjo 9 m aukščio kupolą, paremtą marmurinėmis kolonomis. Tarp jų degė švyturio ugnis (*laterna*). Švyturio viršūnę puošė bronzinė Dzeuso ar Poseidono skulptūra. Antras helenistinis „pasaulio stebuklas" buvo Rodo kolosas – milžiniška graikų Saulės dievo Helijo skulptūra, stovėjusi Rodo saloje III a. pr. m. e. Vidinę figūros konstrukciją sudarė iš akmens blokų pastatyti bokštai, stovintys ant 15 m aukščio marmurinio postamento. Į akmens blokus buvo įkalti geležies strypai, o prie jų pritvirtintos bronzos plokštės, formuojančios skulptūros paviršių. Monumentui buvo sunaudota maždaug 13 t bronzos ir 8 t geležies. Visas skulptūros aukštis siekė apie 35 metrus. Statula išstovėjo tik 56 metus, 226 m. pr. m. e. ją sugriovė žemės drebėjimas.

Dar iki helenistinių laikų buvo žinoma, kad U formos vamzdyje esantis vanduo pagal susisiekiančių indų principą abiejose vamzdžio atšakose pakyla į tą patį lygį. Ir šiandien hidrostatinį nivelyrą statybininkai naudoja tam pačiam lygiui nustatyti bei aukščiui pažymėti. Jo konstrukciją sudaro specialiuose dėkluose įtvirtinti, lanksčia žarnele sujungti vamzdeliai, kurie pripildyti skysčio. Ant vamzdelių pažymėtos padalos. Šis principas buvo taikomas ir senoviniuose sifonuose. Vanduo atvirame kanale buvo pilamas į vieną ar kelis vamzdžius, kurie leisdavosi į slėnį ar įdubą ir vėl kildavo į viršų. Kitoje slėnio pusėje vanduo pakildavo beveik į tokį patį aukštį, kaip ir priešingoje slėnio pusėje. Pergamo miesto sifonas 7,62–17,78 cm skersmens vamzdžiais tiekė vandenį 56 km atstumu. Vanduo tekėdavo į 2–3 km nuo miesto nutolusius baseinus, pastatytus ant 30 m aukščiau miesto lygio esančios kalvos. Iš baseino vanduo 25 cm skersmens mediniais ar bronziniais vamzdžiais per kelias kalvas ir slėnius tekėjo į miestą. Aukščių skirtumas tarp baseino ir žemiausios miesto vietos buvo apie 200 metrų. Žemutinėje vamzdžio dalyje vandens slėgis galėjo siekti 15 atm. todėl paprasti švino vamzdžiai, uždarius vamzdžio galą, tokio slėgio būtų neišlaikę.

Graikų inžinerija buvo glaudžiai susijusi su labai išvystyta matematika. Šioje srityje kelis amžius viešpatavę graikai labai išplėtojo geometriją, skaičių

ir lygčių teorijas. Galiausiai V m. e. a. graikų matematika užgeso. Priežasčių tam buvo daug: Aleksandrijos ir kitų mokslo židinių sunaikinimas, krikščionių netolerancija, mokymo tradicijų išsklaidymas politiškai neramioje rytinėje Viduržemio jūros regiono dalyje, siauras matematika užsiimančių žmonių ratas.

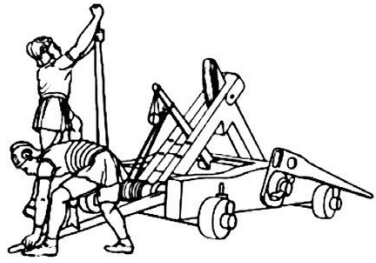
4 SKYRIUS

INŽINERIJOS RAIDA ROMOS IR BIZANTIJOS IMPERIJOSE, MUSULMONŲ PASAULYJE IR AMERIKOJE

SENOVĖS ROMĖNAI

Graikai buvo puikūs statytojai, tačiau, išskyrus kelias išimtis, tokias kaip Archimedas, jie buvo daugiau teoretikai nei praktikai. Romėnai buvo praktiškesni, ir nors patys išrado ne tiek jau daug, daugeliu atvejų pritaikė graikų naudotus technologinius būdus ar principus. Ne veltui romėnus vadino didžiaisiais senovės laikų inžinieriais. Jų sėkmę labiausiai lėmė gebėjimas organizuoti ir administruoti didelio masto projektus, taip pat praktinis požiūris į inžinerines problemas. Romos respublika, o vėliau Romos imperija tęsėsi apie 900 metų: nuo 509 m. pr. m. e. iki IV amžiaus. Romos istorija skirstoma į du laikotarpius: Respublikos (maždaug 509–27 m. pr. m. e.) ir Imperijos (27 m. pr. m. e. – 476 m. e. m.). Respublikos amžius buvo karo inžinierių amžius, o imperijos amžius – civilinės visuomenės inžinierių amžius. Sakoma, kad „Roma užkariavo Graikiją, tačiau Graikija savo ruožtu užkariavo Romą“, nes akivaizdu, kad helenistinis dizainas ir jo principai tapo Romos inžinerijos pamatu.

Karo inžinieriai buvo labai svarbūs Romos armijai. Jie buvo atsakingi už tvirtovių apgulos mašinas ir artileriją, kelių, tiltų, termų ir akvedukų projektavimą bei statybą. Koviniai mechanizmai buvo daromi iš medienos. Romėnų apgulties mašina buvo katapultos porūšis *onagras*, kuriuo šaudant naudojama susuktos virvės ar sausgyslių sukaupta sąsūkos energija (4.1 pav.). Virvės buvo pinamos iš žarnų, arklių arba moterų plaukų. Onagrai šaudė lenkta į viršų trajektorija, siekta sunkų „šovinį“ numesti kiek galima toliau. 1–5 kg akmenys



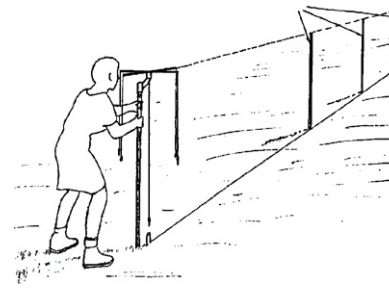
4.1 pav. Onagro (katapultos) eskizas (Roman Onager.jpg.)

nuskriedavo iki 0,5 km. Skirtingai nei lanko, kurio kinetinė energija priklauso nuo lanko elastingumo, katapultų ir balistų kinetinė energija priklauso nuo mažai elastingos susuktos virvės. Virvę galima įtempti tik specialiu mechanizmu. Tokią kovos mašiną priklausomai nuo jos šaudymo galios aptarnaudavo 2–5 žmonės. Imperatoriaus Augusto valdymo laikais dauguma romėnų „architektų" buvo iš kariuomenės kilę inžinieriai. II a. romėnų legionuose buvo *architectus*, arba statybos meistras, *mensor* – topografas, *hydraularius* – vandens inžinierius, *ballistarius* – katapultos aptarnavimo specialistas.

Romėnai nutiesė 300 000 km kelių, iš kurių 90 000 km buvo grįsti. Romos legionai tokiais „greitkeliais" galėjo žygiuoti nuo D. Britanijos iki Eufrato upės (4 000 km). Turėdami kelius jie išvystė prekybą, ryšius ir pašto paslaugas. Romos inžinieriams netrūko gerų medžiagų, nes statyboms išnaudojo šalia statomų kelių esančius karjerus. Priklausomai nuo vietovės keitėsi medžiagos ir konstrukciniai sprendimai ar statybos būdas. Romėnai kalkių skiedinį maišė su skalda ar plytų duženomis. Paruoštu skiediniu dengdavo pamatų akmenų sluoksnį, o virš jo vėl klojo akmenų sluoksnį. Taip pastatytas statinys buvo tvirtas ir panašėjo į vientisą sieną. Į tarpus tarp kelio grindinio akmenų pripylus su kalkėmis sumaišyto žvyro, buvo gaunamas betoninis kelias. Tikrojo hidraulinio betono išradimas ir jo taikymas statinių ir kelių inžinerijoje buvo vienas didžiausių romėnams priskiriamų išradimų.

Apie 150 m. pr. m. e. romėnai aptiko *trasą* – vulkaninio tufo uolieną, kurią susmulkinę gamino kalkių pakaitalą – hidraulinį cementą, arba *pucolaninį cementą*. Palei kelius išdėstytuose kelio ženkluose būdavo nurodomas atstumas iki kokios nors svarbios vietovės, kelio priklausomybė, kelio statytojas, tuo metu valdžiusio imperatoriaus vardas ir miesto ar rajono, kuris pastatė ženklą, pavadinimas. Romėnai kelius klasifikavo pagal naudojimo pobūdį: *seinita* – pėdos pločio (0,3 m) kelias, *iter* – 1 m pločio kelias raitiesiems ir

pėstiesiems, *actus* – 1,2 m pločio kelias vienkrypčiam vežimų eismui, *via* – 2,5 m pločio kelias dvikrypčiam vežimų eismui. Atstumai buvo užrašomi tūkstančiais žingsnių ir pažymimi raidėmis M. P. Kelio ženklai buvo cilindro formos 3–9 pėdų (romėnų) ilgio stulpai, pastatyti ant apvalaus plokščio pagrindo. Romėnų topografai ar matininkai buvo kelių tiesėjais, tačiau svarbiausias jų darbas buvo žemės plotų matavimas ir šių duomenų perdavimas žemės savininkams. Žemės matavimui romėnai naudojo prietaisą *gromą* ar *dioptrą* (4.2 pav.). Gromą sudarė keturi akmenys, kabantys ant virvučių, kurios buvo pritvirtintos prie pagaliukų, sukryžiuotų tam tikru kampu. Kampai buvo nustatomi vizualiai pagal sukryžiuotus pagaliukus. Šio prietaiso naudojimą ribojo nepakankamas tikslumas – jis tiko tik nedideliam atstumui nuo matuojamo objekto išmatuoti. Romėnai pradžioje kelių tiesimui naudojo egiptietišką gromą. Vėliau atsirado daug gromos modifikacijų. Vienas tokių prietaisų buvo *dioptra*, sukurta 150 m pr. m. e. Ją sudarė geležinė atrama su bronziniu svambalu. Heronas aprašė dioptrą kaip instrumentą, sudarytą iš apskritos metalinės plokštelės, kurią galima pasukti horizontaliai 360° dantyta pavara, ir kitos vertikaliai pakreiptos plokštelės. Prie šių plokštelių buvo galima pritaisyti lygį nustatantį įrenginį iš dviejų tarpusavyje sujungtų vamzdelių, užpildytų vandeniu. Lygio linija buvo pasirenkama tiesė tarp abiejų vamzdelių vandens paviršių (meniskų). Dioptra turėjo didelę horizontalią apskritą plokštelę su pažymėtais kampais, kuriuos galima sulyginti su besisukinėjančiu metaliniu taikikliu. Instrumentas turėjo du atvirus žiūronus ir buvo pritvirtintas prie sunkaus medinio stovo.



4.2 pav. Topografiniai matavimai su groma (how-use-roman-groma?language=en.)

Romėnams buvo labai svarbu aprūpinti miestus vandeniu. IV a. Romoje buvo daugiau kaip 1 350 fontanų ir 850 viešųjų pirčių, daug vandens buvo naudojama tualetams ir plačiam kanalizacijos tinklui. Vandens tiekimo vamzdynai buvo švininiai, todėl ilgainiui vandens vartotojai gaudavo nemažą dozę nuodingo švino, sukeliančio smegenų pažeidimus. Manoma, kad viena

iš Romos imperijos nuosmukio priežasčių buvo švino sukeltos sveikatos problemos. Vien tik Romoje buvo 11 akvedukų, kuriais iš aukštesnių vietovių į miestą tekėjo gravitacinės jėgos varomas vanduo. Techniniu požiūriu Romos akvedukus administravo *agrimensoriai* (matininkai), *libratoriai* (lygio matuotojai), *mensoriai* (kiekio matuotojai) ir *akvalegai* (akveduko inspektoriai). Romoje vandens grynumą padėjo apsaugoti dengti akvedukai, rezervuarai (*castellum*) ir nusodinimo baseinai. Veikė griežti vandens taršos ir vagysčių įstatymai. Vanduo iš akvedukų buvo tiekiamas viešiesiems fontanams, pramonei (tekstilei), viešosioms pirtims ir kai kuriems privatiems namams. Vietovėse, kuriose nebuvo šilto vandens šaltinių, vandenį pašildydavo vadinamuoju hipokaustiniu šildymo būdu (per šildomas grindis ir sienas). Nuotekų šalinimui buvo naudojamas akvedukų perteklinis vanduo. Romoje veikė ir visuomeniniai tualetai. Didžioji Romos kanalizacijos sistema *Cloaca Maxima* buvo 5 m aukščio, o kai kuriose vietose – 4 m pločio. Kanalizacijoje nebuvo nuotekų valymo, o atliekos, išleistos į Tiberio upę, tekėjo į Vidužemio jūrą.

180 m. Vitruvijaus aprašytas vandens rato sukamas malūnas buvo pirmoji mašina, kurioje panaudota krumpliaratinė pavara. Šis malūnas turėjo vertikalų ratą, kuris per krumpliaratinę pavarą suko horizontalias girnas. Vandens malūnų skaičius Romos imperijoje iki pat IV–V a. didėjo labai pamažu. Šie malūnai daugiausia buvo naudojami grūdams malti, nors kartais juos naudojo rūdai trupinti ar kalvystės darbams. Kroviniams kelti pastatuose buvo įrengiami vandens rato sukami keltuvai iš virvių ir skryščių. Plačiam kelių tinklui reikėjo daug tiltų. Statant tiltus dažnai upėje buvo statoma laikina, vandens nepraleidžianti užtvara – *koferdamas*. Užtvarą statydavo iš medinių polių, tarpus tarp polių sandarindavo moliu. Vanduo iš šios uždaros ertmės buvo išpumpuojamas Archimedo sraigtu.

Kai kur Imperijos pakraščiuose gynybai nuo priešiškų genčių išpuolių buvo statomi inžineriniai gynybiniai įtvirtinimai. Toks gynybinis įtvirtinimas Romos imperijos Britanijos provincijoje buvo Adriano siena. Siena pradėta statyti 122 metais. Ji tęsėsi nuo Šiaurės iki Airijos jūros, jos ilgis 117,5 km. Sienos plotis ir aukštis priklausė nuo netoliese esančių statybinių medžiagų. Rytinė sienos dalis buvo pastatyta iš skaldytų kvadratinių akmens blokų, o vakarinė dalis buvo velėna dengtas pylimas (4.3 pav.).



4.3 pav. Adriano sienos (D. Britanija) 39-o bokšto pamatai (Milecastle 39 on Hadrian's Wall.jpg.)

Žmonijos technologinei plėtrai didelę svarbą turėjo Artimuosiuose Rytuose prasidėjęs *geležies amžius*. Senovės indoeuropiečių tauta hetitai vieni pirmųjų pradėjo naudoti geležį ginklams. Jie gyveno Mažojoje Azijoje, tiksliau – jos centrinėje dalyje Kapadokijoje. Patys *hetitai* savo šalį vadino *Hatti*, tačiau šis pavadinimas nebuvo hetitiškos kilmės, o perimtas iš anksčiau čia gyvenusių gyventojų – hatų. Spėjama, kad sukurta geležies gamybos technologija buvo vienas iš jų galios šaltinių. Kapadokijos kraštovaizdis, suformuotas iš lavos srautų, pelenų ir tufo uolienų, susidarė neoceno laikotarpiu. Tufas yra puiki statybinė medžiaga, jis lengvai pjaustomas ir pasižymi labai geromis šilumos izoliavimo savybėmis. Akyto akmens statiniai viduje palaiko pastovią temperatūrą tiek vasarą, tiek ir žiemą. Kapadokijoje yra keletas požeminių miestų, kuriuose slėpėsi ankstyvieji krikščionys, kol krikščionybė tapo valstybine Romos religija. Pirmieji urvai ar statiniai atsirado VIII–VII a. pr. m. e. Šias tufe iškirstas kelių aukštų patalpas jungė siauri koridoriai, juose buvo įrengti įvairūs spąstai, įėjimus blokuojantys akmenys, lubose padarytos skylės,

pro kurias buvo galima leisti strėles ar mesti ietis. Siaurais koridoriais priešai negalėjo judėti grupėmis, o atskirus karius buvo lengviau įveikti. Archeologai atskleidė, kad hetitai vario lydymo tiglius gamino iš mineralo *andezito*. Į andezito bloke padarytas kiaurymes (maždaug 10 cm skersmens) jie pildavo vario rūdą ir kaitindavo.

INŽINERIJOS RAIDA BIZANTIJOS IMPERIJOJE IR MUSULMONŲ ŠALYSE

Žlugus Vakarų Romos imperijai (476 m.), Artimieji Rytai ir Afrika tapo atskirais galios centrais. Dabartinėje Prancūzijos ir Vokietijos teritorijoje 481–814 m. egzistavo Frankų valstybė, Ispanijos teritorijoje 507–711 m. – Vestgotų karalystė, Italijos teritorijoje 493–526 m. – Ostgotų karalystė, Šiaurės Afrikoje 429–533 m. – Vandalų karalystė, o rytinėje Vidužemio jūros dalyje – Rytų Romos, arba Bizantijos, imperija. Bizantijos sostinė Konstantinopolis buvo to meto civilizuoto pasaulio centras. Šiam graikų kalba kalbančiam metropoliui išgyventi kelis šimtmečius padėjo sukaupta senovės išmintis. Bizantijos inžinieriai, architektai ir mokslininkai sumaniai diegė mokslo ir technologines naujoves. Po Vakarų Romos žlugimo Bizantijos imperija išgyveno dar beveik tūkstantmetį. Jos karinę galią užtikrino inžineriniai pasiekimai. Konstantinopolio sienų aukštis siekė 12 m, plotis – 4 m, sienų vidus buvo sustiprintas betonu. Šv. Sofijos soboras buvo pastatytas 532–537 m. įsakius Bizantijos imperatoriui Justinianui I. Bažnyčios projektas patikėtas architektams Antemijui Traliečiui ir Izodoriui Miletiečiui, kurie aiškiai suprato, kad tai turi būti naujo stiliaus bažnyčia ankstyvosios krikščionybės pasaulyje. Projekto didingumas, sudėtingumas ir konstrukcinis išmoningumas iš tikrųjų rodo nepaprastą šių architektų pasitikėjimą savo profesiniais gebėjimais. Jiems pavyko sukurti vieną įspūdingiausių šventovių pasaulio istorijoje. 30 m aukščio kolonas jungia 18 m pločio arkos. Įspūdingas didžiulis kupolas (1 300 m^2) buvo suprastas kaip dangaus simbolis, nes besimeldžiantiems atrodydavo, kad jis sklando ore. Jis buvo laikomas didžiausiu kupolu pasaulyje, ir tik po tūkstančio metų jį pranoko Šv. Petro bažnyčios kupolas Romoje. Apie tūkstantį metų ši Dievo Šventos Išminties bažnyčia priklausė rytų ortodoksams. Bizantiečiai pirmieji

karyboje panaudojo cheminį ginklą. Graikiška ugnis buvo išrasta apie 670 m. Konstantinopolyje. Graikiška ugnis yra degančio skysčio ginklas, galintis degti ir sąlytyje su vandeniu. Manoma, kad graikiškos ugnies mišinio sudedamosiomis dalimis buvo naftos distiliatas, pikis, siera, pušies arba kedro derva, kalkės ir bitumas. Bizantiečiai naudodavo ją jūrų mūšiuose, ir tai tikriausiai lėmė ne vieną jų pergalę. Skysčio sudėtis ir naudojimo procesas buvo slepiami ir iki šiol nėra visiškai išaiškinti. Pradžioje lengva katapulta buvo šaudomi į audinį įvynioti sviediniai, kurių viduje galbūt būdavo indas su degiuoju skysčiu. Toks 6–9 kg svorio sviedinys nuskriedavo 350–450 metrų. Vėliau, patobulinus technologijas, pumpuojantis mechanizmas galėdavo nedideliu atstumu iššvirkšti degančio skysčio srovę ir uždegti medinius priešo laivus.

Susikūrus Bizantijos imperijai, tuo pačiu metu plito arabų užkariavimai: arabų armijos 638 m. užkariavo Siriją ir Mesopotamiją, 640 m. – Egiptą, 641 m. – Persiją, 697 m. – Šiaurės Afriką.

Iki 711 m. jie užkariavo Ispaniją ir įsiveržė į Prancūziją. Damasko kalifato Ispanijos provincijos Andalūzijos sostine tapo Pietų Iberijos miestas Kordoba. Islamo pasaulio aukso amžius tęsėsi nuo 900 iki 1 100 m. Savo valdomose teritorijose arabai kūrė mokymosi centrus, kopijavo graikų tekstus ir vertė juos į arabų kalbą, sukūrė popierines knygas ir paskleidė arabų skaitmenis, įskaitant nulį ir dešimtainį kablelį. Islamo pasaulis buvo daugybės kultūrų lydinys. Pasibaigus užkariavimų laikotarpiui (apie 750 m.) prasidėjo antikos žiniomis grįstos civilizacijos plėtra. 793 m. Bagdade pradėjo veikti pirmasis popieriaus fabrikas. Arabų mokslininkai ir inžinieriai sukūrė pirmąjį rankinį navigacijos prietaisą *astroliabą* įvairaus dydžio kampams matuoti. Šiais įrenginiais pagal žvaigždžių ir planetų išsidėstymą buvo nustatoma laivo padėtis jūroje. Buvo parašyta per 100 medicinos, daugiau kaip 200 meteorologijos ir optikos darbų, pastatytos vandens kėlimo mašinos, patobulinta švytuoklė, žemės ūkyje pradėta naudoti trąšas, architektūroje sukurta pasagos formos arka. Daug pasiekta matematikoje – naudojo sferinę trigonometriją, sukūrė sinuso, tangento, kotangento sąvokas. Arabų mokslininkai padėjo pagrindus chemijai – naudojo garinimą, filtravimą, sublimaciją, lydymą, distiliavimą ir kristalizaciją. Jie sukūrė cukraus rafinavimą, pradėjo alkoholio, sieros, azoto rūgščių ir benzino gamybą, vėjo malūnais pumpavo vandenį ir drėkino žemės

ūkio naudmenas. Arabai pastatė džiovinimo ir vėdinimo bokštus, kuriuose džiovindavo laivų bures. Šie bokštai, stovėdami šalia didesnių pastatų, tokių kaip mečetės, patalpoms teikė vėsą ir drėgmę. Arabų inžinieriai buvo labai kvalifikuoti hidraulikos meistrai. Jie pertvarkė senovines sistemas ir pastatė daug naujų. Laukų drėkinimui ir vandens tiekimui jie naudojo vandens ratus, statė upėse užtvankas, naudojo potvynių ir atoslūgių varomus įrenginius. Norėdami geriau panaudoti vandens srauto energiją, vandens ratą statydavo tarp tilto atramų, nes čia vandens srovės greitis buvo didžiausias.

Arabų pasaulio naujove buvo užtvankų, skirtų kaupti vandenį, statyba. Jie sėkmingai naudojosi romėnų ir graikų pastatytomis užtvankomis, vėliau statė mūrines ar betonines užtvankas, sustiprintas švininiais tvirtinimo elementais. Jie ir toliau naudojo romėnų statytas vandens tiekimo sistemas, tokias kaip Segovijos, Toledo ir Almunekaro akvedukai.

Naudodamiesi tigliniu plieno lydymo būdu, Damasko ir Toledo kalviai gamino labai kokybiškus kardus. Plienui gaminti buvo naudojama magnetito rūda, bambuko anglis ir tam tikrų augalų lapai. Anglimi redukuota geležies rūda virsdavo kempininės geležies gabalu. Tiglis buvo kaitinamas iki maždaug 1 200 °C. Šioje temperatūroje susidaro austenitinės struktūros geležis, galinti ištirpdyti 1,5–2 % anglies. Lėtai aušdamas austenitas virsta ferito ir geležies karbido (cementito) kristalų mišiniu. Iš tokio metalo nukaltas ginklas ar įrankis vėl buvo kaitinamas iki austenitinės būklės ir greitai aušinamas (grūdinamas). Po grūdinimo gaminys įgaudavo svarbiausias savybes – kietumą ir stiprumą. Suprantama, tuos darbus dirbę meistrai nieko nežinojo apie kristalinę plieno sandarą ar fazinius virsmus, jie tik naudojosi iš kartos į kartą perduodamu patyrimu.

Hidrotechnikoje arabai buvo lygiaverčiai ar net pranoko romėnus. Pastatų ir fortifikacijų statyboje didelių naujovių, išskyrus adiabatinį aušinimą, smailiąją arką ir gembinius sienų įtvirtinimo parapetus, nebuvo. Arabai mažai rūpinosi keliais ir nepritaikė romėnų kelių sistemos savo tikslams. Tiksliosiomis technologijomis, vandens ir vėjo energijos panaudojimu jie lenkė savo pirmtakus. Visuotinai pripažįstama, kad chemijoje, matematikoje, astronomijoje ir netgi žemės ūkyje naudojama daug žinių, atkeliavusių iš arabų klestėjimo epochos.

Bizantiją ir Arabų Kalifatą užkariavo turkai osmanai. Po plėtros į Europą ir Anatoliją, 1453 m. osmanai užėmė Konstantinopolį ir beveik

užbaigė Bizantijos užkariavimą. XV–XVII a. osmanai plėtė savo valdas į Rytų ir Vidurio Europą, Kaukazą, Šiaurės Afriką, Arabijos pusiasalį, Siriją ir Viduržemio jūros salas. Jie buvo barbarai ir militaristai, be to, vartotojai, o ne statybininkai. Tik savo klestėjimo apogėjuje jie perėmė arabų ir Bizantijos žinių sistemą. Dar viena užkariautojų banga, XIII a. atplūdusi iš Mongolijos stepių, sunaikino Islamo karalystę Irane, o Turkestane ir Irake iš miestų ir drėkinamų laukų liko tik griuvėsių krūvos.

PRIEŠKOLUMBINĖS AMERIKOS CIVILIZACIJOS

Olmekai – civilizacija, klestėjusi maždaug 1200–200 m. pr. m. e. dabartinės Meksikos pietų centrinėje dalyje (Verakruzo ir Tabasko valstijų teritorijoje). Nors olmekų dirbinių rasta daugelyje vietų, taip pat apie 50 tekstų, kelios dešimtys milžiniškų akmeninių galvų ir rutulių, nieko tikro apie jų kultūrą pasakyti negalima. Manoma, kad olmekai buvo pirmoji Vakarų pusrutulio civilizacija, naudojusi raštą. 2002 ir 2006 m. rasti simboliai datuojami atitinkamai 650 ir 900 m. pr. m. e. Archeologai nustatė, kad tarp 400 ir 350 m. pr. m. e. gyventojų skaičius rytinėje olmekų šalies dalyje sparčiai mažėjo, o teritorija iki XIX a. buvo retai apgyvendinta. Įspūdingiausias olmekų civilizacijos palikimas yra milžiniškos šalmuotos akmeninės galvos. Manoma, kad šios galvos yra buvusių valdovų portretai. Galvų aukštis 1,47–3,4 m. Didžiausios galvos sveria nuo 25 iki 50 tonų (4.4 pav.). Olmekų meno kūriniai laikomi ryškiausiais ir gražiausiais tarp visų kitų Senovės Amerikos kultūros šedevrų.



4.4 pav. Akmeninė olmeko galva (Olmec Head No. 1 at Xalapa, Veracruz, Mexico.jpg.)

Majai – Centrinės Amerikos indėnų tauta, gyvenusi Meksikos



4.5 pav. Majų kaukė (Maya-Maske.jpg.)

pietuose (Čiapas, Jukatano šiaurė), Gvatemaloje, vakarų Hondūre ir šiauriniame Belize. Jų civilizacija gyvavo maždaug nuo 1 000 m. pr. m. e. iki ispanų užkariavimo. Teritorija, kurioje gyveno majai, buvo apgyvendinta apie 2 600 m. pr. m. e. Pirmosios majų gyvenvietės įkurtos maždaug 1 800 m. pr. m. e. Majų klestėjimo laikotarpį (apie 250–900 m.) liudija didžiulės apimties statybos ir monumentalūs užrašai (4.5 pav.). Svarbiausi jų paminklai yra laiptuotosios piramidės, pastatytos religiniuose centruose (4.6–4.8 pav.). Šie centrai pradėjo nykti VIII–IX amžiuje. Majai vertėsi žemdirbyste, statė didelius akmeninius pastatus ir piramides, šventyklas, gamino aukso ir vario dirbinius, turėjo sudėtingą hieroglifų raštą. Individualūs simboliai (glifai), galintys reikšti ir žodį, ir skiemenį, ir abu kartu, buvo kruopščiai dažomi ant keramikos, pastatų sienų, žievės, išpjaustomi medienoje ar akmenyje arba išraižomi ant tinko. Majai buvo sudarę sudėtingą kalendorių ir astronominę sistemą.

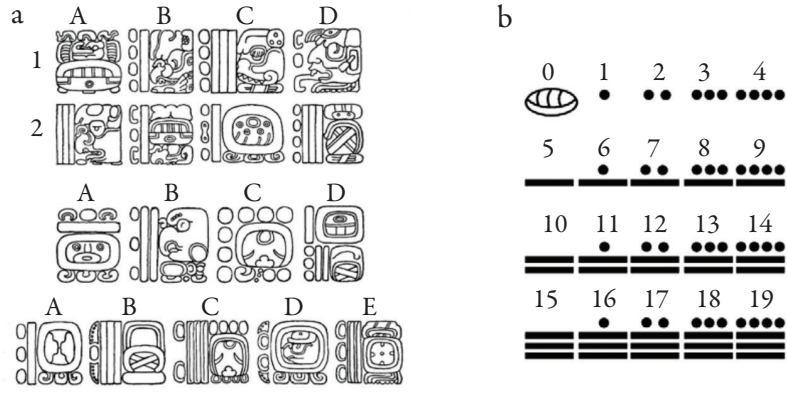
Majų raštą sudaro apie 550 logogramų, atitinkančių žodžius, ir 150 hieroglifų, kurie reiškia skiemenis. Dar yra apie 100 glifų, reiškiančių vietą arba dievo vardą. Dažniausiai buvo naudojama apie 300 glifų. Iš majų kultūros daugiausia išliko kulto centrai, kuriuose yra daug piramidžių, šventyklų,



4.6 pav. Majų laiptuotoji piramidė (Chichen Itza 3.jpg.)



4.7 pav. Majų monumentalus užrašas (Cancuenpanel3.jpg.)



4.8 pav. Majų rašmenys (a – Maya Hieroglyphs Fig. 13.jpg) ir skaičiai (b – Maya.svg.)

rūmų, pastatytų iš kalkakmenio blokų, gausiai išpuoštų ornamentika, su įrašais apie istoriją, religiją ir astronomiją. Majai labai gerai buvo išvystę matematiką ir astronomiją. Vienas iš pačių pažangiausių matematikos pasiekimų buvo *nulio* sąvoka. Jie naudojosi sudėtingu saulės metų kalendoriumi (18 mėnesių po 20 dienų ir papildomas 5 dienų laikotarpis). Majų astronomai turėjo tikslias Mėnulio ir Veneros pozicijų lenteles ir mokėjo numatyti Saulės užtemimus. Jų religija turėjo savo gamtos dievų panteoną – saulės, mėnulio, lietaus, grūdų dievus. Šią civilizaciją pražudė beveik 200 metų trukusi sausra. Manoma, kad majų populiacija viršijo gamtinės aplinkos resursus, todėl nuskurdo žemės ūkis ir sumažėjo megafauna. Per šimtą metų, skaičiuojant nuo konkistadorų įsiveržimo į Centrinę Ameriką XVI a., išnyko 85–90 % majų populiacijos.

Naskos kultūra ar civilizacija – tai pietinėje Peru dalyje esančiame Naskos regione 300 m. pr. m. e. – 800 m. gyvavusi senovės kultūra. Naskos žmonės buvo puikūs keramikai – rasta daug išlikusių keramikinių dirbinių: žmonių, augalų, gyvūnų, dievybių statulėlių; jie buvo įvaldę ir tekstilės amatą – iš vilnos ir medvilnės verpalų gamino tekstilės gaminius. Naskos kultūra yra žinoma dėl išskirtinės polichrominės keramikos, kurioje būdavo panaudojama daugiau negu 15 skirtingų spalvų (4.9 pav.). Naskiečiai buvo sukūrę hidraulinę sistemą, reikalingą gyvybei palaikyti itin sausoje aplinkoje. Dykumoje



4.9 pav. Naskos keramika (Orca mitica nasca.jpg.)

jie buvo įrengę iki šių dienų išlikusią irigacinę sistemą. Sudėtinga akvedukų ir dažniausiai požeminių kanalų sistema vanduo iš kalnų pasiekdavo pakrantę. Drėkinamose žemėse buvo auginami javai, įvairios kitos žemės ūkio kultūros.

Naskos kultūra, kaip ir visos kitos prieškolumbinės Pietų Amerikos bendruomenės, tarp jų ir inkai, priešingai nei majai, nesukūrė rašto sistemos. Komunikacijai jie naudojo ikonografiją arba dažytą keramiką. Garsios šios civilizacijos liekanos yra Naskos geoglifai – gausūs gyvūnų ir abstrakčių figūrų brėžiniai, kuriuos galima pamatyti tik iš skrydžio aukščio (4.10 pav.). Piešinius sudaro šimtai detalių – nuo paprasčiausių linijų iki sudėtingų geometrinių formų bei piešinių: beždžionių, kolibrių, driežų, vorų, lamų, žuvų, ryklių arba orkų. Didžiausių figūrų skersmuo siekia 200 m. Figūros išraižytos pašalinus nuo žemės paviršiaus rausvus akmenis ir atidengus šviesų paviršių. Naskos dykumoje žemdirbystė neplėtojama, todėl piešiniai išliko iki šių dienų. Dėl kol kas nežinomų priežasčių Naskos kultūra netikėtai išnyko.

Žinoma seniausia Andų regiono inkų civilizacija (dabartinėje Peru teritorijoje) tikriausiai prasidėjo apie 3 200 m. pr. m. e. Aukštikalnių geografinės sąlygos suformavo išskirtines fizines žmonių ypatybes: jų plaučių tūris buvo beveik trečdaliu didesnis negu žemumų gyventojų, lėtesnis širdies susitraukimų dažnis, jie turėjo maždaug 2 l daugiau kraujo ir dvigubai didesnį hemoglobino, kuris perduoda deguonį iš plaučių į likusį kūną, kiekį. Inkų genties civilizacija prasidėjo Kusko rajone maždaug XII amžiuje. XVI a. pradžioje atkeliavus ispanų konkistadorams, tuo metu tai buvo didžiausia civilizacija Amerikoje, apimanti dabartinių Peru, Bolivijos, Ekvadoro teritorijas, taip pat Čilės, Kolumbijos ir Argentinos dalis. Ši kultūra žinoma dėl



4.10 pav. Naskos geoglifai (Líneas de Nazca, Nazca, Perú, 2015-07-29, DD.)

savo unikalaus rašto (*kipu*), puikios kelių sistemos, savito aukštikalnių miesto Maču Pikču (isp. Machu Picchu). Inkų tvirtovė buvo pastatyta XV–XVI a. Maču Pikču kalno šlaite, 2 350 m aukštyje virš jūros lygio. Inkai tikėjo reinkarnacija. Žymūs asmenys būdavo mumifikuojami. Mirusysis paprastai būdavo laidojamas sėdimoje padėtyje. Inkai nutiesė apie 22 000 km kelių, įrengė virvinius tiltus. Vietomis keliai siekė 5 000 m aukščio perėjas. Kadangi inkai nežinojo rato, susisiekdavo lamomis, pranešimus perduodavo bėgikai. Vietoje rašto buvo naudojamos atmintinės, vadinamos *kipu*, – tai spalvingų gijų iš lamos ar alpakos vilnos rinkinys. Gijų skaičius galėjęs siekti iki 2 000. Ant jų užrišami mazgai turėjo skaitinę reikšmę. Skaičiai buvo išreiškiami dešimtaine sistema. Mazgo tipas, padėtis ant gijos ir kt. turėjo savo reikšmę. Dalis mazgų, gijų spalvos turėjo ir kitą reikšmę, tačiau ji nėra iššifruota. Manoma, kad *kipu* sistema neturėjo mazgų, reiškiančių fonetinius atitikmenis (garsus). Monumentalūs inkų statiniai buvo pastatyti iš akmens be rišamosios medžiagos. Statybai naudojami akmenys buvo skaptuojami taip,

kad statant idealiai tiktų vienas prie kito. Tokie statiniai buvo labai stabilūs ir atsparūs žemės drebėjimui. Inkai neturėjo geležies ar plieno, tačiau sukūrė bronzos lydinį. Prieš inkus gyvenusios Andų tautos geriausiu atveju naudojo arseninę bronzą. Inkai išgavo alavo-vario lydinį, kuris dažniausiai ir siejamas su „bronzos amžiaus“ metalurgija. Inkų auksakaliai mokėjo gaminti gražius dirbinius iš aukso, sidabro ir bronzos, tačiau jiems auksas ir jo dirbiniai buvo menkesnės vertės nei geri drabužiai. Ispanai, vadovaujami Francisco Pizarro, 1526 m. pasiekė inkų valdomas teritorijas. 1572 m. buvo užimta paskutinė inkų tvirtovė, o jos valdovas nužudytas, ir tai reiškė inkų valstybės pabaigą.

VIDURAMŽIŲ INŽINERIJA

Viduramžių laikotarpis Europos istorijoje skaičiuojamas nuo V iki XV amžiaus. Ankstyvieji viduramžiai pasižymėjo mažėjančiu gyventojų skaičiumi, lėtėjančiu miestų augimu ir barbarų genčių puldinėjimais. Įsibrovėliai barbarai Romos imperijos vakarinėje dalyje suformavo naujas karalystes. Visgi po 1 000 metų prasidėjęs laikotarpis atnešė didelių pokyčių, nes vėl staiga ėmė didėti gyventojų skaičius. Atsiradusios technologinės ir žemės ūkio naujovės skatino prekybos klestėjimą, didino pasėlių derlingumą. Antra vertus, Vakarų Europos gyventojai vėlyvaisiais viduramžiais labai nukentėjo nuo bado, maro ir karų, kurie vietomis labai sumažino gyventojų skaičių. 1 347 ir 1 350 metų maro protrūkiai nusinešė beveik trečdalį Europos gyventojų gyvybių.

VIKINGŲ LAIVAI

Šiaurės laivai skyrėsi nuo Vidužemio jūros regione statomų laivų. Vikingų laivai buvo dviejų pagrindinių tipų: plačiadugniai *langskipai* (ilgieji laivai) ir *knorai.* Langskipai – užsmailintais abiem galais kariniai laivai, be denio, labai ilgi ir siauri. Knorai turėjo denį ir buvo ne tokie siauri, nes jie daugiau buvo naudojami krovinių pervežimui ir prekybai. Abu laivų tipai turėjo stiprų korpusą, bures, nors langskipai dažniau buvo varomi irklais (4.11 pav.). Laivo, surasto Rytų Anglijoje karaliaus kapavietėje, ilgis 24 m, plotis 4,27 m, grimzlė 61 cm. Laivo elementai buvo sutvirtinami vario vinimis, prie burių buvo



4.11 pav. 1880 m. rastas Osebergo laivas. Vikingų laivų muziejus Osle (Wikingerschiff Oslo.jpg.)

prisiuvami švino žiedai, kuriais slankiojo bures iškeliančios ir nuleidžiančios virvės. Laivo inkaravimui ir balastui buvo naudojami sunkūs akmenys. Viena iš vikingų laivų statybos paslapčių – laivo kylio išradimas. Dėl kylio vikingų laivai buvo gaminami platesni. Tokiais laivais buvo galima buriuoti. Šių laivų stiprio ir svorio santykį sunku viršyti net ir šiandieninėmis laivų statybos medžiagomis.

PILYS

Pilis – gynybinis statinys, statytas Europoje ir Artimuosiuose Rytuose, kuris nuo tvirtovės skiriasi papildomomis (šalia gynybinės) funkcijomis. Jose buvo gyvenama arba iš jų valdoma tam tikra teritorija. Sutvirtinimai ir pylimai buvo naudojami gynybai nuo akmens amžiaus. Pilį sudarė griovio juosiama kalva ar dirbtinis pylimas su mediniu bokštu viršūnėje. Ankstyvąsias pilis saugojo aukšta medinė statinių tvora. Pilies kieme už aptvaro stovėdavo gyvenamieji pastatai, arklidės, svirnai ir daržinės. Pilies aptvaro skersmuo buvo 30–90 m, aukštis – nuo 3 iki 30 m.

Statybos medžiagų ir technikos pasirinkimą lėmė statybos kaštai, medžiagų prieinamumas, apdirbimo sudėtingumas, meistrų kvalifikacija. Medinių rentinės, stulpinės, karkasinės konstrukcijos pastatų statyba Europoje buvo įprasta, reikėjo tik savų meistrų. Geologinės skirtingų Europos regionų sąlygos taip pat paliko žymę pilių statyboje: Lenkijoje,

Prūsijoje, Šiaurės Vokietijoje vyrauja plytinės gotikos statiniai, Vakarų ar Pietų Vokietijoje, Prancūzijoje pastatams naudotas smiltainis ir kalkakmenis. Čekijoje ar Vengrijoje taip pat mažai degtų raudonų plytų pastatų. Į šiaurę nuo Lietuvos žemės paviršiuje atsivėrę kalkakmenio klodai tapo kai kurių vietos pilių statybine medžiaga. Pilys buvo statomos kaip įtvirtintos rezidencijos, t. y. buvo gyvenamos, naudojamos kaip priebėgos vieta apsisaugoti nuo puolančių priešų, o priešiškose teritorijose iš jų buvo kontroliuojamos apylinkės. Pilys, kurių pagrindinė funkcija buvo gyvenamoji, paprastai vadinamos rūmais. Maždaug nuo XI a. pabaigos didesnėse pilyse imta statyti akmeninį bokštą, vadinamą *donžonu*. Bokšte laikytos maisto atsargos ir ginklai, jame gyveno pilies valdovas ir jo pagalbininkai, tarnai, požemiuose buvo laikomi kaliniai. Tokius bokštus pirmieji pradėjo statyti normanai. Nuo XII a. apie donžoną pradėta statyti akmeninius aptvarus. Aptvarų sienose buvo statomi išsikišę bokštai, iš kurių puolančiuosius buvo galima apšaudyti iš visų pusių. Maždaug XIII a. pabaigoje pilyse atsirado antroji išorinė siena. Tokios pilys buvo vadinamos koncentrinėmis, nes jų aptvarinės sienos kartais buvo net kelios. Vienas ankstyvesnių žemės aptvarais supamų pilių pavyzdžių yra V a. pastatytas Konstantinopolio žemės aptvaras. Aptvarą sudarė trys skirtingi žemės pylimai, kurių aukštis vidine aptvaro kryptimi didėjo.

Jau ankstyvaisiais laikais silpniausia gynybinio aptvaro vieta buvo laikomi vartai. Dėl to atsirado poreikis pilį apsaugoti keliomis koncentrinėms sienomis. Užpuolikams buvo sunkiau padaryti sienų pralaužas ar atgabenti tokioms pralaužoms daryti reikalingas priemones. Sienos galėjo nukreipti užpuolikus į zonas-spąstus, kuriose jie galėjo būti lengvai iššudyti. Pilyje įrengdavo pakeliamuosius vartus, vandens griovius, spiralinius laiptus, smegduobes, šaudymo angas ir kt. Pilies konstrukcija atspindi ir viduramžių socialinius pokyčius. Silpnėjant centrinei valdžiai, aristokratija tampa mažiau priklausoma nuo karaliaus ar valdovo ir, valdydama didelius dvarus ir žemes, savo rankose sutelkia daugiau teisės ir administravimo galių. Taigi pilis tampa ne tiek karine tvirtove, kiek vietinio didžiūno jėgos, galios ir svarbos ženklu.

Viduramžių miestuose svarbų vaidmenį atliko miesto vartai. Jie saugojo miestiečius ne tik nuo priešo kariuomenės, bet ir plėšikų. Be to, vartai padėjo kontroliuoti prekybą, apmokestinti įvežamas prekes. Vakare vartai buvo uždaromi.

Lietuvos Didžiosios Kunigaikštystės sostinės Vilniaus gynybinė siena buvo pastatyta 1503–1522 metais. Sienoje buvo devyneri vartai. Išlikę Medininkų vartai (4.12 pav., a) saugojo įėjimą į pietinę miesto dalį. Viena Vilniaus pilies komplekso dalis buvo pastatyta ant kalvos ir yra žinoma kaip *Aukštutinė pilis*. Kalnas, ant kurios pastatyta pilis, yra apie 40 m aukščio ir vadinamas Gedimino kalnu. Kalvos viršutinę dalį supo medinė gynybinė siena, kuri IX a. buvo sustiprinta akmenų mūru. Vilniaus Aukštutinė pilis galėjo būti pastatyta XIII a. pab. – XIV a. pradžioje. Ant smėlingo kalno stovėjusi pilis buvo medinė, sutvirtinta plytomis, akmenimis ir žemėmis. 1323 m. pilis buvo sustiprinta ir praplėsta. 1419 m. kilus gaisrui, medinė pilis sudegė. Atstatyta naudojant neskaldytus akmenis ir plytas, kaip rišamoji medžiaga naudotas kalkių skiedinys. Pilies rekonstrukcija buvo baigta 1422 metais. Naujoji pilis buvo gotikinio stiliaus, mūrinė, su trimis bokštais, reprezentaciniais rūmais ir ūkiniais pastatais. Vakarinis iki mūsų laikų išlikęs bokštas buvo keturių aukštų. Dabartinės Aukštutinės pilies liekanos kaip tik ir mena šią erą (4.12 pav., b). XVII a. Aukštutinė pilis buvo apleista, joje kurį laiką veikė bajorų kalėjimas.

Plytų matmenys pasaulyje niekada nebuvo vieno standarto (4.1 lentelė). XVI a. Lietuvoje atsirado plytų rišimo būdas, vadinamas *renesansiniu*, kai pakaitomis dedamos ilgų ir trumpų plytų eilės (4.13 pav.). Skiriamos dvi



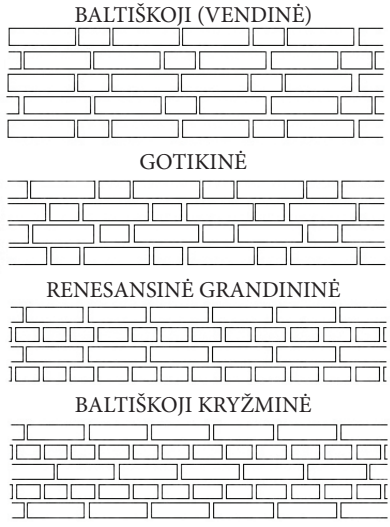
4.12 pav. Vilniaus fortifikacijos: a – miesto pietiniai, arba Aušros, vartai, b – Vilniaus Aukštutinės pilies, statytos 1422 m., griuvėsiai (A. V. Valiulio nuotr.)

4.1 lentelė. Šiuolaikinių molio plytų matmenys

Valstybė	Plytos matmenys (ilgis, plotis, storis) mm
Indija	228 × 107 × 69
JAV	203 × 102 × 57
D. Britanija	215 × 102 × 65
Pietų Afrikos Respublika	222 × 106 × 73
Australija	230 × 110 × 76
Lietuva	250 × 120 × 88 (65)

renesansinio plytų rišimo atmainos: grandininis (tolygiai kaitaliojamos ilgų ir trumpų plytų eilės) ir kryžminis (kas antra ilgų plytų eilė horizontalia kryptimi pastumta per pusę plytos ilgio).

Trakų salos pilis buvo statoma keliais etapais (4.14 pav.). Pirmajame statybų etape (XIV a. II pusėje) pilis buvo pastatyta didžiausioje (šiaurinėje) iš trijų ežerų salų. Tada pilį sudarė du papiliai ir pusiau uždaro plano rezidencijos rūmai. Nei donžono, nei kontraforsų dar nebuvo. Antrasis – gotikinės



4.13 pav. Senųjų pastatų mūrų plytų perriša Lietuvoje

statybos – laikotarpis prasidėjo greičiausiai XIV a. pabaigoje. Tuo laikotarpiu pastatyti rezidencijos rūmai su vidaus kiemu ir donžonu, juos supančios gynybinės sienos, supilta terasa. Pietiniame terasos kampe iškastas šulinys. Trečiame statybos etape (XV a. pradžioje) suformuotą papilį supo gynybinė siena su trimis gynybiniais bokštais. Bokštai turi kvadratinį apie 13 × 13 m dydžio pagrindą ir 5 m storio iš akmenų sumūrytas sienas. Nuo antrojo aukšto bokštai apskriti. Priešpilio bokštai buvo apie 18 m aukščio, turėjo po 5 aukštus ir čerpinius kūgio pavidalo stogus. Kiek vėliau sumūryti vakariniai, o dar vėliau – rytiniai kazematai. Pilies sienos buvo pastorintos iki 2,5 m ir paaukštintos pastatant šaudymo galerijas. Bokštų viršus buvo skirtas kariams ir patrankoms. Konventinio tipo rūmus sudarė apie stačiakampį kiemą sugrupuoti du lygiagretūs korpusai, donžonas ir siena. Rūmus juosė gynybinė siena. Nuo priešpilio juos skyrė vandens griovys ir pakeliamieji vartai. Griovio pločio pakako praplaukti mažiems laivams. Vartai buvo sustiprinti šaudymo galerijomis. Po Žalgirio mūšio 1410 m. Trakų salos pilis prarado savo karinę svarbą.

Medininkų pilis – mūrinė gardinė pilis pietrytinėje Lietuvoje, 31 km nutolusi nuo Vilniaus. Pilis minima nuo 1311–1313 metų, joje gyventojai slėpėsi nuo totorių ir Vokiečių ordino puldinėjimų. Pasak rašytinių šaltinių, ji turėjo būti pastatyta XIII amžiuje. Pilis buvo sudeginta 1402 m., taigi, matyt, iš pradžių stovėjo medinė ir tik vėliau – mūrinė pilis (4.15 pav.). Pilis buvo skirta frontalinei gynybai. Nuo XV a. pabaigos gynybai nebenaudota. Kiautinės konstrukcijos siena ir bokštai sumūryti iš lauko akmenų ir plytų



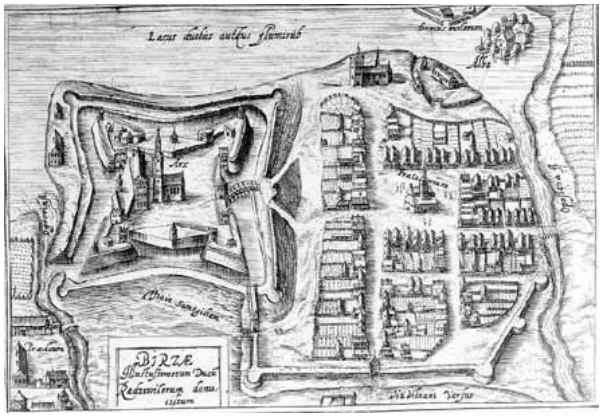
4.14 pav. Trakų salos pilies panorama žiemą (A. V. Valiulio nuotr.) ir Trakų pusiasalio pilis (I. Valiulienė, kartonas, aliejus, 1990 m.)



4.15 pav. Aptvarinės (gardinės) Medininkų pilies vidinis kiemas: kairėje prieš rekonstrukciją (I. Valiulienė, kartonas, aliejus, 1990 m.), dešinėje – vidinis kiemas po rekonstrukcijos (A. V. Valiulio nuotr.)

baltiškuoju plytų rišimo būdu. Šiaurinės ir rytinės sienų plytų mūras – seniausias Lietuvoje virš žemės išlikęs mūras. Jis tapatus Vilniaus Žemutinės pilies ir senosios Trakų piliavietės mūrams. Pilis turėjo 4 bokštus ir 4 vartus, užėmė apie 2 ha plotą, tačiau su apsauginiais grioviais ir pylimais jos plotas siekia 6,5 ha. Netaisyklingo stačiakampio formos pilies kiemą supo 15 m aukščio, 2 m storio apačioje ir 1,6 m viršuje sienos. Viršuje, 11 m aukštyje, buvo įrengtos šaudymo angos, išilgai jų ėjo medinė galerija kariams. Aplink pilį buvo dvigubas griovys, o tarp griovių stovėjo medinė siena. Pilis stovėjo lygumos pakraštyje. Ją iš šiaurės ir vakarų saugojo pelkė. Svarbiausias pilies bokštas (donžonas) buvo penkių aukštų ir siekė 23 metrus. Kiti bokštai buvo mažesni ir tik vieno aukšto. Išaugus šaunamųjų ginklų naudojimui, tokio tipo pilis nebetiko gynybiniams tikslams, todėl vėliau buvo naudojama kaip gyvenamoji vieta. Jau 1514 m. Medininkai minimi kaip Vilniaus apskrities dvaras, kurio mediniai pastatai stovėjo pilies kieme.

Renesansinė bastioninė *Biržų pilis* pastatyta pietinėje Širvėnos ežero pakrantėje. Pradėta statyti apie 1586 m., o pagrindiniai pilies statybos darbai buvo baigti 1589 m. (4.16 pav.). Pilį juosė gynybiniai grioviai, kuriuos užtvindydavo dirbtinio Širvėnos ežero vanduo. Bastionų ir kiemo išoriniai šlaitai buvo sutvirtinti mūro kiautu iš gotiškai rištų plytų ir akmenų. Pilies kieme stovėjo mūriniai triaukščiai pilies rūmai, arsenalas, arklidės, maisto sandėliai, kiti pastatai. Biržų pilis buvo statyta atsižvelgiant į naujus kariavimo



4.16 pav. Žemių pylimų su bastėjomis pilis Biržuose (Biržai XVII a. pradžioje.jpg.)

būdus ir gynybą nuo ištobulėjusios artilerijos. Atsisakyta uždarų mūrinių pastatų ir gynybinių sienų su kampiniais bei tarpiniais bokštais. Vietoj jų buvo įrengti žemės bastionai, o apsauginių žemės pylimų šlaitai iš lauko pusės apmūryti plytomis ir akmenimis. Pylimų aukštis 3–5 m, šlaitų kiautas 2,5–3,0 m storio. Visuose keturiuose pilies kiemo kampuose buvo įrengti smailiakampiai bastionai. Apsauginė perkasa supo bastionus ir juos jungusius pylimus. Bastionų susiaurėjančiose dalyse buvo įrengti 2–3 aukštų kazematai su langais ir šaudymo angomis. Kazematų viršuje buvo gynybinės aikštelės su dantytais brustverais. Bastionų kampuose po pylimais įrengti parako ir ginklų rūsiai, viršuje pastatyti nedideli stebėjimo bokšteliai, vakariniame pilies šone – dviaukštės kareivinės. Vienintelis kelias į pilį buvo medinis 41 m ilgio tiltas, saugomas mūrinio dviaukščio pilies vartų bokšto. Tiltas turėjo du keltuvus, važiuojamąją dalį ir pėsčiųjų takus. Jį laikė aštuonios poros mūrinių aštuoniakampių stulpų. Karo su Švedija metu Biržų pilis buvo pagrindinė gynybinė struktūra. 1625 m. pilis buvo apgulta Švedijos kariuomenės, įgula pasidavė ir pilis buvo gerokai apgriauta. Po karo su švedais 1626 m. buvo pradėti pilies atstatymo darbai. Buvo įrengti nauji bastionai su pylimais ir perkasomis, supilti keturi redutai. Vietoj buvusio pylimo su mūro kiautu ir perkasų iškilo 5–7 m aukščio, 19,4 m pločio pylimas, iškasta 4–7 m gylio ir 31,4 m pločio perkasa. Perstatytoji Biržų pilis buvo gerokai didesnė už pirmąją ir užėmė 13 ha plotą.

Klaipėdos pilis pirmą kartą minima 1252 m., kai prie Dangės upės žiočių Kryžiuočių ordinas (dar vadinamas Teutonų ar Vokiečių ordinu) pastatė medinę pilį. Du priešpilius juosė grioviai ir gynybinė siena. Pilį saugojo natūrali vandens užtvara, pylimai ir medinis gynybos bokštas. 1253–1254 m. medinės pilies vietoje pastatyta mūrinė pilis. Ją saugojo vandens grioviai (*fosa*) ir pylimai, ties vartais buvo įrengtas tiltas. Pilies kieme stovėjo mūriniai ir mediniai pastatai. Pilį puldinėjo žemaičiai ir skalviai su sembais. Netrukus ji tapo pagrindiniu karo forpostu tarp krikščioniškojo ordino ir pagonių lietuvių ir žemaičių. 1360 m. ir 1379 m. pilis buvo sudeginta. Po 1360 m. pilis perstatyta, joje atsirado 4 bokštai, o 1393 m. buvo pastatytas ir gynybinis bokštas, tačiau tais pačiais metais lietuvių antpuolio metu sugriautas. Po Ordino pralaimėjimo Žalgirio mūšyje 1410 m. pilis išlaikė savo strateginę reikšmę, nes Lietuva ir Ordinas nesutarė, kur turi eiti siena tarp abiejų šalių, be to, abi šalys Klaipėdą laikė savo nuosavybe. XV a. viduryje, atsiradus šaunamiesiems ginklams, pilis buvo atnaujinta, išplėstos bastėjos, ir pilis tapo vienu pirmųjų tokios rūšies įtvirtinimų regione (4.17 pav.). Patobulinta pilies gynybinė sistema buvo pritaikyta to meto artilerijos pabūklų (bombardų) ugniai atremti. Už gynybinių sienų ėjo apie 6 m pločio kelias, už jo – 8–9 m pločio griovys, daugiau kaip 20 m pločio pylimas, toliau – dar vienas 6 m pločio ir iki 1,5 m gylio sausas griovys. Pilies pastatų sienos buvo sumūrytos iš raudonų plytų. 1454 m. Klaipėdos pilį buvo užėmusi Lenkijos karalystės kariuomenė, o 1455 m. – žemaičiai. 1529–1559 m. pilį atnaujino prancūzų inžinieriai. Po rekonstrukcijos pilyje atsirado penki bokštai. Pagrindinis bokštas tikriausiai turėjo šešis aukštus ir buvo apie 15 m skersmens. Tvirtovės pylimus sutvirtino akmenų ir plytų atraminės sienos su kontraforsais. 1629 m. pilį nuniokojo



4.17 pav. Žemių pylimų su bastėjomis pilis Klaipėdoje (Klaipėda Castle1.jpg.)

Švedijos kariuomenė, o 1757 m. ji labai nukentėjo per karą su Rusija. 1763 m. pilis buvo apleista ir pamažu nyko. 1821 m. iš 5 bokštų dar stovėjo du. Po 1888 m. buvo nugriauti svarbiausi pilies mūro pastatai. 1865 m. vietoje Klaipėdos pilies pradėta nerijos forto statyba Kopgalyje.

Kauno pilis pirmą kartą rašytiniuose šaltiniuose paminėta 1361 metais. Jau IV–V a. čia būta medžio ir molio gynybiniais įrenginiais apjuostos gyvenvietės. Tai seniausia mūrinė pilis Lietuvoje, pastatyta XIII a. II pusėje Nemuno ir Neries santakoje. Pilis buvo aptvarinio tipo, be bokštų, netaisyklingo keturkampio formos, užėmė apie 0,5 ha ploto. Turėjo dvi akmeninės kiautinės konstrukcijos mūro sienas: vidinę – kalvoje, išorinę – apsauginiame griovyje (fosoje). 1362 m. po trijų savaičių apsiausties kryžiuočiai pilį sugriovė. Iki 1368 m. ant buvusios vidinės sienos pamatų buvo sumūryta antroji pilis. Jos kiemą juosė 3,5 m storio ir 9,5–12 m aukščio sienos. Pilies kampuose stovėjo keturi flanginiai bokštai (du apvalaus, du keturkampio pagrindo). Viduje išilgai sienų buvo įrengta medinė galerija šauliams šaudyti parako ginklais. Pilį juosė apsauginis griovys. Po 1410 m. Žalgirio mūšio pilis prarado savo strateginę reikšmę ir tapo reprezentacine. 1601–1611 m. dalį pilies paplovė Neris, smarkiai ji buvo apgriauta ir per XVII–XVIII a. karus (4.18 pav.).

Marienburgo pilis, esanti pietrytiniame Nogato upės krante, yra viena didžiausių ir geriausiai išlikusių viduramžių gynybinės ir rezidencinės architektūros plytinės gotikos pavyzdžių Vidurio ir Rytų Europoje. Marienburgo pilį 1274 m. įkūrė kryžiuočiai užkariautoje prūsų žemėje. Jos pagrindinis uždavinys buvo sustiprinti kontrolę teritorijų, ordino užimtų po 1274 m. Didžiojo Prūsijos baltų genčių sukilimo. Marienburgo pavadinimas yra



4.18 pav. Restauruotos Kauno pilies panorama (A. V. Valiulio nuotr.)

susijęs šv. Marijos, religinės kryžiuočių ordino globėjos, vardu. 1309–1457 m. Marienburgo pilis buvo Kryžiuočių ordino didžiojo magistro rezidencija. Pilies ansamblis formavosi net šešis šimtmečius (XII a. pabaiga – XVIII a.): 1275 m. pradėtos Aukštutinės pilies (vienuolyno) statybos, iki XIII a. vidurio susiformavo Vidurinė pilis, kurią sudaro Didžiųjų magistrų rūmai su 1309 m. išplėstu priešpiliu (didžiojo magistro ir didžiojo komtūro buveinė, Ordino valstybės politinis ir administracinis centras), o XIV a. I pusėje pastatyta Žemutinė pilis (skirta ūkinei veiklai). Vidurinėje pilies dalyje apsistodavo iš visos Europos į Marienburgą suplūsdavę užsienio riteriai – kryžiuočių talkininkai, dalyvaudavę kryžiaus žygiuose į Lietuvą. Visos trys pilys sujungtos į vientisą gynybos kompleksą, tapusį neįveikiama tvirtove (4.19 pav.). Vidurinėje pilyje esančiame didžiajame refektoriuje galėjo tilpti net 400 žmonių. Po didžiuoju refektoriumi buvo įrengta dviejų kamerų krosnis, kurios dugnas trikampiu siaurėjo iki viršaus. Krosnies lubose ir refektoriaus grindyse buvo padarytos angos šiltam



4.19 pav. Malborko pilies panorama. Teutonų ordinas ją vadino Marienburgo pilimi (Panorama of Malbork Castle, part 4.jpg.)

orui. Pakūrus krosnį šiluma srovendavo aukštyn į menę. Gynybiniais mūrais buvo apjuostas ir miestas. Pilis tapo didžiausia Europoje gotikine gynybine pilimi. 1410 m., tuoj po Žalgirio mūšio, Marienburgo pilį buvo apgulusi LDK ir Lenkijos kariuomenė, tačiau po kelių savaičių, taip ir nešturmavusi pilies, atsitraukė. 1457 m. Lenkijos karalius Kazimieras Jogailaitis išpirko pilį iš kryžiuočių samdytų čekų riterių, ir Marienburgas kelis šimtmečius (iki pirmojo Lenkijos ir Lietuvos valstybės padalijimo 1772 m.) tapo Lenkijos dalimi. 1626–1629 m. Marienburgą užėmę švedai čia pastatė vienuolika žemės įtvirtinimų. Šių karinių veiksmų metu miestas nepatyrė didesnių nuostolių. Nepatyrė jų ir pilis, kuri tapo svarbiu strateginiu tašku. Dar kartą švedų kariuomenė buvo užėmusi pilį „švedų tvano" metu 1656–1660 metais. Po pirmojo Abiejų Tautų Respublikos padalijimo 1772 m. Marienburgo pilis atiteko Prūsijai. Tuomet ji buvo perstatyta ir paversta Prūsijos kariuomenės kareivinėmis bei sandėliais. 1945 m. pilis buvo smarkiai apgriauta. Vermachto kariai du mėnesius gynėsi pilyje, o sovietų artilerija ją talžė sviediniais. Buvo sugriauta beveik 80 % mūrų.

KUPOLAI

Kupolas – pusrutulio, parabolės, svogūno arba kitokios formos skliautas, kuriuo uždengiama apskrito, elipsinio, kvadratinio arba daugiakampio plano erdvė. Jis perduoda atramoms vertikaliąsias (gniuždymo) ir horizontaliąsias (skėtimo) apkrovas. Netikrieji kupolai, kurie laiko tik vertikaliąsias apkrovas, atsirado Mesopotamijoje ir Kretos-Mikėnų kultūroje. Jie buvo mūrijami kiekvieną viršutinę plytų (blokų) eilę šiek tiek pastumiant į vidaus pusę. Kupolas mūrijamas iš plytų, akmens blokų, statomas iš medinių, metalinių ar gelžbetoninių konstrukcijų, dažniausiai dengiamas metalo skarda. Pirmų tikrųjų kupolų statyba prasidėjo Romoje – romėnai kupolais formuodavo dideles šventyklų ir viešųjų pastatų erdves, tokias kaip Panteonas Romoje. Vakarų Europoje kupolai vėl tapo populiarūs Renesanso laikotarpiu ir savo klestėjimą pasiekė baroko architektūroje XVIII a. pradžioje. Daugelį pastatų, ypač Renesanso ir baroko laikotarpių, vainikuoja viduramžių išradimas „žibintas" arba kupolas. Kupolu dengiama erdvė apšviečiama pro būgno langus, viršutinį žibintą arba šonines liukarnas. Kupolas ne tik padeda šviesai patekti į pastato vidų, bet ir suteikia papildomą paviršių vidinės erdvės dekoravimui (4.20 pav.). Lietuvoje kupolai



4.20 pav. Kupolai: a – Šv. Petro bazilikos kupolas Romoje (Kopula BW 2010.jpg.), b – Vilniaus Išganytojo (Joanitų) bažnyčios kupolas (A. V. Valiulio nuotr.)

statyti nuo XVII a.: Vilniaus katedros Šv. Kazimiero koplyčios (1636 m.), Vilniaus Išganytojo (Joanitų) bažnyčios (1694 m.) (4.20 pav., b), Vilniaus Švenčiausiosios Jėzaus Širdies bažnyčios (1756 m.), Pažaislio bažnyčios kupolai (1675 m.).

KATEDROS

Žodis „katedra“ yra kilęs iš lotyniško žodžio *cathedra* (sostas arba kėdė) ir reiškia vyskupo arba arkivyskupo kėdę ar sostą. Pastatas savo fiziniu buvimu simbolizuoja Dievo ir Bažnyčios didybę. Katedrų pastatai, ypač statyti viduramžiais, dažnai yra didžiausios vyskupijos (ir šalies) bažnyčios. Senovės katedros Anglijoje, Šiaurės Prancūzijoje, Belgijoje, Ispanijoje, Portugalijoje, Vokietijoje, Pietų Amerikoje, Italijoje ir kitose Europos šalyse yra vieni didžiausių ir puikiausių religinių pastatų. Daugelis jų yra garsios architektūra ar puošyba (skulptūromis, vitražais, freskomis). Katedros labai dažnai yra orientuotos rytų / vakarų kryptimi, kad maldininkai žvelgtų į kylančią saulę, simbolizuojančią prisikėlusį Kristų. Dažniausiai pastatas yra kryžiaus plano. Ši forma yra ir funkcinė, ir simbolinė. Simbolika reiškia kryžių, ant kurio buvo nukryžiuotas Jėzus. Pagrindinis pastatas, kuris sudaro ilgąją kryžiaus

tiesę, vadinamas *nava* (terminas kilęs iš lotyniško žodžio, reiškiančio laivą). Tai vieta, kur susirenka maldininkai. Taigi katedra simbolizuoja laivą, kuriuo Dievo žmonės plaukia per gyvenimo audras. Pagal Vakarų Europos tradiciją katedros pastatas simbolizuoja krikščioniškos sielos artėjimą prie išganymo. Šios bažnyčios beveik visada papuoštos kupolais. Katedrų simbolika per vidinę pastato apdailą, freskas ar mozaikas atskleidžia Žemės ir Dangaus hierarchiją. Daugelis katedrų buvo statomos ir puošiamos šimtmečius, todėl jos yra didelė to miesto kultūrinė ir meninė investicija. Katedros pastatuose sukaupiami įvairūs kiti didelės vertės kūriniai: vitražai, akmens ir medžio skulptūros, puošnūs baldai, meninės ir religinės reikšmės daiktai, t. y. relikvijos. Katedros požemiuose, sienose ar grindyse dažnai yra svarbių tai vietovei žmonių palaidojimai. Katedra savo užrašais, stiklo vitražais, tapybos ir skulptūros darbais ar laidojimo vietų užrašais dažnai primena ar pasakoja to miesto ar net šalies istoriją.

Manoma, kad iki krikščionybės laikų svarbiausias baltiškų genčių dievas buvo Perkūnas, kurio šventykla stovėjo Vilniaus katedros vietoje. Žinoma, kad, Lietuvai paskyrus vyskupą, 1251 m. krikštą priėmęs Lietuvos karalius Mindaugas įsakė pastatyti katedrą. Ji buvo pereinamojo iš romaninio į gotikinį stiliaus, kvadratinio plano. Grindys išklotos keramikinėmis glazūruotomis plytelėmis. 1387 m. Jogailos rūpesčiu buvusios šventyklos vietoje pastatyta nauja bažnyčia su 5 koplyčiomis. 1419 m. katedra sudegė. Jos vietoje Vytautas pastatė naują, didesnę halinę gotikinę katedrą. 1522 m. katedra remontuota, o šalia buvusiame gynybos bokšte įrengta varpinė. Po 1530 m. gaisro atstatyta katedra įgijo renesanso bruožų, pristatyta koplyčių, įrengta kriptų. Fasadas papuoštas frontonu ir portalu, interjeras – freskomis, altoriais, antkapiniais paminklais. 1623–1636 m. Zigmanto Vazos iniciatyva pastatyta Šv. Kazimiero koplyčia. Per karą su Rusija 1655 m. katedra smarkiai nuniokota ir apiplėšta. Kareiviai nuplėšė ir išsivežė varinį katedros stogą. 1730 m. ji vėl remontuota, sudėtos marmuro plokščių grindys. 1769 m. lapkričio 2 d. audra nugriovė katedros bokštą, kuris virsdamas praskėlė skliautus ir užmušė kelis žmones. 1783 m. Vilniaus vyskupo Ignoto Jokūbo Masalskio pavedimu katedra pradėta rekonstruoti pagal architekto Lauryno Gucevičiaus projektą. 1801 m. užbaigus rekonstrukciją ji tapo klasicistine (4.21 pav.). Ant fasado frontono pastatytos šv. Elenos, šv. Kazimiero



4.21 pav. Vilniaus arkikatedra bazilika (A. V. Valiulio nuotr.)

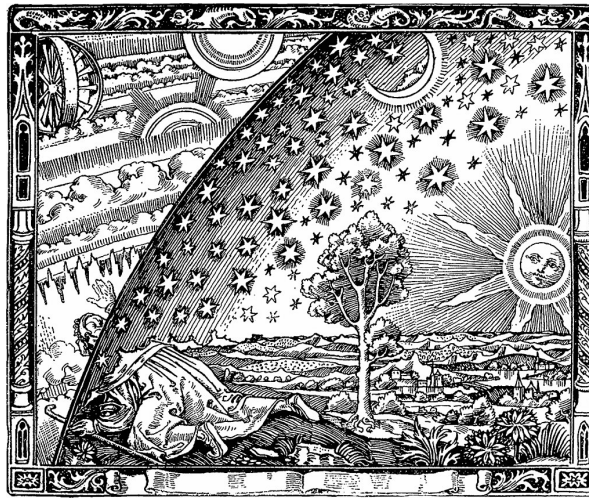
ir šv. Stanislovo skulptūros. Šv. Kazimieras pietinėje pusėje simbolizavo Lietuvą, šv. Stanislovas šiaurėje – Lenkiją ir šv. Elena centre – Rusijos dominavimą. Po 1831 m. iš uždarytos Šv. Kazimiero bažnyčios atgabenta ir šoniniuose fasaduose pastatyta 12 rokokinių skulptūrų, vaizduojančių Lietuvos kunigaikščius, apaštalus ir šventuosius. XIX a. pradžioje stogas uždengtas varine skarda, tvarkyti rūsiai. 1889 m. įrengti nauji vargonai. 1922 m. katedrai suteiktas bazilikos titulas, o 1925 m. ji tapo arkikatedra. Bažnyčia klasicistinio stiliaus, stačiakampio plano, halinė. Viduje yra 11 šoninių koplyčių, įrengta zakristija, 6 kolonų portikas. Bazilikoje yra trys navos (pagrindinė ir dvi šoninės), atskirtos pilioriais, dengtos kryžminiais skliautais. Priešais katedrą stovinčioje 57 m aukščio varpinėje kabo dešimt žalvario varpų, nulietų XVI–XVIII a. olandų ir vokiečių meistrų. Katedroje buvo palaidoti Vytautas (1430 m.), jo žmona Ona (1418 m.), brolis Žygimantas Kęstutaitis (1440 m.), Švitrigaila (1452 m.), Vytauto brolio Žygimanto Kęstutaičio sūnus Mykolas (1452 m.), šv. Kazimieras (1484 m.), dvi Žygimanto Augusto žmonos – Elžbieta Habsburgietė (1545 m.) ir Barbora Radvilaitė (1551 m.), Jonas Žygimantaitis (1583 m.), buvo laidojami Vilniaus vyskupai.

5 SKYRIUS

MOKSLAS IR TECHNOLOGIJOS RENESANSO IR APŠVIETOS EPOCHOSE

RENESANSAS IR MOKSLINĖ REVOLIUCIJA

Žodis *renesansas* reiškia atgimimą. Tai Europos perėjimo iš viduramžių į Naujųjų laikų istoriją laikotarpis, kai po buvusio sąstingio prasidėjo mokslo, meno ir literatūros pakilimas. Renesanso epocha Vakarų Europoje prasidėjo vėlyvaisiais viduramžiais XV–XVI amžiuje. Jos tėvyne laikoma Italija, nes ten ji prasidėjo dar anksčiau – XIV amžiuje. Vėlyvųjų viduramžių mokslo ir pramonės atgimimą pristabdė šimtametis karas Europoje (1337–1453 m.) ir maro protrūkis, dėl kurių žuvo iki trečdalio Vakarų Europos gyventojų. Pagrindiniai Renesanso centrai Italijoje buvo miestai-valstybės Florencija, Venecija, Bolonija, Milanas ir galiausiai Roma. Viduramžių laikotarpis pasižymėjo ypatingu astrologijos, talismanų, magijos, mistinio hermetizmo ir neoplatonizmo klestėjimu (5.1 pav.). Europos (ne Italijos) Renesansas skaidomas į tris laiko periodus: ankstyvąjį, kuris tęsėsi nuo XV a. pab. iki XVI a. 1 ketvirčio, klestėjimo, arba brandųjį (XVI a. 2–3 ketvirčiai), ir vėlyvąjį (XVI a. 4 ketvirtis – XVII a. pradžia). Renesansas buvo šviesa, sušvitusi po viduramžių tamsybės. XV–XVI a. kokybiniai pokyčiai vyko daugelyje praktinės veiklos krypčių. Renesanso laikotarpiu, remiantis antikinėmis žiniomis, patyrimu ir eksperimentais, siekta išsamesnio tyrinėjamų dalykų pažinimo. Žinios sietos su praktiniais poreikiais, o mokslininkų dėmesio centre atsirado žmogus, jį supanti gamta ir jos reiškiniai. Astronomijoje geocentrinę Ptolemėjaus pasaulio sistemą pakeitė heliocentrinė sistema. Nyderlandų gydytojas ir anatomas Andreas Vesalius (1514–1564) padėjo pagrindus šiuolaikinei medicinai. Jis vienas pirmųjų pradėjo medicininius skrodimus, aprašė griaučių, raumenų, nervų sistemas bei jų veikimą. Didieji geografiniai



5.1 pav. Graviūra, vaizduojanti prieš Renesansą vyravusią Žemės ir dangaus sampratą, 1888 m. (Flammarion.jpg.)

atradimai turėjo įtakos kartografijos raidai. 1492 m. vokiečių astronomas Martinas Behaimas (1459–1507) sukonstravo gaublį (dar be Amerikos žemynų), 1507 m. vokiečių kartografas Martinas Waldseemülleris europiečių atrastus žemynus pavadino Amerika, 1569 m. vokiečių ir olandų kartografas Gerardus Mercatorius suformulavo lygiakampės cilindrinės projekcijos principą (Mercatoriaus projekcija), 1570 m. belgų kartografas Abrahamas Ortelius išleido pirmąjį modernų pasaulio atlasą. Ženklūs pokyčiai vyko karyboje. XVI a. pradžioje atsirado įvairūs šaunamųjų ginklų spynų tipai (kibirkštiniai, titnaginiai, ratukiniai). Artilerijos raida paskatino naujo tipo gynybinių įrenginių – bastionų – atsiradimą. Inžinerijoje bandyta teoriškai suformuluoti automobilio, tanko, įvairių skraidymo ir inžinerinių prietaisų veikimo schemas ir jas praktiškai įgyvendinti (italai Leonardo da Vinci, Francesco di Giorgio Martini). Architektūroje vyravusią gotiką keitė barokas.

Humanistinių požiūrių plėtra skatino mokslo galias ir stipriai veikė inžineriją. Nors popieriaus prieinamumas ir masinio spausdinimo būdo išradimas prisidėjo prie idėjų sklaidos Europoje jau XV a. pabaigoje, tačiau Renesanso pokyčiai ne visur buvo vienodai ženklūs. Apie 1439 m. Johano Gutenbergo išrasta spausdinimo mašina pagreitino rašto įsigalėjimą ir Renesanso epochos minties sklaidą. Brėžiniuose išplito linijinė perspektyva,

įteisintas patentavimas, pradėta statyti dvigubo kevalo kupolus ir bastioninio tipo tvirtoves.

Renesanso epochos procesai sukėlė mokslinę revoliuciją, lėmusią visuotinę mokslo ir technologijų pažangą. Visuotinei pažangai buvo labai svarbūs kasybos ir metalurgijos pasiekimai. Atsiradus aukštakrosnėms pradėta gaminti daug ketaus, kuris vėliau buvo perdirbamas į kaliąją geležį; metalo pjaustymo įrenginiai atvėrė galimybes gaminti smulkius metalo gaminius (pavyzdžiui, vinis, strypus); lydymo technologijos buvo pritaikytos spalvotųjų mealų gamybai (pavyzdžiui, švino). Švaistiklinis-kulisinis mechanizmas sukamąjį judesį pavertė tiesiaeigiu grįžtamuoju. Šis išradimas padėjo mechanizuoti daugelį darbo procesų. Johano Gutenbergo (1398–1468) spausdinimo presas yra vienas svarbiausių antrojo tūkstantmečio išradimų. Pritaikius srieginį presą spausdinimo darbams, per darbo dieną buvo atspausdinama 3 600 puslapių. XVI a. pradžioje spausdinimo mašinos dirbo daugiau negu dviejuose šimtuose miestų dešimtyje Europos šalių. Seniausias žinomas parašiuto konstrukcijos brėžinys surastas anoniminiame 1470 m. rankraštyje Italijoje. Apie 1485 m. pažangesnės parašiuto konstrukcijos eskizas aptiktas Leonardo da Vinci darbuose. 1617 m. kroatas Fausto Veranzio sėkmingai išbandė savo konstrukcijos parašiutą, šokdamas nuo bokšto Venecijoje. Pirmasis rankinis navigacijos prietaisas, sukurtas matuoti įvairaus dydžio kampus, buvo astroliabas. Jį portugalų jūrininkai naudojo navigaciniais tikslais kelionėse aplink Afriką (1481–1498 m.). Šie sudėtingi įrenginiai padėdavo nustatyti laivo padėtį jūroje pagal žvaigždžių ir planetų išsidėstymą. Sausieji dokai laivų statyboje jau buvo žinomi helenizmo laikotarpiu ir vėl prisiminti 1495–1496 m. statant Portsmuto laivyno bazę. Pirmasis žinomas plaukiojančio doko aprašymas surastas knygoje, atspausdintoje Venecijoje 1560 metais. Daug Renesanso epochos inžinierių techninių sprendimų išliko tik popieriuje, nes dar nebuvo tinkamų medžiagų, o pažangios idėjos ne visada buvo suprastos ir paremtos. Pavyzdžiui, Leonardo da Vinci idėjos apie kūginį parašiutą ar sparnuotą orlaivį buvo pritaikytos gerokai vėliau. Kaip ir mikroskopas, teleskopas buvo išrastas Olandijoje siekiant pamatyti tolimus vaizdus. Galileo Galilėjus, žvelgdamas pro teleskopą, plėtojo savo teorijas ir idėjas apie Žemę, jos ryšį su žvaigždėmis ir likusia visata. Naudodamas išgaubtus ir įgaubtus lęšius, jis galėjo didinti žvaigždžių ir planetų matomumą.

Kitas svarbus pasaulio mokslo raidai išradimas buvo mikroskopas, kurį 1590 m. Nyderlanduose pagamino Zacharias Janssenas kartu su tėvu Hansu. Tai buvo dviejų lęšių prietaisas, naudojamas mažų, plika akimi nematomų, objektų stebėjimui. Paprastas vamzdelis abiejuose galuose turėjo lęšius ir galėjo didinti nuo 3 iki 9 kartų. 1660 m. Nyderlandų mokslininkas ir mikroskopų kūrėjas Antonis van Leewenhoekas mikroskopu pirmasis tyrinėjo bakterijas. Jo vieno lęšio mikroskopas didino iki 270 kartų. Tuo laiku tai buvo labiausiai vaizdą didinantis prietaisas, su kuriuo pradėta studijuoti mikroorganizmus ir žmogaus kraujo ląsteles.

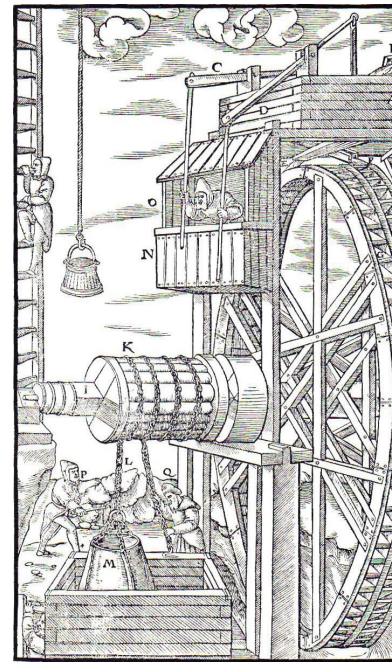
Pirmąjį irklinį povandeninį laivą 1620 m. Londone pastatė olandas Cornelius van Drebbelis, nors Leonardo da Vinci pirmasis išreiškė tokio laivo pritaikymo karo reikmėms idėją. Drebbelio povandeninis laivas buvo medinė valtis, apvyniota vandeniui nepralaidžia oda, su vamzdžiu orui patekti. Pirmos kelionės metu laive buvo 12 irkluotojų, panėręs Temzės upėje jis išbuvo 3 val. Šimtmečius žmonės uždegdavo ugnį trindami ar greitai sukdami medžio gabaliukus arba įskeldavo kibirkštį smogdami titnagu į plieną. 1680 m. airis Robertas Boyle'is išrado degtukus, pastebėjęs, kad fosforas ir siera, trinami vienas į kitą, užsiliepsnoja. Boyle'is suprato, kad šiuo atveju liepsna atsiranda ne dėl trinties, o dėl cheminių reakcijų. Pačioje Renesanso epochos pradžioje Florencijoje 1410 m. buvo sukurti pirmieji spyruokle varomi laikrodžiai. Iki to laiko mechaniniai laikrodžiai buvo dideli, stacionarūs prietaisai, o spyruokle varomą laikrodį jau buvo galima nešiotis su savimi.

Tvirtovių statybos inžinerija kartu su hidrotechnika buvo ta sritis, kurioje persipynė teorija ir praktika, architektūra ir matematika. Karo inžinieriams reikėjo gilių matematikos žinių, susijusių su sviedinių ar minų balistika. Buvo svarbu apskaičiuoti, ar išlėkęs iš vamzdžio sviedinys pasieks tikslą. Pirmieji žinomi balistiniai sviediniai buvo akmenys ir ietis. Parakas buvo išrastas maždaug apie 1040 metus. Raketos kaip fejerverkai ir ginklai Kinijoje pradėtos naudoti apie 1230 metus. Dėl tikslesnio šaudymo buvo sukurtas vamzdinis raketų paleidimas. XVI a. D. Britanijos ir Nyderlandų kariuomenėse atsirado haubicos, kurios XVI a. II pusėje galėjo šaudyti sprogstamaisiais sviediniais. Haubica – tai artilerijos pabūklas, skirtas iškiliajam šaudymui, neretai iš uždarų pozicijų, į nematomą taikinį, jos vamzdis paprastai trumpesnis negu patrankos. Nors haubicos šovinio parakinis užtaisas palyginti

mažas, tačiau iššauna masyvų sviedinį, kuris skrieja aukšta trajektorija, turinčia staigų nusileidimo kampą. Krovinių kėlimo įtaisai buvo naudojimi retai. Dažniausiai krumpliaračių mechanizmai suko malūnų ir sandėlių keliamuosius įrenginius.

Renesanso epochos pradžioje buvo sukurti netiesioginiai aukščio ir nuotolio matavimo būdai pasitelkiant elementarios trianguliacijos teoremas. Prancūzų mokslininkas René Descartes'as (1590–1650) parašė daug matematikos, fizikos, medicinos ir filosofijos veikalų. Jo sukurta analitinė geometrija buvo reikšmingas žingsnis matematikos srityje, atvėręs kelią Niutono skaičiavimo metodui.

Technologijų kūrimo srityje labai svarbia istorine asmenybe buvo vokiečių metalurgas ir mineralogas Georgius Agricola (1494–1555), garsiausioje savo knygoje *De re metallica* („Apie metalus“) aprašęs kasybą, lydymą ir įvairius tyrimus. Jis pasiūlė naudoti iškastinį kurą, susidariusį iš mirusių augalų fosilijų; buvo rūdų ieškojimo pradininkas, mineralų gyslų formavimosi teorijos, geodezinių tyrimų pagrindų, įrankių, mašinų, keltuvų, vandens energijos naudojimo (5.2 pav.), rūdų paruošimo ir lydymo būdų kūrėjas; druskos, sodos, sieros, bitumo ir stiklo gamybos pradininkas.



5.2 pav. Vandens malūnas pakelia rūdą iš šachtos (Agricola1.jpg.)

Mineralus tuo laikmečiu klasifikavo pagal jų išorinius kriterijus – kietumą, spalvą, medžiagos slankumą, tirpumą, kvapą ar skonį. Prie tuo metu žinomų 7 metalų (aukso, sidabro, vario, alavo, geležies, švino ir gyvsidabrio) jis pridėjo bismutą ir stibį. Agricola suprato kalnakasių apsauginių drabužių

svarbą. Kalnakasiai dėvėjo diržu perjuostus palaidus drabužius, trumpą prijuostę ir smailiaviršūnę kepurę. Darbui su agresyviomis mineralinėmis medžiagomis jis rekomendavo ilgarankoves odines pirštines, o apsaugai nuo dulkių – veido uždangalą.

Renesanso idėjos Lietuvoje plito jau XV a. pabaigoje – XVI a. pradžioje. Varžydamiesi tarpusavyje katalikai, reformatai, stačiatikiai prie dvarų, parapijų, vienuolynų steigė mokyklas. Abraomas Kulvietis Vilniuje įsteigė aukštesniąją mokyklą, kurioje mokėsi apie 60 moksleivių ir kuri veikė 1539–1542 metais. A. Kulviečiui dėl religinių persekiojimų pabėgus į Prūsiją, mokykla vėliau buvo atgaivinta Mikalojaus Radvilos Juodojo. 1569 m. Vilniuje jėzuitai prie Šv. Jonų bažnyčios atidarė kolegiją, kuriai karalius Steponas Batoras 1579 m. išdavė Vilniaus akademijos atidarymo privilegiją raštą. Svarbiausiu Renesanso epochos idėjų skleidimo centru Lietuvoje buvo Vilnius ir didžiųjų kunigaikščių (Jogailaičių ir Vazų dinastijų) dvarai. XVI a. I pusėje Lietuvos renesansinė architektūra patyrė tiesioginę Florencijos ir Venecijos meistrų įtaką – italų architektai ir dailininkai buvo pakviesti dirbti į didžiųjų kunigaikščių Žygimanto Senojo ir Žygimanto Augusto dvarus. XVI a. II pusėje stiprėja iš Šiaurės Europos atklydusio manieristinio renesanso poveikis. XVII a. I pusėje sparčiai plinta barokas. Šios epochos Lietuvos architektūrai būdinga tinkuotos sienos, kupolai, pusapskritės arkos, orderis, atikas, uždaras arba pusiau uždaras kiemas su arkadinėmis lodžijomis. Architektūrą charakterizuoja aiškumas, simetrija, matematiškai apskaičiuota kompozicinė harmonija. Gynybinėje architektūroje mūro aptvarą keičia itališkos arba olandiškos sistemos bastionai. Plintant humanizmui Vilniaus universitete imta kreipti dėmesį į vietines kalbas. Konstantinas Sirvydas išleido lenkų-lotynų-lietuvių kalbų žodyną. Mikalojus Daukša į lietuvių kalbą išverstos „Postilės“ įžangoje kėlė mintį apie lietuvių kalbos svarbą tautos gyvenimui. XVI a. parašyti pirmieji metraščiai, išspausdintas Lietuvos Statutas. Renesanso laikotarpis Lietuvos architektūroje baigiasi 1648 m., mirus Lietuvos didžiajam kunigaikščiui Vladislovui Vazai ir pasikeitus valstybės ir visuomenės politinei, socialinei, ekonominei, kultūrinei aplinkai.

Prieš 50 000 m. technologijų kūrimo požiūriu „karščiausias taškas“ buvo Vakarų Azija (krosnys, lankai, strėlės), prieš 10 000 m. – Derlingasis pusmėnulis – žemdirbystei tinkama priekalnių zona, besidriekianti nuo

Libano per Siriją ir Iraką iki pietvakarių Irano (žemdirbystė, keramika), prieš 5 000 m. – Mesopotamija (metalas, miestai), prieš 2 000 m. – Indija (tekstilė, nulio skaitmuo matematikoje), prieš 1 000 m. – Kinija (porcelianas, spauda), prieš 500 m. – Italija (buhalterija, Leonardo da Vinci), prieš 400 m. – Nyderlandai (Amsterdamo valiutų bankas), prieš 340 m. – Prancūzija (Midi kanalas, sujungęs Tulūzą su Viduržemio jūra), prieš 300 m. – Anglija (garo mašinos), prieš 170 m. – Vokietija (trąšos), prieš 100 m. – JAV (masinė gamyba), prieš 70 m. – JAV (kreditinės kortelės), prieš 40 m. – Japonija (kompaktiniai grotuvai), prieš beveik 30 m. – JAV (pirmas išmaniojo telefono prototipas „Angler“). Ši technologinių naujovių skalė rodo, kad žinių ir technologijų kūrimo smaigalyje jokia šalis ilgai lydere neišlieka.

APŠVIETOS EPOCHA IR JOS PASIEKIMAI

Apšvietos, arba Švietimo, amžius – tai Europos civilizacijos istorijos periodas, prasidėjęs apie XVII a. vidurį ir apėmęs visą XVIII amžių. Apšvietos epochos idėjų kūrėjai buvo vadinami švietėjais. Tuo metu Europoje vyravo absoliutinės monarchijos. Aukščiausia neribota valdžia jose priklausė valdovams. Kai kuriose valstybėse buvę luomų susirinkimai turėjo tik patariamąjį balsą. Prancūzijoje susiformavo švietėjų sąjūdis, apie kurį telkėsi žymiausi prancūzų švietėjai, dar vadinti enciklopedistais (Denis Diderot, Jean-Jacques Rousseau ir kiti). Europos valstybių valstybingumo vystymuisi didelę reikšmę turėjo anglų filosofo Johno Locke'o (1632–1704) darbai. Jo nuomone, pažinimas remiasi patyrimu, o tai radikaliai prieštaravo racionalistų skelbiamai įgimtų idėjų teorijai. Jis teigė, kad žmogus kūdikystėje yra tarytum švari lenta ir tik ilgainiui per patyrimą jis pažįsta pasaulį ir yra formuojamas supančios aplinkos. Jo nuomone, valstybė susiformuoja, kai atsiranda nuosavybė ir poreikis greitai ir veiksmingai reguliuoti daugybės žmonių santykius, tai yra žmonės sukuria valstybę savo prigimtinėms teisėms – nuosavybei ir laisvei – ginti. Visi žmonės turi būti lygūs ir laisvi. Valdžia turi priklausyti tautai. Tauta ją gali perduoti išrinktiems atstovams. Tautos (žmonių) išrinktas susirinkimas leidžia įstatymus. Jei išrinktoji valdžia nepaiso žmonių norų, pasak filosofo, ją reikia atšaukti arba nuversti. Prancūzų mąstytojas Charles-Louis de Montesquieu (1689–1755) aštriai kritikavo absoliutizmą. Jis patarė absoliutinę monarchų valdžią pakeisti

renkama valdžia ir padalyti ją į įstatymų leidžiamąją, vykdomąją ir teisminę. Šveicarų filosofas ir rašytojas Jeanas-Jacques'as Rousseau (1712–1778) nagrinėjo žmogaus ir valdžios santykį. Anot jo, pati tauta sprendžia, kas turi valdyti valstybę. Valdantieji turi garantuoti valdomųjų laisvę ir pagrindines teises. Jei žmonių išrinkta valdžia praranda pasitikėjimą ar pamina žmonių teises, ją reikia nuversti. Prancūzų rašytojas, filosofas Fransua Mari Arujė Voltaire'as (1694–1778) smerkė piktnaudžiavimą valdžia, žiaurius įstatymus, kankinimus, niekam nepripažino teisės savivaliauti. Mąstytojo manymu, asmens ir minties laisvę gali garantuoti valstybę valdantys apsišvietę monarchai. Apšvietos, arba Švietimo, epochos filosofija ir mokslas savo kulminaciją pasiekė Prancūzijoje ir Anglijoje XVIII amžiuje. Filosofai svajojo apie šviesesnį amžių, ir jų svajones iš dalies pavertė realybe Prancūzijos revoliucija. J. Locke'o, Ch. Montesquieu valstybės teorijos stipriai paveikė Didžiosios Prancūzijos revoliucijos brandą, turėjo įtakos JAV valstybės sistemos susiformavimui.

XVII a. Prancūzija tapo inžinerijos centru, nors mokslo pasiekimais turėjo dalytis su Anglija. Didžiausiu XVII–XVIII a. mokslininku laikomas anglų fizikas, matematikas, astronomas, alchemikas ir filosofas Issacas Newtonas (1643–1727). Be gravitacijos ir optikos teorijų, jis kartu su vokiečių filosofu ir matematiku Gottfriedu Leibnizu (1464–1716) buvo dvejetainės skaičiavimo sistemos kūrėjas. Newtonas suformulavo tris labai svarbius dėsnius, teigiančius, kad:

– kūnas yra rimties būsenos arba juda tolygiai ir tiesiaeigiai, jei jį veikiančių jėgų atstojamoji lygi nuliui (inercijos dėsnis);

– kūno įgyjamas pagreitis yra tiesiogiai proporcingas kūną veikiančių jėgų atstojamajai ir atvirkščiai proporcingas kūno masei (jėgos dėsnis);

– jei kūnas A veikia kūną B jėga F, tai kūnas B veikia kūną A tokio pat dydžio, bet priešingos krypties jėga (veiksmo ir atoveiksmio dėsnis).

Šveicarų matematikas Leonhardas Euleris (1707–1783) buvo vienas iš grynosios matematikos kūrėjų ir integralinio skaičiavimo plėtotojų. Jis sprendė medžiagų lenkimo, elastingumo, sunkio centro nustatymo problemas, išsiaiškino, kad veikiant ašinei gniuždymo apkrovai trumpos kolonos suyra, o ilgos praranda stabilią pusiausvyrą, tai yra konstrukcinis elementas pasidaro netiesus. Jis suformulavo skysčių tekėjimo dėsnius ir paaiškino slėgio svarbą skysčio srautui.

Robertas Hooke'as (1635–1703) konstravo ir siūlė naujus prietaisus bei įrenginius. Jis išrado vėjomatį, maksimumo termometrą, lietaus kiekio ir jūros gylio matuoklius, orinį šautuvą, optinį telegrafą, sukonstravo mechaninę skaičiavimo mašiną, atliekančią keturis aritmetikos veiksmus, patobulino laikrodį, teleskopą ir mikroskopą, bandė gaminti skraidymo aparatą, dirbtinį šilką, suformulavo dėsnį apie kūno deformacijos ir elastingumo sąsają.

Prancūzas Charles'is Auguste'as Coulombas (1736–1806) žinomas dėl savo darbų apie elektrą ir magnetizmą bei trinties jėgas. Jis pirmasis 1785 m. išmatavo įelektrintų kūnų sąveikos jėgą, šiems bandymams panaudojęs sukamąsias svarstykles. Ch. Coulombas nustatė, kad sąveikos jėga priklauso nuo įelektrintų kūnų krūvio ir atstumo tarp jų, kad trintis mažai priklauso nuo kūnų judėjimo greičio, tačiau ima sparčiai didėti, kai greitis artėja prie nulio; išmatavo įvairių medžiagų ir tepalų trinties koeficientą. Tirdamas metalinio siūlo (vielelės) tamprumo jėgą nustatė, kad ji yra tiesiogiai proporcinga vielelės užsukimo kampui ir atvirkščiai proporcinga jos ilgiui, be to, priklauso nuo vielelės skersmens. Sukūrė stačiakampio skerspjūvio gembinės sijos skaičiavimo pagrindus. Jo skaičiavimuose vertinama šlyties deformacija, gniuždymo ir tempimo stipris, pripažįstamas įtempių ir deformacijų ryšys. Dar iki 1779 m. Coulombas kesonuose pasiūlė naudoti suspaustą orą. Kesonas – tai uždara skritulio, stačiakampio ar kvadrato formos dėžė be dugno, skirta darbams po vandeniu arba vandeningame grunte. Kesono kameroje iškasama žemė transportuojama į viršų, o pats kesonas, kaip ir kasant šulinius, grimzta gilyn. Vanduo iš vandeningo grunto ar upės nepatenka į kamerą, nes kesonui esant žemiau upės ar gruntinio vandens lygio, į jį kompresoriais pumpuojamas oras išspaudžia iš sandarios kameros vandenį. Vėliau inžinieriai šį metodą taikė statydami tiltus per upes ir įlankas. Lietuvoje kesonai pirmą kartą buvo panaudoti 1859 m. statant Kaune geležinkelio tiltą per Nemuną.

Žmogaus gyvenamosios aplinkos planavimui ir organizavimui buvo pasitelkiama architektūra. Architektūrinis projektavimas priklauso nuo daugelio techninių, fizinių, klimato, teisinių ir socialinių veiksnių. Iš architektūros tikimasi ne tik techninio sprendimo ir funkcionalumo, bet ir estetikos. Architektūriniame projektavime manipuliuojama medžiaga, šviesa ir šešėliu, erdve, forma, tūriu, tekstūra, spalva ir technologijomis. Architektūrinio projektavimo teorija remiasi prielaida, kad pastato forma neatsiejama nuo

funkcijos ir turi ją atitikti (pvz., sporto salė nepritaps gyvenamajame pastate ir pan.). Statinio funkcija yra daugiau nei pastato dalių funkcija. Apie XVIII a. vidurį buvo suvokta, kad virtuali realybė gali sukurti tikrovės įspūdį. Tuo metu daugelio svarbių statybinių medžiagų savybės jau buvo žinomos ir projektuotojai galėjo naudotis šiomis žiniomis. Inžinieriai ir architektai pradėjo stebėti statinius, vertinti jų būklę ir stabilumą. 1742–1743 m. popiežius Benediktas XIV paprašė atlikti Šv. Petro bazilikos inžinerinį vertinimą ir nustatyti įtrūkimų ir gresiančios žalos priežastis. Po įvertinimo buvo nuspręsta, kad pastato konstrukcija žiediškai bus sustiprinta impostais (skersstakčiais). Vertintojams reikėjo apskaičiuoti kupolo horizontalią skėtimo jėgą, nes kupole esantys geležies žiedai galėjo neišlaikyti skėtimo jėgų. Londono Šv. Pauliaus katedra buvo pastatyta 1675–1710 m. ir pagal svarbą prilygo Šv. Petro bazilikai. Abi monumentalios konstrukcijos iš viršaus yra slegiamos didelių kupolų. Šv. Petro bazilika buvo statoma laikantis empirinės pastatų projektavimo tradicijos, o Šv. Pauliaus katedros projektavimas jau buvo paremtas XVII a. teoriniais skaičiavimais ir koncepcijomis.

Prancūzų karo inžinierius Sebastienas la Prestre de Vaubanas (1633–1707) pasiūlė inžinerines konstrukcijas kelių, tiltų ir įtvirtinimų statybai. Jis sukūrė daugiakampius ir žvaigždinius fortifikacinius įtvirtinimus, karinei gynybos strategijai pritaikė kanalus, ėmėsi perstatyti Diunkerko uostą (Prancūzija). Jo veiklos metais pirmą kartą buvo pavartota „inžinieriaus“ sąvoka.

D. Britanijoje 1750 m. gyveno vos 8 mln. gyventojų (palyginti su 25 mln. labiau pažengusioje Prancūzijoje, 31 mln. kur kas tankiau gyvenamoje Japonijoje ir 270 mln. Kinijoje). Tame šimtmetyje prasidėjo fenomenali ekonominė ekspansija, kuri iškėlė šalį į pirmaujančias pozicijas pasaulyje. 1750–1850 m. čia buvo išrasta daug darbo jėgą tausojančių ir darbo našumą didinančių įrenginių ir prietaisų, kurie padėjo daugiau gaminti, parduoti, uždirbti, išleisti ir geriau gyventi. Plėtojant mokslą ir kuriant įvairias technologijas nemenką indėlį įnešė Thomas Telfordas (kanalų kasimas), Marcas Brunelis (tunelių rausimas), James'as Wattas (garo varikliai), Richardas Trevithickas (garvežių statyba), Williamas Congreve'as (paraku varomos raketos), Josephas Bramahas (hidraulinis presas), Henry'is Maudslay (metalo apdirbimo staklės), Edmundas Cartwrightas (audimo staklės), Matthew Boultonas (fabrikinė gamyba), Humphry'is Davy'is (kalnakasio lempa),

Edwardas Jenneris (vakcina nuo vėjaraupių). Sąrašą papildo astronomai Nevilas Maskelyne'as ir Williamas Herschelis, fizikai Henry'is Cavendishas ir grafas Benjaminas Thompsonas, chemikai Johnas Daltonas ir Williamas Henry'is, botanikas Josephas Banksas ir daugelis kitų. Galima tik stebėtis, kad viena nelabai didelė šalis galėjo turėti tiek talentų.

XVII–XVIII a. Abiejų Tautų Respublika daug kartų kariavo su kaimyninėmis šalimis. Karai labai susilpnino šalį ir valstybė palaipsniui prarado Vidurio ir Rytų Europoje turėtą galią ir valdytą teritoriją. Po 1772 m. padalijimo iš kažkada buvusios didžiausios Europos valstybės buvo likęs tik trečdalis. Augant miestams ir ūkiui, didėjant kaimyninių valstybių intrigoms, nuolat destabilizuojančioms vidaus padėtį, šaliai buvo reikalingos politinės ir visuomeninės reformos. 1791 m. gegužės 3 d. priimta Konstitucija laikoma pirmąja Europoje ir antrąja pasaulyje (po JAV) rašytine konstitucija. Įstatymų leidžiamosios valdžios reforma buvo svarbiausias šios konstitucijos tikslas, ja buvo kuriami valstybės parlamentarizmo pradai. Deja, po 1793 m. įvykusio antrojo ir 1795 m. – trečiojo padalijimo valstybės nebeliko. Vis dėlto nepaisant įvairių negandų, Švietimo epochos idėjos nesustabdomai plito. Akivaizdūs Vilniaus universiteto nuopelnai gamtos mokslams. 1753 m. Vilniaus universitete įsteigta observatorija (Tomas Žebrauskas, Martynas Počobutas), 1781 m. – Medicinos fakultetas, kuriame dirbo anatomas ir chirurgas Nicolaus Regnier, chirurgas Jacques'as Jakóbas Briôtet, Vilniaus universiteto botanikos sodo įkūrėjas daktaras Jeanas Emmanuelis Gilibert'as ir kiti to meto žymūs medikai. Universitetas išugdė ne vieną mokslininkų, poetų, kultūros veikėjų kartą, darė įtaką ne tik Lietuvos, bet ir kaimyninių šalių kultūriniam gyvenimui (5.3 pav.).



5.3 pav. Didysis universiteto kiemas, XIX a. vidurys (FaGreatCourtyard.jpg.)



5.4 pav. Titulinis veikalo „Didysis artilerijos menas“ puslapis (Kazimier Siemianovič (Казімер Семяновіч). Artis magnae artileriae pars prima.jpg.)

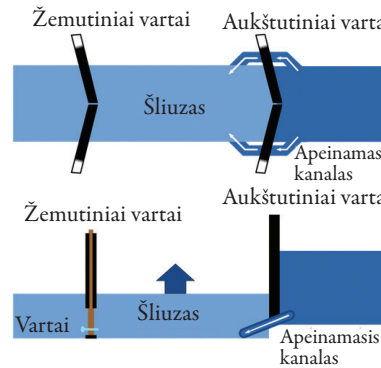
Kylantys aplinkos pavojai subrandino karo inžinerijos mokyklą, kurios iškiliausias atstovas buvo Kazimieras Simonavičius, Amsterdame (1650 m.) išleidęs veikalą „Didysis artilerijos menas“ (lot *Artis Magnae Artilleriae Pars prima*) (5.4 pav.). Jo amžininkas Vilniaus universiteto teologijos ir matematikos profesorius Oswaldas Krügeris (apie 1598–1655) skleidė žinią apie Mikołajaus Koperniko įrodytą Žemės sukimosi aplink Saulę teoriją, išrado bei aprašė artilerijos taikiklį. Vilniaus universiteto auklėtinis Adomas Adamandas Kochanskis (1631–1700) parašė pirmą teorinį darbą apie laikrodžių konstrukciją, sukonstravo magnetinę švytuoklę geografinei ilgumai jūroje nustatyti, tyrė Žemės magnetizmą, kėlė skaičiavimo mašinos, povandeninio laivo ir lėktuvo idėjas. Po trečiojo Lietuvos-Lenkijos padalijimo 1795 m. Vilnius atiteko carinei Rusijai ir 1832 m. caro dekretu universitetas buvo uždarytas.

HIDRAULIKA, KANALAI IR ŠLIUZAI

Viduramžiais net ir geriausiais laikais keliais susisiekti buvo sunku, todėl laivybai tinkamos upės atstojo ir kelius, ir vieškelius. Didžiausia navigacijos upėmis kliūtis buvo jų nuolydis, slenksčiai ar sraujymės. Šliuzai buvo laikomi didžiausiu inžineriniu pasiekimu plėtojant upių transportą. Skiriamasis šliuzo elementas buvo uždara kamera, kuri padėjo reguliuoti vandens lygį. Pirmuosius vienvarčius šliuzus buvo sunku naudoti, todėl greitai atsirado

dvivarčiai ar net daugiavarčiai šliuzai, dalijantys upės nuolydį į mažesnes atkarpas ir taip mažinantys atskiros kliūties aukštį. Šliuzo kamera nuo upės (kanalo) atskiriama viršutiniais ir žemutiniais vartais. Vartų varčios buvo statomos 18° kampu, kad sudarytų arką, galinčią atlaikyti plūstančio ar susikaupusio vandens spaudimą (5.5 pav., 5.6 pav.). Italų architektas Leonas Baltista Alberti (1404–1472) suprojektavo šliuzo konstrukciją, kuri be didelių pasikeitimų naudojama ir šiandien. Hidrotechnika yra glaudžiai susijusi su tiltų, užtvankų, kanalų, šliuzų ir griovių projektavimu, taip pat su sanitarine ir aplinkos inžinerija.

Vandens tekėjimas tik iš pirmo žvilgsnio atrodo nesudėtingas reiškinys. Italų fizikas ir matematikas Evangelista Toricellis (1608–1647) nustatė, kad vandens tekėjimo greitis sraute yra nevienodas, todėl tvirtinimas, kad didėjant gyliui tekėjimo greitis didėja, yra klaidingas. Be vandens tekėjimo tyrimų, jis sukūrė atmosferos slėgio teorijos pagrindus, išrado gyvsidabrio barometrą, patobulino Galilėjaus sukonstruotą termometrą. Prancūzų hidraulikai Pierre'as du Buatas ir Antoine'as de Chézy'as sukūrė lygtis, aprašančias pastovų ir turbulentinį skysčio tekėjimą atvirame kanale, ir apskaičiavo, kurioje srauto skerspjūvio dalyje skysčio tekėjimo greitis yra didžiausias. Isaacas Newtonas (1642–1727) suformulavo skysčio judėjimo dėsnius, o jo klampaus tekėjimo dėsnis tapo skysčių mechanikos pagrindu. Klampa – tai skysčio savybė priešintis jo dalelių pasislinkimui viena kitos atžvilgiu ir joms judant sukelti vidinius tangentinius įtempius. Naudodamiesi Newtono dėsniais daugelis XVIII a. matematikų sprendė nulinės klampos srauto tekėjimo problemas. Vis dėlto realiame skysčio sraute vyrauja klampus tekėjimas, todėl XVII–XVIII a. inžinieriai kooregavo skaičiavimus, sukūrė empirines lygtis ir taip padėjo pagrindus hidraulikos mokslui. Vokiečių inžinierius



5.5 pav. Šliuzo vaizdas iš viršaus ir šono (Canal lock.svg.)

Ludwigas Prandtlas išplėtojo paviršinio sluoksnio teoriją ir paskelbė, kad mažos klampos skysčio srautas gali būti suskirstytas į dvi zonas: ploną, klampio dominuojamą, paribio su kietu paviršiumi sluoksnį ir skysčio zoną, tekančią toliau nuo sienelės. Nors skysčių tekėjimo ypatumais buvo domimasi nuo gilios senovės, tačiau moksliniai pagrindai atsirado tik XVII–XVIII amžiuje. Skysčio tekėjimas gali būti besūkurinis ir sūkurinis, nenusistovėjęs ir nusistovėjęs, laminarinis ir turbulentinis. Dėl skysčio dalelių tarpusavio trinties ir trinties į kietus paviršius susidaro hidrauliniai nuostoliai. Naujai sukurtos skysčių tekėjimo teorijos paaiškino daugelį buvusių prieštaravimų ir pagelbėjo analizuojant sudėtingesnius srautus. XVII–XVIII a. sukurtomis skysčio tekėjimo apibrėžtimis, lygtimis ir inžineriniais skaičiavimais naudojasi ir šių dienų inžinieriai ar projektuotojai. Renesanso ir Apšvietos epochų mokslo ir inžinerijos pasiekimai padėjo pagrindus XVIII a. pabaigoje – IX a. vykusiai Pramoninei revolicijai, kurios metu fizinę (žmogaus, gyvulio) jėgą pakeitė garo jėga, rankinį darbą – mašininis, o individualų amatininko darbą – masinė gamyba.

6 SKYRIUS
METALINIŲ MEDŽIAGŲ GAVYBOS RAIDA

Gamtoje tik keletas metalų, iš jų auksas, sidabras, varis, geležis, platina ir kt., randami grynuolių pavidalu. Tačiau ir grynuoliai dažniausiai būna smulkūs ir ne visai gryni, nes juose gali būti gamtinių lydinių su kitų metalų priemaišomis. Gryniems metalams išgauti reikia labai sudėtingo metalurgijos proceso. Jeigu sunku išgryninti grynuolį, tai ką kalbėti apie daugumos plačiai naudojamų metalų, ypač retųjų, metalurgiją. Iškasenose jų randama oksidų, sulfidų arba sudėtingesnių cheminių junginių pavidalu. Jie įsiterpę į metalurgijos požiūriu nenaudingas uolienas, susimaišę su kitomis nemetalinėmis medžiagomis, dažniausiai pasklidę visame Žemės paviršiniame sluoksnyje. Tokie gamtiniai mišiniai vadinami rūdomis. Įvairaus dydžio rūdų sankaupos sudaro telkinius, arba rūdynus. Metalų ištekliai Žemės plutoje skaičiuojami *klarkais*. Pavadinti jie amerikiečių mokslininko F. Klarko garbei, kuris sukūrė naują tyrimų metodą ir juo remdamasis apskaičiavo apytikrę Žemės plutos cheminę sudėtį. Daugelio metalų gavyba yra sunki ir sudėtinga, o juos aptikti buvo dar sunkiau, todėl ir dabar kiekvieno metalo radimas tebevertinamas kaip atradėjų sunkaus darbo pergalė ir didelė vertybė visuomenės pažangai. Daugiausia metalų buvo surasta XIX a., kai buvo sukurti tikslūs analizės metodai ir priemonės.

Kada žmogus pradėjo naudoti metalus, rašytinių šaltinių nėra, todėl sprendžiama pagal iškasenas. Mokslininkai mano, kad ankstyvajame istoriniame periode (gerokai prieš senovės Graikijos kultūros suklestėjimą) žmogus naudojo tik paplitusias gamtines medžiagas. Įgiję patirties, gamtoje dažnai randamą molį žmogus sugebėjo perdirbti į tvirtą keramiką. Tik po keramikos labiau susidomėta metalais. Kokį metalą žmogus pradėjo naudoti pirmiausia, bendros nuomonės nėra. Galima tik spėlioti, kad akiai patrauklius gamtinius darinius iš aukso ar sidabro žmogus galėjo pastebėti pirmiausia. Šie minkšti ir plastiški metalai netiko įrankiams gaminti, be to, grynuolių buvo randama

mažai. Tačiau vertingas šių tauriųjų metalų savybes senovės žmogus pastebėjo ir meistriškai jas panaudojo. Dar 2600 m. pr. m. e. Tarpupio meistrų sukurti juvelyriniai dirbiniai meniškumu ir techniniu atlikimu prilygo šiuolaikiniams. Taigi tuometiniai meistrai žinojo šių metalų savybes ir juvelyrinių dirbinių gamybos technologiją.

Šiuolaikinės chemijos ir technologijų pramotė yra *alchemija* – ankstyvoji gamtos filosofijos šaka, apimanti chemijos, fizikos, astrologijos, menų, semiotikos, metalurgijos, medicinos, misticizmo bei religijos elementus. Alchemija vystėsi daugiau kaip keturis tūkstantmečius ir apėmė keletą filosofinių krypčių. Pirmiausia alchemikai siekė bet kokį metalą paversti auksu arba sidabru, sukurti nemirtingumo eliksyrą (vaistą, galintį išgydyti visas ligas, neribotai pratęsti gyvenimą ar net išgelbėti žmogaus gyvybę). Šiuos tikslus tikėtasi pasiekti sukūrus filosofinį akmenį. Dėl šių savo svarbiausių tikslų alchemikai sukūrė daugelį laboratorinių metodų, jų teoriją ir terminologiją, kurie naudojami ir šiandien. Alchemikų praktikuoti tyrimų būdai vėliau pravertė fiziniams mokslams ir medicinai. Alchemikų indėlis akivaizdus ir dabartinėje chemijos pramonėje – nustatant rūdos cheminę sudėtį, rafinuojant ir apdorojant metalus, gaminant paraką, rašalą, dažus, kosmetiką, taip pat keramiką ir stiklą, rauginant odą, ruošiant ekstraktus, alkoholinius gėrimus ir pan. Nemenkas alchemikų Europoje įdirbis kuriant distiliaciją – cheminių junginių mišinių arba tirpalų atskyrimo būdus, pagrįstus tų junginių skirtinga virimo temperatūra. Rinkdami informaciją apie medžiagas ir siekdami paaiškinti bei numatyti cheminių reakcijų produktus, alchemikai pirmieji pradėjo sisteminti cheminius elementus ir kurti pirmąsias, dar labai netobulas, periodines elementų lenteles, elementų simbolių sistemą: stibis ♁; arsenas ⚔; bismutas ♉; boras =; litis ⏃; magnis ⊛; platina ☽ ⊙; siera ♃ ♄; cinkas ♯☿♑♁; gyvsidabris ☿.

Jie išmoko išgauti metalus iš rūdų ir atrado būdus, kaip sukurti daugybę rūšių neorganinių rūgščių ir šarmų.

Vakarų pasaulio alchemijos pradžia paprastai siejama su helenistiniu Egiptu (6.1 pav.). Ilgą istorinį laikotarpį Aleksandrijos miestas buvo alcheminių žinių centras, išlaikęs savo reikšmę dominuojant graikų ir romėnų kultūroms. XVII a. pradėjus plėtotis chemijos mokslui, praktinė alchemija



6.1 pav. Medžiagų simboliai senovės Egipte (elektrumas – natūralus aukso ir sidabro lydinys, kuriame būna 45–55 % aukso) (alchemy/egyptian_symbols.html.)

nyko. Šis nuosmukis tęsėsi ir XVIII a., nes plintantis chemijos mokslas, pagrįstas racionaliu materializmu, teikė tikslesnę ir patikimesnę visatos ir jos objektų viziją. Vakarų šalių alchemijos aušra kartais siejama su metalurgijos aušra, nors metalurgijos principai buvo žinomi jau 3 500 m. pr. m. e. Egipte randamuose alchemijos dokumentuose aprašomi dažymo receptai, būdai, kaip gaminti dirbtinius brangakmenius, aukso ir sidabro imitacijas. „Chemijos“ ir „alchemijos“ sąvokos buvo naudojamos kaip sinonimai, o skirtumai tarp alchemijos, chemijos, kokybinės analizės bei metalurgijos nebuvo taip apibrėžti kaip šiandien. Alchemijos nuosmukį Europoje lėmė šiuolaikinio mokslo atsiradimas, kuris pabrėžė eksperimentavimo svarbą. Į klaidingą kelią alchemikus pastūmėjo tai, kad nebuvo nei mokslinės bazės, nei programos. Vis dėlto jų indėlis į mokslą ir gamybą buvo nemažas. Jų nuopelnas, kad senovėje žinomus metalus papildė naujai atrasti arsenas, stibis, bismutas, cinkas, vėliau – nikelis ir kobaltas. Alchemikų tyrinėjimų rezultatai buvo apibendrinti to meto veikaluose apie metalus ir davė neabejotinos naudos tiek mokslui, tiek praktikai. Sparčiai plito kalnakasyba, metalurgija ir metalų apdorojimas. Plečiantis metalų gavybai, reikėjo išmokti nustatyti rūdų sudėtį ir metalų savybes. Greta kuriamų mokslinių medžiagotyros pradų atsirado ir pseudomokslinių. Viduramžių alchemikai klydo, siedami metalus su planetomis: auksas – tai Saulė, sidabras – Mėnulis, gyvsidabris – Merkurijus, varis – Venera, geležis – Marsas, alavas – Jupiteris, švinas – Saturnas, o cinkui, bismutui, stibiui ir arsenui pritrūko planetų. Tradiciškai metalams buvo priskiriamos antgamtinės savybės, iš jų daromi amuletai, papuošalai, ginklai, pinigai ir t. t.

Jau gilioje senovėje, dar nežinant pačių metalų, įvairiems tikslams buvo naudojamos jų rūdos. Svarbus stiklo kokybės kriterijus yra jo skaidrumas ir spalva. Jau viduramžių stiklo gamintojai suprato, kad stiklą skaidrina metalai arba jų cheminiai junginiai. Stiklas buvo skaidrinamas mangano

rūda (dabar šiam tikslui naudojamas cerio oksidas). Cerio oksidas ne tik skaidrina, bet ir dažo stiklą sodria oranžine spalva. Vanadis stiklą dažo tamsiai mėlynai, kobaltas – žaliai, cinkas – baltai, nikelis – nuo purpurinės raudonos iki geltonos. Geltoną stiklą galima gauti ir kadmio, geležies arba sidabro dažikliais.

Maždaug 95 iš 118 periodinės lentelės elementų yra metalai. Skaičius netikslus, nes dėl visuotinai priimtinų kategorinių apibrėžimų trūkumo ribos tarp metalų, nemetalų ir metaloidų šiek tiek svyruoja. Pavyzdžiui, arsenas, germanis, selenas, stibis, telūras kartais laikomi metalais. Fizikoje metalu paprastai laikoma bet kokia medžiaga, absoliutaus nulio temperatūroje turinti elektrinį laidumą. Daugelis elementų, kurie paprastai nepriskiriami metalams, dėl didelio slėgio tampa metalais. Pavyzdžiui, nemetalinis jodas, jį paveikus 40–170 tūkst. barų slėgiu, tampa metalu.

Praėjo daug laiko, kol buvo išmokta nustatyti metalų savybes, o tuomet paaiškėjo, kad jos labai skirtingos. Dabar žinoma, kad santykinio stiprumo lyderis – titanas, kietumo – osmis, sunkumo – iridis ir osmis, tirpimo – stibis, jis tirpina beveik visus metalus. Sunkiausiai lydosi volframas – tik 3 410 °C temperatūroje, o lengviausiai – galis, kuris lydosi delne esant iki 29,75 °C. Gyvsidabrio lydyti nereikia – kambario temperatūroje jis yra skystas. Pagal skystumą pirmauja galis. Išlydytas ir kaitinamas nuo 30 iki 2 230 °C jis išlieka skystas beveik negaruodamas. Nepastoviausias – plutonis: kaitinamas ar aušdamas jis net 6 kartus keičia kristalinę gardelę, o galis panašus ir į grafitą, ir į kvarcą, ir į vandenį (aušdamas plečiasi). Į vandenį dar panašūs stibis ir bismutas. Brangiausi yra berklis ir kalifornis – šių metalų gramas kainuoja dešimtis ar net šimtus milijonų eurų. Nuodingiausias ir klastingiausias – rutenis: atominiuose reaktoriuose susidarantys jo radioaktyvūs „pelenai“ kur kas pavojingesni žmogui ir aplinkai negu stipriausi cheminiai junginiai. Iki šiol jo negauta visiškai gryno. Universaliausias – talis. Šis metalas atrastas jo neieškant. Jis panašus į labai skirtingus metalus: sidabrą, kalį ir natrį, o pagal fizines savybes – į šviną.

Mechaninės metalo savybės rodo jo gebą priešintis išoriniam mechaniniam veikimui. Štai keletas svarbiausių metalų mechaninių savybių:

– stiprumas – atsparumas deformavimui arba suardymui veikiant statinei ar dinaminei apkrovai;

– plastiškumas – negrįžtami matmenų ir formos pokyčiai, kai veikia apkrova, ir jų išsaugojimas pašalinus apkrovą;

– kietumas – atsparumas kito kūno įsiskverbimui į jį;

– smūginis tąsumas – atsparumas suardymui, veikiant jį smūgine (dinamine) apkrova;

– patvarumas – atsparumas mikroplyšių atsiradimui ir jų plitimui;

– patikimumas – metalo geba priešintis trapiajam irimui;

– laidumas elektrai – metalo savybė turėti didelę ar mažą elektrinę varžą.

– atsparumas korozijai – atsparumas koroziniam aplinkos poveikiui.

Metalų fizikinės ir mechaninės savybės ne visuomet nulemia jų technologines savybes. Technologinės savybės (liejimo, suvirinimo, kalumo, terminio apdorojimo) rodo galimybę apdirbti metalus tam tikrais technologiniais būdais ir suteikti jiems norimą formą, matmenis arba savybes.

Šimtmečius didmeninėje prekyboje atsiskaitymų etalonas buvo auksas, o mažmeninėje – sidabras. Šie pirmieji „pinigai“ (pavyzdžiui, lietuviški ilgieji buvo 10–17 cm ilgio, sverdavo 100–105 g) – tauriųjų metalų luiteliai – turėjo įkartas, pagal kurias atskirdavo grąžą. Senasis vertės matas auksas ir dabar nepraradęs savo reikšmės. Šiuo metu susintetinti transuraniniai metalai (americis, kiuris) pagal gamybos mastą ir kainą yra gerokai brangesni už auksą. Brangesni už auksą taip pat tantalas, technecis, terbis, iterbis, rubidis, skandis.

SPALVOTIEJI METALAI

Metalurgijos pradžia skendi tirštame istorijos rūke, nors vėjų išpustyti ar vandens srautų išplauti kai kurių metalų grynuoliai savo puikia spalva galėjo traukti senovės žmogaus dėmesį. Primityvius žmones galėjo sudominti palyginti kieti, sunkūs vario grynuoliai, kuriuos, skirtingai nuo medžio ir akmens, buvo galima kalti, lankstyti įvairias naudingas formas. Senovėje žmonės žinojo auksą, sidabrą, varį, alavą, švinį, gyvsidabrį ir geležį. Auksas, sidabras, gyvsidabris ir varis gamtoje randami grynuolių pavidalu, todėl žmogui žinomi nuo neatmenamų laikų. Jau senovėje buvo žinomi stibis ir platina dėl gamtoje pasitaikančių jų grynuolių. Geležį pirmiausia žmogus galėjo aptikti meteorituose. Kad alavą ir švinį galima išlydyti iš rūdų, žinojo jau senovės metalurgai.

AUKSAS, SIDABRAS IR GYVSIDABRIS

Auksas (Au, lot. *aurum*) – periodinės elementų sistemos I grupės cheminis elementas, grynuolių klasės mineralas. Tai ryškus, geltonas (dėl priemaišų – įvairių atspalvių) taurusis metalas, minkštas, tąsus ir kalus, dažniausiai randamas dendritų, grūdelių, žvynelių, plokštelių, dulkių pavidalu. Kaip ir visi taurieji metalai, auksas atsparus oro, rūgščių ir šarmų poveikiui. Jį tirpina tik „karališkasis vanduo“ (koncentruotų azoto ir druskos rūgščių mišinys).

Aukso ir sidabro lydiniai yra minkšti, plastiški, lengvai apdirbami mechaniškai. Aukso ir vario lydiniai ne tokie plastiški, kietesni ir trapesni už gryną auksą. Lydiniai su platina, geležimi, cinku, indžiu yra atsparūs dilimui, lengvai liejami ir apdirbami mechaniškai.

Aukso yra Australijoje, Brazilijoje, Indonezijoje, JAV (Kalifornijos, Aliskos valstijos), Kanadoje, Kinijoje, Pietų Afrikos Respublikoje, Rusijoje. Didžiausias aukso luitas – Holtermano plokštė, rasta Australijoje 1872 m., svėrė 214,326 kg (gryno aukso jame 85,05 kg).

Auksas ir jo lydiniai naudojami monetų ir juvelyrinių dirbinių, medalių, dantų protezų gamybai. Radiotechnikoje ir elektronikoje naudojami auksu dengti laidai ir kontaktai, aukso izotopu ^{198}Au gydomos onkologinės ligos. Aukso-sidabro-paladžio-platinos lydiniai naudojami kosminėje technikoje, miniatiūrinių elektroninių radijo lempų gamyboje.

Sidabras (Ag, lot. *argentum*) – baltas metalinio blizgesio metalas, kalus, minkštas. Lydymosi temperatūra – 960,8 °C, virimo – 2 148 °C, tankis 10 500 kg/m^3. Geriausiai iš metalų praleidžia elektrą ir šilumą, pasižymi didžiausia šviesos atspindžio geba, nepaprastu plastiškumu. Sidabro lydiniuose būna 40–95 % sidabro ir iki 60 % kitų elementų (aukso, vario, paladžio, nikelio, molibdeno, mangano, cinko, aliuminio). Išgaunamas lydant rūdą.

Gyvsidabris (Hg, lot. *hydrargyrum*) – blizgus, skystas, sidabro baltumo metalas. Jo šiluminio plėtimosi koeficientas apie du kartus didesnis negu kitų metalų. Gyvsidabris yra taurusis, normaliomis sąlygomis skystas metalas. Jis yra sunkiausias iš žemėje žinomų skysčių. Nors gyvsidabrio tiek išvaizda, tiek savybės yra kaip metalų, tik po ilgų dvejonių 1759 m. jis buvo priskirtas metalams. Kai aplinkos temperatūra yra 0 °C ir daugiau, metalinis gyvsidabris virsta garais. Didžiausia leidžiama gyvsidabrio koncentracija atmosferos ore – 0,0003 mg/m^3.

Šis metalas reaguoja su visais metalais, sudarydamas junginius – amalgamas. Žemėje randami nedideli gyvsidabrio kiekiai lašelių pavidalu. Gyvsidabris yra vienas iš nedaugelio metalų, kurio rūdų telkiniai yra Europos žemyne: Ispanijoje, Italijoje ir Jugoslavijoje. Daugiausia gyvsidabrio sulfidinių rūdų iškasama Ispanijoje. Gyvsidabris naudojamas elektros srovės lygintuvuose, gyvsidabrio lempose, jungikliuose, energijos keitikliuose ir kt., medicinoje – mikrobams naikinti (antiseptiniai gyvsidabrio vaistai). Tai nuodingiausias sunkusis metalas. Žmogui pavojingiausi jo garai. Pro plaučius į kraują patekę gyvsidabrio garai jungiasi su baltymais, kaupiasi inkstuose, kepenyse, smegenyse. Į organizmą gali patekti ne tik per orą, bet ir su maistu. Senovės Egipte gyvsidabris ir jo pagrindinis mineralas cinoberis buvo žinomi jau III a. pr. m. e., o Indijoje – II–I a. pr. m. e. Senovėje amalgavimu (metalų tirpinimu gyvsidabryje) iš rūdų buvo išgaunamas auksas. Šis būdas taikomas ir dabar.

VARIS

Varis (Cu, lot. *cuprum*) yra labai plastiškas, laidus elektrai ir šilumai, atsparus korozijai metalas, tačiau jo liejamosios savybės prastos, taip pat jį sunku pjauti ir virinti. Jo lydymosi temperatūra 1 083 °C. Apie 50 % viso vario sunaudojama elektrotechnikoje. Kuo varis grynesnis, tuo laidesnis elektrai ir šilumai, tačiau mažiau stiprus. Spėjama, kad varį žmogus pradėjo naudoti prieš 10 000 metų (6.2 pav.). Varis pakeitė akmenį jau VI tūkst. pr. m. e. Vario tėvynė yra dabartinė Turkija, Šiaurės Irakas ir Šiaurės vakarų Iranas. Iš vario grynuolių pirmieji primityviai kalti papuošalai datuojami net VIII tūkst. pr. m. e. Vario grynuolių, karštai kaltų ir pakaitintų peilių, ginklų ašmenų, žemės ūkio padargų ir kt. rasta Šiaurės Amerikoje prie Didžiųjų ežerų. Jie pagaminti II–I tūkst. pr. m. e. Pietų Amerikos indėnai vario epochą išgyveno tik prieš 400 metų.



6.2 pav. Gamtinis vario grynuolis (Copper-21991.jpg.)

Vario epocha senovės Graikijoje buvo vėlesnė negu Egipte, priešingai nei bronzos, nes Graikijoje greta vario lydinių būta ir „alavinio akmens“ (alavo rūdų). Jau tada pastebėta, kad varis su „alaviniu akmeniu“ lengviau lydosi, įgauna geresnių savybių. Alavinė bronza kur kas

kietesnė už varį, mažiau dyla. Bronzos pavadinimas kilo iš nedidelio Italijos uosto Brindizio Adrijos jūroje. Per šį uostą senovės romėnai į Europą gabendavo vario lydinį *es brintisi*. Jeigu vario istorinė epocha tęsėsi apie 2 000 metų, tai bronzos – tik 1 000 metų. Seniausias žalvario (vario lydinys su cinku) gaminys rastas Palestinoje ir datuojamas 1 500 m. pr. m. e. Vario lydinys su 4 % cinko – tompakas – spalva panašus į auksą. Šis žalvaris buvo aukso pakaitalas. Prireikus didesnio metalo atsparumo dilimui ir mechaninio stiprumo, varis legiruojamas. Legiruotieji vario lydiniai vadinami žalvariu ir bronza. Jie pasižymi geresnėmis mechaninėmis, antifrikcinėmis savybėmis, atsparesni korozijai, gražios išvaizdos, plastiški. Žalvaris – tai vario ir cinko, o bronza – vario ir alavo lydinys. Dabar ši riba jau ne tokia aiški, nes žalvario ir ypač bronzos lydiniuose būna dar ir kitų spalvotųjų metalų priedų. Grynas varis ir jo lydiniai gali būti sustiprinami šaltai deformuojant. Varis ir jo lydiniai, reaguodami su organinėmis rūgštimis, sudaro nuodingus junginius, todėl su maistu kontaktuojančio vario, žalvario ar bronzos paviršių būtina padengti alavu arba sidabru.

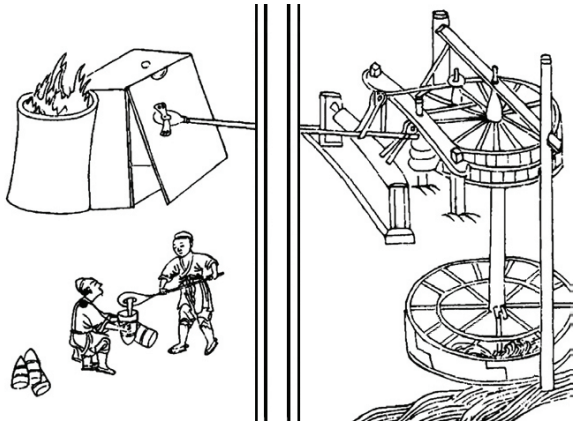
Archeologiniai duomenys rodo, kad nors švinas buvo žinomas taip pat labai anksti, pirmasis naudojamas metalas buvo varis. Vakarinėje Irano dalyje ir Anatolijoje (Turkija) rasta kalto vario gaminių, pagamintų iš neperlydyto vario jau IX–VII tūkst. pr. m. e. Neolito laikotarpio pabaigoje metalurgija tobulėjo ir plėtėsi. Iš vario grynuolių buvo kalami nedideli juvelyriniai arba ritualiniai dirbiniai. Ginklai iš gryno vario buvo gaminami šaltuoju kalvystės būdu, ruošinį kelis kartus iškaitinant žemesnėje kaip 800 °C temperatūroje. Meistrai, gaminę šiuos gaminius, jau gerai žinojo, kad deformuojamas varis kietėja, o kaitinamas minkštėja. Vėliau didesni gaminiai, tokie kaip kirvio pentis, buvo gaminami lydant mažesnius vario gabalus tiglyje ir išliejant gaminio formą. Vario amžiaus pradžia siejama su lydymo procesų atsiradimu, padėjusių išgauti varį iš rūdos. Tokia vario gamyba pirmiausia radosi šalia lengvai prieinamų vario rūdų radaviečių. Logiška manyti, kad vario rūdos pirmą kartą buvo panaudotos atsitiktinai. Į žaizdrą su rūda patekę vario kristalai buvo įkaitinami iki šiek tiek žemesnės negu lydymosi temperatūros. Kalant iš sukepusio ruošinio išbyrėdavo šlakai ir nemetaliniai junginiai. Toks kaltinys jau galėjo būti kokiu nors gaminiu arba jį buvo galima išlydyti.

Didžiojoje dalyje didesnių vario gaminių, pagamintų Vidurio Rytuose VII–V a. pr. m. e., mikrostruktūroje susiformavę pirminiai kristalitai (dendritai) rodo, kad gaminys gautas liejimo būdu. Labiausiai tikėtina, kad vario kristalų turinti rūda buvo kaitinama medžio anglimi kūrenamame žaizdre. Ištirpęs metalas nutekėdavo į žaizdro dugne iš molio padarytas lęšio formos duobutes. Šią pirmykštę technologiją greitai pakeitė tiglinis lydymo būdas. Tiglyje susikaupęs skystas metalas buvo išpilamas į iš anksto paruoštas formas ir taip gaunamas reikiamos formos ir dydžio gaminys. Izraelyje aptiktos anksčiausios tiglinės krosnies liekanos datuojamos 3 300–3 000 m. pr. m. e. laikotarpiu.

Sustiklėjusio šlako su vario pėdsakais rasta senoviniame Čatal Hiujuko (turk. Çatal Höyük) mieste (Anatolija, Turkija) 7 000–6 000 m. pr. m. e. Atsiradusi Anatolijoje vario lydymo ir liejimo technologija 5 000–4 000 m. pr. m. e. sparčiai išplito Vidurio Rytuose ir Vidužemio jūros regione. Ankstyviausieji iš vario grynuolių lieti ir kalti gaminiai Egipte datuojami 5 000–4 000 m. pr. m. e. Baigiantis IV tūkst. pr. m. e., vario paklausa labai išaugo, jos jau nebegalėjo patenkinti vario lydymas iš grynuolių ar gryno vario kristalų turinčių rūdų. Daugelyje vario dirbinių, pagamintų po 3 500 m. pr. m. e., yra nikelio, arseno, geležies ar kitų priemaišų. Gaminių cheminės sudėties kaita rodo, kad juos pradėta gaminti iš oksidinių ar karbonatinių vario rūdų.

Vario amžius prasidėjo, kai, patobulėjus vario gavybos būdams, pirmieji metalurgai tapo nepriklausomi nuo gryno vario kristalų tiekimo. Vario rūdos dažniausiai sudarytos iš vario ir geležies sulfidų, o vario jose yra apie 2 %. Kai kuriose vėjo pustomose ir vandens plaunamose vietovėse buvo 32 % vario ir 26 % geležies. Pamažu buvo sukurti būdai, kaip atskirti skystą varį nuo geležies ir kitų rūdoje esančių nepageidaujamų medžiagų. Į skystą metalą įmaišytas kvarcinis smėlis surišdavo geležį ir ji buvo pašalinama šlako pavidalu. Metalo lydymo metodai ištobulėjo apie 1 100 m. pr. m. e. (6.3 pav.). Pasibaigus lydymo procesui, šlakai ir metalas vienu metu buvo išpilami iš krosnies į smėlio pripildytą formą. Maždaug per 15 min. skystas varis nusėsdavo ant dugno, o šlakas susitelkdavo viršutinėje dalyje. Pasibaigus kristalizacijai šlakas pašalinamas, o gautas vario luitas galėjo būti kalamas ar perlydomas.

Arsenas ir kitos senovės vario gaminiuose randamos priemaišos rodo, kad didžiausias vario kiekis buvo gaunamas ne iš oksidinių ar karbonatinių, bet



6.3 pav. Metalų lydymo technologija viduramžiais (Yuan Dynasty – waterwheels and smelting.png.)

iš sulfidinių vario rūdų. Vario amžiaus pradžioje naudotos sulfidinės rūdos buvo labai turtingos (15–25 % Cu), nors jų radavietės buvo labai lokalios, o rūdos sluoksnis plonas. Kada prasidėjo arseno vario era, nustatyti sunku. Arseno varį, gaunamą lydant arseno turinčias vario rūdas, plačiai naudojo senovės egiptiečiai (apie 4 000 m. pr. m. e.). Šis varis yra šiek tiek kietesnis už grynąjį, nors jo kietumas šalto deformavimo metu labai greitai stiprėja. Vario amžiuje šis veiksnys turėjo būti labai svarbus, nes ginklų ir įrankių ašmenys buvo kietinami kalant metalą šaltuoju būdu.

ALAVAS IR BRONZA

Alavo pavadinimas (Sn, lot. *stannum*) kilęs iš sanskrito *stan* – kietas. Iš tiesų keistai pavadintas šis minkštas ir labai plastiškas metalas. Alavas naudotas anksčiau, negu pradėta lydyti bronza. Alavinių dirbinių amžius siekia V tūkst. pr. m. e. Meniški alaviniai indai buvo gaminami net iki XVII amžiaus. Alavas pradėtas naudoti anksti ir plačiai tikriausiai dėl to, kad yra minkštas, plastiškas, sidabriškai baltas. Be to, senovėje alavo rūdų telkinių buvo randama tiesiog žemės paviršiuje. Jau I tūkst. pr. m. e. atsirado rūdų importas ir eksportas. Senovės Indijoje slūgsojo sodrūs alavo rūdynai. Telkiniai, kuriuose būtų bent 1 % alavo, dabar yra retenybė. Šiuo metu alavas išgaunamas iš rūdų,

kuriose yra bent 0,002–0,001 % alavo. Dėl didelio šio metalo poreikio jis labai taupomas.

Vario, legiruoto arsenu, gaminiai buvo gaminami daugiau kaip 1 500 metų, tačiau apie 3000 m. pr. m. e. arseno kiekis Artimuosiuose Rytuose pagamintuose variniuose daiktuose pradeda mažėti. Šio periodo vario gaminiuose randamas nedidelis alavo kiekis, retais atvejais jis viršija 2,5 %. Ši mažai alavo turinti bronza turėtų būti laikoma vėlesnės tikrosios bronzos, kurios sudėtyje yra 8–10 % alavo, pirmtaku. Tikėtina, kad alavas bronzoje atsirado atsitiktinai – lydant alavo turinčias vario rūdas arba naudojant alavo turinčius fliusus. Staigus 8–10 % alavo turinčios bronzos atsiradimas senovės šumerų civilizacijoje 3 000–2 500 m. pr. m. e. tikriausiai rodo, kad vario gamintojai atrado lydinių legiravimą. Svarbiausias mineralas, iš kurio gaunamas alavas, buvo *kasiteritas*, arba alavo oksidas (SnO_2). Kasiteritas randamas aliuviniuose sąnašynuose, o pirminis šio mineralo šaltinis – hidroterminės gyslos ar magminės uolienos.

Egipto rytinėje dykumoje yra keturios kasiterito kasyklos. Iki 2600 m. pr. m. e. Egipte pagamintuose vario gaminiuose alavo nebuvo. Vario lydinius su 8–10 % alavo Egipte pradėta gaminti tik 2000 m. pr. m. e. Alavo stygius dėl stichinių nelaimių ar politinių sukrėtimų nebuvo ilgas; tačiau maždaug po 2500 m. pr. m. e. 8–10 % alavinė bronza greitai paplito visame Artimųjų Rytų regione. Bronzos gamybos vietų nustatyta ir Pietų Kinijoje, Tailande ir Indonezijoje. Bronza, kurioje yra 8 % alavo, Kinijoje buvo gaminama jau 2800 m. pr. m. e. Alavinės bronzos gamybos technologija šiuose kraštuose tikriausiai atsirado nepriklausomai nuo Šumero gamintojų atradimų. Italijoje bronza pradėta gaminti 1900–1800 m. pr. m. e. Vario gavyba Ispanijoje prasidėjo neolito laikais, o III tūkst. pr. m. e. jos vario ir tauriųjų metalų telkiniai buvo plačiai naudojami. Daugelis ankstyvojo bronzos amžiaus arseninio vario gaminių buvo liejami atvirose akmens formose. Galutinė gaminio forma buvo gaunama kalvišku kalimu. Šis gamybos būdas, pasirodžius 8 % alavo turintiems bronzos lydiniams, greitai išnyko. Dauguma gaminių buvo liejami į tikslių matmenų molio formas. Ilgi gaminiai, tokie kaip kalavijų ir durklų geležtės, buvo liejami kevalo pavidalo formose. Dar iki 2500 m. pr. m. e. egiptiečiai sukaupė didelę tuščiavidurių vario ir bronzos statulų gamybos patirtį. Daugelis didelių Egipto statulų buvo išlietos naudojant

vidinius smėlio gurgučius. Mažesni gaminiai buvo gaminami taikant vadinamąją „išlydomų modulių“ technologiją, kurią Egipto amatininkai iki 2200 m. pr. m. e. neabejotinai jau buvo gerai įvaldę.

Europoje nuo priešistorinių laikų ir 500 m. pr. m. e. bronzos gamybos technologijos vystėsi lėtai ir nevienodai skirtinguose regionuose. Minojiečių priešheleninė bronzos amžiaus civilizacija klestėjo Kretoje ir Egėjo jūros salose maždaug 2700–1450 m. pr. m. e. Apie 1600 m. pr. m. e. čia pradėta apdoroti didelius vario luitus, sveriančius daugiau kaip 30 kg, labai sparčiai plito bronzos naudojimas visoje Europoje ir Vidužemio jūros regione. 1876 m. kasinėjant bronzos amžiaus karališkuosius Mikėnų akropolius rasta ginklų ir kitų metalo dirbinių, manoma, Kretos kilmės. Kirviai ir bronzos peiliai buvo dekoruoti sieros junginiais su variu ar kitais metalais, kurie labai raiškiai imitavo auksą ir sidabrą. Rastas Kretos kultūrai būdingas didelės ritualinės reikšmės metalo gaminys – dvigubas kirvis. Vario gaminių cheminė sudėtis taip pat buvo skirtinga – nuo kalios 4 % alavo bronzos iki kietos, trapios alavinės bronzos, turinčios 18 % alavo. Vario, turinčio arseno ar nedidelį kiekį alavo, gaminius pamažu pakeitė 8–10 % alavo turinti bronza, kuri II tūkst. pr. m. e. tapo vyraujančiu lydiniu.

Graikai gana anksti bandė standartizuoti bronzos sudėtį ir nustatyti naudojamų medžiagų proporcijas. Jų siūlomą lydinį sudarė vienuolika vario dalių ir viena alavo. Atrodo, kad graikai žinojo apie žalingą švino poveikį bronzai ir siekė naudoti tik vario-alavo lydinį. Iš ginklų, rastų Mikėnų kapavietėse, akivaizdu, kad metalo dirbinių gamintojai jau XVI a. pr. m. e. tiksliai žinojo, kiek alavo gali būti bronzoje, kad ji nebūtų trapi ir tiktų karštam arba šaltam kalimui. Šaltuoju kalimu jie sukietindavo bronzinių ginklų ašmenis ir žinojo, kad metalo plastiškumą galima vėl padidinti jį pakaitinant. Metalurgijos gaminių paklausa ir sklaida sutapo su Romos imperijos plėtra visame Vidužemio jūros regione. Romos armijai šiuo laikotarpiu svarbiausia medžiaga buvo ne bronza, bet geležis, tačiau kitoms veiklos sritims reikėjo didelio kiekio aukso, sidabro ir vario lydinių. Romėnai daug švino naudojo santechnikos reikmėms, tačiau didžiausia jų metalurgijos inovacija buvo žalvaris, kuris, alavui pabrangus, pirmą kartą buvo naudojamas monetoms. Didžiausius pajėgumus kasyklos pasiekė II–III m. e. amžiuje. Didžioji dalis graikų ir romėnų metalinių skulptūrų buvo gaminamos iš bronzos.

IV m. e. amžiuje Graikijoje dažniausiai buvo naudojama alavinė bronza, nors vėlesnė Romos bronza yra legiruota ir cinku. Šie lydiniai pasižymėjo žema lydymosi temperatūra ir plačiu kristalizacijos temperatūros intervalu, palengvinančiu formos užpildymą skystu metalu. Cinkas buvo reikalingas lydinių deoksidavimui ir liejinio poringumo mažinimui. Šv. Marko bazilikos Venecijoje žirgų skulptūros išlietos naudojant išlydomų modulių liejimo technologiją. Žirgų skulptūrų sienelių storis svyruoja nuo 7,5 iki 10,5 mm. Iš pradžių skulptūros buvo paauksuotos. Prieš padengiant aukso plėvele, vario paviršius buvo apdorojamas aukso-gyvsidabrio amalgama. Amalgamai chemiškai sureagavus su variu, paviršiuje susidarydavo tarpinis sluoksnis, kurį pašildžius ant jo buvo prispaudžiama aukso folija. Paauksuoti vario gaminius yra lengviau negu bronzos, nes bronzoje dažnai yra auksavimą trukdančio švino.

ŠVINAS IR SIDABRAS

Švinas (Pb, lot. *plumbum*) – labai sunkus metalas, melsvai pilkas, minkštas, mažo tempiamojo stiprio, plastiškas, labai atsparus korozijai ore, grunte, sieros ir kt. rūgštyse, taip pat kontaktui su kitais metalais. Dėl atsparumo neorganinėms rūgštims yra nepakeičiamas chemijos pramonėje. Jo lydymosi temperatūra 327 °C. Švinį galima įrėžti nagu, atpjauti peiliu. Jis nereaguoja su geležimi ir joje netirpsta. Alavu ir stibiu legiruotas švinas pasižymi geromis liejamosiomis savybėmis. Yra pavojingas sveikatai. Švinas plačiai naudojamas energetikoje. Lydmetaliuose ir babituose jis naudojamas vietoj alavo, nes pastarasis yra keliolika kartų brangesnis. Dar naudojamas požeminių ir povandeninių elektros kabelių apvalkalams, akumuliatorių plokštėms, šaudmenims, mašinų ir prietaisų detalėms gaminti, kaip apsauginė medžiaga, sugerianti radioaktyvuosius ir rentgeno spindulius.

Iš švino nepagaminsi nei kardo, nei norago, nes jis labai minkštas ir plastiškas. Tačiau švinas labai vertingas žmonijai metalas, nors nė vienas istorinis amžius nepavadintas jo vardu. Jau žiloje senovėje švinas naudotas kaip statybinis skiedinys. Tvirtovių, šventyklų ir kitokių senovinių statinių akmeninių sienų tarpai būdavo užpildomi lydytu švinu. Švino baltasis (šarminis švino karbonatas $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$) – balti milteliai arba kristalai – buvo

žinomas jau prieš 3 000 metų. Labai seniai iš švino buvo daromos plombos (jų ir pavadinimas kilęs iš lotyniško švino pavadinimo). Gamtoje grynas švinas randamas retai. Didžiausią švino rūdų dalį sudaro paplitęs švino sulfidas (galenitas, PbS), jį nesunkiai atpažindavo senovės meistrai. Švinas yra panašus į varį, ir senovėje jį greičiausiai gaudavo redukuodami švino rūdas. Galenite yra 0,03–0,1 % sidabro, todėl švino gavybos ekonomiškumą dažniausiai lemdavo rūdos sidabro vertė. Metalinio švino gaminių, datuojamų apie 6 000 m. pr. m. e., rasta Irake, švino gaminių – IV tūkst. pr. m. e. gyvenvietėse Irane ir Egipte. Šie gaminiai rodo, kad švinas buvo naudojamas daugiausia estetiniams, o ne praktiniams tikslams. Tarp IV tūkst. pr. m. e. pabaigos Palestinos, Uro ir Mesopotamijos, taip pat įvairių Mažosios Azijos vietovių dirbinių buvo rasta sidabro gaminių, tikėtina, atsiradusių kaip šalutinis švino rafinavimo produktas. III ir II tūkst. pr. m. e. Egėjos jūros regiono švino gaminius sudaro smeigtukai, žvejybos svareliai. Švino svarmuo, sveriantis 61 g, buvo naudojamas visame Egėjo jūros regione vidurinio ir vėlyvojo bronzos amžiaus laikotarpiu. Trojos griuvėsių sluoksnyje rasti 3000–2500 m. pr. m. e. laikotarpiu datuojami beformiai švino gabalai. Egėjo jūros regione gausu daug sidabro turinčio švino klodų. V a. pr. m. e. sidabras iš Lauriono kasyklų teikė turtus, reikalingus graikų miestų klestėjimui. Sidabro gaminiai, surasti Kikladų kultūros nekropoliuose graikų salose, esančiose pietinėje Egėjo jūros dalyje, atrodo, niekada nebuvo pakartotinai išlydyti ar perdirbti. Pagal sidabro gaminių cheminę sudėtį galima tiksliai nustatyti švino kasyklas, iš kurių buvo gautas sidabras.

Rio Tinto vietovė yra Iberijos piritų juostos dalis, kuri tęsiasi nuo Ispanijos iki Portugalijos. Tai vienas didžiausių žinomų kalnakasybos kompleksų senovės pasaulyje. Romėnai perėmė Rio Tinto 206 m. pr. m. e. nugalėję ir išviję kartaginiečius, kurie šį regioną buvo užėmę nuo maždaug 535 m. pr. m. e. Romos karinių inžinierių techninės žinios, vergų ir nuteistųjų darbas labai išplėtė kalnakasybos ir metalurgijos darbus. Didžiausias pakilimas buvo pasiektas 70–180 m. pr. m. e. Rio Tinto regionas buvo didžiausias sidabro ir vario gavybos kompleksas Romos imperijoje. Tonoje chalkopirito rūdos buvo apie 40 g sidabro. Kadangi Rio Tinto vario sudėtyje yra mažai švino, akivaizdu, kad siekiant išgauti sidabrą buvo lydomas švino oksidas arba švino rūdos.

Chalkopirito rūdos galėjo būti lydomos mažose šachtinėse krosnyse. Iš susidariusio vario sulfido tirpalo sidabras buvo absorbuojamas išlydyto švino, o iš gauto švino-sidabro lydinio buvo išskiriamas sidabras. Ilgą laiką sidabro gavybos branduolys buvo Lauriono regionas (Graikija) – didžiausias kalnakasybos centras senovėje. Sistemingas mineralinių turtų naudojimas šiame regione prasidėjo 3200 m. pr. m. e. ir be pertraukos tęsėsi iki VI a. pr. m. e. pabaigos. Bronzos amžiuje (2800–1100 m. pr. m. e.) Lauriono kasyklos aprūpino visas Egėjo jūros civilizacijas (Kikladų, Mino ir Mikėnų) sidabru, švinu ir variu. Rūda buvo ypač turtinga, manoma, kad iš tonos rūdos buvo gaunama 1 200–1 400 g sidabro. IV a. pr. m. e. Lauriono kasyklos ir kalnakasybos teisės vis dar priklausė Atėnų valstybei, tačiau amžiaus pabaigoje gamyba labai sumenko, kai Atėnų valstybės sidabro monetų standartą pakeitė Makedonijos karalių įvestas aukso standartas.

Lietuvoje atvežtines monetas paprastai sulydydavo į sidabro lydinius. Pirmieji lietuvių pinigai buvo lietuviški ilgieji (6.4 pav.). Įpjovos strypelių paviršiuje buvo skirtos sidabro kokybei nustatyti. Vienas lietuviškas ilgasis vidutiniškai svėrė 104 g.

Romoje veikusio vandentiekio vamzdžiai buvo pagaminti iš švino. Kartais švinas buvo naudojamas ne tik vamzdynų jungčių, bet ir statybinių blokų sandūrų sandarinimui. Marmuro blokams statiniuose pasislinkti neleisdavo geležies apkabos. Pompėjos griuvėsiuose atrastų vamzdynų išorinis



6.4 pav. Sidabro ir bronzos dirbiniai, rasti Lietuvos teritorijoje: a – pirmieji Lietuvos pinigai – sidabriniai ilgieji (XII–XIV a., Kernavės kasinėjimai); b – senovės slėpinys: sidabriniai ilgieji, sagės, apyrankės ir kt. (XIV a., Stakliškių lobis, Lietuvos nacionalinio muziejaus Senasis arsenalas) (A. V. Valiulio nuotr.)

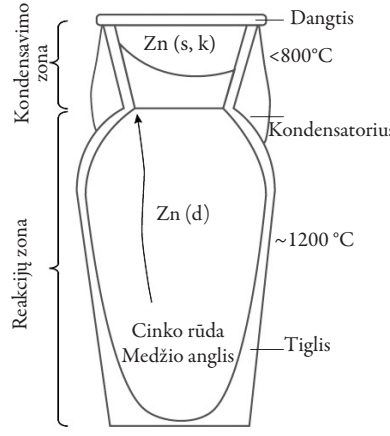
skersmuo buvo 30–40 mm, sienelės storis – 5 mm. Vamzdžio gamyba buvo labai paprasta. 6 mm storio švino lakštai buvo išliejami ant plokščio akmens paviršiaus, supjaustomi ir apvyniojami apie geležinį strypą taip, kad tarp susukto lakšto kraštų liktų nedidelis išilginis tarpelis. Į šį tarpelį buvo pilamas išlydytas švinas. Jo temperatūra turėjo būti tokia, kad apsilydytų švino lakštų sandūros briaunos. Tuomet ant geležies strypo užmauto vamzdžio sienelės kalimu buvo ploninamos iki 5 mm storio. Plonėjant sienelei vamzdžio skersmuo didėjo. Iš D. Britanijos atvežtame švine buvo labai mažai sidabro, todėl švino kasykloms buvo sunku konkuruoti su Rio Tinto kasyklų produkcija. Romėnų švine sidabro retai būdavo mažiau negu 0,007 %. Tai rodo, kad tuo metu dar nebuvo labai gerų sidabro atskyrimo nuo švino būdų.

Žalvario atsiradimo ištakos tiek pat neaiškios kaip ir bronzos. Cinkas rūdose retai būna kartu su variu. Visgi kai kuriose vietovėse buvo rūdų, kurias išlydžius į varį patekdavo nedidelis cinko kiekis, pavyzdžiui, Kipre buvo surasta daugybė vario gaminių, kurių sudėtyje buvo iki 9 % cinko. Žalvario, kurio sudėtyje yra tik varis ir cinkas, gamyba pradėta Kinijoje apie 2200–2000 m. pr. m. e., nes Kinijoje vyrauja vario rūdos telkiniai su didele cinko koncentracija. Bronza, turinti daugiau negu 10 % cinko, Kinijoje pradėta gaminti tik apie 1200 metus. Tuo metu cinkas jau galėjo būti išgaunamas metalo pavidalu ir sąmoningai dedamas į gaminamą bronzą. Helenistinės epochos bronzoje didesnis cinko kiekis randamas retai. Istoriniai duomenys rodo, kad VI a. pr. m. e. graikai pradėjo naudoti daug žalvario, kuris dėl spalvos ir retumo buvo labai vertinamas. IV a. pr. m. e. žalvaris vis dar buvo įvežamas į Graikiją iš Mažosios Azijos. Kad metalinis cinkas buvo žinomas dar gilioje senovėje, patvirtina 1949 m. atlikti Atėnų agoros kasinėjimai. Jų metu surasti 6,5 cm ilgio, 4 cm pločio ir 0,5 mm storio cinko lakštai, pagaminti III arba II a. pr. m. e. Agoroje taip pat rasta 99 % gryno cinko statulėlė.

Nors metalinio cinko gamyba Atėnuose buvo žinoma dar prieš tris šimtmečius, tačiau pirmajame mūsų eros amžiuje romėnai daug žalvario gamino *cementavimo* būdu. Cementavimo būdas – tai toks procesas, kai pusiau uždarame tiglyje apie 1 000 °C temperatūroje karboterminio redukavimo būdu iš cinko rūdos gaunamos cinko dujos. Dujų sąlytyje su variu cinkas difunduoja į varį. Etruskų gentys, gyvenusios šiandieninės Italijos Toskanos provincijoje, dar V a. pr. m. e. gamino žalvarines statulėles, kuriose buvo apie

12 % cinko. Egipte iki 30 m. pr. m. e. žalvaris, atrodo, nebuvo naudojamas. Romėnai naudojo pačių sukurtą žalvario gamybos būdą. Kalaminas (cinko rūda) buvo susmulkinamas ir sumaišomas tam tikromis proporcijomis su medžio anglimi ir vario granulėmis. Mišinys dedamas į mažą tiglį ir tam tikrą laiką kaitinamas temperatūroje, kurios pakanka cinkui redukuotis iš rūdos, bet mažesnėje negu vario lydymosi temperatūra. Lakūs cinko garai difunduodavo į vario granules ir jos virsdavo žalvariu. Tuomet padidinus temperatūrą, žalvaris būdavo ištirpdomas ir išpilstomas į keramines formas. Taigi apie 1 000 °C temperatūroje buvo gaunamas 28 % cinko turintis žalvaris.

I ir II amžiuje žalvario naudojimas sparčiai plito, ypač dekoratyvinių metalo dirbinių (sagių, žiedų, varpelių ar arklių pakinktų papuošalų) gamyboje. Pirmieji žalvario gaminių amatininkai atsirado Mažojoje Azijoje, kur metalinis cinkas buvo naudojamas žalvario gamybai dar IV a. pr. m. e. Cinko gamybos technologijos aprašymus galima rasti ir Indijos istoriniuose šaltiniuose. Į smulkius miltelius sumaltas sfaleritas (cinko sulfidas, ZnS) kaitinamas kol virsta oksidu, iš kurio, jį sumaišius su fliusu ir organinėmis medžiagomis, daromi nedideli rutuliukai. Iš jų sudaryta įkrova tiglyje kaitinama iki 1 050–1 150 °C temperatūros, kuri yra gerokai aukštesnė už cinko virimo temperatūrą esant atmosferos slėgiui (913 °C). Vyksta distiliavimo procesas ir cinko garai kondensuojasi ant retortos viršutinės dalies sienelių (6.5 pav.). Iš archeologų randamų gamybos atliekų kiekio matyti, kad buvo gaminamas didelis cinko oksido kiekis, o šios žaliavos vienintelis tikslingas naudojimas buvo žalvario gamyba.



6.5 pav. Cinko distiliavimas (valymas)

Cinko naudojimo istorija iš dalies aptarta kalbant apie varį. Spėjama, kad jau žiloje senovėje, norint pašviesinti varį, į vario rūdą buvo dedama cinko rūdos. Kada pirmą kartą gautas grynas cinkas, tiksliai nenustatyta. Nedideliais

kiekiais cinkas buvo gabenamas iš Rytų šalių. Pramoninė cinko metalurgijos pradžia buvo labai sunki. Tik po daugelio mėginimų 1743 m. Bristolyje (D. Britanija) pastatyta pirmoji cinko metalurgijos gamykla, lydžiusi juodcinkį (cinką su kitų metalų priemaišomis).

Turimi archeologiniai duomenys rodo, kad varis ir greičiausiai metalinis cinkas pradėti gaminti Mažojoje Azijoje dar prieš 800 m. pr. m. e., o 700 m. pr. m. e. aukso spalvos žalvaris buvo įvežamas į helenistinio pasaulio šalis. Šie lydiniai per Pandžabą (Indija) apie 200 m. pr. m. e. galėjo būti vežami iš Mažosios Azijos į Tolimuosius Rytus. Bronzos gamyba šiame Indijos regione prasidėjo tik pirmajame mūsų eros amžiuje. Metaliniu cinku Kinijoje pradėta prekiauti labai seniai. Pirmosios cinko monetos pasirodė Mingų dinastijos valdymo pradžioje (1368–1644 m). Vėlesnėje Mingų laikotarpio bronzoje yra daugiau kaip 30 % cinko. Toks didelis cinko kiekis į lydinius negalėjo patekti iš rūdų, todėl manoma, kad buvo dedamas metalinis cinkas. Kinijoje pagaminti cinko luitai atkeliavo į Europą XVI a. pabaigoje. Jis buvo plačiai naudojamas gaminant aukso spalvos žalvarį, iš kurio amatininkai darė pigius papuošalus.

Pradėjus dideliais kiekiais gaminti metalinį cinką, jo daugiau buvo dedama į vario lydinius. Sukurtas žematemperatūris žalvaris, kurio sudėtyje buvo 40–50 % cinko. Šis lydinys buvo naudojamas lydmetaliu lituojant varinius ir plieninius gaminius. Nedidelės apimties europinė cinko gamyba pradėta Žemutinėje Saksonijoje esnčiuose Harco kalnuose. Ramelsburgo mieste pagaminta produkcija buvo sunaudojama vietoje, kokios iš pradžių buvo cinko gamybos technologijos, žinių neišliko. D. Britanijoje kalamino rūdos buvo aptiktos XVI amžiuje. Kalaminas – tai cinko karbonato $ZnCO_3$ (smitsonito) arba cinko silikato $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$ (hemimorfito) rūdos. Šiose cinko rūdose yra mažai švino, todėl jų kokybė geriausia. Britanijos žalvario pramonė greitai patyrė nuosmukį, nes parlamentas atsisakė sumažinti vario importo muitą ir apsaugoti anglų gamintojus nuo importuojamų pigių žalvarinių dirbinių. Po 1650 m. šimtai tonų aukštos kokybės cinko rūdos buvo vežama į Europos žalvario gamybos centrus. Iš šio žalvario pagaminti juvelyriniai dirbiniai vėliau būdavo parduodami Anglijos rinkose gerokai mažesnėmis kainomis negu tokie patys gaminiai, pagaminti iš vietinio žalvario. D. Britanijos spalvotųjų metalų pramonė pradėjo atsigauti po

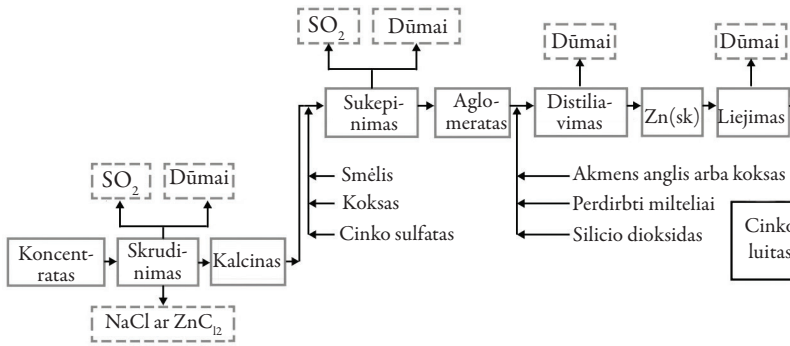
1670 m., kai buvo sukurtos anglimi kūrenamos švino ir vario gamybai skirtos atspindžio krosnys. Sumaišytos su kalkėmis sulfidinės vario rūdos buvo lydomos šiose krosnyse, siekiant pašalinti silicio priemaišas. Oksiduojančioje terpėje pamažu iš skysto lydalo buvo šalinama geležis ir siera, kol likdavo tik juodvaris. Metalinis cinkas buvo importuojamas iš Tolimųjų Rytų, tačiau jis lakštiniam žalvariui gaminti buvo per brangus, nors žalvario paklausa pigiems juvelyriniams gaminiams gaminti buvo didelė. Iš juodvario ir 40 % cinko lydinio buvo gaminamas aukštatemperatūris lydmetalis.

Anglijos gamintojai stengėsi pasigaminti metalinio cinko iš vietinio kalamino. Naujasis redukcijos procesas buvo pagrįstas greita cinko garų kristalizacija beorėje aplinkoje. Tam tikslui buvo naudojamos vertikalios, o vėliau ir horizontalios retortos. Kiekvienoje krosnyje buvo išdėstyti 6 maždaug metro aukščio reakcijų tigliai. Distiliavimo procesas trukdavo apie septyniasdešimt valandų. Per tą laiką iš šešių retortų buvo gaunama apie 400 kg cinko. 1807 m. buvo sukurtas horizontalios retortos cinko gamybos būdas, daug paprastesnis ir ekonomiškesnis. 1820–1940 m. Europoje ir JAV beveik visas cinkas buvo taip gaminamas. Bandymai gauti cinką iš kalamino buvo vykdomi ir žemyninėje Europoje. Lježe (Belgija) buvo įsisavintas komerciškai sėkmingas cinko redukavimo iš rūdos procesas. 1811 m. valcavimo staklynas gamino 1,5 m ilgio ir 41 cm pločio cinko lakštus, 1813 m. Lježo Šv. Pauliaus katedros stogas buvo uždengtas cinko skardos lakštais.

Vokietija turėjo didelius Silezijos cinko rūdos telkinius. Vokiečių mokslininkai ir inžinieriai sukūrė cinko gavybos krosnį, kurioje buvo naudojamos daug didesnės ir produktyvesnės retortos negu Belgijoje. Šie pakeitimai buvo įmanomi dėl poringesnės Silezijos rūdos tekstūros. Nuo 1900 m. beveik visur pradėta naudoti regeneracines krosnis. Jeigu 1851 m. vienai tonai cinko pagaminti reikėjo 24 t anglies, tai 1920 m. kuro sunaudojimas sumažėjo iki 1 t anglies vienai tonai cinko. Pirmasis nepertraukiamas cinko redukavimo procesas įgyvendintas 1930-aisiais. Įrenginys turėjo didelę vertikalią karborundo plytų retortą. Įkrovai buvo naudojami sukepinti rūdos ir bituminės akmens anglies briketai. Įrenginys galėjo pagaminti maždaug 9 t cinko per dieną, palyginti su 27 kg pagaminamo cinko per tą patį laiką horizontalioje retortoje.

Šiuolaikinė cinko gamybos aukštakrosnė užpildoma švino ir cinko oksidų mišiniu, kuris redukuojamas degančio kokso išskiriamomis dujomis panašiai kaip įprastoje geležies aukštakrosnėje (6.6 pav.). Šios reakcijos metu susidaręs švinas ir šlakas nusėda krosnies dugne, jie periodiškai yra išleidžiami iš krosnies ir vienas nuo kito atskiriami. Cinkas reakcijos zonoje virsta garu ir, susimaišęs su proceso CO dujomis, pernešamas į kondensacinę kamerą, kurioje jį absorbuoja išlydytas švinas. Švine ištirpęs cinkas yra apsaugotas nuo atmosferinės oksidacijos. Švinui lėtai auštant, ant jo paviršiaus išsiskyrusi kieta gryno cinko pluta yra periodiškai nugriebiama. Skystas švinas vėl grąžinamas į kondensacinę kamerą. Tokia aukštakrosnė gali pagaminti 60 000 t cinko per metus. Visame pasaulyje veikia mažiausiai dešimt tokių aukštakrosnių.

XVIII a. susidomėjimas cinku Europoje buvo didelis. 1819 m. prancūzų chemikas Louisas Jacques'as Thénard'as nustatė, kad metalo koroziją sukelia elektrocheminiai procesai. Buvo bandoma padengti valcuotos geležies lakštą cinku ir taip apsaugoti geležies paviršių nuo korozijos. Naujasis procesas buvo pavadintas *galvanizavimu*. Šia danga buvo dengiami geležies lakštai, grandinės, vinys ir viela. XIX a. cinko lakštus pradėta naudoti pastatų stogams. Skirtingai nuo gofruotos geležies lakštų, cinko lakštai neturėjo struktūrinio standumo, tačiau tinkamai paruošus dengiamus paviršius ir gerai pritvirtinus cinko lakštus, jie užtikrindavo puikią apsaugą. Nuo 1850 m. cinko lakštais buvo dengiamos geležinkelio stotys ir kiti pastatai. Nors karštas cinkavimas



6.6 pav. Pirometalurginis cinko gavybos procesas

suteikė puikią apsaugą nuo korozijos, tačiau buvo ir trūkumų. Dengiant mažas detales, tokias kaip veržlės ar varžtai, keisdavosi detalių matmenys, ir tokios veržlės nebuvo galima užsukti ant varžto. Galvaninis dengimas buvo atliekamas 430–540 °C temperatūroje. Tokia proceso temperatūra buvo per aukšta, nes šaltai valcuoti ar termiškai apdoroti gaminiai netekdavo kietumo. 1900–1904 m. sukurtas dengimo būdas turėjo mažiau trūkumų. Plieno arba geležies gaminiai dedami į uždaras retortas, kuriose yra cinko dulkių, ir išlaikomi 4–5 val. esant maždaug 375 °C temperatūrai, kuri yra gerokai mažesnė už cinko lydymosi temperatūrą. Šioje temperatūroje cinko garai difunduoja į gaminių paviršių ir sukuria cinko atomais prisotintą apsauginį sluoksnį.

NIKELIO ATRADIMAS IR RAIDA

Balkšvasis lydinys *paktongas* XVI a. atkeliavo į Europą iš Tolimųjų Rytų. Jis buvo kietas ir kambario temperatūroje gana tąsus. Būdamas atsparus korozijai ir neturėdamas nemalonaus žalvario skonio, jis buvo labai tinkamas muzikos instrumentų gamybai. Nors nikelis, kaip naujai atrastas metalas, buvo identifikuotas 1751 m., tačiau paktongo cheminė sudėtis buvo nežinoma iki 1822 metų. Cheminė analizė rodo, kad šis lydinys yra sudarytas iš vario, nikelio ir cinko. Neaišku, kada Kinija pirmą kartą pagamino paktongą, tačiau I a. Kinijoje buvo plačiai naudojamos vario-nikelio lydinio monetos. XVIII a. iš Kinijos atvežamuose vario-nikelio lydiniuose buvo apie 30 % nikelio ir 20 % vario. Europoje toks lydinys negalėjo būti gaminamas, nes dar nebuvo žinomas nikelis. Europoje buvo žinomos kompleksinės kobalto-nikelio-geležies-arseno rūdos, tačiau jos buvo naudojamos kobalto mėlynajam ir kitiems pigmentams keramikos pramonėje gaminti. 1824 m. buvo sukurtas gana gryno nikelio išskyrimo iš kobalto mėlynojo gamybos proceso atliekų metodas. Europoje buvo gaminamas *naujasidabris* – vario lydinys su nikeliu, dažnai ir su cinko priedu, taip pavadintas dėl sidabriškos išvaizdos, nors sidabro visai neturi. 1850 m. pasaulyje buvo sunaudojama maždaug 100 t nikelio per metus.

Nikelio naudojimas didėjo lėtai iki 1889 m., kai išrastas nikelinis plienas paskatino nikelio paklausą, kurią buvo sunku patenkinti. Keletas Europos

valstybių monetas gamino iš naujasidabrio. 1879 m. sidabrinių monetų buvo atsisakyta, jas pakeitė 75:25 vario-nikelio lydinys. Gryną nelegiruotą nikelį buvo sunku išlydyti, todėl jis nelabai tiko liejimui ar kokiems nors gaminiams gaminti. Lieto nikelio luitai buvo labai trapūs, todėl juos buvo sudėtinga apdoroti spaudimu tiek įkaitintus, tiek ir šaltus. Ši problema buvo išspręsta lydymo metu pridėjus geležies, mangano ir anglies. Tuo metu buvo nustatyta, kad siekiant pagerinti nikelio plastiškumą, legiravimas magniu yra daug efektyvesnis už legiravimą manganu, be to, jo reikia daug mažiau. Magnis yra gimininges nis sierai negu nikelis, todėl efektyviau mažina žalingą sieros poveikį. 1905 m. pasiūlyta vario-nikelio-geležies lydalą apdoroti koverteriniu būdu ir tiesiogiai paversti vario-nikelio lydiniu. 1906 m. buvo užpatentuotas *monelio metalas* (pavadintas bendrovės vadovo Ambrose'o Monellio vardu), kuriame buvo maždaug 63 % Ni, 28 % Cu ir 5 % Mn. Monelio metalas ir dabar yra plačiai naudojamas, kai reikalingas atsparus korozijai lydinys. Spalva, mechaninėmis savybėmis ir plastiškumu jis panašus į nikelį. Lydinys atsparus bevandeniam amoniakui, jūros vandeniui ir įvairiems organiniams chemikalams. Iš jo gaminami jūrinių laivų sraigtai ir kita laivų įranga, taip pat virtuvės kriauklės. Vėliau monelio metalą pamažu pakeitė pigesnis austenitinis nerūdijantis plienas. Šiandien nikelio oksidas perdirbamas į metalinį nikelį elektrolizės arba karbonilinio proceso būdu. Monelio metalas nebelaikomas natūraliu lydiniu ir gaminamas kartu lydant tam tikromis proporcijomis sudarytą gryno vario, nikelio ir geležies įkrovą.

ALUMINIS IR MAGNIS

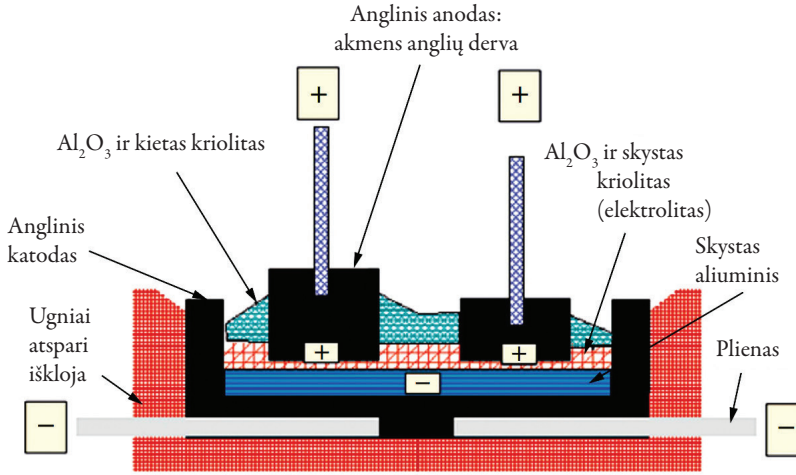
Aliuminis (Al) – laidus šilumai ir elektrai, neaukštos lydymosi temperatūros (660 °C), lengvas (2,7 g/cm^3), plastiškas sidabro spalvos labiausiai paplitęs ir plačiausiai technikoje naudojamas metalas. Techniškai grynas aliuminis yra nestiprus, bet jo lydinių stipris gali siekti 170–570 MPa. Aliuminio lydiniai plačiai naudojami transporte, ypač aviacijoje. Aliuminis – chemiškai aktyvus metalas, greitai apsitraukiantis labai plona, patvaria, tačiau druskos rūgščiai ir šarmams neatsparia Al_2O_3 plėvele. Metalas, jei nesuardoma paviršinė Al_2O_3 plėvelė, atsparus korozijai ore, gėlame ir jūros vandenyje, daugelyje organinių rūgščių, todėl aliuminis ir jo lydiniai naudojami maisto pramonėje,

buityje, statybose. Aliuminio stiprumas gerokai padidėja jį sulydžius su kitais elementais. Pagrindiniai aliuminio lydinių legiravimo elementai yra varis, magnis, silicis, manganas ir cinkas. Aliuminio lydiniai yra skirstomi į deformuojamuosius (gaunami sulydžius aliuminį su manganu ar magniu) ir liejamuosius (aliuminio-silicio). Iš didelio ir vidutinio stiprumo aliuminio lydinių liejamos lėktuvų, automobilių detalės. Iš aliuminio gaminami maži konteineriai, gaiviųjų gėrimų skardinės. Tokią tarą ne tik paprasta naudoti, ją galima lengvai perdirbti ir taip išvengti aplinkos taršos. Aliuminio folijos indelyje įpakuotas maistas yra 100 % apsaugotas nuo šviesos, oro ir drėgmės.

XIX a. viduryje dėl aukšto kai kurių metalų cheminio aktyvumo buvo sunku išgauti jų metalinį pavidalą. Ypač stabilius metalo oksidus, kurių nebuvo galima redukuoti, sudarė aliuminis. 1825 m. Danijos chemikas Hansas Christianas Oerstedas aprašė aliuminio chlorido redukavimo į metalinį aliuminį būdą naudojantis gyvsidabrio-kalio amalgama. Gyvsidabris iš amalgamos buvo pašalinamas distiliavimu, o pasilikę pilki milteliai buvo laikomi aliuminiu. Vėliau aliuminio gamybai buvo pradėta naudoti boksitines rūdas. Boksituose buvo daug geležies, todėl iš pradžių juose būdavo sumažinamas geležies kiekis, vėliau rūda maišoma su natrio chloridu ir anglimi. Šį mišinį veikiant chloro dujoms susidarydavo aliuminio trichloridas ($NaAlCl_3$). Aliuminio trichlorido garai, toldami nuo reakcijos zonos, esant žemesnei kaip 200 °C temperatūrai, kondensuodavosi sudarydami kristalines nuosėdas. Šios nuosėdos buvo sumaišomos su kriolitu (Na_3AlF_6, natrio heksafluoraluminatu) ir atspindžio krosnyje reaguodavo su metaliniu natriu. Krosnyje susidariusį lydalą sudarė aliuminio trichloridas, kriolitas ir natris. Kriolitas buvo reikalingas aliuminio oksido tirpinimui. Ištirpus aliuminio oksidui, susidarydavo skysto aliuminio lašeliai. Kriolitas veikė ir kaip šlakas. Jis buvo lengvesnis už susidarantį skystą aliuminį, todėl aliuminio lašeliai nusėsdavo ant krosnies dugno, o šlakas susikaupdavo paviršiuje. Maždaug po trijų valandų reakcija baigdavosi. Krosnies apatinėje dalyje susidarydavo dviejų sluoksnių lydalas. Viršutiniame sluoksnyje susikaupdavo baltos spalvos bealiumininis šlakas, o apatinėje dalyje – aliuminis. Skystas aliuminis buvo išleidžiamas į kaušą ir išpilstomas į liejimo formas. 1856 m. buvo nustatyta, kad kriolitą galima naudoti ne tik kaip reakcijoms reikalingą fliusą, bet ir kaip pagrindinę aliuminio gamybos žaliavą.

1886 m. Charles'is Martinas Hallas iš JAV ir Paulis Héroult'as iš Prancūzijos nepriklausomai vienas nuo kito surado ekonomiškai priimtiną būdą iš Al_2O_3 elektrolizės būdu gaminti aliuminį. Įdomus sutapimas, kad du jaunieji išradėjai, būdami vienas nuo kito kelių tūkstančių kilometrų atstumu, savarankiškai išsprendė tą pačią techninę problemą. Įdomu, kad Hallas ir Héroult'as buvo gimę 1863 m. ir abu mirė tais pačiais 1914 metais. Al_2O_3 lydosi labai aukštoje temperatūroje (2 020 °C), o išlydytas yra mažai laidus elektrai. Hallas ir Héroult'as surado tinkamą tirpiklį, kuris lydosi žemesnėje temperatūroje, yra laidus elektrai ir neblogai tirpina Al_2O_3. Toks tirpiklis yra mineralas kriolitas (Na_3AlF_6), kuris maždaug 1 000 °C temperatūroje ištirpina iki 15 % (masės) Al_2O_3. Siekiant sumažinti kriolito ir aliuminio oksido mišinio lydymosi temperatūrą, dar pridedama aliuminio fluorido AlF_3. Nuo to laiko aliuminis gaminamas elektrolizuojant maždaug 950 °C temperatūros Al_2O_3 tirpalą išlydytame kriolite (6.7 pav.). Taip gaunamas 99,6–99,8 % grynumo aliuminis.

Panašūs bandymai vyko ir JAV. 1892 m. atlikti pirmieji bandymai išgauti aliuminį išlydytų druskų elektrolize. 1886 m. buvo nustatyta, kad aliuminio

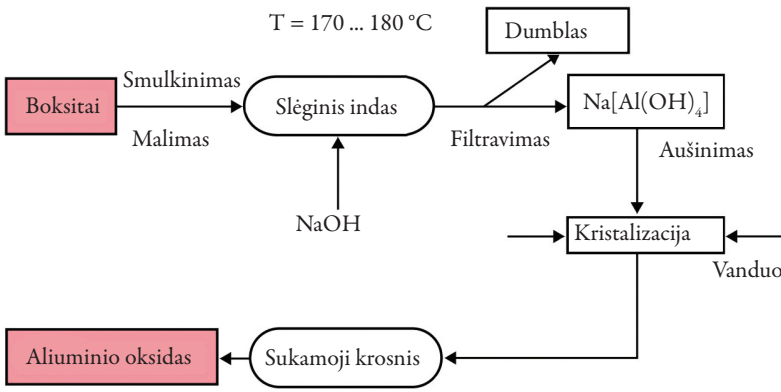


6.7 pav. Hallo-Héroult'o aliuminio gavybos procesas (Electrolyse alumine.png.)

oksidas tirpsta lydytame kriolite „kaip cukrus vandenyje“ ir kad gautas aliuminio-kriolito tirpalas yra geras elektros laidininkas. Ištirpinus kriolite 15–20 % aliuminio oksido, gaunama terpė, kurios lydymosi temperatūra yra 900–1 000 °C. Šioje temperatūroje skysto lydalo elektrinis laidumas yra pakankamas, kad galėtų vykti elektrolizė.

Išlydytas kriolito, aliuminio oksido ir aliuminio fluorido mišinys elektrolizuojamas leidžiant pro jį nuolatinę elektros srovę. Elektrocheminės reakcijos metu susidaręs aliuminis nusėda ant katodo, o aliuminio oksido deguonis jungiasi su anodo anglimi ir sudaro anglies dvideginį. Cheminei reakcijai reikalingas 3–5 V elektros potencialas. Nors kambario temperatūroje kietas kriolitas yra didesnio tankio negu kietas aliuminis, tačiau 1 000 °C temperatūroje skysto aliuminio tankis yra mažesnis negu išlydyto kriolito. Aliuminio lašeliai skęsta ir renkasi ant dugno, iš kur vakuuminio sifonavimo būdu aliuminis periodiškai išsiurbiamas. Svarbiausioje aliuminio rūdoje – boksituose – yra tik 30–54 % aliuminio oksido Al_2O_3, likusią dalį sudaro silicio dioksidas, įvairių geležies ir titano oksidų mišinys. Prieš rafinavimą aliuminio oksidas turi būti išgrynintas, dabartiniu metu tam naudojamas Bayerio būdas (6.8 pav.).

Aliuminio oksidas išskiriamas iš kitų boksituose esančių junginių, pvz., natrio hidroksido (kaustinės sodos). Visos netirpios dalelės atskiriamos



6.8 pav. Aliuminio oksido gamybos iš boksitų (Bayerio būdas) proceso schema (Bayer-process-en.svg)

filtravimu. Iš natrio tirpalo nusodintas aliuminio hidroksidas išplaunamas ir išdžiovinamas, o natrio tirpalas perdirbamas. Kalcinavimo (kietų medžiagų karbonatų ir hidratų skaidymas kaitinant) proceso rezultatas – smulkiagrūdžiai balti aliuminio oksido milteliai (Al_2O_3). Iš 4 t boksitų gaunamos 2 t aliuminio oksido, iš kurio pagaminama viena tona aliuminio. Vienai tonai aliuminio pagaminti reikia maždaug 20 000 kWh elektros energijos. Paprastai aliuminio gavybos įmonės statomos vietovėse, kuriose yra pigi hidroenergija.

Europoje aliuminio gavyba plėtėsi labai sparčiai, nes šis metalas buvo lengvas, atsparus korozijai, netoksiškas, laidus šilumai. Aliuminį pradėta naudoti virtuvės reikmenų gamybai, stogų dangoms. 1897 m. aliuminio lakštais buvo apdengta Šv. Giochino bažnyčia Romoje. 1893 m. Londono Pikadilio aikštėje pastatyta Eroso statula buvo pagaminta iš elektrolizės būdu gauto aliuminio.

Magnis (Mg) yra labai lengvas metalas (1,74 g/cm^3), lydymosi temperatūra 651 °C, jis lengvai oksiduojasi ore (yra degus). Jo degimo temperatūra siekia 3 100 °C, tačiau užsiliepsnojimui pakanka 473 °C. Magnis – ketvirtas pagal paplitimą elementas Žemėje (po geležies, deguonies ir silicio) ir sudaro 13 % mūsų planetos masės. Jis yra labai reaktyvus, todėl grynuolių Žemėje nerandama. Magnio gaminiai labai greitai pasidengia plonu oksido sluoksniu, kuris iš dalies slepia šį reaktyvumą. Degdamas magnis skleidžia labai intensyvią baltą šviesą, todėl šia jo savybe pasinaudojo fotografijos ir pirotechnikos pradininkai. Pagrindiniai magnio šaltiniai yra jūros vanduo (magnio chloridas $MgCl_2$) ir mineralai – dolomitas ($CaCO_3{\cdot}MgCO_3$), magnezitas ($MgCO_3$) ir karnalitas ($KCl{\cdot}MgCl_2{\cdot}6H_2O$). Pirmą kartą metalinis magnis buvo pagamintas 1808 m. Anglijoje iš magnio oksido (MgO) ir gyvsidabrio oksido (HgO) mišinio elektrolizės būdu. Vokiečių chemikas Robertas Bunsenas 1852 m. atrado, kaip iš išlydyto bevandenio magnio chlorido elektrolizės būdu gauti magnį. 1857 m. buvo pagaminta tiek magnio, kad buvo galima nustatyti jo fizines ir mechanines savybes. 1882 m. pramoninei magnio gavybai buvo naudojama karnalito ($KCl{\cdot}MgCl_2{\cdot}6H_2O$) elektrolizė.

Pirmoji kliūtis, kurią reikėjo įveikti magnio gamintojams, buvo jo apsauga nuo oksidacijos. 1905 m. magnio, kaip ir aliuminio, gamybai buvo

bandoma pritaikyti Halo-Héroult'o būdą. Magnio oksidas buvo ištirpinamas išlydytoje druskoje, kuri, kaip ir kriolitas, elektrolizės procese nedalyvavo, tik sudarė sąlygas magnio oksidui ištirpti fluoridų mišinyje. Ištirpinus magnio oksidą natrio, bario ir magnio fluoridų vonioje, iš tirpalo elektrolizės būdu galima gauti 99,99 % grynumo magnį.

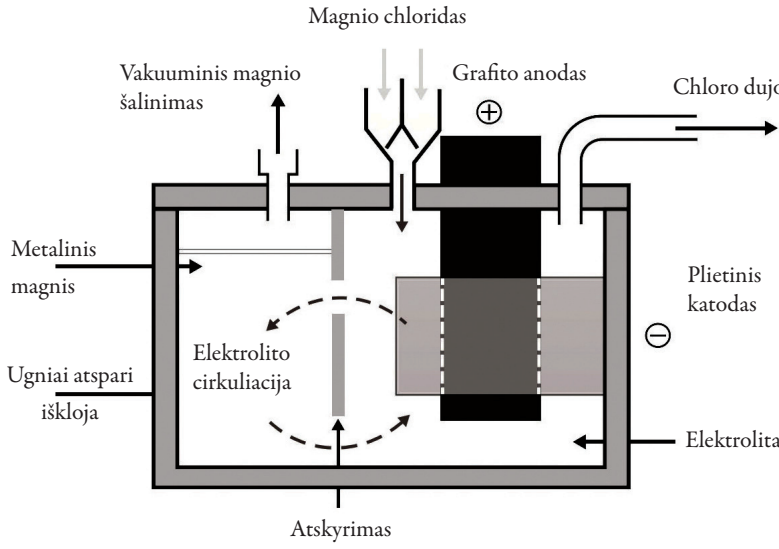
Skirtingai nei aliuminis, magnis yra gana lakus metalas, aukštoje temperatūroje jis elgiasi labiau kaip dujos negu skystis. Iš kai kurių junginių jį galima išgauti termocheminės redukcijos būdu. Galima išgauti tiesiogiai iš magnezito nenaudojant didelio elektros energijos kiekio, nors bendras tokių procesų energijos poreikis paprastai yra didesnis, negu jos reikia elektrolizei. Ferosilicio redukcijos reakcija vyksta tarp dolomito ir silicio:

$$2MgO \cdot CaO + Si \rightarrow 2Mg + (CaO)_2 \cdot SiO_2.$$

Reakcijos zonoje susidarę magnio garai kondensuojami tiesiai į kietą magnį. Vakuuminėse krosnyse reakcijos zonos temperatūra siekia 1 400 °C. Pigiausias ir veiksmingiausias redukcijos agentas yra ferosilicis. Susidarantys magnio garai nukreipiami į krosnies gale įrengtą aušinamą kristalizatorių. Tokio tipo krosnyje per dieną pagaminama apie toną magnio. Ferosilicio procesas labai sėkmingai buvo naudojamas Antrojo pasaulinio karo metu tiek Šiaurės Amerikoje, tiek ir Europoje. Magnis gali būti gaunamas tiesiogiai redukuojant magnezito ir anglies mišinį atmosferinio slėgio ore, nors tokia reakcija prasideda tik aukštesnėje kaip 2 000 °C temperatūroje. Reakcijos metu susidarę perkaitinto magnio garai, siekiant išvengti pakartotinės oksidacijos, turi būti greitai aušinami.

Išgaunant magnį elektrolizės būdu, pirmiausia tiekiamas magnio chloridas, po jo seka magnio chlorido elektrolitinė disociacija. Pramoninėje gavyboje pradžioje paruošiamas dehidratuoto magnio chlorido, iš dalies dehidratuoto magnio chlorido arba dehidratuoto karnalito mišinys. Dehidratuotas magnio chloridas gaunamas po magnio oksido chlorinimo (IG Farben procesas) arba magnio chlorido druskos dehidracijos procesų (6.9 pav.). Elektrolizės celę sudaro plytų išklojos indas, sienele padalytas į anodinį ir katodinį skyrius. Oru ar vandeniu aušinamas plokštelinis grafito anodas ir plieno katodas panardinami į 680–750 °C temperatūros elektrolitą, sudarytą iš šarminių chloridų ir magnio chlorido. Magnio chloridas skyla pagal reakciją:

$$MgCl_2 \rightarrow Mg + Cl_2 \text{ (dujos)}.$$



6.9 pav. Magnio chlorido elektrolizė (http://electrolysisofmagnesium.blogspot.com/2014/)

Metalinis magnis kaupiasi katodo skyriuje ir išplaukia į elektrolito vonios paviršių, nes už elektrolitą yra lengvesnis. Reakcijos šalutinis produktas chloras telkiasi anodo skyriuje.

Magnio lydiniai lengvai apdirbami pjovimu, suvirinami įvairiais būdais (elektros lanku, inertinėse dujose nelydžiuoju elektrodu ir kt.), gerai gesina virpesius, pakelia smūgines apkrovas, tačiau jie nėra stiprūs, prastų liejimo savybių, neatsparūs korozijai ir cheminiam poveikiui (išskyrus naftos produktus). Mašinų gamyboje naudojami tik magnio lydiniai. Magnis dažniausiai legiruojamas aliuminiu (iki 10 %), cinku (iki 6 %), manganu (iki 2,5 %), cirkoniu, nikeliu, siliciu ir kt. Sulydžius magnį su šiais elementais, pagerėja mechaninės ir antikorozinės savybės. Magnio lydinių ypač gausu transporto priemonėse – iš jų gaminamos automobilio skersinio stabilumo traukės, sėdynių rėmai, vairo kolonėlės gembė, durų uždarymo įtaisai, variklių tvirtinimo rėmai ar kai kurios variklio dalys, ratlankiai. Magnio lydiniai naudojami aviacijoje, raketose, filmavimo kamerų, optinių prietaisų korpusams gaminti ir

daugelyje kitų sričių. Magnio ir cinko dedama į aliuminio liejinius, gaminamus metalinėse liejimo formose, juo šalinama siera gaminant plieną ir titano lydinius. Magnio dedama gaminant atsparųjį (rutulinio grafito) ketų, kaip redukavimo priemonė jis naudojamas išgaunant uraną ir kitus metalus iš druskų tirpalų. Kaip galvaninis anodas magnis apsaugo požemines talpyklas ir konstrukcijas, vamzdynus, vandens šildytuvus ir kitas dažniausiai požemines ar atmosferinės drėgmės veikiamas konstrukcijas. Magniu legiruoti, fotograviravimo būdu paruošti cinko lakštai naudojami spausdinimo pramonėje, sausųjų elementų apvalkalams ir stogų dangoms. Iš aliuminio-magnio lydinio gaminamos gėrimų skardinės. Homogeniškesnės struktūros ir geresnių savybių gaminiai gaminami įvairiais slėginio liejimo ir tūrinio deformavimo būdais.

SENDINIMU STIPRINAMI LYDINIAI

Dispersinis sukietinimas, arba sendinimas, yra terminio apdorojimo metodas, naudojamas padidinti kaliųjų metalų takumo stiprį. Šiuo būdu apdorojama daugelis konstrukcinių aliuminio, magnio, nikelio, titano ir kai kurių rūšių nerūdijančio plieno lydinių. XX a. pradžioje vienintelis šių lydinių sustiprinimo būdas buvo specialus terminis apdorojimas. Tačiau 1909 m. buvo pastebėta, kad kai kuriuos aliuminio lydinius galima sustiprinti kambario temperatūroje, jeigu prieš tai lydinys buvo įkaitintas iki truputį žemesnės negu lydymosi temperatūros, greitai ataušintas, o vėliau lėtai sušildytas iki kambario temperatūros.

Aliuminio lydiniai. 1909–1911 m. Vokietijoje buvo sukurtas aliuminio lydinys – *diuraliuminis*. Pirmojo pasaulinio karo metu aerostatams ir lėktuvams buvo naudojama daug sendinimu stiprinamų aliuminio lydinių. Tyrimais nustatyta, kad metalo stiprėjimo procesą galima sulėtinti jį šaldant. Įkaitintos aliuminio lydinio kniedės buvo staiga atšaldomos ir laikomos šaldytuve žemoje temperatūroje. Kniedės pradėdavo kietėti ir stiprėti tik jas įstačius į kniedijamą konstrukciją ir suformavus kniedės galvutes. Ypač svarbiu įvykiu buvo Y lydinio sukūrimas. Šis nikelio turintis aliuminio lydinys (4 % Cu, 2 % Ni ir 1,5 % Mg) buvo sukurtas D. Britanijoje Pirmojo pasaulinio karo metu bandant rasti aliuminio lydinį, kuris išlaikytų stiprį esant

aukštai temperatūrai. Lydinį pirmiausia naudojo orlaivių variklių stūmokliams ir cilindrų galvutėms. Iš pradžių iš Y lydinio buvo gaminami liejiniai, o vėliau ir orlaivių variklių detalių kaltiniai. Kaip vyksta lengvųjų lydinių, tokių kaip duraliuminis ir Y lydinis, kietėjimo ir stiprėjimo procesas, buvo suprasta tik 1919 metais. Šiuos lydinius įkaitinus iki lydymuisi artimos temperatūros, dauguma legiruojančių elementų pereina į pagrindinį kietąjį tirpalą. Metalui greitai aušant, šie elementai pasilieka nestabiliame persotintame kietajame tirpale. Kambario temperatūroje iš kietojo tirpalo pamažu išsiskiria maži (per optinį mikroskopą nematomi) įvairių metalo junginių kristalai. Didėdami kristalai iškreipia, deformuoja aliuminio kristalinę gardelę, tampa kliūtimi plastiniam metalo deformavimui ir taip didina jo stiprumą. Netrukus buvo nustatyta, kad toks reiškinys būdingas dideliam kitų lydinių spektrui, ir naudojantis šiuo metalo stiprinimo mechanizmu buvo sukurta daug naujų lydinių.

Berilis ir jo lydiniai. Kaip elementas berilis (Be) pirmą kartą identifikuotas 1828 metais. 1895 m. buvo atlikti pirmieji bandymai išgaunant berilį iš skysto berilio chlorido elektrolizės būdu, tačiau grynas berilis pagamintas tik 1921 metais. Gauto metalo tankis buvo 1,8 g/cm^3, o elastingumas buvo gerokai didesnis negu plieno. Atrodė, kad šis metalas, pagal tankį artimas magniui, pagal takumo ribą – plienui, pasižymintis 1 300 °C lydymosi temperatūra, turėjo būti ateities metalu. Deja, elektrolizės būdu gautas 99,95 % grynumo berilis kambario temperatūroje buvo visiškai trapus. Jei berilio plastiškumą būtų galima pagerinti, jis greičiausiai būtų buvęs itin paklausiu orlaivių pramonės metalu. Varį legiravus iki 10 % Be, gaunamas šviesiai geltonas lydinys, o legiravus iki 2 % Be, gaunama graži aukso spalva. Iš berilio bronzos daromos spyruoklės magnetiniam poveikiui jautriems prietaisams (pvz., laikrodžiams). Po grūdinimo berilio bronza yra plastiška ir minkšta, todėl iš jos lengva suformuoti įvairių formų gaminius. Termiškai apdorojus 300–350 °C temperatūroje, tempimo stipris padidėja iki 155 kg/mm^2, o elektros laidumas pasiekia 40 % gryno vario laidumo. Berilio lydiniai yra ypač tvirti, elastingi ir lengvi, atsparūs dilimui, tačiau labai brangūs, todėl naudojami tik aviacijoje, tiksliuosiuose mechanizmuose ir pan. Berilis yra labai efektyvus legiruojantis priedas, padidinantis lydinių kietumą, atsparumą korozijai, dilimui ir pan. Branduolinėje energetikoje naudojamas kaip

neutronų lėtiklis, iš jo gaminami neutronų veidrodžiai. Daugelis berilio junginių yra toksiški.

TITANAS

Titanas yra devintasis pagal paplitimą cheminis elementas Žemėje (sudaro 0,6 % Žemės plutos masės). Tai lengvas, tvirtas, atsparus korozijai sidabriškai baltos spalvos metalas. Jo lydymosi temperatūra 1 650 °C. Titanas yra toks pat tvirtas kaip plienas, tik 45 % už jį lengvesnis ir 60 % sunkesnis už aliuminį. Vertingiausi titano gamybai mineralai – rutilas ir ilmenitas – pirmiausia buvo aptikti Ilmeno kalnuose (Rusijoje) ir Šiaurės Karolinoje (JAV). Metalinis titanas pirmą kartą gautas 1896 m. Prancūzijoje lydant elektrinėje krosnyje. Produktas turėjo deguonies, azoto ir anglies priemaišų, todėl buvo labai trapus. Mažiau kaip 1 % priemaišų turinčio metalo savitasis tankis buvo tik 4,8 g/cm^3, o lydymosi temperatūra 1 795–1 810 °C. Metalas buvo sidabriškai baltos spalvos, kietas ir trapus, tačiau įkaitintą buvo galima apdoroti spaudimu. XX a. pradžioje ferotitanas buvo plačiai naudojamas plieno deoksidavimui. Labai grynas, plastiškas titanas pirmą kartą buvo pagamintas 1925 m. Olandijoje. Greitai buvo pastebėta, kad titanas tinka orlaivių detalėms, nes neturi berilio lydiniams būdingų trūkumų. Iki 1946 m. titanas beveik neperžengė laboratorijų slenksčio. Viskas pasikeitė, kai liuksemburgietis Williamas Justinas Krollas 1940 m. įrodė, kad titaną galima gaminti komercijos tikslais.

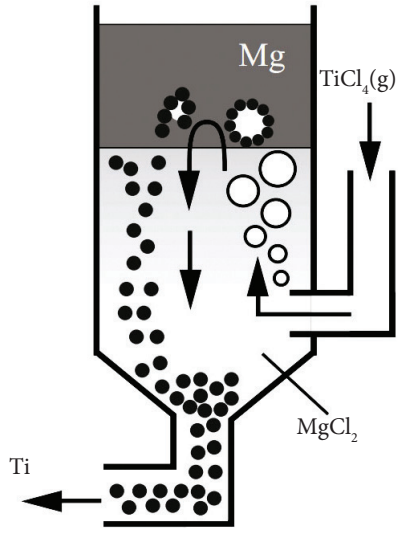
Labiausiai paplitęs titano mineralas yra titano dioksidas (rutilas). Titano dioksidą veikiant anglimi ir chloru, susidaro labai svarbus titano gavybai *titano tetrachloridas*.

$$TiO_2(k) + 2C(k) + 2Cl_2(d) \rightarrow TiCl_4(d) + 2CO(d)$$

$TiCl_4$ yra bespalvis skystis (lydosi –24 °C, verda 136 °C temperatūroje). Grynas titanas gaunamas titano tetrachloridą ($TiCl_4$) redukuojant skystu magniu 800–850 °C temperatūroje (Krollo metodas) (6.10 pav.) arba natriu inertinėse dujose 1 000 °C temperatūroje (Hanterio metodas).

$$TiCl_4(d) + 2Mg(s) \rightarrow Ti(k) + 2MgCl_2(s)$$

Reakcija atliekama plieniniame inde. Susidaręs skystas $MgCl_2$ elektrolizuojamas, o gautas magnis ir chloras vėl naudojami reakcijose. Po redukavimo susidaro kempininis titanas, kurį galima naudoti tik po papildomo apdorojimo



6.10 pav. Pramoninis pirometalurginis metalinio titano gamybos procesas (Suzuki et al. 2000)

ir lydymo su kitais metalais. Titaną galima gauti ir iš ilmenito ($FeTiO_3$), tačiau ši gavyba yra brangesnė.

Titanas yra chemiškai stabilus ir oksiduojasi tik 610 °C ar aukštesnėje temperatūroje, tačiau susidariusi titano oksido plėvelė praleidžia dujas, todėl neapsaugo gilesnių metalo sluoksnių nuo oksidacijos. Aukštoje temperatūroje titanas gerai sugeria įvairias dujas, įskaitant ir inertines.

Titano lydiniai yra labai vertinami dėl mažo tankio, atsparumo korozijai, biologinio suderinamumo ir mechaninio tvirtumo, todėl naudojami lėktuvų detalėms, kaulų implantams, įvairiai chemijos įmonių įrangai, dirbančiai agresyvioje aplinkoje (vamzdžiai, reaktoriai, siurbliai ir kt.).

Titanas yra tąsus, todėl keblu jį apdoroti pjovimo būdu (tekinti, gręžti ar frezuoti). Dažniausiai jis štampuojamas ar kitaip spaudžiamas. Kadangi titanas itin gerai sugeria įvairias dujas, jį suvirinti galima tik vakuume arba inertinių dujų aplinkoje. Titanas, kaip legiruojantis elementas, plačiai naudojamas juodojoje ir spalvotoje metalurgijoje, o titano oksidas – gaminant baltus pigmentus, keramiką ir gumą.

Grynas ir legiruotas titanas gaminamas jau daugiau negu 80 metų. Nors titanas yra galimas ir viršgarsinių lėktuvų konstrukcijose, tačiau kaip konstrukcinė medžiaga turi vieną neįveikiamą trūkumą – alotropinį struktūros pokytį pasiekus 882 °C temperatūrą. Net stipriausi lydiniai, esant aukštesnei negu 800 °C temperatūrai, praranda savo stiprumą. Dėl šios priežasties titanas vargu ar kada nors bus aukštatemperatūre konstrukcine medžiaga. Gryno titano korozinis atsparumas yra artimas nerūdijančio plieno atsparumui, todėl jis gali būti plačiau naudojamas chemijos pramonėje. Titanas ir jo lydiniai labai atsparūs ilgalaikiam jūros vandens poveikiui, kavitacinei erozijai,

korozijai, todėl randa pritaikymą laivų statyboje ir jūrų technologijų srityje. Titanas naudojamas giliavandenių povandeninių laivų statybai, kurių korpusai, kaip ir visi plonasieniai kevalai, dideliame gylyje turi priešintis išoriniam gniuždymui. Iš titano pagamintos laivo korpuso sienelės gali būti dvigubai storesnės negu pagamintos iš plieno, tačiau korpuso svoris išlieka panašus ir laivo saugaus panirimo gylis gali būti didesnis. Titanas yra naudojamas laivų ir kitų jūros vandenyje panardintų konstrukcijų antikorozinei katodinei apsaugai. Naudojant skirtingą anodavimo įtampą, galima keisti paviršinės titano oksido plėvelės storį. Ši plėvelė skaidri, todėl keičiantis jos storiui, dėl spalvų interferencijos galima gauti labai patrauklius spalvų derinius. Ši technologija naudojama gaminant brangius titano papuošalus.

NIOBIS

Niobis yra minkštas, elastingas, pilkos spalvos retas metalas. Niobio tankis 8,57 g/cm^3, lydymosi temperatūra 2 469 °C. Gryno niobio gamtoje nėra, jis randamas pirochlore $(Na, Ca)_2Nb_2O_6(OH, F)$, euksenite $(Y, Ca, Ce, U, Th)(Nb, Ta, Ti)_2O_6$, kolumbite $(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$. Niobis buvo vienas paskutiniųjų pramoninėje gamyboje atsiradusių naujų metalų. Tai 34-asis dažniausiai Žemės plutoje pasitaikantis elementas. Du didžiausi niobio rūdos telkiniai buvo surasti 1950 m. Brazilijoje ir Kanadoje, ir šios šalys vis dar yra pagrindiniai niobio koncentratų gamintojai. Iš rūdos atskyrus kitus mineralus, gaunamas tantalo Ta_2O_5 ir niobio Nb_2O_5 oksidų mišinys. Pirmame gavybos etape oksidai apdorojami vandenilio fluorido rūgštimi:

$$Nb_2O_5 + 10HF \rightarrow 2H_2[NbOF_5] + 3H_2O.$$

Toliau seka

$$2H_2[NbOF_5] + 10NH_4OH \rightarrow Nb_2O_5\downarrow + 10NH_4F + 7H_2O.$$

Aliuminoterminės reakcijos metu geležies oksido ir niobio oksido mišinys reaguoja su aliuminiu:

$$3Nb_2O_5 + Fe_2O_3 + 12Al \rightarrow 6Nb + 2Fe + 6Al_2O_3.$$

Reakcijai pagerinti pridedama šiek tiek oksidatorių, tokių kaip natrio nitratas. Proceso metu gaunamas aliuminio oksidas ir feroniobis. Geležies ir niobio lydinys *feroniobis* naudojamas plieno gamyboje. Feroniobyje yra 60–70 % niobio.

Niobis daugeliu atžvilgių panašus į tantalą. 1960 m. buvo manoma, kad niobis, plastiškas, karščiui atsparus metalas, kurio tankis siekia tik pusę tantalo tankio, galės pakeisti aukštatemperatūrius nikelio lydinius. Visgi šie samprotavimai nepasitvirtino, ir niobis užėmė kitas, labai svarbias, nišas. Niobis pasižymi unikaliomis superlaidumo savybėmis. Esant atmosferiniam slėgiui, jo superlaidumo temperatūra yra 9,2 K. Niobio-alavo ir niobio-titano lydiniams būdinga aukšta perėjimo į superlaidžią būseną temperatūra, todėl didelio kiekio tokių lydinių prireikė magnetinių hidrodinaminių elektros energijos generatorių magnetų gamybai. Niobis naudojamas kaip šiluminių neutronų lėtiklis branduoliniuose reaktoriuose. Deja, niobio panaudojimas pramonėje neišplito. Atsisakius magnetinio hidrodinaminio elektros energijos gamybos būdo, sumažėjo superlaidžių lydinių poreikis. Niobio svarba kuro celių apvalkalų gamybai sumažėjo, kai paaiškėjo, kad šiam tikslui gali būti naudojamas nerūdijantis plienas. Susidomėjimas niobiu ir jo lydiniais po 1965 m. irgi išblėso, kai tapo aišku, kad lydiniai neturi aukštatemperatūrio atsparumo oksidacijai ir negali būti naudojami variklių turbinų menčių gamybai. Šiandien niobis daugiausia naudojamas plieno lydinių legiravimui. Šis mažaanglis plienas naudojamas dujotiekių vamzdynams. Jame niobio kiekis neviršija 0,1 % Nb, tačiau ir tai labai pagerina plieno stiprumą ir smūginį tąsumą. Kitos niobio pritaikymo sritys yra branduolinė energetika, elektronika, optika. Niobio-germanio (Nb_3Ge), niobio-alavo (Nb_3Sn) ir niobio-titano lydiniai yra naudojami superlaidžiųjų magnetų apvijoms branduolio magnetinio rezonanso įrenginiuose bei elementariųjų dalelių greitintuvuose. Pavyzdžiui, Didžiojo hadronų greitintuvo vijoms sunaudota 600 t, o Tarptautiniam termobranduoliniam eksperimentiniam reaktoriui – apie 600 t Nb_3Sn ir 250 t NbTi laidininkų. Iš niobio gaminamos monetos, medaliai, juvelyriniai gaminiai. Nuo 2009 m. niobio gamyba svyruoja apie 63 000 t per metus.

AUKŠTATEMPERATŪRIŲ LYDINIŲ KŪRIMAS

Elektros energijai plūstelėjus į buitį, atsirado elektrinio šildymo poreikis. Elektriniams šildytuvams reikėjo lydinių, turinčių aukštą elektros varžą, atsparių aukštatemperatūrei oksidacijai ir pasižyminčių mažu valkšnumu

aukštoje temperatūroje. Iki 1900 m. vieninteliais tinkamais lydiniais buvo vario-geležies (pvz., konstantanas) ir geležies lydiniai, kurių sudėtyje buvo iki 20 % nikelio. 1906 m. pasirodė pirmieji elektrinio šildymo įtaisams skirti Ni-Cr ir Ni-Cr-Fe lydiniai. Šių lydinių elektros varža buvo dvigubai didesnė negu Cu-Ni lydinių, jie buvo daug atsparesni oksidacijai ir aukštai temperatūrai. Lydiniai, kurių sudėtyje buvo apie 80 % Ni ir 20 % Cr, buvo atsparūs oksidacijai, turėjo didelę elektros varžą ir buvo pakankamai plastiški, kad iš jų būtų galima gaminti vielą. Šie lydiniai buvo lydomi indukciniu būdu, o skysto metalo deoksidavimui buvo naudojamas manganas. Lydymo atviroje indukcinėje krosnyje technologija buvo pigi, tačiau pagaminti mažo skersmens vielą buvo sunku. Vakuuminėje krosnyje išlydytas metalas buvo plastiškesnis, iš jo buvo lengviau pagaminti mažo skersmens vielą, be to, tokios vielos naudojimo trukmė buvo ilgesnė. Šie keli privalumai kompensavo brangų vakuuminį lydymą. 1929 m. buvo atrasta, kad nikelio-chromo lydinių oksidacinį atsparumą ir aukštatemperatūrį stiprumą padidina nedidelis aliuminio kiekis, sukeliantis lydinio dispersinį senėjimą. Šis poveikis dar sustiprėja, kai lydinys legiruojamas ir titanu. 1937 m. pradėjus kurti dujų turbinas orlaivių varikliams, pagrindine technine problema buvo turbinos rotoriaus mentės, kurios turėjo būti stiprios, o dėl veikiančių didelių išcentrinių įtempių – ir atsparios valkšnumui aukštoje temperatūroje. Tam buvo sukurtas 80 % nikelio ir 20 % chromo lydinys *Nimonic 80*, legiruotas titanu ir aliuminiu. Iš pirmųjų *Nimonic* lydinių buvo gaminami liejiniai ir karšto kalimo kaltiniai. Siekiant pagerinti lydinio savybes, jis buvo legiruojamas vis reakcingesniais elementais, todėl tokius lydinius buvo galima gaminti tik vakuuminėse indukcinėse krosnyse. Iš pradžių lydinys buvo stiprinamas legiruojant didesniais aliuminio kiekiais, vėliau legiravimui pasitelkti volframas ir molibdenas. *Nimonic* lydinių ekstruzijos metu kaip tepamą medžiagą panaudojus skystą stiklą, vieno kaitinimo ciklo metu pavyko ekstruduoti 20 mm skersmens strypus. Paskutinis sukurtas lydinys *Nimonic 115* pasiekė praktinio apdirbimo ribą. Stipresnių ir labiau legiruotų lydinių jau nebepavyko sukurti. Nuo 1963 m. nikelio superlydiniai jau nebebuvo apdorojami mechaniškai, tik liejami.

Nuo XX a. pradžios jau buvo žinoma, kad polikristaliniai metalai praranda mechanines savybes greičiau negu monokristalai. Tai leido manyti,

kad aukštoje temperatūroje stiprūs lydiniai turėtų būti stambiagrūdės, o ne smulkiagrūdės struktūros. Šis procesas, vadinamas *kryptingąja kristalizacija*, iš karto pagerino aukštoje temperatūroje dirbančių turbinos menčių eksploatacines savybes, net nepakeitus lydinio cheminės sudėties. Netrukus buvo pagamintos vienakristalės mentės, kurių gamybai nebereikėjo grūdelių ribas stiprinančių elementų, tokių kaip hafnis, todėl lydinio cheminė sudėtis ir gamybos procesas supaprastėjo.

Nors britai turbinų mentėms naudojo 80 % nikelio ir 20 % chromo lydinį, JAV gamintojai turbinų mentes ir kitas detales gamino iš kobalto-chromo lydinių. 1909 m. buvo patentuotas lydinys *stelitas*. Lydinio stiprumą padidindavo legiravimas volframu ir molibdenu. Variklių gamintojai suprato, kad turbinų mentėms naudojamos medžiagos jau pasiekė savo galimybių ribas ir jas pagerinti vargu ar bus galima. Didinant lydinių legiravimą, mažėjo lydymosi temperatūra, trumpėjo gaminio naudojimo trukmė. Antra vertus, lydinys, pasižymintis labai mažu valkšnumu aukštoje temperatūroje, gamybos metu negalėjo būti ženkliau mechaniškai deformuojamas. Šiuos prieštaravimus galėjo įveikti tik nauji lydiniai ar jų grupės. Pasirodžiusi nauja lydinių grupė buvo pavadinta superlydiniais. Superlydiniai pasižymi aukštu mechaniniu atsparumu, mažu aukštatemperatūrio valkšnumo koeficientu, aukštatemperatūriu oksidaciniu atsparumu. Superlydiniai lydomi vakuuminėse krosnyse, o gaminiai liejami pagal išlydomus modulius.

Superlydinių aukštatemperatūrį stiprumą lemia kietojo tirpalo būsena. Nikeliniuose superlydiniuose gama fazė $Ni_3(Al, Ti)$ veikia kaip nuoseklus dislokacijų judėjimo barjeras ir yra dispersinis lydinio stiprintojas. Gama fazės intarpų dydį galima tiksliai kontroliuoti reguliuojant dispersinio kietinimo terminį režimą. Daugeliui superlydinių taikomas dvipakopis terminis apdorojimas. Pirmosios pakopos metu susidaro stačiakampio profilio gama fazės intarpai, žinomi kaip pirminė fazė, tarp kurių antrosios pakopos metu susidaro labai smulkūs gama fazės intarpai, vadinami antrine gama faze. Kobalto superlydiniuose antrinė fazė nesusidaro, bet išsiskiria daug stabilių karbidų (pvz., $Cr_{23}C_6$). XX a. 4-ajame dešimtmetyje kobalto superlydinių darbinė temperatūra labai išaugo gamyboje pritaikius liejimą pagal išlydomus modulius. Variklių dujų turbinose naudojamų superlydinių matricą sudaro austenitinė paviršiuje centruoto kubo gardelė. Svarbiausiais legiruojančiais

elementais yra nikelis ir kobaltas. Turbinų mentės būna polikristalinės (joms būdinga stulpelių formos grūdelių struktūra) arba vienakristalės. Stulpelių formos grūdelių struktūra sukuriama taikant kryptingą kristalizaciją. Grūdeliai orientuojami lygiagrečiai pagrindiniams, mentę darbo metu veikiantiems įtempiams.

Vienakristaliai superlydiniai formuojami kaip vientisas kristalas modifikuotos kryptingos kristalizacijos būdu. Tokioje medžiagoje nėra grūdelių, taigi nėra ir grūdelių ribų. Stipriausias ir tinkamiausias kaltiniams gaminti lydinys *Nimonic 115* buvo sukurtas 1960 metais. Naujųjų superlydinių darbinės aplinkos temperatūra nuo lydymosi temperatūros skiriasi tik 100 °C. Vienakristalių superlydinių cheminė sudėtis dažniausiai yra labai paprasta. Dėl šios priežasties jų lydymosi temperatūra būna aukštesnė už polikristalinių superlydinių. Iš superlydinių gaminamos dujų turbininių variklių detalės, kurias veikia aukšta temperatūra ir dideli įtempiai, todėl jos turi būti atsparios aukštatemperatūriam valkšnumui, korozijai ir oksidacijai (6.11 pav.).



6.11 pav. Iš superlydinio pagaminta turboreaktyvinio orlaivio turbinos mentė (Turbinenschaufel RB199.jpg.)

RETIEJI ŽEMĖS METALAI

Retieji metalai gyvybiškai svarbūs naujausių technologijų pramonei, pradedant išmaniųjų telefonų ir baigiant elektromobilių gamyba. Retieji žemės metalai – tai 17 periodinės lentelės elementų (6.1 lentelė). Šie metalai iš tikrųjų ne tokie jau ir reti. Pavyzdžiui, tulis – vienas rečiausiai randamų retųjų elementų, bet Žemėje jo 200 kartų daugiau nei aukso. Platina yra dar retesnė už visus retuosius žemės metalus. Retųjų metalų žemėje iš esmės netrūksta. Jie daug dažnesni nei auksas ar platina, tačiau labai retai šių elementų daug randama vienoje vietoje. Dažniausiai vienoje vietoje būna tik nedidelis vieno ar kelių elementų kiekis, o mažų telkinių eksploatuoti neapsimoka. Pasaulinį retųjų žemės metalų poreikį kol kas tenkina Kinija. Beveik visos

6.1 lentelė. Retieji žemės metalai, jų naudojimas ir gavyba

Atominis numeris	Retojo elemento pavadinimas ir žymėjimas	Naudojimas	Apytikrė metinė gamyba t
21	Skandis (Sc)	Naudojamas aliuminio lydinių legiravimui; gerina aliuminio lydinių kokybę	0,5
39	Itris (Y)	Spalvotieji ekranai, superlaidininkų pramonė, medicina, tekstilės pramonė	400
57	Lantanas (La)	Baterijos, žiebtuvėliai, elektrodai	12 500
58	Ceris (Ce)	Baterijos, naftos pramonė	24 000
59	Prazeodomis (Pr)	Aviacijos, kosmoso, karo pramonė	2 400
60	Neodimis (Nd)	Magnetai, energetika, elektromobilių varikliai, standieji diskai	7 300
61	Prometis (Pm)	Branduolinė energetika	Keli šimtai kilogramų
62	Samaris (Sm)	Magnetai, lazeriai, chemijos pramonė	700
63	Europis (Eu)	Spalvotieji ekranai, taupiosios lemputės	400
64	Gadolinis (Gd)	Medicina, kompaktinės plokštelės	400
65	Terbis (Tb)	Spalvotieji ekranai, taupiosios lemputės	10
66	Dispozis (Dy)	Magnetai, turbinos, sonarai	100
67	Holmis (Ho)	Stomatologija, medicina, magnetai	10
68	Erbis (Er)	Šviesolaidiniai kabeliai, branduolinė energetika	500
69	Tulis (Tm)	Lazeriai, rentgeno ir mikrobangų įrenginiai	50
70	Iterbis (Yb)	Lazeriai, plieno pramonė, seismometrai	50
71	Lutecis (Lu)	Naftos pramonė	10

tokios kasyklos (iškasama 97 % reikiamos rūdos) mūsų planetoje susikoncentravę būtent šios šalies teritorijoje. 2011 m. nauji retųjų žemės metalų klodai buvo rasti 5,8 km gylyje ties Minami Torishima sala, 2 000 km į pietryčius nuo Tokijo. Ramiojo vandenyno jūros dugne aptiktas retų žemės elementų

telkinys aukštųjų technologijų pramonę ištekliais galėtų aprūpinti daugiau kaip 200 metų. Nors šis radinys labai nudžiugino japonus, menkai tikėtina, kad artimiausiu metu jis bus eksploatuojamas. Kitas retųjų žemės metalų šaltinis – tai elektronikos ir kitos atliekos. Vienoje mobiliųjų telefonų tonoje vien aukso yra 300–350 g. Naujos efektyvios rūdų perdirbimo technologijos, paremtos jonų mainais, frakcine kristalizacija ir kt., gali atskirti reikalingus metalus net iš labai neturtingų rūdų ar kitų spalvotųjų metalų gavybos atliekų.

1930 m. pradžioje buvo pastebėta, kad kai kurie vakuume lydyti lydiniai, deoksiduoti retųjų žemės elementų mišiniu, buvo labai atsparūs aukštatemperatūrei oksidacijai. Nustatyta, kad tokio atsparumo kaltininkas buvo ceris. Mechanizmas, kaip nedidelis reaktyviųjų metalų – cerio, itrio, cirkonio, lantano ir hafnio – kiekis pagerina nikelio-chromo ir kitų aukštatemperatūrių lydinių paviršinių oksidų apsaugą, vis dar nepakankamai aiškus, nors tokia apsauga plačiai naudojama.

MILTELINĖ METALURGIJA

Miltelinė metalurgija – tai technologijos šaka, apimanti metalinių medžiagų miltelių gamybą, jų presavimą į norimos formos gaminį ir presuoto ruošinio terminį apdorojimą, arba sukepinimą. Naudojant šią gamybos technologiją, nereikalingas mechaninis gaminių apdorojimas, maišant įvairius miltelius gaunamos specifinių savybių medžiagos, procesas lengvai automatizuojamas, mažėja detalių gamybos savikaina, beveik nėra atliekų – metalo panaudojimo koeficientas siekia 95–97 %. Šios technologijos taikymą riboja sąlyginai didelė miltelių ir technologinės įrangos kaina, ribotas gaminių dydis ir svoris. Proceso žaliava – milteliai – gaminami fizikiniais-cheminiais, mechaniniais ir kombinuotais metodais. Miltelių gamyba fizikiniais-cheminiais metodais – redukavimas iš oksidų arba kitų junginių, tirpalų elektrolizė, karbonilų (metalų junginių su CO grupe) disociacija, išgarinimas ir kondensavimas (Zn, Mg, Cd milteliai), elektroerozija, tarpkristalinė korozija (gaminant nerūdijančio plieno miltelius) – chemiškai ar fiziškai paveikia žaliavos cheminę sudėtį. Mechaniniai metodai – tai metalų smulkinimas, malimas, skysto metalo išpurškimas. Kombinuoti metodai – kai paminėti metodai

naudojami kartu. Milteliai apibūdinami chemine sudėtimi (metalo ir priemaišų kiekis), fizikinėmis (grūdelių forma, dydis, kietumas) ir technologinėmis (supylimo tankis, suformavimas, korozinis atsparumas) savybėmis. Supresuotų detalių (briketų) tankis priklauso nuo miltelių granuliometrinės sudėties. Didėjant grūdelių dydžiui, didėja ruošinių tankis. Kampuoti milteliai sutankėja blogiau negu glotnūs. Plastiškų metalų miltelių briketai yra stipresni. Metalų lydinių milteliai susipresuoja prasčiau negu grynų metalų. Pagrindinėmis miltelinės metalurgijos technologinėmis operacijomis yra *presavimas* ir *sukepinimas*. Pradžioje grūdeliai suskirstomi į frakcijas ir sumaišomi norimu santykiu. Jei pagamintų detalių apkrova bus nedidelė, jos bus gaminamos vienkartiniu presavimu ir sukepinimu. Svarbių detalių gamybai naudojamas daugkartinis presavimas su tarpiniais pakaitinimais ir aukšta baigiamojo sukepinimo temperatūra. Sukepinimas – tai terminis presuočių apdorojimas. Sukepinimo metu tarp grūdelių susidaro stiprus metalinis ryšys ir gaminys įgauna milteliniams kūnams būdingas savybes. Sukepinimui svarbi temperatūra, trukmė ir atmosfera. Sukepinimo temperatūra – $(0{,}7–0{,}9)T_{lyd}$. Sukepinimą geriausia atlikti redukuojančioje atmosferoje arba vakuume. Sukepinant miltelių mišinį, žemiausios lydymosi temperatūros komponentas gali išsilydyti. Toks procesas vadinamas *sukepinimu su skysta faze*. Skysta fazė užtikrina glaudesnį kontaktą tarp grūdelių, dėl to didėja sukepintų gaminių stiprumas.

Dar iki Kolumbo senovės inkai naudojo miltelių metalurgijos metodus, siekdami į didesnius gabalus sujungti aliuvinės (upinės) platinos grūdelius. Šie platinos grūdai buvo sumaišomi su aukso dulkėmis ir kaitinami medžio anglies žaizdre. Auksas plona plėvele padengdavo platinos grūdelius ir kristalizuodamasis juos sulituodavo. Iš gautų platinos ruošinių buvo kalami žiedai, apyrankės ir kiti papuošalai. Geležies miltelių metalurgija buvo naudojama Egipte jau 3 000 m. pr. m. e. Žaizdre gauta kempininė geležis buvo redukuojama, smulkinama, o gauti milteliai išlydomi arba sukepinami. Masinė gaminių gamyba miltelių metalurgijos būdu prasidėjo tik XIX a. viduryje ar pabaigoje.

Miltelinė metalurgija tinka tiems gaminiams, kurie pagaminti kitais būdais būtų chemiškai nehomogeniški, mechaniškai sutrūkinėtų. Miltelinės gamybos metu išvengiama skystos fazės pokyčių, todėl šis būdas yra

pranašesnis už liejimą, ekstruziją ar kalimą. Taikant įvairias miltelių gamybos technologijas, galima kontroliuoti mechanines, magnetines ir kitas netradicines gaminių savybes (akytumą, metalinių junginių kiekį). Bet kokia išlydoma medžiaga gali būti išpurškiama. Miltelių gamyba skysto lydalo purškimu yra labai naši, leidžia kontroliuoti gaunamų grūdelių dydį. Miltelius galima pagaminti ir kitais būdais – šlifavimu, cheminėmis reakcijomis arba elektrolitiniu nusodinimu. Titano, vanadžio, torio, niobio, tantalo, kalcio ir urano milteliai buvo gaminami aukštoje temperatūroje redukuojant šių metalų nitridus ir karbidus. Geležies, nikelio, urano ir berilio submikrometriniai milteliai gaunami redukuojant metalinius oksalatus ($Be(COO)_2$, $UO_2C_2O_4(OH)_2 \cdot 2H_2O$ ir kt.). Smulkius miltelius galima pagaminti nukreipiant skysto metalo srovę į aukštatemperatūrės plazmos srautą, kuri ne tik išpurškia skystą medžiagą, bet ją ir sumaišo.

Miltelių metalurgija labai padėjo kuriant kaitinamųjų elektros lempų siūlelius. Efektyviausiai švietė kaitinamosios lempos, kurių siūleliai buvo iš volframo. Renis ir technecis tuo metu dar nebuvo žinomi, o hafnis ir cirkonis dar nebuvo pagaminti gryno metalo forma. Jau buvo žinoma, kad osmio aukšta lydymosi temperatūra ir kad iš jo smulkių miltelių galima pagaminti ploną vielą. Osmio kaistantis siūlelis pirmą kartą buvo pasiūlytas 1898 metais. Berlyne pagaminta „osmio“ kaitinamoji lempa buvo ekonomiškesnė už lempas su anglies siūleliu, tačiau brangesnė. 1903 m. pasirodė kaitinamoji lempa su tantalo siūleliu. Nors osmio lydymosi temperatūra (3 050 °C) buvo truputį aukštesnė už tantalo (2 996 °C), pastarasis metalas buvo plastiškas, todėl gerokai pranašesnis – iš jo buvo galima lengvai gaminti ploną vielą. Tantalo kaitinamosios lempos buvo labai sėkmingos, nes 1905–1911 m. buvo parduota daugiau kaip 103 mln. tantalo lempų.

Volframas, kurio lydymosi temperatūra yra 3 422 °C, buvo pagrindinė kaitinamųjų lempų siūlelių medžiaga, nors iš pradžių buvo labai sunku pagaminti tinkamo plastiškumo volframo vielą. Pirmieji volframo siūleliai buvo pagaminti 1904 metais. Panašiai kaip ir osmio siūleliai, volframas skleidė daug daugiau šviesos negu kaitinamosios anglies siūlelio lempos, tačiau volframo lempos buvo trapios ir brangios. Volframinė mažo skersmens viela buvo gaminama miltelinės metalurgijos būdu. Smulkūs volframo milteliai buvo presuojami į 14,5 mm skersmens strypus, kurie sukepinami

gryno vandenilio atmosferoje esant artimai volframo lydymosi temperatūrai. Strypai buvo kaitinami leidžiant pro juos elektros srovę, kol temperatūra pakildavo iki 3 300 °C. Iš sukepinto ruošinio, traukiant per deimantines trauktuves, buvo gaunama siūlelių gamybai tinkama mažo skersmens viela. *Sukepinimo su skysta faze* miltelių metalurgijos būdu gero tankio volframo gaminiai gaunami miltelių mišinį kaitinant beveik perpus mažesne negu volframo lydymosi temperatūra. Grūdelių sukepinimas vyksta trimis etapais. Pirmame etape tarp grūdelių atsiranda suaugimo tilteliai, tačiau grūdeliai dar yra atskiri. Antrame etape medžiaga sutankinama, vyksta rekristalizacijos procesai, grūdeliai difunduoja vienas į kitą. Trečiame etape izoliuotos poros tampa sferinės formos, o medžiagos tankėjimas labai sulėtėja.

Miltelinė metalurgija pradėjo sparčiai vystytis po 1910 metų. 1913 m. buvo pagaminti poringi savaime susitepantys bronziniai guoliai, o 1923 m. – sukepinti metaliniai filtrai. Miltelinė metalurgija pradėta taikyti magnetinių lydinių gamybai. Grynos geležies, kobalto ir nikelio miltelių gamyba cheminiais metodais buvo pigi. Tokie milteliai galėjo būti visiškai arba iš dalies supresuoti į bet kokią pageidaujamą formą. Skirtingai nuo įprastų lydymo ir legiravimo technologijų, miltelių metalurgijos metodai leido išvengti gamybinės taršos. 1928 m. šiuo būdu pagamintas minkštamagnetis geležies ir nikelio lydinys *permalojus*, o 1940 m. iš miltelių pradėta gaminti didelės koercinės jėgos nuolatinius magnetus.

Miltelinės metalurgijos būdu galima gaminti įvairias kompozicines medžiagas, kurias sudaro netirpūs sidabro ir nikelio mišiniai, sidabras-grafitas, sidabras-volframas, varis-volframas ir sidabras-kadmio oksidas. Pastaroji medžiaga vis dar plačiai naudojama, nes sidabras turi mažą kontaktinę varžą, o kadmio oksidas gesina tarpkontaktinį elektros lanką (jis susidaro, kai tekant elektros srovei atsiveria kontaktai). Miltelinės metalurgijos gaminiai šiandien naudojami automobiliuose, erdvėlaiviuose, energijos gamybos įrenginiuose ar buitiniuose prietaisuose.

Sukepintų karbidų pjovimo įrankiai. Deimanto trauktuvės, naudojamos volframo vielos gamybai, buvo brangios, todėl buvo ieškoma pakaitalų. Daugelį reikalingų savybių turėjo pirmą kartą 1893 m. pagamintas volframo karbidas (W_2C), kuris buvo gautas elektrinėje krosnyje sulydžius volframą su anglimi. Sukepinti karbidai pirmą kartą pagaminti 1914 metais. WC ir

W_2C miltelių mišinys buvo įkaitinamas iki lydymuisi artimos temperatūros, tačiau gaminiai buvo trapūs. Lietos volframo karbidų trauktuvės buvo pagamintos dar iki 1914 m., tačiau ir jos buvo labai trapios. 1922 m. atrasta, kad volframo karbidas, sukepintas esant skystam rišikliui, gali būti labai stiprus. Rišikliu galėjo būti geležis, kobaltas ir nikelis, tačiau geriausias kietumo ir stiprumo savybių derinys buvo gautas naudojant kobaltą. Naujas kietlydinis buvo pritaikytas vielos trauktuvėms. 1925 m. pasirodė pirmieji kietlydinio pjovimo įrankiai, pagaminti iš volframo karbido miltelių, sukepintų su 6 % kobalto. 1932 m. buvo sukurti tantalo karbido įrankiai, kurių rišamoji medžiaga buvo ne kobaltas, o nikelis. Vis dėlto šie įrankiai nebuvo tokie geri kaip volframo-kobalto kompozitai.

Iš miltelių valcavimo būdu gaminami gaminiai dažniausiai naudojami elektrotechnikoje ir elektronikoje, taip pat monetų lakštų gamybai. Metalų milteliai dviejų ritinių valcavimo staklyno juosta juda iki 3 m/min. greičiu. Gauta juosta sukepinama, vėl valcuojama ir dar kartą sukepinama. Įvairūs gaminiai iš miltelių gali būti gaminami ir ekstruzijos būdu. Galima beveik visų metalinių miltelių rūšių ekstruzija, jei tik proceso temperatūrą ir slėgį išlaiko ekstruderio matricos medžiaga. Ekstruduotų gaminių ilgis 3–30 m, skersmuo 0,2–1 metro. Galimi du ekstruzijos būdai: vienu atveju ekstruduojami milteliai sumaišomi su rišikliu ir procesas vyksta kambario temperatūroje, kitu atveju rišiklis nenaudojamas, o ekstruduojama aukštesnėje temperatūroje. Miltelių su rišikliu ekstruzija naudojama volframo karbido kompozitams gaminti. Vamzdžių, sudėtingo skerspjūvio profilių, spiralinių grąžtų pusgaminių ilgis gali būti įvairus, skersmuo – nuo 0,5 iki 300 mm. Iš kietųjų metalų miltelių gaminama vos 0,1 mm skersmens viela.

AMORFINIAI LYDINIAI

Amorfinis metalas (dar žinomas kaip metalinis stiklas arba stikliškas metalas) – kristalinės sandaros neturintis kietas metalų lydinys. Dažniausiai amorfinis metalas gaminamas labai greitai aušinant lydinius. Greitai šaldomi (10^6 K/s) kristalai nespėja susiformuoti ir medžiaga lieka vadinamojoje „stiklinėje“ būsenoje. Amorfinis metalas yra lydinys, o ne grynasis metalas. Skirtingo dydžio lydinio atomai aušimo metu nespėja greitai judėti, kad

sudarytų tvarkingą būvį. Aušdamas amorfinis metalas labai mažai susitraukia, priešinasi plastinei deformacijai, yra atsparus trinčiai ir korozijai. Amorfinių metalų šiluminis laidumas yra mažesnis negu kristalinių metalų.

Pirmasis amorfinio metalo lydinys ($Au_{75}Si_{25}$) buvo pagamintas 1960 metais. Siekiant išvengti kristalizacijos, amorfinis metalas galėjo būti gaminamas tik juostelėmis, folija arba viela, nes tik labai ploni gaminiai galėjo būti aušinami labai greitai. Amorfinio metalo gaminių storis buvo mažesnis negu šimtas mikrometrų. 1969 m. buvo sukurtas 77,5 % paladžio, 6 % vario ir 16,5 % silicio lydinys, kurio kritinis aušinimo greitis 100–1 000 K/s. 1976 m. H. Liebermannas ir C. Grahamas sukūrė naują plonų amorfinio metalo juostelių gaminimo metodą: skystas metalas buvo pilamas ant šalto, masyvaus, greitai besisukančio disko. Tai buvo geležies, nikelio, fosforo ir boro lydinys. Ši medžiaga (*metglas*) buvo naudojama mažų nuostolių elektros skirstomųjų transformatorių magnetolaidžiams. 1988 m. buvo sukurtas stikliškas lantano, aliuminio ir vario lydinys. Skandžiu legiruoto amorfinio metalo tempimo stipris siekė 1 500 MPa.

1990 m. buvo sukurti nauji amorfiniai lydiniai, kurie negreitai atšaldomi (1 K/s) tapdavo metališku stiklu. Šis aušinimo greitis gali būti pasiektas net liejant lydinį į metalines formas. Tokių amorfinių lydinių gaminių sienelės storis gali būti net keli centimetrai. Daugelyje amorfinių metalų lydinių stikliška būseną iš dalies lemia didelė elementų įvairovė lydinyje. Kai lydinyje yra keturi ar daugiau elementų, o aušinimo greitis didelis, dėl sumažėjusio atomų judrumo nespėja susidaryti kristalinė sandara ir atomai šaltoje būsenoje būna išsidėstę netvarkingai. Kad būtų pasiektas didelis lydinio tankis ir mažas laisvas tūris, komponentų atomų dydis turi gerokai skirtis (daugiau nei 12 %). Amorfinių metalų stiprumas yra tiesiogiai susijęs su jų nekristaline struktūra, kuri neturi jokių defektų (pvz., dislokacijų), ribojančių kristalinių lydinių stiprumą. Boro, silicio, fosforo ir kiti stikliški lydiniai su magnetiniais metalais (geležimi, kobaltu, nikeliu) pasižymi didele magnetine skvarba ir didele elektros varža. 1992 m. buvo sukurtas komercinis amorfinis lydinys *Vitreloy* (41,2 % Zr, 13,8 % Ti, 12,5 % Cu, 10 %, Ni ir 22,5 % Be). Cirkonio ir titano pagrindu pagaminto lydinio stipris siekė 1 723 MPa ir buvo beveik dvigubai didesnis už įprastų kristalinių titano lydinių (Ti6Al-4V ~830 MPa) stiprumą arba prilygo didelio stiprio plienui. 2004 m. sukurta amorfinio

plieno, kuris yra nemagnetinis kambario temperatūroje ir gerokai stipresnis nei įprastinis plienas, gamybos technologija. Taip pat pradėtas gaminti tris kartus tvirtesnis už įprastus plieno lydinius amorfinis plienas.

JUODIEJI METALAI

Geležis (*ferrum*) – sidabriškai pilkas, blizgus cheminis elementas. Geležis sudaro 4,65 % Žemės plutos masės. Iki 769 °C geležis yra feromagnetikas, aukštesnėje temperatūroje – paramagnetikas. Tankis 7 874 kg/m^3, lydymosi temperatūra 1 539 °C, virimo 3 200 °C. Geležis tirpina anglį ir kitus elementus, todėl galima gauti įvairių savybių geležies lydinių. Grynos geležies mechaninės savybės yra prastos, todėl naudojami geležies lydiniai su anglimi ir kitais elementais (dažniausiai metalais). Svarbiausi geležies rūdos mineralai yra magnetitas (Fe_3O_4) ir hematitas (Fe_2O_3). Iš geležies rūdos gaunami geležies ir anglies lydiniai – *ketus* ir *plienas*. Plienas – tai geležies, anglies ir kitų elementų lydinys, turintis iki 2,14 % anglies. Kai plieno sudėtyje, be geležies ir anglies, yra tik nuolatinių priemaišų, neišvengiamai patenkančių gamybos metu, plienas vadinamas angliniu. Lydymo metu kitais elementais (chromu, nikeliu, vanadžiu) papildytas plienas vadinamas legiruotuoju. Plieno savybės priklauso nuo cheminės sudėties, anglies kiekio ir terminio apdirbimo. Ketus – tai geležies lydinys su anglimi, siliciu ir kitais elementais (manganu, siera, fosforu), kuriame yra 2,14–6,67 % anglies. Nuo plieno ketus skiriasi didesniu anglies kiekiu, technologinėmis savybėmis. Ketus yra pigesnis už plieną.

Geležį kur kas buvo sunkiau apdoroti negu bronzą. Dar sunkiau ją išlydyti iš rūdų (iš geležies oksidų arba karbonatų), todėl tuometinė geležis buvo labai brangi. Iš senovės Skandinavijoje rastų kapų galima spręsti, jog ir čia geležis buvo labai brangi: rastų bronzinių kardų tik ašmenys buvo geležiniai.

Geležis ir plienas yra vienas svarbiausių pramoninės civilizacijos, kurioje mes gyvename, ramsčių. Jie prisidėjo prie šiandieninės civilizacijos sukūrimo ir vis dar išlieka nepakeičiama jos dalimi. Žmogų iš kitų gyvūnų išskyrė geba kurti ir naudoti įrankius ir geležis šiuo atveju buvo ypač svarbi. Žmonės išmoko naudoti metalus dar prieš atrasdami geležį. Palaipsniui geležis perėmė kitų metalų funkcijas, nes buvo kietesnė, stipresnė, jos buvo daugiau. Žmogus

naudojo ginklą medžioklėje, juo gynėsi nuo priešų. Naudodamasis tam tikrais įrankiais jis galėjo lengviau auginti pasėlius, ruošti maistą, pasidaryti drabužius ar pastogę. Geležį žmogus pradėjo naudoti prieš 4 000 metų. Tobulėjant geležies įrankiams tapo įmanoma veiksmingiau išnaudoti gamtines jėgas. Vėjo malūną ar vandens ratą buvo galima pasidaryti iš medienos, akmenų ar plytų, tačiau išmokus panaudoti garo jėgą, ankstesnės medžiagos nebetiko. Naujoviški įrenginiai galėjo būti tik iš metalinių medžiagų. Geležies naudojimas padėjo „pasikinkyti“ garą, o garas – gaminti geležį pramoniniu mastu, ir namudinė gamyba virto pramonine.

Nuo pat pradžios geležis gaunama perdirbant geležies rūdas. Labai mažai geležies, tiksliau – gamtinio geležies ir nikelio lydinio, buvo meteoritinės kilmės. Meteoritinė geležis skyrėsi nuo akmenų – buvo plastiška, ją buvo galima kalti ir suteikti kaltiniui norimą formą. Tačiau meteoritų buvo tiek mažai, kad jie tik sukeldavo smalsumą, bet niekada netapo kokių nors įrankių gamybos šaltiniu. Geležies rūdos iš esmės yra cheminis geležies ir deguonies ar geležies ir anglies atomų mišinys, tarp kurių yra nedidelis kitų elementų kiekis. Vienos priemaišos iš rūdų pašalinamos lengvai, kitos – sunkiai. Geležis visada yra linkusi jungtis su deguonimi, o deguonies yra pakankamai ir ore, ir vandenyje. Ilgai ore išbuvusi metalinė geležis lėtai vėl tampa oksidu – kitaip tariant, surūdija. Geležies gamintojų laimei, deguoniui gimiringesnė už geležį yra anglis. Jei geležies rūda sumaišoma su anglimi ir įkaitinama iki aukštos temperatūros, tai rūdoje esantis deguonis jungiasi su anglimi ir sudaro degias CO dujas. Ši reakcija yra rūdos redukavimo į geležį ir metalinės geležies gavybos pagrindas.

Daugelį amžių naudota primityvi įranga, o geležies gamyba buvo menka. Pamažu prekyba geležies gaminiais plėtėsi, kaimuose šalia malūnininkų, keramikų ir audėjų atsirado geležies gamintojai ir kalviai. Tose pasaulio dalyse, kur nebuvo geležies rūdos, prekybininkai geležies prekes keitė į kitus produktus, taip prisidėdami prie geležies sklaidos. Ankstyvieji metalurgai gamino mažaanglę geležį, kuri buvo plastiška, jos gabalus buvo galima sujungti (suvirinti) kalvišku būdu. Mažaanglė geležis nebuvo perlydoma ir naudojama liejimo tikslams. Ankstyvoji geležies gamybos įranga buvo paprasta. Ją sudarė nedidelė medžio anglimi kūrenama krosnis (rūdnelė), rankomis ar kojomis spaudžiamos dumplės orui pūsti į krosnį, žnyplės karštam metalui vartyti ir priekalas gaminiui iš karšto metalo formuoti (6.12 pav.). Rūdnelės buvo daromos iš

ugniai atsparaus molio. Pradžioje rūdnelėje uždegama medžio anglis. Jai įsiliepsnojus, pro rūdnelės viršų į vidų buvo beriama geležies rūda ir medžio anglis. Rūdoje esantis deguonis jungėsi su kuro anglimi ir sudarė CO dujas, kurios pro rūdnelės viršų veržėsi į orą ir degė mėlyna liepsna. Per kelias kaitinimo valandas visas deguonis pasišalindavo iš rūdos ir likdavo gniutulas vadinamosios kempininės geležies. Proceso pabaigoje rūdnelės priekinė sienelė buvo išlaužiama ir iš jos ištraukiamas kempininės geležies ir šlako gniutulas. Kalant dar karštą gniutulą, išbyrėdavo trapūs šlakai, poros subliūkšdavo ir buvo gaunamas vienalytis mažaanglės geležies gabalas, tinkamas įrankių ar ginklų gamybai. Metalurgai ir kalviai kliovėsi tik savo patyrimu, nes mokslinių žinių dar nebuvo.



6.12 pav. Geležies gavyba iš rūdų viduramžiais (Bas fourneau.png.)

Vienu didžiausių senovės metalurgijos paminklų yra Delyje (Indija) stovinti geležinė kolona (6.13 pav.). Jos aukštis 7,21 m, skersmuo apačioje 42 cm, viršuje 30,6 cm, svoris daugiau nei 6 tonos. Kolona pastatyta 402 metais. Mokslininkus ilgai stebino kolonos metalo atsparumas korozijai. Manyta, kad priežastis – labai švarus kolonos metalas. Tačiau šiuolaikiniais tyrimo metodais nustatyta, kad metalas nepasižymi švarumu – jame yra šlako intarpų, gana daug fosforo. Senovės indų kalviai ar metalurgai į lydymo krosnis nedėdavo kalkių, be to, jų naudojamame kure (medžio anglyse) buvo nemažai fosforo (>0,1 %, vidutiniškai 0,25 %). Šiuolaikinėse aukštakrosnėse kalkių fliusas lydymo metu padeda iš metalo pašalinti fosforą, todėl pliene jo būna mažiau nei 0,05 %. Tyrimai atskleidė, kad svarbiausias atsparumo korozijai veiksnys yra geležies vandenilio fosfato



6.13 pav. Geležies kolona Quwwat-ul-Islam mečetės kieme (Delis) (Iron Pillar, Delhi.jpg.)

hidratas ($FePO_4$-H_3PO_4-$4H_2O$). Šis junginys susidaro, kai geležies mikrostruktūroje yra šlako, neredukuotos geležies oksidų ir daug fosforo, o paviršiaus drėkinimo ir džiūvimo sąlygos nuolat kinta. Plonas šio cheminio junginio kristalų sluoksnis, susidarantis tarp gryno metalo ir paviršinio rūdžių sluoksnio, labai sulėtina geležies koroziją. Per 1 600 metų šios oksidų plėvelės storis kolonos paviršiuje išaugo tik apie 1/20 mm.

Aukštakrosnės atsirado tik XV a. pabaigoje ir lėtai plito visoje Europoje. Techniškai šiuose įrenginiuose buvo gaminama ne geležis, o naujas lengvai lydomas metalas – ketus. Ketus labai skyrėsi nuo mažaanglės geležies. Jis buvo atsparus gniuždymui, bet ne įtempiui, buvo gana trapus, todėl jo nebuvo galima apdoroti kalimu. Taigi jo naudojimas, palyginti su mažaangle geležimi, buvo ribotas. Kad aukštakrosnėje ar rūdnelėje degtų anglis, nuolat reikia pūsti pakankamai daug oro. Rankines dumples turėjo pakeisti galingesnės vandens rato veikiamos dumplės, todėl aukštakrosnės buvo statomos šalia upių. Antra vertus, aukštakrosnėms reikia daug medžio anglies,

tiksliau – medienos, iš kurios daroma medžio anglis. Aukštakrosnės buvo pirmasis realus žingsnis pereinant nuo amatininkiškos gamybos prie pramoninės. Jų statybai ir eksploatacijai reikėjo akmenskaldžių ir mūrininkų, vandens ratų ir transmisijų gamintojų, remontininkų ir kitų specializuotų darbuotojų. Aukštakrosnės paskatino ir socialinius pokyčius: įrenginiui dirbant be pertraukos dvidešimt keturias valandas per parą, septynias dienas per savaitę, atsirado nauja darbų organizavimo tvarka – pamaininis darbas. Aukštakrosnės dugne susikaupęs skystas ketus būdavo išleidžiamas maždaug kas dvylika valandų, dar trumpesniais laiko intervalais buvo išleidžiamas iš įvairių rūdos priemaišų ir fliuso (kalkių) susidaręs šlakas. Išlydytas ir į smėlio formas išpiltas ketus kristalizuodavosi į luito formos liejinius. Nustatyti tik keli ketaus naudojimo atvejai. 1543 m. Anglijoje iš jo buvo liejamos patrankos, daromos dekoratyvinės židinių puošmenos. Ketaus virtimui mažaangle geležimi buvo naudojamos žaizdrinės krosnys, kaitinamos medžio anglimi, ir vandens rato varomos oro dumplės. Iš krosnyje išlydyto ketaus išdegdavo didelė dalis anglies ir jis tapdavo mažaangle geležimi. Daugeliui geležies naudotojų (arklių pasagoms, vinims) reikėjo ilgų, plonų geležies juostelių. Pagaminti tokias juostas ar strypus rankiniais kūjais buvo sunku – ilgus metalo gabalus buvo nepatogu vartyti, jie greitai aušdavo ir buvo sunkiau apdorojami spaudimu. Šią problemą iš dalies išsprendė sukurti vandens varomi išilginio metalo pjaustymo įrenginiai. Medžiagos juosta buvo leidžiama pro diskinius reguliuojamus pjoviklius, todėl pjaunamos juostos plotis galėjo kisti. Pačios juostos buvo gaunamos leidžiant ruošinius tarp besisukančių velenų. Šie įrenginiai buvo šiuolaikinio valcavimo įrenginių pradininkai. Besiplečiančiai geležies gamybai reikėjo vis daugiau medžio anglies ir jau XVII a. pradžioje jos pradėjo trūkti. Aukštakrosnes tekdavo ilgesniam laikotarpiui stabdyti ir laukti, kol bus sukauptos medžio anglies atsargos.

AUKŠTAKROSNIŲ KURAS

Dėl įvairių priežasčių (priemaišų, dujų ar kitų lakių medžiagų, sieros) akmens anglis aukštakrosnės kurui nėra tinkama. Net labai mažas sieros kiekis, patekęs į geležį, ją daro trapią. 1709 m. pasirodė naujas dirbtinis aukštakrosnių kuras – koksas. Koksas buvo išgaunamas deginant dideles anglies krūvas, kol visos nereikalingos priemaišos pasišalindavo su dūmais. Tuomet anglis buvo

greitai aušinama dideliu vandens kiekiu. Dabartiniu metu akmens anglis karbonizuojama 1 100 °C temperatūroje bedeguonėje aplinkoje. Iš proceso metu susidariusių dujų pašalinus dervas, amonio sulfatą, fenolį, naftaliną, lengvuosius angliavandenilius ir sierą, dujos naudojamos krosnių kaitinimui. Netiesiogiai kaitinama akmens anglis kameroje išlaikoma apie 18 valandų. Per tą laiką beveik 25 % jos tūrio virsta dujomis. Vidutinis kokso gabalų dydis yra 52 mm, juose būna vidutiniškai 8 % pelenų. Koksu kūrenamos aukštakrosnės plito pamažu, ir tik XIX a. buvo nutraukta medžio anglimis kūrenamų krosnių gamyba. Koksu kūrenamos aukštakrosnės galėjo būti statomos netoli kokso gamybos vietų, tačiau joms reikėjo ir fizinės jėgos. Vėjo malūnai geležies gamybai netiko, nes vėjas dažnai pučia gūsiais, kartais jo iš viso nėra, o aukštakrosnei būtina nuolatinė ir vienodo dydžio fizinė energija. Upių ar upelių vandens ratai tiko labiau, tačiau jų teikiama energija buvo menka, be to, ne visada prie užtvankų buvo galima statyti aukštakrosnę. Aukštakrosnių nestatė vietovėse, kuriose nebuvo kokso ir geležies rūdos. Joms reikėjo daug žaliavų, o jų atvežimas iš tolimesnių vietovių buvo brangus, geležinkelių nebuvo, o keliai buvo labai prasti. Padėtį sunkino ir tai, kad nors aukštakrosnės kurui galėjo būti naudojamas koksas, tačiau ketui paversti mažaangle geležimi vis dar reikėjo medžio anglių. Dėl šių priežasčių nebuvo jokio tikslo gaminti daug ketaus, jeigu jo nebuvo galima paversti kokybiška plastiška geležimi. Geležies gamyba palengvėjo 1775 m. Jamesui Wattui išradus garo mašiną. Jau 1784 m. garo mašina buvo panaudota geležies valcavimui ir kalimui. Geležies gamyba nebepriklausė nuo vandens resursų ir medžio anglies, todėl persikėlė į vietoves, kuriose buvo pakankamai akmens anglies ir geležies rūdos. D. Britanijoje tai buvo Pietų Velsas ir Vakarų Midlandas. Pastarasis XIX a. I pusėje tapo didžiausiu pasaulyje geležies gaminimo centru. Iki XVIII a. šiame regione buvo daug anglies, geležies rūdos, kalkakmenio (fliuso) ir krosnių statybai reikalingų ugniai atsparių medžiagų. Labai svarbu, kad šios medžiagos buvo žemės paviršiuje arba labai negiliai. Šiame regione trūko vandens energijos, bet garo mašinos šią problemą greitai išsprendė.

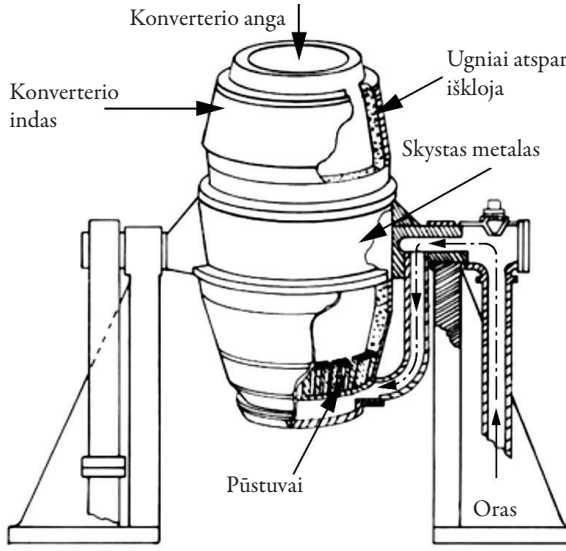
1784 m. Henry'is Cortas pasiūlė plastiškos geležies gamybos iš ketaus būdą. Buvo žinoma, kad lydymo proceso metu sieros sąlytis su geležimi pastarąją sugadina, todėl anglys buvo deginamos atskiroje krosnies dalyje, ir tik liepsnos galėjo liestis su geležimi. Liepsna nuo krosnies perdangos specialios formos nuolaidžia plokštuma buvo nukreipiama skysto metalo vonios link.

Šios konstrukcijos krosnys buvo vadinamos *atspindžio krosnimis*. Į krosnį įpylus apie 250 kg ketaus, maždaug po dviejų valandų įkrova būdavo nuanglinta ir virsdavo kaliąja geležimi. Vykstant nuanglinimo procesui skystas ketus, kurio lydymosi temperatūra 1 150 °C, virsdavo kempinine geležimi (lydymosi temperatūra 1 540 °C). Didelėmis žnyplėmis arba griebtuvais iš krosnies ištraukti 35–40 kg ir 30–38 cm skersmens metalo rutuliai sunkiu kūju buvo formuojami į stačiakampius luitus, vadinamus *bliumais*. Vėliau geležies bliumai buvo valcuojami ar kalami. XVIII a. pabaigoje vidutinė krosnis per metus pagamindavo 1 000 t geležies. Tokiai gamybos apimčiai reikėjo 3 000–4 000 t geležies rūdos (priklausė nuo geležies kiekio rūdoje), apie 2 000 t kokso, fliusų ir kuro degimui reikalingo oro. XIX a. pradžioje geležies gamyba buvo pasirengusi patenkinti sparčiai augančius pramonės poreikius.

PLIENAS

Mažaanglio plieno lieti ar kalti gaminiai labai reikalingi mašinų gamybai, tačiau šiais būdais sunku pagaminti labai tikslias gerų mechaninių savybių detales. Anglų išradėjas, laikrodininkas Benjaminas Huntsmanas sugalvojo, kaip pagerinti anglinį plieną. Jo netenkino laikrodžių spyruoklėms naudojamo plieno savybės. 1740 m. jis išlydė turėtą plieną tiglyje, jį rafinavo, kad pašalintų po cementavimo likusį šlaką, ir po kristalizacijos apdorojo spaudimu. Plieno savybės buvo kur kas geresnės negu prieš perlydymą. Šios rūšies plienas buvo vadinamas tigliniu plienu (*wootz steel, bulat*). Tigliniu lydymo būdu dažniausiai gaminami nedideli plieno kiekiai, kadangi jo gavybos kaštai yra labai dideli. Tigliniu būdu plienas gamintas visą XIX šimtmetį.

Bessemerio procesas. XIX a. geležinkelių plėtrai Europoje ir Amerikoje reikėjo daug geležies. Naudojami geležies gamybos būdai buvo neefektyvūs, o gamyba lėta ir brangi. 1856 m. Henry'is Bessemeris sugalvojo veiksmingesnį būdą, kaip pasitelkus deguonį sumažinti geležyje anglies kiekį. 1856 m. jis paskelbė straipsnį „Kaliojo ketaus ir plieno gamyba be kuro". Reikia prisiminti, kad pudlingavimo krosnyse skystas ketus buvo veikiamas deguonies turinčiais fliusais. Bessemeris panaudojo pigiausią deguonies formą, t. y. įprastą orą, kuriame yra apie 21 % deguonies. Jis sukūrė kriaušės formos talpą – *konverterį*, kuriame pro išlydytą metalą buvo pučiamas oras (6.14 pav.). Konverteriui



6.14 pav. H. Bessemerio konverteris (Bessemer Converter (PSF).jpg.)

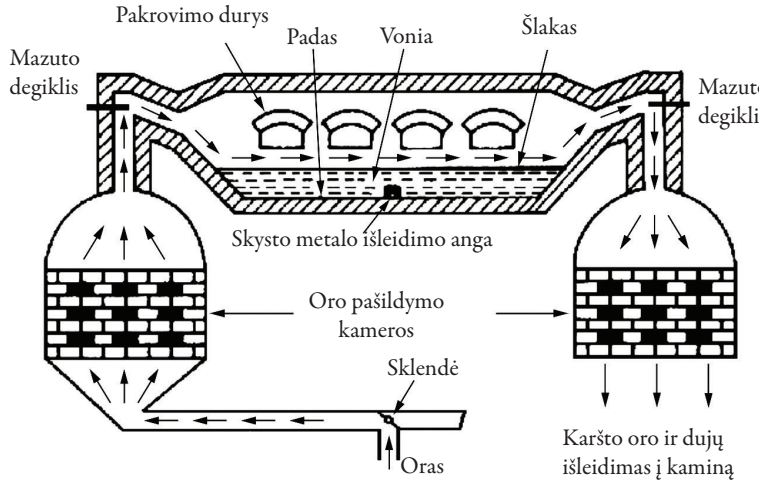
panaudota rūgštinė (dinaso plytų) iškloja. Deguonies ir anglies reakcija buvo egzoterminė, t. y. jos metu buvo generuojama daug šilumos, ir metalo temperatūra pakildavo. Šiame eksperimentiniame konverteryje per 30 min. buvo galima apdoroti apie 350 kg geležies, o norint nuanglinti 250 kg metalo pudlingavimo krosnyje, reikėjo net dviejų valandų. Procesas buvo greitas ir nebrangus. Anglis ir silicis iš geležies buvo pašalinami per keletą minučių. Iš pradžių šis būdas nebuvo visiškai sėkmingas, nes iš metalo buvo pašalinama daug anglies, o deguonies (įvairių oksidų pavidalu) jame likdavo per daug. Maždaug tuo pačiu metu britų metalurgas Robertas Mushetas, bandydamas geležies, anglies ir mangano lydinius, nustatė, kad manganas pašalina deguonį iš išlydytos geležies. Bessemeris šį atradimą pritaikė savo konversijos procese. Jis naudojo ketų, gaunamą iš Velso rūdų, kuriose buvo mažai fosforo. Vis dėlto bandant šį procesą pritaikyti Vokietijoje, paaiškėjo, kad jo metu negalima pašalinti metale esančio fosforo, o metalas su fosforu yra labai trapus.

Thomo procesas. Fosforas iš ketaus pudlingavimo krosnyse buvo pašalinamas lengvai, o ketų perdirbant Bessemerio konverteryje jo pašalinti nepavykdavo. 1879 m. velsietis Sidney Gilchristas Thomas surado būdą, kaip iš skysto

ketaus pašalinti fosforą. Savo konverteryje Thomas naudojo dolomito plytų išklojį. Dolomito kalcis, jungdamasis su fosforu, jį šalino. Fosforingas šlakas buvo naudojamas žemės ūkyje kaip trąša. Taip per trumpą laiką buvo sukurti du svarbiausi plieno gamybos procesai: rūgštinis Bessemerio procesas, tinkantis perdirbti befosforį ketų, ir bazinis Thomo procesas, skirtas fosforingam ketui perdirbti. Konverterių talpa siekė 250 t, našumas – iki 7 000 t plieno per parą. Konverterinio lydymo privalumai: didelis našumas, nesudėtinga konverterių konstrukcija, nereikia kuro, pigesnė plieno gamyba. Šio lydymo būdo trūkumai: negalima perlydyti metalo atliekų, naudojamas tik tam tikros cheminės sudėties ketus, nudega daug metalo, sunku gauti norimos sudėties plieną, pagaminamas tik paprastos kokybės plienas. Pradėjus naudoti šiuos abu procesus, 1867–1884 m. plieno kainos sumažėjo daugiau nei 80 %.

Siemenso-Martino procesas. Vokiečių kilmės anglų inžinierius Carlas Wilhelmas Siemensas 1860-aisiais sukūrė plieno gamybos seklioje krosnyje procesą. Siemenso pasiūlytas procesas pirmą kartą buvo panaudotas 1863 m. Prancūzijoje (6.15 pav.). Siemenso-Martino būdu gaminant plieną naudojamas ne tik perdirbamasis ketus, bet ir visos metalurgijos gamyklų atliekos bei metalo laužas. Martino (Marteno) krosnis – liepsninė regeneracinė krosnis, joje deginamas aukštakrosnių, kokso gamybos kuras, gamtinės dujos arba mazutas. Įkrovą sudaro luitinis arba skystas perdirbamasis ketus, fliusai, ferolydiniai, geležies rūda ir metalo laužas. Į krosnį pučiamas oras arba deguonis ir vyksta anglies ir priemaišų oksidacija. Martino krosnių talpa siekia 900 t, plieno lydymas trunka 4–8 val. Lydymo metu galima kontroliuoti ir koreguoti lydomo plieno sudėtį ir savybes. Kai kuriose šalyse apie pusę viso gaminamo plieno sudaro marteninis plienas. Martino krosnyse išlydomas kokybiškas anglinis ir vidutiniškai legiruotas plienas. Jis naudojamas įvairiems valcuotiems profiliams, bėgiams, mašinų ir mechanizmų detalėms, statybinėms konstrukcijoms gaminti.

1878 m. Carlas Siemensas plieno gamybai pasiūlė naudoti elektros krosnis, tačiau šis siūlymas dar buvo per daug ankstyvas. Jo eilė atėjo tik Pirmojo pasaulinio karo metu, kai reikėjo perlydyti didžiulį susikaupusio metalo laužo kiekį. Šios problemos negalėjo išspręsti nei Bessemerio konverteriai, nei Siemenso-Martino krosnys, o elektros lydkrosnės tą darbą atliko puikiai. Elektrinėse krosnyse lydomas aukštos kokybės, gerų savybių



6.15 pav. Siemenso-Martino proceso plieno perdirbimo krosnis (types-of-furnaces-open-hearth-1490460.html.)

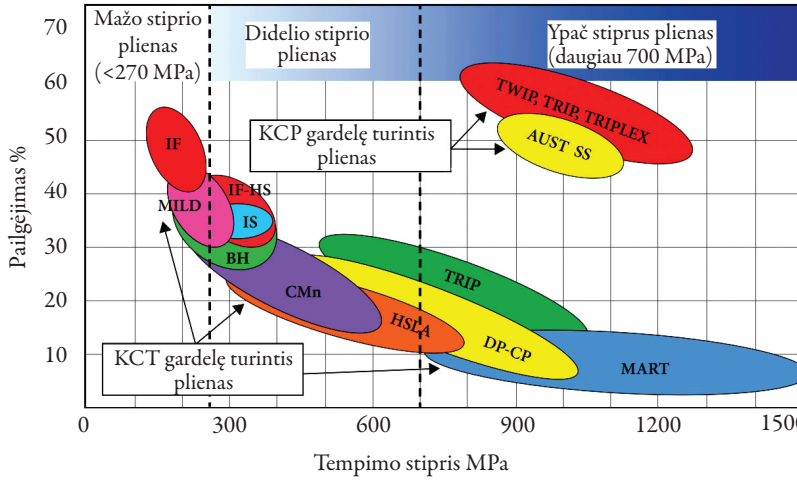
anglinis ir legiruotas plienas. Šios krosnys būna varžinės, lankinės ir indukcinės. Elektrinių krosnių įkrova yra plieno laužas, geležies rūda, nuodegos. Perdirbamasis ketus naudojamas tik labai anglingam plienui gauti. Elektrinėse krosnyse pagamintas plienas naudojamas rutuliniams ir ritininiams guoliams, įrankiams, atsparioms detalėms. Nors elektrinėse krosnyse pagaminamas labai kokybiškas anglinis ir legiruotasis plienas, tačiau lydymui sunaudojama daug elektros energijos, todėl gaminamo plieno kaina yra didelė.

Legiruotasis plienas. Iki 1856 m. buvo tik du svarbūs geležies gaminiai – ketus ir mažaanglė geležis. Tuo metu jau buvo žinomas ir mažaanglis plienas, tik jo gaminta labai mažai. Bessemerio procesas pridėjo ketvirtąją grupę – anglinį plieną. 1868 m. pasirodė penktoji plieno grupė – legiruotasis plienas. Geležies ir plieno pjaustymui buvo tik vienas įrankis – grūdintas anglinis plienas. Grūdinimas atliekamas dviem veiksmais: pirmiausia plienas įkaitinamas iki vadinamosios austenitinės būsenos ir greitai aušinamas, dažniausiai vandens vonioje. Taip apdorotas plienas tampa labai kietas ir trapus. Trapumą galima sumažinti pakaitinus iki kelių šimtų laipsnių ir vėl jį ataušinus. Anglinis plienas gali būti vėl suminkštintas ir vėl užgrūdintas. Pjaunant mašininiu

būdu (tekinant, gręžiant) įrankis labai greitai įkaista ir įrankio plienas, įkaitęs iki 200 °C, savaime minkštėja. Dėl šios priežasties ribojamas anglinio plieno įrankių pjovimo greitis ir gylis.

1900 m. buvo sukurtas volframu legiruotas plienas – *greitapjovis plienas*. Greitapjovio plieno nereikia grūdinti vandenyje, jis sukietėja paliktas aušti atvirame ore. Atšipusius tokio įrankio ašmenis galima nušlifuoti. Svarbiausia šio plieno savybė – išlaiko didelį kietumą (64–67 HRC) įkaitintas iki 550–600 °C. Šios plieno rūšys naudojamos ir šiandien. Britų metalurgas Robertas Hadfieldas 1887 m. sukūrė stiprų ir ypač atsparų dilimui plieną, dabar vadinamą Hadfieldo plienu. Jame yra 1,2 % anglies ir 12 % mangano. Naudojamas geležinkelio kryžmėms, uolienų trupinimo mašinoms gaminti. Pakartotinės smūginės apkrovos šį plieną daro dar kietesnį.

Nerūdijantis plienas buvo sukurtas 1913 metais. Ieškant tinkamesnio plieno šautuvų vamzdžiams buvo pastebėta, kad vieno plieno neveikia rūgštis – jis nekoroduoja. Eksperimentiniame pliene buvo beveik 13 % chromo. Laikui bėgant tam tikrais tikslais buvo sukurta keletas skirtingų nerūdijančio plieno rūšių. Nerūdijantis plienas yra skirstomas į keturias grupes: *austenitinį* (geležies-chromo-nikelio lydinys, nemagnetinis, sudaro daugiau kaip 65 % viso pasaulyje naudojamo nerūdijančio plieno kiekio), *feritinį* (geležies-chromo lydinys, magnetinis), *martensitinį* (geležies-chromo lydinys, magnetinis) ir *dupleksinį* (geležies-chromo-nikelio lydinys, kombinuota feritinio-martensitinio plieno struktūra, magnetinis). Viena iš dažniausiai pasitaikančių plieno rūšių yra legiruotas plienas su 18 % chromo ir 8 % nikelio. Nerūdijantis plienas naudojamas buityje, chemijos pramonėje, medicinoje, branduolinėje energetikoje, kriogeninėje technikoje ir kitur. Viena iš pirmųjų sričių, kur buvo panaudotas nerūdijantis plienas, buvo statybos pramonė. 1930 m. nerūdijančio plieno lakštais buvo padengtas Niujorko „Chrysler Building“ dangoraižio stogas. Šis plienas plačiai naudojamas ir fasado apdailai – Kvala Lampūro bokštų-dvynių fasado apdailai sunaudota 83 500 m^2 nerūdijančio plieno lakštų. Fasado apdailoje nerūdijančio plieno yra daugelyje kitų žinomų pasaulio dangoraižių. Lietuvoje vienas iš žymiausių pastatų, kurio fasado apdailai buvo panaudotas nerūdijantis plienas, – Swedbank administracinis pastatas Vilniuje. Dabartinės plieno raidos tendencijos pavaizduotos 6.16 pav.



6.16 pav. Įvairių plieno klasių mechaninių savybių palyginimas (AUST SS – austenitinis nerūdijantis, TWIP – dvylinkių sukelto plastiškumo, TRIP – struktūrinių virsmų sukelto plastiškumo, TRIPLEX – Fe-Mn-C-Al (8%), IF – beveik neturintis įterptų kietųjų fazių, IF-HS – šaltai valcuotas, atkaitintas ir neturintis įterptų kietųjų fazių, IS – mažaanglis orientuoto grūdo, BH – termiškai kietinamas, CMn – anglies mangano, HSLA – didelio stiprio mažai legiruotas, DP-CP – dvifazis-kompleksinių fazių, MART – martensitinis mažaanglis) (Ozgowicz et al. 2012)

ŠIUOLAIKINĖ PLIENO GAMYBA

Plienas sudaro iki 95 % viso pagaminto metalo. 2000 m. pasaulyje pagaminta apie 700 mln. tonų plieno, o jau 2018 m. metinė plieno gamyba pasiekė 1 808,6 mln. t, tai yra kiekvienam planetos gyventojui kasmet buvo pagaminama apie 250 kg plieno (6.17 pav.). Daugiausiai plieno pagaminama deguoniniu konverteriniu procesu, kuriam reikia daug gryno deguonies, o jis konverterių atsiradimo laikmečiu dar nebuvo gaminamas pramoniniu būdu. Didžioji plieno dalis liejama nepertraukiamo liejimo įrenginiais. Dujiniu-deguoniniu pjaustymo būdu liejinys pjaustomas į stačiakampės formos luitus – *sliabus*. Pirmasis nepertraukiamo liejimo įrenginys buvo pastatytas 1946 m. Bradforde (D. Britanija).



6.17 pav. Plieno gamybos įmonė Pensilvanijoje (JAV) (Bethlehem Steel.jpg.)

Plieną gaminančių ir naudojančių šalių ekonomikai ši gamyba yra labai svarbus pažangos rodiklis. Šiandien geležies ir plieno gamybos technologija yra tarptautinė. Plienas lydomas 45 pasaulio valstybėse. Kol kas pasaulyje geležies rūdos atsargos dar neišsemtos, tačiau vis dažniau tenka perdirbti mažiau geležies turinčias rūdas. Šiuo metu Europos ir kai kurioms kitoms pasaulio šalims, vykdančioms geležies gamybą, ekonomiškai naudingiau importuoti aukštos kokybės geležies rūdą iš užsienio šalių. Dabar geležies gamyboje vyraujančios rūdos sudėtyje yra apie 60 % geležies. Pastaraisiais metais dideli geležies rūdos telkiniai surasti Afrikoje, Australijoje, Kanadoje ir Pietų Amerikoje. Kartais geležies rūda transportuojama šimtus kilometrų geležinkeliu, dar šimtus ar tūkstančius kilometrų vandens transportu. Pervežimų mastas yra milžiniškas. Pavyzdžiui, geležies rūda (hematitas) iš Mauritanijos rūdyno Federiko gyvenvietėje Vakarų Sacharoje geležinkeliu gabenama 704 km į Atlanto vandenyno uostą Nuadibu. 200–210 krovininių vagonų geležinkelio sąstato ilgis siekia 2,5 km. Į kiekvieną vagoną pakraunama 84 t geležies rūdos, toks sąstatas per vieną reisą perveža 16 800–17 600 t rūdos. Plieno gamyba telkiasi prie giliavandenių uostų, į kuriuos gali įplaukti 100 000 t ir daugiau rūdos plukdantys transportavimo laivai.

Šiandien granuliuotas geležies rūdos aglomeratas sudaro daugiau kaip 97 % visų aglomeruojamų metalurgijos produktų, nes aukštakrosnės, naudojančios granuliuotą įkrovą, yra daug veiksmingesnės. Granulėse gali būti silicio

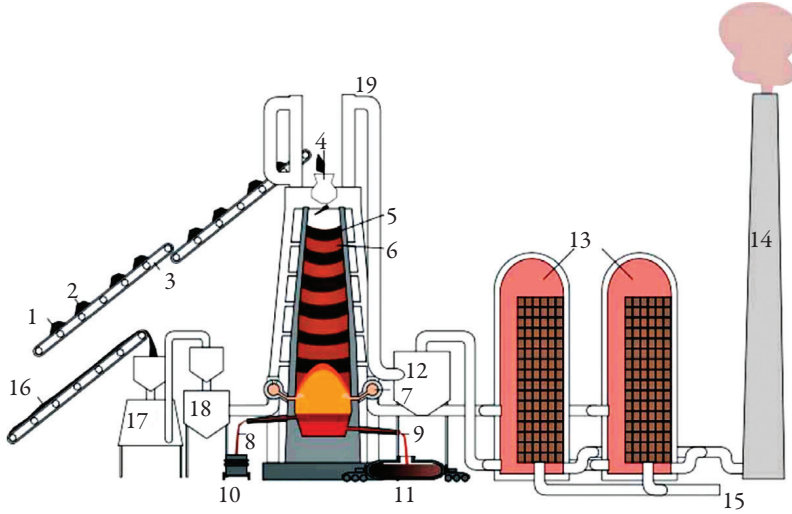
dioksido, aliuminio ir magnio oksidų, mangano, fosforo, sieros, klinčių arba dolomito. Mineralinės medžiagos iš pradžių smulkinamos ir maišomos. Iš mišinio specialios granuliavimo mašinos gamina granules, kurios dar apdorojamos termiškai, kad būtų tvirtesnės. Įprasto 10–12 mm skersmens granulėse būna ne mažiau kaip 60 % geležies (6.18 pav.).



6.18 pav. Lydymui paruoštas granuliuotas geležies rūdos aglomeratas (TaconitePellet.JPG.)

Aukštakrosnės veikimo principai kito mažai ir jos yra panašios į XIX a. aukštakrosnes. Senosios aukštakrosnės per savaitę pagamindavo apie 100 t ketaus. Moderni aukštakrosnė gali pagaminti 10 000 t ketaus per dieną (6.19 pav.). Tokios aukštakrosnės įkraunamos mechaniškai ir turi kompiuterizuotą valdymą. Ketaus perdirbimo į plieną Bessemerio procesas beveik nebenaudojamas. Paskutinis britų Bessemerio konverteris buvo uždarytas 1966 metais. Daugiausiai ketaus perdirbama į plieną deguoniniu konverteriniu procesu. Pirmą kartą šis procesas pradėtas naudoti Austrijoje 1953 metais. Jis panašus į Bessemerio procesą, tačiau vietoje oro į konverterį iš viršaus pučiamas grynas deguonis. Procesas vyksta labai greitai: 300 t ketaus paverčiama plienu maždaug per trisdešimt minučių. Konverteris sunaudoja didžiulį kiekį deguonies, todėl šalia konverterių cecho būna deguonies skystinimo gamykla. Proceso metu išsiskiriantį didžiulį kiekį dujų, atsižvelgiant į šiuolaikines kovos su tarša taisykles, reikia valyti, nukenksminti ir tik tuomet išleisti į atmosferą.

Mažesnėse plieno gamybos bendrovėse plienas išpilstomas į liejimo formas – gaunami kvadratinio skerspjūvio (bliumai) ir stačiakampio skerspjūvio (sliabai) plieno luitai. Luitų masė nuo 45 kg iki 20 tonų. Valcavimo būdu luitai perdirbami į įvairius profilius. Dabartiniu metu didelėse bendrovėse vyksta nepertraukiamas metalo liejimas. Skystas plienas pilamas į atvirą priimtuvą, iš kurio teka į kvadratinio ar stačiakampio formos varinį kristalizatorių. Vandeniu aušinamame kristalizatoriuje skystas metalas greitai



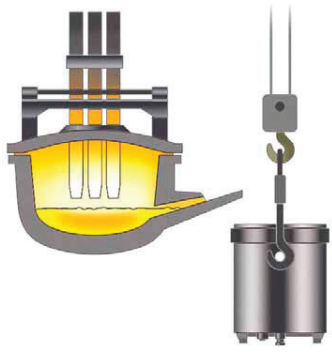
6.19 pav. Aukštakrosnės sandara: 1 – geležies rūdos ir fliuso įkrova; 2 – koksas; 3 – konvejerinis keltuvas; 4 – žaliavos įkrovimo įtaisai; 5 – kokso sluoksnis; 6 – rūdos ir fliuso granulių sluoksnis; 7 – karšto oro (apie 1 200 °C) pūstuvai; 8 – šlako išleidimo anga; 9 – ketaus išleidimo anga; 10 – šlako surinktuvas; 11 – skysto ketaus pervežimo platforma; 12 – kietų dalelių atskyrimo iš dujų ciklonas; 13 – oro šildymo kauperiai; 14 – kaminas; 15 – oro tiekimo į kauperius vamzdynai; 16 – smulkinta akmens anglis; 17 – kokso gamybos įrenginys; 18 – koksas; 19 – aukštakrosnės dujų surinkimo vamzdynai (Blast furnace NT.PNG.)

kristalizuojasi. Sukietėjęs metalas toliau aušinamas vandeniu, kol pasiekia dujinio-deguoninio pjaustymo įrenginį. Čia tolygiu greičiu slenkantis metalo liejinys pjaustomas į tolesniam valcavimui reikiamo dydžio gabalus.

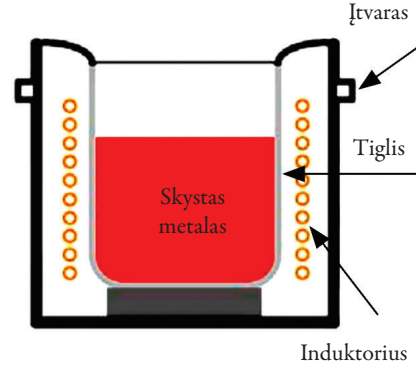
Valcuoti platūs plieno lakštai naudojami automobilių kėbulams, viryklėms, šaldytuvams, skalbimo mašinoms, vamzdžiams ir kitiems pramonės ir namų ūkio gaminiams. Sliabo luitas, įkaitintas iki valcavimui reikalingos temperatūros (daugiau negu 900 °C), leidžiamas per eilę valcavimo sekcijų pasiekia reikalingą storį. Valcuota juosta vyniojama į kelias tonas sveriančius ritinius ir merkiama į rūgšties vonias, kuriose nuo metalo paviršiaus nuvalomi oksidai. Nuvalytas metalas dar kartą valcuojamas šaltuoju būdu. Baigtas valcuoti metalas išvyniojamas ir pjaustomas į siauresnes juostas arba

lakštus. Priklausomai nuo naudojimo paskirties juostos gali būti alavuojamos (konservų pramonei), cinkuojamos, dengiamos polimerine danga ar dažomos. Juostos ar plokštės gali būti dengiamos iš vienos ar abiejų pusių. Dengiant polimerine medžiaga ar dažant galima rinktis skirtingas spalvas. Juostinio plieno storis iki 3 mm, storesnis plienas jau yra lakštinis. Profilinis plienas gaminamas labai dideliu greičiu, todėl gaminių kokybę nepertraukiamai seka kompiuterizuota gamybos kontrolė.

Šiandien daugelis lydinių iš specialių rūšių plieno lydomi elektrinėse krosnyse. Jos būna dviejų tipų: lankinės ir indukcinės. Lankinėse lydymo krosnyse metalas lydomas šiluma, kuri išsiskiria degant elektros lankui. Metalas lydomas ugniai atsparios išklojos inde. Išlydytas plienas, mechaniniu būdu pavertus lydymo krosnį, išpilamas į liejimo formas (6.20 pav., 6.21 pav.). Elektrolankinės lydymo krosnys būna nuo kelių tonų iki 150 t talpos ar didesnės. Pirmąją indukcinę krosnį 1887 m. pasiūlė italas S. Farranti, tačiau iki praktinio jos naudojimo praėjo daug laiko. 1890 m. bendrovė „Benedicks Bultfabrik“ bandė panaudoti šią technologiją, tačiau tuo metu nebuvo galingų elektros srovės šaltinių, todėl indukcinėje krosnyje buvo lydomi tik maži metalo kiekiai. Padėtis pradėjo keistis XX a. pradžioje, kai buvo sukurti galingi generatoriai ir aukšto dažnio srovės šaltiniai. Pramoninis elektroindukcinis lydymas pradėtas naudoti tik 1927 m. D. Britanijoje. Kintama



6.20 pav. Elektrolankinė lydymo krosnis (Electric Arc Furnace.svg.)



6.21 pav. Indukcinio lydymo krosnies schema (induction_furnace.png.)

elektros srovė lydomame metale indukuoja antrines sroves, kurios įkaitina įkrovą iki lydymosi temperatūros. Indukcinės lydymo krosnys naudojamos ypatingoms ir brangioms legiruotojo plieno rūšims gaminti. Jų talpa gali būti nuo kelių kilogramų iki 5 ar daugiau tonų.

Elektros krosnyje nenaudojamas kuras, todėl gamybos metu plienas neturėtų būti užteršiamas. Deja, ore esančios dujos gali tirpti pliene, oksiduoti legiruojančius elementus ir užteršti plieną nemetaliniais junginiais. Geriausios kokybės plienas gaunamas lydant vakuuminėse indukcinėse krosnyse. Iš pradžių metalas lydomas paprastoje elektrinėje lydymo krosnyje, o vėliau perlydomas vakuuminėje indukcinėje krosnyje.

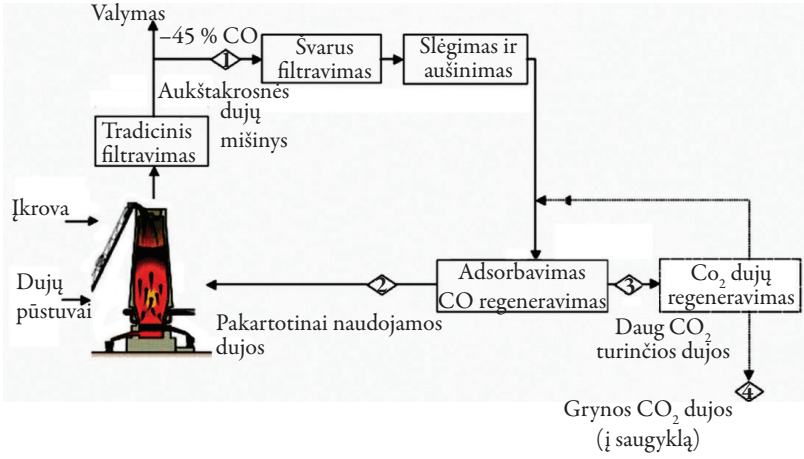
GELEŽIES GAMYBOS ATEITIS

Praeitame šimtmetyje ne kartą buvo skelbiama, kad geležį pakeis polimerinės medžiagos, dar vėliau – kompozicinės, keraminės medžiagos. Šios naujos medžiagos įsitvirtino pasaulyje, užėmė tam tikrą nišą, tačiau plieno užimamų pozicijų nesumenkino. Dar daugiau, pastarųjų metų pasaulio technologinė plėtra rodo plieno naudojimo ir gamybos augimą. Tūkstančiai kilometrų dujų, naftos, kitų skysčių ir birių medžiagų transportavimo vamzdynų, milžiniški laivai, tanklaiviai, tiltai, dangoraižiai, transporto infrastruktūra ir priemonės, žemės ūkio technika, naudingųjų iškasenų gavyba ir perdirbimas ir kitos žmogaus veiklos sritys yra sunkiai įsivaizduojamos ar visiškai neįmanomos be plieno. 1856 m. Henry'io Bessemerio išrastas konverterinis ketaus perdirbimo į plieną būdas buvo prielaida pramoninei revoliucijai, nes turint daug ir nebrangaus metalo buvo galima labai pigiai ir greitai pagaminti geležinkelio bėgius, garo mašinas ir įvairius kitus įrenginius, įrankius ar metalo ruošinius. Šalia geležies rūdos ir akmens anglies turtingų vietovių išaugo milžiniškos plieno gamybos įmonės, kurias supo greitai augantys miestai ar darbininkų gyvenvietės. Pavyzdžiui, 1883 m. pradėjo veikti didžiulis Felklingeno (Völklingen) liejyklų kompleksas Vokietijoje. Ištisą šimtmetį tai buvo didžiausia Vokietijos metalo lydymo gamykla, kuri 1986 m. galiausiai buvo sustabdyta. Sunkiai suvokiamo dydžio ir sudėtingumo industrinė estetika stačiai pakeri: šešios milžiniškos aukštakrosnės, didžiulė kokso gamybos baterija, neaprėpiamos pastatų erdvės, gigantiški skysto metalo pilstymo kaušai ir ventiliatoriai. Ne veltui šis kompleksas

buvo ir yra laikomas techninės inžinerijos stebuklu. Tokių jau nebedirbančių geležies ir plieno gamybos įmonių Europos Sąjungos šalyse XX a. pabaigoje labai padaugėjo, nes plieno gamyba persikėlė į Pietryčių Aziją, Lotynų Ameriką ir kitus pasaulio regionus. Europoje išlieka tik labai aukštos kokybės inovatyvių rūšių plieno gamyba. Pastaruosius dešimtmečius plieno gamybos sektoriuje išspręsta daug aštrių šių dienų problemų. Energijos sąnaudos plieno gamyboje ir CO_2 dujų išmetimas per pastaruosius 40 metų sumažėjo apie 50 %. Didinant plieno stiprį bei gaminant specialaus profilio valcuotus gaminius, pavyko apie 35 % sumažinti autotransporto priemonių svorį, naujos plieno rūšys daug pagelbėjo statybos pramonėje diegiant energiją taupančias, ją sulaikančias ir saugojančias technologijas. Pasauliniai susitarimai dėl taršos mažinimo verčia plieno gamintojus mažinti gamybos teršalų kiekį. Plieno gamyba išskiria 6–7 % pasaulinės CO_2 emisijos, o su kalnakasyba ir medžiagų transportavimu – net 10 %. Labai mažai CO_2 išmetanti į aplinką plieno gamyba orientuojama trimis kryptimis, viena iš kurių nukreipta anglies, išmetamos į atmosferą proceso metu, sulaikymui, kaupimui ir laidojimui. Viena iš naujų technologijų, sprendžianti anglies išmetimo, sulaikymo ir taršos mažinimo problemas ir galinti būti plačiai įdiegta, yra TGR-BF (*Top Gas Recycling Blast Furnace*) (6.22 pav.). Šią technologiją galima pritaikyti esamuose plieno gamybos įrenginiuose ir apie 15 % sumažinti bendrąsias energijos sąnaudas.

Svarbiausi ekonomikos sektoriai, kurie naudodami pažangesnes plieno rūšis gali sumažinti šiltnamio efektą keliančių dujų emisiją, yra statybinių konstrukcijų gamyba, statybos, transportas, energetinių resursų gavyba (naftos, dujų) ir energijos gamyba (naudojant neatsinaujinančius ir atsinaujinančius energijos šaltinius).

Aukštakrosnės vis labiau tampa savo sėkmės auka. Per pastarąjį dešimtmetį Azijoje (ypač Kinijoje) didėjant aukštakrosnių gamybos pajėgumui, smarkiai išaugo žaliavų paklausa ir jų kaina. Dabartinės plieno gamybos technologijos grindžiamos anglies, gamtinių dujų, anglies ir vandenilio mišinių kuro naudojimu arba procesais elektrolankinėse krosnyse. Gamybinę CO_2 dujų emisiją būtų galima mažinti gaminant geležį elektrolizės būdu, taikant vandenilinį geležies rūdos redukavimą ar anglies dioksido surinkimo ir saugojimo (*Carbon Capture and Storage*) technologijas. Pastaruoju metu geležies gamybos technologijos tobulinamos šešiomis kryptimis:



6.22 pav. Į aplinką neišmetančios CO_2 dujų aukštakrosnės veikimo principinė schema

– Aukštakrosnės dujų reciklavimo technologija, sutrumpintai vadinama TGR-BF arba ULCOS-BF. Aukštakrosnės dujos surenkamos, iš jų atskiriamos CO_2 dujos ir dulkės. Išvalytos degiosios dujos sumaišomos su grynu deguonimi ir vėl grąžinamos į aukštakrosnę. CO_2 dujos suskystinamos ir laidojamos giliose šachtose.

– Rūdos redukavimas karštų dujų ciklone (Hisarna technologija). Procesui taip pat naudojamas grynas deguonis, susidariusios dujos yra beveik paruoštos ilgalaikiam saugojimui.

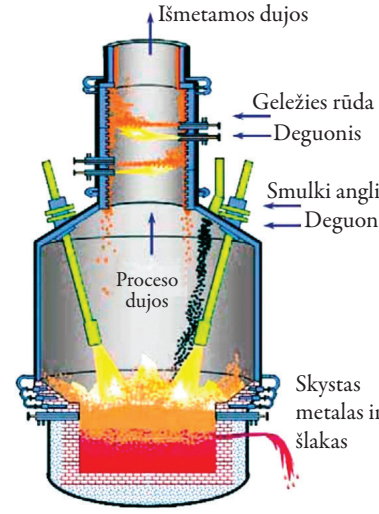
– Tiesioginis rūdos redukavimas šachtinėse krosnyse naudojant gamtines ar anglies dujofikavimo dujas. Iš bendro dujų srauto išskirtos ir išvalytos degiosios dujos (CO, H_2) paduodamos į oro pašildymo ar kitus technologinius įrenginius ir ten sudeginamos. Atskirtos CO_2 dujos skystinamos ir saugomos.

– Geležies gamyba elektrolizės būdu. Yra du proceso variantai. Pirmuoju atveju procesas vyksta šiek tiek aukštesnėje negu 100 °C temperatūroje. Smulkinta geležies rūda beriama į šarminę vonią. Antruoju atveju procesas vyksta geležies lydymosi temperatūroje išlydytų druskų elektrolite (piroelektrolizė).

– Geležies rūdos redukavimas vandenilio dujomis.

– Geležies redukavimas vietoje kokso naudojant biomasę. Medžio anglis gaminama iš tropinėse šalyse auginamų eukaliptų.

Hisarna technologija. 2010 m. Švedijoje buvo pastatyta Hisarna technologijos bandomoji gamykla, galinti pagaminti 65 000 t ketaus per metus. Technologija grindžiama šiais principais: galima naudoti ne tik akmens anglį, bet ir kitas kuro rūšis; procesui tinka neturtingos geležies rūdos; lengva sulaikyti didžiąją dalį CO_2 dujų ir jas nukreipti ilgalaikiui geologiniam saugojimui; procesui reikia apie 20 % mažau energijos.

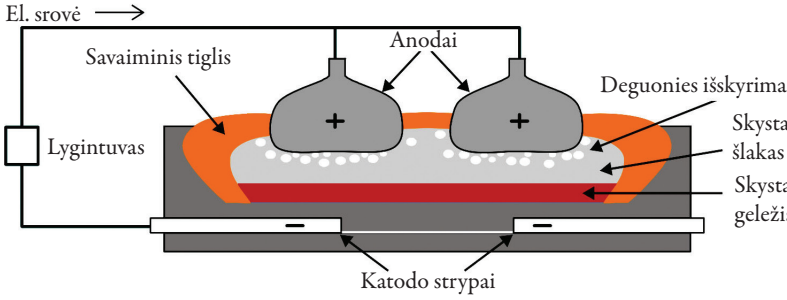


6.23 pav. Hisarna koncepcijos lydymo krosnis (Atkinson 2008)

Susmulkinta geležies rūda, deguonis ir išvalytos proceso dujos įpurškiami į cikloninę krosnį (6.23 pav.). Apie 1 450 °C temperatūroje aplydyta ir iš dalies redukuota (10–20 %) rūda slenka į žemutinę krosnies dalį. Į šią zoną azoto dujomis purškiama smulki anglis. Skystas metalas 1 400–1 450 °C temperatūroje prisisotina anglimi iki 4,0 %, jame beveik nėra silicio ir labai mažai mangano. Fosforas ir titanas daugiausia pereina į šlaką. Proceso metu susidaro dujų mišinys, kuriame yra CO_2, CO, H_2 dujų ir vandens molekulių.

PLIENO PIROELEKTROLIZĖ

Geležies ir plieno pramonė į aplinką išmeta beveik 5 % visų dėl žmogaus veiklos susidarančių šiltnamio dujų ir didžiąją dalį sieros dioksido dujų, kurios sukelia rūgštųjį lietų. Skirtingai nuo dabartinių plieno gamybos technologijų, plieno pirolizės proceso metu išskiriamas tik deguonis. Iš geležies rūdos išskirtas geležies oksidas tiekiamas į elektrolizės cele vadinamą reaktorių, kuriame kartu su kitais oksidais yra ištirpinamas (6.24 pav.). Tekant elektros srovei prie katodo



6.24 pav. Piroelektrolizinės plieno gamybos schema (Atkinson 2008)

skiriasi gryna geležis. Šalutinio elektrolizės produkto (deguonies) burbuliukai renkasi prie anodo. Piroelekrolizės metu gautas metalas yra labai švarus, jame mažai ar visiškai nėra sieros. Deja, procesui reikia daug elektros energijos, kuri kol kas daugiausia gaminama deginant anglis ir taip teršiant CO_2 dujomis atmosferą. Ši pažangi technologija vis dar yra ankstyvoje tyrimų stadijoje.

GELEŽIES LYDYMAS LIETUVOJE

Geležies lydymas Lietuvos teritorijoje turbūt prasidėjo prieš mūsų erą ir pirmojoje mūsų eros tūkstantmečio pusėje. Geležies dirbiniai Lietuvoje atsiranda I tūkstantmečio pr. m. e. viduryje. Geležies amžius Lietuvoje skirstomas į ankstyvąjį, senąjį, vidurinį ir vėlyvąjį. Ankstyvajame geležies amžiuje Lietuvoje ir kaimyniniuose kraštuose pasigaminti geležies dar nemokėta. Ilgą laiką geležiniai dirbiniai buvo tik atvežtiniai. Nors gerai padaryti žalvario įrankiai savo tvirtumu ir naudingumu dar ilgai lenkė geležinius, tačiau tuometinei metalurgijai Lietuvoje prielaidas davė Lietuvoje randama geležies (balų) rūda. Istoriografijoje senojo geležies amžiaus pradžios Lietuvos teritorijoje sąlyginė riba laikomi 550–500 m. pr. m. e. Per istoriškai trumpą laikotarpį iš vietinės balų rūdos išmokta išgauti geležį, kurios dirbiniai pamažu tapo ypač svarbūs kasdieniniame gyvenime. V–IX a. Lietuvos kalviai darė apie 30 geležinių dirbinių rūšių ir tai sudarė net iki 90 % vietinės gamybos. Archeologai surinko nemažai informacijos apie rūdos telkinius Lietuvos teritorijoje ir jų naudojimą (6.25 pav.).



6.25 pav. Svarbiausios Lietuvos geležies lydymo artefaktų radavietės (I tūkst. pr. m. e – I m. e. tūkst.) (Salatkienė 2008)

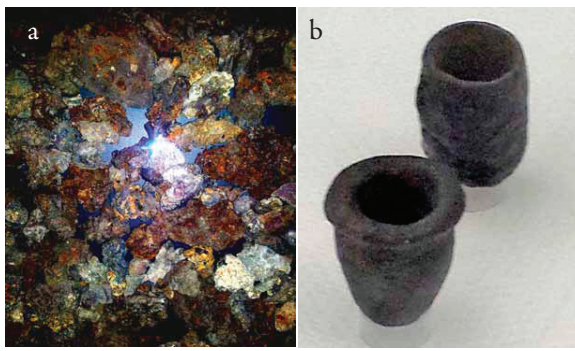
Paskutiniųjų šimtmečių pr. m. e. gyvenviečių sluoksniuose randama geležies lydymo šlako, geležinių daiktų ir jų nuolaužų. Šie radiniai rodo, kad tuo metu pradėta vietoje gaminti geležį, iš jos kalti peilius, ylas, žvejybos kabliukus, net papuošalus. Geležies lydymo rūdnelių liekanų aptikta II–IV a. gyvenvietėse. Jose geležį lydydavo iš vietinės balų rūdos su medžio anglimis. Balų rūda – kvartero periodo nuosėdinė uoliena, susiformavusi Šiaurės Rytų Europoje po paskutiniojo ledynmečio. Geležis balų rūdoje atsirado vykstant cheminėms ar biocheminėms reakcijoms, kurių metu susidaro (FeO (OH) junginiai. Upelių ir potvynių vandenys sukūrė šių junginių gamtines sankaupas (6.26 pav.). Archeologai nustatė, kad geležis buvo lydoma ir iš ežerų dugno nuosėdinės rūdos. Hidratuotuose geležies oksiduose yra apie 8,66–17,03 % Fe. Rūdą apdeginus geležies koncentracija padidėja iki 51–58 %. Rūdą kasė vasarą, o lydydavo rudenį ir žiemą. Vienintelis kuras, kuris Lietuvoje galėjo būti



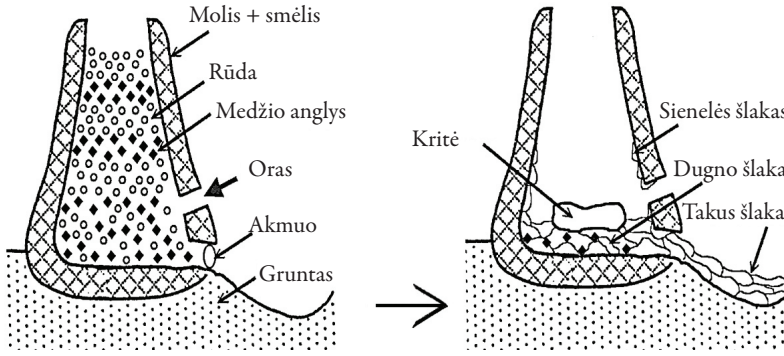
6.26 pav. Balų rūdos susidarymas tekančiame vandenyje

naudojamas lydant geležį krosnyse, buvo medžio anglis. Šiuo metu Lietuvoje daugiau kaip 220 archeologinių vietovių aptikta geležies metalurgijos pėdsakų (6.27 pav., a), 180 vietovių buvo rastas tik metalurginis šlakas, 40 vietovių šalia šlako rasta rūdos kasimo duobių, aplydytos ar neaplydytos rūdos, rūdnelių, tiglių, rūdos plovimo priemonių (6.27 pav., b).

Hidratuota geležies rūda buvo kasama atviru būdu, plaunama vandeniu ant medinių grindų, smulkinama akmeniniais įrankiais ir apdeginama atvira ugnimi sekliose duobėse. Lydymui reikalinga medžio anglis buvo ruošiama apvaliose duobėse arba deginamų malkų krūva buvo padengiama molio sluoksniu. Rūdnelės buvo apvalios, apie 80 cm aukščio ir 30 cm skersmens (6.28 pav.).



6.27 pav. Metalurgija Lietuvoje: a – lydymo šlako gargažė (Kernavės gyvenvietės kasinėjimai), b – keraminiai tigliai, I–XIII a. (Lietuvos nacionalinis muziejus) (A. V. Valiulio nuotr.)



6.28 pav. Geležies gamyba rūdnelėje (Navasaitis 2003: 55)

II–IV a. senojo geležies amžiaus metalurgai naudojo lydymo krosnis su dumplėmis (6.29 pav.). Tokioje krosnyje pasiekiamos 1 200 °C temperatūros dar nepakako geležies lydymui (1 539 °C). Pirminiame gamybos etape susidariusi geležies kritė (kempininė geležis) turėdavo tik apie 50 % geležies, o likusią dalį sudarė įvairūs nemetaliniai intarpai arba šlakas. Vėliau šią geležies kritę kaitindavo žaizdre ir kaldavo. Kalant iš kritės išbirdavo šlako dalelės, o atskiri geležies grūdeliai geležies atomų difuzijos metu susijungdavo į vientisą luitą ir tik tada geležis būdavo tinkama įrankiams gaminti. Iš vietinio metalo buvo gaminami ginklai, kirviai, papuošalai ir kt. (6.30 pav.). Archeologiniai tyrimai rodo, kad tuometiniai amatininkai jau II–IV a. žinojo kalvišką geležies suvirinimą, mokėjo terminiu apdorojimu sukietinti kirvių ašmenis ir iečių antgalius (6.31 pav.).



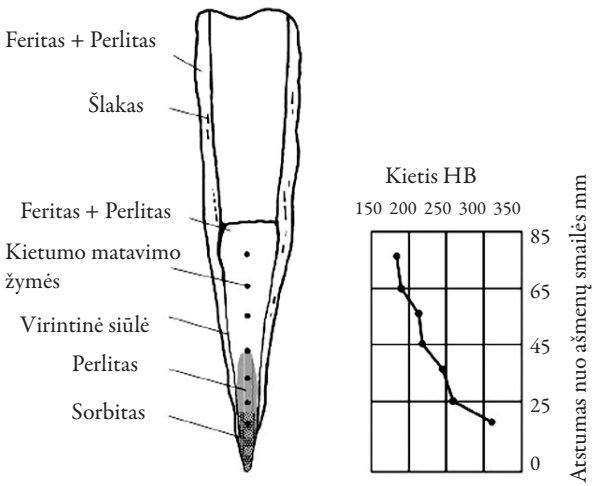
6.29 pav. Kalviško lydymo krosnis ir dumplės (A. V. Valiulio nuotr.)

Geležies rūdos rasta Pietų Lietuvoje, Varėnos kristaliniame pamate (350 m gylyje). Žinomi keturi gana kokybiškos geležies rūdos (geležingumas 47–62 %) telkiniai. Čia aptinkami 4 geležies rūdos tipai, tarp



6.30 pav. Geležies dirbiniai iš vietinių žaliavų: a – geležiniai kirviai (Kernavės muziejus); b – X–XI a. dviašmeniai kardai (Lietuvos nacionalinio muziejaus Senasis arsenalas) (A. V. Valiulio nuotr.)

kurių vyrauja 80–90 % serpentininė magnetinė rūda. Trijuose didžiausiuose telkiniuose yra apie 734 mln. t išteklių. Norint išgauti geležies rūdą, reikėtų įrengti gilias šachtas, jas nusausinti, o tai kainuotų labai brangiai. Ateityje



6. 31 pav. Terminio apdorojimo būdu sukietinti kirvio ašmenys (aut. R. Bendikienė, Marvelės nekropolio kasinėjimai)

galbūt iš šių telkinių bus galima gauti geležį piroelektrolizės būdu, tiesiog pačioje šachtoje.

1962 m. Kaune buvo pastatyta šiuolaikinė ketaus lydymo ir liejinių gamybos gamykla. Joje buvo gaminami pilkojo ketaus liejiniai žemės ūkio mašinoms, statyboms, vandens, dujų, šilumos tiekimo sistemoms ir kt. 1966 m. Kaune pirmą kartą Sovietų Sąjungoje pradėta gaminti sintetinį ketų. Elektrolankinėse krosnyse galima gaminti ketų vien tik iš metalo laužo. Pramoninėje elektrolankinėje krosnyje pasiekiama net 1 800 °C temperatūra. Gamykloje per metus buvo pagaminama 20 000 t liejinių. Liejykla per 90 % savo produkcijos eksportavo į Švediją, Suomiją, Vokietiją, Šveicariją ir Italiją. 1978 m. Panevėžio autokompresorių gamykloje buvo pastatytos elektrolankinio lydymo krosnys ir liejykla. Uždarius Ignalinos atominę elektrinę, nebeliko pigios elektros energijos ir 2009 m. įmonės nutraukė metalurginę gamybą.

7 SKYRIUS
GARO IR MECHANIKOS INŽINERIJOS RAIDA

PIRMOSIOS VANDENS IR GARO MAŠINOS

Yra svarbu suvokti žodžio „inžinierius“ prasmę XVIII ir XIX amžiuje. Iš pradžių taip buvo vadinamas žmogus, kuris statė ar darė sudėtingas karines priemones: katapultas, apgulų bokštus, įtvirtinimus ar kariuomenės stovyklas. XVIII a. Europoje ši sąvoka apėmė ir civilinės veiklos sritį. Inžinieriai projektavo ir statė kanalus, tiltus ir prieplaukas, kelius ir kitus kasdieniam gyvenimui svarbius statinius. Ši profesija labai vertinama kaip aukštos kvalifikacijos veikla, o ne siaura, dažniausiai paveldėta ar išmokta profesija. Pirmieji statybininkai ir „inžinieriai“ dar nenaudojo ar mažai naudojo oro ir vandens energiją kaip darbus palengvinančią priemonę, tačiau arabų, graikų ir Romos imperijos laikais šie gamtinės energijos šaltiniai pradėti naudoti labai plačiai. Senovės filosofai ir mokslo žmonės Persijoje ir Graikijoje suprato šilumos svarbą juos supančiai aplinkai ir jos sąvoką priskyrė prie keturių pagrindinių visatos elementų – žemės, oro, ugnies ir vandens. Išskyrus graikų mokslininką Heroną iš Aleksandrijos, gyvenusį pirmajame m. e. šimtmetyje, kurio darbai buvo hidraulikos mokslo pradžia – kūrė suspaustu oru varomus, žmogaus veiksmus imituojančius prietaisus (sugalvojo vėjo malūno varomus vamzdelinius vargonus), sukūrė garinį šildytuvą ir daug kitų išradimų, parašė veikalą „Pneumatika“ – senovės mokslo pasaulis dar nesuprato, kaip šilumą paversti naudingu darbu. Heronas Aleksandrietis pirmasis aprašė šilumos variklį (gr. *aeolipile*), verčiantį šiluminę garo energiją į mechaninę. Pagal veikimo principą Herono šilumos variklis buvo reaktyvinė garo turbina. Garas, išsiveržiantis iš rutulio formos rotoriaus pro tangentinius lenktus antgalius, suteikdavo rotoriui sukamąjį judesį, priešingą garo srovės išsiveržimo krypčiai.

Šiluma, kaip energijos šaltinis, pradėta naudoti tik sukūrus garo siurblį ir vidaus degimo variklį. Naujasis energijos šaltinis pradėtas naudoti

anksčiau, negu buvo atlikti teoriniai tyrimai ir jų analizė. XVII–XVIII a. D. Britanijoje vykusi pramoninė revoliucija suteikė pagrindą XIX a. industrijai, kurioje buvo naudojama gyvulių, vėjo ir vandens jėga. Arkliai padėjo sukti girnas, pjauti medieną, spausti aliejų ir dirbti kitus darbus.

Vėjo energijos pritaikymas glaudžiai susijęs su vėjo malūnų raida. Vėjo energiją naudojo popieriaus malūnai, vėlyklos, lentpjūvės, įvairių tipų kruopinės, aliejaus spaudyklos, siurblinės, vėjinės žemsemės laivuose ir pan. Pagal sparnų gręžimo į vėją būdus malūnai buvo dvejopi – *stiebiniai* ir *kepuriniai*. Pirmųjų sparnai gręžiami į vėją kartu su visu malūno liemeniu (7.1 pav., a), antrųjų sparnai – tik su viršutine malūno dalimi – kepure (7.1 pav., b). 1750 m. sugalvota, kaip automatiškai orientuoti malūną pagal pučiančio vėjo kryptį ir kaip neleisti jam sukiotis dėl atsitiktinių vėjo šuorų.

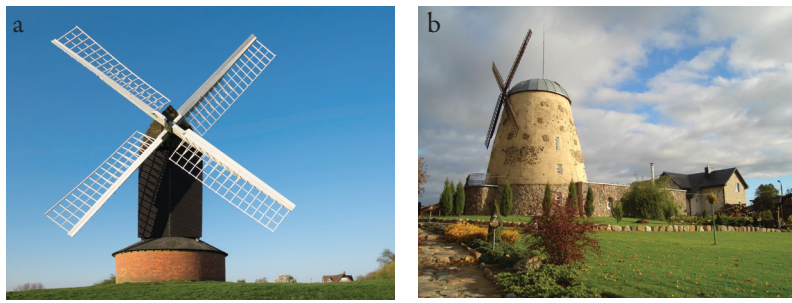
Vandens ratas – tai primityvi vandens turbina, energijos gaminimui naudojanti tekantį arba krentantį vandenį. Vandens ratai buvo trijų tipų:

– apatinio veikimo, kai vanduo tekėdavo po vandens ratu; naudingumo koeficientas iki 35 %;

– viršutinio veikimo, kai vanduo bėgdavo ant rato viršaus; naudingumo koeficientas apie 85 %;

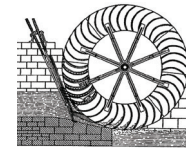
– vidurinio veikimo, kai vanduo tekėdavo į rato šoną; naudingumo koeficientas apie 75 %.

Britas Johnas Smeatonas (1724–1792) ir prancūzas Jeanas-Victoras Ponceletas (1778–1867) sukūrė vandens malūno ratą, kuris efektyviau



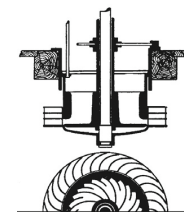
7.1 pav. Stiebinis (a – Brill windmill April 2017.jpg.) ir kepurinis (b – Šeduva windmill.jpg.) vėjo malūnas

išnaudojo vandens energiją (7.2 pav.). Menteles pakeitus kaušeliais, buvo naudojama vandens sunkio jėga, o ne vandens srovė. 1849 m. Ispanijoje 5 m skersmens ir 9 m pločio ratą suko tik iš dviejų metrų aukščio krintantis vanduo, tačiau įrenginys pasiekdavo 180 AG galią. Vandens rato raidos viršūnė buvo (ir yra) reakcinė turbina (7.3 pav.). Prancūzų inžinieriaus Claude'o Burdino (1870–1873 m.) įvestas terminas „turbina" lotynų kalba reiškė *sukti*. Palyginti su vandens rato naudingumu (22 %), prancūzo Benoît Fourneyrono 1826 m. sukurtos turbinos naudingumas siekė 80 % ir tai buvo didžiulis šuolis.



7.2 pav.
J. V. Penceleto vandens ratas (graviūra) (Industrial encyclopedia E.-O. Lami – 1875)

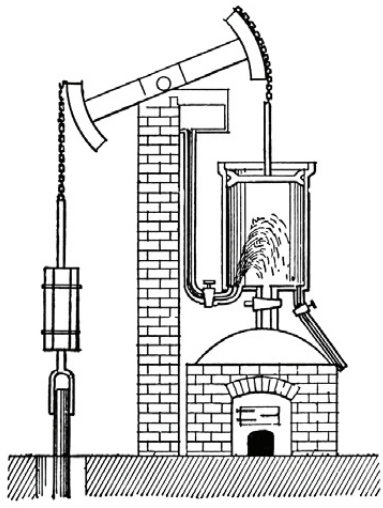
1883 m. švedų inžinierius Carlas Gustafas Patrikas de Lavalis užpatentavo, o 1890 m. pagamino 5 arklio jėgų galios pirmąją pramoninę garo turbiną. Vienos pakopos garo turbina pasiekdavo 25 000 apsukų per minutę ir buvo naudojama išcentriniame pieno separatoriuje.



7.3 pav.
Fourneyrono turbina, 1827 m. (historic-technology/water-turbine-glossary)

PRAMONINĖ REVOLIUCIJA IR GARO PROVERŽIS

Anglų išradėjas Thomas Savery (1650–1715) buvo vienas pirmųjų, kuris veiksmingai panaudojo garo energiją. XVI a. D. Britanijoje, vis daugiau medienos sunaudojant kurui ir plečiantis statybinių medžiagų gamybai, kilo „energijos krizė". Iškirtus miškus, kurui pradėta naudoti akmens anglį, glūdinčią giliai po žeme. Europoje dideliuose kalnakasybos centruose buvo kasama geležis, vario rūda ir akmens anglis. Garo, kaip energijos šaltinio, panaudojimas siejamas su kalnakasybos plėtra. Gilėjant šachtoms, gruntiniai vandenys jas dažnai užliedavo, o vandens šalinimas iš jų žmonėms buvo sunkus ar net fiziškai neįmanomas darbas. Siurbliams sukti buvo naudojami arkliai, tačiau jiems reikėjo daug pašaro, o vandens ratams buvo reikalinga tolygi stipri vandens srovė. Tokį vandens tekėjimą galėjo užtikrinti tik užtvankos, tačiau jų statyba

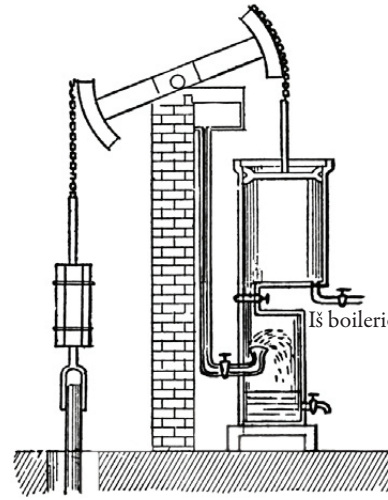


7.4 pav. Th. Newcomeno šachtinis siurblys, 1712 m. (Newcomen6325.png.)

buvo brangi ir trukdavo ilgai. Šios ir kitos priežastys skatino ieškoti kitų energijos šaltinių. 1698 m. buvo užpatentuotas drenažo siurblys. Purškiant vėsų vandenį į garų pripildytą indą, šis prietaisas sukurdavo vakuumą. Dėl susidariusio vakuumo vanduo pro vandens įsiurbimo vamzdį buvo įsiurbiamas į rezervuarą, o garų slėgiu uždarius grįžtamąjį vožtuvą, išstumiamas iš rezervuaro. Deja, šis prietaisas sunaudodavo daug anglies, todėl buvo neekonomiškas. 1710 m. sukurta sėkmingesnė stūmoklinė mašina 1712 m. buvo naudojama vandens pumpavimui kasyklose. Thomo Newcomeno variklyje (7.4 pav.) stūmoklio strypas buvo tiesiogiai prijungtas prie siurblio. Į cilindrą pakaitomis tiekiami du srautai – vienas garo, kitas vandens – sukurdavo tai vakuumą, tai atmosferinį slėgį. Garas pakeldavo stūmoklį į viršų, o atmosferinis slėgis jį stumdavo žemyn. Stūmoklio strypas judėjo aukštyn–žemyn tiesia kryptimi. Automatiniai vožtuvai padidindavo variklio ciklų dažnį iki 15 ciklų/min. Šis variklis (76 cm skersmens cilindras ir 23 cm stūmoklis), galėjęs kelti vandenį 27 m, praktiškai per naktį pakeitė kasyklų darbą. Vis dėlto jis buvo toks neefektyvus, kad jį naudojo tik vandens pumpavimui iš anglies kasyklų. Variklio žalvariniai cilindrai buvo brangūs, dėl trinties greitai susidėvėdavo, buvo sukuriamas ne rotacinis, bet grįžtamasis-slenkamasis judesys.

Sakoma, kad Jamesas Wattas pakartotinai išrado garo variklį. Iš tiesų jis sukūrė garo kondensatorių, lygiagrečių judesių pavarą, dvigubo veikimo cilindrą ir reguliatorių (centrifugą) (7.5 pav.). Taisydamas Th. Newcomeno garo mašinos modelį jis priėjo išvadą, kad didelio garų sunaudojimo priežastis yra cilindro sienelių aušinimas iki aušinimui naudojamo vandens temperatūros. Garo kondensavimui J. Wattas sukūrė specialų kondensatorių,

atskirtą nuo pagrindinio cilindro. Šis konstrukcinis patobulinimas labai padidino garo mašinos šiluminio naudingumo koeficientą. Pasinaudodamas šia idėja J. Wattas 1765 m. sukonstravo eksperimentinę mašiną su 16 cm skersmens cilindru, o 1768 m. – pirmą naudojimui tinkamą garo mašiną. Tyrimais nustatyta, kad šis variklis buvo daugiau negu du kartus našesnis už geriausius Th. Newcomeno variklius. 1782 m. J. Wattas užpatentavo savo garo variklį.



7.5 pav. J. Watto garo mašina, 1860 m. (the-natuer-of-industrial-revolution)

Boultono ir Watto bendrovė 1775 m. pagamino pirmąjį variklį, kuriame stūmoklio strypo judėjimas aukštyn–žemyn tiesia kryptimi buvo verčiamas sukamuoju (rotaciniu) judesiu. 1800 m. iš 500 Boultono ir Watto pagamintų variklių 38 % veikė tiesiaeigiu-grįžtamuoju principu, o 62 % buvo rotaciniai. Pirmieji garo katilai buvo žemo slėgio ir mažai veiksmingi. Jie buvo gaminami iš lakštinio vario, o kai kurie mazgai – iš ketaus. Visos detalės buvo sujungtos kniedėmis. Tokios konstrukcijos katilai buvo gaminami iki 1725 metų. Vėliau katilai įgijo cilindro formą, juose buvo įmontuojama daugiau vandens šildymo vamzdžių, todėl jie pagamindavo daugiau garo.

Carnot ciklas – ypatingas termodinaminis ciklas, 1824 m. pasiūlytas prancūzų inžinieriaus Nicolas Leonardo Sadi Carnot. Kai sistema pereina skirtingas arba tas pačias padėtis ir galiausiai sugrįžta į pradinę, sakoma, jog įvyko *termodinaminis ciklas*. Šiluminis variklis veikia perduodamas energiją iš šiltos srities į vėsią, proceso metu dalis tos energijos paverčiama mechaniniu darbu. Tai veiksmingiausias ciklas, galintis paversti tam tikrą šiluminės energijos kiekį darbu. Įrodyta, kad Carnot variklio šiluminis veiksmingumas gali būti apskaičiuotas pagal formulę:

$$\text{šiluminis veiksmingumas} = T_1 - T_2 / T_1;$$

čia T_1 – šiltos srities temperatūra, T_2 – vėsesnės srities temperatūra.

Visi praktiškai naudojami variklio ciklai, įskaitant rankinį (garo), Otto (dujų), Dieselio ir Stirlingo (pastovaus slėgio), lyginami su Carnot ciklu; Carnot variklio veiksmingumas yra:

$$\text{šiluminis veiksmingumas} = 1 - (T_c / T_H);$$

čia T_H – įsiurbimo temperatūra ir T_c – išmetimo temperatūra.

Visi tokie varikliai nepriklausomai nuo darbinės medžiagos rūšies pasižymi tuo pačiu veiksmingumu. Carnot variklio veiksmingumas nepriklauso nuo darbinės medžiagos rūšies, tik nuo temperatūros. Šiluminis variklis dirba, kai šiluma iš įkaitusio kūno (katilo) pereina į kitą kūną, kurio temperatūra yra mažesnė negu variklio cilindre. Norint šilumą paversti mechaniniu darbu, reikalingi du skirtingos temperatūros šaltiniai. Visos šildytuvo šilumos paversti mechaniniu darbu negalima, nes turi būti žemesnės temperatūros aušintuvas, kuriam būtina atiduoti tam tikrą šilumos dalį. Carnot variklio funkcionavimą geriausiai iliustruoja temperatūros ir entropijos diagrama. Entropija – sistemos netvarkos matas, rodantis, kaip arti pusiausvyros yra termodinaminė sistema. Grįžtamajame procese uždaros sistemos entropija yra pastovi, tačiau negrįžtamajame procese sistemos entropija didėja. Carnot variklyje didžiausias veiksmingumas pasiekiamas, kai procesas yra grįžtamasis, t. y. darbinės terpės temperatūra proceso pradžioje ir pabaigoje yra ta pati. Realiame variklyje šiluma prarandama dėl trinties nuostolių, konvekcijos, todėl šie nuostoliai mažina sistemos veiksmingumą, o sistema tampa negrįžtama.

Visi grįžtamojo proceso varikliai, veikiantys tarp tų pačių dviejų temperatūrų, turi būti veiksmingi nepriklausomai nuo šilumos nešiklio terpės. Variklio mechaninio darbo veiksmingumas priklauso nuo to, kiek procesas yra nutolęs nuo grįžtamojo proceso. Taigi kuo didesnis santykinis temperatūros skirtumas tarp katilo ir kondensoriaus, tuo variklio veikimas yra veiksmingesnis. Pagrindiniai šilumos variklio principai:

– svarbu išlaikyti didžiausią šilumos nešiklio temperatūros skirtumą tarp katilo ir kondensoriaus, nes kuo didesnis temperatūros skirtumas tarp aukštos ir žemos temperatūros šaltinių, tuo bus didesnis variklio našumas;

– jei yra galimybė rinktis tarp vienodų temperatūros intervalų, reikia rinktis žemesnės temperatūros ciklą;

– termodinaminio veiksmingumo požiūriu darbo terpės rūšis yra nesvarbi, išskyrus atvejus, kai jos savybės veikia darbo temperatūrą;

– siekti, kad variklio darbo ciklas būtų mažiausiai nutolęs nuo grįžtamojo ciklo parametrų.

Šie principai rodo, kad net idealiomis sąlygomis šilumos variklis negali paversti visos jam tiekiamos šilumos energijos į mechaninę energiją. Visada dalis šilumos energijos bus prarandama.

Carnot ciklą sudaro (7.6 pav.):

– adiabatinis (izentropinis) suspaudimas (4–1);

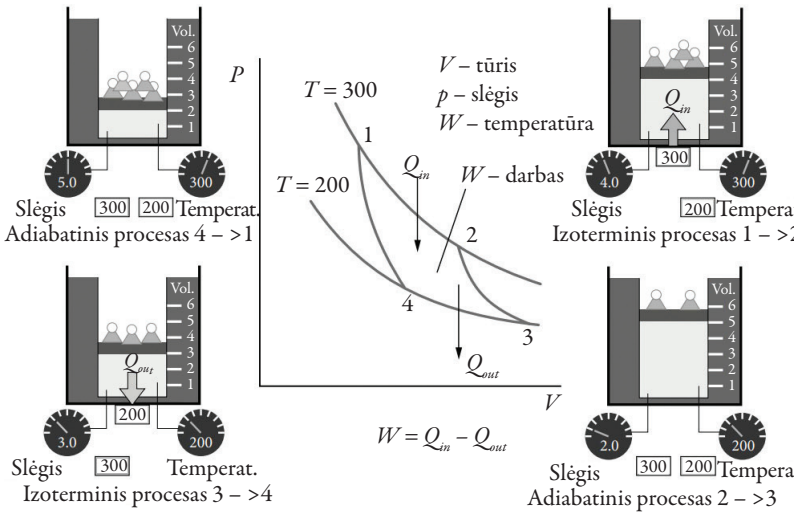
– papildomas izoterminis pašildymas iš aukštos temperatūros šaltinio;

– izentropinis dujų plėtimasis (1–2);

– adiabatinis dujų išsiplėtimas (šilumos atidavimas) (2–3);

– grįžtamasis izoterminis dujų suslėgimas esant „žemai“ temperatūrai (3–4).

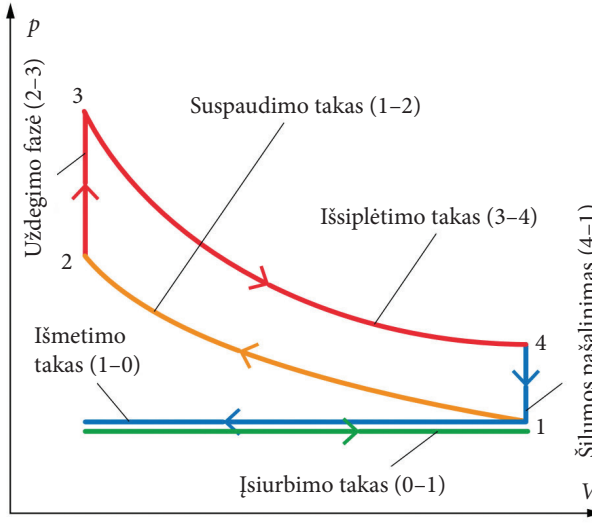
Įdomu, kad Carnot darbai buvo atlikti dar iki pirmojo ir antrojo termodinamikos dėsnio atradimo. Pirmieji garo varikliai buvo suprojektuoti ir



7.6 pav. Idealaus N. Carnot ciklo variklio diagrama (K-12/airplane/carnot.html.)

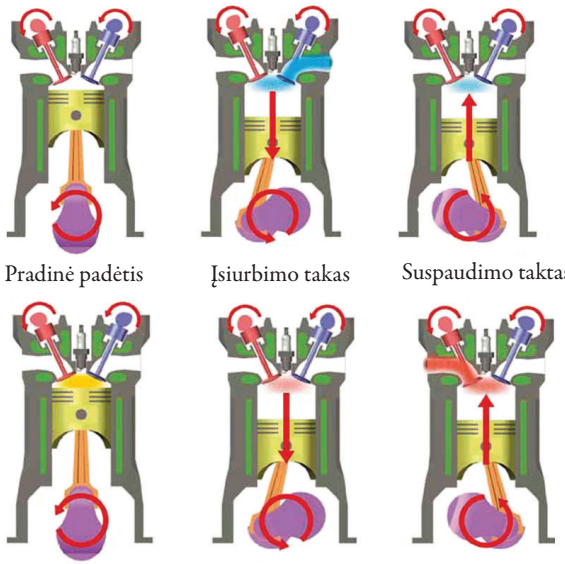
pagaminti nežinant sudėtingos šilumos variklių teorijos, todėl jie nebuvo labai veiksmingi. Newcomeno variklių eksploatavimas buvo labai brangus, ir ne tik dėl anglies kainos. Watto garo varikliai buvo veiksmingesni ir ekonomiškesni, tačiau juos tobulino jau kiti, pvz., Carnot. Dviejų tokių kūrėjų – Otto ir Dieselio – vardais vėliau buvo pavadinti jų sukurti šiluminiai varikliai.

Vokiečių išradėjas Nikolausas Augustas Otto sukūrė vidaus degimo variklį, kuriame kuras buvo deginamas tiesiogiai variklio cilindre (7.7 pav.). Otto variklio cilindras buvo vertikalus. Sukamasis velenas buvo montuojamas šone virš cilindro. Išilgai stūmoklio ašies prie jo buvo pritvirtinta traukė, sujungta su velenu. Variklis veikė tokiu principu: besisukantis velenas pakeldavo stūmoklį 1/10 cilindro aukščio, dėl to po stūmokliu susidarydavo vakuumas ir buvo įsiurbiamas oro ir dujų mišinys. Šis mišinys buvo padegamas pro specialų vamzdelį. Mišiniui sprogus, slėgis po stūmokliu pakildavo apytikriai iki 4 atmosferų. Šio slėgio veikiamas stūmoklis pakildavo, dujų tūris padidėdavo ir slėgis krisdavo. Stūmokliui kylant, specialus mechanizmas atjungdavo traukę nuo veleno. Stūmoklis, iš pradžių veikiamas slėgio, o vėliau inercijos



7.7 pav. N. A. Otto ciklo diagrama (P-V Otto cycle.svg.)

jėgos, kildavo tol, kol po juo susidarydavo vakuumas. Variklyje sudegusio kuro energija būdavo išnaudojama maksimaliai. Darbinė stūmoklio eiga į apačią prasidėdavo po to, kai slėgis cilindre susilygindavo su atmosferiniu, atsidarydavo išmetimo vožtuvas ir stūmoklis savo svoriu išstumdavo sudegusias dujas. Šio variklio veiksmingumas siekė 15 %, t. y. buvo aukštesnis nei geriausių tų laikų garo mašinų. Otto tobulino variklį ir netrukus dantytą traukę pakeitė alkūninė švaistiklinė pavara. Svarbiausias Otto išradimas 1877 m. – keturių taktų ciklo variklis, kurį jis užpatentavo. Keturtaktis ciklas iki mūsų dienų yra daugumos dujinių bei benzininių variklių veikimo pagrindas. Otto variklyje oro ir kuro mišinys į cilindrą patekdavo įsiurbimo takto metu. Vokiečių inžinierius Rudolfas Dieselis sukūrė variklį, kuris įsiurbdavo tik orą, o degalai buvo įpurškiami orą suspaudus (7.8 pav.). Dieselio ciklo idėja buvo pakelti suspaudžiamo oro temperatūrą tiek, kad jos pakaktų savaiminiam kuro užsidegimui. Teoriškai kuras degė esant pastoviam slėgiui. Likusi ciklo dalis buvo tokia pat kaip ir Otto ciklo varikliuose. Dyzeliniai varikliai yra šiek tiek veiksmingesni ir ekonomiškesni už kitus vidaus degimo variklius. Jie sunkesni,



7.8 pav. Dyzelinio variklio darbo ciklas

todėl naudojami ten, kur nėra didelių dydžio ir galios ribojimų. Dyzeliniai varikliai būna dvitakčiai ir keturtakčiai. Dvitakčiai varikliai naudojami motociklu ose ir nedideliuose pramoniniuose įrenginiuose, nes, palyginti su keturtakčiais, būdami tokių pat matmenų išvysto didesnę galią.

GELEŽINIAI TILTAI IR GELEŽINKELIAI

1779 m. D. Britanijoje pradėta statyti geležinius tiltus. Apskritai tiltų statyba buvo glaudžiai susijusi su geležinkelių plėtra, nes tiltai per upes ar įlankas padėdavo įveikti šias gamtos kliūtis ir dažnai sutrumpindavo geležinkelio linijos ilgį. George'as Stephensonas 1815 m. sukonstravo pirmąjį garu varomą lokomotyvą, kuris maždaug 4 mylių per valandą (6,4 km/h) greičiu į kalną traukė aštuonis vagonus su 30 t akmens anglies. 1825 m. pagal jo projektą buvo nutiesta pirmoji geležinkelio linija, o 1829 m. nuo Mančesterio iki Liverpulio buvo nutiestas geležinkelis. Jo sukonstruotas *Rocket* (Raketa) lokomotyvas keleivius vežė 40–50 km/h greičiu.

Geležinkelio vėžės plotis jau nuo pat pradžių nebuvo vienodas. Didžiojo vakarų geležinkelio (D. Britanija) vėžės plotis buvo 2,1 metro, Stephensono geležinkelio – 1,3 metro. Geležinkelio bėgiai buvo gaminami iš ketaus ir tik vėliau pradėta naudoti geležis. Bėgių kūrėjai suprato, kad didžiausi tempimo ir gniuždymo įtempiai veikia bėgio viršutinėje ir apatinėje dalyje, o neutralioje zonoje šie įtempiai yra visai maži, todėl bėgio skerspjūvio zoną galima daryti ne tokią masyvią. Taip pamažu atsirado dabartinis visuotinai naudojamas geležinkelio bėgio profilis. XVIII ir XIX a. pabaigoje tiltų statybai pirmą kartą buvo panaudotos geležies konstrukcijos (7.1 lentelė). Labiausiai neįprasta buvo mišri tilto konstrukcija, kurią sudarė trys klasikinės tilto formos – arkinė, sijinė ir kabančioji. Pagrindiniu kabančiojo tilto konstrukcijos laikančiuoju elementu yra parabolės apybrėžos tempiamasis lynas, įtvirtintas į pilonus (statramsčius). Tokio tilto lynai, priešingai nei arkinio, ne stūmė, o traukė atramas. Šios konstrukcijos tiltai nebuvo stiprūs, todėl tiko tik lengvo svorio traukiniams. Pirmasis kabantysis tiltas buvo pastatytas JAV 1816 metais. Šio tilto pagrindinės arkos plotis buvo 124 m. Tiltų projektuotojai intuityviai žinojo, kad tilto atramos bus veikiamos didelių įtempių,

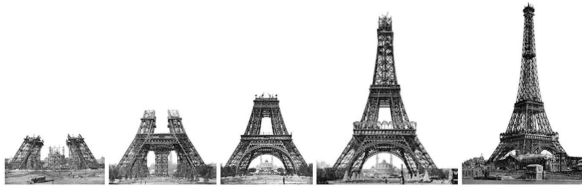
7.1 lentelė. Tiltų konstrukcijų raida

Nuo antikos iki XVIII a.	Mūro arkos
XIX a. pradžia	Geležies ir plieno konstrukcijos; santvaros; kesonų naudojimas statant gilias atramas
XIX a. vidurys	Plieno lynų kabantieji tiltai
XIX a. pabaiga – XX a.	Kabantieji, santvariniai, iš anksto įtempti ir gelžbetoniniai tiltai

todėl joms netiks trapus ketus. Vietoj ketaus pradėtos naudoti kaltinės geležies konstrukcijos daug geriau atlaikydavo išilginius įtempius.

EIFELIO BOKŠTAS

Mintis pastatyti bokštą kilo vokiečių kilmės inžinieriui Gustave'ui Eiffeliui. Bokštas buvo statomas 1889 m. rengtai Pasaulinei parodai, ir iki 1931 m. buvo aukščiausias pasaulio statinys (301 metras). Eifelio bokštas buvo pastatytas kaip įėjimo į parodą arka, tačiau tapo tiek pasauliniu kultūros simboliu Prancūzijoje, tiek vienu iš labiausiai atpažįstamų pasaulio statinių. Statyba užtruko daugiau negu dvejus metus. Visos bokšto konstrukcijos sveria apie 10 000 t, iš jų 7 300 t sveria geležies konstrukcijos. Eiffelis bokšto konstrukcijai pasirinko kaltinę geležį, nors jau žinojo apie plieno privalumus. Statant bokštą buvo panaudota apie 2,5 mln. kniedžių 18 038 kaltinės geležies konstrukciniams elementams sujungti (7.9 pav.). Siekiant tinkamiausiai išnaudoti metalo savybes veikiančių jėgų atžvilgiu, kiekvienas geležinis elementas buvo projektuojamas atskirai. Bokštas buvo statomas ne tik kaip tuometinės architektūros kūrinys, bet kaip šiuolaikinio mokslo, pramonės simbolis. Įdomu,



7.9 pav. Eifelio bokšto statybos eiga (Construction tour eiffel3.JPG.)

kad bokšto aukštis vasaros ir žiemos laikotarpiais gali kisti apie 15 cm. Taip yra dėl geležinių konstrukcijų, kurios kaitinant vasaros saulei plečiasi. Eifelio bokštas perdažomas kas 7 metus – tam sunaudojama 50–60 t dažų. Bokšte yra trys platformos su apžvalginėmis aikštelėmis ir kavinėmis. Pirmoji aikštelė – 57 m, antroji – 115 m, trečioji – 276 m aukštyje (talpina 800 žmonių).

7.2 lentelė. Svarbiausieji Eifelio bokšto duomenys

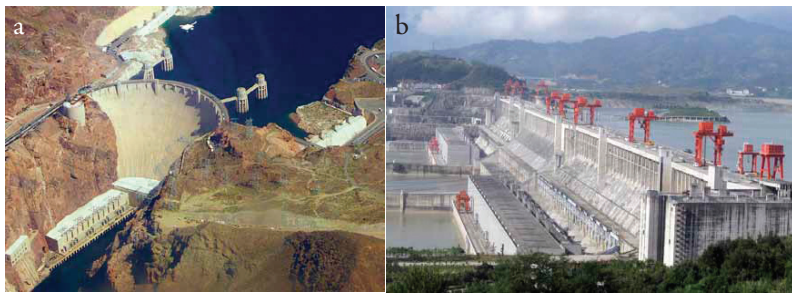
Geležinių konstrukcijų bokšte kiekis	15 000
Kniedžių kiekis	2 500 000
Pamatų svoris kg	277 602
Geležinių konstrukcijų svoris kg	7 341 214
Visas bokšto svoris kg	8 564 816
Pirmos platformos aukštis m	57,63
Antros platformos aukštis m	115,73
Trečios platformos aukštis m	276,13
Bokšto aukštis m	300,51
Bokšto aukštis su televizijos antena m	320,755

UŽTVANKOS IR DIRBTINIAI VANDENS TELKINIAI

Užtvankos, paprastai žemių pylimai, nuo XIX a vidurio iki jo pabaigos Anglijoje buvo statomos įrengiant vandens rezervuarus. Per šį laikotarpį buvo pastatyta daugiau kaip 90 tokių užtvankų ir tik dvi patyrė katastrofas. JAV vykdant aprūpinimo vandeniu projektus buvo laimėjimų ir nesėkmių. Šv. Pranciškaus užtvanka Kalifornijoje buvo pasatyta 1926 m., o jau 1928 m. ji sugriuvo. Žuvo daugiau kaip 450 žmonių. Pietų Kalifornijoje visada trūko vandens, todėl buvo pastatytas 389 km ilgio Kolorado upės akvedukas, kuris ėmė vandenį iš 1935 m. baigtos statyti Huverio užtvankos. Ši 220 m aukščio užtvanka suformavo didžiausią Š. Amerikoje dirbtinį ežerą, galintį sukaupti iki 35 mlrd. m^3 vandens. 1907 m. buvo pradėta ir 1937 m. baigta 262 km ilgio vandens tiekimo sistema, akveduku tiekianti vandenį Niujorkui iš Catskill kalnų. 76,8 m aukščio damba buvo sutvirtinta dideliais rieduliais ir milžiniškomis mūrinėmis konstrukcijomis. Akvedukas pagerino

miesto aprūpinimą vandeniu ir paskatino miesto zonų urbanizaciją. Kaip vandentiekis šis įrenginys vadintinas akveduku, o kaip vandens transportavimo įrenginys – kanalu. Priklausomai nuo konstrukcijos ir naudojamų medžiagų užtvankos skirstomos į gruntines būnas, dambas, betonines gravitacines užtvankas ir kt. Gruntinės užtvankos statomos iš suplūktos žemės, molio, akmenų arba šių medžiagų mišinio, todėl yra pigesnės už betonines. Viršutinėje užtvankos dalyje, aukštutinio bjefo pusėje, gali būti įrengiamas *parapetas* – ištisinė bangų poveikiams atspari betoninė ar gelžbetoninė sienelė. Daugiau kaip 80 % visų didžiųjų užtvankų pastatytos šiuo būdu. Dambos tipo užtvankos turi trikampio formos profilį ir paprastai yra naudojamos vandeniui sulaikyti plačiose upėse.

Gravitacinę užtvanką sudaro storos, vertikalios betono sienos, statomos per santykinai siaurus tvirto pagrindo upių slėnius. Pakanka vien tik užtvankos svorio, kad ji būtų stabili ir nepajudinama veikiančio vandens spaudimo. Arkinės užtvankos vandens slėgį perduoda į krantą. Jei arka plati ir jai reikia išlaikyti didelį spaudimą, tada statomos arkinės gravitacinės užtvankos arba arkos apatinėje dalyje paremiamos kontraforsais (7.10 pav., a). Dėl nepakankamai stipraus krantų grunto šios užtvankos nėra dažnos. Atraminės užtvankos iš esmės yra tuščiavidurės gravitacinės užtvankos, statomos iš plieno, gelžbetonio ar medienos. Vakarinėje Tadžikistano dalyje, užtvenkus Vachšo upę, pastatytos dvi aukščiausios pasaulyje užtvankos – 335 m Roguno ir 300 m Nureko.



7.10 pav. Huverio (JAV) arkinė gravitacinė užtvanka (a – HooverDam.jpg.) ir Trijų tarpeklių hidroelektrinės Kinijoje vaizdas (b – ThreeGorgesDam-China2009.jpg.)

2009 m. Kinija baigė statyti Trijų tarpeklių užtvanką ir įgyvendino didžiausią pasaulyje hidroelektrinės projektą. Hidroelektrinės užtvanka pastatyta per Jangdzės upę, kuri yra trečia pagal ilgį upė pasaulyje, besidriekianti daugiau nei 6 000 km. Kartą per maždaug 10 metų upė labai išsilieja. Vien per paskutinįjį šimtmetį potvyniai nusinešė trečdalį milijono gyvybių. Naujosios užtvankos paskirtis – pažaboti stichiją ir apsaugoti per 15 mln. žmonių. Užpildytas statinio rezervuaras vandens lygį pakėlė 175 m aukščiau jūros lygio (48 aukštų pastatas), todėl apsemta per 400 km^2 žemės ploto. Užtvanka suformavo daugiau nei 600 km ilgio ir 1 100 m pločio rezervuarą. Iš užlietos teritorijos iškeldinta daugiau nei milijonas gyventojų. Užtvankai pastatyti reikėjo 1 130 000 000 m^3 akmens uolų ir betono, 600 000 t plieninės armatūros ir metalo. Elektrinės vandens saugykloje gali būti sukaupta 39 300 000 000 m^3 vandens. Elektrinės 26 turbinų galia – 18 200 MW (7.10 pav., b). Pagaminta energija leis kasmet išvengti apie 50 mln. t sudegintos akmens anglies teršalų. Kritikai tvirtina, kad dėl dumblo sankaupų ir kitų problemų ateityje užtvanka nepadės kontroliuoti potvynių, nes vandens saugykloje per metus nusės apie 50 mln. tonų sąnašų. Milžiniškas užtvankos rezervuaras paveikė didelės teritorijos klimatą – pakilęs talpyklos vanduo sumažino lietaus tikimybę šalia esančiuose rajonuose, o toliau stūksančiuose kalnuose kritulių padaugėjo.

Laisvai tekančioje upėje, nepaisant natūralių sezoninių svyravimų, vandens srauto temperatūra dažnai yra pastovi. Iš vandens saugyklos tekančiame vandenyje gali būti daugiau ištirpusių druskų arba mažiau deguonies negu laisvai tekančioje upėje, taip pat keičiasi išgarinamo vandens kiekis. Kai kuriose sausringose srityse kasmetinis garavimas gali daugiau kaip 2,1 m pakeisti vandens lygį saugykloje. Pastačius užtvanką, vandens tekėjimo greitis saugykloje sumažėja, todėl saugyklos priekinėje dalyje kaupiasi nuosėdos. Ištekėjusiame iš užtvankos vandenyje yra mažai nuosėdų, todėl didėja upės pakrantės vandens erozija. Netgi nutolusiose pakrantėse nuosėdų trūkumas turi įtakos upės pakrančių biologiniam produktyvumui. Naujai susidariusioje aplinkoje kai kurios vietinės rūšys gali neišgyventi. Dažniausiai iš tokių žuvų minimos lašišos, nes užtvankos užkerta jų kelius į tradicines nerštavietes. Yra kelios pagrindinės užtvankų avarijų priežastys:

– išleidžiamo vandens pralaidų projektavimo klaidos;

– geologinis vietovės nestabilumas, susidarantis dėl vandens kaupimosi prieš užtvanką arba dėl vietovės geologinių tyrimų klaidų;

– prasta hidrotechninių įrenginių priežiūra, ypač vandens ištekėjimo iš saugyklos zonoje;

– smarkus lietus;

– žmogaus, skaičiavimo ar konstrukcijos klaidos.

KAUNO HIDROELEKTRINĖ

Lietuva lygumų kraštas, todėl jos potencialūs hidroresursai yra nedideli. Nors Lietuvoje veikia ir mažos hidroelektrinės, tačiau didžiausia ir žinomiausia yra Kauno hidroelektrinė (7.11 pav.). Kauno hidroelektrinės istorija prasidėjo 1929 m., kai inžinierius J. Smilgevičius parašė Lietuvos vyriausybei raštą, kuriame nurodė, kad viena krašto atsilikimo priežasčių – menkas Lietuvos elektrifikavimas. Kauno hidroelektrinės statybos darbai prasidėjo 1955 metais. Statant elektrinę, reikėjo iškasti 5 mln. m^3 grunto, supilti 3,5 mln. m^3 žemių, pakloti 252 tūkst. m^3 betono ir gelžbetonio. Pagal Sovietų Sąjungos Nemuno kompleksinio panaudojimo schemą, prie Nemuno buvo numatyta pastatyti 7 hidroelektrines, kurių bendra galia turėjo siekti 468 tūkst. kW. Visa hidroelektrinių kaskada būtų išnaudojusi upės 120 m vandens kritimo aukštį.

Kauno hidroelektrinės elektros energijos gamyba 1960 m. sudarė 30 % visos elektros energijos gamybos Lietuvoje. Dabar jos reikšmė sumenko iki 2 %. Elektrinės statybos išlaidos atsipirko maždaug per 3,3 metų. Žinant, kad 1 kWh hidroenergijos taupo apie 340 g sutartinio kuro, Kauno HE kasmet sutaupo 125 000 t akmens anglies arba 88 000 t naftos. Kauno HE reikšmė



7.11 pav. Kauno hidroelektrinė (Kauno hidroelektrine 2006-06-03.jpg.)

nėra vien energetinė. Hidroelektrinė apsaugo Kauno miestą nuo pavasario potvynių. Žiemą pro turbinas teka šiltesnis vanduo iš gilesnių tvenkinio sluoksnių, todėl paprastai upės ruožas miesto ribose neužšąla, žemiau Kauno nesusidaro ledo kamščiai, iš marių imamas vanduo pramonei, laukų drėkinimui, svarbi ir jų rekreacinė vertė.

Įdomu palyginti Trijų tarpeklių hidroelektrinę su didžiausia Lietuvoje Kauno hidroelektrine. Trijų tarpeklių hidroelektrinės ilgis 2,3 km, aukštis 185 m. Kauno HE ilgis 1,5 km, aukštis 24,6 m. Trijų tarpeklių užtvankos rezervuare gali tilpti daugiau nei 18 trilijonų tonų vandens, Kauno mariose – iki 462 mln. tonų vandens (39 tūkst. kartų mažiau negu Trijų tarpeklių). Įjungusi visas 26 turbinas Trijų tarpeklių elektrinės galia siekia daugiau kaip 18 200 MW, o Kauno HE – apie 100 MW.

Unikalūs hidrotechnikos įrenginiai yra *tiltai-užtvankos*. XIX a. buvo žinomos šios pagrindinės tiltų-užtvankų rūšys: praleidžiamosios, aklinosios, slenkstinės ir suveriamosios. Pastarosios dvi, kuriomis galima reguliuoti vandens lygį, buvo statomos virš nesraunių ir nedidelių upių, numačius galimybę šalia sumontuoti vandens jėga varomus mechaninius įrenginius. Tokios užtvankos buvo labai populiarios XVIII–XIX a. Prūsijoje ir Olandijoje. Pakruojo dvaro arkinis tiltas-užtvanka per Kruoją – vienintelis Lietuvoje toks statinys, kurio proporcijos primena senuosius romėnų tiltus (7.12 pav.). Tiltas pastatytas 1821 m. pagal prancūzų inžinerinės hidrotechnikos mokyklos



7.12 pav. Pakruojo dvaro dolomitinis arkinis tiltas-užtvanka (A. V. Valiulio nuotr.)

projektą iš tašyto dolomito blokų. Tilto-užtvankos aukštis – 4,8 m, plotis viršuje – 5 m, ilgis – 33 metrai. Statinys penkiaarkis, išilgai nežymiai gaubtas. Virš penkių tilto arkų įrengti turėklai su arkomis, tilto-užtvankos pralaidos turėjo užtvaras su pakėlimo mechanizmu.

KANALAI

Sueco kanalas buvo pastatytas 1859–1869 metais. 163 km ilgio ir vidutiniškai 8 m gylio kanale nebuvo šliuzų. Sueco kanalas per Sueco sąsiaurį sujungė Viduržemio ir Raudonąją jūras (7.13 pav.) ir sutrumpino kelionės laivu atstumą nuo Liverpulio iki Mumbajus nuo 17 000 iki 10 000 kilometrų. Tarp Nilo deltos ir Raudonosios jūros pirmą kartą kanalas buvo iškastas dar XII a. pr. m. e. Per tūkstantį metų kanalas ne kartą buvo apleistas, bet keletą kartų ir atnaujintas.



7.13 pav. Sueco kanalo maršrutas (SuezCanal-EO.JPG.)

Palyginti tiesiai kirsdamas Sueco sąsiaurį nuo Port Saido prie Viduržemio jūros iki Ismailijos prie Raudonosios jūros, kanalas eina per šiuos ežerus: Manzilą, Timsacho, Didįjį ir Mažąjį Kartųjį.

Iš pradžių kanalas buvo ilgas, seklus (8 metrų) griovys (7.14 pav.). Jame nebuvo jokių šliuzų ar kokios nors valdymo sistemos. 1855 m. kanalas buvo pagilintas dar 3 metrus, o jo plotis padidėjo iki 70 metrų. Nuo 1869 m. jis tapo komerciškai gyvybingu vandens keliu. Prancūzų diplomatas ir inžinierius Ferdinandas de Lassepsas 1854 m. šiuo projektu



7.14 pav. Laivyba Sueco kanale (USS America (CV-66) in the Suez canal 1981.jpg.)

sudomino Egipto karalių. Statytojai gilinimo darbams naudojo garo mašinas. Statybose dirbo per 8 000 darbininkų, tačiau projektą ne kartą stabdė skolos ir šimtus gyvybių nusinešę choleros protrūkiai.

2015 m. lygiagrečiai pastatytas antrasis 35 km ilgio kanalas padidino Sueco kanalo pralaidumą. Didesne kanalo dalimi laivai galėjo judėti vienu metu abiem kryptimis. Praplaukti kanalą laivui užtrunka apie 16 valandų.

Panamos kanalas – dirbtinis 81,6 km ilgio tarptautinis vandens kelias Panamos Respublikoje, jungiantis Atlanto vandenyną su Ramiuoju vandenynu (7.15 pav.). 16,4 km trasos eina pagilintu Panamos ir Limono įlankų dugnu. Atlanto vandenyno šlaite kanalas eina Čiagreso upės slėniu (jame sudarytas dirbtinis Gatuno ežeras), o Ramiojo vandenyno šlaite – Rio



7.15 pav. Panamos kanalo geografinė lokacija (panama-canal-bridge-old-new-world)

Grandės slėniu. Panamos kanalo plotis 150–305 m, gylis 12,5–13,7 m. Jis turi šešias pakopas (po tris kiekviename vandenskyros šlaite) porinių šliuzų; kiekvieno šliuzo ilgis 305 m, plotis 33,5 metro. Maksimalūs laivų, galinčių plaukti Panamos kanalu, parametrai: ilgis 294,1 m, plotis 32,3 m, grimzlė 12 m, aukštis 57,91 m (kai kuriais atvejais, esant žemam vandens lygiui kanale, laivų aukštis gali būti didesnis). Vidutiniškai laivas kanalą perplaukia per 9 valandas. Per parą kanalu gali perplaukti 48 laivai, per metus juo perplaukia apie 17,5 tūkst. laivų. Panamos kanalas padarė didžiulę įtaką tarptautinei laivybai ir ekonomikai. Laivams plaukiant kanalu, o ne aplink visą Pietų Ameriką, aplenkiant Horno ragą, labai sumažėjo pervežimo išlaidos ir trukmė. Dėl Panamos kanalo kelionė nuo Niujorko iki San Fransisko sutrumpėjo nuo 22,5 tūkst. km iki 9,5 tūkst. km.

Panamos kanalo kasimo idėja kilo XVI a. pradžioje, bet tik XIX a. susidarė galimybės jį iškasti. Pirmą kartą statyti kanalą, jungiantį Atlanto vandenyną su Ramiuoju vandenynu, 1513 m. pasiūlė Vasco Núñez De Balboa – ispanų konkistadoras, pirmosios kolonijos Amerikos žemyne įkūrėjas bei Ramiojo vandenyno „atradėjas“. Visgi tuo metu nebuvo nei lėšų, nei techninių priemonių tokiai didžiulei statybai. 1881 m. Sueco kanalo statytojas F. De Lessepsas įkūrė Visuotinę Sueco kanalo bendrovę. Dėl lėšų stygiaus, pastačius tik penktadalį kanalo, statybos darbai 1888 m. buvo sustabdyti. 1894 m. kanalo kasimo koncesiją nupirko JAV. Panamai atsiskyrus nuo Kolumbijos, 1903 m. JAV įsigijo 16 km pločio vadinamąją Panamos kanalo zoną ir 1904 m. pradėjo kasti kanalą. Pirmasis laivas Panamos kanalu praplaukė 1914 m., bet oficialiai kanalas atidarytas tik 1920 metais.

Kanalo statytojai susidūrė su sanitarinėmis, komunalinės inžinerijos, statybos valdymo, kasimo ir gilinimo, šliuzų ir užtvankų statymo problemomis. Plaukdami nuo Atlanto vandenyno laivai pirmiausia praplaukia dirbtinį kanalą, vedantį į Limono įlanką. Čia laivai trimis šliuzais pakeliami 26 metrų virš jūros lygio. Išplaukę iš šliuzų laivai 39 km plaukia dirbtiniu Gatuno ežeru. Pasiekę Pedro Miguelio ir Mirafloreso šliuzus, laivai Panamos įlankoje nuleidžiami iki jūros lygio (7.16 pav.). Norint pakelti laivą, vanduo į šliuzus leidžiamas iš Gatuno, Alajuelos ar Mirafloreso ežerų arba iš aukštesniojo šliuzo į žemesnįjį. Nuleidžiant laivą vanduo



7.16 pav. Gatuno šliuzo vartai (Panama Canal Gatun Locks opening.jpg.)

išleidžiamas į žemesnįjį šliuzą arba į vandenyną. Po dalinės rekonstrukcijos 2016 m. kanalą jau galėjo kirsti 48,2 m pločio ir 300 m ilgio kroviniai laivai.

Prancūzų bendrovės darbus iš dalies sustabdė dirbančiųjų ligos ir mirtys. Geltonoji karštinė ir maliarija nusinešė 16 500 gyvybes. JAV bendrovė suprato, kad projekto sėkmei šių ligų kontrolė yra labai svarbi. Bendrovės vadovybė pradėjo kovą su šiomis atogrąžų ligomis. 1904 m. pabaigoje kilęs geltonosios karštinės protrūkis tarp darbininkų sukėlė paniką. Buvo būtina išnaikinti infekciją platinančius uodus, pašalinti jų veisimosi vietas, neleisti jiems kontaktuoti su sergančiais žmonėmis. Bendrovė ėmėsi aprūpinti dirbančiuosius tik švariu, vandentiekiu tiekiamu vandeniu, nusausino balas ir nutiesė kelius su dirbtine danga, plačiai vykdė fumigaciją (fumigacijos metu sunaikinami ne tik suaugę vabzdžiai, bet ir jų kiaušinėliai, lervos, lėliukės), izoliavo infekuotus pacientus. Įgyvendinus šias priemones geltonosios karštinės protrūkis kanalo zonoje buvo suvaldytas. Sunkiau buvo kontroliuoti susirgimus maliarija. Buvo būtina sunaikinti uodų lervas, apsaugoti žmones nuo uodų įkandimo, naudoti chininą. Uodų veisimosi vietos buvo užpilamos žeme, įrengiami drenažo grioviai, kertami krūmai ir kt. Kieto paviršiaus keliai gerino vandens nutekėjimą į griovius, kad mažiau dulkėtų, jie buvo laistomi vandeniu ar alyva. Būstų ir lietaus nuotekos buvo kanalizuojamos. Panamos miesto mišrios būsto ir lietaus nuotekos buvo išleidžiamos į Panamos įlanką. Kolono mieste buitinėms ir vandens nuotekoms buvo įrengtos atskiros sistemos. Vandens tiekimo tinkle įspūdingiausi buvo vandens valymo įrenginiai. Vandens apdorojimo procesą sudarė vandens gavyba, cheminis apdorojimas, nuosėdų

nusodinimas, filtravimas ir paruošto vandens paskirstymas. Visuose miestuose ir miesteliuose vanduo buvo tiekiamas tik vamzdžiais. Taigi keliai, kanalizacija ir vandens tiekimo sistemos labai prisidėjo prie viso projekto sėkmės.

KASIMAS IR GILINIMAS

Panamos kanalo kasybai buvo naudojami sprogmenys, garo semtuvai ir geležinkelis. Žemių nuošliaužos ir vandens nuvedimas kasėjams buvo didžiausias išbandymas. Sprogmenys supurendavo žemę ir uolienas, o jiems pašalinti buvo naudojami garo varomi semtuvai. Atsitiktiniai sprogimai (apie 18 000 kg dinamito) nusinešė 23 žmonių gyvybes. Daugumos nelaimių buvo išvengta sugriežtinus reikalavimus: paimti iš sandėlių sprogmenys turėjo būti panaudojami tą pačią dieną, ypač griežta buvo jų kilnojimo, dėjimo į sprogdinimo grįžinius tvarka. Statybos įkarštyje 1909 m. dirbo 68 garo varomi semtuvai, kurie žemes ir uolienas krovė į geležinkelio platformas. Kasimo darbai buvo vykdomi terasomis nuo viršaus iki reikiamo gylio. Į geležinkelio platformas pakrauta žemė buvo vežama į išpylimo vietas ar kitas statybos zonas, kuriose jų reikėjo. Geležinkelio linijos buvo klojamos išilgai dirbančių semtuvų ir semtuvams judant į priekį jos buvo nuolat tęsiamos. Darbininkai perkėlė 73 mln. m^3 žemės ir uolienų, susidorojo su didžiulėmis purvo nuošliaužomis. Drenažas padėdavo sulaikyti į kasimo tranšėjas plūstantį vandenį arba jį pašalinti iš kasybos vietos į toliau įrengtus rezervuarus ar upę. Drenažo kanalai buvo kasami iš abiejų kasamo kanalo pusių. Iš negilių tranšėjų vanduo ištekėdavo savaime, pasiekus didesnį gylį, vandeniui šalinti buvo naudojami siurbliai. Kanalo kasyba buvo suskirstyta į tris dalis: Atlanto, Ramiojo vandenyno ir Centrinę (7.17 pav.). Kanalo statybai buvo projektuojami ir gaminami kaušiniai-konvejeriniai ekskavatoriai, kurių kaušo talpa siekė 1,5 m^3. Atlanto ir Ramiojo vandenynų ruožuose reikėjo pastatyti šliuzus, užtvankas, vandens nuotakius. Trys Gatuno šliuzo pakopos turėjo pakelti laivus į 26 m aukštį. 2 500 m ilgio, 610 m pločio ir 30 m aukščio Gatuno užtvanka buvo dambos tipo.

Panamos kanalas, kaip ir Sueco, išlieka vienu strategiškai svarbiausių pasaulio kanalų. Tai buvo novatoriška sanitarinė ir hidrotechninė



7.17 pav. Kanalo kasimo darbai, 1896 m. (125-French method of excavation in Culebra Cut.jpg.)

inžinerija, kurią dar XIX a. pradėjo didieji inžinieriai. 2007 m. prasidėjo Panamos kanalo rekonstrukcijos darbai. „Panamax“ tipo krovininiai laivai paprastai gabena 65 000–80 000 DWT krovinius. Rekonstruotas Panamos kanalas užtikrins dvigubai didesnių laivų navigaciją.

KLAIPĖDOS KANALAS

Klaipėdos kanalas nors ir neprilygsta kitiems pasaulio kanalams, iškastiems maždaug tuo pačiu metu, tačiau tai vienintelis tokio tipo ir ilgio vandens kelias su šliuzu Lietuvoje. Kanalas pradėtas statyti 1863 metais. 1863–1873 m. jį iškasė prancūzų karo belaisviai. Kanalas turėjo apsaugoti laivus ir plukdomus sielius nuo pavojingų audrų Kuršių mariose. Planuota jį tiesti dar XVIII a. viduryje, tačiau dėl finansinių sunkumų projektas atidėtas. Tuo metu Nemunu į Klaipėdą buvo plukdoma vis daugiau medienos, o vėjuotoje Ventės rago akvatorijoje neretai sieliai būdavo išblaškomi ir patiriami nemaži nuostoliai. Siekiant apeiti Kuršmares buvo nuspręsta Miniją nuo Lankupių kaimo sujungti su Klaipėdos uostu. Ties Lankupiais kanalas atsišakoja iš Minijos, tada eina į šiaurės vakarus, pro Dreverną, galiausiai pasiekia Klaipėdą, kur susijungia su Malkų įlanka. Kanalo ilgis 25–27 km, plotis 28–30 m, vidutinis gylis 1,7 metro. XIX a. kanalu plukdyta labai daug medienos. Per audras juo plaukiojo ir prekes gabenę laivai. Pradėjus

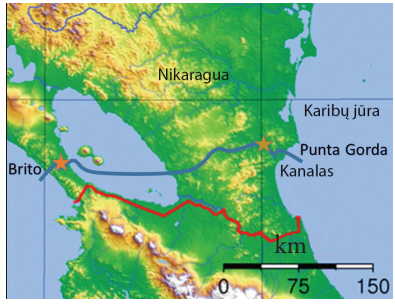


7.18 pav. Lankupių šliuzo vartai, 2019 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

kasti kanalą jo pradžioje, Lankupiuose, buvo pastatytas 157 m ilgio šliuzas su 11 m pločio varstomais vartais abiejuose galuose (7.18 pav.). Perkelti juo laivą trukdavo 45 minutes. Šliuzas turėjo išlyginti didelius vandens lygio skirtumus per Minijos potvynius. Tai vienintelis šliuzas Lietuvoje, kuris paskelbtas technikos paminklu. Deja, šliuzo vartų mechanizmai apardyti, jis labai apleistas ir nenaudojamas, o galėtų būti patrauklus vandens turizmo objektas plaukiant iš Minijos upės į Klaipėdą.

NIKARAGVOS KANALAS

Auganti pasaulinė jūrų prekyba per artimiausius dešimtmečius išsems visas laivybos per Panamos kanalą galimybes. Antrojo kanalo, gerokai didesnio už Panamos kanalą, statyba Nikaragvos sąsmaukoje padėtų išspręsti šią problemą. 2014 m. Nikaragvos vyriausybinė komisija patvirtino Atlanto ir Ramųjį vandenynus sujungsiančio kanalo statybų projektą, kuris taps pagrindiniu Panamos kanalo konkurentu. Kanalo ilgis sieks 278 km, o plotis – 520 metrų. Siūlomas vandens kelias per Nikaragvą sujungtų Karibų jūrą ir Atlanto vandenyną su Ramiuoju vandenynu (7.19 pav.). Kanalas eitų upėmis iki Nikaragvos ežero, tęstųsi mažiausiai 10 km per Rivas ežerą ir pasiektų Ramųjį vandenyną. Nikaragvos nacionalinė asamblėja 2013 m. patvirtino įstatymo projektą dėl Honkongo kanalų statybų



7.18 pav. Nikaragvos laivybos kanalo projektas. Žvaigždutės žymi šliuzų vietas (NicaraguaCanal.5.jpg.)

investicinės bendrovės (HKND) koncesijos statyti kanalą. Kanalas eitų iš Bliufildso miesto Karibų jūros pakrantėje (Isla del Venado), Eskondido upe į Nikaragvos ežerą, o iš jo 10 km ilgio dirbtiniu kanalu pasiektų vandenyną.

8 SKYRIUS
HIDROTECHNIKOS IR SANITARIJOS RAIDA

VIDURAMŽIAI

Apsirūpinimas geriamuoju vandeniu ir atliekų šalinimas žmonėms kėlė rūpestį visais laikais. Archeologiniai tyrimai rodo, kad jau prieš 2000 m. pr. m. e. Indo upės slėnio Harapos ir Mohendžo Daro miestai turėjo vandens tiekimo ir nuotekų šalinimo sistemas. Romos imperijos miestuose buvo įrengiamos geriamojo vandens ir nuotekų šalinimo sistemos. Tų laikų valdantieji žinojo inžinerijos būdus, padedančius įrengti vandens tiekimo ir nuotekų šalinimo sistemas. Mažosios Azijos miestuose Babilone ir Trojoje gatvės buvo labai siauros, būsto patalpos ankštos, miestai perpildyti gyventojų. Archeologiniai tyrimai rodo, kad atliekas ir šiukšles išpildavo šalia, ant jų vėliau suplūkdavo aslą ar darydavo naujas grindis. Išmatos irgi buvo pilamos į gatvę ar artimiausią dykvietę. Geriamuoju vandeniu buvo apsirūpinama iš atvirų vandens šaltinių – šulinių, upių ir kanalų, kuriuos buvo lengva užteršti. Gyvenimo trukmė buvo trumpa, o kūdikių mirtingumas – didelis.

Graikijoje akvedukai daug kur būdavo įrengti po žeme. Vanduo iš akveduko pirmiausia patekdavo į baseiną, kuriame ant dugno nusėsdavo visokie nešmenys. Privatiems namams vanduo nebuvo tiekiamas, tik į viešuosius šaltinius ir fontanus. Vandens tiekimą prižiūrėjo miesto valdžios paskirti prižiūrėtojai. Už miesto vandentiekio taršą galėjo būti skiriama net mirties bausmė. Pagal Atėnų ir kitų miestų įstatymus, atliekos turėjo būti išvežtos už miesto sienų tam tikru atstumu ir ten sukrautos. Drenažinė kanalizacija dažnai būdavo uždengta, o į miestą patenkantis perteklinis vanduo galėjo būti naudojamas šios kanalizacijos plovimui. Atėnų miesto nuotekos kanalų tinklu kaip trąša būdavo išplukdomos už miesto į laukus.

Romoje vanduo buvo skirstomas dengtais kanalais, panašiai kaip Graikijoje, tik didesniu mastu, juo buvo užpildomi rezervuarai ir nusodinimo baseinai. Dėl vandens taršos ir vagysčių veikė griežti įstatymai. Kai kurių akvedukų tiekiamas gėrimui netinkamas vanduo buvo naudojamas kitiems tikslams. Romiečiai vertino įvairių akvedukų vandens temperatūrą ir skonį ir kai kuriems akvedukams teikė pirmenybę. Vanduo iš akvedukų buvo nukreipiamas į viešuosius fontanus, kai kuriuos privačius namus, viešąsias pirtis, kartais tiekiamas ir vietiniams tekstilės gamintojams. Pirtyse vanduo per grindis ar sienas būdavo pašildomas iki nustatytos temperatūros. Šeimyninės ir viešosios pirtys užimdavo hektaro ir didesnius plotus. Mieste buvo įrengti viešieji tualetai. VI a. pr. m. e., valdant penktajam Romos karaliui Tarkvinijui, buvo įrengta kanalizacija – Didžioji kloaka (*Cloaca maxima*). Didžiausias šios sistemos vamzdis yra naudojamas iki šiol. Didžioji kloaka buvo 4,3 m aukščio ir vietomis iki 3,2 m pločio. Nuotekos nebuvo valomos. Per kloaką jos patekdavo į Tiberio upę, o iš jos į Vidužemio jūrą.

Žlugus Vakarų Romos imperijai, sumenkus centrinei valdžiai ir sumažėjus visuomeninėms lėšoms, apribotos ir viešosios paslaugos (kelių tiesimas, vandens tiekimas). Augantys nauji Vakarų Europos miestai taip pat priklausė nuo šulinių, šaltinių ir upių. Miestų savivaldybių įstatymai draudė teršti upes, tačiau šių įstatymų mažai kas paisė. Be to, šuliniai dažnai buvo pernelyg arti nuotekų surinktuvų ir latakų. Viduramžiais užterštas vanduo buvo dažnų epidemijų priežastis, jos pražudė tūkstančius Vakarų Europos miestų ir miestelių gyventojų. Anglijoje 1388 m. buvo priimtas Miesto sanitarijos įstatymas, draudžiantis dumblą, atliekas ir šiukšles versti į griovius, kanalus ar upes. 1404 m. Prancūzijos karalius Karolis III įsakymu uždraudė teršti Senos upę Paryžiuje.

XV ir XVI a. atsiradę vandens pumpavimo siurbliai labai pakeitė viešąjį vandens tiekimą, nors daugelyje Vakarų Europos šalių vanduo buvo tiekiamas mediniais vamzdžiais. 1900 m. Augsburgo mieste (Vokietija) dar veikė 3 300 m ilgio medinių vamzdžių vandentiekis (vamzdžių ilgis buvo 7 m, skersmuo – 10–14 cm). Mažiau buvo paplitę keraminiai ir švino vamzdžiai. 6,25 cm skersmens švino vamzdžiai tarp savęs buvo lituojami alavo lydmetaliu. 1412 m. Augsburge buvo išbandyti ketaus vamzdžiai, bet po ketverių metų jie vėl buvo pakeisti mediniais.

XVIII–XIX ŠIMTMEČIAI

Viduramžiais Europos miestų sanitarinė būklė pasiekė kritinį lygį: miestuose nebeliko vietos tokiems Senovės Romos civilizacijos pasiekimams kaip viešieji tualetai, kanalizacija, nustojo funkcionuoti apleisti neprižiūrimi viadukai, buitines atliekas, pamazgas buvo įprasta pilti po kojomis. Sanitarinės elgsenos modelis „viskas pro langą“ arba viskas „pro duris“, buvęs gajus XIX a., neprarado aktualumo ir XX amžiuje. Industrinė revoliucija apnuogino miestų sanitarinės erdvės problemas: žemų sanitarinių-higieninių įgūdžių kaimo gyventojų migraciją į miestus, perpildytus darbininkų būstus (viename kambaryje lovų statyta, kiek telpa), didžiules buitinių atliekų krūvas kiemų pakampėse, ankštus blogai vėdinamus kiemus, kaimynystėje dirbančių fabrikų kaminų smogą. Industrinis miestas pamažu darėsi vis mažiau tinkamas gyventi. Vis dažniau kildavo choleros ir kitų užkrečiamų ligų epidemijos, miestai sunkiai tvarkėsi su darbininkų kvartalų sanitarine būkle. Indijos subkontinente prasidėjusi cholera prekybos keliais plito į kitas pasaulio dalis. 1817 m. ji pasiekė Rusiją, vėliau likusią Europos dalį, Šiaurės Ameriką ir kitas pasaulio šalis. Per pastaruosius 200 metų įvyko septynios choleros pandemijos, pražudžiusios dešimtis milijonų žmonių. Vien tik Rusijoje 1847–1851 m. dėl šios ligos mirė daugiau kaip vienas milijonas žmonių. 1900–1920 m. Indijoje nuo choleros mirė apie aštuonis milijonus žmonių, 1832 m. Paryžiuje kilusi choleros epidemija nusinešė apie 20 000 gyvybių, Londone šios epidemijos protrūkiai užfiksuoti 1848–1849 ir 1853–1854 metais. Pirmieji svarūs žingsniai gerinant miestų sanitarines sąlygas buvo padaryti Paryžiuje 1833–1848 metais. Miesto prefektas patvirtino naujas sanitarines-higienines taisykles, įrengė šaligatvius, bulvaruose – pisuarus, platino gatves, gamyklas iškėlė į priemiesčius ir dėjo daug kitų pastangų, kad senamiesčio gatvėse oras būtų švaresnis. 1849 m. Paryžiaus centre likviduotos pašiūrės, sumažintas gyventojų tankis miesto centre, patiesintos ir praplatintos gatvės ir prospektai (Eliziejaus laukai, Klebero ir Rivoli aveniu, Sen Mišelio ar Sevastopolio bulvarai). Vilniuje 1865 m. įrengtas brangus gatvių dujinis apšvietimas, nes caro valdžia bijojo tamsiose gatvėse galinčių burtis maištininkų. Besivystančiose šalyse, kuriose buvo vandens sanitarijos praktika ir veiksmingas gydymas, choleros atvejų buvo mažiau.

JAV buvo trys choleros protrūkiai, kurie galėjo būti susiję su mikrobų plitimu vidiniais vandens keliais, tokiais kaip Erio kanalas arba rytinė Atlanto vandenyno pakrantė. Epidemija palietė ir Manhatano salą Niujorke, nes tuo metu Niujorke nebuvo veiksmingos sanitarijos sistemos, kuri sutrukdytų plisti cholerai. JAV per antrąjį pandemijos protrūkį mirė 150 000 amerikiečių.

Iš didžiųjų Europos miestų Londonas pirmas nutiesė vandentiekį ir kanalizaciją, sukūrė municipalinę sveikatos sistemą, įteisino sanitarinės kontrolės institutą. Po 1865 m. choleros epidemijos priimtas sanitarijos įstatymas įteisino privalomą sanitarinę priežiūrą, buvo įvesti sanitarijos inspektorių etatai. XIX a. pabaigos modernėjantys Europos miestai daug kur panaikino siaurų, kreivų gatvių tinklą, įrengė vandentiekį ir nuotakynus, elektros ir dujotiekio linijas, centrinį šildymą, centralizuotą asenizacijos ir buitinių atliekų išvežimą, kūrė ir plėtė žaliąsias rekreacines zonas.

1854 m. gydytojas, šiuolaikinės epidemiologijos pradininkas Johnas Snow susiejo choleros plitimą su geriamojo vandens užterštumu žalingomis bakterijomis, paneigęs iki tol egzistavusią infekcinių ligų plitimo oru teoriją. Pirmasis aiškus įrodymas, kad vandens tiekimas gali būti žmonių ligų plitimo šaltinis, buvo pagrįstas kruopščiais epidemiologiniais tyrimais, atliktais Londone 1854 metais. Londoną vandeniu aprūpindavo dvi stambios bendrovės. Viena bendrovė ėmė vandenį iš Temzės upės miesto viduryje, kita – iš miesto dar nepasiekusios upės dalies. Šių bendrovių aptarnaujamame plote gyveno apie 300 000 gyventojų. Iš abiejų vandens ėmimo vietų vanduo vamzdynais buvo tiekiamas gyventojams. Choleros susirgimų ir mirčių statistika patvirtino, kad vandenį iš sąlygiškai švarios upės naudoję gyventojai užsikrėsdavo rečiau. XVII–XIX a. pradžioje daug dėmesio skirta tiekiamo vandens gerinimui. Siekiant sumažinti vandens drumstumą jį pradėta filtruoti. Mokslininkai patvirtino virusinių ir mikrobiologinių ligų plitimo teorijas. 1884 m. vokiečių mikrobiologas Roberts'as Kochas išskyrė choleros sukėlėją – *choleros vibrioną*.

Nuo 1895 m. R. Kochas buvo ir Vilniaus medicinos draugijos garbės narys. Draugiją domino jo atrasta „Kocho lazdelė" ir choleros vibrionas. Draugijos nariai susirašinėjo su R. Kochu. 1895 m. kovai su tuberkulioze buvo pasiūlyta įsteigti bakteriologinį skyrių.

VANDENS FILTRAVIMO SVARBA

1892 m. R. Kocho choleros susirgimų tyrimai Vokietijos miestuose atskleidė vandens filtravimo svarbą siekiant išvengti šio užkrato. Hamburgo ir Altonos miestai geriamąjį vandenį imdavo iš Elbės upės, tačiau Altonos miestas vandenį filtruodavo, nes paimtas iš Elbės, žemiau Hamburgo miesto, vanduo buvo labai užterštas. Per choleros epidemiją 1892 m. R. Kochas lygino susirgimų plitimą šiuose miestuose. Abiejuose miestuose klimatas, dirvožemis ir kitos sąlygos buvo identiškos, skyrėsi tik tiekiamo vandens šaltiniai. Altonos mieste buvo kur kas mažiau choleros atvejų negu Hamburge, nors imamas upės vanduo buvo labiau užterštas. Tuo metu jau buvo nustatyta, kad cholerą sukelia žarnyno bakterijos, kurios su išmatomis patenka į aplinką. Tyrimai rodė, kad Altonos sveikatingumą lėmė vandens filtravimas, kurio metu bakterijos būdavo pašalinamos iš vandens.

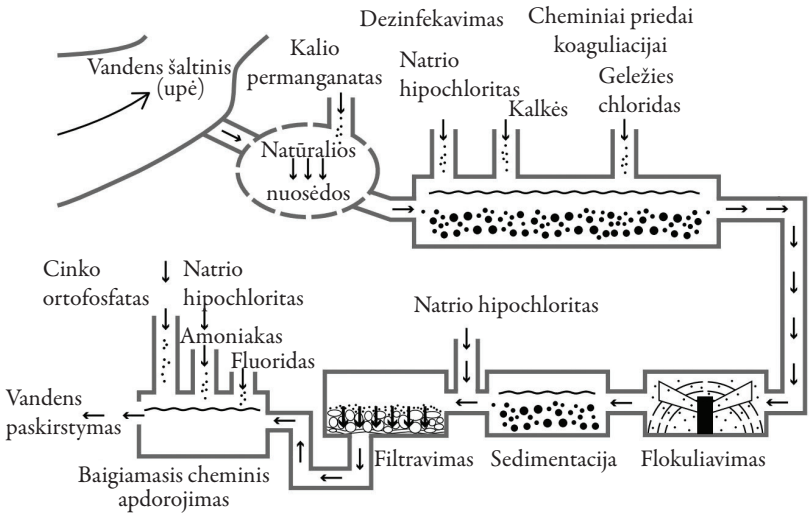
Vandens filtravimo svarbos tyrimai buvo atliekami ir Jungtinėse Amerikos Valstijose. 1887 m. Masačiusetso valstijos Laurencijos miesto inžinierių, chemikų ir biologų grupė nagrinėjo vandens ir nuotekų valymą. Ji pasiūlė svarbų technologinį žingsnį – cheminį koaguliacinį drumzlino vandens filtravimo procesą. Tuo metu mieste kilo vidurių šiltinės epidemija. Ypač nukentėjo tos miesto dalys, kurios gėrimui naudojo per miestą tekančios Merimako upės vandenį. Pastačius mieste smėlio filtrus, vidurių šiltinės susirgimų ženkliai sumažėjo. Filtravimas pašalino vandens drumstumą, spalvą ir 99 % vandenyje buvusių bakterijų.

PAŽANGIAUSIAS VANDENS VALYMO BŪDAS – CHLORAVIMAS

Gerai filtruoto vandens kokybė buvo puiki, tačiau svarbiausias vandens kokybės gerinimo būdas dar nebuvo surastas. Vandens chloravimas pradėtas naudoti 1908 m., kai pramoniniu būdu buvo pagamintas kalcio hipochloritas $Ca(ClO)_2$. Kalcio hipochloritas buvo naudojamas popieriaus ir tekstilės pramonėje. Vandens apdorojimas šia medžiaga buvo pigus bakteriologinės vandens kokybės užtikrinimo būdas. Tikroji dezinfekuojanti medžiaga yra ne pats chloras, o atominis deguonis, kuris gali išsiskirti iš hipochloritinės

rūgšties. Šiandien chloravimas yra vienas pagrindinių būdų, užtikrinančių geriamojo vandens saugumą visame pasaulyje. Pirmą kartą jis panaudotas 1908 m. Čikagoje. Po chloravimo vandenyje išliko tik apie 1 % žaliaviniame vandenyje buvusių mikroorganizmų. Buvo gauti patikimi epidemiologiniai įrodymai, kad chloruotas vanduo sumažino vidurių šiltinės susirgimų skaičių.

Dabartiniai vandens valymo metodai žudo ne tik bakterijas, bet ir kitą vandenyje esančią gyvybę (8.1 pav.). Chloras išnaikina visas bakterijų rūšis, tiek naudingas, tiek ir kenksmingas. Šiandien prieš patekdamas į geriamojo vandens vamzdynus vanduo yra valomas – pradžioje mechaniškai išfiltruojamos stambios dalelės, vėliau – smulkios dalelės. Vanduo apdorojamas chloru (chloravimas), fluoru (fluoravimas) ar ozonu (ozonavimas). Ozonavimo metu vanduo sterilizuojamas, suardoma dalis organinių priemaišų. Tačiau mokslas ir vandens filtrų gamintojai visiškai pamiršo, kad vanduo yra gyvybės šaltinis, jis pats yra gyvas, o chemiškai apdorotas nebegali vykdyti savo svarbiausios funkcijos – palaikyti natūralų gyvybingumą.



8.1 pav. Geriamojo vandens ruošimo procesas

GERIAMASIS VANDUO LIETUVOJE

Lietuva pelnytai gali didžiuotis išskirtinėmis vandentvarkos tradicijomis visoje Europoje. Pasak rašytinių šaltinių, prieš 511 metų prie Vilniaus esančius Vingrių šaltinius kartu su savitakiais vandens tiekimo tinklais Lietuvos didysis kunigaikštis Aleksandras padovanojo dominikonų vienuoliams. Archeologai bei istoriniai šaltiniai teigia, kad XVI a. savitakis vandentiekis veikė ir Kaune. Žaliakalnio šaltinių vanduo mediniais vamzdynais buvo tiekiamas į rotušę, pirklių namus ir smukles. Žinoma, kad XIX a. pradžioje analogiški vandentiekiai veikė Klaipėdoje ir Šiauliuose. Seniausias giluminis gręžinys buvo išgręžtas 1877 m. šalia Klaipėdos, Purmalių kaime. 1898 m. giluminis gręžinys išgręžtas Klaipėdos miesto teritorijoje, pradėtas statyti vandentiekio bokštas, siurblinė, pakloti vandentiekio tinklai. XX a. pradžioje slėginis vandentiekis pradėtas tiesti Vilniuje, Kaune, Šiauliuose, Ukmergėje, Birštone, Palangoje ir kituose miestuose.

Vilniaus vandentiekis yra seniausias Lietuvoje. Jo pradžia datuojama 1501 metais. Nuo XVI a. miestas turėjo gravitacinį vandens tiekimą iš kelių natūralių šaltinių (Vingrių, Žiupronių, Aušros vartų). Ištekėjęs iš šaltinių vanduo atvirais kanalais ir mediniais vamzdynais buvo nukreipiamas žemyn į miesto centre pastatytus turtingų miestiečių namus ar rezervuarus (8.2 pav.). Vandentiekiu atvestas vanduo buvo reikalingas ne tik gėrimui, bet ir gaisrams gesinti. Vandentiekio sistemą sudarė mediniai vamzdžiai, vandens šaltinis – rezervuaras ir vandens čiaupas arba tiesiog indas, į kurį subėgdavo vanduo. Vandentiekio vamzdžiams buvo naudojami plieno juostomis sutvirtinti tuščiaviduriai mediniai rąstai (pradėti naudoti beveik prieš 500 metų). 1864 m. mediniai vamzdžiai pamažu keičiami metaliniais. 1880 m. Vilniuje atliekamos vandens analizės – šis darbas pavestas gubernijos vaistininkui. Nuo to laiko



8.2 pav. Medinio tuščiavidurio rąsto vamzdžio fragmentas (Lietuvos nacionalinio muziejaus Senasis arsenalas) (A. V. Valiulio nuotr.)

pradedama konkreti vandens apsauga, ja rūpinasi miesto sanitarinė komisija. 1914 m. pradėjo veikti naujas vandentiekis, imantis vandenį iš gręžinių. 1912–1914 m. Sereikiškių parke pastatyta pirmoji vandentiekio siurblinė, o 1914 m. – Pavilnio vandenvietė. 1941 m. balandžio–gegužės mėn. Vilniuje kilus dizenterijos bei šiltinės epidemijoms, pirmą kartą Sereikiškių vandens siurblinėje pradėtas chloruoti vanduo. 1996 m. pradėta eksploatuoti Vilniaus vandens biologinio valymo įrenginius.

Vandentiekio sistemos pajėgumas Vilniuje buvo apie 1 500 m^3 per dieną. Šiandien per dieną sunaudojama daugiau kaip 90 000 m^3 vandens. Mieste ir jo apylinkėse yra daug gamtinių vandens šaltinių. Šaltinių vanduo turi gerą skonį, jame mažai geležies ir mangano. Kita vertus, esminę vandens bakteriologinę taršą kelia plintanti teritorijų urbanizacija. Vilniaus gyventojai naudoja tik požeminį gilių gręžinių vandenį. Gręžinių gylis 40–180 metrų. Vandenvietėse įrengti geležies ir mangano junginių valymo įrenginiai. Geležies koncentracija prieš apdorojimą siekia 1,7 mg/l, išvalytame vandenyje – tik 0,001 mg/l.

9 SKYRIUS
GAMYBA IR JOS ĮRANKIAI

Gamyba – žaliavų ir kitokių medžiagų ar produktų perdirbimas į naudojimui tinkamas medžiagas ar kitokius gaminius. Gamyboje naudojami, tiek paprasti (pvz., plaktukas ar peilis), tiek ir sudėtingi įrankiai (programuojamos staklės ar metalų valcavimo staklynas). Jos spektras labai platus – pradedant augalininkyste, kasyba, įrankių ir įrenginių, maisto ir vaistų gaminimu ir baigiant gamybos šakomis, kurioms reikalingos aukštosios technologijos. Visais atvejais gamybos rezultatas yra materialūs produktai. Gamybos procesą sudaro tinkamai pagal iš anksto parengtą planą naudojami ištekliai: medžiagos, energija, kapitalas ir žmonės. Šiandien gamyba yra labai sudėtinga, nes apima skirtingų profesijų dirbančiuosius, kurie naudojasi įvairiomis mašinomis, įranga ir įrankiais. Dažnai ta įranga yra automatizuota, kompiuterizuota ir robotizuota. Tradiciniai mechaninės gamybos gaminiai yra plataus vartojimo prekės: elektronika, medienos, tekstilės, odos ir polimerinių medžiagų gaminiai, taip pat su maistu, vaistiniais ar kosmetiniais preparatais ir kt. susiję produktai. Kokia bebūtų ekonominė sistema ar išsivystymo lygis, gamyba vyko ir vyksta visose visuomenėse. Jos funkcija – pagaminti didžiausią produkcijos kiekį esant tam tikroms gamybos išlaidoms.

Gamyba skirstoma į tam tikras kategorijas:

– žaliavų gavyba iš gamtos išteklių – kalnakasyba, naftos gavyba, medžioklė, žvejyba ir kt.;

– „žaliavų auginimas“ – augalininkystė, gyvulininkystė, žuvininkystė, įvairios akvakultūros, miškininkystė;

– žaliavų perdirbimas į medžiagas tolesnei pramoninei gamybai – metalurgija, plastikų gamyba, naftos perdirbimas ir pan.;

– mašinų ir įrenginių gamyba (orlaiviai, laivai, automobiliai, traktoriai, kompiuteriai ir t. t.);

– atliekų perdirbimas – kitų pramonės šakų atliekų perdirbimas, gaunamos žaliavos vėl grįžta į gamybos ciklą;

– energijos gavyba – tai elektros ir šilumos energijos gamyba hidroelektrinėse, šiluminėse, branduolinėse, saulės ar vėjo jėgainėse.

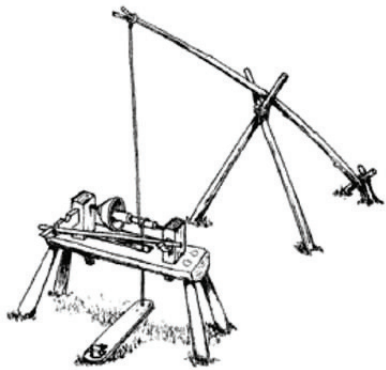
Kartais gamybai priskiriama meninė ir mokslinė kūryba.

ANKSTYVOSIOS MAŠINOS

Graikų išradėjas Heronas iš Aleksandrijos (10–75 m. e. m.) išvardijo penkis paprastus įrankius, kurie padėjo žmogui padidinti jėgą, – tai sraigtas, svertas, vadinamoji gervė, pleištas ir skriemulys.

Beveik visos šiuolaikinių rankinių įrankių formos buvo sukurtos iki Romos imperijos pabaigos. Siekiant padidinti medžiagų pjovimo greitį buvo naudojami geležiniai pjovimo įrankiai. Pirmasis medžiagų pjovimo būdas panaudojant išorines priemones buvo gręžimas. Seniausia gręžimo staklių iliustracija rasta Egipte, kapavietės sienos piešinyje (III a. pr. m. e.). Meistro padėjėjas laiko virvelę, kuria suka gręžtuvo suklį. Šis gręžimo būdas tobulėjo lėtai, nes lankui tampyti ir grąžtui valdyti reikėjo didelio meistriškumo. Šiuo būdu buvo gręžiami negilūs gręžiniai.

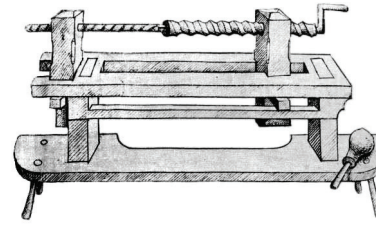
Gilesnėms angoms išgręžti reikėjo tinkamesnių – tvirtesnių, sunkesnių, didesnės grąžto sukimo jėgos – staklių. Staklių rėmas buvo gaminamas iš medžio, o grąžto sukimui vietoje lanko buvo pritaikyta svirtis (9.1 pav.). Šio tipo pavara tikriausiai egzistavo net iki XII amžiaus.



9.1 pav. Svirtinio suktuvo veikimo schema (17thcenturybodgers.)

Svirtinis sukimo principas netiko medžiagų tekinimui, nes įrankis ne visą laiką sukosi ta pačia kryptimi. Nepertraukiamam tekinimo suklio sukimui buvo panaudotas didelio skersmens guoliuose įtvirtintas skriemulys. Per skriemulį einantis diržas liesdavo suklį, kuris dėl mažo skersmens sukdavosi dideliu greičiu. Skriemulio rankeną sukdavo pameistrys. Tokios konstrukcijos įrenginiui jau buvo galima pritaikyti ir kitus

energijos šaltinius: arklį, vandens ratą, garo ar elektros variklį. Sukūrus nepertraukiamo sukimosi įrenginį buvo pereita prie pjovimo įrankio valdymo krumpliaratinėmis ar sriegi-nėmis pavaromis ir kreiptuvais (9.2 pav.).



9.2 pav. Sriegio pjovimo mašina (gutenberg.org/files/40782/40782-h/40782-h.htm.)

MATAVIMAI

Jau nuo seniausių laikų buvo poreikis išmatuoti gaminio dydį, svorį ar formą. Pirmieji kampų matavimai siekia Egipto civilizaciją. 1500 metais pr. m. e. Egipte matavimai buvo atliekami atskaičiuojant atskaitas pagal Saulės šešėlius, krintančius ant žymomis padalytų akmeninių lentelių. Pirmasis žinomas kampų matavimo instrumentas buvo egiptietiška *groma*, kuri buvo naudojama įvairiems statybos darbams, piramidėms statyti. Pirmasis „standartas“, pagamintas iš juodo granito, buvo Egipto karališkasis kubitas, arba uolektis, atitinkantis faraono dilbio ir delno ilgį. Vienetas prilygo ilgiui nuo alkūnės iki ištiesto vidurinio piršto galo. Įvairiose kultūrose tai atitiko ilgį nuo 444 iki 529,2 mm. Be šio pagrindinio standarto, buvo ir mažesni matavimo vienetai – delnas (1/7 uolekties) ir pirštas (1/4 delno, 1/28 uolekties). Dirbant buvo naudojamos iš akmens ar medienos pagamintos liniuotės, jų ilgis atitiko vieną uolektį. Šie matavimo principai vėliau paplito Romos imperijoje, Graikijoje, Artimuosiuose Rytuose, o vėliau ir kitose Europos šalyse. Ilgio standartais naudotasi siekiant tikslesnių gaminių matmenų ar gaminant matavimo įrankius. Skriestuvus, slankmačius graikai ir romėnai naudojo jau prieš 3 000 metų. Šiomis priemonėmis, naudojantis uolekties matavimo lazda, buvo galima tiksliai apskaičiuoti saulės sudaromo šešėlio ilgį, išmatuoti pastatų aukštį, apskaičiuoti, kokia yra metų diena, plaukiant jūra orientuojantis pagal dangaus šviesulių išsidėstymą.

1936 m. Šušo (Shush) mieste Irane buvo iškasta lentelė su įrėžtu tekstu. Lentelės įrašai liudija, jog babiloniečiai jau naudojo apskritimo formos figūrą, padalytą į 360 dalių. Įraižos plokštelėje nurodo šešiakampio ir aplink jį apibrėžto apskritimo perimetrų santykį, t. y. kiekvieną šešiakampio briauną

padauginus iš jos ilgio (60), gaunamas skaičius 360. Tai ir buvo apskritimo padalijimo į 360 dalių pagrindas. Lentelėje nurodyta netgi π reikšmė π = 25/8 = 3,125.

Senovės Egipte mokami mokesčiai priklausė nuo turimo turto. Buvo labai lengva apskaičiuoti bet kokio kvadrato ir stačiakampio formos sklypo plotą, tačiau dauguma sklypų buvo ne keturkampiai, o daugiakampiai. Pirmiausia jie atrado, kaip apskaičiuoti taisyklingo trikampio plotą, o vėliau suprato, kad kiekvienas daugiakampis gali būti padalytas į trikampius, o trikampis – į du taisyklingus trikampius. Šis skaičiavimo būdas naudojamas ir šiandien, jis tinka bet kokiam daugiakampiui, bet ne skrituliui. Jo plotui apskaičiuoti egiptiečiai sugalvojo skaičių π, kuris yra apskritimo skersmens ir perimetro santykis, o πr^2 – skritulio plotas. Šiais būdais egiptiečiai galėjo lengvai ir greitai išmatuoti bet kokio sklypo plotą.

Laiko matavimas, pagrįstas stebint saulės kelią danguje, visada žadino žmonių vaizduotę, todėl buvo sugalvota daug laiko matavimo būdų. Egiptiečių sudarytas kalendorius turėjo 12 mėnesių po 30 dienų ir dar papildomas 5 d., kad atitiktų Saulės metus. Kiekvienas tamsos periodas (vėliau ir dienos) buvo padalytas į 12 lygių dalių. Vasarą valanda buvo ilgesnė, žiemą – trumpesnė, ir tik per pavasario ir rudens lygiadienius dienos valanda prilygo nakties valandai. Laiko skirstymą į valandas perėmė graikai ir romėnai, šis skirstymas išlieka jau 2 500 metų. Anksčiausi svarmenų varomi laikrodžiai paminėti 1283 m. Dansteiblo priorijoje Bedfordšyre (Anglija). Nors mechaninis laikrodis galėjo būti suderintas kintamo ilgio valandoms, labiau tiko vienodos trukmės valandos. Sistemos, parą dalijančios į 24 valandas, skyrėsi pradžios momentu. Italai pradėdavo skaičiuoti nuo saulėlydžio, babiloniečiai – auštant, astronomijoje – vidurdienį, o didieji viešieji laikrodžiai – vidurnaktį. „Nugalėjo“ „mažieji laikrodžiai“, kurie dieną dalijo į 12 dalių pradedant vidurnakčiu.

Pirmieji mechaniniai laikrodžiai Europoje buvo pagaminti apie 1364 m., jie turėjo saulės ir planetų judėjimą rodančius mechanizmus. Visos detalės buvo padarytos rankiniu būdu. Toks gamybos būdas buvo tinkamas didelių laikrodžių mechanizmams, bet visai netiko mažiems laikrodžiams. Tobulėjant kuriamoms konstrukcijoms keitėsi ir įrankiai. Gerėjo tekinimo darbų kokybė, buvo gaminami vis tikslesni krumpliaračiai, staklių suklį suko

mechanizmai, tobulėjo sriegio pjovimas. Mechaninis laikrodis pirmą kartą buvo pagamintas XIII a. pabaigoje. Tada tokie laikrodžiai buvo naudojami viešose vietose ir bažnyčiose, kad juos matytų daug žmonių. Kišeniniai ir rankiniai laikrodžiai buvo pagaminti tik XVI a., o fabrikuose mechaniniai laikrodžiai buvo pradėti gaminti tik XX amžiuje.

Po 1580 m. kilo poreikis, kad laikrodžiai rodytų minutes ir sekundes, tačiau tie mechanizmai dar nebuvo pakankamai tikslūs iki pat 1660-ųjų, kai buvo išrasta švytuoklė. Minutės ir sekundės kilo iš 60-tainio laipsnio dalijimo, kurį įvedė babiloniečiai. Paros skaidymas į 24 valandas, o šių – į 60 minučių bei sekundžių tvirtai prigijo Vakarų kultūroje, ir bandymas įvesti dešimtainę sistemą revoliucinėje Prancūzijoje (1790 m.) buvo nesėkmingas.

Danų astronomas ir matematikas Christiaanas Huygensas 1656 m. sukūrė pirmą laikrodį su švytuokle. Švytuokliniai laikrodžiai buvo maždaug 100 kartų tikslesni už mechaninius pirmtakus – jų paklaida buvo nuo 15 min. per dieną iki minutės per savaitę. 1675 m. Huygensas pasiūlė savo didžiausią patobulinimą – spiralinę balansuojančią spyruoklę. Ši spyruoklė nešiojamuose laikrodžiuose reguliuoja ratelio – tiksliai subalansuoto disko, pasisukančio tai į vieną, tai į kitą pusę, – sukimąsi. Tai leido pagerinti laikrodžių tikslumą iki 1 minutės paklaidos per dieną.

Susuktos spyruoklės kaip laikrodžio varomosios jėgos panaudojimas tapo praktiškai įmanomas XV a. I pusėje išradus sraigę. Nors spyruoklė yra kompaktiškas jėgos šaltinis, jos stiprumas (sukamoji galia) kinta priklausomai nuo to, kaip standžiai ji suspausta. Kintančio stiprumo kompensavimui buvo sugalvota sraigė – kūgio formos skriemulys su grioveliais. Būgną, kuriame įdėta spyruoklė, su sraige jungė plona gija arba grandinėlė. Kai spyruoklė yra visiškai prisukta, gija suvyniojama ant plonojo sraigės galo. Laikrodžiui einant gija vėl susivynioja ant būgno. Jos skersmuo ant sraigės didėja ir kompensuoja silpstančią spyruoklės jėgą.

Pirmą kartą prietaisas teodolitas paminėtas 1571 m. Leonardo Diggeso knygoje „Pantometria“. Prietaisas turėjo į padalas padalytą horizontalų skritulį, pritvirtintą ant vertikalaus strypo kartu su vertikaliu sugraduotu pusskrituliu. Kampai buvo nustatomi panaudojant du pritvirtintus taikiklius, kuriais nutaikoma į matuojamą objektą, ir atskaičiuojant atskaitą ties padala, prie kurios atsiduria taikiklis. Pirmuoju instrumentu, panašiu į tikrą teodolitą,

greičiausiai buvo 1576 m. Joshua Habermelio Vokietijoje pagamintas prietaisas, dar turintis kompasą ir trikojį. 1653 m. anglų matematikas ir matininkas Williamas Leybournas padalijo teodolito skritulį į 360 dalių, o šias – dar smulkiau. Pagrindinės teodolito dalys:

- į 360 dalių padalytas skritulys, kurio skersmuo apie 33 cm;
- optinis centras, iš kurio išeinančios tiesės sudaro 90° kampus;
- magnetinė adata horizontalaus skritulio viduryje;
- jungtis, skirta prietaisui priveržti prie strypo.

1631 m. matematikas ir prietaisų išradėjas Pierre'as Vernieras sukūrė *nonijų* (vernierą). Šis mikrometrinis sraigtas iki šiol montuojamas visuose geodeziniuose prietaisuose. 1630 m. sukonstruota prie limbo pridedama skalė su smulkesnėmis negu limbo padalomis. Sutapdinant skalių sutampančius brūkšnelius gaunama tikslesnė atskaita. 1782 m. britų matematikas, astronomijos ir kitų instrumentų kūrėjas Jesse'is Ramsdenas sukūrė *teodolitą*, kurį pavadino *didžiuoju teodolitu*. Jo horizontalusis skritulys buvo 0,91 m skersmens, svoris – 90 kg. Prietaisas turėjo 6 mikrometrus, todėl atskaičiavimo tikslumas padidėjo iki 1“. XIX a. Vienoje austras Andreus Jaworskis sukūrė pirmąjį teodolitą su dvigubu disku. Tai padėjo kompensuoti sistemines paklaidas sukant diskus ir atskaičiuojant iš kitos pusės. Prietaisas turėjo 4 nonijus ir 4“ matavimo tikslumą. Heinrichas Wildas, 1921 m. dirbdamas „Carl Zeiss“ bendrovėje Jėnoje (Vokietija), sukūrė universalų teodolitą Wild T2 – nešiojamą prietaisą, kurio kampų matavimo tikslumas buvo 1“. Tobulinant kampų matavimo prietaisus ir siekiant matuotojo darbą padaryti lengvesnį, patogesnį bei tikslesnį, pradėta diegti moderniąsias technologijas, sukurti elektroniniai teodolitai, o laikui bėgant pereita prie *elektroninių tacheometrų*.

STAKLĖS IR JŲ RAIDA

Laikrodžio mechanizmui reikėjo labai tikslų detalių (krumpliaračių, sriegių, varžtų), todėl jau nuo 1480 m. jos gamintos įvairiomis staklėmis. Pjaunant sriegį metalinėse detalėse reikėjo standžių staklių, o suklio sukimui – didelės jėgos. 1760 m. anglai broliai Jobas ir Williamas Wyattai iš Stafordšyro užpatentavo medinių varžtų gaminimo mašiną ir 1776 m. pradėjo juos gaminti. 1777 m. J. Ramsdenas sugalvojo varžtų tekinimo stakles, bet tik 1797 m.

anglų inžinieriaus Henry'io Maudslay sukurtos pramoninės staklės atvėrė kelią masinei varžtų ir kitų gaminių gamybai. Jo staklės buvo visų pageidaujamų savybių sintezė: standi konstrukcija, prizminės kreipiamosios pavažos, pavarų dėžė, įrankių laikiklis, pavarų dėžės jungtis su pavaros velenu, „arkliukas" ilgam gaminiui palaikyti.

Įvairioms gamybos sritims bendrojo naudojimo staklių nepakako, todėl buvo kuriamos specialios, skirtos kokiai nors funkcijai. Gaminant laikrodžio krumpliaračius buvo labai svarbu tiksliai padalyti apskritimą į norimą skaičių dalių. Šiems darbams buvo sukurta *dalijimo galvutė*. Dalijimo galvutė turi limbą, kuriuo fiksuojama sukamo gaminio padėtis. Jeigu limbo duobučių nepakanka, tuomet limbas sukamas keičiamaisiais krumpliaračiais, sujungtais su dalijimo galvutės velenu. Prieš šimtą metų sukurti konstrukciniai sprendimai nedaug skiriasi nuo naudojamų šių laikų staklėse.

Metalo pjovimo technologijos buvo labai svarbios gaminant įvairią karo reikmėms reikalingą techniką, todėl nuolat buvo tobulinamos. XVI a. didelio skersmens kiaurymėms liejiniuose išgręžti buvo naudojama vandens ratų jėga. Šis gręžimo būdas buvo naudojamas iki XVIII a. pabaigos. 1795 m. patrankos kiaurymės gręžimui sukurtas horizontalus gręžimas, kai buvo sukamas patrankos ruošinys, o standžiai pritvirtintas pjovimo peilis galėjo judėti tik išilgai. 1776 m. Johnas Wilkinsonas pagamino koordinatines ištekinimo stakles, kurių tikslumo pakako gaminant Jameso Watto garo mašinų cilindrus.

Cilindrinis ruošinys, kuriame turėjo būti ištekinama išilginė kiaurymė, buvo guldomas ant vežimėlio. Įtvirtintas guoliuose įrankį laikantis įtaisas buvo statomas ruošinio centre ir sukamas vandens rato per tarpinę pavarų dėžę. Įrankį laikantis įtaisas buvo tuščiaviduris vamzdis, jo centre buvo plieno strypas, prie kurio buvo tvirtinama pjovimo galvutė. Sukamas strypas judėjo išilgai ištekinamos kiaurymės, o pjovimo įrankis turėjo skersinę pastūmą. 1800 m. šiuo būdu per 27,5 darbo dienos buvo ištekintas 162,5 cm skersmens cilindras. Vertikalaus ištekinimo staklės buvo pagamintos 1854 metais. Jomis buvo ištekinti keturi 2,13 m skersmens garlaivio mašinos cilindrai. Šis variklis turėjo 1 491,4 kW galią ir tuo metu buvo pats galingiausias pasaulyje.

Ir šiandien tekinimo staklės yra dažniausiai naudojamos medžiagų pjovimo staklės. Pagal paskirtį jos skirstomos į universalias ir specializuotas (revolverinės, karuselinės ir specialiosios). Be tekinimo, šiomis staklėmis galima

atlikti gręžimo, gilinimo, plėtimo, sriegimo ir kitas operacijas. Universalios tekinimo staklės naudojamos vienetinėje ir mažų serijų gamyboje. Jomis tekinami šiurkštūs ir glotnūs cilindriniai, kūginiai ir fasoniniai detalių paviršiai, gręžiamos, plečiamos ir ištekinamos skylės, sriegiamas sriegis. Turi pavarų dėžę suklio sukimosi greičiui keisti, suportą pjovimo įrankiui tvirtinti ir reikiamai pastūmai suteikti (juda kreipiamosiomis), suporto pastūmos dėžę pastūmoms keisti ir reikiamam sriegio žingsniui nustatyti, „arkliuką“ gaminiui atremti arba grąžtui, plėstuvui ar sriegimo įrankiui tvirtinti. Specializuotos revolverinės staklės vietoj arkliuko turi revolverinę galvutę.

1820 m. buvo pagamintos išilginio drožimo staklės. Staklių stalas judėjo grįžtamuoju judesiu. Virš jo įtaisytas pjovimo peilis galėjo būti pastumiamas horizontaliai ir vertikaliai. Šios rūšies staklėmis buvo daromi ilgi ir platūs plokšti paviršiai.

Technologinis procesas, kai detalės arba jų ruošiniai gaminami plastiškai deformuojant šaltą arba karštą metalą, vadinamas *metalų apdorojimu spaudimu*. Šiuo būdu apdorojamos įvairios ruošinių formos – luitai, valcuotas rūšinis ir lakštinis metalas. Svarbiausia pasiekti, jog kaltinio matmenys būtų kiek galima artimesni būsimos detalės formai ir matmenims.

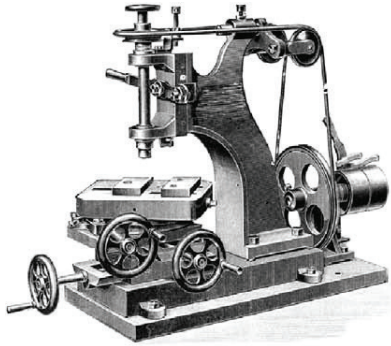
Garinis kūjis buvo sukurtas maždaug 1839 m., kai reikėjo pagaminti 75 cm skersmens laivo garo variklio veleną. XIX a. viduryje D. Britanijoje pramoninėje gamyboje buvo naudojami du skirtingo tikslumo matmenų matavimo įrenginiai: pirmųjų matavimo tikslumas buvo 0,00254 mm, antrųjų – iki 0,0000254 mm. Abu įrenginių tipai buvo naudojami lyginamuoju principu: iš pradžių išmatuojamas standartinis objektas, o vėliau – pats gaminys.

1841 m. buvo patvirtintas varžtų colinio sriegio standartas. Sudarytose lentelėse buvo nurodomas skirtingo skersmens sriegiamų ruošinių sriegio žingsnis ir pastovus santykis tarp sriegio gylio ir „V“ profilį ir 55° kampą turinčio sriegio. Coliniame sriegyje nurodomas vijų skaičius colyje. Kuo daugiau vijų, tuo smulkesnis sriegio žingsnis. Iki 1858 m. sriegių sriegimo standartizavimas buvo baigtas. Tuo pačiu metu žemyninėje Europoje buvo sukurta ir pradėta diegti metrinė sriegio sistema, kurioje buvo išlaikytas „V“ formos sriegio profilis, tačiau pasikeitė sriegio kampas – jis tapo lygus 60°.

Masinės gamybos produktuose dažnai reikia daugybės smulkių detalių, todėl joms gaminti buvo pradėtos kurti specializuotos staklės. Dviračių gamyboje vis plačiau buvo naudojami rutuliniai guoliai. Guolių rutuliukai ar ritinėliai buvo gaminami karštu valcavimu arba tekinami iš strypinio ruošinio. Baigiamajame gamybos etape rutuliukai buvo šlifuojami ir grūdinami. Slėgimo uždoriams tvirtinti reikėjo labai daug varžtų, todėl jiems gaminti 1845 m. buvo suprojektuotos revolverinės staklės. Revolverinėmis tekinimo staklėmis buvo gaminamos įvairios trumpos detalės iš strypinių arba pavienių ruošinių serijinės gamybos sąlygomis. Jų konstrukcija iš esmės skiriasi nuo paprastųjų tekinimo staklių tuo, kad „arkliuko“ vietoje yra suportas su revolverine galvute, kurios lizduose pagal detalės apdirbimo technologijos eigą tvirtinami įvairūs pjovimo įrankiai: tekinimo peiliai, grąžtai, gilintuvai, sriegikliai ir kt. Pirmos horizontalios revolverinės staklės turėjo 8 įrankius, kurie dirbdavo nustatyta seka be pertraukos darbo įrankių keitimui. Šiose staklėse suklys suka strypinį ruošinį. Išilginės pastūmos gaunamos pastumiant išilgai stovo revolverinį suportą, skersinės pastūmos – sukant revolverinę galvutę apie horizontalią ašį. Šios staklės dirbo gerokai našiau, todėl greitai plito masinėje gamyboje. Plečiantis masinei gamybai ir didėjant staklių kiekiui išaugo krumpliaračių poreikis. Senesnėse staklėse dažnai naudojami lieti krumpliaračiai buvo netikslūs, o didelio greičio transmisijose (tekstilės mašinose) jie keldavo vibracijas ir triukšmą.

1839 m. Johannas Georgas Bodmeras užpatentavo pjovimo stakles, galinčias pjauti įvairių rūšių (vidinio ir išorinio sukibimo) krumpliaračius, sliekračius ir krumpliastiebius. 1877 m. krumplių profilio gamybai buvo pritaikytas drožimo būdas, kai įrankis slankioja slenkamuoju-grįžtamuoju judesiu. Nuo cilindrinių pamažu buvo pereita prie sudėtingesnių cikloidinių ir evolventinių krumplių pjovimo. 1835 m. sukurtas sliekinis pjoviklis, kuriuo buvo galima pjauti spiralinius krumplius.

Gręžimas – vienas labiausiai paplitusių ir seniausių metalo ir įvairių medžiagų pjovimo būdų, formuojančių kiauras ir aklinas skyles. Pjovimo įrankis yra grąžtas. Gręžiant įprastiniu būdu, gręžimo staklėse grąžtas sukasi ir slenka išilgai savo ašies, o apdirbamasis ruošinys nejuda įtvirtintas įtaise. Gręžiant tekinimo arba specialiomis giliojo gręžimo staklėmis, sukamas ruošinys, įtvirtintas griebtuve, o pastūmos judesys suteikiamas grąžtui,



9.3 pav. Metalo gręžimo staklės, 1911 m. (Lathe.PNG.)

įtvirtintam „arkliuko“ pinolėje arba staklių suporte (specialiame laikiklyje). 1921 m. Šveicarijoje buvo pradėtos gaminti stalinės koordinatinės gręžimo staklės (9.3 pav.).

Jomis išgręžtų kiaurymių tarpusavio atstumo tikslumas siekė 0,00254 mm, ir tai buvo labai svarbu gaminant įvairius matavimo įrankius ar prietaisus. Gręžimo staklės, turinčios hidrauline pavara stumdomą darbastalį ir stebėjimui skirtą optiką, buvo pradėtos gaminti 1934 metais. Bendros paskirties tekinimo ir revolverinės staklės buvo nuolat tobulinamos. 1920 m. pabaigoje pradėta naudoti sukietintus, standesnius stovus, atraminius rutulius ir ritininius guolius, specialius įrankius revolverinėms staklėms. Daug dėmesio skirta suklio galios ir staklių standumo didinimui, nes reikėjo prisitaikyti prie naujų, našesnių pjovimo įrankių. Dabartinės koordinatinės stalinės gręžimo staklės turi apie 400 × 200 mm darbinį stalą, stumdomą dviem kryptimis sukiojant rankenėles. Tiksliai pagaminti velenai ir guoliai užtikrina 2,5 mikrometro stalo pastūmos tikslumą.

Iki XIX a. pabaigos buvo sukurti visi bendrieji staklių veikimo principai. Tarpusavyje pakeičiamomis detalėmis grįsta gamyba buvo gerai įsisavinta, todėl XX a. pradžioje susiformavo geros sąlygos pradėti masinę gamybą, kuri tapo ypač svarbi plečiantis aviacijai ir automobilių gamybai.

XX a. pradžioje staklėse naudojami elektros varikliai pakeitė ankstesnėse gamybinėse patalpose buvusį diržinių pavarų „mišką“. XX a. I pusėje pasirodė du nauji staklių tipai – 1900 m. pradėtos gaminti „Norton“ šlifavimo staklės ir „Bridgeport“ revolverinės frezavimo staklės. Platūs šlifavimo staklių diskai galėjo lengvai pašalinti detalės paviršiuje tekinimo peilio paliktus brėžius. „Bridgeport“ frezavimo stakles sudarė daugiafunkcė galvutė su įmontuotu gręžimui ir frezavimui skirtu varikliu ir specialus laikiklis, kuris pagal poreikį galėjo sukioti ar pakreipti galvutę.

PJOVIMO ĮRANKIAI

Iki 1900 m. pjovimo peiliams buvo naudojamas grūdintas anglinis plienas. Jo kietumas (60–62 HRC) yra pakankamas pjauti daugeliui metalinių medžiagų. Didžiausia šio plieno įrankių silpnybė – pjovimo proceso metu, įrankiui įkaitus per 150 °C, jis netenka kietumo. Dėl šios priežasties našiam mašininiam pjovimui šie įrankiai netinka. 1900 m. buvo sukurti įrankiai, galintys pjauti mažaanglį plieną 36,5 m/min. greičiu ir savo kietumą išlaikantys net būdami įkaitę iki raudonos spalvos. Dėl tokių našių įrankių reikėjo iš esmės keisti staklių konstrukciją, didinti jų standumą, pjovimo greičio diapazoną ir naudojamų elektros variklių galią.

Stelito, chromo, kobalto, volframo lydiniais (1917 m.), karbidais (1926 m.) ir keramika papildyti naujieji įrankiai iš naujo paveikė pjovimo staklių konstrukcijas ir pjovimo darbų našumą. Šių įrankių našumą galima palyginti pjaunant pilkąjį ketų: greitapjovio, legiruoto volframu, plieno įrankiai (HSS) gali pjauti 22,8 m/min. greičiu, stelito – 45,7 m/min., karbidiniai – 122 m/min. ir keraminiai – 183 m/min. Daug pjovimo įrankių, sukurtų apie 1938 m., buvo pagaminta iš volframo ir titano karbidų. Jie buvo labai trapūs, todėl įrankių kotas buvo daromas iš anglinio plieno, o pjaunančioji dalis buvo lituojama prie koto. Šiuolaikiniuose pjovimo įrankiuose prie įrankio koto tvirtinamos lengvai ir greitai keičiamos kietlydinio ar keraminės medžiagos plokštelės.

1914–1915 m. JAV ir D. Britanijoje sukurta šlifavimo medžiagų žymėjimo sistema nurodė abrazyvo rūšį, grūdelio dydį, rišamosios medžiagos rūšį ir kitas charakteristikas. Visgi šiomis abrazyvinėmis šlifavimo medžiagomis buvo sunku pagaląsti karbidinius įrankius. 1934 m. buvo sukurti abrazyviniai diskai, kurių pjaunantys grūdeliai buvo iš smulkių deimanto miltelių. Šios rūšies abrazyvais jau buvo galima galąsti bet kokio kietumo pjovimo įrankius.

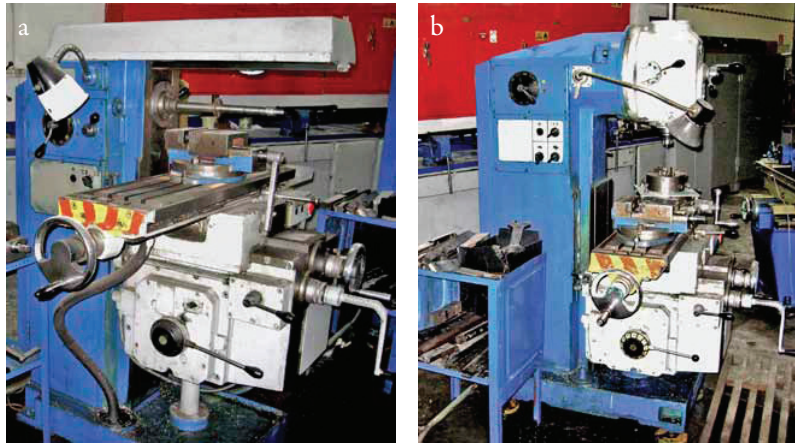
LIETUVOS INDĖLIS

1990 m. Lietuva sudarė tik 0,3 % Sovietų Sąjungos teritorijos ir 1,3 % jos gyventojų, bet ji gamino daug pramoninių gaminių ir žemės ūkio produktų. Lietuvoje buvo gaminama 22 % suvirinimo elektra aparatų, 11,1 % metalo pjovimo staklių,



9.4 pav. Vilniaus gamykloje „Praktika“ gamintos stalinės gręžimo staklės, 1979 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

2,3 % mineralinių trąšų, 4,8 % kintamosios srovės elektros variklių, 2 % popieriaus, 2,4 % baldų, 5,2 % kojinių, 3,5 % apatinių drabužių ir trikotažo, 1,4 % odinės avalynės, 5,3 % buitinių šaldytuvų, 6,5 % televizorių, 3,7 % mėsos, 4,7 % sviesto, 1,8 % konservuotų produktų ir 1,9 % cukraus. Palyginti su bendra pramonine gamyba, sparčiausiai augo įrankių ir metalo apdirbimo pramonė. Vien tik Vilniuje veikė keturios didelės metalo pjovimo staklių gamyklos. Pirmoji metalo pjovimo staklių gamybos įmonė buvo įkurta 1947 m., tais metais joje buvo pagaminta 13 stalinių gręžimo staklių (9.4 pav.).



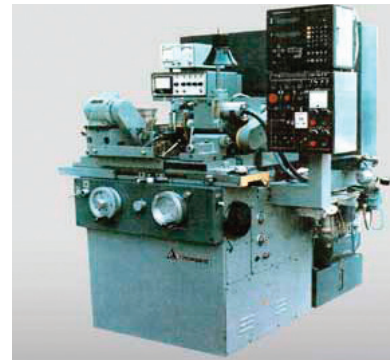
9.5 pav. Vilniaus staklių gamykloje „Žalgiris“ gamintos frezavimo staklės: a – horizontalaus frezavimo, 1978 m., b – vertikalaus frezavimo, 1979 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

1960–1991 m. Lietuvoje veikė 6 metalo pjovimo staklių gamyklos (4 Vilniuje ir po vieną Šiauliuose ir Kaune). Nuo 1980 m. gamyklos kasmet gamino 24 800 šlifavimo, frezavimo, gręžimo ir specialios paskirties staklių (9.5 pav.). Šiaulių staklių gamykla gamino preciziškus tekinimo automatus aviacijai, elektronikos, laikrodžių gamybai ir kt. Koordinatinės pjovimo staklės yra labai tikslios, todėl jos dažniausiai naudojamos įrankių, štampų, liejimo formų gamyboje. Jomis atliekamos tikslaus gręžimo ir frezavimo operacijos. Stakles sudaro standus, lietas vertikalus stovas ir dviejų judėjimo krypčių darbastalis. Gręžimo ar frezavimo įrankis gali suktis ir judėti vertikalia kryptimi (9.6 pav.). 1953 m. įkurtoje Kauno staklių gamykloje buvo gaminamos labai tikslios koordinatinės tekinimo, šlifavimo, elektroerozinės ir specialiosios staklės. 1975 m. įmonė pagamino 787 mašinines stakles. Įmonė uždaryta 1999 metais.

Vilniaus šlifavimo staklių gamykla gamino universalias, labai tikslias cilindrinio šlifavimo stakles (9.7 pav.). 1961 m. veiklą pradėjo Metalo pjovimo staklių instituto Vilniaus filialas. Instituto mokslininkai ir inžinieriai kūrė didelio



9.6 pav. Kauno staklių gamykloje gamintos koordinatinės gręžimo staklės, 1964 m. (A. V. Valiulio nuotr.)



9.7 pav. Vilniaus šlifavimo staklių gamykloje gamintos didelio tikslumo cilindrinio šlifavimo staklės, 1990 m. (A. V. Valiulio nuotr.)



9.8 pav. Kauno staklių gamykloje gamintos elektroerozinės staklės (datos.kvb.lt/laikotarpiai/1944-1990/#1945ikurtaKaunostakliu)

tikslumo metalo apdorojimo stakles, fotoelektrinius, magnetinius linijinių ir kampinių poslinkių matavimo keitiklius, šių poslinkių rodmenų įtaisus, stiklines rastrines inkrementines ir kodines liniuotes, limbus. 1970–1990 m. bendrovė gamino daugiau kaip pusę buvusioje Sovietų Sąjungoje gamintų poslinkių matavimo keitiklių ir koordinatinių matavimo staklių. Įstojus į Europos Sąjungą, Lietuvos staklių gamyba specializuojasi gaminti koordinatines labai tikslias gręžimo, šlifavimo, elektroerozinio apdorojimo, gręžimo ir frezavimo stakles, joms reikalingus įrankius ir priedus (9.8 pav.).

SUVIRINIMO RAIDA

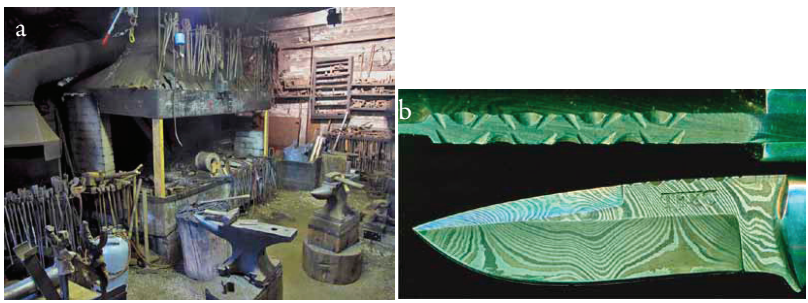
Suvirinimas – tai dviejų medžiagų sujungimas sulydymo būdu. Tarp jungiamų medžiagų gali būti dedama papildomo metalo, kuris išlydomas sudaro suvirinimo vonelę. Vonelės metalui susikristalizavus susiformuoja neišardoma virintinė jungtis. Kartais jungiami minkšti metalai (aliuminis, varis) tik stipriai suspaudžiami ir tarp jų susidaro jungtis. Toks būdas vadinamas šaltuoju suvirinimu. Jeigu jungiami paviršiai kaitinami iki plastiškos būsenos ir stipriai suspaudžiami – tai elektrokontaktinis arba suvirinimas liepsna. Suvirinimas skiriasi nuo medžiagų jungimo litavimo būdu. Lituojant tarp jungiamų medžiagų įterpiamas žemesnės lydymosi temperatūros lydmetalis. Proceso metu lydosi tik lydmetalis, o jungiamų detalių paviršiai nesilydo.

Suvirinimas, kaip sujungimo būdas, yra naudojamas šimtmečiais. Šiuo metu skirtinguose pramonės sektoriuose naudojama maždaug 100 suvirinimo būdų.

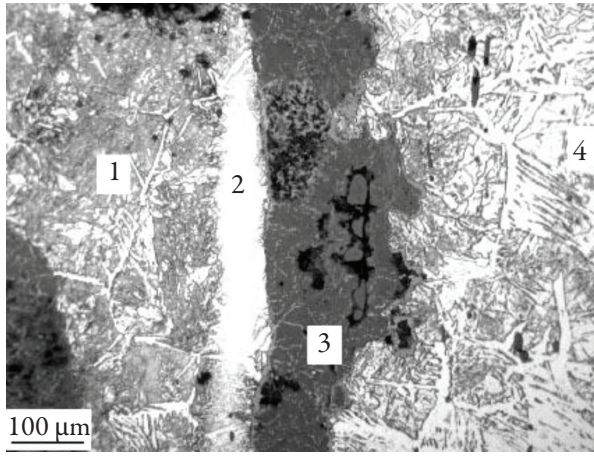
Metalų jungimas įkaitinimo ir suspaudimo būdu su pridėtiniu metalu ar be jo buvo naudojamas gaminant bronzines skulptūras jau apie 3 000 m. pr. m. e. Suvirinta geležinė galvos atrama buvo aptikta faraono Tutanchamono kapavietėje (1 350 m. pr. m. e.). Geležies amžiuje egiptiečiai ir rytinės Vidužemio jūros dalies tautos mokėjo suvirinti geležies gabalus kalviško suvirinimo būdu (9.9 pav., a). Archeologai rado nemažai suvirintų įrankių, pagamintų maždaug 1 000 m. pr. m. e. Raštuotojo plieno gaminiai (Damasko plienas, bulatas) gaunami daug kartų kalant sudėtas plieno juosteles (9.9 pav., b). VI–V a. pr. m. e. kalvišką geležies suvirinimą naudojo skitai, o pietvakarių Ukrainoje ir Besarabijoje IV–III a. pr. m. e. kalvišku suvirinimu buvo jungiami vario gaminiai.

Geležies dirbiniai Lietuvos teritorijoje paplito senajame geležies amžiuje (I–IV a.), kai geležis buvo išgaunama iš vietinių žaliavų – pelkių rūdos. Geležies dirbinių randama piliakalniuose ir senovės gyvenvietėse, kapinynuose, jie dėti į kapą kaip įkapės (9.10 pav.). Kalviškas suvirinimas ypač išpopuliarėjo viduramžiais.

Suvirinimas yra pats efektyviausias būdas sujungti įvairius metalus ar jų lydinius. Tam naudojama daug įvairių energijos šaltinių: dujų liepsna, elektros lankas, lazerio spinduliuotė, elektronų spindulys, trintis ir ultragarsas.



9.9 pav. Kalvės interjeras (a – 0 typical smithy in finland.JPG.) ir kalvišku suvirinimu pagaminti raštuoti peilio ašmenys (b – about-damascus-steel.html)



9.10 pav. Kapavietėje Lietuvoje rastas IV m. e. a. virintinis gaminys (kirvis): 1 – kirvio pentis, 2 – virintinė siūlė, 3 – kirvio ašmenys (aut. R. Bendikienė)

Suvirinimas atliekamas atvirame ore, po vandeniu ir kosminėje erdvėje. Daugiau kaip 50 % išsivysčiusių šalių bendrojo nacionalinio produkto yra vienaip ar kitaip susiję su suvirinimu. Virinami šilumokaičiai, talpyklos, slėgio indai, lakštai, pastatų santvaros, laivai, tiltai, orlaiviai, geležinkelio ir kelių transporto priemonės, erdvėlaiviai, dekoratyviniai gaminiai (skulptūros, tvoros, įvairūs puošybos elementai). Visi metalai ir jų lydiniai gali būti suvirinti, tik vieni suvirinami lengvai, o kitiems reikia specialių priemonių. Ši medžiagos ypatybė apibūdinama kaip *medžiagos suvirinamumas*. Kitaip tariant, ne visos metalinės medžiagos gali būti sujungtos kiekvienu suvirinimo procesu. Kai kurioms reikia specialių apsaugos priemonių (virinimas vakuume, argono dujose ir pan.), pašildymo ar terminio apdorojimo po suvirinimo, specialios suvirinimo procedūrų sekos ir kt.

Tikrojo suvirinimo užuomazgos atsirado tik XIX a. pradžioje, kai 1881 m. prancūzų mokslininkui Auguste'ui de Méritensui pavyko išlydyti švino plokšteles naudojant elektros lanko šilumą. Graikų kilmės rusų mokslininkas Nikolajus Bernardosas (Nikolay Benardos) 1882 m. išrado lankinio suvirinimo angliniu elektrodu būdą, o vėlesniais metais – suvirinimą elektros lanku, suvirinimą apsauginių dujų aplinkoje, kontaktinį taškinį elektrinį suvirinimą. N. Benardosas ir lenkas Stanisławas Olszewskis sukūrė elektrodo laikiklį ir užpatentavo JAV ir D. Britanijoje. Temperatūros, reikalingos

geležiai ar plienui išlydyti ne elektros lanku, dar reikėjo palaukti: 1774 m. buvo pradėta deguonies gamyba, 1800 m. – acetileno gamyba, 1893 m. „Linde“ bendrovė sukūrė deguonies gavybos iš skysto oro būdą ir pagaliau 1903 m. Prancūzijoje buvo sukurtas acetileno-deguonies degiklis, kurio liepsnos temperatūra siekė 3 250 °C.

Elektros lanko degimas tarp metalinių strypelių buvo nestabilus, todėl suvirintojas turėjo būti labai patyręs. Siekiant padidinti lanko stabilumą, strypelių paviršius pradėtas dengti specialiomis dangomis. Amerikietis Charlesas L. Coffinas 1890 m. užpatentavo lankinio suvirinimo metodą, kurio metu išlydyto metalo lašai jungties zonoje sukurdavo suvirinimo vonelę. Maždaug prieš 10 metų rusų išradėjas N. G. Slavianovas pristatė tokią pačią idėją, tačiau jo proceso metu skysto metalo lašeliai krisdavo ne į jungties zoną, o į atskirą metalinę formą. Rankinio lankinio suvirinimo (MMA) būdą išrado švedas Oscaras Kjellbergas. Apie 1907 m. jis pagamino pirmuosius glaistytus elektrodus: į karbonatų ir silikatų vonią panardino metalinę vielą ir jos paviršius pasidengė šių medžiagų mišinio sluoksniu. Išdžiūvęs glaistas laikėsi ant vielos paviršiaus, o virinimo metu jo skleidžiamos dujos saugojo skysto metalo vonelę nuo oro dujų. Dujose esantys Na, K, Ca jonai lengvino, stabilizavo lanko degimą. 1909 m. buvo sukurti glaistyti elektrodai, kurių glaiste buvo asbesto pluošto. Priklausomai nuo suvirinimo sąlygų ir suvirinamų medžiagų rūšies glaistui buvo naudojamos įvairios medžiagos (celiuliozė, krakmolas, mineraliniai silikatai ir karbonatai ir kt.). 1927 m. pritaikius ekstruzijos procesą glaisto gamybai, labai sumažėjo elektrodų kaina ir pagerėjo kokybė. 1950 m. į glaistą pradėta dėti geležies miltelius. Tokie elektrodai geriau panaudojo lanko šilumą ir didino virinimo darbų našumą.

Rankinis elektrolankinis suvirinimas buvo ir yra dažniausias suvirinimo procesas. 1886 m. Elihu Thompsonas išrado elektrovaržinį sandūrinį suvirinimą, kuris labai paplito automobilių, įrankių, statybinių konstrukcijų įdėtinių detalių ar armatūrinių tinklų gamyboje. 1900 m. buvo išrastas elektrovaržinis taškinis, o 1905 m. – elektrovaržinis siūlinis suvirinimas. Išskiriami šie suvirinimo būdai: lankinis, elektrovaržinis (elektrokontaktinis), dujinis, kalviškas ir lituojamasis suvirinimas. Lietuvoje suvirinimo darbų pradžia – XX a. I pusė. Daugiausia tai buvo dujinis suvirinimas acetileno-deguonies liepsna. Prieš Antrąjį pasaulinį karą buvo naudojamas ir elektrinis

suvirinimas, bet gana retai. Po karo elektrinis suvirinimas paplito statybose ir pramonėje.

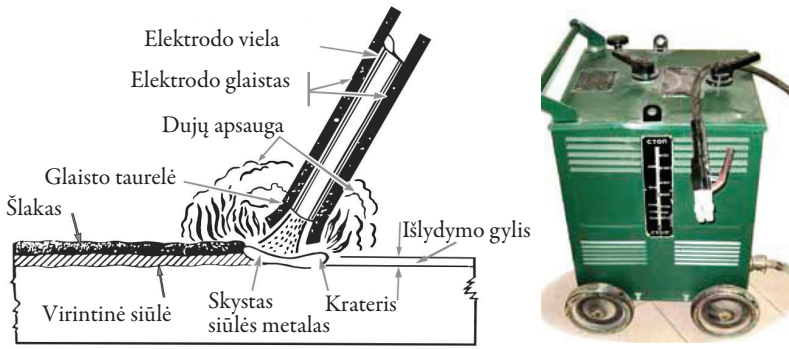
Kalvystė yra vienas seniausių amatų. Kalviai žalvario amžiuje (nuo II tūkst. iki 500 m. pr. m. e.) dirbdavo su bronza, žalvariu, variu, vėlesniais amžiais – su geležimi, plienu. Lietuvoje buvo gaminami kovose naudojami žalvariniai kirviai ir kalavijai, taip pat kasdieniuose ūkio darbuose naudojami pjautuvai. Geležies amžiuje Lietuvoje (nuo 500 m. pr. m. e. iki pat XIII a.) plačiai paplito geležiniai darbo įrankiai ir ginklai: kirviai, arklai, noragai, pjautuvai, žagrės, dalgiai, pasagos. Kalvis, darantis gaminius iš vario, vadinamas varkaliu, darantis iš aukso ar sidabro – auksakaliu, darantis šaltuosius metalinius ginklus – ginklakaliu. Dažnai buvo naudojamas kalviškas suvirinimas. Kalvystės gaminio kokybė labai priklausė nuo metalo ruošinio kaitinimo. Žaizdre plieno detalės įkaitinamos iki 900–1 100 °C (šviesiai oranžinės ir baltos spalvos). Aukštai temperatūrai pasiekti kalviai naudodavo sausą ąžuolą ir dumples. Kaitinamas metalas tampa plastiškesnis, lengviau deformuojamas ir apdirbamas kalimu. Kalti įkaitintą metalą galima tik iki tam tikros temperatūros. Kiekvienos rūšies metalas geriausiai deformuojasi tam tikrame temperatūros intervale. Ruošinius būtina saugoti nuo perkaitinimo. Perkaitinto metalo plastiškumas mažėja, prastėja mechaninės savybės. Perkaitimą nesunku pastebėti: kai metalas įkaista per daug, iš pradžių virš žaizdro atsiranda mažos kibirkštėlės, o vėliau pasipila didelės kibirkštys. Prieš suvirinant jungtį nuo metalo paviršiaus turi būti pašalinamos nuodegos ir kitokie oksidai. Vienas ant kito uždėti gaminiai kalami nuo centro – taip iš jungties išspaudžiamas susidaręs skystas šlakas. Kartais vienkartinio įkaitinimo jungčiai suvirinti nepakanka, tuomet metalas vėl kaitinamas iki reikiamos temperatūros ir toliau kalamas iki visiško jungties susidarymo.

Rankinis lankinis suvirinimas glaistytais elektrodais (MMA) dažniausias suvirinimo būdas pramonėje, statyboje ir kitose srityse. 1900 m. britas Arthuras Percy'is Strohmegeris pirmą kartą pristatė glaistyto elektrodo prototipą. Toks elektrodas padėjo išlaikyti elektros lanko stabilumą. Suvirinant rankiniu lankiniu būdu visus judesius elektrodui suteikia suvirintojas. Elektrodas traukiamas išilgai siūlės. Kad lankas būtų pastovaus ilgio, išsilydantis elektrodas tolygiai artinamas prie gaminio, o kad siūlė būtų plati, elektrodo galas judinamas skersai siūlės. Suvirinimo procese, degant elektros

lankui, lydosi pagrindinio metalo briaunos, elektrodo strypas ir elektrodo glaistas. Apsilydžius gaminio briaunoms, susidaro skysto metalo vonelė, kurią papildo išsilydžiusio elektrodo metalo lašai. Lydantis glaistui išsiskiria dujos, sudarydamos apie elektros lanką apsauginę dujinę aplinką. Kartu susidaręs skystas šlakas apsaugo siūlės metalą nuo atmosferos žalingo poveikio, jį išoksidina, išvalo nuo žalingų priemaišų, legiruoja. Dėl šlako lėčiau ausšta siūlės metalas, gaunama geresnėmis savybėmis pasižyminti siūlė. Nutolus elektros lankui, skysto metalo vonelė sustingsta, susiformuoja kietu šlaku padengta suvirinimo siūlė. Kietas šlakas yra trapus ir lengvai pašalinamas nuo gaminio (9.11 pav.).

1950–1990 m. Vilniuje veikė Elektros suvirinimo įrenginių gamykla, kuri gamino suvirinimo šaltinius (generatorius, agregatus, lygintuvus, transformatorius) (9.12 pav.). Tai buvo viena didžiausių Sovietų Sąjungoje suvirinimo technikos gamyklų. Prie gamyklos veikė mokslinis tiriamasis institutas.

Dujinė lanko ir suvirinimo vonelės metalo apsauga nuo atmosferinių dujų taršos pradėta taikyti apie 1919 metus. Vėliau dėmesys nukrypo į inertines apsaugines dujas. Kokybiško suvirinimo poreikis ypač išaugo apie 1939 m. prasidėjus karo reikmėms reikalingų lokomotyvų, laivų ir automobilių gamybai. Nors inertinės dujos lanko apsaugai pradėtos naudoti apie 1930 m., tačiau pats suvirinimo procesas atsirado tik apie 1948 metus.

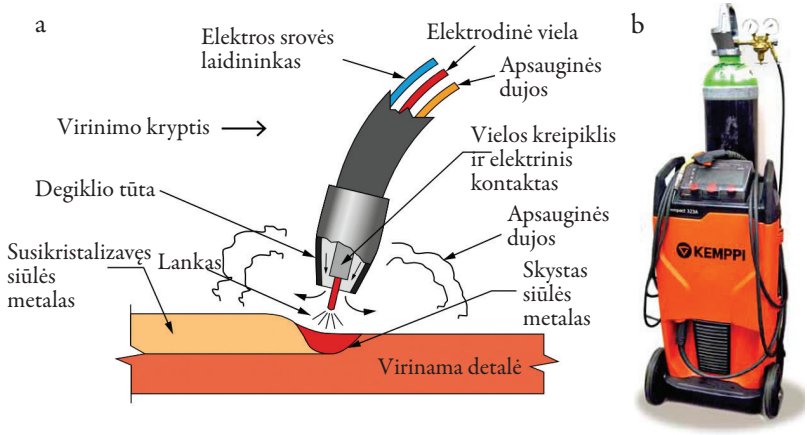


9.11 pav. Rankinis lankinis suvirinimas: a – suvirinimo proceso schema, b – 300 A srovės stiprumo suvirinimo transformatorius (A. V. Valiulio nuotr.)




9.12 pav. Vilniaus Elektros suvirinimo įrenginių gamykloje gaminti suvirinimo įrenginiai: suvirinimo keitiklis (kairėje) ir vidaus degimo variklio sukamas suvirinimo agregatas (dešinėje) (A. V. Valiulio nuotr.)

Suvirinimas *lydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose* (MAG ir MIG būdai) išpopuliarėjo paskutiniaisiais XX a. dešimtmečiais, kai atsirado nauji įrenginiai ir medžiagos (pridėtinė viela, apsauginės dujos, nauji lanko maitinimo šaltiniai). Suvirinimo procesas yra pusiau automatinis arba automatinis. Abiem atvejais elektrodinė viela į suvirinimo zoną tiekiama nepertraukiamai, o lanko zoną apsaugo pučiamos aktyviosios (anglies dioksidas, azotas, vandenilis) arba inertinės (argonas, helis) dujos ar dujų mišiniai (9.13 pav.). Pramonėje suvirinimui dažniausiai naudojamas argonas ir anglies dioksidas. Suvirinimas apsauginėse dujose pasižymi dideliu našumu, galima virinti visomis padėtimis erdvėje, procesą lengva mechanizuoti ir automatizuoti, gera siūlės kokybė. Anglies diokside suvirinama tik lydžiuoju elektrodu atvirkščio poliškumo nuolatine srove, nes esant tiesioginiam poliškumui, lankas dega nestabiliai. Lanko degimo zonoje anglies dioksidas skyla į anglies viendeginį ir atominį deguonį. Susidaręs atominis deguonis intensyviai oksiduoja išsilydžiusį metalą. Anglies dioksido dujų oksidacijai neutralizuoti naudojama suvirinimo viela su didesniu mangano ir silicio kiekiu. Legiruotasis plienas suvirinamas milteline viela su titanu, kuris apsaugo anglį ir legiravimo elementus, kad neišdegtų. Suvirinimas anglies diokside plačiai taikomas konstrukcijų iš anglinio ir mažai legiruotojo plieno gamybai. Azotas ir vandenilis suvirinant naudojami retai. Azote suvirinamas varis, nes vario



9.13 pav. Suvirinimas lydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose: a – suvirinimo proceso schema, b – šiuolaikinė įranga (A. V. Valiulio nuotr.)

atžvilgiu azotas yra inertinės dujos. Suvirinimui lydžiuoju elektrodu apsauginių dujų aplinkoje (MIG) būdingi gana dideli metalo nuostoliai dėl jo ištaškymo, garavimo ir nuodegų (iš viso 10–15 %), iš jų didžiąją dalį sudaro skysto metalo ištaškymas (6–9 %). Tai ne tik skysto metalo nuostoliai, bet ir suvirinamų metalų paviršiaus tarša (prilipę lašai).

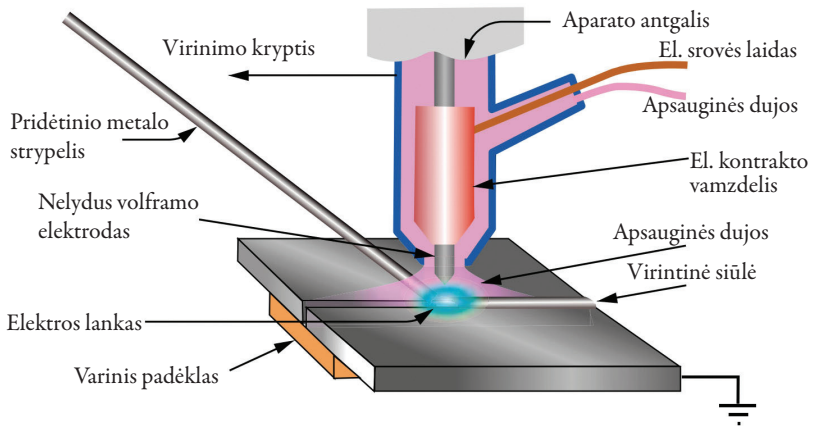
1950-ųjų pradžioje buvo sukurtas *suvirinimo milteline viela* būdas. Miltelinė viela – tai 1–1,6 mm skersmens vamzdelis, kurio vidus užpildytas fliusu, legiruojančiomis ir kitomis lanko degimui svarbiomis medžiagomis. Virinti milteline viela galima be dujų apsaugos, nes lydantis vielos užpildui susidaro ir lanką saugančios apsauginės dujos. Miltelinėse vielose srovė teka ne pro visą vielos skerspjūvį, o tik pro išorinį apvalkalą. Dėl didesnio srovės tankio gaunami labai smulkūs lašeliai, viela greičiau lydosi (esant toms pačioms srovėms), todėl gaunamas geresnis metalo prilydymo koeficientas ir didesnis darbo našumas.

Suvirinimo *nelydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose* būdą 1941 m. sukūrė amerikietis Russellas Meredithas. Jis šį procesą pavadino *Heliarc*, kadangi volframo elektrodo apsaugai naudojo helio dujas. Vėliau lanko zonos apsaugai buvo pradėtos naudoti argono dujos, inertinių ir aktyviųjų (O_2, CO_2) dujų mišiniai. Nelydžiu elektrodu gali būti anglies, grafito ar volframo strypeliai.

Volframiniai elektrodai gaminami iš 1–8 mm skersmens volframinės vielos su torio ar lantano priemaiša. Dėl torio ar lantano stabiliau dega lankas, sumažėja elektrodo užteršimas trumpo jungimo metu. Volframiniu elektrodu suvirinama tiesioginio poliškumo nuolatine srove ir kintamąja srove. Kintamąja srove suvirinami metalai (aliuminis, magnis ir kt.), kuriems oksido plėvelė trukdo gerai susivirinti. Angliniais ir grafitiniais elektrodais suvirinamas nerūdijantis ir kaitrai atsparus plienas. Suvirinimo vonia ir elektrodas yra apsaugoti inertinėmis dujomis, tiekiamomis pro dujų antgalį. Suvirinimo metu galima naudoti pridėtinę vielą (9.14 pav.). Šis suvirinimo būdas tinka beveik visiems metalams, nors dažniausiai naudojamas nerūdijančiam plienui ir lengviems (Al, Mg) metalams.

Nors laikui bėgant atsirado ir daugiau suvirinimo būdų, visgi populiariausias išliko elektrolankinis suvirinimas ir trys jo rūšys: suvirinimas glaistytais elektrodais (MMA), suvirinimas volframo elektrodu inertinėse dujose (TIG) ir suvirinimas lydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose (MIG/MAG).

Plazma – tai dujos, kurias sudaro teigiamai ir neigiamai įelektrintos dalelės. Technologinė (ne fizikinė) plazma susidaro 5 000 °C ir aukštesnėje temperatūroje. Lankinėje iškrovoje susiformuoja jonizuotų dujų srautas. Suspaustą lankinės iškrovos stulpą praleidžiant pro mažą degiklio skylutę, padidėja srovės



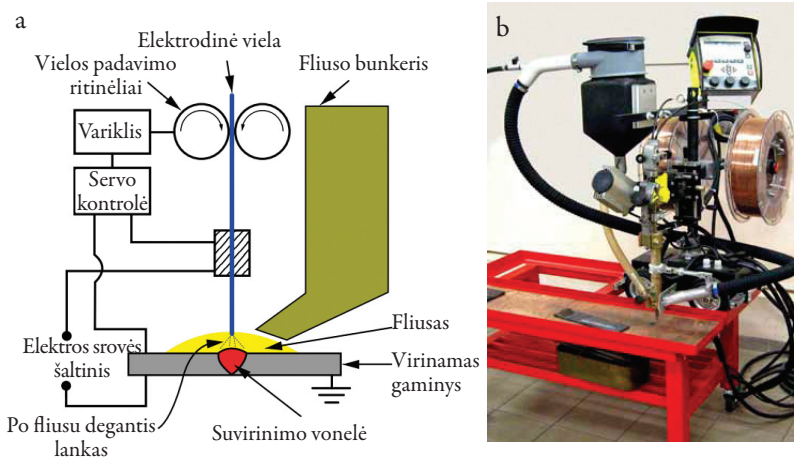
9.14 pav. Suvirinimo nelydžiuoju elektrodu apsauginėse dujose schema (GTAW.svg.)

tankis ir kartu pakyla temperatūra. Aukšta lanko stulpo temperatūra intensyviai jonizuoja dujas, t. y. susidaro plazminis srautas, kuriuo suvirinamos detalės.

Plazminį lankinio suvirinimo ir pjovimo procesą 1953 m. išrado Robertas M. Gage'ė. Procesas buvo tinkamas tiek plonų, tiek storų metalo gaminių tiksliam pjovimui ir suvirinimui. Suvirinimo pramonėje šis būdas pradėtas naudoti 1964 m., kai buvo pastebėta, kad esant mažai suvirinimo srovei galima geriau kontroliuoti suvirinimo procesą. Plazmos srautas gaunamas specialiais degikliais, arba plazmotronais, tiekiant į juos dujas (argoną, helį, azotą, vandenilį arba jų mišinius). Lankas uždegamas tarp volframinio elektrodo ir plazmotrono antgalio. Lanko atomų ir jonų srautas, tekantis pro antgalio skylutę, suspaudžiamas, pakyla jo temperatūra. Jonizuojantis dujoms susidaro plazmos srautas. Norint gauti tiesioginį plazmos srautą, gaminys jungiamas į lanko grandinę, todėl lankas dega tarp elektrodo ir gaminio. Tiesioginė plazma plačiai naudojama nerūdijančio plieno virinimui. Netiesioginio plazmos srauto atveju gaminys nejungiamas į lanko grandinę, o lankas dega tarp elektrodo ir antgalio (tūtos). Šis metodas taip pat naudojamas litavimui, terminiam apdorojimui, apvirinimui, purškimui, nemetalinių medžiagų apdorojimui. Plazmos srautu suvirinamos 0,1–60 mm storio detalės, o mikoplazminiu srautu – net plonesnės nei 0,1 mm. Plazminis lankinis pjovimo procesas sukurtas 1954 metais. Šiuo būdu galima pjaustyti tuos metalus, kurie pjovimo metu sudaro aukštatemperatūrius oksidus (nerūdijantį plieną, ketų, aliuminio ir kitų spalvotųjų metalų lydinius).

Plazminiu būdu galima užpurkšti kieto metalo dangą ant minkšto metalinio gaminio. Vienas šio būdo panaudojimo pavyzdžių yra tokiu purškimu padengtos Saturno raketos turbinų mentės.

Suvirinimo po fliusu procesas buvo sukurtas JAV ir Sovietų Sąjungos laivų statybos pramonėje XX a. 3 dešimtmečio viduryje. Šį suvirinimo būdą Sovietų Sąjungos karo pramonė plačiai naudojo sunkiosios šarvuotos technikos gamyboje. Virinant šiuo būdu, lankas dega po storu fliuso sluoksniu (9.15 pav.), todėl gali būti naudojama didelė suvirinimo srovė, nes nematyti lanko skleidžiamų žalingų spindulių. Suvirinto po fliusu metalo siūlės kokybė yra geresnė, nes lankas ir skysto metalo vonelė yra apsaugoti nuo atmosferos dujų poveikio. Šis būdas labai tinkamas ilgų siūlių virinimui (laivų korpusų statyba, slėginių indų ar rezervuarų gamyba), nes gali būti automatizuotas.



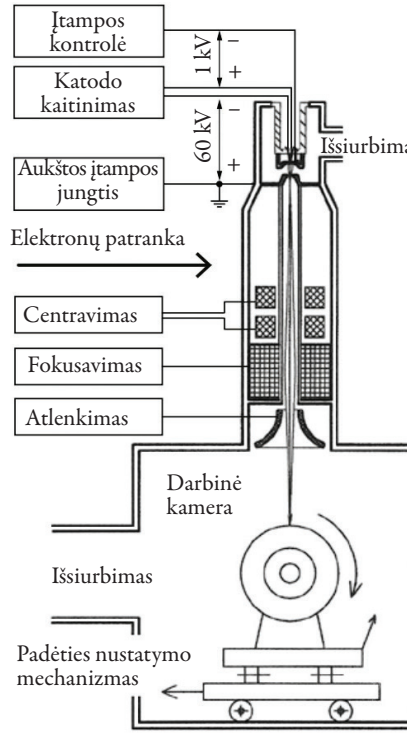
9.15 pav. Suvirinimas po fliusu: a – proceso schema (Submerged arc welding schematic.svg.), b – šiuolaikinis suvirinimo įrenginys (A. V. Valiulio nuotr.)

XX a. 9–10 dešimtmetyje atsirado daug suvirinimo srities naujovių – lazerinis, tandeminis, suvirinimas trintimi, difuzinis, elektrokontaktinis ir lazerinis hibridinis suvirinimas.

Suvirinimo *elektronų spinduliuote* būdą 1949 m. sukūrė vokiečių fizikas Karlas-Heinzas Steigerwaldas. Pirmą suvirinimui tinkamą įrenginį jis pristatė 1958 metais. Suvirinimui naudojama vakuume skriejančių elektronų kinetinė energija. Greitai lekiančių elektronų srautui atsitrenkus į virinamo metalo paviršių, didelė dalis elektronų kinetinės energijos virsta šiluma. Efektyvus naudingumo koeficientas siekia 0,9–0,96. Elektronų spindulys susidaro termokatodui (daromas iš volframo, tantalo arba lantano) įkaitus iki 1 600–2 000 °C (9.16 pav.). Žemiau katodo yra greitinantysis elektrodas (anodas). Tarp katodo ir anodo sudarius aukštą įtampą (10–200 kV), elektronai įgauna didelę kinetinę energiją. Elektronų spinduliai, sufokusuoti magnetinio lęšio, bombarduoja gaminį ir kinetinė elektronų energija virsta šiluma. Į norimą detalės vietą elektronų spinduliai nukreipiami elektromagnetine atlenkimo sistema. Elektronų spinduliuote virinama vakuume (10^{-3}–10^{-5} mm gyv. st.). Šiuo būdu galima suvirinti beveik visus metalus

ir lydinius. Per vieną kartą galima suvirinti 40–200 mm storio plieno gaminius.

Pirmąjį veikiantį lazerį 1960 m. pademonstravo Theodore'as Maimanas (JAV). Kaip aktyviąją terpę jis naudojo dirbtinį rubiną, o kaupinimą vykdė išlydžio lempa. Lazeris generavo 694 nm bangos ilgio raudoną šviesą ir veikė tik impulsais. Lazerio spinduliuotės naudojimas greitai išplito įvairiose mokslo ir technologijų srityse. Pagrindinės lazerio sudedamosios dalys yra aktyvioji terpė ir optinis rezonatorius. Terpės atomams energijos suteikia išorinis energijos šaltinis, vadinamas *kaupinimo šaltiniu*. Aktyvioji terpė sugeria kaupinimo energiją, dėl to dalis jos dalelių (pvz., atomų) elektronų pakyla į aukštesnius energetinius lygmenis, t. y. dalelės tampa sužadintomis. Kaupinimo šaltiniu gali būti išlydžio lempa, kitas lazeris ir kt. Optinio kaupinimo metu dalelės (chromo, neodimio ir kt.), sąveikaudamos su šviesa, gali sugerti fotonus ir juos perspinduliuoti. Tai vadinama *priverstiniu spinduliavimu*. Fotonų perspinduliavimas gali būti spontaniškas arba stimuliuotasis. Chromo atomų sužadinta būsena – 10^{-8} s, tarpinėje padėtyje su mažesniu energijos lygiu – 10^{-3}–10^{-4} s, vėliau jie pereina į normalią būseną. Kai kaupinimo metu sužadintos būsenos dalelių skaičius viršija žemesnės energijos dalelių skaičių, pasiekiama užpildos apgrąža. Priverstiniam spinduliavimui tenkantis perspinduliuotų fotonų kiekis dėl šviesos, praeinančios aktyviąją terpę, tampa didesnis, nei tenkantis

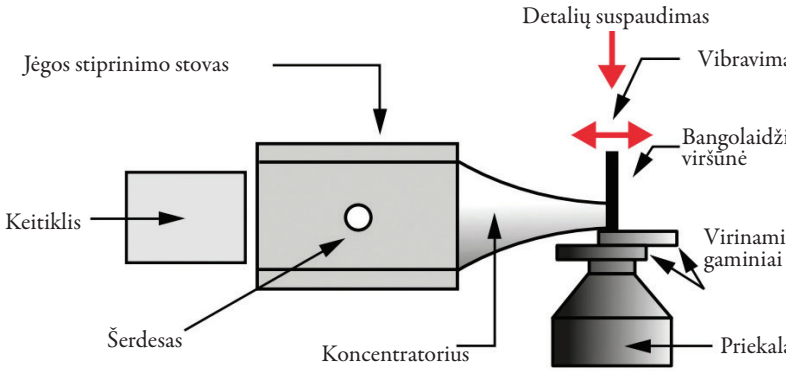


9.16 pav. Suvirinimo elektronų spinduliuote įrenginio veikimo schema (Electron beam welder.jpg.)

savaiminiam spinduliavimui. Reikia nepamiršti, jog šiuo atveju perspinduliuoti sužadintas daleles fotonus priverčia ne tik kaupinimo šaltinio fotonai, bet ir pačios medžiagos perspinduliuoti ir į aktyviąją terpę optinio rezonatoriaus veidrodžių sugrąžinti fotonai. Iš rubino kristalo išeina siauras monochrominis (vieno bangos ilgio) didelės galios spindulys. Nuo veidrodžių atsispindėjęs spindulys daug kartų praeina rubino kristalą ir jo galia padidėja. Atomų išspinduliuota šviesa yra koherentiška, t. y. to paties bangos ilgio, fazės ir poliarizacijos. Optinis rezonatorius formuoja spinduliuojamą šviesos pluoštą ir kontroliuoja spinduliuotės galią. Iš rezonatoriaus šviesa, atsižvelgiant į lazerio konstrukciją, gali būti išleidžiama nuolatiniu pastovios amplitudės ar impulsiniu režimu. Impulsiniu veikimu galima pasiekti gerokai didesnę spinduliavimo galią. Sufokusavus 10^8–10^9 W/cm^2 tankio spindulį, kaitinamos vietos skersmuo gali būti tik kelių šimtųjų milimetro dalių. Lazeriai su kietu aktyviuoju elementu yra ribotos galios, jų spinduliavimo parametrai nestabilūs, naudingumo koeficientas siekia tik 1–2 %. Dujinio lazerio aktyvusis elementas yra stiklinis vamzdelis, pripildytas azoto ir anglies dioksido dujų. Aktyvųjį elementą be pertraukos veikiant elektros iškrova, susižadina azoto molekulės, kurios savo energiją perduoda anglies dioksido molekulėms. Molekulių svyruojamųjų judesių sukauptos energijos perteklius išsiskiria infraraudonųjų spindulių pavidalu, kurių bangos ilgis – 10,6 μm. Šių lazerių naudingumo koeficientas siekia 20 %. Lazerio spinduliuotė gerai sklinda oru, jai nereikia vakuumo, ji negeneruoja rentgeno spindulių, įrenginius paprasta įjungti į automatizuotą ar robotizuotą technologinę liniją.

Pramonėje labiausiai paplitę Nd:YAG (neodimio-itrio-aliuminio granatas) lazeriai, kaip aktyviąją terpę naudojantys dirbtinį kristalą ir gaminantys 1,06 μm bangos ilgio spinduliuotę, anglies dioksido lazeriai, aktyviajai terpei naudojantys dujų mišinį ir gaminantys 10,6 μm bangos ilgio spinduliuotę, ir puslaidininkiniai lazeriai, galintys gaminti kelių bangos ilgių spinduliuotę. Lazerių technologijos pramonėje pirmą kartą buvo įdiegtos 1975 m. – lazeris panaudotas lakštiniam metalui pjaustyti. 1983 m. pramonė pradėjo naudoti 1 kW galios CO_2 lazerius, o 1984 m. lazerio spinduliuote pirmą kartą suvirintas metalas. Pramonėje lazerio spinduliuotė naudojama virinimui, pjaustymui, detalių žymėjimui, graviravimui, medžiagų šiluminiam apdorojimui, mikroapdirbimui.

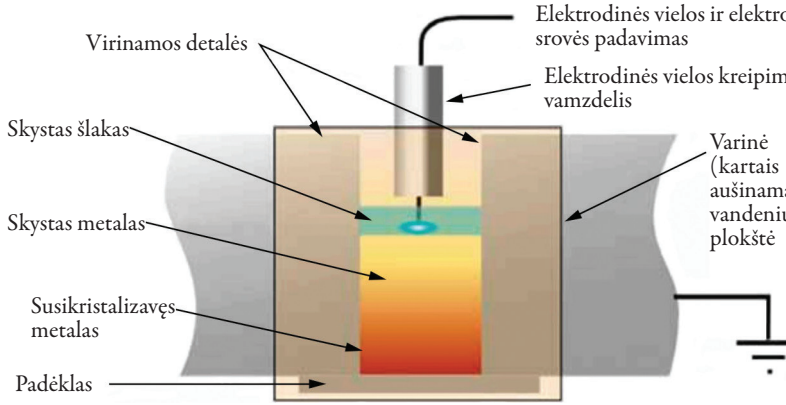
Ultragarsinis suvirinimas – tai detalių sujungimas veikiant jas ultragarsinio dažnio virpesiais ir kartu spaudžiant nedidele jėga. Aukštadažnė (22–88 kHz) srovė teka į magnetostrikcinį keitiklį, kuris ją paverčia mechaniniais virpesiais. Bangolaidžiu ir suvirinimo įrankiu šie virpesiai perduodami suvirinamoms detalėms. Dalis mechaninių virpesių energijos virsta šiluma, ir detalių sąlyčio zona įkaista nuo 70 iki 800 °C (9.17 pav.). Temperatūrą nulemia metalo savybės ir suvirinimo režimas. Įkaitus sąlyčio zonai, metalas pasidaro plastiškas ir išorinio slėgio veikiamos detalės susivirina. Plastmasės suvirinamos ultragarsinio dažnio mechaniniais virpesiais, nukreiptais statmenai suvirinamiems paviršiams, o metalai suvirinami išilginiais 15–40 kHz dažnio svyruojamaisiais virpesiais. Magnetostrikciniai keitikliai gaminami iš feromagnetinių medžiagų. Strypas keičia matmenis tokiu pat dažniu kaip ir srovės dažnis (magnetostrikcinis efektas). Virpesių amplitudė nedidelė (3,5–7,0 μm). Svyravimų transformatorius mechaninių virpesių amplitudę padidina 5–20 kartų. Ultragarsinis suvirinimas plačiai taikomas mikroelektronikoje, prietaisų gamyboje. Šiuo būdu galima privirinti foliją prie storų detalių, plastmasę prie metalo, metalą prie anglies pluošto kompozito ir kt., taip pat gerai suvirinami užteršti, dangomis ir izoliacinėmis plėvelėmis padengti paviršiai. Ultragarsinis suvirinimas 1960 m. pritaikytas kietoms polimerinėms medžiagoms. Šį suvirinimo būdą 1965 m. užpatentavo amerikiečiai Robertas Soloffas ir Seymouras Linsley. Nauja technologija pirmiausia buvo pritaikyta žaislų pramonėje. 1969 m.



9.17 pav. Ultragarsinio suvirinimo schema

buvo surinktas ir ultragarsiniu suvirinimu suvirintas pirmasis iš polimerinių medžiagų pagamintas automobilis. Nors šio automobilio gamyba nepasiteisino, ultragarsinis suvirinimas automobilių pramonėje reguliariai naudojamas nuo XX a. 9 dešimtmečio.

Elektrošlakinis suvirinimas yra lydomojo suvirinimo būdas. Proceso metu pagrindinis ir pridėtinis metalas išlydomi šiluma, kuri išsiskiria elektros srovei tekant pro skysto šlako vonią. Lydantis pagrindinio metalo briaunoms ir suvirinimo vielai (pridėtiniam metalui), skystas metalas pro šlako vonią teka žemyn ir sudaro išsilydžiusio metalo vonelę, kuriai kristalizuojantis susiformuoja siūlė. Tuščiaviduriai variniai, vandeniu aušinami skydai neleidžia šlakui ištekėti ir taip pat formuoja siūlę. Suvirinimo viela nepertraukiamai tiekiama pro antgalį. Virinimo pradžioje sudaroma skysto šlako vonia, t. y. fliusai išlydomi lanku, kuris uždegamas tarp suvirinimo vielos ir pagrindinio metalo. Susidarius skystam šlakui, lankas gęsta, o metalą kaitina skystas iki 2 000 °C temperatūros įkaitęs šlakas. Virinama nuo apačios į viršų tolygiai pastumiant skydus aukštyn (9.18 pav.). Procesas labai našus. Per valandą prilydoma nuo 15 iki 20 kg metalo. Suvirinimo greičiui padidinti į suvirinimo zoną kartais beriami metalo milteliai arba naudojama papildoma suvirinimo viela, kuria neteka srovė. Storoms detalėms suvirinti dar naudojami 10–15 mm storio



9.18 pav. Elektrošlakinis suvirinimas (Electroslag.png.)

juostiniai elektrodai. 25–75 mm storio medžiagoms suvirinti naudojamas vienas elektrodas, o storesniems gaminiams paprastai reikia daugiau elektrodų. Elektrošlakinis suvirinimas daugiausia naudojamas mažaangliam plienui ir didelio skerspjūvio aliuminio gaminiams. Procesui naudojama >600 A nuolatinė srovė ir 40–50 V įtampa. Maksimalus sėkmingai suvirintas ruošinio storis – 0,91 m. Virinimo metu buvo naudojami šeši elektrodai. Šį suvirinimo būdą 1940 m. užpatentavo amerikietis Robertas K. Hopkinsas. 1940 m. šią technologiją savarankiškai plėtojo E. Patono vardo Elektrinio suvirinimo institutas Kijeve.

Elektrokontaktinis suvirinimas – tai būdas, kai pratekanti elektros srovė įkaitina suspaustų detalių kontakto zoną iki plastiško arba aplydymo būvio. Išjungus kaitinimą ir papildomai suspaudus, detalės susivirina. Šilumos kiekis suvirinimo zonoje priklauso nuo srovės stiprumo, srovės tekėjimo trukmės ir nuo varžos detalių sąlyčio vietoje:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \text{ (J)};$$

čia: I – elektros srovės stiprumas (A), R – varža (Ω), t – tekėjimo trukmė (s).

Kontaktiniu būdu suvirinama žemos įtampos (0,5–36 V) ir didelio stiprio srove (100–300 000 A). Šiluma išsiskiria tarp detalių ir tarp detalės ir varinio elektrodo. Tarp detalių išsiskiria daugiau šilumos negu tarp detalės ir elektrodo, nes detalių susilietimo vietoje kontaktinė varža yra didesnė. Elektrodai daromi iš vario-kadmio, vario-chromo, vario-kobalto-berilio, vario-volframo ir kitų lydinių. Svarbiausi elektrovaržinio kontaktinio suvirinimo metodai – sandūrinis, taškinis, reljefinis ir siūlinis. Kontaktinio suvirinimo įrenginiai atlieka dvi funkcijas – suspaudžia ir kaitina suvirinamas detales. Siūlinio suvirinimo įrengimuose yra

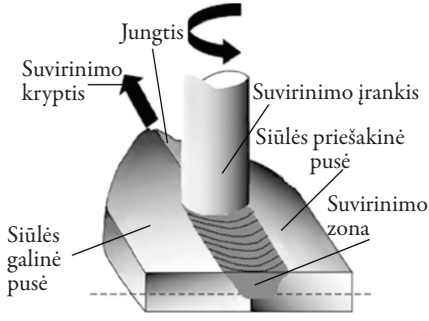


9.19 pav. Elektrovaržinė siūlinė suvirinimo mašina (A. V. Valiulio nuotr.)

detalių stūmimo suvirinimo kryptimi mechanizmas (9.19 pav.), o sandūrinio suvirinimo įrengimuose yra detalių suspaudimo mechanizmas.

1857 m. britas Jamesas Prescottas Joule'is aprašė galimybę suvirinti metalus elektrovaržiniu kaitinimu. 1887–1888 m. N. Benardosas užpatentavo taškinį geležies lakštų suvirinimą naudojant anglinius elektrodus. Elektrovaržinio taškinio suvirinimo būdą 1885 m. sukūrė amerikietis Elihu Thompsonas. Šį būdą jis užpatentavo 1900 m., o 1903 m. sukūrė elektrovaržinio sandūrinio suvirinimo įrenginį. 1911 m. pasirodė siūlinio suvirinimo mašina, o nuo 1930 m. taškinis suvirinimas pradėtas naudoti automobilių kėbulo gamyboje.

Trintinis suvirinimas – tai toks metalinių ar polimerinių detalių jungimo būdas, kai du paviršiai susivirina įkaitę dėl tarpusavio trinties ir papildomo išorinio suspaudimo. Šis suvirinimo būdas sukurtas 1953 m. Sovietų Sąjungoje. Amerikos kompanijos „Caterpillar", „Rockwell International" ir „American Manufacturing Foundry" sukūrė šiam procesui mašinas. Suvirinimo metu viena detalė įtvirtinama nejudamai, o kita sukama apie bendrą jų ašį, kartu abi detales spaudžiant išorine jėga. Detalių sąlyčio vietoje susidaro trintis, kuriai įveikti sunaudotas darbas virsta šiluma. Kai sąlyčio zona įkaista iki 950–1 300 °C, nustojama sukti ir detalės suspaudžiamos 2–3 kartus didesne jėga negu kaitinant. Sąlyčio vietoje plastiškai deformuojantis paviršiniams metalo sluoksniams, detalės suartėja ir susivirina. Trintinio suvirinimo porūšis, kai suvirinamą jungtį įkaitina sukamas suklys, buvo išrastas D. Britanijoje 1991 metais. Suklys, besitrindamas su detalių paviršiumi, jas įkaitina iki plastiško būvio ir



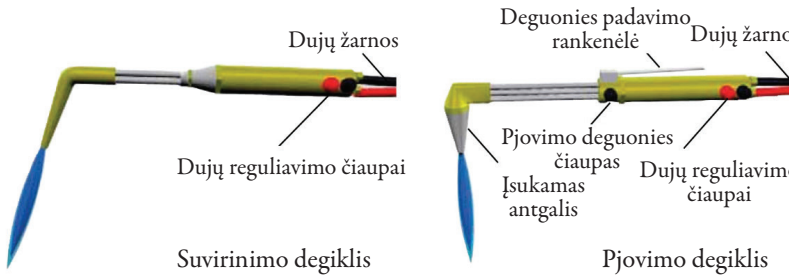
9.20 pav. Trintinio suvirinimo su sukliu schema (Anand-FSW-Figure1-B.jpg.)

detalės suspaudžiamos (9.20 pav.). Šis suvirinimo būdas pirmiausia buvo naudojamas termiškai neapdorojamų aliuminio lydinių suvirinimui.

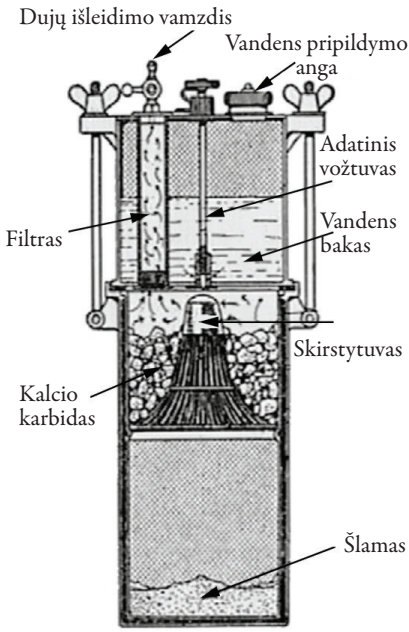
Suvirinimo deguonies-acetileno dujomis būdą 1903 m. sukūrė prancūzų inžinieriai Edmondas Fouche ir Charlesas Picardas. Suvirinant dujomis, gaminio briaunos ir pridėtinis metalas išlydomi šiluma, kuri susidaro degant degiųjų dujų ir deguonies mišiniui (9.21 pav.). Suvirinimui dažniausiai naudojamos acetileno (C_2H_2) dujos, nes acetileno ir deguonies mišinio degimo temperatūra aukščiausia (3 200–3 500 °C). Propano ir oro dujų mišinio degimo temperatūra apie 2 000 °C, propano ir deguonies – apie 2 500 °C. Techninis acetilenas gaunamas iš kalcio karbido arba iš angliavandenilių, kurių yra gamtinėse dujose, naftoje ir kt. Deguonis gaunamas iš atmosferos oro, rečiau – iš vandens (elektrolizės būdu). Oras deguoniui gauti suslegiamas iki 18 MPa ir ataušinamas iki suskystėjimo. Deguonies ir azoto virinimo temperatūros yra skirtingos (deguonies – 182,9 °C, azoto – 195,8 °C). Garinant atšaldytą orą išgaruoja azotas, o skystas deguonis lieka oro skaidymo aparate. Suvirinimui naudojama neutrali, oksiduojanti ir įanglinanti liepsna. Metalai dažniausiai virinami neutralia liepsna. Ji gaunama tuomet, kai deguonies perteklius mišinyje sudaro iki 30 % (deguonies ir acetileno santykis nuo 1:1 iki 1,3:1).

Acetilenas (C_2H_2) gaunamas acetileno generatoriuje kalcio karbidą veikiant vandeniu:

$$CaC_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2.$$



9.21 pav. Dujinio-deguoninio suvirinimo įranga (Types of gas torch head.jpg.)



9.22 pav. Acetileno generatorius (Carbide acetylene generator, drip type (Autocar Handbook, Ninth edition).jpg.)

Acetileno generatorius per valandą gali pagaminti 0,8–150 m^3 acetileno dujų (9.22 pav.).

Angliniam plienui suvirinti fliusai nereikalingi, nes deguonies ir acetileno suvirinimo liepsna pati apsaugo išlydytą metalą nuo oksidacijos. Suvirinant varį, aliuminį ir jų lydinius be fliusų, susidaro oksidai, kurių lydymosi temperatūra aukštesnė negu paties metalo. Naudojant fliusą, išsilydęs fliusas padengia skystą metalą plonu šlako sluoksniu, kuris neleidžia skystame metale susidaryti oksidams, o jeigu jie susidaro, juos ištirpina. Dujinis suvirinimas dažniausiai naudojamas techninės priežiūros ir remonto darbams, nes deguonies ir degiųjų dujų balionus transportuoti nesudėtinga.

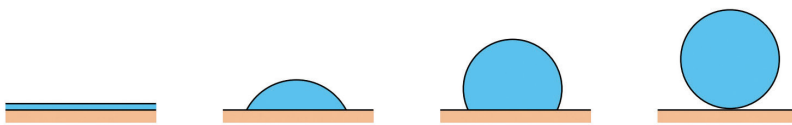
Deguoninis metalų pjovimas pagrįstas tuo, kad pjaunamas metalas dega deguonies čiurkšlėje ir susidaro degimo produktai. Pjovimo pradžioje metalas iki užsiliepsnojimo temperatūros įkaitinamas degiųjų dujų ir deguonies liepsna. Įkaitinus metalą iki reikalingos temperatūros, pro pjoviklio antgalio centrinę kiaurymę leidžiamas grynas deguonis. Metalui degant deguonies čiurkšlėje išsiskiria šiluma. Susidarę oksidai ir šlakai iš pjūvio vietos išpučiami arba, veikiami savo masės, krenta žemyn. Atsižvelgiant į tai, kaip įkaitinamas metalas ir kokios naudojamos specialios papildomos medžiagos, pjovimas skirstomas į deguoninį ir deguoninį fliusinį.

LITAVIMAS

Manoma, kad litavimas minkštaisiais ir kietaisiais lydmetaliais atsirado labai anksti. Yra įrodymų, kad Mesopotamijoje litavimas minkštaisiais lydmetaliais buvo naudojamas bronzos amžiuje. Šumerų kardai jau nuo ~3 000 m. pr. m. e. buvo gaminami naudojant litavimą kietaisiais (aukštatemperatūriais) lydmetaliais.

Litavimas yra metalų sujungimo procesas, kai išlydytas lydmetalis kapiliariniu būdu užpildo tarpelį tarp jungiamų detalių. Kuo mažesnis tarpelis tarp detalių, tuo didesnis kapiliarinis slėgis, tuo aukščiau pakyla išsilydęs lydmetalis ir tuo didesnis sujungto paviršiaus plotas. Proceso metu išsilydo tik lydmetalis. Jis suvilgo jungiamų detalių briaunas ir kristalizuodamasis sujungia paviršius. Atsižvelgiant į jungties susidarymo mechanizmą, litavimas gali būti kapiliarinis, kontaktinis reakcinis, reakcinis fliusinis ir difuzinis. Detalių paviršių vilgymas skystu lydmetaliu yra svarbiausia kokybiškos jungties sąlyga (9.23 pav.). Lituojamo paviršiaus vilgumas priklauso nuo jungiamųjų paviršių būvio, aplinkos, kurioje kaitinama, jungiamo metalo cheminės sudėties, lydmetalio sudėties, temperatūros ir kitų veiksnių. Vilgumą didina fliusai, kurie nuo paviršių nuvalo oksidus ir kitus nešvarumus.

Litavimui reikalingas lydmetalis, fliusas ir šilumos šaltinis. Žematemperatūriam litavimui naudojami lydmetaliai, kurių lydymosi temperatūra yra ne aukštesnė kaip 350–400 °C. Žematemperatūriais lydmetaliais sulituotų jungčių stipris 30–70 MPa. Aukštatemperatūriam litavimui lydmetaliu naudojami vario, sidabro, nikelio ir kt. lydiniai, jų lydymosi temperatūra siekia 1 250 °C. Litavimo fliusas – tai cheminė medžiaga, naudojama oksidų plėvelei pašalinti nuo sulituojamųjų paviršių. Be to, jis apsaugo, kad plėvelė nesusidarytų litavimo procese, taip pat mažina išsilydžiusio lydmetalio paviršinį įtempį. Žematemperatūriai kanifoliniai ir stearininiai fliusai yra nerūgštūs



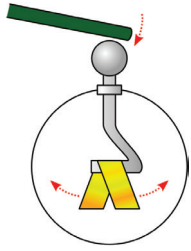
9.23 pav. Paviršių vilgymas lituojant

ir beveik neaktyvūs. Aktyviųjų fliusų pagrindą sudaro kalifonija, glicerinas, vazelinas, į juos dar pridedama cinko chlorido, druskos rūgšties ir kt. Cr, Ti, Al oksidų plėvelės suardomos rūgščiaisiais fliusais, kuriuose yra cinko chlorido. Aukštatemperatūriam anglinio plieno, vario ir jo lydinių litavimui naudojamas boraksas, borakso ir boro rūgšties mišinys. Nerūdijančiam plienui naudojami aktyvesni fliusai, kuriuose, be borakso, dar yra kalcio fluorido ir Al-Cu-Mg ligatūros. Lituojant lydmetalis ir pagrindinis metalas kaitinami įvairias metodais. Labiausiai paplitę kaitinimo būdai: lituoklinis, liepsninis, elektrovaržinis, aukštadažne srove, lankinis, plazminis, elektronų ar lazerio spinduliuote. Litavimas naudojamas santechnikoje, elektronikoje, juvelyrikoje, maisto pramonėje ir kitose šakose.

10 SKYRIUS
ELEKTROS INŽINERIJOS RAIDA

ELEKTROS INŽINERIJOS IŠTAKOS

Elektros inžinerija, arba elektrotechnika, yra mokslo ir technikos šaka, susijusi su elektros, elektronikos ir elektromagnetizmo tyrimais bei jų naudojimu. Svarbiausios elektrotechnikos kryptys: energetinė ir informacinė. Elektrotechnika yra glaudžiai susijusi su energetika. *Energetinė elektrotechnika* tiria elektros energijos generavimą, perdavimą ir paskirstymą vartotojams, taip pat nagrinėja įvairių įrenginių (transformatorių, elektros generatorių, elektros variklių, aukštos įtampos įrenginių, galios elektronikos) kūrimą ir projektavimą. Elektros inžinieriai projektuoja elektros tinklus, atlieka jų priežiūros darbus. Elektros tinklai gali nukreipti į tinklą papildomą galią iš kitų tinklų ar elektros energijos generavimo šaltinių, nukreipti tinklo galią į kitus tinklus arba vykdyti šias funkcijas kartu. *Energetinė elektrotechnika* taip pat tiria elektros energijos panaudojimą medžiagoms apdirbti elektromechaniniu, elektroeroziniu, elektrocheminiu, elektronų arba jonų srautu bei sujungti elektrinio suvirinimo būdu. Naudojant energetinę elektrotechniką buvo išskirti kai kurie cheminiai elementai, ištirti šiluminiai, šviesos ir magnetiniai reiškiniai. Atradus Omo (Ohm), elektromagnetinės indukcijos dėsnius ir sukūrus elektrodinamikos pagrindus, pradėtos gaminti elektros mašinos, išrastas telegrafas, elektros srovės matavimo prietaisai. Elektros energija imta naudoti metalinėms kopijoms gauti, vienus metalus dengti kitais. XIX a. II pusėje išradus rūgštinį elektros akumuliatorių, elektra pradėta naudoti apšvietimui. Teoriškai įrodytas ir bandymais patvirtintas elektromagnetinių bangų egzistavimas. XIX a. pab. išrastas radijo imtuvas, pastatytos pirmosios elektrinės, nutiestos elektros linijos, kuriamos energetikos sistemos, pradėtas elektrifikuoti geležinkelis. XX a. 3 dešimtmetyje sukurti televizijos įrenginiai, 5 dešimtmetyje – kompiuteriai, 6 dešimtmetyje pastatytos pirmosios branduolinės elektrinės. Pradėta plėtoti radiotechniką ir elektroniką, telemechaniką ir automatiką, informatiką, ryšių techniką.



10.1 pav. Elektroskopas – įtaisas elektros krūviui aptikti (Electroscope.png.)

Didžiausias pagaminamos elektros energijos kiekis (apie 60–65 %) sunaudojamas elektros varikliuose paverčiant ją mechanine energija. Elektriniam apšvietimui tenka 10–12 %, elektrotermijai – 10 %, ryšiams, radijui, televizijai – 2 % sunaudojamos elektros energijos

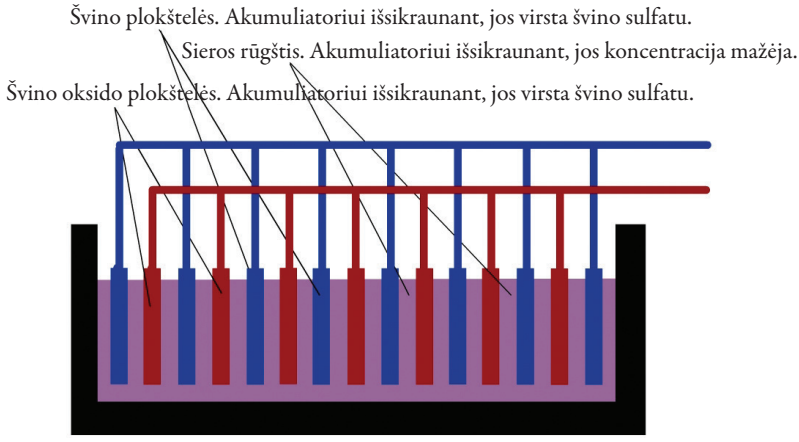
Moksliniai elektros ir elektrotechnikos pagrindai pradėti kurti dar XVII a. pradžioje. Fizikas Williamas Gilbertas įrodė, kad ne tik gintaras, bet ir deimantai, stiklas, siera ir kt. gali traukti smulkius kūnus. Todėl šį fiziką galima laikyti elektros mokslų pradininku. Šis mokslininkas sukūrė prietaisą elektriniam krūviui aptikti – *elektroskopą*. Įelektrintą kūną pridėjus prie elektroskopo, krūvis nuteka į plokšteles. Kadangi abi plokštelės įsielektrina to paties ženklo krūviu, jos viena kitą pradeda stumti. Plokšteles veikia elektrostatinės stūmos jėga ir gravitacinės traukos jėga. Kuo didesnis krūvis susikaupia plokštelėse, tuo didesnė stūmos jėga veikia plokšteles, todėl plokštelės prasiskleidžia didesniu kampu (10.1 pav.).

Jis pirmasis iš fizikų aiškiai atskyrė magnetizmą ir statinį elektros energijos krūvį, nustatė, kad gebėjimas traukti lengvus daiktus būdingas ne tik į vilną patrintam gintarui, bet ir daugeliui kitų medžiagų, kurias jis pavadino „elektringais kūnais“. Nustatė, kad perpjovus magnetą negalima atskirti magneto polių, aprašė magnetų vienodų polių atostūmį ir priešingų trauką, geležies įmagnetinimą, magneto galios silpnėjimą jį kaitinant ir kita. Pagaminęs rutulio formos magnetą ir stumdydamas jo paviršiumi mažą magnetinę rodyklėlę W. Gilbertas atrado, kad ji orientuojasi kaip ir kompasas Žemės paviršiuje, t. y. įrodė, kad Žemė yra didelis magnetas. Jis manė, kad elektros ir magnetizmo prigimties reiškiniai nėra tarpusavyje susiję, deja, vėliau ši nuomonė nepasitvirtino. Jo paskelbti veikalai iki XVIII a. pabaigos buvo tos srities žinių enciklopedija.

Elektrotechnikos raidos pradžia laikoma XVIII a. pab. – XIX a. pr., kai buvo atrasti elektros energijos šaltiniai – Voltos stulpas ir galvaniniai elementai. Galvaniniai elementai – elektrocheminiai prietaisai, kuriuose vykstančių savaiminių oksidacijos ir redukcijos reakcijų cheminė energija paverčiama elektros energija. Voltos elementas – baterija, kurią 1800 m. išrado Alessandro Volta. Šią pirmą bateriją, kartais dar vadinamą Voltos stulpu, sudarė sidabro ir cinko

diskai, perskirti sūriame vandenyje išmirkytu kartonu arba audeklu. Pirmą masiškai gamintą bateriją 1800 m. sukūrė chemikas Williamas Cruickshankas: jis sulitavo vario ir cinko plokštelių poras, įdėjo jas į medinę dėžę ir užpylė rūgštiniu elektrolitu. Vieną iš geriausiai žinomų baterijų 1868 m. sukūrė prancūzas G. Leclanche'as. Baterijos celę sudarė anglies ir cinko elementai, įmerkti į amonio chlorido elektrolitą. Katodas buvo padarytas iš anglies, o anodas – iš cinko. Galvaninio elemento darbo metu dėl poliarizacijos mažėja elektrodinių procesų greitis. Elektrodinių procesų greičio didėjimas vadinamas *depoliarizacija*. Pastaroji atliekama maišant elektrolitą, jį skiedžiant, parenkant elektrodus arba šalinant kenksmingas priemaišas. G. Leclanche'o celėse depoliarizatoriumi buvo magnio dioksidas, supantis anglies strypelį. Šiuolaikinėse baterijose vietoje skysto elektrolito dažnai naudojamas pastos konsistencijos elektrolitas.

Dabartiniai automobiliai aprūpinti įkraunamais įtaisais – *akumuliatoriais*. Akumuliatorius – tai cheminis elektros srovės šaltinis, kurio veiklą galima atkurti įkraunant, t. y. paleidžiant juo srovę priešinga nei iškrovimo kryptimi. Akumuliatoriui išsikraunant, cheminė energija virsta elektros energija, o jį įkraunant, atvirkščiai, elektros energija virsta chemine. Rūgštinio akumuliatoriaus elektrolitas yra skiesta sieros rūgšties (25–30 %), plokštelės gaminamos iš švino ir jo junginių (10.2 pav.). Didžiausias rūgštinio akumuliatoriaus



10.2 pav. Rūgštinis akumuliatorius (Acid accumulator.jpg.)

trūkumas – didelis svoris. Šarminiuose akumuliatoriuose teigiamų plokštelių aktyvią masę sudaro nikelio hidroksidas, o neigiamų plokštelių – akyta geležis. Elektrolitas yra 21 % kalio šarmo arba natrio šarmo tirpalas. Automobiliuose naudojama akumuliatoriaus baterija – keletas tarpusavyje sujungtų galvaninių elementų.

Geresnėmis savybėmis pasižymi iš nikelio ir geležies ar nikelio ir kadmio pagaminti akumuliatoriai, elektrolitui naudojantys natrio hidroksidą. Šie galvaniniai elementai yra patvaresni, lengvesni ir efektyvesni už švininius rūgštinius. Iki elektros generatorių sukūrimo 1860 m. galvaniniai elementai buvo pagrindinis elektros energijos šaltinis. Danų fizikas Hansas Christianas Ørstedas eksperimentais atskleidė, kad kai kuriose medžiagose elektros srovė gali sukurti magnetiškumą. Iškilo klausimas, ar magnetizmas gali sukurti elektros energiją? 1831 m. Michaelas Faraday atrado elektromagnetinę indukciją. Jam sukant varinį diską tarp magneto polių, galvanometras rodė, kad tarp disko ašies ir jo periferijos teka elektros srovė. M. Faraday išsiaiškino, kad, magnetą padėjus uždaroje laido kilpoje, srovė laidu tekėtų tol, kol judėtų magnetas. Šis efektas, vadinamas elektromagnetine indukcija, buvo svarbus dėl dviejų priežasčių: pirma, kaip fundamentalus dėsnis teoriniam elektromagnetizmo suvokimui, antra, elektromagnetinė indukcija gali būti naudojama nuolatiniam elektros srovės generavimui. Tą pademonstravo pats Faraday, sukonstruodamas pirmąją dinamo mašiną.

Elektros reiškinių tyrimus papildė vokiečių fiziko Georgo Ohmo darbai. 1827 m. jis įvertino skirtumą tarp elektros srovės ir potencialo laidininkuose. 1873 m. škotų fizikas Jamesas C. Maxwellas paskelbė bendrą elektros ir magnetizmo teoriją. XIX a. pabaigoje sausumos inžinerinių tinklų, povandeninių kabelių plėtra ir belaidė telegrafija paskatino sparčią komunikacinių ir ryšių technologijų pažangą. Tam reikėjo visame pasaulyje standartizuotų matavimo vienetų, todėl greitai buvo sukurti ir įteisinti dabar visiems žinomi voltas, amperas, omas, kulonas, henris ir faradas.

1882 m. amerikietis Thomas Edisonas pastatė pirmąjį pasaulyje 110 voltų nuolatinės elektros srovės tiekimo tinklą. Nikola Tesla sukūrė kintamosios elektros srovės transformatorių ir asinchroninį variklį. 1884 m. Charlesas Parsonsas išrado garo turbiną. 1881 m. prie Niagaros krioklio pradėta statyti pirmoji pasaulyje hidroelektrinė, 1882 m. Londone ir Niujorke pastatytos

pirmosios šiluminės elektrinės. Apie 1890 m. energetikos pramonė labai suklestėjo. JAV ir Europoje buvo pastatyta tūkstančiai elektros perdavimo linijų, sukurti nuolatinės ir kintamosios srovės energijos perdavimo tinklai, sparčiai plito apšvietimas elektra. 1880 m. buvo sukurta ir pradėjo plisti kintamosios srovės (AC) elektros energijos paskirstymo sistema. Kintamoji elektros srovė nurungė nuolatinę elektros srovę paprastesniu energijos paskirstymu ir perdavimu. Šiose varžybose ypač didelė svarba teko transformatoriui, kuris galėjo padidinti ar sumažinti tinklo įtampą, pagerino elektrosaugą, išplėtė elektros perdavimo dideliu nuotoliu galimybes. Pirmųjų elektros generatorių išeinanti įtampa labai priklausė nuo apkrovos dydžio: kai apkrova didėjo, generuojamos srovės įtampa mažėjo, jeigu apkrova staiga sumažėdavo, įtampa padidėdavo šuoliškai. Lankinio apšvietimo lempoms tokie įtampos šuoliai buvo nesvarbūs, tačiau kaitinamosioms lempoms jie buvo nepriimtini.

Aprašytos mašinos buvo pritaikytos gaminti nuolatinę srovę. Pirmieji kintamosios srovės generatoriai naudojo uždarą magnetinę sistemą iš dviejų šerdžių. Jos buvo gaminamos iš plonų, viena nuo kitos izoliuotų plieninių plokštelių. Į šerdžių griovelius buvo dedamos apvijos. Vienos šerdies apvija, kai ja teka elektros srovė, sukuria magnetinį lauką, kitoje apvijoje indukuojama kintamoji srovė. Šerdis, kuri kartu su apvija sukasi apie ašį, vadinama rotoriumi, nejudanti šerdis su joje esančia apvija – statoriumi. Kad magnetinis srautas būtų kuo didesnis, tarpas tarp rotoriaus ir statoriaus turi būti labai mažas. Srovė indukuojama rotoriaus apvijoje. Srovei perduoti iš rotoriaus į išorinę grandinę naudojami slankieji kontaktai – kontaktiniai žiedai ir šepetėliai. Rotoriaus apvijos galai prijungiami prie kontaktinių žiedų, o prie šių prispaudžiami šepetėliai (plokštelės). Generatoriaus rotoriaus sukimosi dažnis priklauso nuo elektromagneto polių skaičiaus.

Pirmuosius generatorius suko garo variklis. Net greičiausių garo variklių sukimosi greitis buvo tik apie 500 apsisukimų per minutę. Sukamas tokiu greičiu 50 Hz dažnį galėjo pasiekti tik dvylikos polių generatorius. Dar vienas šių generatorių trūkumas – jie netiko trifazei srovei. Tačiau, dar prieš prasidedant trifazių generatorių gamybai, garo variklius pakeitė greičiau besisukančios turbinos, o pasikeitus sukimosi greičiui, keitėsi ir generatorių konstrukcija.

APŠVIETIMAS

Nors apšvietimui elektros lankas buvo pradėtas naudoti jau XIX a., tačiau trūkstant elektros generatorių ir elektros perdavimo tinklų taikyti jį praktiškai nebuvo galimybių. Dabartiniu metu apšvietimui tenka apie 15–25 % visos buityje sunaudojamos elektros energijos. Elektros lempos gali būti kaitinamosios, halogeninės, liuminescencinės ir diodinės.

Pastaruoju metu vis dažniau naudojama nauja kaitinamųjų lempų rūšis – halogeninės lempos, kurių kolbos yra pripildytos inertinių dujų ir halogenų – jodo arba bromo. Halogeninės lempos veikia iki 5 000 val. ir skleidžia 35 % daugiau šviesos. Dėl aukštos temperatūros skleidžiama balta šviesa yra artimesnė natūraliai dienos šviesai. Renkantis halogenines lempas reikia žinoti, kad šios lempos labai įkaista, jų paviršiaus temperatūra siekia 300–600 °C.

Elektros energiją efektyviai naudoja liuminescencinės, arba dienos šviesos, lempos, kurios, palyginti su įprastomis kaitinamosiomis, elektros energijos sunaudoja mažiau – iki 80 %. Šios lempos penkis kartus daugiau elektros energijos paverčia šviesa, todėl išskiria mažai šilumos. Liuminescencinė lempa veikia dujinės iškrovos principu – elektros srovė naudojama gyvsidabrio garams sužadinti argono arba neono aplinkoje. Jų eksploatavimo laikas gali siekti 15 000 valandų.

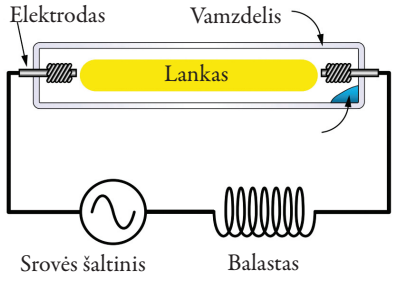
Lankinių lempų šviesos šaltinis yra elektrinis lankas. Lankas uždegamas tarp dviejų grafitinių ar volframinių elektrodų. Elektrodų strypai trumpam suliečiami, o vėliau atitraukiami keletą milimetrų. Atitraukus elektrodus tarp jų šoka kibirkštis arba pradeda degti elektros lankas. Degdamas lankas išskiria daug šilumos, o iki labai aukštos temperatūros įkaitę elektrodai skleidžia šviesos spindulius. Lankui degant ore elektrodai pamažu nudega, todėl tarp jų reikia nuolat palaikyti vienodą tarpą. Jeigu tokio reguliavimo nėra, tai per minutę ar dvi tarpas tarp elektrodų padidėja, lankas nutrūksta ir lempa užgęsta. Apie 1890 m. lankinio apšvietimo lempos buvo kelis kartus patobulintos. Viena iš tokių naujovių – lanko apgaubimas stiklo vamzdžiu: uždaroje erdvėje nebelikus oro, anglies elektrodų nudegimo intensyvumas labai sumažėjo. Antrasis patobulinimas buvo susijęs su įvairių druskų, dažniausiai magnio, kalcio, bario ir stroncio fluoridų, įterpimu į anglinio elektrodo strypelį. Šios medžiagos didino skleidžiamos šviesos intensyvumą ir leido kontroliuoti šviesos spalvą.

Dabartinėse lankinėse lempose lankas užsidega tarp dviejų elektrodų, pagamintų iš grafito ar metalo, pavyzdžiui, volframo. Lempos erdvė užpildoma inertinėmis dujomis (ksenonu, argonu), metalų garais arba jų druskomis (gyvsidabrio, natrio ir t. t.). Priklausomai nuo dujų sudėties, temperatūros ir slėgio lempa gali spinduliuoti įvairaus spektro šviesą.

Kaitinamojoje lempoje šviesą skleidžia plonas siūlelis, per kurį teka elektros srovė. Kaitinamąjį siūlelį nuo oksidacijos apsaugo stiklinė kolba. Oras iš kolbos yra išsiurbiamas arba ji pripildoma inertinių dujų. Kaitinamosios lempos yra gerokai mažiau veiksmingesnės už daugelį kitų rūšių apšvietimo lempų. Jos veikia iki 1 000 valandų, bet sunaudoja daug elektros energijos. Kaitinamosios lempos šviesa paverčia tik 5 % energijos, kiti 95 % elektros energijos virsta šiluma.

Pirmą kaitinamąją lempą sukūrė britų chemikas ir išradėjas Humphry'is Davy'is. 1815 m. jis pristatė pirmą efektyvią elektros lempą, kuri buvo prijungta prie elektros baterijos. Tokia lempa buvo naudojama anglies kasybos darbuose. Joje elektros srovė tekėjo platinos juostele, kurios lydymosi temperatūra buvo labai aukšta. Kadangi platina buvo brangi, šio tipo lempos nepaplito. Per XIX a. pirmuosius tris ketvirčius daugelis eksperimentatorių kaitinamosioms lempoms naudojo platinos, iridžio arba osmio vielas, anglies strypelius, kurie buvo kaitinami vakuumo arba pusiau vakuumo stikliniame gaubte. Kaitinamosiomis lempomis su volframo siūleliu 1904 m. pirmoji pradėjo prekiauti Vengrijos bendrovė „Tungsram". Šios lempos degdavo ilgiau, jų šviesa buvo ryškesnė negu lempų su anglies siūleliu. Atlikti eksperimentai rodė, kad inertinėmis dujomis užpildytos lempos švietė ryškiau negu vakuuminės. Volframinis kaitinimo siūlelis lempose naudotas ilgiau už kitas medžiagas. 1906 m. „General Electric Company" bendrovė užpatentavo siūlelių gamybą iš sukepinto volframo, 1911 m. plastišką volframo vielą pradėjo naudoti stiklinės kolbos lempose. 1913 m. Irvingas Langmuiras nustatė, kad inertinėmis dujomis užpildytos lempos šviečia du kartus šviesiau negu vakuuminės, be to, kolbų stiklo paviršius ilgiau netamsėja.

1920 m. Arthuras Comptonas sukūrė pirmą sėkmingą natrio garų lempą. Šioje lempoje šviesos elementas yra stiklinis vamzdelis su natrio ir nedideliu kiekiu inertinių dujų. Neveikiančioje lempoje natris yra kietos būsenos. Įjungta lempa kurį laiką šviečia blausia rausva šviesa. Natriui lempos viduje virtus garais, ji įsižiebia visa galia. Vamzdelis apgaubtas



10.3 pav. Didelio slėgio natrio garų lempa (High pressure sodium lamp.svg.)

išoriniu stiklo gaubtu, kuris gerai praleidžia matomą šviesą, bet sulaiko infraraudonuosius spindulius. Energija spinduliuojama beveik vien matomoje spektro dalyje, todėl lempa labai efektyvi. Dėl tokio siauro spinduliavimo spektro šviečiant lempai beveik nematyti spalvų. Svarbiu lempų privalumu yra jų ekonomiškumas, pastovi ir neakinanti šviesa. Uždegimo įtampa žemo slėgio lempoje nepriklauso nuo temperatūros (išjungus galima iškart vėl įjungti), nėra nuodingo gyvsidabrio. Panašios konstrukcijos aukšto slėgio natrio lempų spektras artimas saulės šviesai (10.3 pav.).

1934 m. A. Comptonas išrado fluorescencinės šviesos vamzdelį, arba liuminescentinį efektą. Liuminescencinė lemputė veikia dujinės iškrovos principu, kai elektros srovė naudojama gyvsidabrio garams sužadinti argono arba neono aplinkoje. Vamzdelis, į kurį įdedama šiek tiek gyvsidabrio, pripildomas argono iki kelių šimtų paskalių slėgio. Į galus įlydomi elektrodai, o pats vamzdelis padengiamas liuminoforu. Stikliniame lemputės gaubte susidaranti gyvsidabrio garų plazma sukuria ultravioletinę šviesą. Gyvsidabris turi dvi švytėjimo linijas ultratrumpų bangų (254 nm ir 185 nm) diapazone. Ultravioletiniai spinduliai sužadina liuminoforo (švytalo), kuriuo yra padengtas vidinis lemputės paviršius, liuminescenciją. Į matomą šviesą šią spinduliuotę konvertuoja fosforas, kuris ją

a



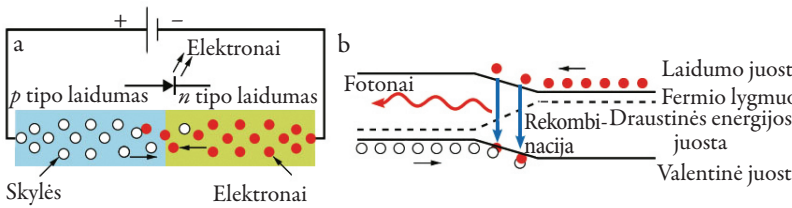
b



10.4 pav. Fluorescencinė lempa (a – Compact fluorescent straight crop.jpg.) ir 60 šviesos diodų LED šviestuvas (b – 60 LED 3W Spot Light eq 25W.jpg.)

sugeria ir perspinduliuoja. Liuminoforas švyti matoma šviesa (10.4 pav., a). Liuminescencinės lemputės šviesa mirga dvigubu elektros tinklo dažniu (100 Hz). Susidėvėjusi gali mirgėti ir tiesioginiu 50 Hz dažniu – toks mirgėjimas jau pastebimas. Liuminescencinė lempa uždegama specialia grandine, kurioje svarbiausią vaidmenį vaidina starteris – elektrodų pakaitinimui skirtas bimetalinis kontaktas. Droselis riboja srovę ir generuoja uždegimo įtampos impulsą. Kaitinamosios lemputės naudoja daugiau energijos negu dienos šviesos lempos ar šviesos diodai (LED lempos), todėl šiandien daug kur jų naudojimas yra ribojamas ar net draudžiamas.

LED (*Light-Emitting Diode*) – šviesos diodų, kurių sandara pritaikyta šviesai skleisti, lempos. Kaip ir kituose dioduose, krūvininkai (elektronai ir skylės) iš skirtingų elektrodų teka į diodo sandūrą. Sutikęs skylę elektronas krenta į žemesnį energijos lygmenį ir išspinduliuoja fotoną (10.5 pav.). Srovei tekant tiesiogine kryptimi, šio diodo p-n sandūra šviečia beveik vieno bangos ilgio (monochromatine) šviesa. Organiniuose šviesos dioduose (OLED) elektroliuminescentinis, šviesą skleidžiantis sluoksnis yra padarytas iš organinės, metalorganinės ar polimerinės medžiagos. OLED yra sudarytas iš vieno ar dviejų organinių / polimerinių kontaktuojančių sluoksnių, patalpintų tarp dviejų elektrodų. Vienas iš organinių sluoksnių yra šviesos emiteris, jis kartu yra ir iš katodo injektuotų elektronų laidininkas. Kitas sluoksnis yra elektros laidininkas, į kurį injektuojamos skylutės iš anodo. Riboje tarp dviejų sluoksnių elektronai ir skylutes susitinka ir rekombinuoja, išspinduliuodami energijos skirtumą šviesos pavidalu. Parenkant organines medžiagas, galima gauti įvairių spalvų organinius šviesos diodus, o jas kombinuojant – įvairius atspalvius ar baltą šviesą.



10.5 pav. Šviesos diodo elektrinė grandinė (a) ir energijos juostos (b – light-emitting-diode-led-technology-how-does-led-work.php.)

Skirtingai nuo paprastos lemputės, kuriai įkaisti reikia laiko, šviesos diodas gali įsižiebti ir užgesti daugelį tūkstančių kartų per sekundę. Efektyviam šviesos diodų veikimui reikia stabilizuotos srovės, todėl į lemputės korpusą įmontuojamas srovės stabilizatorius (rezistorius, kondensatorius). Norint išvengti lempos mirgėjimo, į lempos korpusą dar įmontuojamas diodinis lygintuvas, kuris išlygina įtampą. Šiuo metu gaminami diodai įvairiems bangų ilgiams (nuo infraraudonosios iki ultravioletinės šviesos). Šviesos diodų ekranuose naudojami trijų pagrindinių (raudonos, žalios, mėlynos) spalvų diodai, todėl toks ekranas gali rodyti ir spalvotą vaizdą. LED lempos efektyviai naudoja energiją, nes jose beveik visa elektros energija paverčiama šviesa, jos dega 50 kartų ilgiau negu kaitinamoji lemputė, jose nėra gyvsidabrio ar kitų kenksmingų medžiagų, jos nespinduliuoja žalingų ultravioletinių spindulių, neįkaista, yra patvarios (nėra dūžtančios kolbos). LED lemputės dažniausiai naudojamos ten, kur reikalinga stipri ir kryptinga šviesa (automobiliuose, prožektoriuose) (10.3 pav., b). OLED diodai naudojami mobiliuosiuose telefonuose, skaitmeninėse vaizdo kamerose, nešiojamuose kompiuteriuose, gali būti panaudoti lankstiems (susukamiems) ekranams.

Elektros perdavimo sistemose šiandien vyrauja kintamosios elektros srovės perdavimo tinklai, nes lengvai galima keisti elektros įtampą, perduoti energiją (ir nuolatinę srovę) dideliu atstumu. 1930 m. Švedijoje buvo sukurti gyvsidabrio lygintuvai, išlyginantys labai didelę srovę. Tokią srovę perdavus dideliu atstumu, ją galima vėl transformuoti į kintamąją srovę. Šie lygintuvai gali išlyginti kelių skirtingų tinklų, skirtingo dažnio kintamąją srovę ir ją perduoti į vieną nuolatinės srovės perdavimo tinklą. Tai ypač svarbu, kai negalima sinchronizuoti kintamosios srovės tinklų. Kabeliuose po La Manšo sąsiauriu, jungiančiuose Prancūzijos ir D. Britanijos elektros energijos tinklus, teka nuolatinė elektros srovė.

2016 m. pradėjo veikti „NordBalt“ elektros jungtis tarp Lietuvos ir Švedijos elektros energijos perdavimo sistemų. Jungties ilgis – apie 450 km, galia – 700 MW, įtampa – 300 kV. Šią jungtį sudaro aukštos įtampos nuolatinės srovės povandeninis ir požeminis kabeliai bei keitiklių stotys Lietuvoje ir Švedijoje. Aukštos įtampos nuolatinės srovės (HVDC) povandeninio kabelio ilgis apie 400 km.

ELEKTROS MATAVIMO ĮRANKIAI

XIX a. pabaigoje, sparčiai plintant elektriniam apšvietimui, prireikė elektros parametrų matavimo priemonių. Vartotojui svarbiausia buvo matuoti įtampą ir energijos sunaudojimą. Kaitinamųjų lempučių degimo trukmė labai priklausė nuo maitinimo įtampos, o nuo sunaudotos elektros energijos kiekio priklausė mokamos sumos dydis. Ilgą laiką sunaudotos energijos kiekis buvo matuojamas pagal magnetinės jėgos, sukuriamos laidininke tekant elektros srovei, dydį. 1837 m. buvo sukonstruotas galvanometras, kuriame didelio skersmens ritė sukuriamu magnetiniu lauku sukiojo rodyklę, o šį sukiojimą priešpriešai veikė Žemės magnetinio lauko sukuriama kontrolinė jėga. Dabartinė matavimo priemonė – *elektrodinamometras* – nepriklauso nuo magnetinių medžiagų. Šiame prietaise judri ritė, pakabinta ant susukamos pakabos, yra nejudančios ritės viduje. Kai abiejose ritėse teka elektros srovė, magnetinė jėga pasuka judrią ritę, o magnetiniam srautui pranykus, ritės pakabos elastinė jėga pasuka ritę į pradinę padėtį. Pagal ritės pasisukimo kampo dydį apskaičiuojamas elektros energijos sunaudojimas.

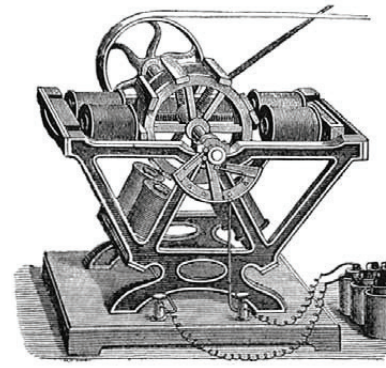
Išrastas indukcinis variklis inspiravo kintamosios srovės vartotojams tinkamų indukcinių elektros srovės matavimo prietaisų atsiradimą. Kintamosios elektros srovės vartotojams buvo svarbu žinoti ne tik sunaudotos energijos kiekį, bet ir elektros srovės bangos formą. 1892 m. buvo sukurtas *mechaninis osciloskopas* – elektros signalo formos stebėjimo ir matavimo prietaisas, tačiau tik 1897 m. pavyko pagaminti elektrinį galvanometrą, pagal kurio rodmenis buvo galima stebėti kintamosios elektros srovės bangos formą. Apie 1897 m., sukūrus katodinių spindulių vamzdį (kineskopą), jis tapo pagrindine elektros impulso formą rodančia ir registruojančia priemone. Prietaise elektronų spindulys dažniausiai valdomas elektrostatiniu lauku. Kineskopo priekinė sienelė padengiama specialiu liuminoforu, kurio švytėjimo laikas kiek ilgesnis, todėl prabėgęs spindulys palieka švytinčią liniją, atitinkančią signalo formą. Specialios elektrinės grandinės atlieka signalo sinchronizacijos, spindulio gesinimo ir signalo valdymo funkcijas. Šiuolaikinis skaitmeninis osciloskopas yra visiškai kitoks: sustiprintas ir normalizuotas tiriamasis signalas greitu analogas-kodas keitikliu

skaitmenizuojamas, o rezultatas įrašomas į operatyvinę atmintį. Vėliau duomenys apdorojami kompiuteriu ir rezultatas rodomas ekrane.

ELEKTROS VARIKLIAI

Elektros variklis – energijos rūšies keitimo įtaisas, veikiantis pagal elektromagnetizmo principus ir elektros energiją verčiantis mechanine sukimo momento energija. Paprasčiausias elektros variklis yra vielos ritė, įtaisyta magneto ar elektromagneto magnetiniame lauke. Rite tekanti elektros srovė sukuria magnetinį lauką. Šie laukai traukia arba stumia vienas kitą, todėl ritė sukasi ir suka variklio veleną. Besisukanti ritė vadinama rotoriumi, arba inkaru, o stacionarus magnetas – statoriumi. Daugelyje variklių srovę į besisukančią ritę perduoda šepetėliai. Įrenginys, kuris jungia ritę ir šepetėlius, vadinamas kolektoriumi.

Elektros mašinų ir prietaisų kūrimo raidai jau beveik 250 metų. Šių mašinų kūrimas praėjo ilgą ir sunkų kelią. 1740 m. Andrew Gordonas ir Benjaminas Franklinas pirmieji išbandė elektrostatinį variklį. 1820 m. danų fizikas Hansas Christianas Ørstedas pirmasis pastebėjo, kad kompaso rodyklę veikia magnetinis laukas ir kad tarp elektros ir magnetizmo yra ryšys. Tais pačiais metais prancūzų fizikas André-Marie Ampère'as išrado selenoidą. Galimybę paversti elektros energiją mechanine pirmiausia išsiaiškino M. Faraday. Jis nustatė, kad laidininkas magnetiniame lauke suksis tol, kol juo tekės elektros srovė. M. Faraday išrado pirmą elektrinį motorą, naudojantį elektros srovę daiktui judinti. 1822 m. anglų fizikas ir matematikas Peteris Barlow išrado vienpolį elektrinį variklį. Amerikietis Juozapas Henris 1831 m. atrado abipusę indukciją. Prancūzas Hippolyte'as Pixii sukūrė pirmąjį generatorių, jį sudarė du induktoriai su geležies šerdimi, priešais kuriuos buvo svirties sukimu valdomas pasagos formos magnetas. Vėliau, norint gauti pastovią pulsuojančią srovę, šiame įrenginyje buvo įtaisytas jungiklis. 1833 m. britų fizikas Williamas Størdjenas praktinių mokslų galerijoje Londone viešai pademonstravo nuolatinės srovės elektrinį variklį. Šis išradimas laikomas pirmuoju elektriniu varikliu, kuris galėjo būti naudojamas praktiniams tikslams. 1833–1834 m. E. X. Lenzas išsamiai išnagrinėjo elektromagnetinės indukcijos reiškinį. Amerikos išradėjas Thomas Davenportas 1834 m. sukūrė savo elektrinį variklį ir gavo pirmąjį patentą. 1839 m. Moritzas Hermannas Jacobis pastatė laivą, galintį plukdyti 14 keleivių



10.6 pav. P.-G. Froment'o konstrukcijos elektros variklis (Froment's motor (Rankin Kennedy, Electrical Installations, Vol. V, 1903).jpg.)

Nevos upe. Vienos arklio galios elektrinį variklį suko 69 celių baterija. Tai buvo pirmasis praktinis elektrinio variklio pritaikymas. Škotijos išradėjas Robertas Davidsonas 1837 m. pritaikė elektros variklį pirmajam elektriniam lokomotyvui. Prancūzas Paulas-Gustavas Froment'as 1844 m. sukūrė pirmą variklį, kuris linijinį „elektrinio stūmoklio" judesį keitė sukamuoju judesiu. Praktikoje buvo pritaikytas jo sukurtas spaustuvės darbams skirtas variklis, kuris naudojo elektromagnetą, galintį pritraukti ant smagračio sumontuotus geležies strypelius. Jo elektros variklis buvo vielos ritė, įtaisyta magneto ar elektromagneto magnetiniame lauke. (10.6 pav.). Šie elektriniai varikliai buvo didelių matmenų, santykinai mažos galios ir nenašūs. Jų plėtrą ribojo pigios elektros energijos stygius. 1860 m. italas Antonio Pacinotti sukūrė elektrinį variklį, kurio žiedo formos inkaras sukosi elektromagnetiniame lauke. Variklis turėjo nuoseklų žadinimą, jo matmenys buvo maži, o sukimo momentas beveik pastovus. Nors variklio principas sukėlė didelį susidomėjimą, jis neišplito, nes vis dar nebuvo ekonomiškų elektros energijos generatorių. Tik apie 1886 m. nuolatinės srovės elektros variklis įgijo pagrindinius šiuolaikinio variklio konstrukcijos bruožus. 1888 m. N. Tesla ir Ferraris atrado besisukančio elektromagnetinio lauko reiškinį. Tais pačiais metais N. Tesla pirmasis sukūrė visiškai naują sinchroninį nuolatinės elektros srovės variklį ir atvėrė naują technologijos erą. Vokietijos rusų išradėjas Michailas Dolivo-Dobrovolskis 1888 m. sukūrė pirmą trifazį generatorių su sukamuoju magnetiniu lauku, 1889 m. – trifazį asinchroninį elektros variklį su narveliniu rotoriumi, 1890 m. – trifazį transformatorių. 1891 m. jis pademonstravo pirmąją pasaulyje trifazę sistemą 8 500 V 220 kW elektros energijai perduoti 170 km atstumu.

Nors elektros variklis buvo svarbi alternatyva vandens, vėjo ar garo varikliams, tačiau ši naujovė plito lėtai, nes elektros tiekimo šaltinis iki 1840 m.

buvo baterijos. Elektros energijos generatoriai pasirodė tik XIX a. II pusėje. 1840 m. apskaičiuota, kad naudoti elektros variklį, varomą cinko/anglies baterijomis, kainuoja 70 kartų brangiau, negu naudojant lygiavertės galios anglimi kūrenamą garo variklį.

Elektros varikliai yra daug efektyvesni negu žmogaus ar gyvūnų jėga varomi mechanizmai. Tik 4–5 % gyvūno sunaudoto pašaro energijos galima paversti naudingu darbu, o anglimis kūrenant elektrinę, energijos panaudojimo naudingumas siekia 30 %. „Siemens“ bendrovė pirmoji kalnakasybos darbuose pradėjo naudoti didelės galios elektros variklius, tačiau net iki 1920 m. elektros energijos naudojimas kalnakasyboje augo lėtai. Daugiausiai elektros energijos reikėjo geležies ir plieno pramonei. Čia elektra buvo plačiai naudojama valcavimo staklynams ir kitiems mechaniniams įrenginiams, nes elektros varikliai leido pasiekti didelę galią ir darbų tikslumą. Pirmoji 3 km ilgio viešojo elektrinio geležinkelio linija buvo atidaryta 1881 m. Lichterfeldėje netoli Berlyno (Vokietija). Kiekvienas vagonas po grindimis turėjo elektrinį variklį, kuris diržine pavara suko vagono ratus. Pirmoji viešam naudojimui tinkama elektrinio tramvajaus linija buvo pastatyta JAV 1888 metais. Keturiasdešimt vagonų, maitinamų elektra iš orinės elektros tiekimo sistemos, aptarnavo apie 20 km miesto gatvių.

Dauguma pirmųjų elektrinių traukos sistemų naudojo nuolatinę srovę, nes buvo paprasta reguliuoti nuolatinės srovės variklio sukimosi greitį. Kintamosios srovės perdavimo dideliais nuotoliais privalumas paskatino kintamosios srovės variklių kūrimą. 1888 m. serbų išradėjas Nicola Tesla sukūrė kintamosios srovės asinchroninį variklį. Jo mašinoje magnetinės medžiagos gabalas sukosi pagal magnetinio lauko sukimąsi. Naudodamas dvi rites, kurios buvo maitinamos skirtingų fazių elektros energija, jis sukūrė besisukantį magnetinį lauką. Pirmojoje mašinoje buvo dvi 90° kampu viena kitos atžvilgiu išdėstytos ritės, maitinamos kintama srove, kurių atskiri magnetiniai laukai kūrė besisukantį magnetinį lauką. Pagal veikimo principą tai buvo sinchroninis variklis. Besisukantis elementas jame buvo nuolatinis magnetas, kurio poliai sekė besisukantį magnetinį lauką.

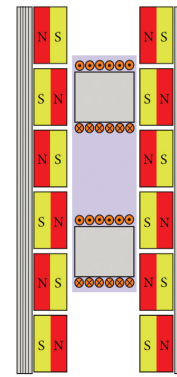
XX a. didžiąją dalį pasaulio elektrinių variklių sudarė indukciniai varikliai. Nors pagrindinis šių variklių trūkumas – pastovus sukimosi greitis, daugeliui sričių ši variklio savybė yra naudinga. Variklių konstrukcija yra

nesudėtinga, jie mechaniškai stiprūs ir patvarūs, juose nėra jokių slystančių kontaktų (šepetėlių).

XX a. viduryje atrodė, kad elektros variklių kūrimas yra užbaigtas, tačiau 1957 m. buvo sukurtas *pulsinės amplitudinės moduliacijos* (PAM) variklis. Šio sinchroninio indukcinio variklio lauko ritės išdėstytos taip, kad keičiant jungtis galima keisti polių skaičių. Kadangi variklio sukimosi greitis priklauso nuo polių kiekio, šie varikliai gali suktis įvairiu greičiu. PAM indukciniai varikliai yra patikimi ir tvirti.

Kitas variklio sukimosi greičio valdymo metodas yra variklio apvijų maitinimo dažnio keitimas. Ši galimybė atsirado pradėjus gaminti galios puslaidininkius. Iki 1960 m. šie puslaidininkiai galėjo valdyti kelių dešimčių amperų srovę, tačiau dėl greitos jų kūrimo pažangos puslaidininkiniai dažnio konverteriai netrukus galėjo valdyti didžiausių elektros variklių sukimosi greitį.

Dar viena elektros variklių tyrimų sritis – linijiniai varikliai, kurie pasirodė 1841 metais. 1901 m. tiesinio variklio principą bandyta pritaikyti tyliam koviniam ginklui. Šiame variklyje elektros energija paverčiama ne sukamuoju, bet slenkamuoju tiesiaeigiu judėjimu. Variklyje yra nejudanti statoriaus apvija ir judri ritė, kuri atlieka slenkamąjį tiesiaeigį judesį. Induktoriaus magnetinio lauko sąveika su reaktyvios juostos lauku sukelia jėgą, dėl kurios šis gali judėti fiksuotos reaktyvios juostos atžvilgiu (10.7 pav.). Šis poslinkis vyksta tol, kol induktoriaus greitis ir reaktyvios juostos judantis magnetinis laukas yra vienodi. Jis skirtas elektros energijai transformuoti į tiesiaeigį judesį be mechaninės pavaros. Linijiniai varikliai skirstomi į asinchroninius ir sinchroninius, mažo ir didelio pagreičio. Mažo pagreičio tiesiniai varikliai tinka „maglev“ tipo traukiniams ir kitoms antžeminėms transporto mašinoms. Didelio pagreičio tiesiniai varikliai paprastai yra gana trumpi ir skirti kokio nors objekto, pavyzdžiui, kovinio sviedinio, staigiam pagreitinimui.



10.7 pav. Sinchroninio linijinio variklio diagrama (Linear motor U-tube.svg.)

Linijiniai varikliai dažniausiai naudojami elektros transporte, nes tiesioginis judančios dalies judėjimas tinka įvairioms transporto priemonėms. Magnetinio

lauko energija tiesiogiai verčiama mechanine ir tai sudaro galimybę pasiekti didelį efektyvumą. Svarbus tiesinių elektrinių variklių privalumas – traukos jėga nepriklauso nuo ratų sąlyčio su kelio bėgiu, o tai įprastoms elektrinėms traukos sistemoms yra neįmanoma. Linijinio variklio kūrimo ir taikymo darbai tęsiami. Manoma, kad šių variklių pritaikymą nulems puslaidininkinių valdiklių naudojimas.

ELEKTROS GENERATORIAI

Cheminių reakcijų pagrindu veikiančių akumuliatorių ir baterijų pagaminamos elektros energijos kiekis buvo mažas, todėl elektra praktinėje žmonių veikloje didelio vaidmens neturėjo. Viskas greitai pasikeitė, kai buvo sukurtas mechaninės energijos pavertimo elektra būdas. Elektros generatorių veikimas pagrįstas elektromagnetine indukcija. Tarp masyvaus magneto polių įtaisomas rėmelis, galintis suktis apie savo ašį. Jį suka mechaninės energijos šaltinis (turbina, vėjas, krintantis vanduo ir kt.). Dėl to keičiasi rėmelį kertantis magnetinis srautas. Kintant šiam srautui rėmelyje indukuojasi elektrovara ir pradeda tekėti indukuota elektros srovė. Pagal mechaninės energijos gamybos būdą generatoriai skirstomi į turbogeneratorius, sukamus garo mašinos, hidrogeneratorius, varomus vandens turbinos, ir variklinius, kuriuos suka dyzelinis variklis, vidaus degimo variklis, vėjas, bangų mūša ir t. t. Pagal gaminamos srovės tipą generatoriai skirstomi į nuolatinės srovės kolektorinius ir ventilinius bei kintamosios srovės vienfazius ir trifazius su žvaigžde arba trikampiu jungiama apvija. Pagal sužadinimo būdą generatoriai gali būti sužadinami nuolatiniu magnetu, išorinio sužadinimo ir susižadinantys.

Pirmą elektros mašiną, veikiančią elektromagnetizmo principu, 1831–1832 m. pagamino M. Faraday, o pirmąją dinamo mašiną 1832 m. sukūrė prancūzas Hippolyte'as Pixii. Vengrų fizikas Anyos Jedlikas 1852 m. sukūrė vienpolę dinamo mašiną. Dėl dydžio ir sudėtingumo dinamo mašinos naudojamos retai. Šie generatoriai naudojami energiją gaminančiose vėjo jėgainėse.

1873 m. Zenobe'as Gramme'as (Belgija) išrado nuolatinės srovės generatorių, galintį gaminti gerokai didesnę įtampą negu dinamo mašina. 1872 m. buvo pastebėta, kad nuolatinės srovės mašina gali veikti ir kaip generatorius, ir kaip variklis. Nuolatinės srovės mašinos yra elektromagnetinio žadinimo,

t. y. magnetinis srautas nuolatinės srovės mašinoje dažniausiai gaunamas tekant srovei žadinimo apvija. Priklausomai nuo šios apvijos maitinimo būdo nuolatinės srovės generatoriai skirstomi į *nepriklausomo žadinimo* ir *susižadinančius generatorius*. Realioje mašinoje magnetinį lauką sukuria elektromagnetas. Ant polių, surinktų iš plonų elektrotechninio plieno lakštų, uždedama žadinimo apvija, kuria tekėdama srovė įmagnetina polius. Mašinos inkaro (besisukančios dalies) magnetolaidis surenkamas iš dantytų elektrotechninio plieno lakštų. Inkaro cilindro išilginiuose grioveliuose sudėti laidininkai sudaro inkaro apviją, kuri prijungiama prie kolektoriaus – žiedo formos varinių plokštelių. Prie kolektoriaus prispaudžiami kontaktiniai grafitiniai šepečiai ir per juos besisukančio inkaro apvija sujungiama su išoriniu tinklu. Generatoriaus inkarą suka bet koks variklis. Besisukančios inkaro apvijos laidininkai kerta magnetinio lauko jėgų linijas ir kiekviename laidininke indukuojama elektrovara. Iš tiesų inkaro apvijoje indukuojasi kintamoji elektrovara. Tačiau tuo metu, kai laidininkai pereina geometrinę neutralę, kartu besisukdamos kolektoriaus plokštelės juos prijungia prie kito šepečio ir ant generatoriaus gnybtų išlieka tos pačios krypties elektrovara. Dėl generatoriaus kolektoriaus konstrukcijos gnybtuose būna nuolatinė įtampa, o išorine grandine teka nuolatinė srovė. Nuolatinės srovės generatorių elektrovaros pulsacija visai nežymi, nes jo inkaro apvija yra sudaryta iš daug sekcijų, o kolektorius turi atitinkamai didesnį plokštelių skaičių. Generatoriaus elektrovarą galima reguliuoti keičiant mašinos magnetinių polių srautą ir inkaro sukimosi dažnį (10.8 pav.).



10.8 pav. Z. Gramme'o mašina / magnetas (GrammeMachine.jpg.)

ELEKTRIFIKAVIMAS

Elektrifikavimas yra elektros energijos tiekimo sistemos kūrimas. Elektrifikacijai reikalinga infrastruktūra jungia elektrines, pastotes, oro ir kabelinius elektros energijos perdavimo tinklus. Elektrifikavimas JAV, Didžiojoje Britanijoje, Vokietijoje ir kitose šalyse prasidėjo XIX a. 8 dešimtmečio viduryje ir tęsėsi iki maždaug 1940 metų. Kaimo vietovėse ir kai kuriose besivystančiose šalyse elektrifikavimas tęsiasi ir dabar. Elektrifikavimas buvo vadinamas didžiausiu XX a. inžineriniu pasiekimu. Anksčiausiai elektros energija buvo pradėta naudoti telegrafe ir galvaninių dangų gamyboje. JAV ir Europos elektrifikacija prasidėjo nuo urbanizuotų vietovių apšvietimo tinklų. Kartu su apšvietimo sistema miestuose elektra pradėta naudoti viešajame transporte. Pirmas viešas gatvių apšvietimo tinklas buvo įrengtas Surėjaus (Surrey) mieste (D. Britanija) 1881 metais. JAV kaimo vietovių elektrifikavimas prasidėjo tik XX a. pradžioje, nes žemės ūkyje elektros naudojimas buvo labai menkas: apie 1920 m. iš 6,5 mln. JAV ūkių elektros energiją naudojo tik apie 10 %. JAV vidurio, vakarų ir pietų valstijose apšvietimui buvo naudojamos tik žibalinės lempos. Antrasis pasaulinis karas pristabdė elektros linijų tiesimą kaimuose, nes trūko medžiagų. Karui pasibaigus elektros laidų ir stulpų gamyba buvo atnaujinta ir iki 7 dešimtmečio pradžios beveik visi JAV ūkiai jau turėjo elektrą. Didėjant elektros energijos naudojimui, elektrines pradėta jungti į energetines sistemas.

Sovietų Sąjungoje pirmasis nacionalinės ekonomikos atkūrimo ir vystymo planas (GOELRO – *Государственная комиссия по электрификации России*) buvo priimtas 1920 metais. Jis reiškė esminį valstybės ekonomikos restruktūrizavimą, pagrįstą visuotiniu šalies elektrifikavimu. Plano tikslas – pažangiausiomis technologijomis ir elektrifikavimu sukurti pramonę, kuri pašalintų skirtumą tarp miesto ir kaimo, sudarytų sąlygas pakelti kultūros lygį kaime ir net atokiausiose krašto vietovėse padėtų įveikti atsilikimą, skurdą ir ligas. Pagal valstybinį planą 1920–1940 m. buvo pastatyta 112 regioninių elektros jėgainių, o 48 mlrd. kWh elektros energijos gamybos per metus tikslas buvo pasiektas 1940 metais.

Šiandien didžioji dalis elektros energijos pagaminama šiluminėse elektrinėse, kuriose deginamas iškastinis kuras: akmens anglis, gamtinės dujos, mazutas ar įvairios biokuro rūšys. Didžiausias šiluminės elektrinės naudingumo

koeficientas pasiekiamas kombinuoto ciklo elektrinėse – daugiau nei 58 %, naudojant įprastą technologiją, elektros energija paverčiama tik apie 25–40 % deginamo kuro. Kad vyktų kombinuotas ciklas, dujų turbina turi būti komplektuojama su kondensacine garo turbina. Degant kuro (gamtinėms dujoms, mažai sieringiems naftos produktams) ir oro mišiniui, degimo produktų temperatūra siekia ~1 200 °C. Degimo produktai plečiasi kelių pakopų turbinoje. Proceso metu gaunama mechaninė energija naudojama kompresoriui ir generatoriui sukti. Dujų turbinos išėjimo angoje degimo produktų temperatūra siekia 500–600 °C. Šie degimo produktai patenka į garo katilą ir ataušinti iki 70–80 °C išmetami į aplinką. 400–600 °C perkaitintas garas tiekiamas į garo turbiną ir suka turbinos menteles ir veleną, o šis – elektros energijos generatorių. Ne visai išsiplėtusį garą galima perduoti termofikaciniam vandeniui ar pan. šildyti. Dujų turbinos elektrinis efektyvumas esant kombinuotam ciklui gali siekti 60 %, o bendrasis jėgainės efektyvumas – 92,5 %.

Kogeneracija yra bendra šilumos ir elektros gamyba, kai vieno technologinio proceso subproduktas naudojamas kito produkto gamybai. *Kogeneracinėse jėgainėse* pagaminta perteklinė šiluma yra sunaudojama, pvz., centralizuotam šildymui, įprastose elektrinėse deginamo kuro energija panaudojama tik elektrai gaminti, o pagaminta šiluma virsta nuostoliais. Kogeneracinės jėgainės efektyvumas gali siekti 90 % ar daugiau.

Galingiausios pasaulio elektrinės:

- kūrenamos anglimi: „Taichung“ elektrinė (Taivanas), 5 780 MW;
- kūrenamos naftos produktais: „Surgut-2“ elektrinė (Rusija), 4 800 MW;
- kūrenamos gamtinėmis dujomis: „Sodegaura“ elektrinė (Japonija), 3 600 MW;
- kūrenamos biomase: „Alholmens Kraft“ elektrinė (Suomija), 265 MW.

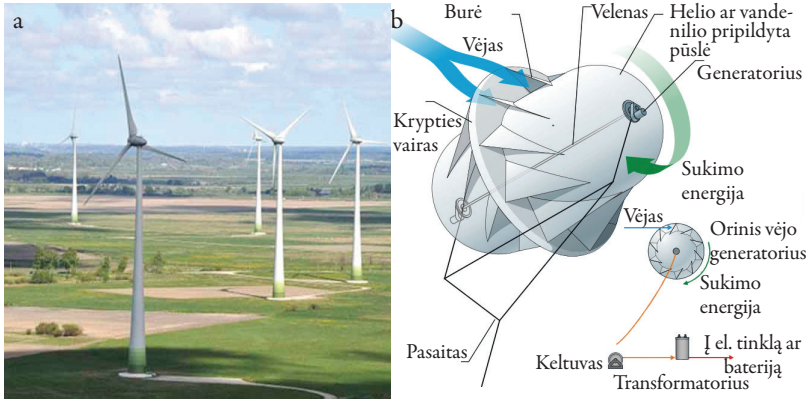
ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS ŠALTINIŲ ENERGETIKA

Atsinaujinančių energijos išteklių gamtoje atsiradimą nulemia saulės šviesa, vėjas, upių tekėjimas, jūrų bangavimas, potvyniai ir atoslūgiai, biomasės augimas, geoterminė energija. Iškastinis kuras neatsinaujina, jo ištekliai yra

riboti ir nuolat senkantys. Iškastinio kuro atsargos pasiskirsčiusios labai nevienodai – vienose šalyse jo daug, kitose beveik ar iš viso nėra. Atsinaujinančių kurios nors rūšies energijos išteklių yra visose pasaulio valstybėse. Tokių išteklių naudojimas didina šalių energetinį saugumą, mažiau paveikiamas klimatas, gaunama didelė ekonominė nauda. Vien vėjo energetikos potencialas yra penkis kartus didesnis už dabartinę pasaulinę energijos gamybą. Didžiąją dalį atsinaujinančių energijos išteklių sudaro kurui naudojama biomasė (pavyzdžiui, mediena), tačiau sparčiai auga ir saulės, vėjo, bangų energijos ir kitų rūšių atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas. Šie energijos ištekliai dažniausiai naudojami elektrai, biodegalams gaminti, šilumai išgauti (saule šildant vandenį, deginant biokurą).

VĖJO ENERGETIKA

Apskaičiuota, kad 1–3 % Žemę pasiekiančios Saulės energijos virsta vėjo energija. Vėjo energetikoje ši energija verčiama elektros energija panaudojant vėjo turbinas. Tai viena mažiausiai aplinkai kenkiančių energetikos šakų. Skirtingai nuo tradicinių elektros energijos gamybos būdų, naudojančių kietą, skystą, dujinį kurą, kuriam išgauti ir atvežti iki elektrinių, taip pat pelenams šalinti, dūmams valyti, vandeniui pašildyti ir kt. reikia didžiulių išlaidų, vėjo elektrinėms tokių išlaidų nereikia. Deja, vėjo elektrinės yra brangios. Didelę kainą sudaro jų pastatymas ir prijungimas prie sisteminio elektros tinklo, žemės sklypų kaina, kelių dirbamoje žemėje tiesimas, sunkių konstrukcinių elementų transportavimas į statybos aikštelę, sudėtingi montavimo darbai, kabelinių linijų klojimas ir transformatorinių statyba ir t. t. Vėjo energetika daro žalos ir aplinkai. Paukščius (ypač retus plėšriuosius), šikšnosparnius numuša besisukantys vėjo jėgainių sraigtai. Sparnų sukimosi garsas ir švytuojantis šešėlis daro poveikį žmogui. Jėgainėms reikia didelių plotų, jos statomos vietose, kuriose nuolat pučia stiprūs vėjai, pavyzdžiui, jūrų pakrantėse ar priekrantėse. Vėjo greičio vidurkis šiose zonose apie ~90 % didesnis negu žemyninėse teritorijose. Toje pačioje teritorijoje įrengta vėjo jėgainių grupė vadinama parku (10.9 pav., a). Didelį vėjo jėgainių parką gali sudaryti keli šimtai atskirų vėjo jėgainių, užimančių šimtus kvadratinių kilometrų plotą. Nors vėjo jėgainės sukelia tam tikrus nepatogumus, tarp jų esanti žemė



10.9 pav. Vėjo jėgainių parkas Vakarų Lietuvoje (a – A. V. Valiulio nuotr.) ir skraidantis vėjo generatorius (b – Airborne wind generator-en.svg.)

gali būti naudojama žemės ūkiui ar kitiems tikslams. Atviroje jūroje jėgaines statyti yra brangiau, tačiau jos kelia mažiau problemų gyventojams.

Šiuolaikinių vėjo jėgainių galia siekia nuo 600 kW iki 5 MW. Labiausiai paplitusios 1,5–3 MW galios vėjo turbinos. Didesniame aukštyje vėjo greitis yra didesnis, o pūtimas stabilesnis. Skaičiuojama, kad vėjo galia yra lygi jo greičiui, pakeltam kubu. Dvigubai padidėjęs vėjo greitis sukurs $2 \times 2 \times 2 = 8$ kartus didesnę galią, o tris kartus padidėjęs greitis padidins galią iki $3 \times 3 \times 3 = 27$ kartų. Stabilesnis ir labiau nuspėjamas aukštumų vėjas pranašesnis už netoli žemės paviršiaus pučiantį vėją. Perimti vėjo kinetinę energiją bandoma įvairiais mechanizmais: aitvarais, dujų baliono ir aitvaro hibridais, pririštais sklandytuvais, aerostatais, daugiapakopiais rotoriniais kompleksais ir daugeliu kitų (10.9, b pav.). Dideliame aukštyje iš vėjo paimta energija žemės paviršių gali pasiekti kabeliu, aukšto ar žemo slėgio dujų srautu, lazerio ar mikrobangų spinduliuote ir kitais būdais.

D. Britanijos pakrantėse statomas 174 vėjo jėgainių parkas, kiekvienos jėgainės galia sieks 7 MW, bendras parko galingumas bus 1,2 GW. 8 MW galingumo MH1 „Vestas“ vėjo turbina vienu turbinos sparnų apsisukimu gali pagaminti 29 valandoms vienam namų ūkiui reikalingos energijos. Šiuo metu didžiausio pasaulyje vėjo jėgainių parko jūroje titulas priklauso „London

Array“ bendrovei, jo galingumas siekia 630 MW. Sausumoje nepralenkiamas „Gansu“ vėjo jėgainių parkas Kinijoje, kurio dabartinis galingumas siekia 8 GW. Šio ir toliau plėtojamo parko galia turėtų išaugti iki 20 GW.

Vėjo elektrinių konstravimu Lietuvoje susidomėta XX a. 8 dešimtmetyje. Bandymas sukurti lietuviškas 2; 4; 8; 20; 60 kW vėjo jėgaines buvo nesėkmingas. Trys 16 kW bendrosios galios vėjo jėgainės buvo pastatytos Palangos kopose, tačiau audros metu jėgainių sparnai buvo sulaužyti ir elektrinės iš kopų buvo pašalintos. 2003 m. Skuode pastatyta 160 kW vėjo elektrinė, 2004 m. Kretingos rajone – Vydmantų bandomoji vėjo elektrinė. Tyrimai rodo, kad Lietuvos pajūrio vėjai ir teritorijos yra palankūs vėjo elektrinių statybai. Į Lietuvos energetikos sistemos 110 kV perdavimo tinklą pirmoji vėjo jėgainė buvo įjungta 2006 metais. Tais pačiais metais Kretingos rajone pradėta statyti 16,5 MW galingumo vėjo jėgainių parką, o 2010 m. pradėta 34 MW galios vėjo jėgainių parko „Benaičiai-1“ eksploatacija. Kiekvienos jėgainės galingumas siekė 2,75 MW. Šilutės vėjo jėgainių parko statyba užbaigta 2016 metais. Parką sudaro 24-ios 2,5 MW galios vėjo jėgainės, bendroji vėjo jėgainių parko galia 60 MW. Jėgainės bokšto aukštis 110 m, rotoriaus skersmuo 120 metrų. 2016 m. Pagėgių savivaldybėje buvo atidarytas 73,5 MW galios, Mažeikių savivaldybėje – 45 MW galios vėjo elektrinių parkas.

SAULĖS ENERGETIKA

Saulės energiją galima išskirti naudojant vieną iš dviejų sistemų. Pirmosios atveju saulės kolektorių plokštėse saulės spinduliuotė šildo vandenį ar sukuria garą, kuriuo varomos garo turbinos. Saulės kolektoriai surenka ne tik matomą šviesą, bet ir infraraudonuosius spindulius, todėl veikia ir apsiniaukusiomis dienomis. Antruoju atveju saulės spinduliuotė saulės elementų konvertuojama į elektros energiją. Saulės baterija – energijos rūšies keitimo įtaisas, verčiantis saulės energiją ar kito šaltinio šviesą į elektros energiją. Procesas vyksta dėl fotovoltinio efekto. Saulės elementus sudaro du puslaidininkių sluoksniai. Šviesai patekus ant saulės elementų, elektronai išsilaisvina iš puslaidininkiuose esančių atomų. Dėl potencialų skirtumo vienoje baterijos pusėje susidaro neigiamas krūvis, kitoje – teigiamas. Kai grandinė susijungia, gaunama naudotinos įtampos elektros srovė. Tarpusavyje į elektros grandinę

sujungti ir į rėmą sudėti saulės elementai sudaro junginį, kuris vadinamas *fotovoltiniu saulės moduliu*. Saulės baterijų ir saulės energijos technologijų sritis vadinama *fotovoltika*. Saulės elementų sistemos – *saulės moduliai* – gali būti sujungiami į *fotovoltinę sistemą*. Fotoelementų naudingumo koeficientas jau siekia 15–20 % ir dar augs artimoje ateityje dėl spartaus nanotechnologijų vystymosi. Saulės elementui reikalingi ne tiesioginiai saulės spinduliai, o šviesa. Apniukusią dieną saulės elemento generuojamas elektros energijos kiekis kinta – jos pagaminama 10–40 % mažiau.

Abiejų procesų metu energijos gamyba nesukelia triukšmo, neišmeta į aplinką šiltnamio efektą sukeliančių dujų ar kitų cheminių medžiagų, nėra judančių dalių, išskyrus sistemas, sekančias saulės judėjimą danguje. Infraraudonieji spinduliai yra naudojami vandeniui pašildyti iki maždaug 60 °C temperatūros.

Saulės energijos konversijos technologijos yra *pasyvios* ir *aktyvios*. Aktyvios saulės energijos konvertavimo technologijos naudoja fotovoltinius saulės modulius ir saulės spinduliuotės kolektorius. Pirmoji saulės baterija buvo išbandyta 1893 metais. Belo laboratorijos (JAV) mokslininkai 1956 m. aptiko silicio puslaidininkio savybę konvertuoti saulės spinduliuotę į elektros energiją. Šio elemento šviesos konversijos naudingumas siekė 6 %. 1956 m. pradėta gaminti pirmuosius saulės elementų modulius. Tokio modulio kaina siekė 300 dolerių už vieną galios vatą. 1958 m. į Žemės orbitą paleistame palydove jau buvo įmontuota saulės elementų baterija. 1970 m. prasidėjusi pasaulinė energetikos krizė paskatino alternatyvių elektros energijos gamybos šaltinių paiešką. Patobulinus technologijas, saulės elementų kaina sumažėjo iki maždaug 20 dolerių už vatą. Silicio saulės elemento konversijos naudingumas yra apie 25 %, o viso modulio naudingumas – apie 20,4 %. Fotovoltinė elektra yra svarbus ir palyginti nebrangus elektros energijos gamybos šaltinis, ypač ten, kur nėra elektros tinklų, juos tiesti ekonomiškai per brangu, nenaudinga ar neįmanoma.

Pasyvioms saulės technologijoms svarbi pastato orientacija, erdvių, kuriose laisvai cirkuliuoja oras, projektavimas, šilumokaičio medžiaga ir kt. 1860–1881 m. prancūzas Augustinas Mouchout pirmasis patentavo 0,5 arklio galios jėgainės, kurios varikliui garą gamino saulės energija, projektą. 1876 m. Williamas Adamsas atrado, kad šviesos veikiamas selenas gamina elektros energiją. 1885–1889 m. prancūzas Charlesas Tellier ant



10.10 pav. „Nellis“ saulės elektrinės kompleksas Nevadoje (JAV) (Giant photovoltaic array.jpg.)

namo stogo sumontavo ir išbandė saulės energijos sistemą buitiniam vandeniui šildyti. Amerikiečių išradėjas Frankas Shumanas, naudodamas parabolinę veidrodžių sistemą, 1912–1913 m. pagamino garą 60–70 arklių galios varikliui, kuris iš Nilo į gretimus medvilnės laukus pumpavo vandenį 22,7 m^3/minutę. Komercinės koncentruotos saulės energijos elektrinės pirmą kartą sukurtos tik XX a. 9 dešimtmetyje, tačiau vėlesniais metais jų plėtra staiga išaugo (10.10 pav.). 1999 m. sukurtų saulės elementų šviesos konversijos naudingumas pasiekė 36 %. 2012 m. Kinijoje buvo pastatytas Golmado (Golmud) Saulės parkas, kurio galia yra 200 MW, o Sharanka Saulės parko (Indija) galia turėtų siekti 500 MW. Pietinėje Tuniso dalyje statoma 2 250 MW galios saulės jėgainė.

Tyrimai rodo, kad Lietuvoje per metus žemės paviršių pasiekia apie 1 000 kWh/m^2 saulės energijos. Skaičiuojama, kad daugiau kaip 80 % šios energijos išspinduliuojama per šešis mėnesius (nuo balandžio pradžios iki rugsėjo mėn. pabaigos). Lietuva iki 2020 m. yra užsibrėžusi pasiekti 3 W instaliuotos saulės energijos galios vienam gyventojui (iš viso – 10 MW šaliai). Palyginimui: 2011 m. Europos vidurkis siekė 102 W/1 gyventojui, dabartiniu metu Vokietijoje – apie 304 W/1 gyventojui. Lietuvos bendrovės „Precizika-MET SC“, „Via Solis“, „BOD Group“, „Baltic Solar Energy“, „Baltic Solar Solutions“, „MG AB Precizika“, „Soli Tek Cells“ jau gamina fotovoltines celes ir saulės modulius, yra parengusios gamybinių linijų projektus ir artimiausiu metu planuoja diegti silicio saulės modulių gamybos linijas.

BIOMASĖS ENERGIJA

Nuo tada, kai žmonės pradėjo naudoti ugnį gamindami maistą ar šildydamiesi nuo žiemos šalčio, biomasė buvo svarbus energijos šaltinis. Labiausiai

paplitęs biomasės energijos šaltinis yra mediena, tačiau svarbūs ir kiti šaltiniai – maistiniai augalai, žolės, žemės ūkio ir miškų atliekos, komunalinių ir pramoninių atliekų organinės dalys, iš komunalinių sąvartynų surenkamos metano dujos. Biomasė, kaip atsinaujinančios energijos šaltinis, yra biologinė medžiaga, kuri gali būti naudojama kaip kuras. Ji gali būti tiesiogiai deginama arba paverčiama įvairiu biokuru. Pramoninei biomasei tinka daugelis augalų: tuopos, žilvyčiai, gluosniai, kanapės, kukurūzai, sorgai, cukranendrės, kitos medžių rūšys (nuo eukalipto iki palmių). Galutiniam produktui (kurui) nesvarbi medžiagos rūšis – svarbu, kaip ta medžiaga pavirsta kuru. Perdirbant biomedžiagą į kurą terminiu būdu dominuoja pirolizė ir dujinimas. Cheminio perdirbimo (konversijos) technologijose įvairūs cheminiai procesai paverčia biomasę kuru, kurį yra patogiau transportuoti, saugoti ir naudoti. Biocheminės konversijos metu naudojamos bakterijos, fermentai ir kiti mikroorganizmai suskaido biomasę. Biomasės perdirbimas yra auganti pramonės šaka, biodegalų poreikis nuolat didėja. Biomasė gali būti naudojama elektros gamybai, ji konvertuojama į kitas naudingas energijos rūšis, pavyzdžiui, metano dujas, etanolį ar biodyzeliną, taip pat ji gali pakeisti neatsinaujinantį iškastinį kurą.

Lietuvoje iš atsinaujinančių energijos išteklių (medienos, šiaudų, ilgamečių žolių, komunalinių atliekų) pagaminama 15 % visos sunaudojamos energijos. Iki 2020 m. šis rodiklis turėtų padidėti iki 23 %. Daugiausia biokurui gaminti skirtų želdinių auginama Rytų Lietuvoje (Zarasų, Utenos, Ignalinos, Molėtų ir Vilniaus rajonuose).

VANDENILIS

Energetikos problemos yra susijusios ne tik su globalaus atšilimo efektu, bet ir su padidėjusiu oro užterštumu, rūgštiniais krituliais, ozono sluoksnio pokyčiais, miškų naikinimu, radioaktyvių dalelių emisija. Vandenilis laikomas potencialiu energijos nešėju, kuriam jau artimiausioje ateityje teks pakeisti dabartinius energijos šaltinius (anglį, naftos produktus, gamtines ar sintetines dujas). Kaip kuras ir energijos šaltinis vandenilis turi milžinišką potencialą, bet jo naudojimo technologija vis dar yra pradiniame etape. Vandenilis yra labiausiai paplitęs elementas Žemėje: vandens sudėtyje du trečdalius sudaro

vandenilis, gamtoje jis visada randamas kartu su kitais elementais. Atskirtas nuo kitų elementų vandenilis gali būti naudojamas transporto priemonių kurui, gali pakeisti gamtines dujas buityje ar elektros energijos gamyboje. Skirtingai nuo tradicinių elektros energijos generatorių, naudojančių tarpinę mechaninę grandį (pvz., garo turbiną), *vandenilio kuro elementai* cheminę energiją tiesiogiai verčia elektros energija. Kuro elementų naudingumas gali siekti iki 70–80 %, palyginti su 30–40 % tradicinių generatorių naudingumu. Be to, šiuolaikiniai kuro elementai gali veikti vandenilio elektrokatalizinės oksidacijos bei oro deguonies redukcijos principu ir yra ekologiškai švarūs, nes reakcijos produktas yra tik vanduo. Papildomas kuro elementų privalumas yra tas, kad dėl nedidelio dydžio juos galima naudoti toje vietoje, kur yra naudojama jų pagaminta elektros energija, todėl išvengiama elektros energijos transportavimo nuostolių.

Vandenilio kuro elemento veikimas panašus į elektros baterijos. Jį sudaro elektrolitas, jonams laidi membrana, korėti elektrodai ir katalizatorius. Kuro elementas cheminės reakcijos (šiuo atveju – kuro oksidacijos) energiją tiesiogiai verčia elektros energija. Cheminei reakcijai reikalingu kuru būna vandenilis, etanolis, angliavandeniliai, o kaip oksidatorius dažniausiai naudojamas deguonis arba oras. Nors yra įvairių kuro elementų, bet populiariausi yra vandenilio ir deguonies. Veikiamos katalizatoriaus vandenilio dujos ant anodo skyla į neigiamai įkrautus elektronus (e-) ir teigiamai įkrautus jonus (H +). Tekantys elektronai ir yra pagaminta elektros energija. Vandenilio jonai, judėdami elektrolitu, prasiskverbia pro membraną, pasiekia katodą ir jungdamiesi su deguonimi ir elektronais virsta vandeniu. Šios reakcijos metu išsiskiria energija, kurios didžioji dalis paverčiama elektros energija ir tik labai maža dalis virsta šiluma. Vandenilio kuro elementų istorinė raida prasidėjo 1839 metais. Pirmą kuro elementą sukūrė anglų fizikas Williamas Grove'ė. Jo kuro elementas buvo sudarytas iš cinko elektrodo, įmerkto į praskiestą sieros rūgštį, ir platinos elektrodo, įmerkto į koncentruotą azoto rūgštį. Abu elektrolitai buvo atskirti akyto indo sienele. Į elektrolitus tiekdamas vandenilį ir deguonį jis gavo elektros energiją ir vandenį. Prietaisas negeneravo daug elektros energijos, todėl išradimas nesulaukė tinkamo dėmesio. Pirmieji išradėjai elektrodui naudojo akytą platiną, o elektrolitui – sieros rūgštį. Platina buvo brangi, o elektrolitas labai koroziškas. Britų inžinierius Francis T. Baconas

panaudojo šarminį elektrolitą, o platiną pakeitė pigiu nikeliu. 1959 m. jis pademonstravo 5 kW galios kuro elementą, kurio galios pakako net suvirinimo aparatui. 1960 m. JAV bendrovė „General Electric“ iš kuro elementų celių pagamino elektros jėgainę, kuri buvo įmontuota į „Gemini“ ir „Apollo“ kosminius erdvėlaivius. JAV kosminėje šaudyklėje „Space Shuttle“ elektros energiją ir vandenį gamino vandenilio kuro elementai. 1993 m. buvo sukonstruotas pirmasis vandenilio kuro elementų gaminama elektra varomas autobusas. Tokie automobiliai šiuo metu gaminami Europoje, Japonijoje, JAV ir kitose šalyse.

POTVYNIŲ IR BANGŲ ENERGETIKA

Potvynių ir atoslūgių energija yra hidroenergijos forma, kuri keičia potvynių ir atoslūgių jėgą į kitas energijos formas, dažniausiai elektrą. Potvynių ir atoslūgių energija yra gaunama iš Žemės vandenynų potvynių, kuriuos sukelia periodinė dangaus kūnų gravitacinės jėgos kaita. Šios jėgos sukuria vandens masių judėjimą, arba sroves, pasaulio vandenynuose. Potvynių generatoriai generuoja elektrą iš judančio vandens kinetinės energijos panašiai kaip vėjo turbinos, generuojančios elektrą iš judančio vėjo kinetinės energijos.

Potvynių energijos „nugriebimas“ yra labai senas metodas. Romos imperijoje buvo plačiai naudojami potvynių malūnai. Upės žiotyse buvo statoma užtvanka. Potvynio metu pro atidarytus vartus į dirbtinį rezervuarą veržėsi jūros vanduo. Potvyniui baigiantis vartai užsidarydavo. Kai potvynio banga visiškai nuslūgdavo, vanduo buvo leidžiamas ant vandens malūno rato, kuris vandens energiją paversdavo mechanine sukimo energija. XX a. pradžioje Atlanto vandenyno pakrantėse veikė apie 750 potvynių malūnų: apie 300 Šiaurės Amerikoje, 200 Britanijos salose ir 100 Prancūzijoje. Iki XX a. vidurio vandens malūnų naudojimas sumažėjo. Pirmoji 240 MW galios potvynių jėgainė buvo pastatyta 1966 m. Ranso upėje (Prancūzija). 20 MW galios Anapolio potvynių jėgainė Fandžio įlankoje (Kanada) pradėjo veikti 1984 m., 3,2 MW galios Dziangsi potvynių jėgainė (Kinija) veiklą pradėjo 1985 metais. 2011 m. Pietų Korėjoje pastatyta 254 MW galios Sihua ežero potvynių jėgainė, kurioje potvynių vanduo suka 10 turbogeneratorių, ir 90 MW galios Jindo Uldolmok jėgainė. 2009 m. Pietų Korėjoje pradėtos

statyti potvynių jėgainės: 812 MW galios Ganghwa saloje ir 1 320 MW galios Inčeono salose. Rusijoje, Barenco jūros Kolos įlankoje, veikia 1,2 MW galios eksperimentinė ortogonalinė potvynių turbina. D. Britanijoje, netoli Svonsio (Swansea) miesto, statoma 320 MW galios jėgainė, o šiaurinėje Škotijoje – 398 MW galios „MeyGen“ jėgainė. Tarp kitų atsinaujinančių energijos šaltinių potvynių ir atoslūgių energijos naudojimas yra pakankamai brangus, o telkinių, kuriuos galima užtvenkti ir kokybiškai panaudoti, kiekis yra labai ribotas. Potvynių jėgainių turbinos ir generatoriai dirba panardinti į sūrų jūros vandenį, juos nuolat veikia intensyvi korozija, todėl įrenginių detalėms tenka naudoti brangias medžiagas: nerūdijantį plieną, nikelio, vario-nikelio ar titano lydinius. Darbo metu įrenginiuose naudojami tepalai gali patekti į vandenį ir kelti pavojų biologinėms būtybėms. Aplinkosaugos požiūriu šios jėgainės irgi kelia problemas, nes trukdo žuvims migruoti į lagūnas, su vandens srove į turbinos mentes patekusios žuvys sužalojamos ar žūsta, turbinos skleidžia akustinę taršą, kaupiasi nuosėdos. Prognozuojama, kad mažėjant potvynio jėgainių statybos kainai ir didėjant generatorių naudingumui ši atsinaujinančios energetikos kryptis vėl bus komerciškai pelninga.

Jūros bangų energetika – atsinaujinančios energijos gamybos kryptis, kai energija išgaunama iš vandens bangavimo. Apskaičiuota, kad pakrančių bangų energijos galia yra didesnė negu 2 TW. Išgauti energiją iš bangų galima keliais būdais: naudojant linijinį generatorių, slėgines hidraulines sistemas, specialius baseinus, į kuriuos bangų suvarytas vanduo sukelia nedidelę patvanką, arba panaudojant uždaras kameras, kuriose elektrą gamina bangų spaudžiamo oro sukamas generatorius ir pan. Mašinos, galinčios panaudoti bangų galią, vadinamos *bangos energijos keitikliais*.

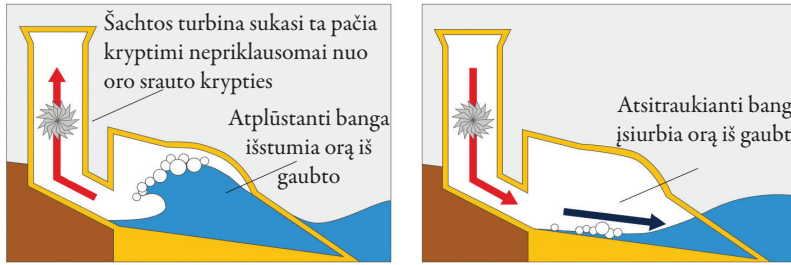
Jūros bangų energijos jėgainių plūdurai, lynais ir inkarais pritvirtinti prie dugno, plūduriuoja vandens paviršiuje prieš bangų judėjimo kryptį. Plūduruose įrengtus energijos konvertavimo modulius bangos sūpuoja į šonus, kilnoja aukštyn ir žemyn. Šie judesiai priverčia modulyje esančius hidraulinius įtaisus perduoti sukauptą energiją generatoriams, vandens gėlinimui, jo pumpavimui į rezervuarus ar kokiems nors kitiems įtaisams. Plūdurų judėjimą aukštyn–žemyn generatoriai gali paversti elektra, šis judėjimas gali užtikrinti tiesinių ar rotacinių mechaninių konverterių arba hidraulinių siurblių darbą. Modulių pagaminta elektra atskiru kabeliu, prijungtu prie

plūduro galo, teka jūros dugnu į tarpinę povandeninę stotį, o iš jos – į krante įrengtą elektros transformatorinę.

Bangų maitinimo įtaisai paprastai klasifikuojami pagal tai, kaip paimama bangų energija, arba pagal įrenginių išdėstymo vietą. Viena iš naujausių idėjų – *plaukiojančio plūduro – generatoriaus* sistema, kuri vertikalų judesį paverčia elektros energija. Plūduriuojanti 2,5 m skersmens dalis yra pririšta prie balasto – 30 m gylyje panardintos masyvios metalinės plokštės. Paviršiui banguojant plūduras svyruoja, tačiau metalinė plokštė beveik nejuda. Tarp plūduro ir plokštės yra didelis hidraulinis cilindras su stūmokliu, varančiu skystį pro hidraulinį variklį, kuris suka elektros generatorių. Hidraulinio variklio naudingumas siekia 95 %. Stūmoklį į pradinę padėtį grąžina pneumatinė spyruoklė, kurią sudaro suslėgtų azoto dujų pripildytas cilindras. Kompiuterinės programos valdoma automatinė sistema keičia hidraulinio cilindro standumą ir leidžia reguliuoti generatoriaus apkrovą. Jeigu generatorius sukasi per greitai, programinė įranga didina sistemos standumą, o jei per lėtai – ją mažina, leisdama stūmokliui greičiau varyti hidraulinį skystį.

Siūbuojančio vandens stulpo jėgainė veikia tarsi milžiniškas kompresorius. Jos pagrindinis elementas – oro kamera, kurioje vanduo suspaudžia orą ir šis ima sukti turbinos mentes. Efektyviausiai energija konvertuojama tuomet, kai pasiekiamas rezonansas, tai yra oro kameros savasis dažnis yra artimas bangavimo dažniui. Tačiau bangavimas dažnai keičiasi, todėl oro kamera turi keisti savo tūrį (taigi ir rezonansinį dažnį) ir taip prisiderinti prie bangavimo. Vanduo pakliūva į kamerą, kurioje bangavimas periodiškai suspaudžia bei išretina orą ir jis nukreipiamas į turbiną. Generatorių sukanti turbina yra sukonstruota taip, kad visą laiką sukasi į tą pačią pusę, nors oras pro jos mentes veržiasi ir pirmyn, ir atgal (10.11 pav.). Bangų jėgainės statomos pakrantėse ir atviroje jūroje. Kai kurie įrenginiai turi parabolinį reflektorių, kuris padidina bangos energiją jos paėmimo iš bangos vietoje.

Pirmasis patentas energijos iš vandenynų bangų gamybai 1799 m. išduotas Pierre'ui-Simonui Girard'ui. Veikiantį bangų energijos konvertavimo į elektros energiją įrenginį apie 1910 m. Ruajano (Royan) mieste (Prancūzija) pastatė M. Bochaux-Praceique. Vertikaliu šuliniu aukštyn–žemyn judantis vanduo sukeldavo oro srautą, kuris suko turbiną ir generatorių. Įrenginio



10.11 pav. Judančio vandens stulpo elektrinės veikimo principas (http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/wave/index.html.)

galia buvo apie 1 kW ir jo gaminamos energijos pakako namui apšviesti. Nuo 1855 m. iki 1973 m. vien D. Britanijoje buvo pateikta 340 patentų paraiškų, susijusių su šios krypties energijos gamyba.

Nuo 1940 m. įvairūs bangų energijos naudojimo prietaisai, tokie kaip jūros navigaciniai žiburiai, dažnai buvo naudojami uostų akvatorijose. Viena iš bangų galios išnaudojimo priemonių buvo dirbtiniai plaustai, kurių atskiros sekcijos viena kitos atžvilgiu judėjo „kampiniu judesiu“. Susidomėjimą bangų energija sukėlė ir 1973 m. naftos krizė. 1974 m. Edinburgo universiteto profesorius Stephenas Salteris išrado Salterio antį, arba „krypuojančią antį“. Mažas bandomasis „anties“ prototipas galėjo absorbuoti iki 90 % bangų energijos ir net 90 % jos paversti elektros energija. Įrenginio našumas siekė 81 %. 1980-aisiais, mažėjant naftos kainai, labai sumenko bangų energijos naudojimo priemonių kūrimo ir tyrimo finansavimas. Vis dėlto jūroje buvo išbandyti keli pirmosios kartos įrenginių prototipai. Didėjant klimato kaitos keliamiems iššūkiams, pasaulyje vis daugiau dėmesio skiriama atsinaujinančiai energetikai, įskaitant potvynių ir bangų energetiką.

GEOTERMINĖ ENERGIJA

Geoterminė energija – iš Žemės gelmių išgaunama ir buitinėms bei gamybinėms reikmėms naudojama šilumos energija. Jos šaltiniai: karštos uolienos, vanduo ir garai. Geoterminė energija naudojama kaip energijos šaltinis (kai gelmių temperatūra viršija 100 °C) elektros energijai generuoti arba

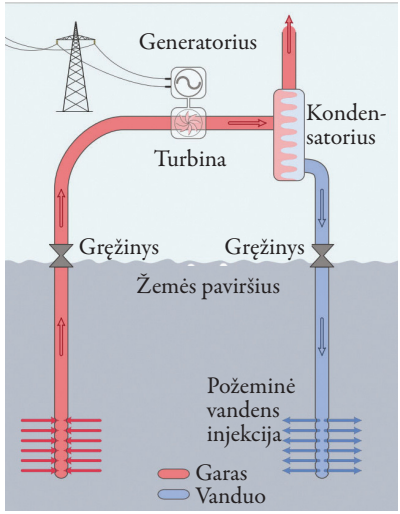
tiesiogiai kaip šilumos energija, kai karšto gelmių vandens šiluma perimama šilumokaičiais ar šiluminiais siurbliais ir naudojama pastatams apšildyti, balneologijai ir kt.

Geoterminės energijos privalumas: šis būdas nedaro žalos natūraliai aplinkai, neišmeta į atmosferą CO_2, šią energiją gali naudoti ir individualūs vartotojai, ir stambios įmonės. Pagrindiniai geoterminės energetikos trūkumai – ne visose vietovėse šie ištekliai yra prieinami, reikalingos didelės investicijos į technologijas.

Elektrą gaminančios geoterminės jėgainės būna *sausojo garo*; *garo, gaunamo išsiplečiant suslėgtam skysčiui*; *dvigubo ciklo*. Veikimo požiūriu paprasčiausios yra sausojo garo jėgainės. Jos tiesiogiai naudoja iš žemės gelmių besiveržiantį 150–180 °C ar didesnės temperatūros garą, kuris suka garo turbiną. Išsiplečiančio skysčio jėgainėse iš giluminių žemės sluoksnių paimtas aukšto slėgio karštas vanduo paduodamas į žemo slėgio rezervuarą, kuriame dėl slėgio skirtumo virsta garais. Garas suka turbiną, atšąla, vėl kondensuojasi ir vanduo grąžinamas atgal į gruntą. Dauguma geoterminių jėgainių veikia šiuo principu. Dvigubo ciklo jėgainės naudoja apie 57–60 °C temperatūros geoterminį vandenį. Šis vanduo paduodamas į boilerį, kuriame šildomas mažesnės negu vandens virimo temperatūros skystis, o susidarę garai nukreipiami į garo turbiną. Tokio tipo jėgainės šiluminis naudingumas siekia apie 10–13 %.

Pirmieji geoterminę energiją pradėjo naudoti italai XVIII a. pabaigoje. Iš gręžinių ar žemės gelmių savaime besiveržiantis garas buvo naudojamas boro rūgšties ekstrahavimui iš karšto vandens baseino. 1904 m. Italijos mokslininkas Piero G. Conti pastatė pirmąją geoterminės energijos jėgainę, kurios garas suko turbiną ir gamino elektros energiją (10.12 pav.).

Šiluminis geoterminės energijos naudingumas siekia tik apie 7–10 %, nes geoterminio vandens temperatūra, palyginti su garo katiluose kaitinamo vandens temperatūra, yra labai žema. Pagal termodinamikos dėsnius, žema vandens temperatūra riboja energijos paėmimą iš skysčio ir kartu jėgainės naudingumą. Geoterminio vandens (ne pačios jėgainės) panaudojimo naudingumas padidėja, kai iš turbinos tekantis kondensatas yra naudojamas pastatams ar šiltnamiams šildyti, medienai džiovinti ir pan. Norint pagaminti daugiau elektros energijos, negu jos sunaudoja jėgainės siurbliai,



10.12 pav. Sausojo garo geoterminės jėgainės veikimo schema (Diagram VaporDominatedGeothermal inturperated version.svg.)

reikalinga aukšta geoterminių laukų temperatūra ir specializuoti šilumos ciklai. Kadangi geoterminės energijos šaltiniai pasižymi energetiniu pastovumu, tai bendras geoterminės energijos konvertavimo naudingumas gali siekti 96 %.

Geoterminės elektros energijos jėgainės veikia 24 šalyse (JAV, Filipinuose, Indonezijoje, Indijoje, Italijoje, Islandijoje ir kt.). Didžiausios galios (1 360 MW) geoterminė jėgainė, pradėjusi veikti 1960 m., yra JAV. Islandija ir Filipinai geoterminėse jėgainėse gamina atitinkamai 26 ir 27 % šalims reikalingos energijos. Prognozuojama, kad iki 2050 m. geoterminė energetika tenkins 10–20 % pasaulio energijos poreikių.

Žemės paviršiuje išsiskiriantis gelmių šilumos kiekis apibūdinamas šilumos srauto tankiu (mW/km^2). Žemyninės plutos paviršiuje šilumos srauto intensyvumas vidutiniškai sudaro 57 mW/km^2, o Lietuvos vakarinėje dalyje jis padidėja iki 70–90 mW/km^2. 1989 m. atrasta Vakarų Lietuvos geoterminė anomalija yra unikali. Kilometro gylyje vandens temperatūra siekia 30–45 °C laipsnius, o 2 km gylyje ji yra 80–90 °C. Lietuvoje nėra fontanu trykštančių geoterminio vandens šaltinių, kaip Islandijoje ar Italijoje, tad reikia daryti gręžinius ir kelti vandenį į paviršių.

Nuo 2004 m. Lietuvoje veikia Klaipėdos geoterminė jėgainė, kuriai naudojamas 38 °C vanduo imamas iš 1 300 m gylio gręžinio. Jėgainės galia yra 10–35 MW. Iš žemės gauta šiluma panaudojama į jėgainę atkeliaujančiam termofikaciniam vandeniui šildyti. Jis jėgainę pasiekia apie 40 °C temperatūros. Dėl šilumos mainų šis vanduo pašildomas iki 70 °C ir keliauja atgal į miestą. Geoterminė jėgainė vasarą šiluma aprūpina pusę Klaipėdos, žiemą jos

pagamintos energijos užtenka dešimtadaliui miesto. Lietuvoje populiarėja geoterminis būstų šildymas. Name įrengtas šilumos siurblys paima žemėje susikaupusią energiją ir perduoda ją namo šildymo ar karšto vandens ruošimo sistemoms. Vieninteliai tokios sistemos savininko kaštai – išlaidos elektros energijai, kurios reikia kompresoriui ir cirkuliaciniams siurbliams. Teigiama, kad 3/4 geoterminės šilumos gaunama nemokamai.

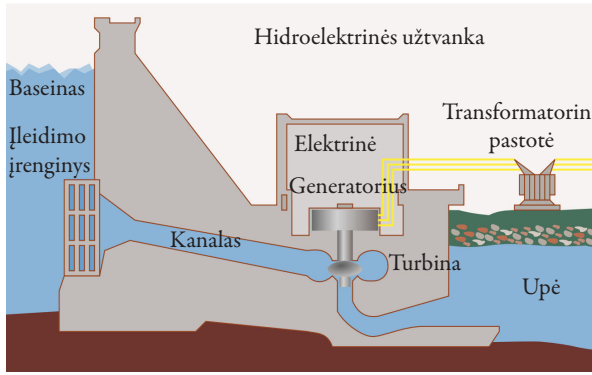
HIDROENERGETIKA

Hidroenergija – atsinaujinančios energetikos rūšis, kuri energiją paima iš tekančio vandens. Vandens energija gali būti panaudota elektros gamybai arba tiesiogiai sukti įvairiems mechanizmams (malūnų girnoms, vilnos vėlimo įrenginiams, vandens kėlimui irigacijos sistemose ir kt.). Žmonės įkinkė vandens energiją jau prieš tūkstančius metų. Vandens sukami įrenginiai malė grūdus, pjovė medieną, suko audimo stakles. Užtvankos ir kanalai buvo reikalingi vienas po kito statomiems vandenračiams, kai vandens kritimo aukštis buvo didesnis negu 5 metrai. Didelių vandens saugyklų statyba tuometinėmis techninėmis priemonėmis buvo neįmanoma. Vandens srautas upėse vasarą ir rudenį sumažėja, o žiemą daugelyje šalių darbus trukdo apledėjimas, todėl atsiradusios garo mašinos greitai pakeitė vandens rato mechanizmus. Pats vandens sukamų mechanizmų principas iki dabar išliko toks pat. Pirmieji vandens malūnai tikriausiai atsirado XIV amžiuje. Šiuolaikinių vandens turbinų raida prasidėjo Prancūzijoje XVIII a. viduryje. Pirmosios hidroelektrinės pastatytos 1876–1881 m. Vokietijoje ir Didžiojoje Britanijoje. 1841 m. Lietuvoje buvo 532 hidrojėgainės, sukančios įvairių fabrikų mechanizmus. Pirmoji prie tinklo prijungta hidroelektrinė Lietuvoje pastatyta 1910 m. Anykščiuose. Tačiau pirmasis hidrogeneratorius įrengtas dar 1903 m. prie Virvytės upės Kairiškių dvaro popieriaus fabrike.

Jau daugiau kaip šimtą metų hidrojėgainės gamina elektrą. 1880 m. sukurta vandens sukama turbina suko elektros generatorių, o gaminama elektra buvo naudojama apšvietimui. 1880–1895 m. pastatytų hidroelektrinių gaminama elektros srovė buvo naudojama lankinėms ir kaitinamosioms apšvietimo lempoms. Šiandien šiems tikslams naudojama kintamoji srovė. Hidroenergetikos proveržis įvyko tuomet, kai elektros generatorius buvo

sujungtas su vandens turbina. Mechanizmų tolygus darbas priklauso nuo užtvankų sukaupto vandens kiekio. Kontroliuojant vandens srautą galima užtikrinti ilgalaikį ir pastovų vandens lygį. Vandens srautas nukreipiamas į dirbtinius kanalus, kuriuose įrengti vožtuvai padeda valdyti vandens srauto dydį ir gaminamos elektros energijos kiekį. Elektros generatoriai montuojami tiesiai virš turbinų. Vertikalus turbinos velenas suka generatoriaus inkarą (10.13 pav.). Dabar veikiančių hidroelektrinių konstrukcija buvo sukurta 1920–1930 metais. Daugelis konstrukcinių sprendimų buvo derinami su šiluminių jėgainių sprendimais, ypač elektros energijos perdavimas ir paskirstymas.

Hidroenergija yra labai efektyvus energijos šaltinis, nes vandens turbinos gali pasiekti 95 % ir didesnį veikimo naudingumą. Pasauliniu mastu hidroelektrinės pagamina apie 20 % elektros energijos. Hidroenergijos gamyba, palyginti su kitais atsinaujinančios energijos gamybos būdais, yra geriau prognozuojama, nes priklauso nuo vidutinio kritulių kiekio, kurie yra labiau nuspėjami. Upės vandens srautas, priešingai nei vėjo energetikoje, kas minutę nesikeičia. Hidroenergetika turi ir neigiamą ekologinį poveikį, ypač žuvininkystei ir vandens ekosistemoms. Didžiausia pasaulyje hidroelektrinė yra Trijų tarpeklių hidroelektrinė Kinijoje, kurios instaliuotoji galia 22 500 MW. Ji pastatyta užtvenkus Jangzės upę, trečią pagal dydį upę pasaulyje. Elektrinėje yra 26 turbogeneratoriai. Vienas generatorius sveria apie 6 000 t, jo galia didesnė negu 700 MW. 10 m skersmens turbinratis sukasi 75 apsisukimų



10.13 pav. Užtvankos hidroelektrinė (Hydroelectric dam.svg.)

per minutę greičiu. Generatoriaus statoriaus išorinis skersmuo yra 21 m, vidinis 18,5 metro. Tekančio per turbiną vandens srautas yra 600–950 m^3/s. Statybos baigtos 2012 metais.

ELEKTROS AUŠRA LIETUVOJE

1753 m. Vilniaus universiteto profesorius T. Žebrauskas pademonstravo elektros mašiną, kuri veikė trinties principu ir sukeldavo elektros kibirkštį. 1853 m. pradėta tiesti telegrafo liniją Peterburgas–Varšuva per Kauną ir Marijampolę. 1892 m. Rietavo Šv. Mykolo Arkangelo bažnyčioje sušvito pirmoji elektros lemputė. Praėjus vos 13 metų po elektros lemputės išradimo ir dešimtmečiui nuo pirmosios pasaulyje elektrinės atidarymo, kunigaikščio Bogdano Oginskio valdomame Rietave šiuo išradimu buvo pasinaudota pirmiausia. Elektrinėje buvo pastatyti garo katilas, garo variklis ir Z. Gramme'o elektros srovės generatorius, kurio įtampa buvo 110 V. Pirmiausia buvo apšviesti rūmai ir parkas, vėliau – bažnyčia. Dar vėliau elektra nušvietė dvaro ūkinius pastatus ir turtingųjų miestiečių namus. Apšvietimui naudotos kaitinamosios 16 ir 25 žvakių elektros lemputės. 1900 m. Kaune pradėjo veikti pirma centrinė elektrinė. Antra tokia buvo įkurta Klaipėdoje, o po kelerių metų ir Vilniuje. 1903 m. prie Virvytės upės Kairiškių dvaro popieriaus dirbtuvėje pradėjo veikti ir pirmoji hidroelektrinė. Oginskių pastatyta elektrinė veikė iki 1915 metų. 1919 m. Rietavo miesto valdžia, padedama rėmėjų, pastatė naują modernesnį generatorių. Ši elektrinė veikė iki Antrojo pasaulinio karo pradžios. 1915 m. pirmąją elektrinę įsirengė broliai Tilmansai savo metalo fabrike Kaune.

1901 m. Vilniuje buvo pastatyta pirmoji nedidelė elektrinė, kurioje generatorių suko vidaus degimo variklis. Ji aptarnavo miesto salę Aušros vartų gatvėje. Tais pačiais metais ant Neries upės kranto (dabar tai vieta šalia Karaliaus Mindaugo tilto) tuometiniame miesto pakraštyje, bet netoli centro, pradėta statyti didelė elektrinė. Tiesa, iš pradžių jai buvo skirtas plotas Bernardinų sode. Buvo numatyta, kad jėgainė tieks elektrą gatvėms, būstams apšviesti, pramonės įmonėms, o ateityje – ir elektriniam tramvajui. Elektrinės pagaminta elektros energija nuo pat atidarymo daugiausia buvo naudojama apšvietimui. Pradėjus veikti elektrinei, mieste sužibo 198 modernios lankinės

lempos, jų stiprumas prilygo 1 000–1 500 žvakių šviesai. Atsižvelgiant į gatvių plotį, tiesumą ir išsidėstymą (centras ar priemiestis), lempos kabintos kas 50–85 metrai. Pagrindinėse gatvėse atstumas tarp lempų neviršijo 65 metrų. Jos kabintos 8–9 m, o labai plačiose gatvėse – 10–11 m aukštyje. Paprastos kaitinamosios elektros lemputės buvo naudojamos tik Žvėryno tiltui bei Bernardinų vienuolyno sodui vasarą apšviesti, nes jos skleidė 20–30 kartų mažiau šviesos nei lankinės lempos. Pradėjus gaminti elektros energiją, tapo šviesiau ir miesto gatvėse. Buvo apšviesta beveik 13 km gatvių tinklo, tačiau priemiesčiuose ir nuošalesnėse gatvėse vis dar išliko žibalinis apšvietimas. Elektrinė buvo pastatyta per dvejus metus ir pradėjo veikti 1903 metais. 1904 m. Klaipėdoje pradėjo važinėti elektrinis tramvajus.

1922 m. Tauragėje, užtvenkus Jūros upę, pradėjo veikti elektrinė su viena 250 AG vandens turbina ir dviem dyzeliniais motorais. Elektrinė tiekė elektros energiją Tauragės miestui, o ateityje ją turėjo tiekti greta numatytam verpimo ir audimo fabrikui. 1921 m. Tauragėje veikė 3 000 V, 1922–1923 m. Kaune ir Šiauliuose – 6 000 V kintamosios srovės perdavimo linijos. 1930 m. Kaune buvo pastatyta Petrašiūnų šiluminė elektrinė ir 15 kV įtampos perdavimo linija Petrašiūnai–Jonava. 1941 m. 30 kV įtampos perdavimo linija sujungė Šiaulius, Radviliškį ir Panevėžį. 1940 m. veikė 36 elektrinių (bendra galia 65 MW). Didžiausios jų buvo Petrašiūnų (prie Kauno, 16,4 MW), Klaipėdos (9,5 MW), Vilniaus (8,5 MW), Klaipėdos celiuliozės fabriko (4 MW), Rėkyvos (2,5 MW), Petrašiūnų popieriaus f-ko (2,5 MW), Bačiūnų (prie Šiaulių, 1,75 MW). Per Antrąjį pasaulinį karą beveik visos didesnės elektrinės (Petrašiūnų, Vilniaus, Kauno, Panevėžio) buvo susprogdintos arba išgrobstytos. Po karo jos buvo atstatytos.

XIX a. Vilniaus universitete, o 1920–1922 m. ir Aukštuosiuose kursuose Kaune buvo skaitomas magnetizmo ir elektros kursas. 1922 m. Kauno universitete įsteigta Elektrotechnikos katedra. Jos pirmasis vedėjas J. Šliogeris skaitė elektrotechnikos kursą įvairių specialybių studentams, išleido pirmuosius elektrotechnikos vadovėlius lietuvių kalba. 1925 m. Kauno aukštesniojoje technikos mokykloje atidarytas Elektrotechnikos skyrius. 1940 m. Kauno universitete įsteigtos keturios elektrotechnikos disciplinų katedros (Elektrotechnikos, Elektros jėgainių ir tinklų, Elektros mašinų, telefonų, telegrafų ir Radiotechnikos).

1955 m. pradėta Kauno hidroelektrinės statyba. Pirmoji 22,5 kW galios hidroelektrinės turbina pradėjo dirbti 1959 m., o statyba baigta 1960 metais. Elektrinės instaliuotoji galia yra 100 MW. 1961 m. pradėjo veikti ant Šventosios upės pastatyta 2,55 MW galios Antalieptės hidroelektrinė. 1960 m. buvo nutiesta 110 kV elektros perdavimo linija Kaunas–Marijampolė–Sovetskas –Šilutė–Klaipėda. Užbaigus pirmąjį energetikos sistemos Lietuvoje plėtros etapą, visos pagrindinės elektrinės Vilniuje, Petrašiūnuose, Rėkyvoje, Klaipėdoje ir Kaune buvo sujungtos į bendrą energetinę sistemą. 1960 m. Elektrėnuose pradėta statyti Lietuvos šiluminė elektrinė. Jos pirmoji 150 MW galios turbina praėjo suktis 1962 metais. 1972 m. paleistas paskutinis (aštuntasis) 300 MW galios blokas ir elektrinė pasiekė projektinę 1 800 MW galią. 1962 m. nutiesta 330 kV energijos perdavimo linija Šiauliai–Jelgava (Latvija), o 1964 m. buvo baigtas šalies kaimo vietovių elektrifikavimas.

1974 m. prasidėjo Ignalinos atominės elektrinės statybos darbai, o 1983 m. buvo paleistas jos pirmasis 1 500 MW galios blokas. Jėgainėje buvo numatyti keturi reaktoriai, tačiau pastatyti ir paleisti tik du. Ignalinos atominėje elektrinėje buvo sumontuoti kanalinio tipo šiluminių neutronų vandens-grafito branduoliniai reaktoriai, kurie iš pradžių buvo galingiausi pasaulyje. RBMK reaktoriuose buvo naudojama vieno kontūro šiluminė schema. Reaktorių aušinantis vanduo, jam tekant per aktyviąją zoną, užvirinamas ir iš dalies paverčiamas garu. Perėjęs per reaktorių vandens ir garo mišinys patenka į būgninius separatorius, kuriuose nuo vandens atskiriamas garas ir tiekiamas į garo turbinas. Atidavęs dalį savo energijos turbinai, garas kondensuojamas, o kondensatas maitinimo siurbliu grįžta į tą patį būgno separatorių, kur susimaišo su prieš tai iš garo atskirtu vandeniu. Pagrindiniai cirkuliacijos siurbliai vandenį grąžina į aktyviąją zoną, kur dalis jo vėl paverčiama garu. RBMK reaktoriai yra kanaliniai. Juose kiekviena branduolinio kuro rinklė dedama į atskirą kuro kanalą. Elektrinėje jų buvo net 1661. RBMK reaktoriuose greitųjų neutronų lėtinimui buvo naudojamas grafitas. Reaktoriaus kuras – įsodrintas iki 2 % urano (U235) dioksidas. Turbinos – vieno veleno dvisrautės su tarpiniu garo perkaitinimu. Rotoriaus sukimosi greitis – 3 000 aps./min. Generatoriai – trifaziai, 50 Hz dažnio. Lietuvai vykdant stojimo į Europos Sąjungą sutartyje numatytus



10.14 pav. Kruonio hidroakumuliacinės jėgainės žemutinį ir aukštutinį baseinus jungiantys vamzdynai (A. V. Valiulio nuotr.)



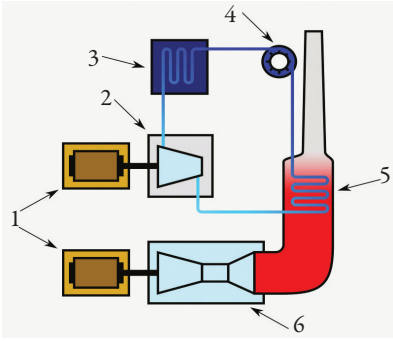
10.15 pav. Kruonio hidroakumuliacinės jėgainės nepanaudotas penktojo agregato turbinratis (A. V. Valiulio nuotr.)

įsipareigojimus, 2009 m. elektrinė visiškai nutraukė elektros energijos gamybą. Pirmasis blokas sustabdytas 2004 m., o antrasis – 2009 metais.

1977 m. pradėta Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės statyba, kurios pirmasis 200 MW galios agregatas pradėjo veikti 1992 m. (10.14 pav.). Esant mažai elektros paklausai, paprastai naktį, Kruonio hidroakumuliacinė jėgainė dirba siurblio režimu ir kelia vandenį iš apatinio rezervuaro (Kauno marių) į dirbtinį viršutinį rezervuarą. Projektinė jėgainės galia buvo 1 600 MW, tačiau šiuo metu veikia tik keturi 225 MW galios generatoriai. Naudodama visiškai užpildyto viršutinio rezervuaro vandens atsargas, jėgainė apie 12 valandų gali generuoti 900 MW galią. Lietuvos žaliųjų judėjimas 1989 m. blokavo penktosios turbinos statybą (10.15 pav.). Lietuva planuoja plėsti Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės pajėgumą ir statyti penktąjį, 225 MW galios, agregatą. Agregato galia dirbant siurbimo režimu yra 110–235 MW, o dirbant generatoriaus režimu – 55–225 MW. Naujojo agregato eksploatacinis naudingumas turėtų siekti 78 %.

2012 m. Elektrėnų šiluminėje elektrinėje paleistas naujas 445 MW galios kombinuoto ciklo blokas. Įprastos technologijos atveju elektros energija paverčiama tik 25–40 % deginamo kuro energijos, o kombinuoto ciklo bloko naudingumas siekia daugiau nei 58 %. Kombinuoto ciklo jėgainėse technologinį procesą sudaro mažiausiai du skirtingi darbo ciklai. Jėgainėje

naudojamas ne tik vandens garas, bet ir dujų degimo energija, todėl yra įrengtos dujų ir garo turbinos. Kuras (dujos, dyzelinas) paduodamas į degimo kamerą. Karšti degimo produktai nukreipiami į dujų turbiną ir jai atiduoda savo energiją. Turbina suka kompresorių ir sinchroninį generatorių. Degimo produktų, praėjusių dujų turbiną, šiluma (450–650 °C) vandenį katile paverčia garu. 420–580 °C temperatūros garas paduodamas į turboagregatą, kuris suka generatorių. Generatoriai mechaninę sukimosi energiją paverčia elektros energija (10.16 pav.).



10.16 pav. Jėgainės kombinuoto ciklo agregato sandara: 1 – elektros generatoriai, 2 – garo turbina, 3 – kondensatorius, 4 – siurblys, 5 – boileris / šilumokaitis, 6 – dujų turbina (COGES diagram.svg.)

Nuo 1960 m. 330 kV įtampos Baltijos valstybių elektros perdavimo tinklas buvo formuojamas kaip bendro Sovietų Sąjungos elektros energijos generavimo ir perdavimo tinklo dalis. 1992 m. Baltijos valstybių (Estijos, Latvijos ir Lietuvos) vadovai nusprendė sudaryti Baltijos valstybių energetikos sistemą ir įkurti vieną koordinuojantį dispečerinį centrą, kuris palaikytų ryšį su BRELL elektros žiedine sistema, į kurią įeina Sankt Peterburgo, Novgorodo, Pskovo, Tverės, Maskvos ir Smolensko sritys (Rusija) bei Baltarusija. Baltijos šalių tikslas – atsijungti nuo BRELL elektros žiedinės sistemos ir integruotis į bendrą Europos Sąjungos elektros energijos rinką.

SAJANŲ-ŠUŠENSKOJĖS UŽTVANKOS KATASTROFA

Sajanų-Šušenskojės hidroelektrinė – pagal galią šeštoji pasaulyje veikianti hidroelektrinė, pastatyta ant Jenisiejaus upės ties Krasnojarsko krašto ir Chakasijos riba, netoli Sajanogorsko. Ji yra Jenisiejaus hidroelektrinių kaskados viršutinė pakopa. Unikali arkinė-gravitacinė 242 m aukščio užtvanka yra aukščiausia Rusijoje. Sajanų-Šušenskojės hidroelektrinės tvenkinys užima 621 km^2 plotą.



10.17 pav. Sajanų-Šušenskojės hidroelektrinės generatorių salė iki katastrofos (Sayano-Shushenskaya HPS – generator hall.jpg.)

Hidroelektrinėje sumontuota dešimt hidraulinių turbinų, kiekvienos galia yra 640 MW, bendra instaliuotoji galia – 6 400 MW. Arkinės-gravitacinės užtvankos ilgis yra 1 066 m, užtvankos pagrindo plotis 105,7 metro. Užtvanką veikia apie 30 mln. t vandens slėgis. 60 % statinio pastovumo ir tvirtumo užtikrina užtvankos svoris, 40 % veikiančios jėgos viršutinė arkinė konstrukcija perduoda į krantus. Statyba prasidėjo 1968 m., hidroelektrinė pradėjo veikti 1978 m. (10.17 pav.).

2009 m. rugpjūčio 17 d. elektrinėje įvyko didžiausia Rusijos hidroenergetikos istorijoje avarija, per kurią žuvo 75 žmonės. Avarijos metu buvo užtvindyta mašinų salė ir turbinų patalpos. Įvykus trumpajam jungimui sprogo du 711 MVA galios elektros generatoriai, buvo pažeisti ir kiti mechanizmai. Tik keturis hidroagregatus dar buvo galima taisyti, kitus 6 reikėjo pakeisti naujais. Avariją sąlygojo visa grandinė vienaip ar kitaip susijusių veiksnių. Viena avarijos Sajanų-Šušenskojės hidroelektrinėje priežasčių – gaisras Bratsko hidroelektrinės ryšių linijoje, sutrikdęs hidroelektrinės valdymo sistemą, todėl visas sistemos galingumo reguliavimas buvo perduotas Sajanų-Šušenskojės hidroelektrinei. Perjungus galingumo reguliavimą, Sajanų-Šušenskojės elektrinėje buvo įjungtas atsarginis antrasis hidroagregatas, kuris per avariją nukentėjo labiausiai. Jis sugriuvo, kai lūžus tvirtinimo strypams buvo nuplėštas turbinos gaubtas. Tyrimų metu nustatyta, kad avarijos priežastis buvo antrojoje turbinoje atsiradusios vibracijos. Padidėjus apkrovai, staiga nutrūko tvirtinimo strypai. Po vandeniu besisukanti turbina,



10.17 pav. Sajanų-Šušenskojės hidroelektrinė po avarijos (Sayano-Shushenskaya HPS - generator hall post-accident.jpg.)

veikiama 20 atmosferų vandens slėgio, kartu su gaubtu, rotoriumi ir viršutine dalimi iššoko iš korpuso ir sunaikino dalį mašinų salės įrangos ir pastato (10.18 pav.). Elektrinės generuojamas elektros kiekis nukrito iki nulio ir visų sistemų darbas buvo užblokuotas. Vandens tekėjimas į kitas turbinas rankiniu būdu buvo sustabdytas per 25 minutes, tačiau visą tą laiką jos sukosi be jokios apkrovos.

Po nelaimingo atsitikimo ištyrus 49 tvirtinimo strypus nustatyta, kad 41 strype buvo įtrūkių, 8 strypuose pažeidimai apėmė daugiau nei 90 % strypo skerspjūvio ploto. Avarijos metu į upę išsiliejo mažiausiai 40 t transformatorinės alyvos, kuri pasroviui Jenisiejumi buvo nunešta net 80 km.

11 SKYRIUS

INFORMACIJOS PERDAVIMAS. GARSO IR VAIZDO TECHNOLOGIJOS

GARSO ĮRAŠYMAS IR ATKŪRIMAS

Garso įrašymas ir atkūrimas gali būti elektrinis ar mechaninis. Atkuriamos kalbos, dainavimo, instrumentinės muzikos ir kt. garso bangos. Garso įrašymo technologijos skirstomos į *analoginį įrašymą* ir *skaitmeninį įrašymą*. Akustinio analoginio įrašymo metu mikrofono diafragma aptinka akustinę garso bangą ir ją įrašo į specialią terpę. Toks įrašas vadinamas *fonograma* (tech. garso įrašas plokštelėje, magnetinėje ar kino juostoje). Atliekant magnetinį įrašą, garso bangos virpina mikrofono diafragmą ir pavirsta kintančiais elektros srovės impulsais, kurie sudaro kintantį magnetinį lauką. Magnetinis laukas magnetine emulsija padengtos juostos paviršiuje palieka garso bangą atitinkančią žymą. Analoginis garso atkūrimas yra atvirkštinis procesas, kurio metu didelio garsiakalbio diafragma sukelia atmosferos slėgio pokyčius ir suformuoja akustines (garso) bangas. Skaitmeninio įrašymo ir atkūrimo metu mikrofono pagautas garso signalas paverčiamas skaitmenine forma. Skaitmenizavimo procese sukurta informacija gali būti saugoma ar perduodama neribotu atstumu. Skaitmeninių įrašų kokybė yra aukštesnė negu analoginių įrašų, nes įrašant mažiau pakliūva pašalinio triukšmo, o garso atkūrimui neturi įtakos elektromagnetiniai trikdžiai ar informacijos terpės (plokštelės, juostos) kokybė. Skaitmeninis garso signalas, prieš patekdamas į garsiakalbį arba ausines, turi būti konvertuojamas į analoginę formą.

Ankstyvasis žinomas automatizuotas muzikos atgaminimo instrumentas buvo III a. pr. m. e. Aleksandrijoje sukurti vargonai, vadinti *hidraulis*. Juose oras buvo pučiamas dviem vandens siurbliais. Visgi prietaisas grojo rankomis keičiant cilindrus, o ne automatiškai – vandens srove. Mechaninis muzikos

įtaisas ryla buvo naudojamas iki XIX a. II pusės. Tai mechaninis vargonų tipo aerofonas be klaviatūros. Dėžėje su rankena yra keliomis eilėmis išdėstyti vamzdeliai, dumplės, mediniai arba metaliniai velenėliai su strypeliais. Grojama rankena sukant velenėlį. Kiekvienai melodijai naudojamas kitas velenėlis. Ryla atsirado XVII a. Prancūzijoje, Lietuvoje žinoma nuo XVIII amžiaus. IX a. Bagdade buvo sukurtas „automatinis grotuvas fleita“, tikriausiai pirmasis programuojamas aparatas, kuriuo garsus padėdavo išgauti vandens garai. XX a. pradžioje sukonstruotas instrumentas *pianola*, arba savaime grojantis pianinas, galėjo virtuoziškai atlikti bet kurį jame „užprogramuotą“ kūrinį. Į instrumentą dėdavo iki 15 m ilgio popieriaus rulonus su perforuotomis skylutėmis. Juostai slenkant instrumentu, klavišai užgaudavo stygas ir pasigirsdavo garsas. JAV muziejuose galima rasti lietuviškos muzikos ritinėlių pianolai. Deja, šių instrumentų beveik nebeliko, todėl paklausyti ritinėlių įrašų nėra galimybės. Pirmą praktinį garso įrašymo ir atkūrimo prietaisą – mechaninį *fonografą* – 1877 m. išrado Thomas Edisonas. Fonografas garsą įrašydavo į foliją, užmautą ant besisukančio cilindro. Prie membranos pritvirtinta adata, judėdama ant folijos, išraižydavo griovelius. Įrašytas garsas buvo atkuriamas tokiu pačiu principu: judant adatai, vibracijos pasiekdavo elastingą membraną, kuri ir sukeldavo garsą (11.1 pav.). Iš pradžių garsas buvo įrašomas ant plieninio cilindro, padengto alavine folija, tačiau ši folija nebuvo tinkama naudoti kiekvieną dieną. Apie 1880 m. Th. Edisonas užpatentavo iš vaško padarytus cilindrus. Vėliau, apie 1910 m., pasirodžius vinilinėms plokštelėms, fonografo cilindrų paklausa sparčiai mažėjo ir 1929 m. jų masinė gamyba buvo nutraukta.

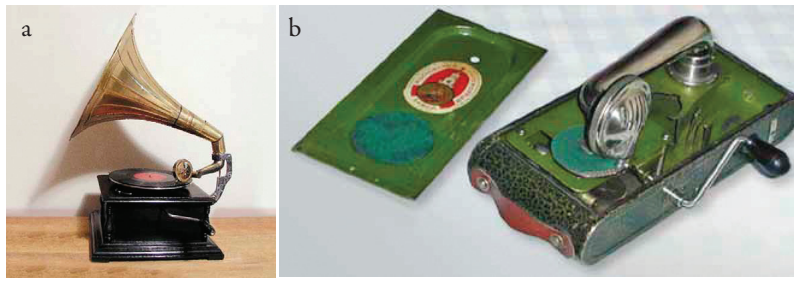
Kitu svarbiu ir tobulesniu techniniu išradimu buvo *gramofonas*. 1887 m. Emilis Berlineris (JAV) išrado gramofoną, kuriame kaip garso kaupikliai buvo naudojamos plokštelės. Gramofono garso įrašai buvo saugomi plokštelės paviršiuje esančiame spiralės formos griovelyje. Pirmųjų gramofonų garso kokybė dar buvo prastoka, tačiau patobulintiems gramofonams fonografai garso įrašų



11.1 pav. Th. Edisono folinis fonografas (Amberola close-up.jpg.)

kokybe prilygti negalėjo. Gaminti, saugoti ar gabenti gramofono diskus buvo paprasčiau negu fonografo cilindrus. Pirmieji diskai buvo vienpusiai, tačiau 1910 m. pasirodė dvipusiai iš šelako pagaminti diskai. Iš pradžių E. Berlineris naudojo suodžiais padengtą stiklinį diską, vėliau – vašku dengtą cinko diską, apdorojamą 25 % chromo rūgštimi. Pirmosios gramofono plokštelės buvo pagamintos iš celiulioido, nuo 1897 m. atsirado plokštelės iš šelako, špato ir suodžių. Šelakas – tai derva, gaunama iš vabzdžių (vadinamų lakinių kirminų), parazituojančių atogrąžų augaluose (Tailande, Indijoje), išskyrų. Šelako diskai buvo pradėti naudoti apie 1895 metus. Pirmosios plokštelės sukosi labai greitai ir turėjo plačius griovelius, todėl jose tilpdavo tik 2 min. garso įrašų. Dvipusiai 78 apsukų per minutę greičiu sukami diskai buvo naudojami iki 1950 m. pabaigos (11.2 pav.). 1907 m. prancūzų kompanijos „Pathé“ darbuotojas Gilionas Kemleris patobulino gramofoną, įdėdamas ruporą į gramofono vidų. Naujasis įrenginys pavadintas *patefonu*.

Skirtingų gamintojų šelako plokštelės skyrėsi savo sudėtimi, tačiau dažniausiai trečdalis būdavo šelako ir apie du trečdalius sudarydavo mineralinis užpildas – skalūno ar kalkakmenio milteliai, sumaišyti su medvilnės pluoštu. Pluoštas sustiprindavo plokštelę, o anglies milteliai suteikdavo jai juodą spalvą. Grojimo adatoms buvo naudojamas mažaanglis plienas, augalų dygliai ar net safyras. Disko naudojimo trukmė priklausė nuo medžiagų ir gamybos technologijos. Garso įrašymas buvo netikslus ir riboto dažnių diapazono. Žemų ir



11.2 pav. Gramofonas (a – A. V. Valiulio nuotr.) ir nešiojamas Thorenso Exceldos patefonas, 1950 m. (b – https://calwass.net/obj-ultraportativnyj-patefon-thorens-excelda-1940-e-gody-svejcaria-20208.html.)

labai aukštų dažnių diskai atkurti negalėjo. 1948 m. pasirodė ilgai grojančios, kiek ilgiau nei pusvalandį, plokštelės, pagamintos iš vinilo, arba polivinilchlorido. Jų sukimosi greitis buvo 33 aps./min. Nors vinilas buvo daug brangesnis negu šelakas, tačiau jį pranoko ilgaamžiškumu. Vinilo plokštelės greitai užkariavo rinką, nes jas buvo lengviau gaminti (štampuoti), be to, buvo ne tokios trapios.

Tarp fonografo ir skaitmeninės aplinkos atsiradimo svarbiu garso įrašų istorijos etapu buvo „elektrinis įrašymas“. Garsinį signalą mikrofonas konvertuodavo į elektrinį signalą, kuris vėliau būdavo sustiprinamas ir panaudojamas. Pirmojo pasaulinio karo metais JAV ir Didžiojoje Britanijoje buvo bandoma įrašyti ir atkurti Vokietijos povandeninių laivų skleidžiamus garsus. 1920 m. atsiradus garsiniam kinui, buvo sukurtos optinės garso įrašymo technologijos, kurios garso signalą grafiškai įrašydavo kino filmo juostoje, t. y. sukurdavo „garso takelį“. Garso takelis – tai muzikinis įrašas, sinchroniškai lydintis filmų vaizdus. Visame pasaulyje greitai jis tapo standartine kino garso sistema.

1878 m. Th. Edisonas pasiūlė magnetinį įrašymą, tačiau tik 1898 m. buvo išrastas įrašymo ant plieninės vielos būdas. Vienas iš didžiausių magnetinio įrašymo privalumų yra tas, kad įrašymo terpę galima ištrinti, tai yra ji tinka daugkartiniam naudojimui. 1920 m. buvo sukurta polimerinė magnetinė juosta, tačiau tik 1934 m. Vokietijoje pirmą kartą pagaminta magnetiniam įrašymui tinkama juosta. 1930 m. radijo išradimų pionierius Guglielmo Marconis išrado magnetinį garso įrašymo būdą ant plieno juostos, t. y. ant tokios pat medžiagos, kaip ir skutimosi peiliukai. Nenuostabu, kad šie įrašymo įrenginiai buvo laikomi labai pavojingais. Pirmasis tinkamas rinkai magnetofonas buvo pagamintas Vokietijoje 1935 metais. Apie 1930 m. vieliniai magnetofonai buvo naudojami diktofonams ir telefoninio įrašymo įrenginiams (11.3 pav.).

1920-ųjų viduryje vokiečių inžinierius Fritzas Pfleumeris ploną popierių, patepęs klijais, padengė geležies oksido milteliais. F. Pfleumerio naudojama popierinė juosta gerai įsimagnetindavo ir išsimagnetindavo, ją buvo galima karpyti ir suklijuoti. Popierinę juostą greitai pakeitė poliesterio ar acetatinio pagrindo juostos. Ši technologija įrašams buvo naudojama 1950–1980 metais. 1935 m. AEG bendrovė pristatė „Magnetophon K1“ įrenginį magnetiniam įrašui. Maždaug tuo pat metu BASF bendrovė pradėjo serijinę magnetinės juostos gamybą. 1930–1940 m. buvo populiarūs juostiniai (ritininiai)

magnetofonai. Apie 1948 m. atsiradę kompaktinių kasečių magnetofonai lėmė pokyčius radijo ir įrašų pramonėje. Garsą buvo galima įrašyti, ištrinti ir vėl įrašyti į tą pačią juostą daug kartų, taip pat perrašyti iš vienos kasetės į kitą beveik neprarandant garso kokybės. Jau 1950 m. pabaigoje didžioji dalis komercinių įrašų buvo daromi magnetinėje juostoje. Šioms juostoms vietoje geležies oksido pradėtos naudoti naujos medžiagos – kobalto arba chromo oksidai. Naujos medžiagos išplėtė įrašomų dažnių diapazoną ir sumažino pašalinio triukšmo lygį. Maždaug 1958 m. atsirado kasetiniai magnetofonai, naudojantys 6,35 mm pločio magnetinę juostelę. Jie buvo labai populiarūs, nes galėjo be pertraukos ilgai groti. Iki 1970 m. buvo gaminama dar daugiau ritininių magnetofonų su atviromis kasetėmis, tačiau netrukus juos išstūmė kasetiniai magnetofonai su uždaromis kasetėmis. 1961 m. „Philips“ bendrovė išleido pirmą kasetinį magnetofoną, o 1963 m. sukurta standartinė garso įrašymo kasetė tiko bet kuriam įrašymo ir garso atkūrimo aparatui. Ritės ir juosta yra uždaroje dėžutėje, todėl ją patogu saugoti ir naudoti. Juosta visada lieka apsauginiame gaubte ir tik pro gaubte paliktą plyšelį liečiasi su magnetofono įrašymo ar atkūrimo galvutėmis. 1979 m. „Sony“ bendrovė pristatė kasetinį nešiojamą muzikos grotuvą „Walkman“, kuris buvo perpus lengvesnis ir penkis kartus mažesnis už tuo metu rinkoje buvusius kasetinius magnetofonus (11.4 pav.). 1986 m. pasirodė „Walkman“ varžovas – naujas



11.3 pav. 1945 m. gamintas vielinis magnetofonas (wire-recording-forgotten-audio-format.)



11.4 pav. Įvairių modifikacijų „Walkman“ kasetiniai magnetofonai, 2006 m. (SonyWalkmanFamily.JPG.)

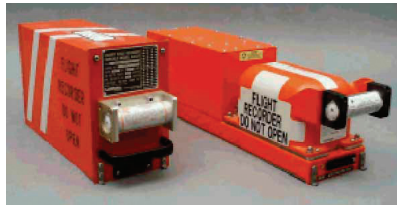
skaitmeninis kompaktinių diskų grotuvas „Discman“. Abu šie grotuvai rinkoje yra ir šiandien, bet tik kaip nostalgiškos praeities liekanos. Nors dabartinės jų versijos aprūpintos pažangiomis technologijomis, tačiau pati koncepcija yra labai pasenusi, nes kasetės ar diskai tapo nepraktiški – jų funkciją daug geriau atlieka dabartiniai mp3 / mp4 grotuvai. Šie naujos kartos grotuvai pasižymi ne tik gera garso kokybe, bet ir daugybe kitų funkcijų: galima klausyti su ausinėmis ar be jų, klausyti FM radijo, naudoti diktofoną, turi skaitomų elektroninių knygų skaitomos vietos žymeklį, per Wi-Fi suteikia galimybę prisijungti prie interneto, į grotuvą galima įsirašyti muziką tiesiai iš CD ar DVD leistuvo, galima pasirinkti spalvotą OLED (ryškesnis vaizdas, naudoja mažiau baterijos energijos) arba LCD (geriau matyti šviečiant saulei) technologijų ekraną, grotuvas atpažįsta JPEG ir BMP formato nuotraukas, yra vaizdo funkcija, garso išlygintuvas (asmeniniam muzikos skambėjimo tonų reguliavimui), prijungimas prie automobilio garso sistemos.

Apie 1970 m. atsirado daugiakanalė garso įrašymo ir atkūrimo sistema – *kvadrofonija*. Kvadrofonija – tai elektroakustinis garso perdavimas ir atgaminimas 4 kanalais (garsiakalbiais), sukeliantis klausytojams erdvės, pvz., salės, įspūdį.

Magnetinis vaizdo įrašymas paplito tik XX a. pabaigoje. Tuometinė televizija buvo neįsivaizduojama be vaizdo įrašų magnetinėje juostoje. Pasaulyje sparčiai didėjo buitinių videomagnetofonų gamyba. 1956 m. buvo parengtas pirmasis vaizdo įrašų standartas, kurį su labai nedideliais pakeitimais ir šiandien naudoja daugelis pasaulio telestudijų. Visgi skaitmeninės technologijos užbaigė magnetinio vaizdo įrašymo periodą. Japonijos įmonė „Funai Electric“, paskutinė likusi VHS formato videokasečių grotuvų gamintoja, nutraukė gamybą 2016 metais.

Skaitmeninės garso technologijos naudojamos visose garso įrašymo ir atkūrimo srityse – nuo vidutinės kokybės iki aukščiausio lygio profesionalių įrašų. Įrašymo metu naudojant keletą takelių galima vienu metu fiksuoti signalus iš kelių mikrofonų arba kitų garso šaltinių, juos kaitalioti, redaguoti, papildyti kokiais nors efektais.

Lėktuvų savirašius prietaisus 1956 m. sukūrė Australijos mokslininkas Davidas Warrenas. Šiuolaikinių orlaivių duomenų įrašymo įrenginiai (juodosios dėžės) gali stebėti net 3 000 orlaivio sistemų parametrų: kabinos



11.5 pav. Orlaivio kabinos pokalbių diktofonas ir skrydžio duomenų savirašis (priekyje – povandeninio lokatoriaus švyturys) (parts-of-air-france-aircraft-lost-in-2009-found-on-seabed-of-the-atlantic)

mechanizmų būklę, slėgį lėktuvo skyriuose, vidaus ir išorės temperatūrą, kuro kiekį bakuose, orlaivio hidraulinės sistemos parametrus ir daugelį kitų skrydžio saugumui ir jo kontrolei svarbių duomenų. Paprastai orlaivyje yra dvi juodosios dėžės, tai yra du magnetofonai, kurie kaupia visą su skrydžiu susijusią informaciją: viena juodoji dėžė įrašinėja įgulos pokalbius ir garsus kabinoje, kita renka orlaivio techninius skrydžio parametrus – orlaivio greitį, aukštį, kryptį ir sistemų parametrus – sunaudojamą kuro kiekį, temperatūrą ir panašią informaciją. Juodosios dėžės korpusas gaminamas iš nerūdijančio plieno arba titano lydinio ir gali atlaikyti 33 km/s^2 pagreičio smūgį, be to, įrašas apsaugotas šiluminės izoliacijos sluoksniu (60 min. gali atlaikyti per 1 100 °C temperatūrą). Juodosiomis dėžėmis jos vadinamos dėl jų paslaptingo turinio. Nežinomybė yra tos dėžės „juodumas“. Dėžės dažomos oranžinė spalva, nes ji yra lengvai pastebima. Įrašomos informacijos kiekis priklauso nuo registruojamų parametrų skaičiaus, gali būti saugoma iki kelių gigabaitų įrašytos informacijos. Avarijos atveju juodosios dėžės radijo bangos signalą galima aptikti jai esant po vandeniu net 6 000 m gylyje (11.5 pav.). Specialus siųstuvas siunčia tam tikrus signalus kas 1 sekundę net 30 dienų.

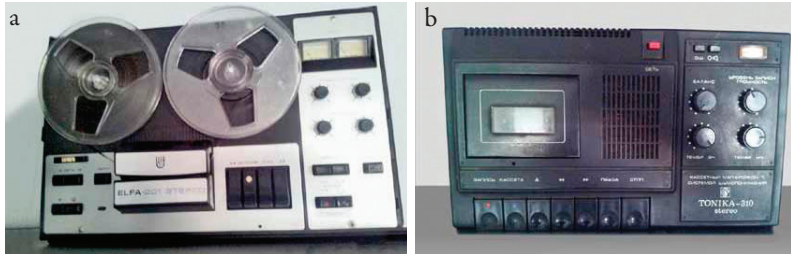
GARSO ĮRAŠYMO PRIETAISŲ GAMYBA LIETUVOJE

Lietuvoje geriausiai žinomos dvi Vilniuje veikusios garso įrašymo ir grotuvų gamyklos „Vilma“ ir „Elfa“ (11.6 pav.). 1925 m. Vilniuje buvo įkurta radiotechnikos draugija „Elektrit“, kurios radijo techninėse dirbtuvėse buvo surenkama, montuojama ir remontuojama importuota radijo įranga. 1927 m. draugija į rinką išleido pirmuosius savos konstrukcijos radijo imtuvus. 1940 m. Lietuvą įjungus į SSRS sudėtį, gamyklos „Elektrit“ patalpos ir likę gamybiniai įrengimai buvo perduoti naujai įkurtam valstybiniam

„Elektrotechnikos fabrikui“. Prasidėjęs karas nutraukė įmonės veiklą, tačiau 1945 m. buvo išskirtas žemės sklypas naujiems gamybiniams pastatams. 1955 m. gamykloje pradėta gaminti magnetofonus. Pradžioje tai buvo universalus gramofonas-magnetofonas, vėliau magnetofonas-radijo gramofonas ir galų gale magnetofonas „Elfa-6“ (11.6 pav., 11.7 pav., a). Susivienijimo „Elfa“ gaminami ritininiai magnetofonai galėjo atkurti labai platų dažnių diapazoną – 40–20 000 Hz, kurio viršutinė riba prilygsta net labiausiai muzikiniu atžvilgiu išprususio klausytojo girdimumo ribai. „Elfa-001 stereo“ modelyje dažnių juosta praplėsta iki 24 kHz, o elektroniniu būdu valdomas variklių mechanizmas, belaidis distancinis valdymas, reversinė juostelės traukimo sistema



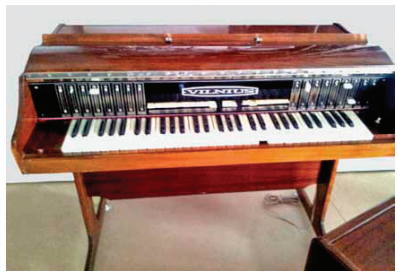
11.6 pav. Vilniaus elektros variklių gamybiniame susivienijime „Elfa“ gaminti juostiniai magnetofonai „Gintaras“, 1960 m. (A. V. Valiulio nuotr.)



11.7 pav. Magnetofonas „Elfa 201 Stereo“, gamintas Vilniaus elektros variklių gamybiniame susivienijime „Elfa“, 1986 m. (a); nešiojamasis kasetinis magnetofonas „Tonika-310 Stereo“, gamintas Vilniaus radijo matavimo prietaisų gamykloje „Vilma“, 1977–1982 m. (b) (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

teikė vartotojui daug patogumų. Įmonė „Elfa“ veikė iki 1995 m., vėliau buvo privatizuota suskaidant į smulkesnes įmones.

Vilniaus radijo matavimo prietaisų gamykla „Vilma“ buvo slapta karinė gamykla, veikusi Vilniuje 1960–1994 metais. 1961 m. joje pradėtas gaminti pirmasis Sovietų kariuomenės reikmėms skirtas vielinis magnetofonas „MN-61“ (11.5 pav.). Įrašymo laikas buvo 5,5 valandos, o vielos judėjimo greitis – 145 mm/s. Vėliau gaminti „Minija“ serijos magnetoloms skirti magnetofoniniai blokai „Vilnelė“. 1971 m. į rinką išleistas pirmasis lempinis, juostinis buitinis magnetofonas „Vilma M-1“. XX a. 8 dešimtmečio pradžioje greta karinės produkcijos pradėtos gaminti prekės civiliams – magnetofonai „Vilma“, „Rūta“, „Tonika“, „Skif“ ir kt. Apie 1980 m. magnetofonų galvučių magnetolaidžiams vietoje permalojaus lydinio pradėjus naudoti daug kietesnį ir atsparesnį dilimui alsiferį (Al-Si-Fe lydinys), sumažėjo galvučių matmenys, pagerėjo jų eksploatacinės savybės. Įmonė buvo modernizuota, įsigyti nauji, daugiausia japonų gamybos, technologiniai įrenginiai. 1995 m. „Vilma“ pradėjo gaminti naują aukščiausios klasės kasetinį stereomagnetofoną „Vilma M-117S“. Šio magnetofono darbo dažnių diapazonas 31,5–16 000 Hz, jis valdomas mikroprocesoriumi, turi UTB radijo bangų imtuvą. Tai vienas iš paskutinių bendrovės gamintų magnetofonų modelių. Lietuvai atkūrus nepriklausomybę ir perėjus prie rinkos ekonomikos šalį užplūdo užsienietiškos prekės. Netrukus paaiškėjo, kad tris dešimtmečius „Vilmos“ gamintų magnetofonų niekam nebereikia ir kad lyderiais būta tik savo kieme. 1994 m. pradžioje gamyklai paskelbtas bankrotas.



11.8 pav. „Ventos“ gamykloje suprojektuotas ir pagamintas elektroninis muzikos instrumentas „Vilnius“, 1970–1990 m. (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

Nuo 1962 m. iki XX a. paskutiniojo dešimtmečio Vilniuje veikė mikroschemų gamykla „Venta“, kurioje buvo gaminami aukšto ir superaukšto dažnio jutikliai, vaizdo technikos mikroschemos. Gamykloje buvo taikomos

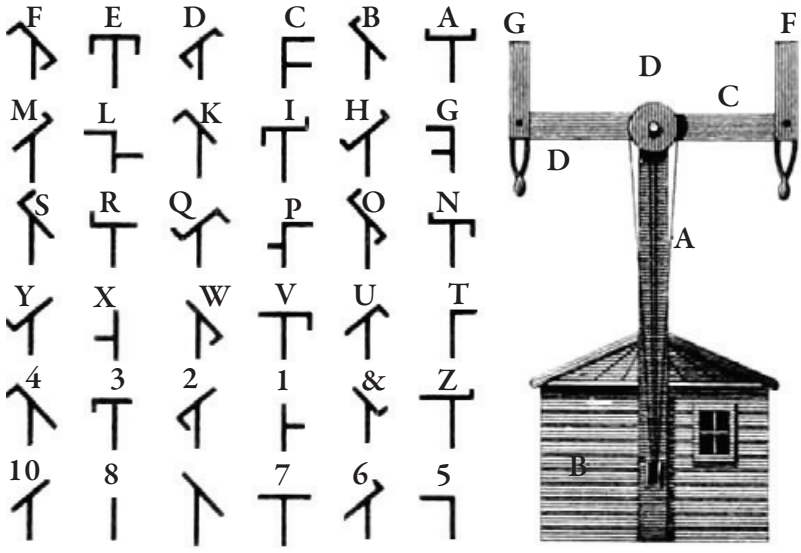
dvi pagrindinės gamybos technologijos: trijų difuzijų technologija, kai mikroschema formuojama tiesiog ant silicio plokštelės, ir epitaksinė, kai mikroschema formuojama ant puslaidininkinio pagrindo nusodintame 1,5–20 μm storio legiruoto silicio sluoksnyje. Nuo 1969 m. gamykloje buvo projektuojami ir gaminami portatyviniai daugiabalsiai elektroniniai klavišiniai muzikos instrumentai „Vilnius“ (11.8 pav.). Specialios mikroschemos užtikrino aukštą šių elektroninių muzikos instrumentų kokybę. Dar buvo gaminami klavišiniai instrumentai „Vilnius“ (1973–1976), „Vilnius 3“ (nuo 1976 m.), „Vilnius 5“ (nuo 1982 m.), „Elektronika EM 11“ (nuo 1983 m.). Pastarasis pasižymėjo reguliuojamu choriniu efektu ir adityvine tembro sinteze, leidžiančia imituoti daugelio muzikos instrumentų tembrus.

12 SKYRIUS
TELEGRAFAS, TELEFONAS IR RADIJAS

OPTINIS TELEGRAFAS

Telegrafija – tai tolimas rašytinio pranešimo perdavimas be fizinio laiško gabenimo. Nuo seniausių laikų žmonėms buvo svarbu palaikyti tarpusavio ryšį. Pirmieji medžiotojai signalų perdavimui naudojo gyvulių ragus ar jūrų kriaukles. Vėliau juos pakeitė būgnai, o dar vėliau pradėta naudoti žibintus ir ugnį. Optinio telegrafo prototipu galima lakyti Anglijos karinio jūrų laivyno vėliavos signalus. Šis išradimas buvo sėkmingai naudojamas laivyne net iki XVIII a. pabaigos.

Pirmoji optinio telegrafo sistema pradėta naudoti Prancūzijoje 1790 metais. 1793 m. prancūzas Claude'as Chappe'as išrado „semaforinį telegrafą" su vizualia signalų perdavimo sistema. Chappe'o telegrafai buvo įrengti ant bokštų, pastatytų 10–15 km atstumu vienas nuo kito. Optinis telegrafas turėjo virvelių, pritvirtintų prie reguliatoriaus ašies, sistemą. Juostinėmis pavaromis ir skriemuliais buvo keičiama sparno elementų padėtis ir sukuriami koduotų figūrų vaizdai. Sparnų ilgis 1–7,5 metro. Operatorius valdė sparnus dviem rankenomis. Visas semaforinio telegrafo mechanizmas buvo įrengiamas ant bokštinės konstrukcijos. Optinio telegrafo darbo esmė: operatorius stebi artimiausią stotį, savo sparnais dubliuoja matomus sparnų signalus ir perduoda juos tolesnei stočiai (12.1 pav.). Centrinis elementas – reguliatoriaus ašis – buvo 4 m ilgio. Jos viršuje buvo du 1,8 m ilgio pečiai. Pečiai ir sparnai galėjo būti pasukti į 196 žinomas pozicijas. Naktį uždegami pečių ir sparnų galuose pritvirtinti žibintai. Išradimas pirmiausia patraukė kariškių dėmesį, tačiau jiems kilo klausimų: kaip perduoti informaciją, jeigu tvyro rūkas; kaip užkoduoti pranešimą, kad jo neperskaitytų priešas? 1794 m. buvo baigta statyti 225 km ilgio optinio telegrafo linija tarp Paryžiaus ir



12.1 pav. C. Chappe'o telegrafas ir rašmenų kodas (Rees's Cyclopaedia Chappe telegraph.png.)

Lilio. Žinia, kad Kvesnojus (Le Quesnoy) 1794 m. buvo išvaduotas iš austrų kariuomenės, optiniu telegrafu Paryžių pasiekė jau po valandos.

Buvo sukurtas 9 999 žodžių kodas, kurio kiekvieną žodį atitiko tam tikras skaičius. Informacijos perdavimo greitis siekė 3 000–7 000 km/h. Pirmoji telegrafo linija, atidaryta 1778 m., sujungė Paryžių, Strasbūrą ir Brestą. 1795 m. optinio telegrafo tinklų statyba prasidėjo Ispanijoje ir Italijoje, Anglijoje, Švedijoje, Indijoje, Egipte, Prūsijoje. Atsiradus elektriniam telegrafui optinis telegrafas nebebuvo aktualus, tačiau optinio telegrafo šviesos signalų sistema vis dar naudojama geležinkelyje (prisiminkime ir šviesos žiburių informacinius pranešimus greitkeliuose).

Telegrafo istorijos pradžia Lietuvoje laikomi 1839 m., kai buvo baigta tiesti tuo metu ilgiausia pasaulyje 1 200 km ilgio optinio telegrafo linija iš Sankt Peterburgo į Varšuvą, nuo Zarasų ėjusi per Utenos, Ukmergės apylinkes Kauno ir Vilniaus link. Gedimino pilies bokšte Vilniuje ir Žaliakalnyje Kaune buvo



12.2 pav. Optinio telegrafo stotis, pastatyta Vilniuje 1838 m. ant Gedimino pilies vakarinio bokšto (a – Gediminas Tower before reconstruction.jpg.) ir optinio telegrafo tarpinė stotis Utenos senajame pašte (b – A. V. Valiulio nuotr.)

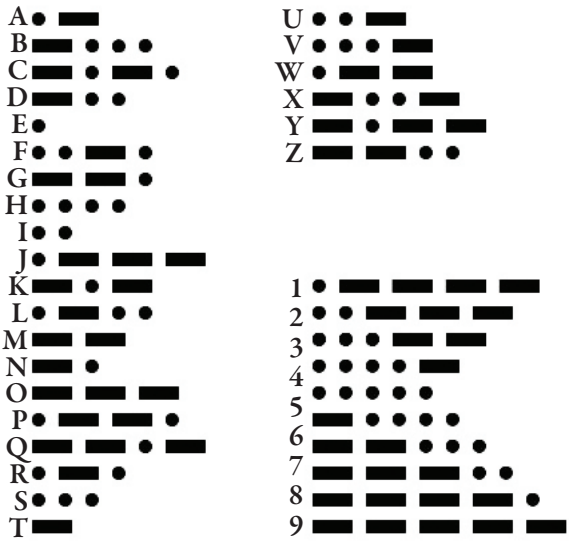
įrengtos telegrafo stotys (12.2 pav.). Optinis telegrafas buvo eksploatuojamas iki 1854-ųjų. 1855 m. Kaune įrengta pirmoji Lietuvoje elektrinio telegrafo stotis. 1859 m. iš Vilniaus į Sankt Peterburgą išsiųsta pirmoji telegrama.

ELEKTRINIS TELEGRAFAS

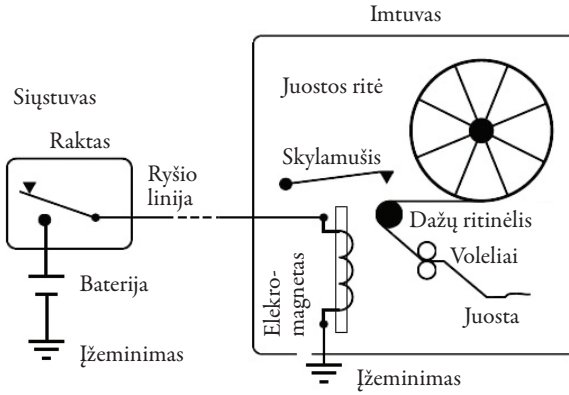
Telegrafas – elektrinio ryšio sistema, perduodanti raidinius ir skaitmeninius pranešimus (telegramas) arba nejudamus atvaizdus elektriniais arba radijo signalais.

1809 m. Vokietijoje buvo išrasta laiškų persiuntimui naudojama telegrafo sistema. Abėcėlės raidės buvo siunčiamos 26 lygiagrečiais laidais. Atstumas tarp perdavimo ir priėmimo įrenginių buvo 3,5 km. 1820 m. telegrafui buvo sukurta

galvanometro ritės sukiojama adata (rodyklė). Adatinis telegrafas tapo pirmąja serijine duomenų perdavimo sistema, kurioje adatos (rodyklės) nuokrypio seka perduodavo užkoduotą raidę ar skaičių. 1845 m. anglai Williamas Cooke'as ir Charles'is Wheatstone'as taip pat užpatentavo telegrafą, kuris turėjo 6 laidus ir sudėtingą šešių magnetinių adatų imtuvą. Šis telegrafas ilgai buvo naudojamas D. Britanijos geležinkelių sistemoje žinioms tarp stočių perduoti. Apie 1838 m. sukurtas Morzės telegrafas buvo paprastesnis – jam pakako vieno laido. Telegrafo aparate esantis elektromagnetas per jungiklį sujungtas su elektros baterija. Įjungus jungiklį, elektros srovė iš baterijos laidais teka į imtuvą. Telegrafo jungiklis gali būti dviejų padėčių – įjungtas ir išjungtas. Telegrafo imtuvo elektromagneto pieštukas, judėdamas išilgai siauros judančios popieriaus juostelės, rašo taškus ir brūkšnelius (12.3 pav.). Operatorius iš jų iššifruoja raides ar skaičius. Įvairios taškų ir brūkšnelių kombinacijos sudaro skirtingus žodžius. Alfabetinį spausdinimo įrenginį pakeitė *telegrafo raktas* (12.4 pav.). 1844 m. gegužės 24 d. Samuelis Morse'ė iš Vašingtono savo telegrafu pasiuntė pirmą žinią į Baltimorę, esančią už 60 km. 1851 m. JAV buvo net 50 telegrafo kompanijų, turinčių šimtus telegrafo stočių. Daugiausia jų buvo geležinkelio



12.3 pav. Morzės abėcėlės kodai (International Morse Code.svg.)



12.4 pav. Morzės telegrafas (Telegrafo.png.)

stotyse. 1886 m. buvo daugiau nei 4 000 telegrafo stočių, išsidėsčiusių visoje Amerikoje ir sukūrusių didžiausią pasaulyje milijono kilometrų ryšių tinklą, įskaitant du transatlantinius kabelius.

Vėliau vizualus imtuvas buvo pakeistas garso stiprintuvu. Labai radikaliu telegrafo išradimu buvo 1928 m. pasirodęs telespausdintuvas. Operatorius perforuodavo popieriaus juostą įrenginiu, panašiu į rašomąją mašinėlę, vėliau perforuotą pranešimo juostą dėdavo į nuskaitymo ir siuntimo įrenginį. Pranešimo gavimo vietoje koduoti signalai vėl paverčiami raidiniais ar skaitmeniniais simboliais ir išspausdinami ant popieriaus juostos. Juostos dalis su pranešimo tekstu priklijuojama prie telegramos blanko.

Morzės abėcėle užkoduotą pranešimą galima persiųsti įvairiais būdais: radijo siųstuvais (jie paprastesni nei analogiški balsą perduodantys siųstuvai), automobilio žibintų žybsniais, gongo dūžiais, kūjo smūgiais į uolą (naudoja užversti šachtininkai) ar net akies mirkčiojimu (jei žmogus nepajėgia arba jam uždrausta kalbėti). Mirksnio ar smūgio kūju atveju signalo trukmės reguliuoti negalima, todėl keičiama pauzės tarp signalų trukmė.

TELETAIPAS

Telegramos siuntimas ir pristatymas adresatui buvo lėtas, be to, tam reikėjo ir nemažai darbo jėgos. Siuntėjui reikėjo ateiti į telegrafo biurą ir specialiame

blanke didžiosiomis raidėmis parašyti savo pranešimą. Biuro tarnautojas suskaičiuodavo teksto žodžius ir pagal galiojantį tarifą apskaičiuodavo mokėtiną sumą. Telegrafo operatorius telegrafo raktu užkoduodavo užrašytus simbolius ir juos išsiųsdavo. Informaciją priimančioje pusėje vyko atvirkščias procesas. Gautas pranešimas buvo automatiškai atkoduojamas ir atspausdinamas ant popieriaus juostelės. Juostelė buvo sukarpoma, priklijuojama ant telegramos blanko ir kurjerio ar pašto darbuotojo nešama adresatui. Telegramos unikalumas tarp kitų viešųjų telekomunikacinių paslaugų buvo tas, kad siuntėjas ir gavėjas gaudavo popierinį dokumentą, patvirtinantį telegramos išsiuntimą ir jos gavimą. Daugelis klientų reikalaudavo pristatyti popierinę telegramą, net jei tą žinutę buvo galima perskaityti telefonu. Verslui ši sistema atrodė labai archajiška. JAV ir Europoje verslas vis dažniau naudojosi telefonu, kuriam rašytinis perduotos informacijos patvirtinimas nebuvo būtinas. Pirmasis *teletaipo* tinklas buvo pradėtas eksploatuoti Vokietijoje dar 1933 metais. Iki 1980 m. pradžios visame pasaulyje veikiančių teletaipo abonentų skaičius viršijo 1,5 mln. *Teletaipas* – tai raidinis telegrafo aparatas, galintis priimti ir išsiųsti tekstinius pranešimus. Jis buvo pažangesnis už telegrafo aparatą, nes leido greitai susijungti su atskirais abonentais ir jiems nusiųsti individualius pranešimus. Tokie pranešimai tinklo viduje buvo perduodami specialiu 5 bitų Bodo kodu, nes Morzės abėcėlė šiam tikslui jau netiko. Informacijos apsikeitimo greitis išaugo keletą kartų. Jis padėjo išspręsti vieną iš pagrindinių kliūčių – lėtą dokumentų perdavimą įprastu paštu. Naujas būdas keistis informacija verslui suteikė tuo metu neregėtą pranašumą ir, galima sakyti, padėjo pagrindus elektroniniam dokumentų valdymui. Pagal tarptautinius susitarimus teletaipo pranešimai buvo pripažinti dokumentais. Teletaipo įrangą turintis abonentas gali siųsti ir gauti iš kitų abonentų pranešimus, kurie yra apmokestinami priklausomai nuo įrangos naudojimo trukmės ir informacijos perdavimo atstumo. Skirtingai nuo telefono, žinutės turi būti parašomos, įvedamos ir išsiunčiamos, o gavėjo įranga žinutę atspausdina popieriuje. Vienas iš didžiausių teletaipo pranašumų yra tas, kad teleprinterių įranga ir teikiamos paslaugos yra vienodos beveik visame pasaulyje. Vis dėlto informacijos perdavimas teletaipu yra lėtas ir siekia tik 50 bitų per sekundę. Toks greitis atitinka 66 žodžių perdavimą per minutę (čia žodis apibrėžiamas kaip šeši simboliai, įskaitant tarpą). 1980 m. atsirado

nauja pranešimų perdavimo forma – *teletekstas*. Šis būdas 40 kartų greitesnis už teletaipą, pranešimą galima spausdinti didžiosiomis ir mažosiomis raidėmis, atlikti teksto formatavimą.

TELEFONAS

Telefonas – telekomunikacijos įrenginys, elektriniais signalais perduodantis balsą, kai kalbantieji yra toli vienas nuo kito ir vienas kito balso negali girdėti. Kaip ir daugelis kitų technikos išradimų, telefonas buvo daugybės žmonių nepriklausomų išradimų bendras rezultatas.

Garso perdavimas. Kalbėjimo garsas girdimas tik kelis šimtus metrų. Mechaninių garso generavimo sistemų, pvz., būgnų, sukuriamas garsas girdimas net už kelių kilometrų. Policijos ar greitosios pagalbos sirenos girdimos kelių kilometrų spinduliu netgi triukšminguose miestuose. Garsą galima perduoti pro tuščią vamzdį, skysčius ar kietas medžiagas. Šiomis terpėmis garsas sklinda toliau ir greičiau negu oru. Šiuolaikiniai hidrofonai fiksuoja delfinų ir banginių skleidžiamus garsus, aptinka kitus povandeninius garsus, kurių dažnių diapazonas yra už žmogaus klausos ribų.

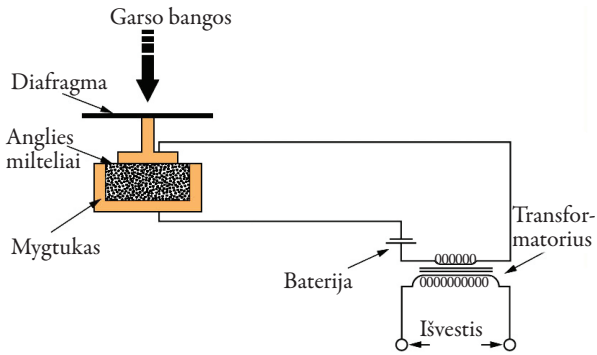
1844 m. Innocenzo Manzetti pirmą kartą prabilo apie „kalbančiojo telegrafo“ idėją. Jis pasiūlė ir naują „telefono“ terminą. 1849 m. italų išradėjas Antonio Meucci pademonstravo įrenginį, vėliau pavadintą telefonu, tačiau liko neaišku, ar tai buvo elektrinis telefonas. 1854 m. prancūzas Charles'is Bourseulas išspausdino telefono siųstuvo ir imtuvo aprašymą, bet nesukonstravo veikiančio prietaiso. 1860 m. į telefoną panašų įrenginį sukūrė vokietis Johannas Philippas Reisas, bet šis prietaisas galėjo perduoti tik muzikines melodijas; 1861 m. jis pademonstravo įrenginį, elektra perdavusį balsą 10,3 km atstumu. 1861 m. Vokietijoje buvo pastatyta telefono linija, tačiau jis galėjo perduoti tik tonus, o ne kalbą. 1875 m. birželio 2 d. Aleksanderis Grahamas Bellas pirmą kartą telefonu perduoda balsą, o liepos 1 d. panaudoja telefoną, sugebantį perduoti balsą į abi puses. 1876 m. Elisha Gray išrado skystinį mikrofoną, tačiau telefonui jo nepritaikė. 1876 m. A. G. Bellas užpatentavo amplitudinę garso bangų moduliaciją, kurią jis vadino „banguota srove“, ir tais pačiais metais panaudojo skystinį mikrofoną; 1876 m. JAV jam buvo išduotas patentas prietaisui, kuris perdavė aiškų ir suprantamą žmogaus

balsą. Telefonas buvo pirmasis prietaisas, leidžiantis žmonėms bendrauti tarpusavyje dideliu atstumu. 1877 m. A. Bellas patentuoja elektromagnetinį telefoną, naudojantį nuolatinius magnetus, geležies diafragmą ir telefono skambutį. 1877 m. Thomas Edisonas pateikė paraišką anglies (grafito) mikrofono patentui, kurį dėl teisminių ginčų gavo tik 1892 metais. 1883 m. Th. Edisonas atrado signalų stiprinimo būdą, tinkantį tiek laidiniam, tiek belaidžiam ryšiui. Telefono kūrimo istorija vis dar lieka paini, tačiau A. Bello ir Th. Edisono išradimai buvo labai toliaregiški ir komerciškai sėkmingi.

Ankstyvųjų telefonų techniniai sprendimai buvo labai įvairūs. Vieni telefonai turėjo skystinį mikrofoną, kiti – metalinę diafragmą, kuri ritėje, apsuktoje apie nuolatinį magnetą, indukuodavo srovę. Dar kiti „dinaminiai“ mikrofonai turėjo diafragmą, kuri perduodavo virpesius nuolatinio magneto lauke esančiai ritei arba, priešingai, ritė virpindavo diafragmą (12.5 pav.).

Ankstyvieji telefonai turėjo individualų elektros generatorių arba buvo maitinami iš baterijų. Telefono generatoriaus rankenėlės sukimas sukurdavo kintamąją elektros srovę, kuri veikdavo abonento telefono skambutį ir garsu įspėdavo apie ryšio pradžią.

Pats populiariausias ir ilgiausiai naudotas telefonas buvo sukurtas XX amžiuje. Anglinis mikrofonas ir elektromagnetinis imtuvas buvo įmontuoti į vieną polimerinės medžiagos „ragelį“, kuris, kai telefonas buvo nenaudojamas, buvo padedamas ant aparato viršuje padaryto „lopšelio“. Telefono imtuvas tiesiogiai buvo prijungtas prie ryšio linijos, o mikrofonas su linija buvo sujungtas indukciškai (per transformatorių). Telefoną maitino



12.5 pav. Telefono su angliniu mikrofonu schema (How-do-I-make-a-microphone)



12.6 pav. Medinis sieninis telefonas su ranka sukamu generatoriumi (an-early-model-wall-mounted-telephone-in-the-champaign-county-historical-museum-champaign-il-photo-credit-dori)



12.7 pav. Telefonas su diskiniu numerio rinkikliu (Ericsson bakelittelefon 1931 sv.jpg.)

atskira baterija. Transformatorius, baterija ir skambutis buvo įmontuoti telefono korpuse. Numerio rinkimo diskas trumpam pertraukdavo srovės grandinę renkant kiekvieną skaičių. Ragelį padėjus ant laikiklio, jame sumontuotas jungiklis atjungdavo telefoną nuo ryšių linijos ir nutraukdavo mikrofono maitinimo grandinę. Nuo 1930 m. telefono linijas pradėjo maitinti centrinėje stotyje įrengtos baterijos, todėl nebereikėjo periodiškai aptarnauti kiekvieno abonento telefono. Iki XX a. vidurio telefono tinklas palaipsniui plėtėsi ir darėsi vis veiksmingesnis, tačiau pats aparatas iki 1960 m. beveik nesikeitė (12.6 ir 12.7 pav.). Naujas kokybinis pokytis buvo klavišinė (mygtukinė) numerių rinkimo sistema (12.8 pav.).

Kiekviena telefono linija turi identifikavimo numerį, kuris vadinamas telefono numeriu. Norėdamas pradėti pokalbį telefonu vartotojas telefono skaitmenine klaviatūra surenka kito telefono numerį. Dar visai neseniai miestų gatvėse stovėjo viešieji telefonai (12.9 pav.). Prieš jiems atsirandant norintys paskambinti asmenys turėjo telefonų stotyje užsisakyti pokalbį ir sumokėti skambinimo mokestį. 1891 m. Williamas Grey užpatentavo telefono aparatą, kuris už pokalbį imdavo monetas. 1889 m. viešieji telefonai su mokėjimo monetomis mechanizmu buvo įrengti JAV bankuose. Monetos į aparatą buvo įdedamos pokalbio pabaigoje. Atsiradus korinio ryšio mobiliesiems telefonams, viešųjų telefonų poreikis pamažu sunyko.

Šiuolaikinį fiksuotą telefoną sudaro siųstuvas, imtuvas, vietinio efekto slopinimo grandis, numerio rinkiklis, elektromagnetinis skambutis, svirtinis perjungiklis ir korpusas. Telefonas gali turėti elektroninę atmintį, garsiakalbį, papildomą mikrofoną, balso sintezatorių, vaizdo ekraną. Siųstuvas dažniausiai yra mikrofonas, galintis efektyviai perduoti 250–5 000 Hz dažnius. Telefono mikrofonas akustinius virpesius paverčia



12.8 pav. Telefonas su klavišiniu numerio rinkikliu (AT&T push button telephone western electric model 2500 dmg black.jpg.)



12.9 pav. Viešasis telefonas Vilniuje, 2013 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

elektriniu garso signalu. Mikrofonas turi judriąją mechaninę sistemą ir elektrinę grandinę. Garso bangos, virpindamos mechaninę sistemą, elektrinėje grandinėje ir mikrofone sukuria kintamąją elektros įtampą. Pagal tai, kaip judrioji mechaninė sistema priima garsą, mikrofonai būna garso slėgio, garso slėgio gradiento ir kombinuotieji. Pagal garso bangų virsmo elektriniu signalu būdą skiriami elektrodinaminiai (indukciniai, juostiniai), elektrostatiniai (kondensatoriniai, elektretiniai), pjezoelektriniai, elektromagnetiniai, tranzistoriniai, angliniai, radijo, optiniai mikrofonai. Telefono imtuvas – elektromagnetinis įtaisas, pasižymintis mažu akustiniu impedansu (maža kompleksine akustine varža) ir dideliu jautrumu 350–3 500 Hz dažnių ruože. Numerio rinkiklis (diskinis arba mygtukinis) yra skirtas automatinės telefono stoties komutavimo įtaisams valdyti. Jis perduoda informaciją impulsais, nutraukinėdamas abonentinės linijos kilpą arba vienu metu siųsdamas dviejų garso dažnių kombinaciją. Telefono skambutis priima tam tikro dažnio ir įtampos kintamosios srovės impulsus ir informuoja kviečiamąjį abonentą, kad linija sujungta. Abonentui pakėlus telefono ragelį, svirtinis perjungiklis atjungia skambučio signalo priėmimo grandinę ir prie abonentinės linijos prijungia kalbos trakto grandinę. Pagal tai, iš kur elektros energija tiekiama į telefono ragelio mikrofoną, skiriami centrinės baterijos (el. srovė tiekiama į mikrofoną iš telefono stotyje esančios baterijos) ir vietinės baterijos telefonai (mikrofonas maitinamas iš telefono korpuse esančios baterijos). Pagal konstrukciją telefonai būna staliniai, sieniniai, nešiojamieji, pagal veikimo principą – analoginiai ir skaitmeniniai, IP telefonai (balso ryšys perduodamas duomenų perdavimo tinklais naudojant interneto protokolą), bevieliai radijo telefonai. Abonento įranga su telefono stotimi jungiama daugiagysliais kabeliais ar šviesolaidžiais. Tarpmiestiniai kanalai jungia vietinio telefonų tinklo stotis su nacionaline tarpmiestine telefonų stotimi, tarptautiniai

kanalai – nacionalines tarpmiestines telefonų stotis su tarptautine telefonų stotimi, taip pat tarptautines telefonų stotis tarpusavyje.

Mobilusis telefonas (dar vadinamas korinio ryšio telefonu) užmezga ryšį ir palaiko pokalbius radijo ryšiu. Tai atliekama prisijungiant prie mobiliojo ryšio operatoriaus teikiamo korinio ryšio tinklo. Pirmąjį rankinį mobilųjį telefoną, sveriantį apie 1 kg, 1973 m. pristatė tarptautinis elektronikos koncernas „Motorola“ (JAV), ir jau 1983 m. mobilieji telefonai tapo prieinami plačiam vartojimui.

Belaidis analoginis ryšys pasirodė 1979 m., o Lietuvoje jis atsirado 1992 metais. To meto radijo telefonai buvo dideli ir sunkūs, garso kokybė prasta, o jų kaina buvo sunkiai įkandama. Visgi tai buvo reikšminga naujovė, nes ryšys buvo belaidis.

Ryšių technologijose atsirado „G“ sąvoka, kuri apibrėžia tam tikrą ryšio priemonių ir ryšio greitaveikos sritį. 1G ryšys – pirmoji mobiliojo ryšio karta (1980), veikianti analoginio radijo ryšio signalais ir skirta kalbėti belaidžiais telefonais. 2G buvo nauja korinio ryšio karta (1991), veikianti 900 MHz dažnių juostoje, kurioje radijo signalai siunčiami skaitmeniniu būdu. Su antrosios kartos ryšiu atsirado pirmieji mobilieji telefonai. Tarpinė 2,5G mobiliojo ryšio karta, be pokalbių, suteikė galimybę siųsti ir duomenis. Išaugus telefoninių pokalbių srautams, 3G mobiliojo ryšio karta (1999) leido efektyviau išnaudoti korinio ryšio tinklą, siųsti duomenis 900 MHz ir 2 100 MHz dažniais iki 21 Mbps greitaveika nenutraukiant telefoninio pokalbio. 4G kartos mobilusis ryšys (2009) yra grįstas tik interneto protokolo (IP) ryšio standartais. Ši ryšio technologija veikia 800 MHz, 1 800 MHz, 2 100 MHz ir 2 600 MHz dažnių ruožuose ir leidžia 100 Mbps viršijančią greitaveiką (teorinė greitaveika – 600 Mbps). 5G kartos ryšio technologija (2019), veikianti 700 MHz, 3,5 GHz ir 27 GHz dažnių ruožuose, leis pasiekti didesnį nei 3 Gbps greitį bei užtikrinti mažesnį nei 1 ms vėlavimą. Jau kuriamos šeštos kartos (6G) mobiliojo ryšio technologijos. Teoriškai šios technologijos informacijos persiuntimo greitaveika sieks net 1 TB/s greitį. 6G mobilusis ryšys rinkoje galėtų pasirodyti apie 2030 metus.

1983 m. JAV pradėjo veikti pirmas 1G mobiliojo telefono tinklas. Telefonu buvo galima kalbėti tik pusę valandos, o telefonui pakrauti reikėjo dešimt valandų. 1991 m. Suomijoje GSM standartu pradėjo veikti 2G

korinio ryšio tinklas. Lietuvoje jis atsirado 1995 metais. Šis ryšys buvo kur kas geresnės kokybės ir daug saugesnis. Skaitmeninio ryšio priemonės leido siųsti tekstines (SMS) žinutes iš vieno telefono į kitą ar net prisijungti prie interneto, kad ir labai lėto. Naujosios telefoninių pokalbių ar SMS žinučių siuntimo technologijos netenkino vartotojų, todėl daugiausia dėmesio buvo skirta interneto spartos didinimui. 2001 m. atsirado 384 Kb/s spartos 3G ryšys. Lietuvoje jis pasirodė 2006 metais. Atsiradus išmaniesiems telefonams 3G ryšio galimybių jau nepakako, todėl 2009 m. pasirodė 120 Mb/s spartos 4G ryšys (Lietuvoje 2011 m.).



12.10 pav. Mobiliųjų telefonų raida: nuo pirmojo „Motorola“ iki išmaniojo telefono (what_was_your_first_mobile_phone)

4G ryšį palaikantys įrenginiai – išmanieji telefonai (12.10 pav.), planšetiniai kompiuteriai, mobiliojo interneto modemai. Greta įprastinių mobiliojo ryšio paslaugų 4G technologija leidžia naudotis tiesioginės transliacijos, vaizdo konferencijos, vaizdo medžiagos peržiūros paslaugomis, sparčiau naršyti internete. Patobulinta šio ryšio 4,5G spartos versija praktiškai ištrynė ribą tarp mobiliojo ir šviesolaidinio interneto. 4G ryšys pasiūlė dar geresnę telefoninio ryšio kokybę, taip pat naujas paslaugas, tokias kaip mobiliuoju ryšiu veikianti išmanioji televizija. 2016 m. Lietuvoje perdavimo sparta 4,5G tinkle pasiekė 750 Mb/s. Pirmieji visuotinio tinklo, arba 5G, spartos ryšio bandymai atlikti 2017 metais. 5G ryšį diegia Korėjos, Japonijos, JAV, Kinijos bei kitų šalių operatoriai, o 2018 m. jo galimybėmis jau galėjo naudotis ir Lietuva. Manoma, kad 5G kartos ryšys pradės naują interneto erą, kai prie tinklo jungsis ne tik žmonės, bet ir daiktai – robotai, gamyklų įrenginiai, automobiliai, įvairūs jutikliai ir prietaisai, ir galės bendrauti tarpusavyje.

Dabartiniuose mobiliojo ryšio įrenginiuose signalas gali vėluoti 10 milisekundžių 4G ir 100 milisekundžių 3G tinkluose. 5G sumažina signalo

vėlavimą iki 1 milisekundės. Svarbiausia 5G įvedimo esmė – reikšmingai didesnė duomenų perdavimo sparta. Didelis tinklo pralaidumas yra svarbus tiesioginei didelės raiškos vaizdo įrašų transliacijai, virtualios realybės programoms. Atliekant bandymus buvo užregistruota 25,3 Gbit/s duomenų perdavimo sparta. Reali sparta turėtų būti apie 10 Gbit/s. Milžiniška duomenų perdavimo sparta ir aukščiausios kokybės ryšys sujungs milijardus įrenginių ir atvers naujų galimybių žmonėms ir verslui. Prognozuojama, kad iki 2020 m. prie interneto bus prijungta 34 mlrd. įrenginių (2015 m. buvo 10 mlrd.).

Iš pradžių sukurti tik paprastam balso ryšiui dabar mobilieji telefonai turi daug papildomų galimybių. Jais galima siųsti ir priimti tekstinius pranešimus, įrašyti pranešimus, priimti ir rodyti nuotraukas ar vaizdo įrašus, transliuoti muzikinius kūrinius ir naršyti internete. Naujausiuose išmaniuosiuose telefonuose integruotos mobiliojo ryšio ir kompiuterio funkcijos.

Išmanusis telefonas – tai mobilusis telefonas su operacine sistema, turintis kompiuterinių gebėjimų apdoroti duomenis ir prisijungti prie įvairių ryšių tinklų. Išmaniuosiuose telefonuose yra vaizdo ir garso grotuvai, foto ir vaizdo kamera su lietimui jautriu ekranu, GPS navigacija, Wi-Fi ir mobiliųjų tinklų prisijungimo programėlės (12.11 pav.). Su tokį pat įrenginį turinčiais asmenimis galima dalytis nuotraukomis, vaizdo įrašais, failais, albumais ir kt. Greita prieiga prie duomenų yra teikiama Wi-Fi ir mobiliuoju plačiajuosčiu ryšiu. Naudojantis GPS galima surasti netoliese esančius tokio paties telefono vartotojus. Kai kurie telefonai turi programinę įrangą, kuri aktyvuoja telefono vietos nustatymo funkciją ir siunčia pranešimą SMS žinute telefonu 112. Operatoriai mato mobilųjį telefoną turinčio asmens apytikslę buvimo vietą – mieste paklaida gali būti 100 metrų, o užmiestyje – daugiau negu 10 kilometrų.



12.11 pav. Išmanusis telefonas Nokia N8, 2010 m. (Nokia N8 (front view).jpg.)

Mobilieji telefonai nuolat tobulinami. Viena iš naujovių – lankstūs ekranai. Tai vienas iš šiuolaikinių ekranų tipų, kuriame vietoje skystųjų kristalų naudojami organiniai šviesos diodai. Ekranai gali būti susukami ar lengvai sulenkiami be jokių pažeidimų. Tokias neįprastas savybes jiems suteikia organinių šviesos diodų

technologija, vietoje įprasto stiklo naudojanti lankstų plastiką. Lankstūs ekranai yra labai ploni, lengvi, atsparūs įvairiems pažeidimams ir savo išvaizda primena lankstaus plastiko lakštą. Šviesą spinduliuojančios medžiagos leidžia pagaminti ryškesnius ir efektyvesnius ekranus. Organiniai šviesos diodai patys spinduliuoja šviesą, todėl jiems pakanka gerokai mažiau galios, negu jos reikia įprastiems skystųjų kristalų ekranams. Rinkoje lankstomi mobilieji įrenginiai turėtų pasirodyti apie 2020 metus.

BELAIDIS PERDAVIMAS

Radijas yra bevielis signalų perdavimas erdvėje elektromagnetine spinduliuote, kurios dažnis nuo 30 kHz iki 300 GHz. Už radijo bangas yra trumpesnės elektromagnetinės bangos – gama spinduliai, rentgeno spinduliai, infraraudonieji spinduliai, ultravioletiniai spinduliai ir regimoji šviesa. Belaidis perdavimas vyksta be jokio fizinio ryšio tarp siuntėjo ir gavėjo. Belaidžiam perdavimui nereikia bėgių, kelių ar transporto priemonių, todėl radijo pranešimai gali pasiekti nutolusias ir nepasiekiamas vietoves (laivus jūroje, orlaivius, ekspedicijas kalnuose, dykumose ar miškuose). Radijo ryšys sutaupo daug laiko, išlaidų, o kartais yra vienintelė galima ryšio priemonė. Komunikavimą radijo ryšiu galima suskirstyti į tris etapus: elektromagnetinių bangų atradimas ir jų tyrimas, bevielio ryšio priemonių kūrimas ir radijo transliacijų kūrimas ir komercializavimas.

Fizikas Jamesas Clerkas Maxwellas 1873 m. išleido veikalą „Traktatas apie elektrą ir magnetizmą“, kuriame teoriškai aprašė elektromagnetinių bangų egzistavimą. 1879 m. amerikietis Davidas Edwardas Hughes'as pasigamino primityvų kibirkštinį siųstuvą ir sugebėjo 460 m nuotoliu perduoti Morzės signalus. 1880 m. vasario mėn. savo sistemą pademonstravo Londono karališkosios draugijos atstovams, tačiau šie jį sukritikavo ir D. Hughes'as savo darbo nebetęsė. 1886 m. vokiečių mokslininkas Heinrichas Hertzas tobulesniu kibirkštiniu siųstuvu sugeneravo elektromagnetines bangas ir jas priėmė savo sukonstruotu imtuvu. H. Hertzas įrodė, kad laidininku tekanti kintamoji elektros srovė į supančią aplinką spinduliuoja elektromagnetines bangas, sklindančias beveik šviesos greičiu. Bandymai su elektromagnetinėmis bangomis paskatino belaidžio telegrafo ir radijo kūrimą. Pripažįstant

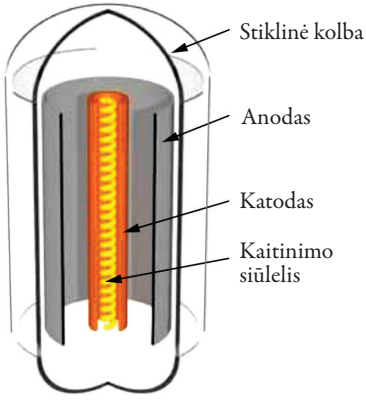
šių darbų vertę, radijo bangos dažnis – vienas ciklas per sekundę – pavadintas hercu (Hz). 1884–1885 m. italų išradėjas Temistocle'is Calzecchi Onestis sukūrė metalo drožlėmis pripildytą vamzdelį, kuris reaguodavo į elektromagnetines bangas. Elektromagnetiniame lauke metalo drožlės (nikelio-sidabro su gyvsidabrio pėdsakais) „išsirikiuodavo" taip, kad bendra jų varža elektros srovei sumažėdavo (padidėdavo laidumas). Norint atkurti laidumą, tokį vamzdelį reikėdavo sukrėsti. Vamzdelis buvo pritaikytas radijo srityje, ir maždaug iki 1907 m. tai buvo pagrindinė radijo imtuvo dalis, paverčianti radijo bangas elektros impulsais. Vėliau šiam tikslui buvo naudojamas kristalinis detektorius. 1890 m. prancūzų fizikas Édouardas Branly'is pademonstravo prietaisą, reaguojantį į elektromagnetines bangas, sukeliamas kibirkšties iškrovų. Prietaisas – metalo drožlėmis užpildytas stiklinis vamzdelis, „pagavęs" elektromagnetines bangas, padidindavo savo elektrinį laidumą. 1893 m. Nikola Tesla (JAV) savo eksperimentams su elektra pasigamino prietaisus ir pademonstravo radijo ryšio principus, eksperimentavo su magnetiniu priėmimo prietaisu, taip pat apibūdino visus elementus, kurie vėliau buvo panaudoti radijo sistemose. 1894 m. rugpjūčio 14 d. D. Britanijos fizikas seras Oliveris Lodge'as ir inžinierius Alexanderis Muirheadas pademonstravo savo „elektromagnetinių bangų registracijos prietaisą", pavadintą *kohereriu*. Tam, kad atsinaujintų kohererio laidumas, prietaisas turėjo mechanizmą, kuris tam tikrais vienodais laiko tarpais sukrėsdavo kohererį ir jis vėl galėdavo reaguoti į radijo bangas.

1895 m. gegužės 7 d. Rusijos išradėjas Aleksandras Popovas pademonstravo dar tobulesnį prietaisą, pavadintą „žaibo žymekliu". Po kiekvieno sureagavimo į elektromagnetines bangas tam tikras mechanizmas iš karto sukrėsdavo kohererį ir šis vėl būdavo pasiruošęs darbui.

1897 m. italų išradėjas G. Marconis gavo patentą išbaigtai ir komerciškai sėkmingai radijo perdavimo sistemai. Tai buvo tikra ryšio sistema (siųstuvas ir imtuvas), skirta informacijos perdavimui ir priėmimui, o ne įtaisas elektromagnetinėms bangoms aptikti. Tais pačiais metais serbų kilmės amerikiečių išradėjas N. Tesla patobulino šį aparatą – įdėjo į jį bangos ilgio nustatymo mechanizmą. Jo siųstuvas spinduliuodavo tik tam tikro ilgio bangą, o imtuvas būdavo nustatomas būtent tai bangai priimti. Ši naujovė leido vienoje vietoje turėti kelis siųstuvus ir dirbti tuo pat metu su skirtingo ilgio bangomis be tarpusavio trukdžių.

1906 m. amerikiečių išradėjas Reginaldas Fessendenas (JAV) transliavo pirmąją pasaulyje garsinę radijo laidą. Jo laidas girdėjo jūreiviai net Karibų jūroje. 1920 m. Detroito (JAV) radijo stotis pirmoji ėmė transliuoti žinių laidas. Pirmosios reguliarios transliacijos 1922 m. prasidėjo Anglijoje. Iki XX a. 7 dešimtmečio pradžios skrydžių navigacijai aviacija naudojo komercines vidurinių bangų radijo stotis. 1960 m. „Sony“ pristatė pirmą mažų matmenų kišeninį tranzistorinį radiją. Dešimto dešimtmečio pradžioje radijo signalų apdorojimui radijo mėgėjai pradėjo naudoti kompiuterius su garso plokštėmis. 1994 m. buvo pagamintas skaitmeninis radijas, o skaitmeninės transliacijos pradėtos dešimto dešimtmečio pabaigoje.

Radijo imtuve siunčiamas bangas priima atvirasis virpesių kontūras, sudarytas iš antenos, ritės ir įžeminimo. Pasiekusios anteną bangos dėl elektromagnetinės indukcijos sukuria joje srovę. Atvirasis virpesių kontūras per ritę turi ryšį su radijo imtuvo kontūru, kurio virpesių dažnį galima keisti pakeičiant kondensatoriaus talpą. Elektromagnetinės bangos indukuoja imtuvo kontūre aukšto dažnio virpesius. Jeigu jų dažnis sutampa su kontūro virpesių dažniu, įvyksta rezonansas – labai padidėja virpesių amplitudė. Taigi iš daugybės antenoje sužadintų virpesių kontūras išskiria reikiamo dažnio virpesius, kuriuos imtuvas suderina su norima radijo stotimi. Vėliau išskiriami garsinio dažnio virpesiai. Tam naudojamas detektorius – prietaisas, praleidžiantis srovę tik viena kryptimi. Detektoriumi gali būti ir diodas (12.12 pav.). Aukšto dažnio moduliuotoji srovė, perėjusi detektorių, virsta

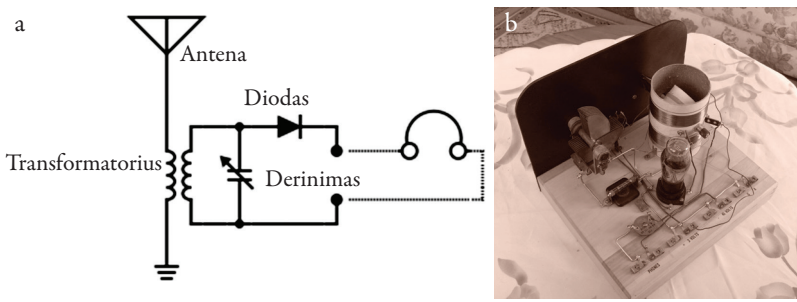


12.12 pav. Lempinis diodas (Diode-english-text.svg.)

vienos krypties pulsuojančia srove, kuri pasiekia lygiagrečiai sujungtus telefoną (ausines) ir kondensatorių. Čia srovė išsišakoja. Garsinio dažnio srovė verčia virpėti telefono membraną, taigi elektromagnetiniai virpesiai virsta garsiniais. Pro ausines girdėti radijo stoties siunčiami signalai.

Diodinį detektorių sudaro diodas (D1), prijungtas tarp grandinės įėjimo ir išėjimo, rezistorius ir kintamos talpos kondensatorius (CV), lygiagrečiai prijungti prie grandinės išėjimo ir grandinės įžeminimo (12.13 pav.). Ši pora suformuoja žemo dažnio filtrą. Ankstyvieji radijo imtuvai iš gaunamo radijo signalo negalėjo išskirti garso bangos. Jie tik rodydavo aptikto radijo signalo buvimą ar nebuvimą ir stiprintuvo ausinėse sukeldavo trakštelėjimą, kuris buvo suprantamas kaip Morzės kodo simbolis (12.13 pav.).

1901 m. radijo signalai jau buvo perduodami per Atlanto vandenyną. Eksperimentuodamas su Edisono vakuuminėmis lempomis Johnas Ambrose'as Flemingas 1904 m. sukūrė prietaisą, kurį pavadino „svyravimų vožtuvu", nes jis praleisdavo srovę tik viena kryptimi. Šildomas kaitinamasis siūlas, arba katodas, skleidė elektronus, kurie galėjo judėti tik viena kryptimi – prie anodo plokštelės (jeigu jos įtampa buvo didesnė negu katodo). Atvirkščia kryptimi elektronai negalėjo judėti, nes šalta anodo plokštelė jų neišskyrė (12.12 pav.). Radijo imtuvams buvo kuriami nauji elektronikos elementai. Atsirado radijo lempų rūšys: triodas-heksodas (skirtas superheterodinų maišikliams), diodas-triodas (naudotas amplitudiškai moduliuotų signalų detektavimui), dvigubas diodas (tinklo įtampos lygintuvams) ir kt. (12.14 pav.). Dabartinį radijo imtuvą



12.13 pav. Radijo imtuvai: detektorinis (a – Galena.svg.) ir lempinis (b – Regenerartive Receiver-S7300056.JPG.)



12.14 pav. Įvairios paskirties radijo lempos (Elektronenroehrenauswahl.jpg.)

sudaro virpesių kontūras, siųstuvas, žemo ir aukšto dažnių virpesių stiprintuvai, detektorius, elektroakustinis įtaisas (garsiakalbis) ir antena.

1904 m. iš Graco technologijos universiteto buvo perduota pirmoji pasaulyje kalbos ir muzikos radijo laida. Žinia apie 1905 m. Port Artūro mūšį tarp Rusijos ir Japonijos laivynų pasaulį pasiekė belaidžiu būdu. 1909 m. Arkties tyrinėtojas Robertas E. Peary'is radijo telegrafu pranešė, kad rado ašigalį. Amerikos išradėjas Lee de Forestas sukūrė trijų elektrodų radijo bangų stiprinimo vakuuminę lempą (triodą), su kuria bet koks transliuojamas signalas buvo girdimas garsiai ir aiškiai. 1910 m. Lee de Foresto radijo bendrovė, pasinaudojusi „belaidžiu telefonu", iš Metropoliten operos Niujorke transliavo operą „Toska" klausytojams, buvusiems už 50 mylių nuo operos rūmų. 1912 m. balandžio 14 d. 23:40 keleivinis vandenynų laineris „Titanikas" Šiaurės Atlante susidūrė su ledkalniu ir nuskendo. Du laive dirbę „Marconi Wireless Telegraph Company" belaidžio ryšio operatoriai žinią apie nelaimę išsiuntė Morzės abėcėle. Atskubėję netoli buvę laivai išgelbėjo 745 keleivius. Deja, bet 1 595 žmonių žuvo.

Lee de Forestas išrado amplitudinio moduliavimo (AM) siųstuvą, palengvinusį radijo stočių darbą (jos nebetrukdė viena kitai), tad jų skaičius labai sparčiai augo. Triodinis stiprintuvas labai pagerino transkontinentinę telefoniją (tiek laidiniu, tiek ir belaidžiu ryšiu) ir paskatino radijo pramonės kūrimąsi. Pirmojo pasaulinio karo metu abi kariaujančios pusės naudojo radijo imtuvus sausumos kariuomenės ir laivyno ryšiams.

Kita belaidžio radijo siunčiamų ir priimamų bangų panaudojimo kryptis buvo orlaivių ir laivų paieška radijo elektroniniais prietaisais – radarais. Po



12.15 pav. Lempinis radijo signalų stiprintuvas (SE-300B-70W.jpg.)



12.16 pav. Lempinio radijo imtuvo konstrukcija (Radio Diora Sonatina 3.jpg.)

Pirmojo pasaulinio karo „Marconi Company“ D. Britanijoje pradėjo gaminti lempinius radijo siųstuvus (12.15 pav.). Iki 1920 m. pradžios siųstuvų galia jau siekė 15 000 W. 1913 m. buvo sukurti kaskadinio veikimo ir heterodiniai radijo imtuvai, o 1919 m. – trumpųjų bangų radijas (12.16 pav.).

Elektromagnetiniame bangų spektre ilgosios bangos užima 30–300 kHz dažnių (arba 1–10 km ilgio) juostą, vidutinės bangos užima 300–3 000 kHz dažnių (arba 100 m – 1 km ilgio) juostą ir ultratrumposios bangos – 30–300 MHz dažnių (arba 1–10 m ilgio) juostą. Radijo bangos ilgiu (λ) vadinamas mažiausias atstumas bangos sklidimo kryptimi tarp dviejų taškų, svyruojančių vienoda faze. Bangos ilgio vienetas yra metras (m). Kai bangos dažnis didėja, bangos ilgis trumpėja. Žinant bangos ilgį metrais, dažnį (f) kilohercais (kHz) galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$f = 300\,000 / \lambda.$$

Nors radijo dažnių spektras atrodo pakankamai platus, šiandien jame sunkiai „telpa“ visi jo vartotojai. Todėl, siekiant užtikrinti radijo dažnių vartotojų suderinamumą bei sudaryti sąlygas verslui ir visuomenei naudotis naujos, dinamiškos ryšių aplinkos teikiamais privalumais, radijo dažniai yra valdomi. Jau nuo pat radijo transliacijų pradžios 1920 m. buvo sutarta, kad vidutinių ir ilgųjų bangų radijo transliacijos bus vykdomos naudojantis amplitudine radijo bangų moduliacija.

1933 m. radijo mėgėjai sukūrė dažninę moduliaciją (sutrumpintai FM). Dažninė moduliacija – tai toks informacijos perdavimo būdas, kada moduliuojančio signalo virpesio dėsniu keičiamas nešlio dažnis. FM moduliacija pagerino garsą ir sumažino atmosferinių trikdžių poveikį signalo kokybei. Šis būdas gali būti naudojamas tiek analoginių, tiek ir skaitmeninių duomenų perdavimui.

Analoginės dažninės moduliacijos atveju nešlio dažnio deviacija yra proporcinga garso signalo stipriui. *Skaitmeninės dažninės moduliacijos* atveju skaitmeninio signalo vienetas arba nulis turi fiksuotas dažnio deviacijos reikšmes. Skaitmeninė dažninė moduliacija yra plačiai naudojama modemuose, taip pat radiotelegrafijoje.

Vienas didžiausių elektronikos pasiekimų buvo dvipolio tranzistoriaus išradimas. Pirmąjį germanio tranzistorių sukūrė Johnas Bardeenas, Williamas Bradfordas Shockley'is ir Walteris Brattainas „Bell Telephone" laboratorijoje (JAV) 1947 metais. Tranzistoriniai, arba puslaidininkiniai, prietaisai buvo mažesni, lengvesni, patikimesni, jiems buvo reikalinga nedidelė maitinimo įtampa ir galia, todėl jie greitai nukonkuravo elektronines lempas. 1954 m. JAV bendrovė „Regency" pristatė kišeninį tranzistorinį radijo imtuvą TR-1, maitinamą standartine 22,5 V baterija. 1955 m. naujai įkurta Japonijos „Sony" bendrovė pristatė savo pirmąjį tranzistorinį radijo aparatą – mažą ir patikimą, nes jame nebuvo jokių vakuuminių radijo lempų. Vakuuminės radijo lempos išliko tik didelės galios radijo siųstuvuose. 1986 m. Europoje pradėjo veikti FM radijo stotys, transliuojančios ne analoginį, bet skaitmeninį signalą. 1963 m. paleistas pirmasis radijo ryšių palydovas „Telstar". 1960-ųjų pabaigoje tolimojo telefono ryšio tinklai buvo transformuojami į skaitmeninius tinklus, todėl šiandien daugelyje ryšių linijų naudojamas skaitmeninis radijas. Radijo raida nuo laboratorinių bandymų iki komercinių aparatų truko kelis dešimtmečius ir apėmė daugelio inžinierių ir praktikų pastangas.

LIETUVIŠKI RADIJO GAMINIAI

Lietuvoje pirmieji radijo imtuvus nedideliais kiekiais pradėjo gaminti S. Bražiškio laboratorija Šiauliuose (1925–1931 m.), Šiaulių įmonė



12.17 pav. 1937 m. Kaune gamintas radijo aparatas „KARADI B37“ (Karadi B37.jpg.)



12.18 pav. Bendrovės „Elektrit“ Vilniuje gamintas radijo aparatas „Elektrit Allegro“ (Radio Elektrit Allegro 1.jpg.)

„Dubysa“, Studentų technikų draugija (STD) Kaune (1932 m.), AB „Radiotechnika“ Kaune (1934 m.) ir Lietuvos radijo aparatų fabrikas „Karadi“ Kaune.

Radijo aparatai buvo įvežami ir iš kitų šalių. 1934–1936 m. buvo galima nusipirkti importinius radijo aparatus: olandišką „Philips“, vokiškus „Blaupunkt“, „Telefunken“, „Lorenz“, austrų „Minerva“, amerikiečių „Zenith“ ar anglų „Marconi“. Nors radijas kainavo nemažai, Lietuvoje populiarėjo milžinišku greičiu. Jei 1924 m. šalyje buvo vos keturi radijo imtuvai, tai 1939 m. aparatų skaičius išaugo iki 77 tūkstančių. 1925–1939 m. Vilniuje veikė radijo aparatūros gamykla „Elektrit“. 1927 m. įmonė išleido į rinką pirmuosius savos konstrukcijos radijo imtuvus. Per metus ji pagamindavo per 50 tūkst. radijo imtuvų. Radijo lempos buvo gaunamos iš „Philips“, rezistoriai – iš „Horkiewicz“, elektroliniai kondensatoriai – iš kelių firmų, o garsiakalbių membranos ir magnetai buvo importuojami iš Anglijos. Įmonė gamino radijo imtuvų mazgus ir detales – korpusus, mechanines detales, transformatorius, rites, kondensatorius ir garsiakalbius. Antrojo pasaulinio karo pradžia nutraukė šios radiotechnikos įmonės egzistavimą. Po karo įmonės patalpose buvo įsteigta įslaptinta SSRS radiotechninių matavimo prietaisų gamykla. Sovietų okupacijos metais radijo aparatus (1957 m.) pradėjo gaminti Kauno radijo gamykla, įkurdinta po nespėtos užbaigti Prisikėlimo bažnyčios skliautais. 1956 m. čia pradėta gaminti

lempinių televizorių kanalų jungiklius. Kauno radijo gamykla gamino radijo imtuvus „Mayak“ (1956–1958), radijo imtuvus / grotuvus „Minija-4“ (1966) (12.19 pav.), magnetolas „Neringa“ (1959–1962), „Minija“ ir „Nida“ (1963–1973). 2019 08 23 d. pasiektas įdomus Lietuvos rekordas. Baltijos kelio 30-mečiui paminėti skirta instaliacija užregistruota kaip didžiausia radijo imtuvų dekoracija. Vilniaus Katedros aikštėje pastatyta instaliacija buvo 19 m 25 cm ilgio ir 16 m 60 cm aukščio. Ji prilygo 5 aukštų gyvenamajam namui, joje buvo 2145 radijo imtuvai (12.20 pav.).



12.19 pav. 1966 m. Kauno radijo gamykloje gaminta magnetola „Minija-4“ (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)



12.20 pav. Radijo imtuvų instaliacija (A. V. Valiulio nuotr.)

13 SKYRIUS

TELEVIZIJA, INTERNETAS IR RADARAS

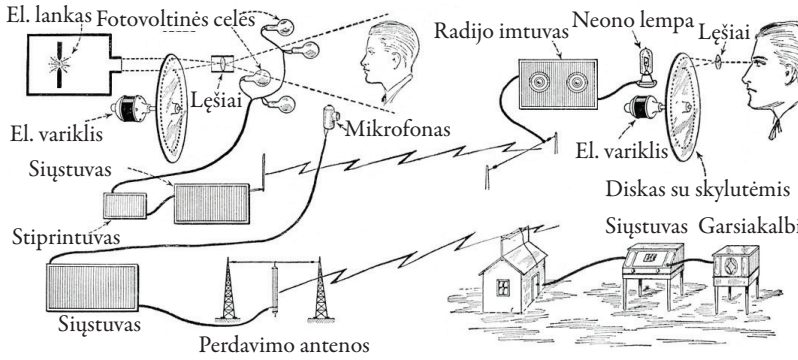
TELEVIZIJOS RAIDA

Televizija (TV) yra telekomunikacijų priemonė, skirta perduoti ir priimti judančius vaizdus, kurie gali būti juodai balti arba spalvoti, su garsu arba be jo. Televizija, kaip ir radijas, neturi vieno išradėjo. Šią technologiją kūrė ir tobulino daugelis mokslininkų iš įvairių šalių. Pirmieji sėkmingi bandymai perduoti per atstumą vaizdus buvo atlikti dar XIX amžiuje. Ankstyvosiose savo vystymosi stadijose televizija vaizdui fotografuoti, perduoti ir rodyti naudojo optines, mechanines ir elektronines priemones, tačiau gana greitai jas pakeitė visiems gerai pažįstamų kineskopų protėviai. Juodai baltos televizijos technologinė raida dalijama į dvi dalis: mechaninę televiziją ir elektroninę televiziją. Mechaninė televizija remiasi mechaniniais nuskaitymo prietaisais, tokiais kaip besisukantis veidrodis arba diskas. Šie nuskaito matomą vaizdą ir generuoja vaizdo signalą, kuris atkuriamas panašiu į nuskaitymo mechaniniu įrenginiu. Toks metodas buvo naudojamas ankstyvose televizijos sistemose 1920 ir 1930 metais. 1920 m. radijo stotys transliavo eksperimentinės televizijos programas naudodamos mechaninę sistemą. Pagrindinės vaizdo perdavimo grandys: televizijos studijos kamera, transliacinis siųstuvas, siunčiamoji antena, ryšio kanalas, priimamoji antena, televizorius. Pirmieji vaizdai buvo perduoti XIX a. pabaigoje sukurtais mechaniniais fakso aparatais. Idėja vaizdo perdavimui panaudoti skenavimą praktiškai buvo įgyvendinta 1881 m. pritaikius švytuoklės principu veikiantį skenavimo mechanizmą. Šis principas buvo pavadintas *rastravimu* – kai vizualus vaizdas paverčiamas elektriniais impulsais ar jų seka. Norint šiuo principu užkoduoti vaizdą ar piešinį, jis padalijamas į labai mažus vienodo dydžio vaizdo elementus – taškus. Rastravimo procesas vyksta reprodukuojant originalą. Toninis originalas, skenavimo metu

praeidamas rastro struktūrą, tampa mikroštrichinis ir yra fiksuojamas ant šviesai jautraus kopijavimo sluoksnio (pavyzdžiui, seleno). Iš elektrinių signalų atkurtą vaizdą sudaro akimi neišskiriamų skirtingo ploto ir formos mikroštrichų reguliari (arba nereguliari) struktūra. Tokį vaizdą žmogaus akis fiksuoja kaip toninį. Šiuolaikiniuose monitoriuose fizinis rastro elemento dydis įvertinamas raiška – taškų kiekiu ilgio vienete, dažniausiai – colyje, ir žymimas ppi (angl. ppi – *pixels per inch*). 1879 m. išradėjas Thomas Alva Edisonas sugalvojo ir aprašė televizoriaus pirmtaką – *telefonoskopą*. Jo vaizduotės prietaisas galėjo per nuotolį perduoti vaizdą ir garsą. Nors daugelis amžininkų šią viziją palaikė paprasčiausia pasaka, dauguma technologijų, reikalingų vaizdo ir garso perdavimui per nuotolį, tuo metu jau buvo išrastos. 1873 m. mokslininkai Josephas Mayus ir Willoughby'as Smithas, naudodami seleno plokšteles, atrado būdą, kaip paversti vaizdą elektroniniu signalu. Tuo pačiu metu kiti mokslininkai pradėjo eksperimentuoti su vakuuminiais vamzdeliais, kurių viduje buvo du metaliniai elektrodai. Vokiečių inžinierius Paulis Gottliebas Nipkowas suprojektavo seleno plokštelių įrenginį, kuriame plokšteles paveikus šviesa buvo generuojama elektros srovė. 1885 m. jis užpatentavo prietaisą, galintį skenuoti vaizdą taškas po taško specialiu besisukančiu disku su skylutėmis. Jo sukurta mechaninės televizijos sistema su kai kuriais patobulinimais buvo naudojama iki Antrojo pasaulinio karo pradžios. Britų fizikas Josephas Johnas Thomsonas 1897 m. nustatė, kokie procesai vyksta beorėje stiklinės kolbos erdvėje, kai joje sklinda rentgeno spinduliai: katodinių spindulių neigiamo krūvio dalelės atsistumia nuo neigiamo poliaus ir nori priartėti prie teigiamo, todėl keičiant elektrodų įtampą galima šį spindulį kreipti erdvėje. Vokiečių fizikas Karlas Ferdinandas Braunas 1897 m. sukonstravo įrenginį, kuris iki šiol vadinamas *katodo spindulių vamzdžiu*. Naudodamas magnetinį lauką ir papildomus elektrodus, mokslininkas galėjo valdyti spindulių sklidimo kryptį ne tik vertikaliai, bet ir horizontaliai. K. F. Brauno išradimas daugelį dešimtmečių buvo taikomas ne tik oscilografuose, bet ir kineskopiniuose televizoriuose. Pirmą kartą katodo spinduliai vaizdo perdavimui buvo panaudoti 1907 m., tačiau šiuo būdu buvo galima transliuoti tik nejudančius, kontrastingus, mažos raiškos vaizdus. XX a. 3 dešimtmetyje elektronines televizijos sistemas, grindžiamas K. F. Brauno išradimu, kūrė keli tarpusavyje nesusiję inžinieriai: Filas Farnsvortas, Vladimiras Zvorykinas (JAV) ir Kálmánas Tihanyi (Vengrija). 1925 m. škotas Johnas

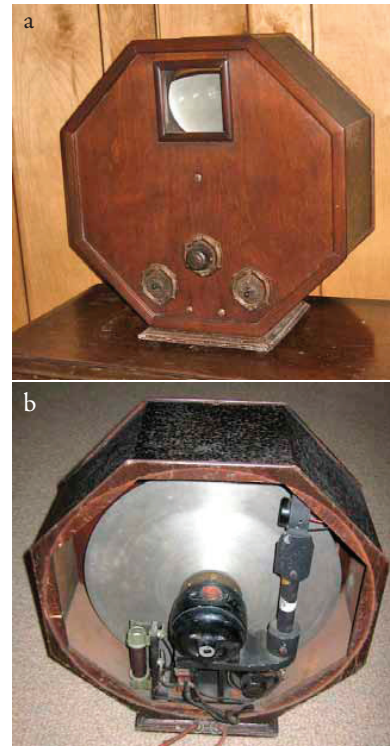
Logie Bairdas pirmą kartą viešai pademonstravo siluetinius televizijos vaizdus. Vaizdo skenavimui ir rodymui Bairdo sistema naudojo Nipkowo diską, kuriame buvo 30 skylučių. Ryškus šviesos spindulys pro sukamą Nipkowo disko ir lęšių komplektą ant objekto projektavo ryškų šviesos tašką. Nuo objekto atsispindėjusi šviesa patekdavo į seleno fotoelektrinį vamzdelį ir virsdavo elektros signalu, proporcingu apšvietimo stipriui. Signalas radijo bangomis pasiekdavo imtuvo bloką, kuriame vaizdo signalas patekdavo į neono lempą. Neoninės lempos šviesos ryškumas keitėsi proporcingai gaunamo elektrinio signalo stipriui. Kiekviena disko skylutė atkurdavo vieną skenavimo eilutę, todėl Bairdo 30 skylučių diskas sukurdavo vaizdą, kuriame buvo tik 30 skenavimo eilučių. Tokio eilučių kiekio pakako žmogaus veidui atpažinti (13.1 pav.).

1927 m. Bairdas telefono linija perdavė signalą tarp Londono ir Glazgo (705 km), o 1928 m. televizijos signalas buvo perduotas iš Londono į Niujorką. Dėl nedidelio seleno plokštelių jautrio ankstyvoji Bairdo televizija negalėjo skenuoti ir perduoti judančių vaizdų. 1925 m. japonas Kenjiro Takayanagi pademonstravo televizoriaus sistemą su 40 linijų skiriamąja geba, kurioje buvo naudojamas Nipkowo disko skaitytuvas ir katodinių spindulių vamzdis (ekranas). Tai buvo pirmasis elektroninio televizoriaus pavyzdys. Vaizdo kokybė buvo labai prasta, nes ekrano plotis buvo šiek tiek didesnis už vieną colį (25,4 mm), o jame buvo brėžiama 30–60 eilučių. Televizoriuje Nipkowo diską suko elektros



13.1 pav. J. Bairdo sistemos televizijos siųstuvo ir imtuvo schema (Early Television System Diagram.png.)

motoras, o šviesos šaltiniu buvo neono lempa (13.2 pav.). Vėlesni aparatai turėjo lęšių diską ir veidrodžių būgną. D. Britanijoje 30 linijų televizoriai pirmą kartą pradėjo priiminėti BBC transliuotas laidas 1929 metais. Iš pradžių būdavo perduodami tik vaizdai, o nuo 1930 m. garsas ir vaizdas buvo perduodami kartu.



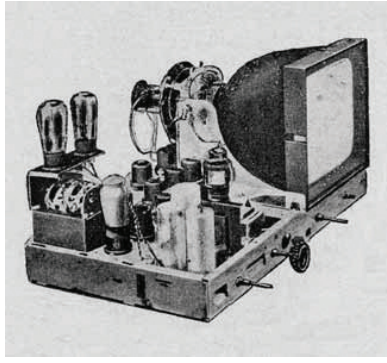
13.2 pav. „General Electric“ 1928 m. pagamintas mechaninis televizorius „Octagon“: a – aparato vaizdas iš priekio, b – aparato vaizdas iš užpakalinės pusės (arlytelevision.org/ge_octagon.html.)

1930-ųjų pradžioje paaiškėjo, kad mechaninės televizijos sistemos negalės kokybiškai atkurti vaizdų. Elektroninei televizijai reikalingi du svarbūs įtaisai – katodinių spindulių vamzdis, rodantis atkurtą vaizdą, ir specialus elektroninis įtaisas tam vaizdui fotografuoti (13.3 pav.).

Katodinių spindulių vamzdis iš esmės jau buvo sukurtas, tačiau tinkamo elektroninio fotografavimo įtaiso nebuvimas elektroninės televizijos atsiradimą atidėjo daugeliui metų. Vokiečių mokslininkas Karlas Braunas 1897 m. išrado katodinių spindulių *osciloskopą*, o rusas Vladimiras Zvorykinas 1929 m. sukūrė patobulintą katodinių spindulių vamzdelį, vadinamą *kineskopu*.

1936 m. Berlyno olimpinėse žaidynėse sporto arenos Berlyne ir Leipcige kabelinės televizijos kanalais buvo sujungtos su televizijos stotimis ir žiūrovai galėjo stebėti tiesiogines televizijos transliacijas.

1936 m. BBC pirmoji pasaulyje pradėjo perdavinėti geros raiškos televizijos transliacijas. Šios transliacijos laikomos šiuolaikinės televizijos pradžia (13.4 pav.). Antrasis pasaulinis karas sustabdė televizorių gamybos plėtrą iki pat



13.3 pav. 1938 m. Vokietijoje pagaminto televizijos aparato „Volkfernseher“ sandara (earlytelevision.org/e1.html.)



13.4 pav. „Andrea Radio“ korporacijos (JAV) 1939 m. pagamintas televizorius (vintage-television-andrea-1939-andrea-1f5-from)

karo pabaigos. Nuo 1950 m. televizija tapo pagrindine viešosios nuomonės formavimo priemone (13.5 pav.). Efektyvią televizinės sistemos komunikaciją lemia trys veiksniai:

– sinchroniškumas su įvykiais: tiesioginė transliacija panaikina laiko skirtumą tarp įvykio ir jo pateikimo;

– vizuali informacija įvykį daro objektyvesnį ir realesnį;

– be vaizdų, televizijoje pateikiama daug papildomos informacijos: muzika, triukšmas, įvairūs efektai.

Standartinis televizorius yra labai sudėtingas elektroninis prietaisas, galintis priimti ir iškoduoti priimamus signalus. Vaizdas stebimas televizoriaus ekrane. Šiuolaikinėje televizijoje iš objektyvo gautą transliacijos vaizdą kamera perduoda į puslaidininkių matricą, kuri konvertuoja jį į elektrinius signalus. Televizijos siųstuvo išspinduliuoti į erdvę aukšto dažnio signalai pasiekia televizorių antenas ir vėl konvertuojami į signalus, kurie monitoriuje matomi kaip objekto vaizdas. Garsas, panašiai kaip FM radijo stotyse, perduodamas atskirai, taikant dažnio moduliacijos technologiją. Daugelyje šalių televizinį vaizdą lydi stereogarsas. Televizijos transliavimo signalai perduodami 54–890 MHz dažnių juostoje.

Iki 2000 m. televizijos programos buvo perduodamos analoginiu televizijos signalu, tačiau pastaruoju metu beveik visos šalys perėjo prie transliacijos

skaitmeniniu signalu (Lietuvoje nuo 2012 m.). Šios technologijos įgyvendinimas itin naudingas žiūrovui: jis gali matyti kur kas daugiau kanalų, gali pats nuspręsti, kada ir ką norės žiūrėti, t. y. jam nebereikia taikytis prie nustatyto televizijos tinklelio, be to, žiūrėdamas įrašytas programas, žiūrovas išvengia reklamos.



13.5 pav. Prancūzijoje apie 1951 m. gamintas televizorius „Grammont“ (earlytelevision.org/grammont.html.)

Televizijos sistemos naudoja skirtingus techninius standartus, pvz., skaitmeninė televizija – DTV, didelės raiškos televizija – HDTV. Televizija dažnai naudojama įvairiems procesams stebėti ir kontroliuoti, ypač kai tiesioginis stebėjimas yra sunkus ar pavojingas.

Rusų kilmės amerikietis V. Zvorykinas 1925 m. pateikė elektroninės spalvotosios televizinės sistemos patento paraišką. Vis dėlto spalvotosios televizijos komercinių laidų transliacijos prasidėjo tik 1953 metais. Kabelinė televizija gimė Pensilvanijoje (JAV) 1940-ųjų pabaigoje. Pirmasis nuotolinis televizoriaus valdymas buvo sukurtas 1950 metais. Valdiklis, su televizoriumi sujungtas lanksčiu kabeliu, galėjo įjungti, išjungti aparatą ir keisti kanalus. 1961 m. Maskva sveikino pirmąjį kosmonautą Jurijų Gagariną. Jo sutikimo tiesioginę televizijos transliaciją pirmą kartą galėjo matyti ir televizijos žiūrovai Vakaruose. 1962 m. į orbitą buvo paleistas pirmasis „Telstar“ palydovas, skirtas televizijos signalų transliavimui. 1964 m. Ilinojaus universitete (JAV) buvo išrastas plazminis monitorius. 1969 m. astronauto Neilo Armstrongo pasivaikščiojimą Mėnulyje tiesiogiai stebėjo 720 mln. televizijos žiūrovų. Nuo 1975 m. televizijos programos buvo transliuojamos per palydovus. 1986 m. pradėjo veikti palydovinė kabelinė televizija. Nuo 1970 m., atsiradus vaizdo kasetėms, lazeriniams diskams ir DVD, televizorius dažnai naudojamas įrašytos ar transliuotos medžiagos peržiūrai. 1995 m. pirmą kartą televizijos transliacija buvo perduota internetu.

Pastaraisiais metais plinta *raiškioji televizija* (RTV) – skaitmeninės televizijos atmaina, kurioje televiziniai (TV) signalai perduodami skaitmeniniais

13.1 lentelė. Televizijos raidos etapai pasaulyje ir Lietuvoje

Metai	Įvykis
1923	Rusų kilmės amerikietis Vladimiras Zvorykinas išrado ikonoskopo kamerą ir kineskopo vamzdį, kurie naudojami televizoriuje
1926	Škotas Johnas Bairdas pademonstravo elektromechaninę televizijos sistemą
1927	Amerikietis Philo'as Farnsworthas sukūrė pirmą visiškai elektroninę televizijos sistemą
1928	Pradėta reguliariai transliuoti TV programą (JAV)
1929	Londone atidaryta pirmoji televizijos studija
1930	Šiaulių radijo laboratorija pagamino pirmąjį Lietuvoje mechaninį televizorių
1931	Elektroninės televizijos transliacijos pradėtos Los Andžele ir Maskvoje
1936	Pirmą kartą pasaulyje tiesiogiai iš Berlyno transliuojamos olimpinės žaidynės
1937	BBC pradeda reguliariai transliuoti televizijos programas
1938	Prekyboje pasirodo pirmieji buitiniai elektroniniai televizoriai
1950	Pradėtos spalvotosios televizijos transliacijos
1957	Balandžio 30 d. televiziją pradėta transliuoti Lietuvoje
1962	Į orbitą buvo paleistas pirmasis palydovas, skirtas televizijos signalams transliuoti
1963	Šiauliuose pradėta gaminti nespalvotus televizorius
1975	Lietuvoje pradėtos spalvotosios televizijos transliacijos
1981	Vilniuje pastatytas 326,47 m aukščio TV bokštas
1983	Kauno radijo gamykloje pradėta gaminti portatyvinius spalvotuosius televizorius
1989	Įsteigta pirmoji kabelinė televizija Lietuvoje (Klaipėdoje)
1995	Pirmą kartą televizijos transliacija buvo perduota internetu
1996	Lietuvoje veiklą pradėjo pirmoji mikrobangų daugiakanalė televizija
2004	Lietuvoje pradėtos pirmosios skaitmeninės antžeminės televizijos transliacijos

kodavimo ir spūdos metodais. Raiškioji televizija, palyginti su analogine TV, pasižymi didesniu vaizdą formuojančių eilučių skaičiumi, užtikrina platesnį vaizdo formatą, garso kokybę, leidžia pašalinti atspindžius ir „sniego" tipo

trikdžius televiziniame vaizde, suteikia galimybę pasirinkti programos kalbą, stereogarsą, teletekstą, titrus, elektroninį programų gidą ir kt. Raiškioji televizija JAV oficialiai pradėjo transliuoti laidas 1996 m., Europoje šią technologiją 2004 m. oficialiai pradėjo naudoti Belgija.

TELEVIZIJOS RAIDA LIETUVOJE

1930 m. Šiaulių radijo laboratorija pagamino pirmąjį Lietuvoje mechaninį televizorių. Šis televizorius buvo išbandytas priimant televizijos laidas iš Berlyno. Lietuvoje televizinės laidos pradėtos transliuoti tik 1957 m. balandžio 30 dieną. Pirmąsias transliacijas žmonės žiūrėjo tik per 32 šalyje buvusius televizorius. Dalis Šiaurės Lietuvos gyventojų nuo 1955 m. galėjo matyti Rygos televizijos laidas. 1957 m. laidos rodytos du, 1959 m. – šešis kartus per savaitę, o nuo 1961 m. – kasdien. 1957 m. dienos programos trukmė buvo 1,4 valandos, 1967 m. – 5,5 valandos. Iš pradžių TV laidos buvo matomos 100 km atstumu nuo Vilniaus, tačiau gana greitai pradėta transliuoti Kauno ir Klaipėdos rajonuose. Televizijos geografija plėtėsi pamažu – statomi nauji signalų siųstuvai, gerėjo jų kokybė. Lietuvoje ilgą laiką buvo transliuojamos tik nespalvotos TV programos. Tuometiniai LRT vadovai spalvotąją televiziją „atrado“ 1975 metais. Pirmosios televizinės laidos buvo rodomos iš nedidelės 40 m^2 ploto studijos Vilniuje. 1960 m. įrengta nauja (326 m^2) studija Vilniuje, o 1971 m. – Kaune. 1975 m. Vilniuje pastatytas naujas TV aparatinių ir studijų kompleksas, įrengtos dvi didelės studijos, pradėtos rodyti spalvotosios TV programos. 1981 m. Vilniuje pastatytas naujas 326,47 m aukščio TV bokštas – aukščiausias statinys Lietuvoje. Jis buvo statomas 16 metų. TV bokštas su pamatu sveria 25 000–30 000 t. Bokšto kamienas – 190 m aukščio tuščiaviduris gelžbetoninis vamzdis, jo skersmuo apačioje siekia 15 m, viršuje susiaurėja iki 8 metrų; vamzdžio sienelės storis apačioje yra 50 cm, o 165 m aukštyje – tik 30 cm.

1961 m. Šiauliuose pastatyta televizorių gamykla, 1963 m. parduotuvėse pasirodė pirmasis televizorius „Temp-6“. 1968 m. gamykla pradėjo gaminti nespalvotus 59 cm ekrano įstrižainės televizorius (nuo 1973 m. – 61 cm įstrižainės). 1978 m. gamykla pagamino pirmą spalvotąjį televizorių „Tauras-714“. 1984 m. surinkti pirmieji televizoriai su puslaidininkinėmis integrinėmis

mikroschemomis. 1986 m. pasirodė naujas spalvotasis televizorius „Tauras C-257D“, kurio ekrano įstrižainė buvo 61 cm. Šie televizoriai buvo lengvesni, naudojo kur kas mažiau elektros energijos, pasižymėjo gera vaizdo kokybe.



13.6 pav. 1979 m. gamintas nešiojamas 30 cm ekrano įstrižainės televizorius „Šilelis S-445D“ (Šilelis_TV.JPG.)



13.7 pav. 1977 m. gamintas nešiojamas automobilinis televizorius „Šilelis 403D“ (A. V. Valiulio nuotr.)

1970 m. Šiaulių televizijos gamykla pradėjo gaminti stacionarius ir mobilius radijo ir televizijos transliacijos centrus, aprūpintus spalvotaisiais televizoriais. Lietuvai atkūrus nepriklausomybę, gamykla susidūrė su aštria konkurencija pasaulio rinkose. Nuo 2004 m. televizoriai buvo gaminami su skystųjų kristalų (LCD) ekranais ir skaitmeniniu kanalo derinimu. Televizoriai galėjo priimti visus skaitmeninės TV signalo formatus (eterinį, kabelinį, garso ir vaizdo skaitmeninių duomenų glaudinimo MPEG-2 ir MPEG-4 standartų, didelės raiškos). 1962 m. Panevėžyje pastatytoje „Ekrano“ gamykloje buvo gaminami 35,5, 38, 50,8 ir 53,3 cm įstrižainės kineskopai. Gamykla apėmė 25 % mažų ir vidutinių dydžių kineskopų Europos rinkos. Kineskopų katodinio spindulio atlenkimo sistemos buvo gaminamos 1959 m. Vilniuje pastatytoje Vilniaus televizijos mazgų gamykloje (vėliau – Radijo komponentų gamykla). Garsiausi Kauno radijo gamyklos gaminiai buvo televizoriai „Šilelis“ (13.6 ir 13.7 pav.). 1983 m. Kauno radijo gamykloje pradėtas gaminti spalvotasis televizorius „Šilelis

C-401“ (ekrano įstrižainė 37 cm, svoris tik 17 kg). Apie 98 % Lietuvos televizijos produkcijos buvo parduodama Europos šalyse.

INTERNETAS

Internetas, arba *žiniatinklis*, – pasaulinis kompiuterių tinklas, jungiantis vietinius ir visuotinius kompiuterių tinklus. Šį „tinklų tinklą“ sudaro milijonai tarpusavyje sujungtų mažesnių vidaus, akademinių, verslo ir valdžios tinklų. Jis teikia įvairią informaciją ir paslaugas, tokias kaip elektroninis paštas, internetinis pokalbis, failų perkėlimas, tinklalapių susiejimas ir kita. Siekiant išvengti painiavos, vietoj *žiniatinklio* tikslinga vartoti terminą *saitynas. Saitynas* – interneto dalis, kurią galima pasiekti naudojant Vieningą resursų identifikatorių (URL). Dėl savo plataus naudojimo saitynas neretai painiojamas su visu internetu apskritai, tačiau tai yra tik interneto poaibis.

Kompiuterių tinklai jungiami įvairiomis ryšio linijomis ir maršrutizatoriais (spec. įrenginiais arba kompiuterio programomis), kurie iš vieno tinklo gautus duomenų paketus modifikuoja ir nukreipia į kitą tinklą. Vartotojo kompiuteris prie interneto gali būti jungiamas per modemą, ISDN įrangą (*Integrated Services Digital Network* – Integruotų paslaugų skaitmeninis tinklas), DSL įrangą (*Digital Subscriber Line* – Skaitmeninė abonentinė linija) arba skirtinę liniją (kai interneto paslaugą tiekia telefoninio ryšio bendrovė), kabelinį modemą (kai interneto paslaugą tiekia kabelinė televizija), radijo ryšį. Interneto vartotojo kompiuteryje turi būti įtaisyta tinklo plokštė, įdiegta speciali programinė įranga. Prie interneto prisijungęs vartotojas gali naudotis elektroniniu paštu, pasauliniu informacijos tinklu (angl. W(orld) W(ide) W(eb), WWW).

Taisyklių visuma, apibrėžianti duomenų mainų būdą tarp dviejų kompiuterinių sistemų, vadinama *Interneto protokolu*. Interneto protokolai turi kelis lygius. Žemiausiame lygyje (kuris reikalingas visiems aukštesniems) naudojami IPv4 ar IPv6 protokolai, kiekvienam kompiuteriui suteikiant unikalų IP adresą. Kitame lygyje, ryšiui tarp kompiuterių palaikyti, naudojami TCP/IP ir UDP protokolai. Jie sukuria kanalą duomenims perduoti. Dar aukštesniame lygyje naudojami konkrečiam tikslui skirti protokolai (HTTP – tinklalapiams perduoti, SMTP – elektroniniam paštui, FTP – atskiroms byloms siųsti ir pan.). Pasaulinis tinklas daugiausia remiasi

hipertekstu – HTTP protokolu ir HTML kalba. Interneto veiklą koordinuoja, plečia ir tobulina specialios organizacijos.

Interneto istorija prasidėjo beveik nuo elektroninių kompiuterių atsiradimo 1950-aisiais. Duomenų perdavimas tarp dviejų skirtingų vietų radijo ar laidiniu ryšiu buvo naudojamas ir anksčiau. Toks bendravimas buvo ribotas, nes informacija buvo perduodama tik tarp dviejų nutolusių taškų. Kompiuteriams ir ryšio linijoms tobulėjant, didėjo ryšio nuotolis, bendravimo greitis, tačiau tiesioginiam bendravimui buvo būtinas fizinis ryšis. Duomenų perdavimo teoriniai darbai ir informacijos perdavimo teorija buvo sukurti XX a. pradžioje.

Šiuolaikinio interneto pirmtakas buvo ARPANET kompiuterinis tinklas (*Advanced Research Process Agency Network*), naudojęs duomenų paketų maršrutizaciją. Iki jo atsiradimo kompiuteris tebuvo aritmetinis skaičiuoklis. Kuriamo tinklo pagrindu turėjo būti decentralizuotas tinklas, kuris sujungtų įvairius JAV universitetus telefono linijomis. 1969 m. nedideli kompiuteriai (vienas Jutos, kiti trys Kalifornijos valstijoje), sujungti tarpusavyje skirtinėmis linijomis, jungė Los Andželo universitetą, Stanfordo Tyrimų institutą, Santa Barbaros ir Jutos universitetus. Įvairių sričių mokslininkams pradėjus naudoti ARPANET, jis sparčiai plėtėsi. Ryšio greitis buvo 50 kilobitų per sekundę (šiais laikais vidutinis interneto greitis namuose yra keliolika kartų didesnis ir skaičiuojamas megabitais – tūkstančiais kilobitų per sekundę). Žodis „internetas“ atsirado 1983 m. sujungus karinį tinklą MILNET ir civilinį tinklą ARPANET, jungtinis darinys pavadintas internetu. 1973 m. prie jo prisijungė D. Britanijos ir Norvegijos mokslinės organizacijos ir tinklas tapo tarptautiniu.

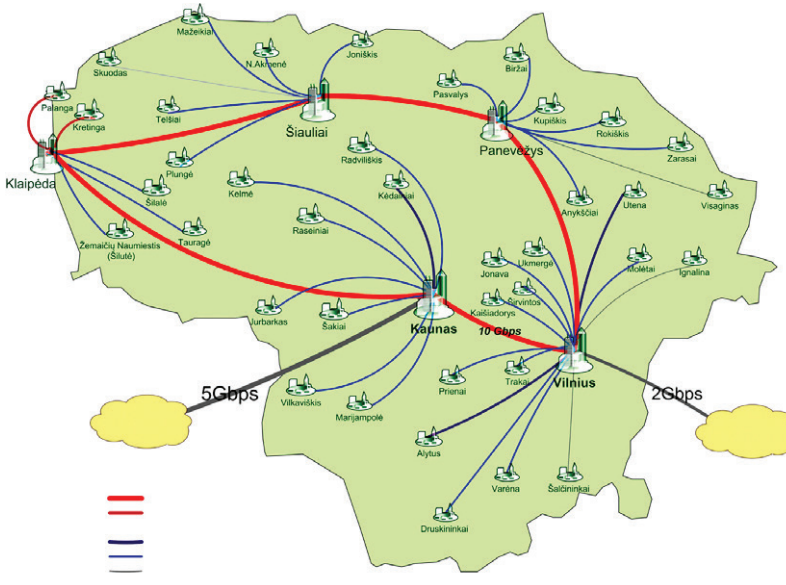
1982 m. Interneto protokolo rinkinys (TCP/IP – Perdavimo valdymo protokolas/Interneto protokolas) buvo standartizuotas ir jo pagrindu atsirado tinklas, vadinamas internetu. XX a. 9 dešimtmečio pabaigoje ir 1990-ųjų pradžioje pasirodė komerciniai interneto paslaugų teikėjai. Internetas plito labai sparčiai, jo svarba kultūrai, ryšiams ir komercijai labai išaugo. Prie interneto prisijungęs vartotojas galėjo naudotis elektroniniu paštu, pasaulinio informacijos tinklo (WWW) duomenų masyvais, iš tinklo kompiuteriu atsisiųsti failų, juos naujinti, kopijuoti, šalinti, dalyvauti interneto žiniasklaidoje, interaktyviai bendrauti pokalbių kambariuose, pirkti ir parduoti įvairias prekes, kurti tinklalapius ir kita. 1993 m. pradžioje telekomunikacijų tinklais buvo perduodama apie 1 % informacijos, 2000 m. – 51 %, o 2007 m. – jau 97 %.

Interneto veikimo principas sąlyginai paprastas – tai ryšys, kuris informacijos sklaidai naudoja komandų rinkinį (hipertekstą). Taigi hipertekstas sudaro bendravimo internete pagrindą, o kad būtų galima bendrauti tarpusavyje ir su įrenginiais, dar reikalinga naršyklė. Žiniatinklio išradėju laikomas Europos branduolinių tyrimų organizacijos darbuotojas Timothy'is Berners-Lee. 1980 m. jis pasiūlė hipertekstu besiremiantį projektą, siekdamas padėti tyrėjams bendrai naudotis informacija ir kartu ją atnaujinti. T. Berners-Lee sukūrė saityną, pirmąjį serverį, naršyklę, žiniatinklio veiklai reikalingą URL adresų sandarą, HTTP perdavimo protokolą bei HTML kalbą. 1991 m. saitynu (dalintis duomenimis, naujienomis ir dokumentais) pradėjo naudotis CERN darbuotojai. Tuo metu dar nebuvo kompiuteriams prieinamos grafinės naršyklės (grafikams, tekstui, animacijai), ją pavyko sukurti tik 1992 metais. 1993 m. pasirodė grafinė naršyklė „Mosaic" ir pirmoji „Microsoft Windows" naršyklė „Cello". 1996–1998 m. – intensyvaus WWW komercializavimo metai. Daugelis kompanijų pradėjo mažmeninę veiklą internetu ir greitai pajuto jo naudą. Tradicinės žiniasklaidos priemonės (laikraščių leidėjai, transliuotojai ir kabelinių paslaugų tiekėjai) irgi greitai suprato interneto naudą. Nuo 2002 m. daugelio pasaulinių bendrovių veikla neįsivaizduojama be interneto (oro linijų užsakymo svetainės, „Google" paieškos naršyklė, „Facebook", „Wikipedia", „YouTube" ir kt.). Šiais laikais prie interneto žmonės jungiasi ne tik naudodami stalinius ar nešiojamuosius kompiuterius, bet ir mobiliuosius telefonus, planšetinius, delninius kompiuterius ir netgi televizorius. Internetas tapo tokiu įprastu dalyku, kad jau nieko nestebina prie pasaulinio tinklo prisijungę šaldytuvai, skalbyklės bei kiti buitiniai įrenginiai (vadinamasis „daiktų internetas").

INTERNETO TINKLAI LIETUVOJE

Lietuvos mokslo ir studijų tinklas LITNET įkurtas 1991 metais. Iš pradžių jis turėjo tik palydovinį ryšį su Oslo universitetu. Vėliau tinklo kūrimo plėtrai neįkainojamą pagalbą suteikė Oslo universitetas (Norvegija), Danija, Islandija, Suomija, Švedija ir NORDUnet akademiniai kompiuteriniai tinklai. LITNET buvo pirmasis interneto paslaugų teikėjas Lietuvoje.

LITNET švietimo institucijoms nemokamai teikia šias interneto paslaugas: galimybę turėti nuolatinį ryšį su interneto tinklu, adresų sričių simbolinių pavadinimų registraciją, tarnybinių pašto dėžučių registraciją, virtualių interneto svetainių registraciją ir prieglobą, konsultacijas pašto programų konfigūravimo ir puslapių kūrimo klausimais. Kompiuterių tinklo saugumui užtikrinti įkurta LITNET tinklų ir informacijos saugumo incidentų reagavimo grupė. Jos tikslas – saugoti tinklo infrastruktūrą nuo įsilaužimų ir atakų, diegti saugos priemones atsižvelgiant į kylančias grėsmes. Paslaugų palaikymą ir plėtrą vykdo LITNET techniniai centrai, įkurti Kauno technologijos universitete, Vilniaus universitete, Klaipėdos universitete, Vytauto Didžiojo universitete, Vilniaus Gedimino technikos universitete bei Šiaulių universitete. 1997 m. prie kuriamo tinklo savo iniciatyva ir lėšomis pradėjo jungtis Lietuvos mokyklos ir kitos švietimo įstaigos. 2011 m. LITNET internetą naudojo 880 švietimo įstaigų, iš kurių 668 buvo vidurinės mokyklos (13.8 pav.).



13.8 pav. LITNET duomenų perdavimo linijų schema, 2014 m.

LITNET tinklas yra integruotas į bendrą Europos akademinį tinklą GEANT (*Gigabit European Academic Network Technology*). 2005–2008 m. optinio pluošto kabeliu buvo sujungti visi 5 didieji Lietuvos miestai. 2007 m. internetinės paslaugos pradėtos teikti kaimo vietovėms skirtu plačiajuosčio ryšio tinklu RAIN. Šis tinklas plačiajuosčio ryšio linijomis sujungė kaimiškų seniūnijų centrus, kuriuose nėra plačiajuosčio ryšio prieigos, ir užtikrino prieigą prie interneto visoms kaimiškų seniūnijų institucijoms, gyventojams bei verslo įmonėms.

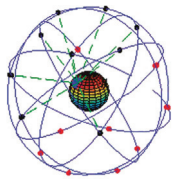
Projekto įgyvendinimo metu buvo sukurta 3 357 km plačiajuosčio ryšio infrastruktūra, jungianti 467 šalies kaimiškas seniūnijas su savivaldybėmis. Prie šios infrastruktūros buvo prijungta apie 330 mokymo įstaigų. Sukurta šviesolaidinė infrastruktūra pasiekė gyvenvietes, kuriose gyvena per 300 000 šalies gyventojų. 2011 m. internetu Lietuvoje naudojosi apie 65 % namų ūkių. 2018 m. Lietuvoje interneto paslaugas teikė per 100 bendrovių. Didžiausias mobiliojo interneto greitis Lietuvoje šiuo metu siekia 21,6 megabito per sekundę (HSPA + technologija). Viena nuotrauka užima vidutiniškai 3–5 megabaitus, arba 25–42 megabitus. „Dial-up“ modemu tokį failą galima atsisiųsti per valandą, o naudojant greičiausią šviesolaidinį internetą – mažiau nei per sekundę.

VISUOTINĖ PADĖTIES NUSTATYMO SISTEMA

Visuotinė padėties nustatymo sistema (Globali pozicionavimo sistema, arba GPS) yra kosminė palydovinės navigacijos sistema, kuri teikia informaciją apie objekto, esančio ant ar netoli Žemės, buvimo vietą ir laiką visomis oro sąlygomis, jeigu objektas yra laisvai matomas keturių ar daugiau GPS palydovų. Sistemos pagrindas – interaktyvių telekomunikacinių įrenginių sąveika su planetą gaubiančiu GPS palydovų tinklu. GPS matavimų principai paremti labai tiksliu signalo, siunčiamo iš palydovo, laiko fiksavimu. Žinant elektromagnetinės bangos judėjimo greitį ir laiką, galima nustatyti atstumą tarp palydovo ir ant Žemės paviršiaus esančio imtuvo. GPS sistemoje pritaikytas trilateracijos principas leidžia nustatyti taško koordinates, absoliutų aukštį ir tikslų realų laiką. Trilateracijos būdu taško padėtis ant žemės paviršiaus nustatoma pagal du kitus taškus išmatavus

atstumus tarp visų trijų taškų. GPS sistemoje naudojami 24 palydovai. Orbitų aukštis nuo žemės paviršiaus – apie 20 180 km. Kiekvienas GPS palydovas radijo signalais į Žemę perduoda informaciją apie savo buvimo vietą (koordinates), tikslų laiką ir identifikavimo kodą.

Sukurti GPS sistemą paskatino 1957 m. SSRS paleistas pirmasis dirbtinis žemės palydovas. Amerikos fizikai, stebėję palydovo radijo transliacijas, greitai suprato, kad dėl Doplerio efekto poslinkio jie gali tiksliai nustatyti, kokioje orbitos vietoje yra palydovas. Pirmoji JAV palydovinės navigacijos sistema „Transit“ (JAV) buvo išbandyta 1960 metais. Sistema naudojo penkių palydovų matavimo duomenis ir galėjo nustatyti objekto buvimo vietą kartą per valandą. 1970-aisiais pastatytos antžeminės stebėjimų stotys kartu su palydovų sistema tapo pirmąja pasauline radijo navigacijos sistema. Šios sistemos matavimai nebuvo labai tikslūs, todėl buvo kuriama universalesnė ir tikslesnė sistema. 1960 m. JAV karinės oro pajėgos pasiūlė radijo navigacijos sistemą MOSAIC (*Mobile Systems for Accurate ICBM Control*), o 1963 m. gimė *Globalaus pozicionavimo sistemos* koncepcija. 1973 m. startavo programa „Navstar“ ir į orbitą pradėta kelti „Navstar“ palydovus. Kai 1983 m. SSRS oro erdvėje buvo numuštas civilinis Korėjos oro linijų lėktuvas su 269 keleiviais, JAV prezidentas R. Reaganas paskelbė direktyvą, kuri leido GPS sistemą laisvai naudoti ir civiliniams tikslams. Pirmasis GPS sistemos palydovas buvo paleistas 1989 m., o paskutinis (24-asis palydovas) buvo paleistas 1994 metais.



13.9 pav. GPS palydovų orbitos (why-do-gps-satellites-rotate-over-the-earth)

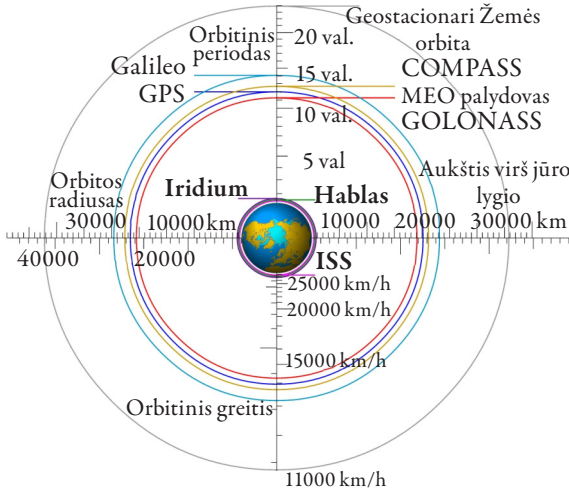
GPS veikimas pagrįstas tuo, kad GPS imtuvas tiksliai apskaičiuoja savo padėtį pagal laiko signalus, gaunamus iš GPS palydovų. Kiekvienas palydovas nuolat perduoda pranešimus, kuriuose yra pranešimo perdavimo laikas ir palydovo padėtis pranešimo perdavimo metu. Gavėjas pagal gaunamus signalus apskaičiuoja atstumą iki kiekvieno palydovo. Kiekvienu tokiu atstumu nuo palydovo brėžiama sfera, kurios paviršiuje yra objektas. Sutapdinus kelias nubrėžtas sferas, randama objekto buvimo vieta. Objekto vieta gali būti rodoma judančiame žemėlapyje, nurodoma geografinė vietovės platuma ir ilguma, aukštis virš žemės paviršiaus, objekto judėjimo greitis

ir kryptis. Tiksliam objekto vietos nustatymui reikalinga 4 ar daugiau palydovų informacija (13.9 pav.).

Dabartinę GPS sistemą sudaro trys pagrindiniai segmentai: kosminis, kontrolės ir vartotojo. Nors iš pradžių GPS buvo karinės paskirties projektas, tačiau dabar jis yra dvejopo naudojimo ir yra reikalingas tiek karinėms, tiek ir civilinėms reikmėms. GPS plačiai naudojamas prekyboje, bankininkystėje, moksliniams tikslams, objektų judėjimo stebėjimui, žemės ūkio ar miškų priežiūrai, elektros tinklų valdymui ir kt. Pavyzdžiui, mobiliojo telefono savininkas gali būti stebimas tiek stovintis, tiek ir judantis. Išmanieji telefonai su „Android“ operacine sistema ir vietos nustatymo funkcija automatiškai aktyvina Globalios padėties nustatymo sistemos (GPS) ir belaidžio ryšio technologijos (Wi-Fi) imtuvus ir pagal GPS, Wi-Fi arba mobiliojo ryšio GSM/3G siųstuvų radijo signalus nustato telefono vietą ir jo koordinates. Pirmasis konfliktas, kuriame GPS buvo plačiai naudojama, buvo 1990–1991 m. Persų įlankos karas. 1993 m. turėdama 24 palydovus GPS pradėjo veikti visu pajėgumu. 2000 m. civilinių objektų padėties nustatymo tikslumas pagerėjo nuo 100 iki 20 metrų. GPS priklauso Jungtinėms Amerikos Valstijoms ir ją valdo šalies vyriausybė.

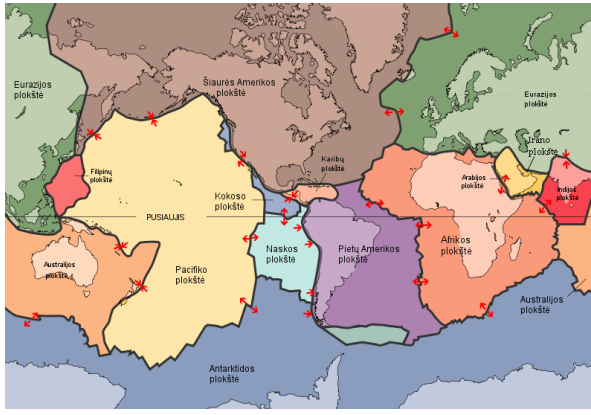
Be GPS sistemos, paviršiaus taškų padėčiai ir aukščiui nustatyti naudojamos GLONASS (Rusija), „Galileo“ (ES), IRNSS (Indija), „Beidou“ ir „Beidou 2“ (Kinija) sistemos (13.10 pav.).

Kaip žinia, paviršinis Žemės planetos sluoksnis yra kieta ir trapi litosfera. Litosferą sudarančios plokštės plūduriuoja ant pusiau išsilydžiusių sunkesnės mantijos uolienų. Pagal sudėtį plokštės skirstomos į žemynines ir vandenynines. Žemyninės plokštės lengvesnės ir storesnės (25–70 km), jos dengia apie trečdalį Žemės paviršiaus. Seniausioms žemyninėms uolienoms jau 4 mlrd. metų, jas dengia storas nuosėdų sluoksnis. Vandenyninių plokščių storis apie 6–11 km, vidutinis slūgsojimo gylis apie 4,5 km žemiau jūros lygio. Jos sunkesnės ir žymiai jaunesnės už žemynines plokštes. Litosferą sudaro septynios didžiosios tektoninės plokštės ir dešimtys vidutinių ir mažųjų plokščių. Plokščių judėjimas vyksta dėl šiluminės kilmės mantijos srautų – konvekcijos. Kad litosferos plokštės iš tiesų juda, buvo patvirtinta, kai GPS jutikliai visuose kontinentuose ėmė fiksuoti jų poslinkio vektorius. Plokščių sandūrose susidaro trijų tipų pakraščiai: konstruktyvieji (plokštės tolsta viena nuo kitos), destruktyvieji (plokštės



13.10 pav. GPS (JAV), GLONASS (Rusija), „Galileo“ (ES) ir „Compass“ (Kinija) palydovinės navigacijos sistemos, Tarptautinės kosminės stoties, Hablo kosminio teleskopo, „Iridium“ palydovų sistemos orbitos ir geostacionari Žemės orbita (Comparison_satellite_navigation_orbits.svg.). GLONASS – veikianti Rusijos pasaulinė navigacinė sistema; „Galileo“ – pasaulinė navigacinė sistema, kuriama Europos Sąjungos ir Europos kosminės agentūros (30 palydovų); „Beidou“ – Kinijos Liaudies Respublikos regioninė sistema, šiuo metu taikoma tik Azijai ir Vakarų Ramiojo vandenyno regionui; COMPASS – pasaulinė Kinijos Liaudies Respublikos sistema

spaudžia viena kitą) ir konservatyvieji (plokštės slysta viena palei kitą). Būtent plokščių pakraščiuose vyksta dauguma aktyvių geologinių reiškinių, tokių kaip ugnikalnių išsiveržimai, žemės drebėjimai, kalnų ir vandenynų duburių ir lovių formavimasis. Plokštės nuolat juda (iki 15 cm per metus) ir sąveikauja tarpusavyje. Dabartinis tektoninių plokščių judėjimas stebimas ir matuojamas nuotoliniu būdu palydovinėmis technologijomis. Iš viso yra septynios „pagrindinės“ plokštės: Afrikos, Antarktidos, Eurazijos, Šiaurės Amerikos, Pietų Amerikos, Ramiojo vandenyno Indijos ir Australijos (13.11 pav.) bei dešimtys mažesnių,



13.11 pav. Žemės tektoninės plokštės (Plates tect2 en.svg.)

iš kurių didžiausios yra Arabijos, Karibų, Žano de Fukos, Kokoso, Naskos, Filipinų ir Škotijos. Dėl plokščių judėjimo laikui bėgant atsiranda ir išnyksta žemynai. Plokščių judėjimo greitis yra nuo 10–40 iki maždaug 160 mm/metus (maždaug tokiu greičiu auga žmogaus plaukai). Superkontinentas Kolumbija, arba Nuna, susidarė prieš 2 000–1 800 mln. metų ir suskilo maždaug prieš 1500–1300 mln. metų. Rodinijos superkontinentas susidarė prieš 1 mlrd. metų ir jungė daugumą dabartinių žemynų. Ir Kolumbijos, ir Rodinijos superkontinentuose Baltika (ir Lietuva) buvo šalia Grenlandijos. Vienokiu ar kitokiu pavidalu Rodinija gyvavo iki 800–750 mln. metų, o galutinai suiro į aštuonis žemynus maždaug prieš 650 mln. metų. Maždaug kartą per 200–500 mln. metų Žemės plokštės susijungia į vientisą superkontinentą, kuris vėliau suskyla. Šie aštuoni žemynai vėl susijungė į naują superkontinentą Pangėją, kuri suskilo į Lauraziją (Šiaurės Amerika + Eurazija) ir Gondvaną (likę žemynai).

Visuotinei padėties nustatymo sistemai išpopuliarėjus, atsiranda ir grėsmės, nes vis daugiau galimybių perimti ar sufalsifikuoti GPS signalus. Svarbus GPS trūkumas – ji neveikia po vandeniu ir po žeme, todėl mokslininkai siekia sukurti tokią navigacijos sistemą, kuri veiktų ir ten, kur palydovų signalai nepasiekia. Pažeidžiami yra ir patys GPS palydovai, todėl šiai sistemai kuriama alternatyva. Mokslininkai jau pradėjo kurti vietos nustatymo sistemą, galinčią veikti be palydovų. Ji telpa vos į monetos dydžio mikroschemą ir gali nustatyti buvimo vietą, judėjimo kryptį, pagreitį ir laiką.

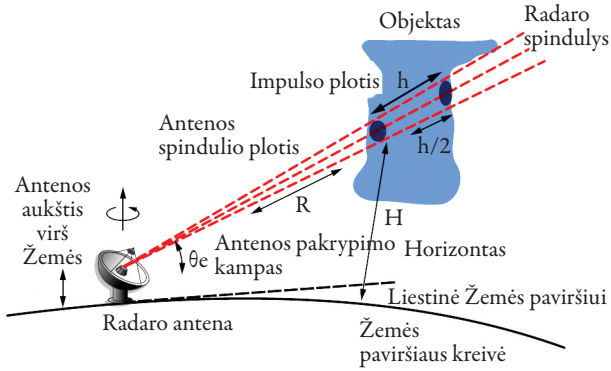
Ši mažytė mikroschema turi tris giroskopus, tris akselerometrus ir atominį laikrodį, kurie kartu veikia kaip savarankiška ir nuo išorės signalų nepriklausoma navigacijos sistema.

RADARAS

Radaras – įrenginys objektams (orlaiviams, laivams, raketoms, motorinėms transporto priemonėms, audros debesims ir kt.) erdvėje aptikti, jų koordinatėms nustatyti bei objekto judesio parametrams matuoti radiolokacijos metodais. Meteorologinis radaras yra skirtas kritulių stebėjimui, jų fazės, kiekio, judėjimo greičio apskaičiavimui. Radaro antena siunčia radijo ar mikrobangų impulsus, kurie atsispindi nuo bet kokio objekto, esančio bangų sklidimo kelyje. Atspindėtas signalas grįžta į imtuvą, kuris yra toje pat vietoje kaip ir siųstuvas; pagal atspindėto signalo vėlavimą apskaičiuojamas objekto atstumas. Išmatavęs sugrįžusio elektromagnetinės energijos impulso stiprumą, radaras apskaičiuoja kritulių intensyvumą. Pagal grįžusio signalo poliarizaciją ir dažnį galima nustatyti paviršiaus tipą. Radarų sistemos darbas gali būti vertinamas pagal nuotolį, kuriuo jis gali matyti tam tikro dydžio objektus, pagal objekto vietos ir krypties nustatymo tikslumą, pagal gebą atskirti vieną objektą nuo kito, aptikti reikalingą aidą, kai jį supa pašaliniai signalai, atpažinti objekto rūšį pagal jo patikimumą ir tinkamumą. Radarai būna antžeminiai, laivų, orlaivių, raketų, kosminiai. *Navigaciniai radarai* skenuoja plačią erdvę du ar keturis kartus per minutę. Jie naudoja labai trumpas bangas, kurios atsispindi nuo žemės, akmenų ar kitų kliūčių. Tokiais radarais aprūpinami laivai ir orlaiviai. *Paieškos radarai* skenuoja erdvę 2–4 minučių intervalu trumpų radijo bangų impulsais. Paieškos radarai, naudojantys Doplerio efektą, gali iš transporto srauto išskirti judančią transporto priemonę. *Kryptiniai radarai* veikia pagal tą patį principą kaip ir paieškos radarai, bet kur kas dažniau, dažniausiai kelis kartus per sekundę ar net dažniau, skenuoja gerokai mažesnę erdvę. *Meteorologiniai radarai*, kurie dar vadinami Doplerio orų radarais, gali suteikti informaciją apie audros ar kito meteorologinio reiškinio judėjimo kryptį. Kai radaro spindulys susiduria su objektu atmosferoje – tarkime, lietaus lašeliu, lašelis spindulio energiją išsklaido į visas puses ir sugeria (absorbuoja). Į radarą grįžta tik labai nedidelė

pradinės išsiųstos spindulio energijos dalis. Pavyzdžiui, skenuojant smarkios audros debesį, į radarą grįžtanti energija dėl atmosferos dujų gali sumažėti apie 5 %, o dėl lietaus ir krušos – net 80 % (13.12 pav.).

Objekto aptikimo radijo bangomis sistema pirmiausiai buvo patentuota JAV 1933 metais. Tolesni tyrimai ir raida buvo paslėpti po karinės paslapties skraiste. 1935 m. D. Britanijoje buvo sukurtas pirmasis praktiniam panaudojimui tinkamas radaras, skirtas orlaiviams aptikti. Antrojo pasaulinio karo metu abi kovojančios pusės radarus naudojo labai plačiai. Po karo radarai buvo naudojami ne tik kariniams tikslams, bet ir civilinei oro eismo kontrolei. Ankstyvojo ar tolimojo įspėjimo radarai naudoja 10 m ilgio radijo bangas, tačiau didelės raiškos sistemose bangų ilgis sutrumpėja iki 10 cm. 1933 m. „Bell Telephone Laboratories“ nustatė, kad radijo bangas generuoja žvaigždės. Šis atradimas pradėjo naujos astronomijos krypties – radijo astronomijos – erą, kuri labai išplėtė žinias apie žvaigždžių atsiradimo ir gyvavimo procesus. Šiuo metodu buvo aptikta daug optiniais teleskopais nematomų žvaigždžių. Radijo astronominiams stebėjimams naudojamos didžiulės antenos. Viena iš didžiausių antenų yra Puerto Rike. Aresibo observatorijoje, arba Nacionaliniame astronomijos ir jonosferos centre, įrengtu 305 m skersmens radijo teleskopu galima aptikti objektus, nuo žemės nutolusius per 15 000 milijonų šviesmečių.



13.12 pav. Radaro spindulio sklaidos priklausomybė nuo matavimo aukščio (Radar-hauteur-en.svg.)

14 SKYRIUS
SPAUSDINIMAS

Spausdinimas, arba poligrafija, – technikos šaka, apimanti spaudos produkcijos gamybą ir įrenginius, kuriais gaunamas reikiamas kiekis vienodų originalo kopijų. Poligrafinis procesas skirstomas į 4 svarbiausius etapus: *spaudinių rengimas spausdinimui, spaudos formų gamyba, spausdinimas* ir *spaudinių apdorojimas*. Pirmame etape tekstas spaudos formai renkamas rinkimo mašinomis – monotipu arba linotipu, kompiuteriu, rankomis arba fotografiniu būdu, perrašomas rašomąja mašinėle, tvarkomos iliustracijos, maketuojama, skaidomos spalvos, rastruojamos toninės iliustracijos. Vėliau daromi bandomieji atspaudai. Spaudos formos gaminamos negatyviniu kopijavimu, pozityviniu kopijavimu fotografinio rinkimo mašinomis, lazeriniuose spaudos formų įrenginiuose, skaitmeninėse spausdinimo mašinose ir kt. Spausdinama spaustuvėse spausdinimo mašinomis. Klasikiniai spaudos būdai: *iškiliaspaudė* ir jos atmaina *fleksografinė* spauda, *plokščiaspaudė, giliaspaudė, trafaretinė spauda*. Naujieji spaudos būdai: elektrofotografija, čiurkšlinė spauda, rašalinė spauda, termografinė spauda (14.1 lentelė). Galutinis etapas – spaudos produkcijos apdorojimas, t. y. brošiūravimas ir įrišimas.

POLIGRAFIJOS IŠTAKOS

Poligrafijos pradžia laikytina *ksilografija*, kuria VIII–IX a. Kinijoje buvo spausdinamos knygos ir lakštinės grafikos kūriniai. Ksilografinio spausdinimo principas, t. y. daugelio atspaudų gavimas iš vieno originalo (klišės), buvo žinomas labai seniai, tačiau nebuvo taikomas knygoms gaminti. VI–V a. pr. m. e. budistų vienuoliai svarbius tekstus iškaldavo akmens plokštėse – stelose. Vėliau, nuo V–VII m. e. a., nuo šių stelų buvo nuimami estampai. Prie akmens plokštės su tekstu buvo prispaudžiami keli šlapi popieriaus lapai. Lengvai plakant plaktuku popierius įsispausdavo į raidžių įdubimus. Vėliau, ištepus lapą juodais dažais, raidžių įdubimai likdavo nenudažyti. Jau V–VI a. Kinijoje buvo praktikuojami du

14.1 lentelė. Spausdinimo būdai

Spausdinimo būdas	Naudojimo pradžia
Spausdinimas nuo išdrožinėto medinio paviršiaus	200 m. e. m.
Spausdinimas naudojant surenkamas literas	1040
Spaudos presas	1440
Ėsdinimas	1515
Mecotintas	1642
Akvatinta	1772
Litografija	1796
Chromolitografija	1837
Rotacinis presas	1843
Hektografija	1869
Ofsetinė spauda	1875
Mimeografija	1886
Fotostatinė spauda	1907
Spiritinis duplikatorius	1923
Taškinis spausdinimas	1925
Kserografija	1938
Rašalinė spauda	1951
Dažų sublimacijos	1957
Lazerinė spauda	1969
Terminė spauda	1972
3D spauda	1981
Kietų dažų (miltelių) spauda	1986
Skaitmeninė spauda	1991

pagrindiniai masinio kopijų gaminimo būdai – estampavimas ir ksilografija. Spausdinant *ksilografiniu būdu* medinėje lentoje būdavo padaromas veidrodinis (atvirkščias) raidžių ir paveikslų piešinys. Tarpai tarp linijų išpjaustomi. Susidarydavo iškili, reljefinė spausdinimo forma. Reljefas būdavo ištepamas dažais, tuomet kauleliu arba lentele prie formos

pritrinamas popieriaus lapas. Dažai nuo formos atsispausdavo popieriuje ir buvo gaunamas tiesioginis atspaudas.

Spauda rinkimo būdu buvo išrasta Kinijoje XI amžiuje. Iš lipnaus molio buvo išpjaunami ploni reljefiniai spaudos ženklai, kurių kiekvienas vaizdavo tam tikrą hieroglifą. Šių spaudmenų rinkinys pritvirtinamas prie plokščios lentos. Formos paviršių ištepus dažais ir prispaudus popierių, gaunamas spausdintas atvaizdas. XIII a. Kinijoje pirmą kartą buvo panaudoti alavo ir medžio spaudmenys.

Ksilografinė spauda Europą pasiekė per mongolus – užkariavę Kiniją jie perteikė Europai kinų ksilografinę spaudą. Nuo XIV a. europiečiams žinoma ksilografinė spauda pasiekė gana aukštą meninį lygį ir ypač paplito Venecijoje, Vokietijoje ir Olandijoje.

Spausdinant ksilografines knygas buvo naudojami presai, spausdinimo staklių prototipai, jau naudojami knygrišystėje. Knygų apdarų odoje knygrišiai metalo spaudmenimis įspausdavo knygų antraštes, jų savininkų pavardes bei herbus. Spaudos išradėju pripažįstamas Johanas Gutenbergas, kuris pirmasis (apie 1456 m.) Europoje išspausdino knygą renkamomis metalinėmis raidėmis.

Svarbiausias jo išradimas buvo spaudmenų liejimo technologija. Norint išlieti spaudmenis, pirmiausia reikėjo sukurti specialų prietaisą. Šis prietaisas buvo stačiakampė liejamoji forma su atidaroma sąvara. Jos apačioje įdedama metalo plokštelė (motis) su raidės (ar skaičiaus) ženklu, kuris įspaudžiamas punsonu, turinčiu iškilų ženklo reljefą (raidės vaizdas punsone atvirkščias, lyg veidrodyje). Įdėjus plokštelę, liejamoji forma uždaroma ir iš viršaus pripildoma lydyto metalo. Po ilgų bandymų J. Gutenbergas pasirinko lydinį iš 70 dalių švino, 25 dalių alavo ir 5 dalių stibio. Metalui sukietėjus, susidaro metalinė lazdelė su iškilaus reljefo veidrodiniu raidės atvaizdu viename jos gale. Ši lazdelė ir yra spaudmuo, kuriuo spausdinama. Metaliniai spaudmenys būdavo laikomi spaudmenų kasoje – dėžėje su skyriais (14.1 pav.). Viršutiniuose kasos skyriuose būdavo didžiosios raidės ir skyrybos ženklai, apatiniuose skyriuose – mažosios raidės. Rinkėjas, turėdamas prieš akis ant lentelės pritvirtintą lapą su renkamu tekstu, vienoje rankoje laikydavo rinktuvą, kita ranka surinkdavo jame teksto eilutę ir perkeldavo ją į spausdinamąją formą.



14.1 pav. Surinktas tekstas ir metalinių spausdinimo raidžių kasa (Metal movable type.jpg.)

Spausdinimo staklės (presas) buvo medinės, tik atskiros dalys metalinės. Pagrindinė staklių dalis buvo medinis sraigtas su svirtimi ir ištraukiamas stalas – taleris. Sraigtas viršuje buvo įsukamas į veržlę, o apačioje baigėsi keturkampe metaline plokšte – pianu, arba tigliu. Sukant veržlę, sraigtas su pianu galėjo pakilti arba nusileisti. Ant talerio, įstumiamo po pianu, padėdavo spausdinamąją formą su vienu, dviem ar keliais surinkto teksto rinkiniais. Rinkinį suveržDavo stipriais siūlais, kad spaudmenys nebyrėtų ir nejudėtų. Tuomet lygiu plonu sluoksniu užtepdavo dažų. Paruoštą spausdinamąją formą įstumdavo po presu. Presuotojui pasukus svirtį, popierius buvo stipriai prispaudžiamas prie spausdinamosios formos ir ant popieriaus lapo atsirasdavo antspaudas. Spausdinant metaliniais spaudmenimis, nebetiko paprastas rašalas, todėl J. Gutenbergo tipografiniai dažai buvo gaminami iš suodžių ir sėmenų aliejaus.

J. Gutenbergo spausdinimo presas padarė perversmą knygos istorijoje, nes buvo greitas ir efektyvus. Iki jo knygos buvo perrašinėjamos rankomis. Jų turėjo nebent vienuolynai, mokslo įstaigos ir labai turtingi žmonės. Šis spausdinimo būdas atvėrė kelią spaudai. Knygos padėjo plisti įvairioms žinioms, tobulėti ir lavėti visuomenei. Žymiausias J. Gutenbergo leidinys yra 42 eilučių Biblija, išspausdinta Mainco mieste (Vokietija) 1452–1455 metais. Tai – poligrafinio meno šedevras, viena gražiausių ir brangiausių pasaulyje knygų, išspausdinta lotynų kalba, gotiškos tekstūros šriftu su rankraštinei knygai būdingu puošnumu. 1445 m. J. Gutenbergas išspausdino „Sibilės knygos“ fragmentą „Paskutinysis teismas“, 1454 m. – „Turkų kalendorių“, 1460 m. – pirmą pasaulietinę spausdintą mokslo knygą (gramatiką su etimologijos žodynu) „Katolikonas“ ir kt.

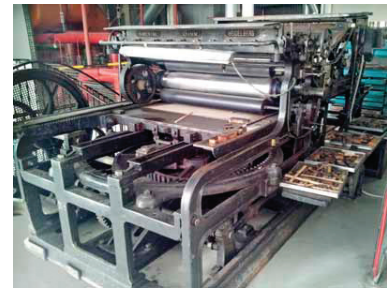
1455 m. nuo J. Gutenbergo atsiskyrę keli mokiniai išplatino šį išradimą ne tik Vokietijoje, bet ir visoje Europoje. Staigus knygų spausdinimo plitimas Europoje liudija, kad šis išradimas buvo pribrendęs. Dar

J. Gutenbergui gyvam esant knygos intensyviai spausdinamos Vokietijoje ir Italijoje, o netrukus spauda persimetė ir į kitas Europos šalis. Spaustuvės pradėjo veikti Strasburge – 1458 m., Kelne – 1465 m., Augsburge – 1468 m., Niurnberge – 1470 m., Bazelyje – apie 1470 m., Romoje ir Venecijoje – 1469 m., Paryžiuje – 1470 m. ir kituose miestuose ar šalyse. Nuo J. Gutenbergo leidinių pasirodymo iki 1500 m. pabaigos pasaulyje buvo spausdinama 200–300 miestuose ir vietovėse, veikė 1 100–1 700 spaustuvių. J. Gutenbergo spausdinimo procesas beveik nepakitęs išliko tris su puse šimtmečių.

XV a. išspausdinti leidiniai paprastai vadinami „inkunabulais“. Nuo šiuolaikinių knygų jie skiriasi tuo, jog neturi antraštinių lapų, leidimo duomenys nurodomi knygos pabaigoje, tekste neišskiriamos pastraipos, nauja eilute pradedami tik skyriai, o pastraipų bei skyrių pradžia paženklinta raudonais dažais – rubrikomis. Vilniaus universiteto biblioteka turi vieną turtingiausių Lietuvoje ir Europoje retų spaudinių rinkinį – apie 300 inkunabulų. XVI a. I pusėje (1501–1550) išspausdintos knygos vadinamos paleotipais. Vilniaus universiteto bibliotekoje saugomi 1 409 pavadinimų paleotipai, tarp jų Martyno Mažvydo „Katekizmas“ (1 547), pirmoji LDK spausdinta knyga – Pranciškaus Skorinos „Apaštalas“ (1 525), pirmoji knyga prūsų kalba „Prūsų katekizmas“ (1 545) ir kt. 1796 m. A. Senefelderis Vokietijoje išrado plokščiaspaudę (litografinę) spaudą. Vėliau, 1810 m., F. Konigas (Vokietija) sukūrė plokščiaspaudę mašiną su spaudimo cilindru ir spausdinimas labai pagreitėjo. 1839 m. L. Daguerre'ui (Prancūzija) išradus fotografiją, klišes pradėta gaminti fotocinkografijos būdu. Teksto rinkimas mechanizuojamas O. Mergentaleriui (JAV) 1884 m. atradus linotipą. Atsiradusios rotacinės spausdinimo mašinos pagreitino didelių tiražų spausdinimą. 1904 m. W. Rubelis ir K. Hermanas (abu JAV) išrado netiesioginę ofsetinę spaudą, 1938 m. Ch. Carlsonas (JAV) – elektrofotografiją. 1951 m. sukurta fotografinio rinkimo sistema, o 1975–1976 m. – pirmieji lazeriniai spausdintuvai (bendrovėse IBM ir „Canon“). Apie XX a. vidurį pradėta kompleksinė poligrafijos procesų mechanizacija ir automatizacija.

Europoje spauda plito didele sparta. Italijoje buvo sukurti du spaudos šriftai – romėniškas ir kursyvas, kuriais iki šių dienų remiasi visi Vakarų civilizacijos naudojami šriftai. XV a. pradžioje pasirodė spausdintos knygos apie

kalnakasybą, metalurgiją, metalų bandymus, stiklo gamybą ir distiliavimą, o netrukus ir periodiniai spaudos leidiniai. Pirmasis spausdintas D. Britanijos Karališkosios draugijos leidinys *Philosophical Transactions* išėjo 1665 metais.



14.2 pav. Heilderbergo ofsetinė spausdinimo mašina (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

1814 m. mašininiu būdu buvo išleistas pirmasis laikraštis. Spausdinimo mašina per valandą galėjo atspausti 1 100 lapų. 1827 m. spausdinimo greitis išaugo iki 4 000 lapų per valandą, o praėjus dar dvidešimčiai metų, rotacinė spausdinimo mašina per valandą galėjo atspausti net 8 000 lapų. Naudojant pastarąjį spaudos būdą spaudos forma yra ne plokščia, o gaubianti cilindrinį veleną (14.2 pav.).

Nuo 1830 m. iliustracijos spausdinamos litografiniu būdu. Litografija – tai plokščiaspaudės grafikos technika, kai naudojamas litografinis akmuo (klintis). Spausdinamieji elementai piešiami litografiniu tušu arba litografiniu pieštuku tiesiai ant šlifuoto akmens arba litografiniame popieriuje (gruoblėto paviršiaus su specialiu posluoksniu). Dailininkas piešia akmens paviršiuje riebiu pieštuku ir ėsdina jį rūgštimi. Rūgštis nepaveikia įriebintų akmens vietų, o prie sudrėkintų vietų, kurias ji paveikia, nelimpa spaustuviniai dažai. Piešinys, sukurtas litografiniame popieriuje, atspaudžiamas ant akmens. Spalvotos litografijos (chromolitografijos) spausdinamos nuo kelių akmenų. Litografijos formų gamybai reikėjo nemažai dailininkų. Fotografija atsirado ir pradėjo plisti nuo 1820 m. pabaigos, tačiau nuotraukų padauginimas (reprodukcija) nebuvo spartus. Tik 1880-aisiais pasirodė išgraviruotos fotografijų plokštės, kurios galėjo būti dauginamos poligrafijos būdu.

Fotografinis vaizdas būdavo projektuojamas ant kryžmiškomis linijomis subraižyto ekrano, kuris sukurdavo iš tūkstančių taškų susidedantį atvaizdą. Žvelgiant iš tam tikro atstumo susidarydavo toninių variacijų iliuzija. Iš tokio „taškinio“ negatyvo būdavo gaminama jautrinto paviršiaus spausdinimo plokštė. 1887 m. buvo sukurta „monotipo“ spausdinimo plokštės paruošimo

sistema. Monotipas – tai automatinė raidžių liejimo ir rinkimo mašina, kurią sudaro programinis įtaisas ir raidžių liejimo automatas. Spaudydamas programinio įtaiso klaviatūros klavišus operatorius perforuoja popieriaus juostą, valdančią raidžių liejimo automatą, – užprogramuoja spaudos ženklus ir tarpus. Įdėjus perforuotą juostą į liejimo aparatą, gaunamas iš atskirų literų sudarytas rinkinys iškiliosios spaudos formai. Atsiradę kompiuteriai palengvino ne tik teksto rinkimą. Spausdinimo matricų gamyba, pasitelkus skysto metalo liejimo technologiją, tapo praeitimi.

SPALVOTOJI SPAUDA

Spalvotas spausdinimas – tai vaizdo ar teksto spalvos sukūrimas kopijoje. Ankstyvuosiuose spaudiniuose buvo spalvinama rankiniu būdu. Spausdintose knygose būdavo paliekama vieta inicialams, rubrikoms, miniatiūroms ir kitiems elementams, kuriuos vėliau atlikdavo rankomis. Techninė spalvotos spaudos pažanga priklausė nuo tinkamų teorinių žinių, kaip galima sukurti bet kokią spalvą maišant tris pagrindines spalvas – raudoną, mėlyną ir geltoną. Buvo ieškoma būdų, kaip išgauti originalių spalvų spektrą vietoj skirtingo intensyvumo geltonos, raudonos ir mėlynos spalvos dažų taškų rinkinio. Siekiant pagilinti matomus tonus, prie šių trijų pagrindinių spalvų buvo pridėta ketvirta spalva – juoda.

Chromolitografija – spalvotosios litografijos technika, kai kiekviena spalva spaudžiama nuo kito litografinio akmens. Atsirado XIX a. viduryje Prancūzijoje. Litografinius akmenis vėliau pakeitė cinkografija, kuri iki 1930 m. liko labiausiai paplitusiu spalvoto spausdinimo būdu.

SPAUSDINIMAS BIURE

Pirmąją rašomąją mašinėlę išrado anglų išradėjas Henry'is Millas, kuris šį spausdinimo būdą užpatentavo 1714 metais. Pirmoji rankinio darbo mašinėlė pasirodė apie 1840 metus. 1866-aisiais Austrijoje ją sukūrė išradėjas Piteris Miterhoferis, bet jo projektas nebuvo plėtojamas. Mašinėlė 1868 m. buvo patentuota. Atsitiktinai su mašinėlės projektu susipažino kitas žymus išradėjas Christopheris Sholes'as. Prie jo prisijungęs Carlosas Gliddenas

rūpinosi lėšomis. Jų patobulintą modelį 1874 m. pradėjo gaminti amerikiečių ginklų gamybos firma „Remington“. Ch. Sholes'o rašomojoje mašinėlėje vietoje dabartinio raidyno segmento po velenėliu buvo horizontalus ratas su pakabintomis raidžių svirtimis, kurios traukomis buvo sujungtos su apačioje esančiais klavišais. Nuspaudus klavišą, patraukta svirtis galu suduodavo į velenėlį iš apačios. Tarp raidyno rato ir velenėlio buvo rašomoji juostelė (kaspinas). Pirmasis jų sukurtas modelis priminė pianiną – turėjo dviem eilėmis išdėstytus juodus ir baltus klavišus. Pirmoji eilė buvo padaryta iš dramblio kaulo, o antroji – iš juodmedžio, likusi konstrukcija buvo medinė. Skaičių 0 ir 1 nebuvo, nes buvo manoma, kad pakanka raidžių O ir I. „Remington“ vadovai vieną mašinėlę padovanojo amerikiečių rašytojui Markui Tvenui. Garsi pavardė turėjo įtakos – mašinėlių paklausa išaugo ir jas pradėta gaminti pramoniniu būdu. 1898 m. Franzas Wagneris sukonstravo segmentinę mašinėlę, kurioje spausdinamas tekstas jau buvo matomas, nes svirtelės buvo horizontalios. Šią idėją palaikęs verslininkas Johnas Thomas Underwoodas nusipirko Wagnerio įmonę ir pradėjo „Underwood“ rašomųjų mašinėlių masinę gamybą. Ši mašinėlė ir tapo dabartinių rašomųjų mašinėlių prototipu.

XX a. pradžioje spausdinimo mašinėlės sparčiai populiarėjo ir 1970-aisiais pasiekė savo „aukso amžių“. Dar po dešimties metų iš rinkos jas ėmė stumti tobulesnės, turinčios atminties įrenginį, spausdinimo mašinėlės, o rašomųjų mašinėlių erą užbaigė atsiradę kompiuteriai (14.3 pav.)

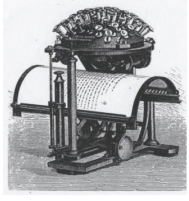
1873 m. Ch. Sholes'as ir C. Gliddenas pirmieji išdėstė raides abėcėlės tvarka (14.4 pav.). 1881 m. Niujorke buvo atidarytos klasės, kuriose jaunos moterys buvo mokomos rašyti mašinėle. Po penkerių metų JAV per 60 000 moterų mokėjo rašyti mašinėle. Rašomoji mašinėlė iš esmės pakeitė įstaigų darbo stilių ir suteikė milijonams moterų galimybę ieškoti darbo vietų ten, kur jų anksčiau nebuvo.



14.3 pav. Rašomoji mašinėlė „Underwood 5“ (1920s Underwood SE layout.JPG.)



14.4 pav. Ch. Sholes'o ir C. Gliddeno rašomoji mašinėlė, 1874 m. (Sholesglidden2.png.)



14.5 pav. R. Mallingo-Hanseno rašomoji mašinėlė, 1870 m. (Skrivekugle.jpg.)

Nors Ch. Sholes'o ir C. Gliddeno gamybos rašomoji mašinėlė paprastai laikoma pirmąja istorijoje, tačiau kelerius metus ją buvo nurungęs Hanseno spausdinimo kamuolys (galvutė), kurį 1865 m. išrado danas Rasmusas Mallingas-Hansenas. Ši mašinėlė rašė tik didžiosiomis raidėmis ir buvo ergonomiškai nepatogi. Ryškiausias rašymo kamuolio bruožas buvo styranti mašinėlės viršuje pussferė, kuri atrodė kaip didelė pagalvėlė, prismaigstyta 52 klavišų (14.5 pav.). Pirmoji šio modelio rašymo mašinėlė buvo pagaminta 1865 metais.

Pirmoji elektrinė rašomoji mašinėlė buvo pagaminta 1902 metais. Nors po jos atsirado kitokių konstrukcijų elektrinių rašomųjų mašinėlių, bet įstaigose iki 1950 m. jos plačiai nebuvo naudojamos (14.6 pav.). 1961 m. IBM atsisakė spausdinimo svirtelių ir judančios karietėlės ir jas pakeitė judančia „golfo kamuoliuko" tipo galvute. Kitas patobulinimas buvo automatinė spausdinimo proceso kontrolė. Pradžioje ją atliko perforuoto popieriaus juostelė, o vėliau elektroniniu būdu tai darė kompiuteris. Svarbi naujovė buvo „pastūmos klavišas", kurį paspaudus paveikiamas arba popieriaus padavimo velenėlis, arba pats spausdinimo blokas. Kiekvienos spausdinimo svirtelės gale buvo du skirtingi simboliai. Kuris iš jų atsiras popieriuje, priklausė nuo „pastūmos klavišo" padėties.

Spausdinimo klavišuose buvo mažosios ir didžiosios raidės, skaičiai ir kai kurie specialūs simboliai (pvz., %).



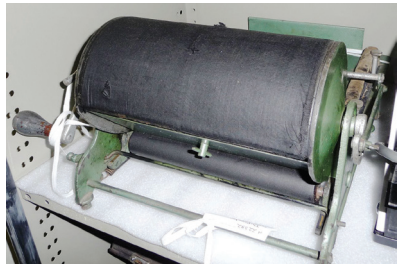
14.6 pav. IBM firmos elektrinė rašomoji mašinėlė, 1950 m. (IBM-Schreibmaschine.png.)

Elektrinėse rašomosiose mašinėlėse nebeliko tiesioginio mechaninio ryšio tarp klavišų ir popierių kertančių spausdinimo svirtelių. Šių mašinėlių negalima painioti su vėlesnėmis elektrinėmis rašomosiomis mašinėlėmis. Elektrinėse rašomosiose mašinėlėse buvo tik vienas elektrinis komponentas – elektros variklis. Šioje mašinėlėje judesį spausdinimo svirtelei suteikdavo ne mechaninis klavišo paspaudimas, bet elektros variklio judesys. Trečiojo tūkstantmečio pradžioje, pradėjus dominuoti asmeniniams kompiuteriams, pigiems ir kokybiškiems lazeriniams ir rašaliniams spausdintuvams, įvairioms komunikacinėms technologijoms, rašomųjų mašinėlių svarba sumenko ir jos išnyko.

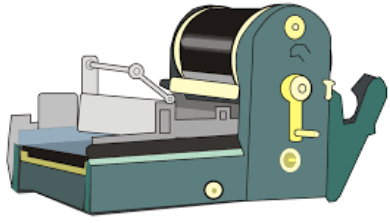
KOPIJAVIMAS

Kopija – tikslus teksto, brėžinio, iliustracijos atgaminimas iš bet kokios informacijos laikmenos. Asmenims ar įstaigoms dažnai dokumento originalo nepakanka, todėl tenka daryti kopijas. Daugiausia daromos siunčiamos ir gaunamos korespondencijos kopijos. Kartais platinamos įvairių dokumentų (projektų, ataskaitų ir kt.) kopijos. Rankinis kopijavimas buvo išrastas apie XVII a. vidurį. Įstaigoms buvo svarbus 1780 m. sukurtas laiškų kopijavimo presas. 1876 m. buvo sukurtas ir paplito hektografo procesas, skirtas tekstui ir iliustracijoms dauginti. Hektografą sudaro plokščia dėžė, į kurią lygiu sluoksniu pripilama drebučių iš želatinos, glicerino bei vandens. Kopijavimui skirtas tekstas rašomas specialiu anilino rašalu (spiritinis organinio ar neorganinio pigmento tirpalas). Originalas minutei ar dviem prispaudžiamas prie drebučių paviršiaus, rašalo pigmentas iš originalo pereina į želatininį paviršių ir originalo atvaizdas lieka drebučių paviršiuje. Ant drebučių paviršiuje matomo vaizdo spaudžiant švarius lapus galima gauti iki šimto kopijų. Kopijuojant kiekvieną kartą dalis pigmento iš želatinos pereina ant popieriaus, todėl tolesnės kopijos būna vis blankesnės.

Mimeografijos procesą 1884 m. sugalvojo Alberto Blake'as Dickas. Storu vaško sluoksniu padengtame popieriuje smaila adatėle ar rašomosios mašinėlės literomis buvo padaromos mažos skylutės, pro kurias dažai nuo volelio galėjo patekti ant rašomojo popieriaus. Paprasčiausias mimeografas – tai trafaretas su išpjautomis raidėmis, kurios atspaudžiamos ant bet



14.7 pav. Duplikatorius (Mimeograph – The National Duplicator.JPG.)



14.8 pav. Rotatorius (mimeografas) (Mimeograph.svg.)

kurio paviršiaus dažais padengtu voleliu. 1905 m. buvo sukurtas cilindrinis kopijavimo aparatas, kuriame trafaretas buvo apsukamas ant cilindrinio būgno. Sukdamasis būgnas liečia rašomąjį popierių ir ant jo palieka pro skylutes prasiskverbusius dažus (14.7, 14.8 pav.). Prietaisas su vienu trafaretu galėjo padaryti 50–75 kopijas.

Amerikietis Chesteris Carlsonas 1937 m. užpatentavo pirmąjį fotokopijuoklį, o 1949 m. jis jau buvo rinkoje. Šis elektrostatinis kopijavimo aparatas buvo pavadintas kserografu.

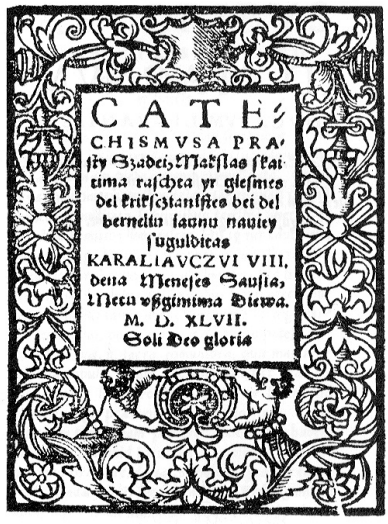
Kserografija, arba elektrofotografija, – atvaizdų gavimo didelės varžos puslaidininkyje būdas, pagrįstas fotolaidumu. Kserografe puslaidininkio (elektrofotografinis) sluoksnis (seleno, arseno triselenido) tolygiai įelektrinamas. Į įelektrinto sluoksnio paviršių regimąja šviesa projektuojamas vaizdas. Sluoksnyje susidaro elektrinio lauko reljefas, kuris išryškinamas įelektrintomis dažų dalelėmis. Ant tokio paviršiaus uždėjus popieriaus lapą gaunama originalo kopija.

XX a. II pusėje buvo paplitęs kopijavimas naudojant kalkinį popierių (kalkę). Šiuo būdu buvo galima padaryti 5–7 kopijas. Viena kalkinio popieriaus pusė buvo padengta juoda arba kitų spalvų danga. Ant rašomojo popieriaus lapo dedamas kalkės lapas, ant jo vėl rašomojo popieriaus lapas ir t. t. Toks sluoksniuotas popieriaus paketas buvo dedamas į rašomąją mašinėlę ir spausdinamas tekstas. Pirmajame lape likdavo mašinėlės juostelės palikti dažų pėdsakai, o tolimesniuose lapuose pėdsaką palikdavo kalkė. Į paketą sudėtos įvairių spalvų kalkės atspausdavo skirtingos spalvos kopijas.

SPAUSDINIMO RAIDA LIETUVOJE

Pirmosios spausdintos knygos pasiekė Lietuvą dar iki Reformacijos pradžios. Lietuvoje pirmoji iškiliaspaudės spaudos knyga rankinėmis staklėmis buvo išspausdinta 1522 m. Vilniuje, Pranciškaus Skorinos spaustuvėje. Nors P. Skorina įkūrė pirmąją spaustuvę Vilniuje, bet lietuviškų knygų jo įmonė nespausdino. Čia buvo atspausdinta „Mažoji kelionių knygelė“, o po dvejų metų ir antroji knyga – „Apaštalas“. Abi knygos parašytos kirilica – senąja slavų kalba. XVI a. pradžioje raštininkai ar knygų perrašytojai baiminosi spausdintos knygos konkurencijos ir priešinosi šios technologijos plėtrai. Spaustuvės net buvo deginamos, o spaustuvininkai turėjo bėgti į kitus kraštus ar valstybes. Tokius bėglius iš Rusijos į savo netoli Gardino buvusį dvarą yra priėmęs LDK didysis etmonas Jonas Chodkevičius. 1523 m. Karaliaučiuje pradėjusi darbą H. Weinreicho spaustuvė 1545 m. išleido pirmąją knygą prūsų kalba, o 1547 m. – pirmąją lietuvišką knygą. Pirmoji lietuviška knyga – M. Mažvydo *Catechismusa prasty szadei* – išspausdinta 1547 m. Karaliaučiuje. Tai buvo nedidelio formato (18 × 11 cm) 79 puslapių leidinys, atspausdintas gotikiniais rašmenimis, nors skyrių pavadinimai ir kai kurie tekstai buvo parašyti ir lotyniškais rašmenimis. Lotyniškas tekstas atspausdintas labai tolygiai, bet gotikiniai rašmenys dažnai yra nevienodi ir neaiškūs. Matyt, spaustuvės technika nebuvo aukštos kokybės, o gal buvo prasta dirbančiųjų kvalifikacija. Spausdinant literos dyla ir jas reikia pakeisti naujomis. Spausdinant M. Mažvydo knygą tam nebuvo skirta dėmesio. Spausdintų kopijų galėjo būti 200–300. Knygoje yra lietuvių kalbos pradžiamokslis su abėcėle, aiškiai sekančia lotynišką kalbos struktūrą, bet pirmą kartą pritaikyta lietuviškiems kalbos garsams (14.9 pav.).

Seniausia LDK išleista knyga – M. Daukšos išverstas J. Ledesmos *Kathechismas arba mokslas kiekwienam krikszczionii priwalvs* – išspausdinta Vilniuje 1595 metais. Knygas bažnytinėmis slavų, rusų ir lenkų kalbomis leidę stačiatikių Šv. Dvasios ir Šv. Trejybės vienuolynai Vilniuje ir Vievyje turėjo spaustuves. XVI–XVII a. LDK teritorijoje buvo 36 spaustuvės. Spausdintos knygos keitė archajišką Lietuvos kultūrinį požiūrį į raštingumą. Raštingumo būtinybė tapo akivaizdi. Deja, visuomenės raštingumo augimas sutapo su LDK lietuvių diduomenės atsiskyrimu nuo savo tautinių šaknų


CATE=
CHISMVSA PRA=
ſty Szadei, Mokſlas ſtai=
tima raſchta yr gieſmes
del krikſczionyſtes bei del
berneliu launu nauiey
ſugulditas
KARALIAVCZVI VIII,
dena Meneſes Sauſia,
Metu vßgimima Diewa.
M. D. XLVII.
Soli Deo gloria

14.9 pav. Martyno Mažvydo *Catechismus*, 1547 m. (Mazvydo katekizmas.jpg.)

ir prisišliejimu prie kitų tautų kalbos ir kultūros. XVIII–XX a. pr. išleistos pirmosios grožinės literatūros knygos lietuvių kalba: Ezopo pasakėčių vertimas (1706), A. Strazdo *Giesmies svietiszkas ir szvintas* (1814), K. Donelaičio *Metai* (1818). Nuo XIX a. 6 dešimtmečio Lietuvoje atsirado plokščiojo spausdinimo mašinos. 1906 m. Vilniuje imta naudoti linotipą ir rotacinę spausdinimo mašiną. Prieš Pirmąjį pasaulinį karą Vilniuje atsirado cinkografija. Pirmoji litografijos spaustuvė Lietuvoje įkurta 1920 m. Vilniaus universitete, o pirmuoju litografu tapo Vilniaus teatrų dekoratorius Józefas Hiliary Głowackis. 1928 m. Kauno „Spindulio“ spaustuvėje pradėta spausdinti ofsetu, 1938 m. – giliaspaude. Nuo 1953 m. ofseto formos gaminamos fotomechaniniu būdu, įdiegtas fotografinis teksto rinkimas. Nuo 1990 m. pradėta plačiai naudoti kompiuterines sistemas. Iki 1990 m. Lietuvoje poligrafijos moksliniai tyrimai buvo atliekami Vilniaus Elektrografijos institute ir konstravimo biure „Orgtechnika“. Nuo 1997 m. poligrafijos specialistai rengiami Vilniaus Gedimino technikos ir Kauno technologijos universitetuose ir Kauno kolegijoje.

15 SKYRIUS
FOTOGRAFIJA

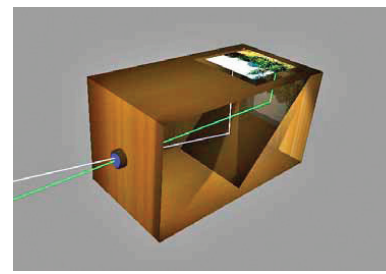
OPTINĖ FOTOGRAFIJA

Fotografija – vaizdų išsaugojimo būdas naudojant mechaninius, cheminius ar skaitmeninius metodus. Pirmoji pasaulyje fotografija *camera obscura* įtaisu buvo padaryta 1826–1827 m. prancūzų išradėjo Josepho Nicephore'o Niepce'o (15.1 pav.). *Camera obscura* yra optinis prietaisas (15.2 pav.). Jį sudaro dėžutė arba kambarys, kurio vienoje pusėje yra skylė. Šviesa, atsispindėjusi nuo išorėje esančio objekto, pro įrenginio skylę patenka ant įrenginio sienos ir atkuria jo apverstą vaizdą. XVI a. į *camera obscura* įstatytas lęšis sufokusuodavo ryškesnį vaizdą.



15.1 pav. Seniausia žinoma J. Nicephore'o Niepce'o fotografija, 1826–1827 m. (Nicéphore Niépce Oldest Photograph 1825.jpg.)

J. N. Niepce'as 1816 m. pradėjo ieškoti būdo, kaip užfiksuoti matomą vaizdą. Didžiausią atradimą jis padarė eksperimentuodamas su litografija – aptiko šviesai jautrią medžiagą, vadinamą Judėjos bitumu. Kombinuodamas šią šviesai jautrią medžiagą su užtemdyta kamera Niepce'as padarė pirmąsias pasaulyje nuotraukas. 1826 m. įdėjęs tokia medžiaga padengtą alavinę plokštelę į *camera obscura* ir pastatęs ją lange



15.2 pav. Optinis įrenginys *camera obscura* (tamsus kambarys) (Camera obscura box.jpg.)

palaikė aštuonias valandas. Išėjo blankus paveikslas, kuriame matyti namas, medis ir tvartas. Šviesai jautri medžiaga, natūralaus bitumo danga, buvo ištirpinama šviesiuose naftos produktuose ir tuo tirpalu ištepamas plokštelės paviršius. Po labai ilgos ekspozicijos *obscura* kameroje (aštuonias valandas, o galbūt keletą dienų) priklausomai nuo gaunamo apšvietimo stiprio bitumas sukietėja. Plokštelę panardinus į tirpiklį, nesukietėjęs bitumas nusiplauna, o sukietėjęs išlieka. Tokiu būdu ant plokštelės susidaro bitumu padengtos šviesios zonos ir pliko alavo – tamsios zonos. Vėliau, bitumą pakeitus jautresne derva ir keičiant ekspozicijos laiką, vaizdų kokybė gerėjo, tačiau pati ekspozicija vis vien tęsėsi valandas.

1833-iaisiais, J. N. Niepce'ui mirus, Louis Daguerre'as eksperimentavo fotografuodamas vaizdus tiesiai ant poliruotos, sidabru padengtos plokštelės. Pučiami jodo garai reagavo su sidabru ir plokštelės paviršiuje sudarydavo sidabro jodido dangą. Ekspozicijos laikas vis tiek buvo labai ilgas. Atsitiktinai L. Daguerre'as pastebėjo, kad nematomas vaizdas tampa matomu, jeigu plokštelės paviršius paveikiamas gyvsidabrio garais. Šiuo atveju ekspozicijos laikas sutrumpėja iki kelių minučių. Matomo atvaizdo stabilizavimui jis panaudojo šiltą druskos tirpalą, kuris pašalindavo likusį sidabro jodidą ir nuplautas atvaizdas nepatamsėdavo (15.3 pav.). Dagerotipija išplito visame pasaulyje ir egzistavo apie 15 metų.



15.3 pav. Dagerotipu padaryta nuotrauka, 1838 m. (Boulevard du Temple by Daguerre.jpg.)

Anglų fizikas Williamas Talbotas manė esąs fotografijos pradininkas. 1839 m. jis atrado veiksmingą vaizdo fiksatorių – natrio tiosulfatą ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$), tirpinantį sidabro druskas. Šis būdas pakeitė mažiau efektyvų plokštelės apdorojimą šiltu vandeniniu druskos tirpalu. Į *camera obscura* W. Talbotas dėdavo sidabro chloridu padengtus popieriaus lapus. Kad gautas negatyvas būtų permatomas, jį išvaškuodavo, vėliau užklodavo ant kito lapo, irgi padengto sidabro chloridu, ir palaikydavo prieš saulę. Šitaip gaudavo pozityvą. W. Talboto ankstyviesiems „sidabro chlorido" eksperimentams fotografavimo metu reikėjo valandos ar dar ilgesnės ekspozicijos. 1840 m. W. Talbotas išrado *kalotipijos* procesą, kuris sutrumpino ekspozicijos trukmę iki kelių minučių. Kalotipija yra ypatinga tuo, kad negatyvas buvo gaminamas iš popieriaus, įsotinto sidabro nitrato tirpalu bei apdoroto kalio jodidu. Prieš fotografuojant keletą valandų jodizuotas popierius apdorojamas sidabro nitrato tirpalu. Nufotografavus negatyvas fiksuojamas kalio bromido tirpale, tuomet perplaunamas vandenyje ir džiovinamas. Iš negatyvo galima atspausdinti pozityvą ant kalotipinio popieriaus, bet geresni rezultatai yra gaunami naudojant vadinamąjį *druskinį popierių*. Druskinio popieriaus paruošimui naudojamas įklijintas popierius, kurio formatas šiek tiek didesnis už negatyvo. Popierius mirkomas valgomosios druskos bei sidabro nitrato tirpale. Fotografinis vaizdas būdavo išgaunamas ant druskinio popieriaus uždėjus negatyvą ir kelias minutes palaikius ryškioje saulės šviesoje. Vėliau prieblandoje pozityvas išplaunamas vandenyje ir fiksuojamas. Iš to paties negatyvo galima gauti keletą pozityvų. Iš pradžių W. Talboto sumanytas fotografijos būdas nesulaukė didelio populiarumo, nuotraukos išeidavo ne itin ryškios. Tačiau, kita vertus, kalotipijos metodas buvo perspektyvesnis. Iš vieno negatyvo buvo galima padaryti norimą kiekį kopijų, be to, popieriniai atspaudai buvo pigesni ir praktiškesni už dagerotipus, kuriuos reikėjo labai saugoti, kad nesusigadintų. W. Talboto metodas yra ir šiuolaikinės fotografijos pagrindas.

1841 m. slovėnas Johannas Pucheris išrado fotografavimo procesą ant stiklo plokštelės. Jis padengė stiklo plokštelę šviesai jautriu sieros sluoksniu, palaikė ją jodo garuose ir taip paruoštą įdėjo į fotografavimo kamerą. Po kamera pastatė metalinį indą su gyvsidabriu ir jį pakaitino. Fotografinė



15.4 pav. Fotografavimo vežimas, 1855 m. (Roger Fenton's waggon.jpg)

plokštelė buvo apšviečiama 15 sekundžių, iš apačios kylantys gyvsidabrio garai padengė šviesos paveiktus plokštelės paviršiaus plotus. Vaizdas buvo paryškinamas bromo garais, užfiksuojamas alkoholiu ir plokštelė padengiama laku. Trumpa fotografavimo ekspozicija leido šį fotografavimo būdą taikyti portretų gamybai. Tačiau darbą apsunkino tai, kad lauke fotografuojantis fotografas turėjo gabenti daugiau nei 50 kg įrangos – fotoaparatą, distiliuotą vandenį, chemines medžiagas, plokšteles, padėklus ir net tamsų kambarį (15.4 pav.).

1851 m. Frederickas Scottas Archeris išrado *šlapio kolodijaus* procesą, kuris pakeitė kalotipijos ir dagerotipijos procesus. Šis procesas greitai išpopuliarėjo, nes buvo kur kas saugesnis ir patogesnis nei dagerotipija, o atvaizdai gerokai ryškesni už tuo metu taip pat naudotą kalotipiją. Šiuo metodu vaizdas sukuriamas ant stiklinės (ambrotipas), metalinės (ferotipas) ar akrilinės plokštelės. Visas procesas – plokštelės užliejimas kolodijumi, įjautrinimas, ekspozicija ir išryškinimas – turi įvykti vos per keletą minučių, kol plokštelė dar šlapia (iš čia ir pavadinimas – šlapias kolodijus). Džiūti pradėjusi plokštelė praranda jautrumą šviesai, ir nuotraukos padaryti nebeįmanoma. Eksponavimas trunka keliolika ar net keliasdešimt sekundžių. Fotografuoti žmones šlapio kolodijaus būdu yra iššūkis – reikia ilgai sėdėti nejudant, nes net menkiausias judesys pakenkia nuotraukos ryškumui. 1870 m. buvo išrastas *sausos plokštės* procesas.

1839 m. sukurtas pirmasis mikrofotografijos prietaisas, kuriuo pavyko įprasto dydžio vaizdus sumažinti 160 kartų. 1870–1871 m., Prancūzijos ir Prūsijos karo metu, Paryžius buvo apgultas, todėl vienintelis ryšys buvo pašto balandžiai. Kadangi jie galėjo skraidinti tik nedidelius popieriaus lapelius, buvo sukurtas būdas, sumažinantis mašinraščio dydžio tekstus.

Spausdinti tekstai buvo fotografuojami ant plonos (50 × 70 mm) koloidinės plėvelės. Iš 20 tokių filmų padaryta tūtelė buvo pririšama prie balandžio kojos. Atskraidinta informacija būdavo nuimama nuo balandžio kojos, išdidinama ir perskaitoma. Šiuo būdu buvo išsiųsta per 100 000 siuntų. Kiekvieną informacinį pranešimą skraidindavo 40 balandžių, nes buvo svarbu, kad nors vienas balandis kirstų priešo linijas ir pasiektų adresatą.

XIX a. 9 dešimtmečio antroje pusėje fotografijos darbai buvo nepigūs, o procesas tebebuvo sudėtingas. Nebrangios medžiagos tapo prieinamos tik atsiradus 35 mm pločio kino juostoms. Buvo sukurtos specialios fotografavimo kameros, kuriomis retos knygos, seni trapūs laikraščiai ar net banko čekiai galėjo būti archyvuojami perkeliant informaciją į stiprią ir ilgalaikę terpę. Kai 1888 m. George'as Eastmanas sukonstravo paprastą nešiojamąjį fotoaparatą „Kodak" su ritinine juostele, mėgėjiškai fotografijai atsivėrė plačios galimybės, ir fotografija tapo masinės rinkos pramonės šaka.

Šiandien neskaitmeninės fotografijos gamyba – tai dviejų pakopų cheminis procesas. Šviesai jautri fotografinė juosta užfiksuoja negatyvinį vaizdą. Iš negatyvo vaizdas perkeliamas į popierių, kuriame jis transformuojamas į pozityvą. Fotojuostą – šviesai jautrią medžiagą su plastišku, skaidriu pagrindu – sudaro plastikinė juosta (polietileno tereftalatas, nitroceliuliozė ar acetilceliuliozė), padengta fotoemulsija iš sidabro halogenidų grūdelių, lemiančių fotojuostos šviesos jautrį, kontrastą ir kampinę skyrą. Esant didesnei nei 40 °C temperatūrai, fotoemulsija yra klampus skystis, temperatūrai krentant jis kietėja. Ja plonu sluoksniu padengiamas juostos pagrindas. Po džiovinimo fotoemulsijoje susidaro šviesai jautrus fotomedžiagos sluoksnis. Fotojuostos būna juodai baltos ir spalvotos. Juodai baltoje juostoje paprastai yra vienas sidabro druskų sluoksnis. Po cheminio apdirbimo druskos virsta metaliniu sidabru – ant juostos atsiranda tamsios sritys, atitinkančios šviesias sritis nuotraukoje. Iš pradžių visos nuotraukos buvo monochromatinės. Nors spalvotų nuotraukų kūrimo metodai buvo žinomi jau 1861 m., tačiau jie netapo plačiai prieinami iki praeito šimtmečio vidurio. Netgi iki 1960-ųjų dauguma fotografijų buvo juodai baltos, nes jų gamyba lengvesnė ir pigesnė negu spalvotų nuotraukų. Specialiais fotoaparatais standartinėje juostoje galima nufotografuoti panoraminius



15.5 pav. Pirmasis brolių Wilburo ir Orville'o Wrightų orlaivio skrydis, 1903 m. (Wright First Flight 1903 Dec17 (full restore 115).jpg.)

vaizdus. Fotografija leido užfiksuoti įvairius įvykius, mokslo ir inžinerijos pasiekimus, meno ir kultūros įvykius, avarijas ar katastrofas (15.5 pav.). Fotografijos taikymą dar labiau išplėtė infraraudonųjų ir ultravioletinių spindulių fotografija, spektroskopija.

Pirmą spalvotą nuotrauką su savo pagalbininkais 1861 m. padarė žymus fizikas Jamesas Clerkas Maxvellas. Tai buvo trijų monochrominių (vienos spalvos šviesos) atvaizdų, gautų pro raudoną, žalią ir mėlyną filtrus, kompozicija. Šie trys atvaizdai buvo suprojektuoti trimis šviesos kameromis, ant kurių buvo uždėti atitinkamų spalvų filtrai, taip gauta spalvota nuotrauka. Mėlynos spalvos ekspozicija buvo tik kelias sekundes trukusio vaizdo fiksavimo rezultatas. Žaliai ekspozicijai gauti kaip filtras buvo panaudotas vario chlorido tirpalas. Ekspozicija truko 12 min. – gerokai ilgiau, negu dirbant su mėlynos spalvos filtru. Ryškiai raudonos spalvos filtras išgautas panaudojus geležies tiocianatą, spalva atsirasdavo tik po 8 minučių. Taigi eksperimentatoriai atsitiktinai sukūrė panchromatinę (jautrią visiems spektro bangos ilgiams) emulsiją. Įdomu, kad sidabro halogeno emulsijos jautrumas žaliai šviesai buvo pasiektas 1873 m., oranžinei šviesai – 1884 m., bet visiško jautrumo raudonai šviesai nepavyko pasiekti iki pat XX a. pradžios.

Broliai Auguste'as Marie Louis Nicolas ir Louis Jeanas Lumière'ai 1903 m. užpatentavo spalvotos fotografijos procesą „autochrome Lumière", o pirma, praktiniam naudojimui tinkama, spalvotos fotografijos plokštelė „autochrome" pasiekė rinką 1907 metais. Plokštelėje matomas negatyvinis vaizdas ekrane tapdavo spalvotu pozityviniu vaizdu. Kitos spalvotosios fotografijos sistemos tą patį vaizdą turėjo projektuoti pro tris skirtingus (raudoną, žalią ir mėlyną) filtrus. Tokiam demonstravimui buvo reikalingi specialūs aparatai. 1936 m. rinkoje pasirodė 35 mm pločio diapozityvinė „Agfacolor" fotojuosta, skirta mėgėjiškai fotografijai.

FOTOGRAFIJA LIETUVOJE

Lietuvoje nebuvo išrasta kokių nors fotografijos būdų, aparatų ar medžiagų, tačiau pasaulyje atsiradusios technologijos ar aparatai labai greitai joje plito ir užfiksavo daug įvairių kultūros, istorijos, archeologijos, buities ir kt. objektų, daugelio kurių fiziškai jau nebeliko. Fotografijos istorija Lietuvoje prasidėjo 1839 m., kai buvo išrasta dagerotipija. Tų pačių metų vasarą buvo padarytos Verkių rūmų, esančių prie Vilniaus, nuotraukos. Dagerotipijos procesas neturėjo tarpinio negatyvo, todėl atvaizdo nebuvo galima padauginti. Pirmuoju Lietuvos fotografijos istorijos laikotarpiu laikytini 1854–1864 m., iš jo yra išlikę apie 80 seniausių A. Korzono, V. Zacharčiko, A. Swieykowskio, J. Čechavičiaus nuotraukų. Fotografija padėjo ir 1863 m. sukilimui – jo vadų portretai buvo dauginami ir platinami. Povilas Višinskis, rengdamas studiją apie žemaičių antropologiją, 1896 ir 1897 m. fotografavo etnografinius vaizdus. A. Jaroševičius parengė Lietuvos kryžių fotografijų albumą. Lietuvos fotožurnalistikos pradžia laikytini 1905 m. – tais metais *Vilniaus žiniose* buvo išspausdinta 31 fotografija. Vienas žymiausių XX a. I pusės Vilniaus fotografų, piktorialistinės (tapybiškos) fotografijos kūrėjų buvo Janas Bułhakas. Piktorializmo atstovai siekė pakelti fotografiją iki meno statuso ir kurti paveikslus naudojant fotografiją. J. Bulhako iniciatyva Vilniaus Stepono Batoro universitete 1919 m. buvo įsteigta Meninės fotografijos katedra, vėliau įkurta pirmoji Vilniaus fotografijos mokykla. Lietuvos fotografiją plėtojo daugiausia pavieniai entuziastai – S. Kolupaila, I. Končius, P. Babickas, K. Laucius, A. Naruševičius, V. Augustinas, K. Daugėla, B. Buračas, T. Ivanauskas, M. Šalčius, A. Poška. Per 10 nepriklausomos Lietuvos gyvavimo metų Kaune atsidarė 30 profesionalių fotoateljė. Spalvotosios Lietuvos fotografijos pradininkų – S. Kolupailos ir M. Brazaičio – nuotraukos pasirodė XX a. 4 dešimtmetyje, t. y. praėjus vos keleriems metams po spalvotų „Agfacolor“ ir „Kodakchrom“ juostų išradimo. Nuo 1952 m. Lietuvos žurnaluose pradėta spausdinti spalvotas fotografijas. Nuo XX a. 7 dešimtmečio pabaigos Lietuvą garsino fotografų Antano Sutkaus, Aleksandro Macijausko, Algimanto Kunčiaus, Romualdo Rakausko darbai.

SKAITMENINĖ FOTOGRAFIJA

Skaitmeninės fotografijos pradžia galima laikyti 1969 m. Amerikos telefono ir telegrafo kompanijos laboratorijoje sukurtą *elektrinio krūvio sąsajos prietaisą* (*charge-coupled device*, arba CCD). Krūvio sąsajos prietaisas yra skirtas registruoti regimąją šviesą, ultravioletinius ir infraraudonuosius spindulius iki 1,1 μm bangos ilgio. Jį sudaro spinduliams jautrūs 10–30 μm dydžio silicio elementai, suformuojantys maždaug kvadratinės formos mozaiką. Mozaikos dydis būna 1–5 cm. Vienas greta kito sudėti keli CCD imtuvai padidina registruojamo lauko dydį. 1973 m. buvo pagaminta pirmoji vaizdo formavimo CCD mikroschema, sudaryta iš 100 eilučių ir 100 stulpelių. Kaip ir tradiciniuose fotoaparatuose, skaitmeninėje fotokameroje yra objektyvas, diafragma ir užraktas, tik vietoje fotojuostos įtaisyta puslaidininkinė šviesai jautri plokštelė, kurioje objektyvas projektuoja vaizdą. Plokštelėje šviesos sukuriamus elektros krūvius specialus mikroelektroninis įrenginys nuskaito ir paverčia binariniais skaitmeniniais signalais. Skaitmeninė informacija, kaip ir kompiuteryje, įrašoma į atminties kortelę. Informacija kompiuteryje gali būti perrašoma, tvarkoma, koreguojamos spalvos. Galima pataisyti atskirus vaizdo elementus, pritaikyti specialiuosius kompiuterinės grafikos efektus: deformuoti, keisti foną, sukurti rūko efektą ir t. t. Tokią nuotrauką galima išspausdinti spalvotu spausdintuvu popieriuje ar ant tekstilės, taip pat perduoti ją kompiuteriniais tinklais. Pirmąją skaitmeninę fotokamerą 1975 m. sukūrė „Kodak“ kompanijos inžinierius Stevenas Sassonas. 1986 m. „Kodak“ mokslininkai sukūrė pirmąjį pasaulyje megapikselinį jutiklį.

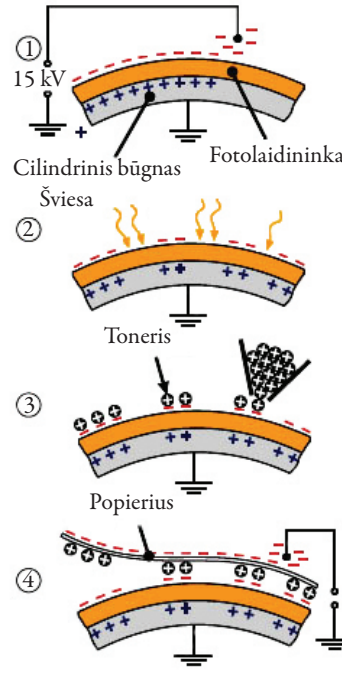
ELEKTROFOTOGRAFIJA

Elektrofotografija, arba kserografija, – atvaizdų gavimas didelės varžos puslaidininkyje. Fotografavimo procesui visada reikalingos skystos ar garų formos cheminės medžiagos, kiti vaizdavimo būdai, tokie kaip televizija, negali pateikti fiksuoto vaizdo. 1938 m. buvo patentuotas *kserografijos* procesas, kurį sukūrė JAV fizikas Chesteris Carlsonas. Išskiriami keli pagrindiniai elektrofotografinio vaizdų kopijavimo etapai (15.6 pav.):

1. Elektrinimas. Fotojautrios medžiagos sluoksniu padengtas metalinio cilindro paviršius yra tolygiai įelektrinamas 600 V įtampa.

2. Apšvietimas. Sukant cilindrą ir vienu metu skenuojant kopijuojamo dokumento paviršių šviesos šaltiniu, dokumento atvaizdas suprojektuojamas ant cilindro paviršiaus. Apšviestos cilindro paviršiaus sritys išsielektrina. Elektrinis krūvis lieka tik neapšviestose srityse, jis vadinamas „slaptuoju vaizdu“.

3. Ryškinimas. Ant cilindro paviršiaus nusodinamos įelektrintos dažų dalelės. Jų krūvis gali būti to paties ženklo, kaip elektrinimo metu nusodintas krūvis, arba priešingas. Jeigu krūvių ženklai yra priešingi, tada dažų dalelės pritraukiamos prie neapšviestų vietų (jose cilindro paviršius yra įelektrintas). Tokiu būdu suformuojamas pozityvinis atvaizdas. Jeigu reikalingas negatyvas, tada dažų dalelių krūvis turi būti to paties ženklo kaip ir cilindro elektrinimo krūvis.



15.6 pav. Kserografinio fotokopijavimo proceso schema: 1 – įelektrinimas, 2 – apšvietimas, 3 – ryškinimas, 4 – vaizdo perkėlimas ant popieriaus (Xerographic photocopy process en.svg.)

4. Vaizdo perkėlimas. Cilindro paviršiuje suformuotas vaizdas perkeliamas ant popieriaus.

5. Popieriaus elektros krūvio dalinis neutralizavimas ir popieriaus (su ant jo nusėdusiais dažais) atskyrimas nuo cilindro paviršiaus.

6. Vaizdo fiksavimas ant popieriaus.

7. Cilindro paviršiaus liekamojo elektros krūvio neutralizavimas (apšviečiant) ir dažų likučių pašalinimas nuo cilindro paviršiaus.

Pirmoji komercinė automatinė sausų vaizdų spausdinimo ant paprasto popieriaus sistema „Xerox 914“ rinkoje pasirodė 1959 metais.

Lietuvoje kserografijos tyrimų pradžia laikomi 1956 m.: Vilniaus pedagoginiame institute dėstytojas, inžinierius Jonas Žilevičius laboratorijoje savadarbe įranga ant seleno dangos padarė pirmuosius elektrografinius atspaudus ir pradėjo sistemingus elektrografinių sluoksnių ir vaizdo gavimo tyrimus. Nuo 1957 m. tyrimai buvo tęsiami Vilniaus elektrografijos mokslinio tyrimo institute. Čia buvo kuriami fizikiniai proceso pagrindai, įvairūs jautrių medžiagų sluoksniai, ryškalai ir aparatūra. Sukurtos elektrofotografinės plokštės su seleno danga, elektrofotografiniai cilindrai su seleno, arseno triselenido ir kitomis kombinuotomis dangomis, elektrografiniai sausieji ir skystieji ryškalai ir kt. Institute buvo sukurtas pirmasis Sovietų Sąjungoje kopijavimo aparatas ERA. Aparatą pramoniniu būdu gamino Kauno eksperimentinė automatizacijos priemonių gamykla ir Vilniaus skaičiavimo mašinų gamykla.

16 SKYRIUS

SKAIČIAVIMAS IR DUOMENŲ APDOROJIMAS

ANKSTYVIEJI SKAIČIUOTUVAI

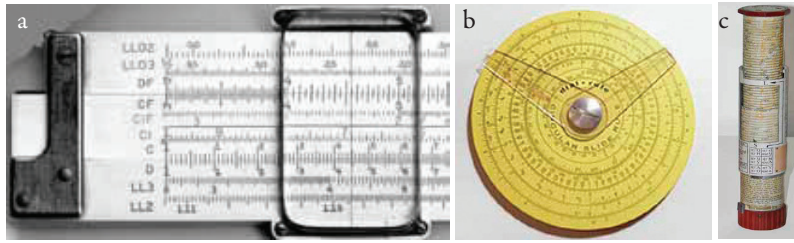
Pirmoji skaičiavimo priemonė buvo rankų ir kojų pirštai. Vėliau imta naudoti įvairius daiktus: lazdas su įpjovomis, virves su mazgais. Pirmasis mechaninis skaičiuotuvas buvo *skaitliukai* (*abakas*), kurių tiksli kilmė skendi istorijos rūke. V a. pr. m. e. skaitliukus jau naudojo senovės graikai ir romėnai. Skaitliukai, arba skaitytuvai, – senovinis skaičiavimo prietaisas paprastiems skaičiavimo veiksmams atlikti. Skaitliukų konstrukciją sudaro medinis rėmas su ant virbų suvertais karoliukais. Ant kiekvieno virbo paprastai būna po 10 karoliukų. Kiekvieno virbo skaitmeninė vertė (vienetai, dešimtys, šimtai ir t. t.) priklauso nuo jo vietos rėme. Stumdant karoliukus galima atlikti sudėties ir atimties matematinius veiksmus. Skaitliukai dažniausiai naudojami Azijos šalyse, nors juos ir šiandien galima pamatyti Europos parduotuvėse (16.1 pav.).

1614–1620 m. atsiranda logaritminė liniuotė. Škotas Edmundas Gunteris ją sukūrė pagal Johno Napiero 1600 m. sukurtas logaritmines lenteles. Logaritminė liniuotė – mechaninė skaičiuoklė, kurią sudaro logaritminiu principu sukalibruotos juostos (16.2 pav.). Paprastai išorinės juostos nejuda, skaičiavimui naudojama viduryje esanti slankioji juosta. E. Gunterio liniuotėje logaritminės atkarpos buvo sudedamos skriestuvu. 1630 m. skriestuvas pakeistas slankikliu. Vėliau daug kartų patobulinta šia liniuote buvo galima sudėti, atimti, kelti laipsniu, traukti šaknį, logaritmuoti, antilogaritmuoti, ieškoti trigonometrinių funkcijų reikšmių.



16.1 pav. Skaitliukai (Schoty abacus.jpg.)

Tobulesnę mechaninę skaičiavimo mašiną 1642 m. sukūrė prancūzų mokslininkas Blaise'as Pascalis. Ją

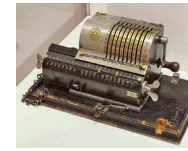


16.2 pav. Logaritminės liniuotės: a – su plokščia slankiąja juosta viduryje (A. V. Valiulio nuotr.), b – skritulio formos (Circular slide rule.JPG.), c – cilindrinė, su viena ar keliomis skalėmis, išdėstytomis spirale aplink slankųjį cilindrą (fullers-cylindrical-slide-rule-calculator-model-1-dated-1927-case/id-f_13675301)

sudarė ratukai, ant kurių buvo užrašyti skaitmenys nuo 0 iki 9. Ratukai turėjo krumpliaračius. Apsisukęs vieną kartą, ratukas užkabindavo gretimą ratuką ir pasukdavo jį per vieną skaitmenį, t. y. atitinkama skaičiaus skiltis padidėdavo vienetu. B. Pascalio taikytas „surištų ratukų“ principas buvo naudojamas beveik visuose vėliau sukurtuose mechaniniuose skaičiuotuvuose. Pagrindinis šio įrenginio trūkumas buvo tas, kad juo buvo galima atlikti tik sudėtį. 1672 m. vokiečių matematikas Gottfriedas Wilhelmas von Leibnizas sukūrė skaičiavimo mašiną, kuria buvo galima lengvai atlikti visus keturis aritmetikos veiksmus.

Šiuolaikinių kompiuterių konstravimo ir darbo principus 1822 m. sukūrė anglų matematikas Charlesas Babbage'as. Jo mašina buvo pavadinta *skirtumine*, nes jos veikimas buvo pagrįstas baigtinių skirtumų metodu. Esminis trūkumas – ji galėjo atlikti tik vieną užduotį. Jei reikėdavo atlikti kitokią skaičiavimo operaciją, tekdavo keisti visą mašinos mechanizmą. Ch. Babbage'as nusprendė sukurti kitą, universalesnę, skaičiavimo mašiną, kurią turėjo sudaryti dvi pagrindinės dalys: aritmetinis įrenginys ir atmintinė. Komandos ir duomenys turėjo būti gaunami iš perfokortų. Mašina turėjo penkis pagrindinius komponentus: įvesties, atminties, aritmetinį, valdymo ir išvesties įrenginius.

1860 m. sukurtas pirmasis komercinis mechaninis skaičiavimo mechanizmas – Thomo aritmometras, kuriuo buvo galima atlikti tik sudėties ir atimties veiksmus.



16.3 pav. W. Odhnerio mechaninis kalkuliatorius (A. V. Valiulio nuotr.)

1880 m. švedas Willgodtas T. Odhneris, gyvenęs Peterburge, sukūrė mechaninį skaičiuotuvą – *aritmometrą*. Ankstesni kitų sistemų aritmometrai buvo dideli ir nepatogūs dirbti. W. Odhnerio aritmometras pradėtas kurti 1874 m., o 1890 m. pradėta masinė gamyba. „Feliks“ modifikacijos aritmometrų gamyba tęsėsi iki 1950 metų. Pagrindinė W. Odhnerio prietaiso savybė – dantyti ratai su kintamu dantų skaičiumi (šis ratas vėliau pavadintas Odhnerio vardu) vietoje laiptukinių Leibnico velenų. Jo konstrukcija paprastesnė ir mažesnė. Mechaniniai aritmometrai buvo naudojami daugiau nei 100 metų (16.3 pav.).

Amerikietis Hermanas Hollerithas 1882 m. suprojektavo tabuliatorių, kuriame pirmą kartą buvo panaudota dvejetainė skaitmenų koncepcija: kortoje yra kiaurymė – 1, nėra kiaurymės – 0. Vokietis Konradas Zuse'ė 1936 m. sukūrė skaičiavimo mašiną, kurioje vietoje mechaninių jungiklių buvo elektromechaninės relės, o informacijai įvesti pritaikyta perforuota 35 mm fotojuostelė (vėliau ji buvo pakeista popierine).

Elektroninės skaičiavimo mašinos projektą dar 1939 m. pirmasis sukūrė amerikiečių fizikas Johnas Atanasoffas. Jame buvo naudojamos elektroninės lempos, o duomenys koduojami dvejetaine skaičiavimo sistema. Amerikietis Howardas Aikenas 1944 m. pagamino pirmą relinę skaičiavimo mašiną „MARK 1“, turinčią apie 750 tūkst. detalių, tarp jų ir 3 304 elektromechaninių relių.

Pirmuoju elektroniniu kompiuteriu laikomas 1946 m. JAV sukurtas kompiuteris ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*). Jo kūrėjai – Johnas Mauchly'is ir Johnas Persperis Eckertas. Kompiuteris turėjo 18 000 elektroninių lempų, užėmė 549 m^2 plotą, jo centrinis procesorius svėrė 3 tonas, o visas kompiuteris – 30 tonų. Šio kompiuterio darbo greitis – 5 000 sudėties veiksmų per sekundę.

1947 m. Kembridže Maurice'as Wilkesas sukūrė kompiuterį EDSAC (*Electronic Delay Storage Automatic Calculator* – elektroninis automatins kalkuliatorius, turintis atmintį su sulaikymo linijomis). Skirtingai nei kitos, ši mašina rėmėsi nauja programine strategija, t. y. naudojo standartines

skaičiavimo programas ir įrangą programų klaidoms aptikti. 1951 m. sukurtas pirmas komercinis kompiuteris – UNIVAC (*Universal Automatic Computer*), kuriame duomenys buvo saugomi magnetinėse juostose.

Iš tikrųjų kompiuteris atsirado tada, kai buvo panaudotos elektroninės lempos, kurias vėliau pakeitė tranzistoriai. Penktajame dešimtmetyje ir 6-ojo pirmoje pusėje elektroninė aparatūra buvo montuojama iš diskrečiųjų elementų, t. y. tranzistorių, rezistorių, kondensatorių ir t. t. Diskrečiuosius elementus vėliau pakeitė mikroschemos, jas – integrinės schemos. Pagal kompiuteryje naudojamus elektroninius įtaisus kompiuteriai skirstomi į kartas:

I karta: 1951–1958 metai. Didelių matmenų, su galingais aušinimo įrenginiais lempiniai kompiuteriai. Jų programinė įranga buvo laikoma kompiuterio atmintinėje.

II karta: 1959–1964 metai. Sukurtos naujos medžiagos – puslaidininkiai ir jų pagrindu – tranzistoriai. Elektronines lempas pakeitus tranzistoriais, labai sumažėjo kompiuterių matmenys. Išorinė atmintis buvo saugoma magnetiniuose diskuose. Kompiuterio darbo greitis – iki 1 mln. operacijų per sekundę

III karta: 1965–1970 metai. Tranzistorius pakeitė integrinės schemos. Šios kartos kompiuteriuose vietoje tranzistorių naudojamos integrinės schemų technologijos. Labai didelėse integrinėse schemose viename luste ant silicio plokštelės išdėstoma per 1 000 000 elementų. Taikant šias technologijas kompiuterių matmenys dar sumažėjo. Pradėta naudoti monitorius. Kompiuterio darbo greitis – iki šimtų milijonų operacijų per sekundę.

IV karta: 1971–1987 metai. 1971 m. buvo sukurta didžioji integrinė schema – tūkstančiai integrinių schemų vienoje silicio plokštelėje – mikroschemoje (luste). Sukurti pirmieji asmeniniai kompiuteriai „MITS Altair 8800“ ir „Apple“. Mikroprocesoriai atvėrė kelią superkompiuteriams, naudojantiems šimtus ar net tūkstančius mikroprocesorių. V kartos kompiuterių pradžia – 1987 metai. Ji tęsiasi iki šių dienų.

ELEKTRONINĖS SKAIČIAVIMO MAŠINOS

1847 m. anglų matematikas George'as Boole'as paskelbė veikalą „Logikos matematinė analizė“, kuriame teigė, kad logika gali būti išreikšta naudojant

dvejetainius simbolius. G. Boole'o algebra turi tik du simbolius – 0 ir 1; tačiau naudojant kaip dvejetainius skaičius aritmetiniams skaičiavimams, jie interpretuojami kaip loginės operacijos: 0 reiškia „klaidingas“ , 1 – „teisingas“. 1938 m. „Bell Telephone Laboratories“ darbuotojams kilo mintis, kad G. Boole'o „tikra“ ir „klaidinga“ galima interpretuoti kaip elektroninių komponentų būklę „įjungta“ ir „išjungta“. Ši samprata tapo kompiuterių logikos pagrindu.

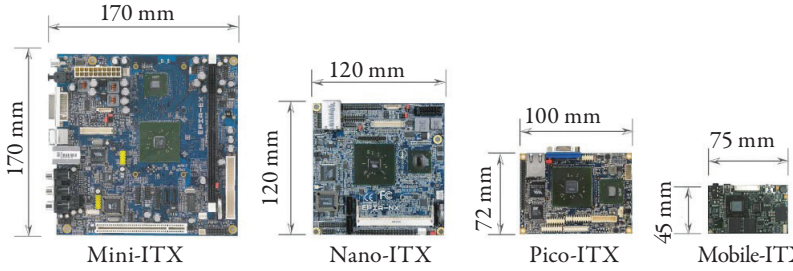
XX a. I pusėje daugeliui mokslinių skaičiavimų buvo naudojami sudėtingi neprogramuojami analoginiai kompiuteriai, kuriems stigo universalumo ir tikslumo. Pavyzdžiui, 1941 m. sukurto neprogramuojamo „Atanasoff-Berry“ kompiuterio pagrindiniai baziniai elementai buvo vakuuminės radijo lempos ir relės. Pirmasis riboto programavimo elektroninis kompiuteris „Colossus“ buvo pagamintas 1943 m. D. Britanijoje. Jis buvo naudojamas vokiečių karinei informacijai dešifruoti. Kompiuteryje buvo 1 500 vakuuminių radijo lempų.

1948 m. „Bell Telephone Laboratories“ darbuotojai Johnas Bardeenas, Walteris Brattainas ir Williamas Shockley'is paskelbė apie taškinio dvipolio tranzistoriaus išradimą, kuris greitai beveik visiškai išstūmė vakuumines radijo lempas iš elektroninių grandinių. 1949 m. standartine skaitmeninių kompiuterių vidine atmintimi tapo magnetiniai informacijos nešikliai. Juos 1960-ųjų viduryje pakeitė puslaidininkinės atminties saugyklos. 1950 m. buvo įdiegti našūs ir patikimi monolitinės architektūros (*mainframe*) kompiuteriai. Šie kompiuteriai buvo labai brangūs, jiems reikėjo specialiai paruoštų patalpų, daug aptarnaujančio personalo, oro kondicionierių. Vartotojai niekada nekontaktavo su realia technine įranga. Duomenys būdavo įvedami perfokortomis arba perforuotomis popierinėmis juostomis. Perfokortų ar popieriaus juostelių perforavimui buvo naudojamos specialios klavišinės perforavimo mašinėlės. Skaičiavimų rezultatus vartotojai gaudavo po kelių valandų ar net dienų. Padarius programavimo ar perforavimo klaidą, darbą dažnai tekdavo pradėti iš naujo. Ankstyvieji kompiuteriai buvo programuoti mašinine kalba, todėl ne tik duomenys, bet ir kompiuterio valdymo instrukcijos turėjo būti įvedamos dvejetaine forma. Vartotojams palengvėjo, kai 1954 m. IBM paskelbė pirmąją FORTRAN kalbos versiją. Iki 1960 m. vidurio beveik 90 % visų mokslo ir inžinerijos programų buvo parašytos FORTRAN kalba,

o dauguma verslo duomenų apdorojimo programų – COBOL kalba. Nuo 1964 m. BASIC kalba tapo standartine mikrokompiuterių aukštesnio lygio kalba. Kai kurios kalbos yra dažnesnės tam tikrose, joms būdingose, nišose. Vienos kalbos buvo sukurtos tam tikros srities problemoms spręsti, kitos savo srityje išpopuliarėjo dėl istorinių aplinkybių. Sisteminiam programavimui (operacinių sistemų, kompiliatorių) dažniausiai naudojamos C, C++ kalbos; interneto svetainių programavimui – PHP, „Perl“, „Python“, „Adobe Cold Fusion“; matematiniams skaičiavimams – PROLOG, FORTRAN, MATLAB, MAPLE, o programavimo kalbų mokymui – „Pascal“, „Logo“ kalbos.

Integrinio grandyno, populiariai vadinamo mikroschema, plėtra leido skaitmeninių grandynų projektuotojams sudėti pagrindines monolitinės architektūros programas į vieną arba daugiau silicio lustų. 1962 m. buvo sukurtas pirmasis *metalo oksido puslaidininkio* (MOS) lustas. Pirmasis elektroninis skaičiuotuvas su MOS lustais buvo pagamintas 1963 metais. 1968 m. pasirodė *papildomo metalo oksido puslaidininkio* (CMOS) lustai – brangesni, bet greitesnės veikos, darbui naudojantys mažiau srovės. Šių lustų veikimui pakako nešiojamų baterijų, todėl juos greitai pradėta naudoti mikrokompiuteriuose. Idėją sukurti paprastą, pigų kompiuterį su MOS lustais pirmiausia pasigavo mėgėjai. 1973 m. „Scelbi Computer Consulting“ kompanija pasiūlė mini kompiuterio rinkinį, kuriam buvo panaudotas „Intel 8008“ 8 bitų mikroprocesorius, turintis 1 kilobaitą atminties. Iki „Apple II“ ir „Commodore PET“ pasirodymo mini kompiuteriai daugiausia išliko kaip mėgėjų kūrybos objektas. Už porą tūkstančių dolerių vartotojas galėjo įsigyti klaviatūrą duomenų įvedimui ir valdymui, spalvotą monitorių, garsiakalbį, priemones video žaidimams, aukšto lygio programavimo kalbą (BASIC), skaitomąją atmintį (ROM) bei nebrangias duomenų ir programų saugojimo ir atkūrimo priemones (garso kasetes, magnetofoną).

1981 m. sukurtas pirmasis nešiojamasis mini kompiuteris „Osborne 1“ turėjo normalaus dydžio klaviatūrą, katodinio vamzdžio (CRT) ekraną ir geriausią tuo metu programinę įrangą. Po kelių apmokymo valandų ir nespecialistas galėjo išmokti patogiai naudotis mini kompiuterio programinės įrangos paketu. Būdami patogūs, universalūs ir nebrangūs mini kompiuteriai ėmė konkuruoti su dideliais monolitinės architektūros kompiuteriais, ir iki 1990 m. pagal pardavimą užėmė per 50 % kompiuterių rinkos (16.4 pav.).



16.4 pav. Kompiuterių motininės plokštės dydžio kaita: Mini-ITX, Intel Corporation, 2001; Nano-ITX, VIA Technologies Inc., 2003; Pico-ITX, VIA Technologies Inc., 2007; Mobile-ITX, VIA Technologies Inc., 2009) (VIA Mainboards Form Factor Comparison.jpg.)

Šiuolaikiniai nešiojamieji kompiuteriai, naudodami modemą, gali bendrauti su nuotolinėmis sistemomis ir nebūti fiziškai prijungti prie telefono arba „Wi-Fi“ tinklo („Wi-Fi“ technologija radijo bangomis perduoda informaciją iš vieno elektroninio prietaiso į kitą). Su nuotolinėmis sistemomis jie gali susisiekti per kompiuterių tinklus, įskaitant spartųjį internetinį ryšį.

Kompiuteris turi keturis pagrindinius komponentus: aritmetinės logikos bloką, valdymo bloką, atminties įrenginį ir įvesties ir išvesties įrenginius. Šie funkciniai blokai tarpusavyje yra sujungti ir kiekviename iš jų yra tūkstančiai ar net trilijonai mažų elektrinių grandinių. Kiekviena grandinė dvejetainėje sistemoje atstovauja vieno bito informacijai. Įjungtą grandinę žymi „1“, išjungtą – „0“. Jungtys loginiuose vartuose yra išdėstytos taip, kad viena ar daugiau iš jų galėtų valdyti vieną ar kelias grandines.

Atminties įrenginys – funkcinis vienetas, duomenys į jį gali būti įrašomi, saugomi ir vėl paimami. Kompiuteryje yra *vidinės atminties įrenginys*, kuris procesoriui prieinamas be įvesties ir išvesties kanalų, ir *išorinės atminties įrenginys*, prieinamas procesoriui tik per įvesties ir išvesties kanalus.

Svarbiausias iš visų vidinės atminties įrenginių yra *pagrindinė atmintis,* dar kartais vadinama *tiesiogiai adresuojama atmintimi arba keičiamąja atmintimi* (RAM – *random access memory*). Šiame įrenginyje saugomus duomenis procesorius pasiekia greitai. Paprastai šio pagrindinės atminties įrenginio talpa nėra didelė, palyginti su išorinių atminties įrenginių talpomis. Tai

neišliekamoji atmintis, todėl nėra skirta pastoviam informacijos saugojimui, nes išjungus maitinimą ši atmintis išsivalo. Prie vidinės atminties įrenginių priskiriama skaitomoji atmintis (ROM – *read-only memory*), kuri yra *išliekamoji atmintis*, t. y. išjungus maitinimą šiame įrenginyje įrašyta informacija išlieka. Išorinius atminties įrenginius duomenų apdorojimo modulis ir juose esantys procesoriai pasiekia tiktai per įvesties ir išvesties kanalus. Išorinės atminties įrenginiai, dažniau vadinami duomenų saugojimo įrenginiais, naudoja išliekamąją atmintį ir saugo duomenis įvairiose duomenų laikmenose. Išoriniams atminties įrenginiams priskiriami *operatyvieji atminties įrenginiai*, pvz., diskai, kurie yra nuolat duomenų apdorojimo modulio pasiekiami, ir *neoperatyvieji atminties įrenginiai* (išimamų duomenų laikmenų įrenginiai, duomenų bibliotekos, dar vadinamos duomenų saugyklomis).

Valdymo blokas, aritmetinis loginis blokas (ALU), registrai ir pagrindiniai įvesties ir išvesties įrenginiai yra vadinami *centriniu procesoriaus bloku* (CPU). Aritmetinis loginis blokas gali atlikti dvi operacijų klases: aritmetines ir logines. Procesorius su likusia kompiuterio dalimi jungiamas trimis pagrindinėmis išvadų (kontaktų) grupėmis: duomenų magistrale perduodami duomenys; adresų magistralėje procesorius nustato kiekvienai atminties ląstelei ir kiekvienam įvedimo ir išvedimo įrenginiui specifinę kombinaciją (adresą); valdymo magistralėje procesorius nurodo duomenų perdavimo kryptį (iš ar į procesorių), o neretai ir išorinio įrenginio tipą (atmintis ar įvedimo ir išvedimo įrenginys).

Kompiuterio operatyvinė atmintis gali būti įsivaizduojama kaip ląstelių sąrašas, į kurias skaičiai gali būti įrašyti ar perskaityti. Kiekviena ląstelė turi skaitmeninį „adresą“ ir gali saugoti tik vieną skaičių. Kompiuteriui gali būti nurodoma įrašyti numerį 23 į ląstelę numeriu 135 arba pridėti skaičių, esantį ląstelėje 135, prie skaičiaus, kuris yra 246 ląstelėje, o atsakymą įdėti į ląstelę 159. Raidės, skaičiai ir net kompiuterio instrukcijos į kompiuterio atmintį įvedami vienodai lengvai. Kadangi *centrinis procesoriaus blokas* neskiria informacijos rūšių, šią funkciją vykdo programinė įranga. Egzistuoja šios operatyvinės atminties rūšys: registrai, veikiantys kaip neatskiriama procesoriaus dalis, procesoriaus priešatmintis (*cache*) ir adresuojama atmintis (RAM). Kompiuteris atmintyje gali saugoti bet kokią informaciją, jei ji gali būti išreiškiama skaitmenine išraiška. Šiuolaikiniai kompiuteriai turi milijonus ar net milijardus bitų atminties.

KOMPIUTERIŲ KŪRIMAS LIETUVOJE

Skaičiavimo mašinų idėjos pirmą kartą Lietuvoje kilo jau 1939 m., tačiau prasidėjęs Antrasis pasaulinis karas ir sovietinė okupacija šį sumanymą pavėlino dviem dešimtmečiais. Sovietų Sąjungoje kibernetika iki XX a. 6 dešimtmečio pradžios buvo laikoma „pseudomokslu“. 1956 m. šio požiūrio buvo atsisakyta ir teorinės fizikos moksliniai tyrimai tapo prioritetiniais. Lietuvoje elektroninės skaičiavimo technikos įsigijimo ir panaudojimo pradininkas buvo akademikas A. Jucys. Jam pirmajam iš mūsų respublikos mokslininkų kilo mintis SSRS dar tik kuriamą elektroninę skaičiavimo techniką panaudoti sudėtingiems teorinės fizikos uždaviniams spręsti. 1956 m. LTSR Mokslų akademijoje buvo įkurtas Fizikos ir matematikos institutas, A. Jucys tapo pirmuoju jo vadovu.

1961 m. baigta montuoti ir derinti Lietuvos mokslų akademijos mašina „BESM-2“, kurią modernizuojant buvo sukurta „BESM-2M“ versija, o 1963 m. buvo pradėti reguliarūs skaičiavimai. Tai buvo pirmos kartos mašina, turinti apie 3 000 elektroninių lempų. Jos skaičiavimų greitis buvo apie 9 000 aritmetinių ir loginių operacijų per sekundę, operatyvioji atmintis – apie 10 kilobaitų, o išorinė atmintis – du būgnai po 30 kilobaitų kiekvienas ir 4 magnetinės juostos įrenginiai po 640 kilobaitų kiekvienas. Programavimui buvo naudojama ALGOL kalba. 1971 m. pavasarį mašina „BESM-2M“ buvo nurašyta ir demontuota, nes jos eksploatacija (naudojamas 43 KW galingumas) darėsi nuostolinga, palyginti su kitomis, naujomis, to meto skaičiavimo mašinomis. Taigi elektroninė lempinė skaičiavimo mašina „BESM-2M“ buvo intensyviai eksploatuojama tik apie aštuonerius metus. Šią skaičiavimo mašiną 1979 m. pakeitė modernesnė tranzistorinė „BESM-6“ mašina, kuri turėjo 48 bitų procesorių, dirbusį 10 MHz taktiniu dažniu, du atskirus instrukcijų kanalus (valdymo ir aritmetikos blokams). „BESM-6“ sistemos atmintis buvo adresuojama naudojant 15 bitų adresus. Maksimali pasiekiama talpa buvo 32 tūkst. žodžių, arba 192 kilobaitai. Virtualioji atmintis leido ją išplėsti iki 128 tūkst. žodžių, arba 768 kilobaitų. Mašina turėjo 24 keičiamus būgninius diskasukius ir 20 magnetinių juostų diskasukių. Ji veikė 24 valandas per parą. Be įprastų įvesties ir išvesties įrenginių, sistemoje buvo analoginio signalo vertimo į skaitmeninį kodą ir skaitmeninio kodo vertimo

į analoginį signalą keitikliai. Duomenimis keistis su kitais kompiuteriais buvo naudojamos magnetinės juostos. 1987 m. pasirodė pirmieji IBM asmeniniai kompiuteriai. Palyginti su jais, senieji stacionarūs kompiuteriai buvo lėti, brangūs ir vartotojui nepatogūs.

Skaičiavimo priemonių kūrimas Lietuvoje prasidėjo 1959 m., kai buvo įkurtas Skaičiavimo mašinų specialusis konstravimo biuras (SM SKB), kuriam buvo pavestas skaičiavimo mašinų projektavimas. SM SKB darbas buvo orientuotas keliomis kryptimis:

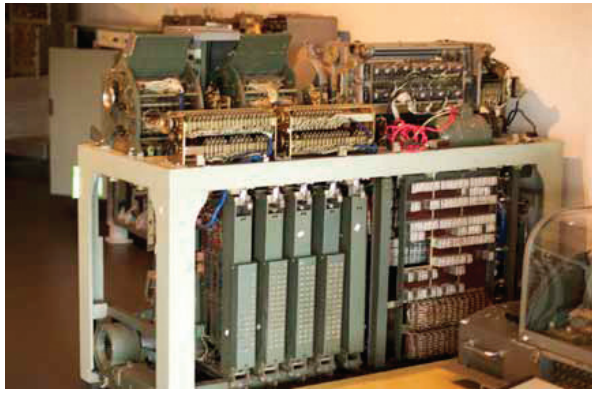
- mažų skaičiavimo mašinų, orientuotų ekonominių duomenų apdorojimui, kūrimas;
- duomenų įvedimo automatizavimas;
- magnetinių diskų kaupiklių projektavimas.

1960 m. Vilniuje pradėta gaminti elektronines skaičiuokles (16.5 pav.). 1962 m. buvo sukurtas pirmas originalus lietuviškas kompiuteris. Šis specializuotas kompiuteris buvo skirtas statistinei stochastinių procesų analizei. 1963 m. suprojektuotas originalus antrosios kartos kompiuteris su feritiniais-tranzistoriniais elementais. Jis buvo skirtas vadybai ir gaminamas 1964–1974 metais.



16.5 pav. Elektroninė skaičiuoklė, 1960 m. (Energetikos ir technologijų muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

1959–1963 m. sukurtas ir pagamintas tranzistorinis skaičiavimo kompleksas „Rūta-110“ turėjo apdoroti ekonomikos ir valdymo informaciją. Skaičiavimo kompleksui „Rūta-110“ buvo sukurtas specializuotas centrinis procesorius ir keli išoriniai įrenginiai (magnetinių diskų atminties įrenginys R401, spausdinto bei ranka rašyto teksto nuskaitymo įrenginys „Rūta-701“, duomenų distancinio surinkimo ir perdavimo kompleksas R801, perfokortų įvedimo ir išvedimo įrenginys R601) (16.6 pav.). Aštuntojo dešimtmečio pradžioje pradėta kurti trečios kartos kompiuterius, kuriuose tranzistorius ir lempas keitė integriniai grandynai. 1986 m. pradėtas gaminti amerikiečių mini kompiuterio VAX-11/730 analogas SM 1700,



16.5 pav. Periferinis ESM perfokortų įrenginys (Energetikos ir technologijų muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

skirtas inžineriniams skaičiavimams. Jo sparta siekė 30 000 operacijų per sekundę.

1980–1990 m. buvo pagaminta 730 DEC ir VAX 730 (JAV) kompiuterių analogų. Lietuvoje leistas *Švyturio* žurnalas pirmasis panaudojo DVK-3 (DEC T-11 analogas) kompiuterį teksto maketavimo darbams. Dar vienas plačiai naudotas PDP-11 kompiuterio analogas buvo Šiaulių „Nuklono“ gamykloje gamintas mokykloms skirtas mini kompiuteris BK-0010.

Devintojo dešimtmečio pabaigoje Lietuvos kompiuterių gamintojai sujungė septynias gamyklas, keletą projektavimo biurų ir tris projektavimo-konstravimo organizacijas (Vilniuje, Telšiuose, Panevėžyje, Tauragėje ir Pabradėje) į Skaičiavimo ir organizacinės technikos įmonių susivienijimą „Sigma“. Gamyboje ir administracijoje dirbo apie 18 000 žmonių, o mokslinių tyrimų ir plėtros srityje – apie 2 000 žmonių. Vilniaus skaičiavimo mašinų gamykloje serijiniu būdu buvo gaminami skaičiavimo mašinų kompleksai ir juos aptarnaujantys įrenginiai, Telšių skaičiavimo mašinų gamykloje – perforatoriai, Panevėžio tiksliosios mechanikos gamykloje – grafikus skaitantys įrenginiai „Siluetas“, atminties įrenginiai su magnetiniais diskais, duomenų iš perfojuostų perrašymo į perfokortas įrenginiai ir kt. Tauragės skaičiavimo mašinų elementų gamykloje buvo gaminamos visų markių relės, ferotranzistoriniai modeliai ir kiti tipiniai keičiamieji elementai. Pabradės skaičiavimo prietaisų gamykloje „Modulis“ buvo gaminami skaičiavimo mašinų

transformatoriai, maitinimo blokai, loginiai elementai, laidų pynės ir kt. Paskutinė gamybinio susivienijimo „Sigma“ skaičiavimo mašina SM 1700 buvo gaminama iki 1990 metų.

Po 1990 m. kompiuterių pramonės padėtis labai pasikeitė. Vietinė pramonė buvo suskaidyta arba smarkiai sumažinta. Įsikūrė per 200 mažų ir vidutinių įmonių, parduodančių kompiuterius ir programinę įrangą, rengiančių kompiuterizavimo projektus ar siūlančių vartotojų mokymus. Šiuo metu Lietuvoje labiausiai paplitę asmeniniai kompiuteriai su „Intel“ procesoriumi.

17 SKYRIUS
ORO IR KOSMINĖS ERDVĖS TRANSPORTAS

AEROSTATAI

Aerostatas – lengvesnis už orą skraidymo aparatas, kuris išsilaiko aukštyje dėl aerostatinio plūdrumo. Yra du tipai: nevaldomieji (įvairūs karšto oro ar lengvesnių už orą dujų balionai) ir valdomieji (dirižabliai). Valdomąjį aerostatą galima valdyti ore vairu, sraigtu ar kitais traukos mechanizmais.

Pirmąjį aerostatą, keliamą įkaitinto oro, 1783 m. suprojektavo ir pagamino broliai Josephas-Michelis ir Jacques'as-Étienne'as Montgolfier (Prancūzija). Vis dėlto balionai turėjo trūkumą: jie skrido tik pavėjui ir nebuvo galima pasukti jų norima kryptimi. Pirmasis keliamąją ir varomąją jėgas suderino prancūzas Henri Giffard'as, 1852 m. išbandęs balioną su garo varikliu. Pirmasis skrydis įvyko Paryžiuje, aparatas įveikė 27 kilometrus. 1900 m. Ferdinandas von Zeppelinas (Vokietija) sukonstravo standųjį dirižablį, pavadintą jo vardu. Dirižablį sudarė pailgas, aptakus, pripildytas dujų (paprastai vandenilio ar helio) korpusas, gondola, kryžminės plokštumos (nejudamosios – stabilizatoriai ir judamosios – aukščio ir posūkio vairai) ir varikliai. Skirtingai nuo aerodinaminių skraidymo aparatų, tokių kaip fiksuoto sparno orlaivis ar sraigtasparnis, kurių keliamąją galią sukuria ore judantis sparnas, aerostatinį orlaivį kelia aukštyn ar padeda išsilaikyti ore už orą lengvesnių dujų pripildytas didelis balionas. Iš pradžių tokiomis dujomis buvo vandenilis, nors jis lengvai užsiliepsnodavo, sukeldamas pavojų. Nedegių helio dujų atmosferoje ir gamtinėse dujose yra mažai, jos buvo brangios. JAV suradus dujų, turinčių didesnį helio kiekį, dujos atpigo ir nuo 1960 m. visi modernūs dirižabliai naudojo helio dujas. Terminas „cepelinas" išties tėra prekės ženklas, iš pradžių skirtas XX a. pradžioje Vokietijos „Zeppelin" kompanijos gaminamiems valdomiems dirižabliams.

Dirižabliai gali būti *minkštieji*, *pusstandžiai* ir *standieji*. Minkštojo (1–7 tūkst. m^3) ir pusstandžio (8–35 tūkst. m^3) dirižablio audeklinis korpusas dėl viduje esančių dujų slėgio išlaiko pastovią formą. Standžiojo dirižablio (iki 200 000 m^3 talpos) korpusas metalinis. Skridimo greitis 100–135 km/h. Standžiojo dirižablio rėmas daromas iš metalo profilių, paviršius apgaubiamas audeklu.

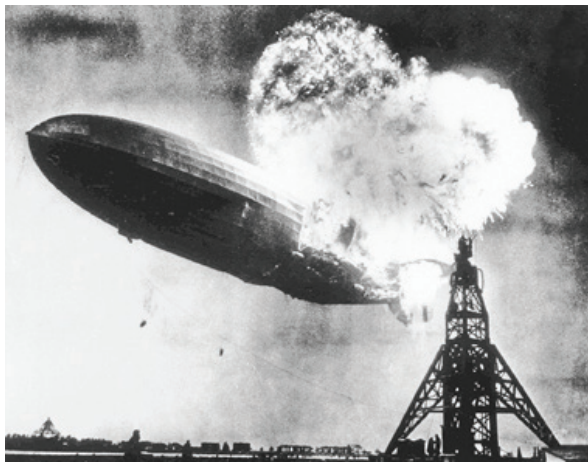
Šio dirižablio konstrukcija buvo tinkama skrydžiams statinėmis sąlygomis, tačiau oras retai būna statine terpe. Dirižablio rėmą skrydžio metu veikia lenkimo, šlities, sukimo ir kitos jėgos, kurias projektuojant sunku įvertinti, ypač jei jos veikia kompleksiškai ir lokaliai. Rėmo standžią vidinę konstrukciją užtikrino dešimtys strypų, vadinamų lonžeronais, prie kurių kas kelis metrus buvo pritvirtintos skersinės sijos.

„Auksinis“ dirižablių naudojimo periodas prasidėjo 1900 m., kai vokiečiai pagamino labai didelį, 128 m ilgio, dirižablį „Zeppelin LZ 1“. Paskutinio 1928 m. pastatyto „Graf Zeppelin“ ilgis siekė 236 metrus. 1928–1937 m. „Graf Zeppelin“ be jokių nesėkmių atliko 144 transatlantinius skrydžius, pervežė 18 000 keleivių ir įveikė daugiau kaip milijoną mylių. Didžiausias, prabangiausias ir galingiausias pasaulyje iš visų to laiko dirižablių buvo „Hindenburgas“. Dydžiu jis pranoko visus savo pirmtakus: laivo ilgis 248 m (beveik keturiskart ilgesnis negu dabartinis „Boeing-747“), aukštis 44,7 m, didžiausias skersmuo 41,2 m, tūris 190 000 m^3, svoris apie 214 tonų. Jis turėjo keturis galingus „Daimler“ dyzelinius variklius – kiekvienas po 4 400 arklio jėgų, kurie suko varomuosius sraigtus. Po korpusu pakabintoje kabinoje tilpo 97 žmonės (keleiviai ir įgula), vėliau kabinos grindyse buvo įrengtas liukas bomboms. Dirižablio karkasui buvo sunaudota 15 km profiliuoto duraliuminio. Korpuso viduje buvo 16 sekcijų vandenilio dujoms. Konstruojant dirižablį buvo ketinama naudoti ne vandenilio dujas, o inertinį helį. Šios dujos turi mažesnę keliamąją galią nei vandenilis, tačiau yra nesprogios. Dėl mažesnės dujų keliamosios galios teko padidinti būsimojo dirižablio tūrį iki 190 000 m^3. Pripildytas helio „Hindenburgas“ būtų tapęs nepažeidžiamas. Net šaudmenims pataikius, sprogtų daugiausia du balionai iš penkiolikos. Ore aparatas turėjo išsilaikyti su šešiais ar net septyniais pamuštais balionais. Tuo metu vienintelė žinoma gamtinio helio gavybos vieta buvo Techaso valstijoje (JAV). Amerikiečiai kategoriškai atsisakė pardavinėti helį vokiečiams, todėl balionus teko pildyti degiuoju vandeniliu. 1937 m. į

Naująjį Džersį atskridusio dirižablio vieną iš bakų nušvietė ryškus žybtelėjimas, apimta ugnies orlaivio uodega staiga ėmė kristi žemyn. Ugnis sparčiai artėjo prie orlaivio priekio, netrukus nuaidėjo galingas sprogimas ir po 32 sekundžių nuo gaisro pradžios degantis dirižablis nukrito ant žemės. „Hindenbugo“ katastrofa daugeliui metų nutraukė dirižablių raidą visame pasaulyje.

Europoje gana anksti buvo suprasta, kad aerostatus galima naudoti karo reikmėms. Pirmieji karinėse operacijose juos panaudojo italai Italijos-Turkijos karo metu (1911–1912 m.), tačiau tik Pirmajame pasauliniame kare šie orlaiviai tapo koviniu ginklu. Karo pradžioje aerostatus žvalgybai ir bombardavimui naudoję vokiečiai, prancūzai ir italai greitai suprato, kad orlaivis operacijose virš fronto linijos yra pernelyg lengvai pažeidžiamas. 1917 m. nuspręsta tiesioginėse kovinėse operacijose jų nebenaudoti.

Vokietijos kariuomenė manė turinti idealų ginklą kovai su britų kariniu jūrų laivynu ir galinti jais bombarduoti D. Britanijos miestus. Reidai į Angliją prasidėjo 1915 m. ir buvo nutraukti tik 1918 metais. Dirižabliai buvo bauginantis, tačiau netikslus ginklas. Navigacija, kovinių tikslų parinkimas ir tikslus bombų nukreipimas net geriausiomis oro sąlygomis buvo sunki užduotis. Tamsa, debesys, didelis skrydžio aukštis dar labiau mažino kovinių operacijų tikslumą ir efektyvumą. Iš pradžių aerostatai nedaug nukentėdavo nuo priešlėktuvinių ar lėktuvų ginklų atakų, nes dujų slėgis balione mažai skyrėsi



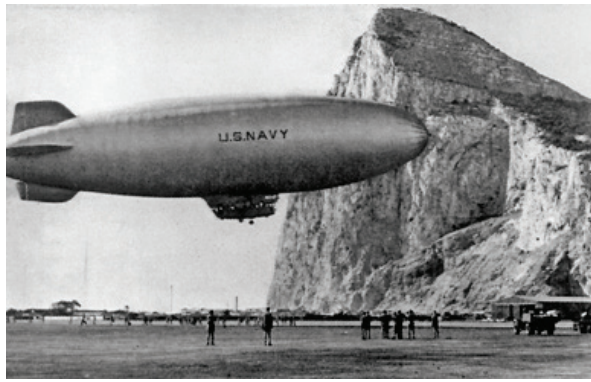
17.1 pav. Švartavimosi metu užsiliepsnojęs „Hindenburgas“, 1937 m. gegužės 6 d. (Hindenburg disaster.jpg.)

nuo supančio oro slėgio ir kulkų padarytų skylių žala nebuvo reikšminga. Pradėjus naudoti padegamąsias kulkas, vandenilio dujomis užpildyti orlaiviai mažesniame aukštyje tapo pažeidžiami ir keli jų žuvo liepsnose. Skraidant aukštyje, kuriame nepasiekdavo priešlėktuvinė ginkluotė, labai pablogėjo bombardavimo tikslumas ir galimybės pasiekti atakos objektą.

Aerostatų puolimams atremti D. Britanijos kariškiai pasitelkė garso aptikimo įrangą, prožektorius ir priešlėktuvinę artileriją. Britai aerostatus naudojo žvalgybai, povandeninių laivų paieškai (17.2 pav.). Prancūzija ir Italija naudojo dirižablius per visą Pirmąjį pasaulinį karą. Karo pabaigoje juos pakeitė lėktuvai, o likę orlaiviai buvo paversti metalo laužu arba perduoti nugalėtojams kaip karo grobis.

Aerostatų gamybą tęsė tik JAV ir SSRS. Sovietų Sąjunga turėjo keletą pusstandžių ir minkštųjų dirižablių. Pusstandis SSSR-V6 buvo vienas didžiausių šios klasės orlaivių, pasiekęs ilgiausią skrydžio trukmę – daugiau kaip 130 valandų. 1938 m. jis atsitrenkė į kalną. Avarijos metu žuvo 13 iš 19 orlaivyje buvusių žmonių. Avarija labai paveikė SSRS dirižablių gamybą, nors jie buvo gaminami net iki 1950 metų.

Nors dirižabliai nebenaudojami keleiviniam transportui, tačiau iki XX a. 6 dešimtmečio buvo skirti tiekimui, ryšiams su sunkiai prieinamais rajonais, žvalgybai, laivų eskortavimui, povandeninių laivų ir minų užtvarų paieškai. Dabartiniai dirižabliai, dažniausiai naudojami reklamai, apžvalgos skrydžiams, yra maži ir palyginti saugūs, nes pripildyti helio.



17.2 pav. 1944 m. Gibraltaro sąsiauryje povandeninių laivų aptikimo operacijas vykdantis K klasės aerostatas (USN ZP-14 Blimp at RAF Gibraltar 1944.jpg.)

Pirmojo pasaulinio karo metu 1916 m. vokiečiai Kaune pastatė dirižabliams angarą (240 m × 42 m × 35 m), kuriame galėjo tilpti du dirižabliai. Vartus sudarė dvi stumdomos dalys. Prie angaro buvo pastatyta oro stebėjimo stotis ir dujų gamykla, kad nereikėtų dujų balionais atsivežti iš kitur. 1916 m. rugsėjo 25 d. į Kauną buvo atskridęs dirižablis „Zeppelin SL VII“, jo balionų tūris buvo 35 100 m^3, variklio galingumas 840 AJ. 1919 m. vasario mėn. angarą iš vokiečių perėmė besiformuojanti Lietuvos kariuomenė ir angaras liko stovėti dar kelerius metus.

1999 m. įvyko pirmasis karšto oro baliono skrydis aplink pasaulį: Bertrand'as Piccardas ir Brianas Jones'as balionu „Breitling Orbiter 3“ apskrido pasaulį ir sklandžiai nusileido Egipte. Skrydis truko 19 dienų, 21 valandą ir 55 minutes. Gondoloje buvo 28 titano balionai su propano dujomis, kurias degino 6 degikliai. 2002 m. Steve'as Fossettas, pakilęs iš Nortamo miestelio Vakarų Australijoje, apskrido pasaulį oro balionu „Bud Light Spirit of Freedom“. Skrydis truko 14 dienų, 19 valandų ir 51 minutę. Balionas nusileido prie išdžiūvusio ežero netoli Kvinslendo (Australija). Oreivis oro balionu įveikė 32 963 km. 2016 m. kelionę apie pasaulį pakartojo Rusijos oreivis Fiodoras Koniuchovas. Jis irgi pakilo iš Nortamo miestelio ir apskriejo Žemę per 11 dienų ir 6 valandas. Kaip kurą naudojo propano dujas.

SRAIGTASPARNIAI IR MALŪNSPARNIAI

Sraigtasparnis – sunkesnis už orą orlaivis, galintis pakilti ir nutūpti vertikaliai, kyboti ore ir apsisukti vietoje, skristi atbulas ar į šoną. Sraigtasparnio keliamąją ir į priekį varančiąją jėgą sukuria vieno ar kelių variklių sukamas vienas ar keli sraigtai. Sraigtą sudaro kelios mentys. Klasikinė sraigtasparnio konstrukcija: liemuo, keliamieji sraigtai, jėgainė ir važiuoklė. Ant sraigtasparnio jėgainės konstrukcinės dalies montuojami variklis, pagrindinis reduktorius arba keli reduktoriai (priklausomai nuo sraigtasparnio schemos) ir uodegos reduktorius, prie kurio tvirtinamas uodegos sraigtas.

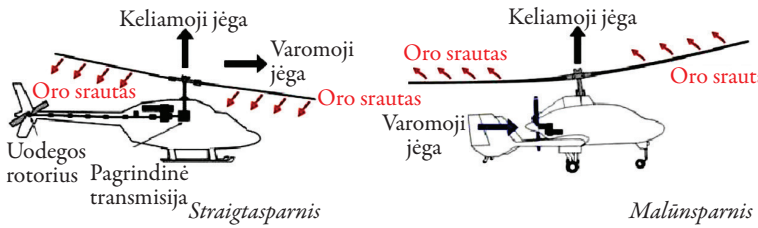
1907 m. Prancūzijoje į orą pakilo pirmasis pilotuojamas sraigtasparnis: Paulio Cornu sukurtas ir pagamintas sraigtasparnis atsiplėšė nuo žemės ir išsilaikė ore 20 sekundžių (17.3 pav.).



17.3 pav. P. Cornu sraigtasparnis, 1907 m. (De Bothezat Quadrotor.jpg.)

24 AG variklio varomas aparatas buvo vadinamas „skraidančiuoju dviračiu“, nes turėjo du ratus su stipinais, dvi irklo formos 6 m skersmens sparnuotes. Į priešingas puses besisukančias sparnuotes diržine pavara suko variklis. Ant įrenginio rėmo buvo pritvirtintas variklis, piloto sėdynė ir degalų bakas. Visa konstrukcija svėrė šiek tiek daugiau negu 250 kg.

Malūnsparnis – tai orlaivis, kurio keliamąją jėgą sukuria priešpriešinio oro srauto sukamas viršutinis sraigtas, o varos jėgą skrendant – priekinis aviacinio variklio sukamas orasraigtis (propeleris). Pirmasis sėkmingas skrydis malūnsparniu atliktas 1923 metais. Malūnsparnį sukūrė ispanų inžinierius ir aviacijos entuziastas Juanas de la Cierva. Malūnsparnis nusileidžia sraigtasparniui galimybe „kyboti“ vietoje, nes jo horizontalus greitis, nors ir gali būti labai mažas, visgi nėra lygus nuliui (17.4 pav.).



17.4 pav. Sraigtasparnio ir malūnsparnio konstrukciniai skirtumai (malunsparnis.lt)

Lietuvoje malūnsparnių atsiradimo istorija siekia tarpukarį, kai Lietuvos aeroklubas įsigijo ir sėkmingai skraidė Juano Ciervos sukurtu malūnsparniu „Cierva C30P“. Buvo sukurta ir keletas lietuviškos konstrukcijos aparatų, vėliau į Lietuvą atkeliavo kanadietiški, ispaniški, Pietų Afrikos Respublikos malūnsparniai. 1979 m. broliai Romas ir Bronius Vaineikiai pagamino savos konstrukcijos vienvietį stumiančio orasraigčio schemos ultra lengvą malūnsparnį.

REAKTYVINIAI LĖKTUVAI

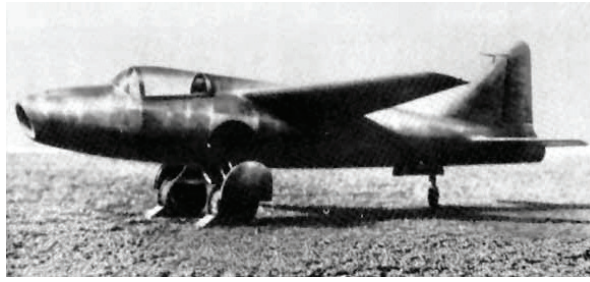
Reaktyviniai lėktuvai yra varomi reaktyviniu varikliu. Jie daug galingesni negu stūmokliniai, gali skraidinti didesnį svorį, pasiekia didesnį skrydžio greitį.

Ankstyvieji reaktyviniai lėktuvai. Propeleriniai lėktuvai, varomi vidaus degimo varikliais, apogėjų pasiekė Antrojo pasaulinio karo metu. Nors šie lėktuvai skraidė aukštai ir greitai, buvo aišku, kad jie pasiekė galimybių ribą. Ir ta riba buvo „garso barjeras“, kurį pavyko įveikti tik sukūrus naujus lėktuvus. Antrojo pasaulinio karo metu sukurtos raketos ir reaktyviniai lėktuvai užbaigė pirmąjį ikigarsinio greičio aeronautikos plėtros etapą ir perkopė į kitą – viršgarsinio greičio – etapą.

Orasraigčio varomi orlaiviai, skrisdami greičiau, susidūrė su oro spūdumu, kuris veikė sparnų aerodinaminio profilio kėlimo ir traukimo charakteristikas. Orlaivio greičiui padidėjus nuo 0,4 iki 0,8 garso greičio, kėlimo jėga padidėja tik 0,2 karto, o traukimo charakteristika padidėja kartais. Prie garso greičio artėjantys orlaiviai ne kartą prarado valdymo kontrolę ir tapo nestabilūs.

1939 m. vokiečiai sukūrė reaktyvinį lėktuvą „Heinkel 178“ (17.5 pav.) – pirmąjį pasaulyje reaktyviniu varikliu varomą orlaivį. 1942 m. sukurtas reaktyvinis lėktuvas „Messerschmitt Me-262A“ tapo pirmuoju koviniu reaktyviniu orlaiviu. Lėktuvas galėjo pasiekti 840 km/h greitį (17.6 pav.).

Orlaivis turėjo primityvią ginkluotę, degalų tiekimo ir valdymo sistemas. Degalus sudarė dvi komponentės: pirmoji – alkoholio, hidrazino hidrato ir vandens mišinys, antroji – vandenilio peroksidas. Šis mišinys buvo labai sprogus, agresyvios korozijos ir labai pavojingas tiek žmonėms, tiek pačiam orlaiviui. Dėl archajinės nutūpimo sistemos besileidžiančiam pakrautam orlaiviui visada grėsė sprogimas.



17.5 pav. Turboreaktyvinis lėktuvas „Heinkel 178“ (Ohain USAF He 178 page61.jpg.)

Raketiniu varikliu varomas „Messerschmitt Me 163 Komet“ buvo vienintelis kovinis naikintuvas. 1944 m. jis pasiekė 1 112 km/h greitį. Buvo pagaminta per 300 orlaivių, tačiau jis nepasižymėjo geromis kovinėmis savybėmis.

Reaktyviniai orlaiviai yra daug greitesni negu orasraigčio varomi orlaiviai. Į 10 000–15 000 m aukštį pakilusio orlaivio reaktyviniai varikliai pasiekia didžiausią efektyvumą ir orlaivis gali nuskristi didelį atstumą. Vidaus degimo variklių varomi orlaiviai didžiausią efektyvumą pasiekia mažesniame aukštyje.

1944 m. D. Britanijos ginkluotėje pasirodė reaktyvinis orlaivis „Gloster Meteor“, skirtas šalies oro erdvės gynybai ir antžeminių karinių operacijų palaikymui Europoje. Vokietija 1944 m. žvalgybai ir bombardavimui pradėjo naudoti reaktyvinį lėktuvą „Arado Ar 234“. 1945 m. savo reaktyvinį lėktuvą sukūrė ir Japonija. 1945 m. pabaigoje JAV pradėjo naudoti reaktyvinį naikintuvą „Lockheed P-80 Shooting Star“, o D. Britanija – savo antrąjį sukurtą reaktyvinį naikintuvą „De Havilland Vampire“. 1948 m. JAV ginkluotėje pasirodė reaktyvinis bombonešis „B-45 Tornado“, galintis skraidinti branduolinį ginklą. Pirmasis komercinis reaktyvinio lėktuvo „De Havilland



17.6 pav. Reaktyvinis lėktuvas „Messerschmitt Me-262A“ (Me 262 flight show at ILA 2006.jpg.)

Comet“ skrydis iš Londono į Johanesburgą įvyko 1952 metais. 36 keleivius skraidinantį orlaivį varė 4 reaktyviniai varikliai. Lėktuvo išorę dengė tik 0,7 mm storio aliuminio danga. Jo stačiakampės formos langai blogiau paskirstydavo atsirandančius įtempius. Dėl šių trūkumų, taip pat būtinybės skrendant dideliame aukštyje palaikyti lėktuvo viduje didesnį slėgį, du lėktuvai 1954 m. patyrė avarijas. Avarijų priežastimi buvo staigi lėktuvo liemens dekompresija metalui įtrūkus dėl nuovargio. Po nelaimių konstruktoriai pastorino liemens skardą, suapvalino langus ir įstatė trisluoksnius stiklus, sustiprino rėmo konstrukcinius elementus, o atsirandančių įtrūkių plėtrai blokuoti ant liemens buvo įtaisyti specialūs stabdikliai.

Turboreaktyvinius orlaivius pradėta eksploatuoti 1950–1960 m., šiandien šis reaktyvinių orlaivių tipas yra labiausiai paplitęs. Greičiausias komercinės klasės reaktyvinis viršgarsinis lėktuvas „Tu-144“ galėjo skristi 2 503 km/h greičiu (2,35 karto greičiau už garso greitį ore). Jis pradėjo skraidyti 1968 m., bet dėl kelių skaudžių avarijų (1973 m. Paryžiuje ir 1978 m. SSRS vidaus oro linijose) 1978 m. jo keleiviniai skrydžiai buvo nutraukti. Iš viso buvo pagaminta 16 skraidančių orlaivių. Prancūzijos ir D. Britanijos viršgarsinis transportinis lėktuvas „Concorde“ pirmą skrydį atliko 1969 m., o komercinius skrydžius pradėjo 1976 m. ir jie tęsėsi net 27 metus. Orlaivis reguliariai skraidė iš Londono Hitrou (Heathrow) ir Paryžiaus Šarlio de Golio (Charles de Gaulle) oro uostų į Niujorko ir Vašingtono tarptautinius oro uostus. Po 2000 m. avarijos Paryžiuje ir dėl didelių eksploatacijos sąnaudų šių orlaivių buvo atsisakyta (paskutinį kartą į orą pakilo 2003 m.). Orlaivis galėjo nuskristi 7 250 km, pakilti į 18 300 m aukštį. Dėl didelio skrydžio greičio (iki 2 405 km/h) orlaivio nosies galas įkaisdavo iki 127 °C. Iš viso buvo pagaminta 20 šio tipo orlaivių (17.7 pav.).

Greičiausias JAV karinis reaktyvinis lėktuvas SR-71 (neoficialus pavadinimas „Blackbird“) galėjo skristi 3 661 km/h greičiu, o greičiausias raketinis pilotuojamas orlaivis „X-15“ galėjo pasiekti 7 485 km/h greitį (6,85 karto greitesnį už garsą).

Visi raketiniai ar reaktyviniai varikliai kuro mišinio degimo reakcijos produktų terminę mechaninę energiją verčia į mechaninę – stūmos jėgą, kurios dydis priklauso nuo išstumtų dalelių masės ir greičio. Pagrindinės reaktyvinio variklio dalys: kompresorius, degimo kamera, turbina, reaktyvinė



17.7 pav. Viršgarsinis transportinis lėktuvas „Concorde“ (Concorde landing Farnborough Fitzgerald.jpg.)

tūta. Pagrindinis variklių kuras – žibalas. Kompresorius iki 20–30 kartų suspaudžia orą ir tiekia jį į degimo kamerą. Karštų dujų energija turbinoje paverčiama mechaniniu darbu, kuris panaudojamas kompresoriui sukti. Nepanaudota karštų dujų energija verčiama dujų srauto kinetine energija, kuri sukuria reaktyvinę jėgą. Kompresoriui sukti panaudojama apie 60–70 % variklyje gaunamos energijos. Turboventiliatorinis variklis kompresoriaus priekyje turi didelį ventiliatorių. Didesnė dalis ventiliatoriaus sukuriamo oro srauto sudaro variklio traukos dalį (iki 80 %), kita dalis patenka į kompresorių, degimo kamerą, turbiną ir reaktyvinėje tūtoje sukuria likusią (apie 20–30 %) traukos dalį. Taigi variklis didesnei oro masei (palyginti su paprastu turboreaktyviniu varikliu) suteikia mažesnį greitį, dėl to variklio efektyvumas geresnis, kuro sąnaudos ir triukšmas mažesni. Raketiniai varikliai pasižymi labai dideliu degimo produktų išmetimo greičiu, jie naudojami, kai reikia pasiekti didelį skrydžio greitį ir aukštį.

2009 m. pradėtas eksploatuoti vidutinio dydžio, plataus kėbulo, dviejų variklių tolimojo susisiekimo orlaivis „787 Dreamliner“, sukurtas „Boeing“ komercinių orlaivių kompanijoje (17.8 pav.). Lėktuve telpa 210–330 keleivių. Nors dėl konstrukcijos ypatumų reikėjo daugiau elementų ar detalių, pagamintų iš titano lydinių, tačiau iki 50 % orlaivio masės sudaro kompozitinės medžiagos, 20 % aliuminio lydiniai, 15 % titano lydiniai, 10 % plienas ir 5 % kitos medžiagos. Kiekviename orlaivyje yra apie 32 t anglies pluoštu armuoto plastiko, kuriam pagaminti sunaudota 23 t anglies pluošto. Orlaivis



17.8 pav. JAV lėktuvų kompanijos „Boeing“ modelis „787 Dreamliner“ (Boeing 787 Dreamliner arrival Airventure 2011.jpg.)

gali nuskristi 15 000–15 700 km atstumą, jo greitis 900 km/h. Pirmasis komercinis skrydis įvyko 2011 metais.

2005 m. pasirodė 4 variklių, dvigubo denio, 853 keleivių vietų keleivinis lėktuvas „Airbus A380“ (17.9 pav.). Skrydžio nuotolis – 15 000 km. Krovininis modelis gali gabenti 150 t krovinį iki 10 400 km atstumu. 2012 m. patobulinus „A380“ didžiausias leistinas kėlimo svoris pasiekė 575 t, o skrydžio nuotolis su maksimaliu kroviniu padidėjo iki 15 460 km. Pagrindiniai konstrukciniai orlaivio mazgai yra gaminami Prancūzijoje, Vokietijoje, Ispanijoje ir Jungtinėje Karalystėje. Tulūzoje (Prancūzija) surinkti orlaiviai atplukdomi į Hamburgą, čia sumontuojama vidinė įranga ir orlaiviai nudažomi.

XX a. pabaigoje, tobulėjant kompiuterinei technikai ir skaitmeninėms technologijoms, jutikliai ir kompiuteriai orlaiviuose automatiškai stebi ir reguliuoja visas sistemas. Orlaivyje nebeliko techninio eksperto, stebinčio įvairių sistemų darbą. Atsiradus gedimui ar nustatytų parametrų nuokrypiui,



17.9 pav. Keleivinis lėktuvas „A380“ (Airbus A380 blue sky.jpg.)

informacija iš karto rodoma monitoriaus ekrane, o kompiuteris automatiškai pradeda korekcinius veiksmus. Vienas pilotas valdo skrydį, o kitas stebi sistemas ir esant reikalui priima sprendimą.

ANKSTYVIEJI LIETUVIŠKI SKRYDŽIAI

Pirmieji orlaiviai su lietuviškais ženklais pasirodė 1919 m. kovo 1 d. 1919–1920 m. karinė aviacija dalyvavo kovose už nepriklausomybę su bolševikais ir Lenkija. Kai kurių užsienio oro bendrovių orlaiviai pradėjo nusileisti Kaune nuo 1922 metų. Reguliarūs vidiniai keleiviniai skrydžiai prasidėjo tik 1939 metais. 1922 m. Jurgis Dobkevičius pagamino ir išbandė pirmą originalios konstrukcijos lietuvių lėktuvą „Dobi-I“. 1923–1924 m. buvo pagaminti ir išbandyti dar du jo konstrukcijos orlaiviai. 1925–1939 m. konstruktorius Antanas Gustaitis sukūrė, pagamino ir išbandė 9 ANBO konstrukcijos orlaivius. Kai kurie iš jų buvo gaminami serijomis. 1940 m. Sovietų Sąjungai prisijungus Lietuvą, Latviją ir Estiją, į grobikų gniaužtus pakliuvo ir orlaivių konstruktoriai. ANBO orlaivių konstruktorius, Lietuvos karo aviacijos vadas, brigados generolas Antanas Gustaitis 1941 m. buvo sušaudytas Maskvoje.

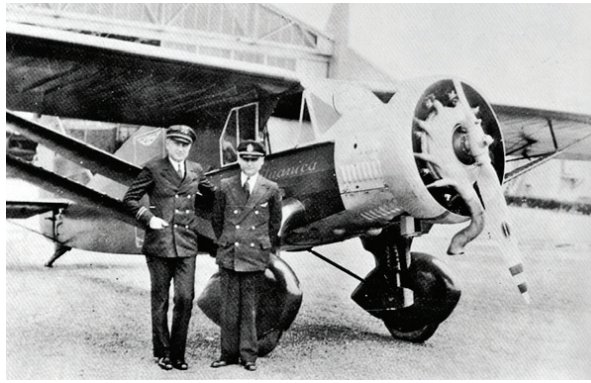
Pirmasis jo konstrukcijos orlaivis ANBO-I pasirodė 1925 metais. Vienvietį sportinį lėktuvėlį varė 30 AJ galios variklis. Studijuodamas Paryžiuje A. Gustaitis suprojektavo dvivietį lėktuvą ANBO-II lakūnams mokyti, jis buvo pagamintas 1927 metais. 1929 m. į orą pakilo trečiasis jo konstrukcijos mokomasis lėktuvas ANBO-III. Manoma, kad buvo pagaminta po 20 kiekvieno tipo (ANBO-II ir ANBO-III) orlaivių. 1932 m. sėkmingai išbandė vieną geriausių savo konstrukcijos lėktuvų ANBO-IV, skirtą žvalgybai ir bombardavimui. Nuo 1934 m. šis modernus ir gerai ginkluotas lėktuvas pakeitė pasenusius Lietuvos karinio oro laivyno žvalgybos lėktuvus. 1934 m. birželio 25 d. – liepos 19 d. A. Gustaičio vadovaujama trijų ANBO-IV eskadrilė sėkmingai įveikė apie dešimt tūkstančių kilometrų ir aplankė dvylikos Europos valstybių sostines maršrutu Kaunas–Stokholmas–Kopenhaga–Amsterdamas–Briuselis–Londonas–Paryžius–Roma–Viena–Praha–Budapeštas–Bukarestas–Kijevas–Maskva–Kaunas. Po šio skrydžio ANBO-IV tapo gana gerai žinomas už Lietuvos ribų.

1937 m. sausio mėn. pradžioje išbandyta modernizuota ANBO-IV versija ANBO-41. Konstrukcinėmis ypatybėmis, o svarbiausia greičiu ir pakilimo laiku ANBO-41 žymiai pralenkė moderniausius to meto užsienio žvalgybinius lėktuvus. Patobulintais, galingesniu varikliu varomais, ANBO-41 orlaiviais buvo aprūpinti du Lietuvos aviacijos eskadronai. Iš viso buvo pagaminti 66 ANBO konstrukcijos orlaiviai (17.10 pav.). 1939 m. A. Gustaitis išbandė paskutinį savo kūrinį – ANBO-VIII. Tai buvo modernus žemasparnis, dvivietis lengvasis bombonešis su uždara kabina. Didžiausias greitis – 411 km/h; ginkluotas keturiais kulkosvaidžiais sparnuose ir vienu žvalgo kabinoje, jis galėjo paimti iki 600 kg bombų.

Transatlantiniai skrydžiai. Steponas Darius ir Stasys Girėnas buvo emigravę į JAV Lietuvos lakūnai, kurie savo skrydžiu per Atlanto vandenyną paliko didelę žymę pasaulio aviacijos istorijoje. 1933 m. liepos 15 d. nenusileisdami jie perskrido Atlanto vandenyną per 37 valandas ir 11 minučių, įveikę 6 411 km. Vidutinis skrydžio greitis buvo 172 km/h. Visa 7 186 km ilgio trasa buvo suskirstyta į tris etapus: Niujorkas–Niufaundlandas – 2 129,8 km, Niufaundlandas–Airija – 3 513,2 km, Airija–Kaunas (per Londoną, Amsterdamą, Svinemundę, Konigsbergą) – 1 543 km. Tuo metu pagal skrydžio trukmę tai buvo ketvirtas rezultatas pasaulio aviacijos istorijoje. Nors lakūnai neturėjo navigacinės įrangos, radijo ir parašiutų (jų negalėjo paimti dėl didelio svorio), be to, skrido nepalankiomis oro sąlygomis, jų skrydis buvo vienas iš tiksliausių aviacijos istorijoje. Tai buvo vieno variklio šešiavietis aukštasparnis monoplanas. Jo liemuo buvo suvirintas iš chromo-molibdeno plieno vamzdžių, kurie dar buvo padengti audeklu. Žvaigždinis oru aušinamas



17.10 pav. Kaune 1939 m. pagamintas ANBO-VIII lėktuvas



17.11 pav. Lietuvių lakūnai Steponas Darius ir Stasys Girėnas šalia „Bellanca Pacemaker CH-300“ lėktuvo (Lituanica.jpg.)



17.12 pav. Feliksas Vaitkus prieš transatlantinį skrydį, 1935 m. (Feliksas Vaitkus. Transatlantic flight)

9 cilindrų Wright Whirlwind J6-9E variklis galėjo išvystyti 365 AG (272 kW) galią. Lakūnai pirmieji oficialiai oru iš Šiaurės Amerikos į Europą vežė paštą. Pakilusi iš „Floyd Bennett Field“ oro uosto Niujorke „Lituanica“ sėkmingai kirto Atlanto vandenyną ir pasuko link Kauno. Dėl prastų oro sąlygų Airijoje jie pasuko į šiaurę ir pasiekė Vokietiją per Škotiją ir Šiaurės jūrą. Jų skrydis nutrūko po 37 val. 11 min. tuometinėje Vokietijoje, ties Kuhdamu (dab. Pščelnikas, Lenkija). Katastrofos aplinkybės taip ir liko miglotos. Iki jų tikslo – Kauno – buvo likę tik 650 km (17.11 pav.).

Kitą transatlantinį skrydį 1935 m. atliko Lietuvos lakūnas (JAV pilietis) Feliksas Vaitkus. Pakilęs iš Niujorko „Floyd Bennet Field“ oro uosto orlaivis „Lituanica II“ (Lockheed L-5B Vega) po 22 val. ir 15 min. nusileido Balinrobo rajone Airijoje, be pertraukos įveikęs 5 100 km (17.12 pav.).

Tarpukario Lietuvos aviacijos tradicijas tęsia Vilniaus Gedimino technikos universitete 1993 m. įkurtas Aviacijos institutas, kuriam 1997 m. suteiktas Antano Gustaičio vardas. Jame rengiami aviacijos mechaninės inžinerijos, avionikos, orlaivių ir sraigtasparnių pilotavimo, bepiločių orlaivių ir skrydžių valdymo specialistai. Kauno technologijos universitete rengiami aviacinės inžinerijos specialistai.

ŽMOGAUS RAUMENŲ JĖGOS VAROMI SKRAIDYMO APARATAI

Šie skraidymo aparatai yra varomi tik žmogaus energijos, kuri turi įveikti sunkio jėgą. Trauką sukurianti žmogaus raumenų jėga yra vienintelis leidžiamas šaltinis. Esant ramiam orui aparatas keliamąją gebą įgauna lakūnui greitai bėgant ir velkant skraidymo apartą. Kai lakūnas pakyla virš žemės, aparatas pradeda sklęsti. 1959 m. pramonininkas Henry'is Kremeris įsteigė 5 000 svarų dydžio premiją (Kremerio prizą), skirtą žmogaus raumenų jėgos varomam skraidymo aparatui, kuris skrisdamas padarytų aštuoniukę tarp dviejų pusės mylios atstumu vienas nuo kito pastatytų žymenų. 1961 m. Sautamptono universitete pagaminta skraidyklė SUMPAC nuskrido 650 metrų.

1972 m. žmogaus raumenų jėgos varoma skraidyklė nuskrido jau 1 239 m, o 1977 m. skraidyklė „Gossamer Condor 2" nuskrido 2 172 m, atliko aštuoniukės manevrą ir laimėjo pirmąjį Kremerio prizą. Skraidyklę pilotavo dviratininkas mėgėjas ir parasparninkas Bryanas Allenas. Skrydis buvo lėtas – 16,6 km/h, tačiau jam pasiekti buvo sunaudota tik 0,35 AG galia. Antrąjį Kremerio prizą – 100 000 svarų sterlingų – 1979 m. laimėjo JAV aeronautikos inžinieriaus Paulio MacCready'o konstruktorių komanda. Skraidyklę „Gossamer Albatross" pilotavęs B. Allenas šį kartą perskrido La Manšo sąsiaurį iš Folkestono (Didžioji Britanija) į Gris-Nez kyšulį (Prancūzija). Be pertraukos mindamas pedalus 35,82 km atstumą nuo Anglijos iki Prancūzijos jis įveikė per 2 val. 49 minutes. „Gossamer Albatross" rėmas buvo iš anglies pluošto kompozito, sparnams panaudoti polistireno strypai, o visa konstrukcija buvo padengta plona, skaidria, atsparia plyšimui ir smūgiams PET polimerine plėvele. Skraidyklė svėrė tik 32 kg, ją varė didelio skersmens dvimentis sraigtas (17.13 pav.).



17.13 pav. Žmogaus jėgos varomas lėktuvas „Gossamer Albatross“ (Gossamer Albatross II in flight.jpg.)



17.14 pav. Žmogaus jėgos varomas lengvas lėktuvas „Daedalus“ (Daedalus-human-powered-aircraft.jpg.)

Trečiasis 20 000 svarų sterlingų Kremerio prizas buvo skirtas už skrydžio greitį. Jį 1984 m. laimėjo Masačusetso technologijos instituto (JAV) sukurta skraidyklė „MIT Monarch B“, per tris minutes nuskridusi 1,5 km ir pasiekusi 32 km/h greitį. 1988 m. skrydžio tolio rekordas, pasiektas „Daedalus“ lėktuvu (17.14 pav.), jau buvo 115,11 km.

1980 m. Amerikos sraigtasparnių bendruomenė įsteigė inžinieriaus I. Sikorskio prizą už sukurtą varomą sraigtasparnį. Jį laimėti galėjo sraigtasparnis, pakilęs bent į 3 m aukštį, iškybojęs ore bent 60 sek. ir neišklydęs iš horizontalaus 10 × 10 m ploto. 1989 m. į orą pakilęs pirmasis žmogaus jėgos varomas sraigtasparnis skrido 7,1 sek. ir pasiekė 20 cm aukštį (17.15 pav.). 2011 m. Merilando universiteto (JAV) studentų sukurtas sraigtasparnis kybojo ore jau 35 sekundes.



17.15 pav. Žmogaus jėgos varomi sraigtasparniai (AeroVelo Atlas top view.jpg.)

2013 m. kanadiečių sukurtas sraigtasparnis „Aerovelo“, pilotuojamas T. Reicherto, uždaroje patalpoje pakilo į 3,3 m aukštį ir iškybojo jame 64 sekundes.

Ornitopteris yra orlaivis, kuris skrenda plasnodamas sparnais. Pirmieji galintys skristi ornitopteriai buvo pagaminti Prancūzijoje 1871 metais. Mažo paukščio dydžio modelio sparnus varė susukama gumos juosta. 1870 m. buvo sukurtas garo variklio varomas ornitopteris, o 1900-aisiais – varomas vidaus degimo variklio (17.16 pav.).

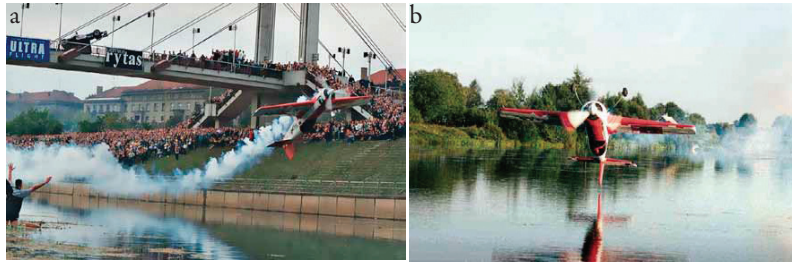


17.16 pav. Žmogaus jėgos varomas ornitopteris, 1902 m. (Edward Frost ornithopter.JPG.) Sportinė aviacija

2010 m. Toronto universiteto (Kanada) Aerokosminių tyrimų instituto doktorantas Toddas Reichertas sukūrė skraidymo aparatą „Snowbird“, kuris, plasnodamas žmogaus raumenų jėgos varomais sparnais, pakilo į orą 20 cm, skrido 19,3 sek. ir įveikė 142,5 metrų atstumą. Vidutinis ornitopterio skrydžio greitis siekė 25,6 km/h. Iš anglies pluošto, balzos medžio ir putplasčio pagamintas „Snowbird“ sveria vos 47 kg, tačiau jo sparnų ilgis siekia net 31,5 m. Lakūnas, sėdėdamas po sparnais pakabintoje mažoje kabinoje, mina pedalus ir sparnai ima plasnoti.

SPORTINĖ AVIACIJA

Oro akrobatika nėra naudojama įprasto skrydžio metu. Dažniausiai tai yra sporto, poilsio ar pramogų skrydžiai lėktuvais, sklandytuvais, kartais ir sraigtasparniais. Dauguma oro akrobatikos pratimų yra orlaivio sukimasis apie jo išilginę arba horizontaliąją ašis. Kiti pratimai, tokie kaip skrydis nugara, suktukai, kilpos ir kt., dažnai sujungiami į tam tikrą seką, kuri demonstruojama žiūrovams ar atliekama varžantis su kitais lakūnais. Akrobatiniams skrydžiams reikalingas platesnis lakūno skraidymo įgūdžių rinkinys, be to, orlaivis ir lakūnas patiria didesnes negu įprasta perkrovas (17.17, a pav.).



17.17 pav. Jurgio Kairio akrobatinis skrydis po pėsčiųjų tiltu Kaune 2000 m. (a), skrydis virš vandens ratais į viršų (b)

Lietuvos aviacija išugdė nemažai puikių oro akrobatikos lakūnų. Vienas iš jų – Jurgis Kairys, gimęs 1952 m. Krasnojarske (Rusija), lietuvių tremtinių šeimoje. J. Kairys yra aviacijos konstruktorius, akrobatinio skraidymo meistras, Europos ir pasaulio akrobatinio skraidymo čempionas, daugkartinis pasaulio čempionatų prizininkas, nugalėtojas, laimėjęs daug FAI pasaulio taurės varžybų, kelių akrobatinių figūrų išradėjas (pvz., Kairio suktukas). Jis padėjo tobulinti akrobatinio skraidymo orlaivius „Sukhoi Su-26“, „Su-29“ ir „Su-31“ ir sukonstravo savo akrobatinio skraidymo orlaivį „Juka“(17.17, b pav.).

SKLANDYTUVAI

Sklandytuvas – už orą sunkesnis skraidymo aparatas, dažniausiai neturintis variklio. Aparato konstrukcija leidžia pakilti ir išsilaikyti ore dėl judančių šiltų oro srautų (termikų). Į reikiamą aukštį sklandytuvas iškeliamas specialiu lyniniu keltuvu arba nutempiamas lėktuvu. Paprastai sklandytuvai yra keliami į 300–600 m aukštį. Šiuo metu labiausiai naudojami sklandymo sporte ir laisvalaikiui.

Esant ramiam orui, sklandytuvas visuomet leidžiasi, t. y. naudoja savo potencinę energiją, todėl tenka skraidyti nuo vieno termiko iki kito, kad išlaikytų prarastą aukštį. Nesuradus termiko, tenka leistis. Sklandytuvu galima pasiekti iki 300 km/h greitį ir vieno kilometro aukštyje nusklęsti daugiau kaip 60 km. Sklandytuvais galima nuskristi labai toli. Naujos medžiagos (stiklo ir anglies pluošto kompozitai), pažangios sparno ir aerodinaminių

profilių formos, elektronika, pasaulinė padėties nustatymo sistema ir tikslesnės orų prognozės leidžia lakūnams atlikti labai tolimus ir ilgai trunkančius skrydžius. Lietuvoje yra nuskrista 1 000 km, o pasaulyje – daugiau negu 3 000 km. Vidutinis skrydžio greitis gali siekti 130–160 km/h ar net daugiau. Sklandytuvu yra pasiektas 15 447 m aukštis, nors priklausomai nuo reljefo dažniausiai skraidoma 600–3 000 m aukštyje. Sklandytuvo išsilaikymą ore riboja tamsus paros metas ir nutrūkę šilto oro srautai. Lietuvoje galima sklęsti iki 9–10 valandų. Sklandytuvas valdomas aukštumos, pokrypio ir posūkio vairais, taip pat turi interceptorius (oro stabdžius) ir užsparnius skridimo greičiui mažinti.

Sklandymo sportas prasidėjo 1920 metais. 1936 m. vasaros olimpinėse žaidynėse Berlyne buvo pademonstruotas sklandymas. Planuota 1940 m. olimpinėse žaidynėse sklandymą pripažinti olimpinio sporto šaka. Po Antrojo pasaulinio karo sklandymas nebegrįžo į olimpines žaidynes dėl dviejų priežasčių: trūko sklandytuvų ir nebuvo susitarta, kokiais sklandytuvų modeliais turėtų vykti varžybos.

Lietuvoje sklandytuvų gamybos apimtys yra nedidelės. 1972 m. Lietuvoje, Prienų Eksperimentinėje sportinės aviacijos gamykloje, pradėta konstruoti ir gaminti plastmasinius sklandytuvus. Į orą pakilo pirmasis plastmasinis sklandytuvas BK-7 „Lietuva“. 1976 m. buvo išbandytas sklandytuvas LAK-9 „Lietuva“, pradėta serijinė šių sklandytuvų gamyba. 1978 m. sukurtas ir išbandytas sklandytuvas LAK-10 „Lietuva“. Šis modelis turėjo visiškai kitos konstrukcijos sparnus, jo lonžeronai buvo pagaminti iš anglies pluošto kompozito. 1979 m. į orą pakilo LAK-12 „Lietuva“. Šis modelis buvo gaminamas iki 1990 metų. Iš viso pagaminti 235 sklandytuvai. Nuo 1991 m. gaminami 15–18 m klasės sklandytuvai LAK-17, standartinės klasės – LAK-19 ir atviros klasės – LAK-20 (sparnų ilgis 23 arba 26 m). Į dvivietį LAK-20T sklandytuvą galima įmontuoti parskridimui reikalingą elektros variklį.

Lietuva yra vienintelė šalis pasaulyje, kurioje devynmečiai paaugliai turi teisę tapti licencijuotu pilotu. Jiems skraidyti suprojektuoti sklandytuvai neturi analogų visame pasaulyje. Vaikų skraidymui skirti sklandytuvai BrO-11M „Zylė“, LAK-14 „Strazdas“, kiek vėliau vienvietis LAK-16 (17.18 pav.). Skrydžiui sklandytuvai lyniniu kėlimo agregatu pakeliami į



17.18 pav. Paauglių mokomasis sklandytuvas (A. V. Valiulio nuotr.)

5 m aukštį. Mokytis skraidyti priimami 9–10 metų paaugliai. Tik Lietuvoje terminai „vaikų aviacija“ ir „mokymo orlaiviai“ buvo patvirtinti įstatymo.

PARAŠIUTIZMAS

Parašiutas yra nusileidimo įtaisas, kuris ore krentančio žmogaus ar krovinio greitį sumažina iki saugaus. Panašūs į parašiutą prietaisai jau prieš 4 000 metų buvo žinomi Kinijoje. Renesanso laikais parašiuto eskizų randama Leonardo da Vinci darbuose. Visgi laikoma, kad parašiutą 1783 m. išrado prancūzas Louis-Sébastienas Lenormand'as. 1785 m. parašiutą išbandė Jeanas Pierre'as Blanchard'as, iš aukštai skrendančio oro baliono sėkmingai nuleidęs šunį, o 1793 m. ir pats išbandė šuolį parašiutu: oro balionui pradėjus kristi, išsigelbėjo nusileisdamas parašiutu. 1890 m. Paulas Lettemanas ir Paulus Kathchenas pagamino ir išbandė pirmąjį savaime išsiskleidžiantį parašiutą. 1912 m. JAV armijos kapitonas Albertas Berry'is pirmasis sėkmingai nusileido parašiutu iš lėktuvo. 2006 m. 400 šuolininkų atliko rekordinį grupinį šuolį, o 2014 m. parašiutu buvo iššokta iš 41 km aukščio.

Lietuvoje parašiutas plačiau aviacijoje pradėtas naudoti 1928 metais. 1936 m. su „Salvator“, „Irving“ tipo parašiutais pradėjo šokinėti ir civiliniai lakūnai, sklandytojai. 1937 m. per aviacijos šventę Kauno aerodrome įvyko pirmas Lietuvoje masinis nusileidimas parašiutais iš lėktuvo – iššoko dešimties žmonių grupė.

Dažniausiai naudojami apvalūs ir sparno tipo parašiutai (17.19 pav.). Kitaip nei apvalus parašiutas, sparno tipo parašiutas ne tik leidžiasi žemyn, bet ir sklendžia į priekį, todėl galima nusileisti norimoje vietoje. Parašiutai taip pat naudojami kaip stabdymo įtaisai aviacijoje, sutrumpinantys orlaivio stabdymo kelią, kroviniams nuleisti į tas vietas, kur lėktuvai negali nusileisti.



17.19 pav. Parašiutininko nusileidimas sparno tipo parašiutu (USN parachute demo team at Minot AFB.jpg.)

Lietuvoje parašiutininkų rengimą koordinuoja, organizuoja ir vykdo parašiutinio rengimo centrai. Juose mokoma priverstinio parašiuto skleidimo, t. y. desantinių šuolių, ir laisvojo kritimo bei taktinių šuolių. Parašiutininkas mokomas atsiskirti nuo lėktuvo, išlaikant laisvojo kritimo padėtį, laisvojo kritimo manevrų, parašiuto skleidimo, parašiuto valdymo bei jo sudėjimo ir paruošimo šuoliui (17.20 pav.). Baigus programos kursą ir atlikus 25 šuolius, parašiutininkui suteikiamas pradedančiojo parašiutininko kvalifikacinis lygis.



17.20 pav. Vilniaus parašiutininkų mokyklos orlaivis AN-2, Kyviškių aerodromas, 2014 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

BEPILOČIAI ORLAIVIAI

Bepilotis orlaivis – nuotoliniu būdu iš antžeminės stoties ar kito orlaivio arba autonomiškai orlaivyje esančiu kompiuteriu valdomas orlaivis be įgulos. Dažniausiai naudojami kariniams tikslams, gaisrams aptikti, magistraliniams vamzdynams, pasieniui stebėti ir kt. Jų veikimo nuotolis – nuo kelių dešimčių iki kelių tūkstančių kilometrų, skrydžio aukštis – nuo 50–100 m iki 25–30 km, greitis – nuo ikigarsinio iki viršgarsinio. Leidžiami iš antžeminių leidimo įrenginių, laivų ir lėktuvų.

Bepiločiai orlaiviai keičia šiuolaikinės oro kovos pobūdį. Skirtingai nuo pilotuojamų orlaivių, bepiločio orlaivio operatoriui negresia joks tiesioginis pavojus. Orlaivyje nereikalinga kabina, gelbėjimo įranga aprūpinti pilotų krėslai, oro slėgio kontrolės ir deguonies aprūpinimo sistema. Dėl mažesnio orlaivio svorio gali būti skraidinamas didesnis naudingas krovinys, padidėja orlaivio skrydžio diapazonas ir manevringumas.

Bepiločiai orlaiviai pradėti kurti JAV apie 1959 m., kai karinės oro pajėgos, susirūpinusios dėl prarandamų pilotų priešininko teritorijoje, pradėjo planuoti nepilotuojamus skrydžius. Pirmuosius šiuolaikiškus orlaivius sukūręs Izraelis juos naudojo strateginei, operatyvinei ir taktinei oro žvalgybai, priešo elektroninių sistemų slopinimui ar klaidinimui. Pirmieji bepiločiai orlaiviai buvo skirti žvalgybai, tačiau vėliau jie buvo apginkluoti „oras-žemė“ raketomis (17.21 pav.).

Bepiločiai orlaiviai gali būti įvairios paskirties:



17.21 pav. Kovinę raketą leidžiantis bepilotis orlaivis „Predator“, 2010 m. (Predator and Hellfire.jpg.)

– taikiniai antžeminiams ir oro ginklams, imituojantys priešininko orlaivius ar raketas;

– mūšio lauko žvalgybos priemonė;

– kovos priemonė didelės rizikos misijose;

– mokslinių tyrimų priemonė;

– civilinės ir komercinės paskirties bepiločių orlaivių kūrimo ir tobulinimo programų dalis.

Bepiločiai orlaiviai gali būti skirstomi pagal skrydžio nuotolį ir aukštį:

– paleidžiami rankiniu būdu, skrydžio aukštis – 600 m, nuotolis – apie 2 km;

– paleidžiami rankiniu būdu, skrydžio aukštis – 1 500 m, nuotolis – apie 10 km;

– NATO tipo, skrydžio aukštis – 3 000 m, nuotolis – apie 50 km;

– taktinis, skrydžio aukštis – 5 500 m, nuotolis – apie 160 km;

– vidutinio aukščio, ilgos tvermės, skrydžio aukštis – iki 9 000 m, nuotolis – per 200 km;

– didelio aukščio, ilgos tvermės, skrydžio aukštis – per 9 000 m, nuotolis – neribotas;

– viršgarsinis, greitis nuo 1 M iki 5 M, skrydžio aukštis – 15 200 m arba suborbitinis aukštis.

Bepiločiai orlaiviai gali būti aprūpinti nuotolinio stebėjimo elektromagnetinio spektro, gama spinduliuotės, biologiniais ir cheminiais jutikliais. Didelių teritorijų stebėjimas gali būti ilgalaikis ir nebrangus (17.22 pav.). Jais gali būti stebima gyvūnų migracija, sudaromi jų pasiskirstymo žemėlapiai, saugomi dujotiekiai, atliekamas kelių patruliavimas, kovojama su jūriniu piratavimu. Bepiločiai orlaiviai gali padėti surasti pasiklydusius, įstrigusius sugriuvusiuose pastatuose ar dreifuojančius jūroje žmones.



17.22 pav. Bepilotis sraigtasparnis „MQ-8B Fire Scout“ (MQ-8B Fire Scout.jpeg.)

Bepiločių orlaivių skrydžio tvermė labai skiriasi. Varomų vidaus

degimo varikliais orlaivių skrydžio tvermė priklauso nuo sunaudoto kuro, tenkančio visam orlaivio svoriui, santykio. Saulės elementų baterijomis aprūpintų bepiločių orlaivių skrydžio tvermės galimybės beveik neribotos. 2007 m. sukurti bepiločiai orlaiviai, kurių skrydžio tvermė siekia 5 metus.

2007 m. pradėtas naudoti bepilotis orlaivis „MQ-9 Reaper“ (JAV) (17.23 pav.) gali skraidinti 1 700 kg krovinį, jo didžiausias greitis – 482 km/h, didžiausias skrydžio aukštis – 15,2 km, skrydžio nuotolis – 1 850 km. Ore jis gali išbūti 14 val. Iš antžeminės stoties orlaivį nuotoliniu būdu valdo du operatoriai. Orlaivis gali būti ginkluotas 14 „oras-žemė“ raketų, dviem 230 kg lazeriu valdomomis bombomis ir Stingerio tipo „oras-oras“ raketomis.



17.23 pav. Bepilotis orlaivis „Reaper“ (MQ-9 Reaper in flight (2007).jpg.)

18 SKYRIUS
NAFTOS IR DUJŲ INŽINERIJA

Nafta vadinamas Žemės plutoje per daugybę metų susidaręs aliejaus konsistencijos geltonos, rusvos, tamsiai rudos arba net juodos spalvos riebus, aliejingas, specifinio kvapo degantis skystis, įvairių anglies ir vandenilio junginių (angliavandenilių) mišinys. Ji randama nuosėdinės kilmės akytose uolienose, smėlyje, smiltainyje, klintyse, dolomituose. Naftą sudaro sočiųjų angliavandenilių (alkanų), nesočiųjų angliavandenilių (alkenų), cikloalkanų ir aromatinių angliavandenilių (arenų) mišinys. Be to, joje esti ištirpusių dujų (sočiųjų angliavandenilių, metano), junginių, turinčių deguonies (nafteno rūgščių, fenolių), sieros (merkaptanų, tiofeno darinių), azoto (heterociklinių junginių), taip pat vandens ir mineralinių druskų. Egzistuoja dvi naftos kilmės teorijos: *biogeninė* – iš organizmų ir *nebiogeninė* – iš Žemės mantijos, metanui transformuojantis į kitus organinius junginius. Pagal pirmąją teoriją, nafta, kaip ir dujos ar akmens anglis, susidarė iš jūros organizmų, po mirties nugrimzdusių į jūros dugną. Iš nugrimzdusių organinių medžiagų nuosėdų, veikiamų slėgio ir karščio, ilgainiui susidarė nafta, kuri kaupėsi vietose po nelaidžiu viršutiniu sluoksniu. Pagal nebiogeninę naftos susidarymo teoriją, Žemėje, kaip ir kitose planetose, yra tam tikras angliavandenilių kiekis, kuris dėl savo tankio bėgant laikui kilo į žemės paviršių, o veikiant šilumai ir slėgiui virto nafta.

Tam tikromis sąlygomis nafta iškyla į žemės paviršių, todėl tokiose vietose ji naudota dar senovėje. Archeologai prie Eufrato upės aptiko naftos gavybos pėdsakų, kurie siekė 4–6 tūkst. m. pr. m. e. Senovės Egipte nafta naudota balzamuojant mumijas. Senovės graikai naftą naudojo kurui.

Modernus naftos naudojimas atsirado tik 1853 m., kai lenkų mokslininkas Ignacy Lukasiewiczius iš žalios naftos išgavo žibalą. Pirmas pramoninis naftos gręžinys buvo išgręžtas Kanadoje 1858 metais. Vėliau atrasti dideli naftos telkiniai JAV, Azerbaidžane, Venesueloje, Artimuosiuose Rytuose. XIX a. naftos gavybos plėtra, palyginti su kitomis technologijomis, vyko lėtai. Viena iš svarbiausių priežasčių buvo anglies kaip pagrindinio kuro pramoniniuose procesuose dominavimas.

1850 m. anglies kaip energijos šaltinio buvo sunaudojama 10 %, tačiau iki 1885 m. šis rodiklis padidėjo iki 50 %. Iki XX a. 6 dešimtmečio pagrindinis energiją teikiantis šaltinis buvo akmens anglis, tačiau pradėjus naudoti naftą, ji atsidūrė antroje vietoje. Dabar net 90 % transportui reikalingos energijos išgaunama iš naftos. Du trečdaliai naftos randami 1–5 km gylyje. Giliai esanti ir labai suslėgta nafta aptinkama akytose silūro ir permo uolienose. Tobulėjančios gręžimo technologijos leidžia pasiekti naujas radavietes (jūrų šelfuose). Gręžiant gilius gręžinius kertami vandeningi sluoksniai, smėlio, kitos birios frakcijos, todėl į gręžinį pumpuojamas cementinis skiedinys, kuris sukietėjęs izoliuoja gręžinio kiaurymę nuo aplinkos. Pasaulinės naftos atsargos yra apie 185–390 mlrd. t, iš jų 60 mlrd. t jau sunaudota, kasmet išgaunama dar maždaug po 3 mlrd. t naftos. Manoma, kad, esant tokiam vartojimo tempui, naftos užteks 40–120 metų.

Naftos gavyba apima naftos klodų žvalgybą, gręžinių įrengimą, naftos kėlimą į paviršių, valymą (atskiriamos dujos, sūrus vanduo, mechaninės priemaišos), frakcionavimą (gaunamas petrolio eteris, įvairių rūšių benzinas, ligroinas, reaktyvinis kuras, žibalas, dizelinis kuras, mazutas) ir gautų produktų išbandymą. Atskiriamose gamtinėse dujose kartais yra daug metano (~85 % CH_4), etano (~10 % C_2H_6), propano (~3 % C_3H_8), butano (C_4H_{10}) ir pentano (C_5H_{12}). Įvairios gamtinių dujų rūšys turi „sausų“ (daugiausia metano), „šlapių“ (sočiųjų angliavandenilių), „rūgščių“ (vandenilio sulfidas) ir „saldžių“ (mažai arba visiškai nėra vandenilio sulfido) frakcijų.

Pirmasis nafta varomas geležinkelio lokomotyvas buvo pagamintas 1901 metais. Nafta tapo laivų kuru, kai tanklaiviai iš rytų į vakarus pradėjo gabenti didelius naftos kiekius. Kurui naudojant naftą, beveik perpus sumažėjo kuro triumų tūris, laivai galėjo pasikrauti beveik 2 000 tonų daugiau naudingojo krovinio.

PAKRANČIŲ NAFTOS GAVYBA

Caddo gėlavandenis ežeras tyvuliuoja ties Teksaso ir Luizianos (JAV) siena. Ežeras labai seklus, vandens gylis jame retai būna didesnis negu 4 metrai. Naftos telkiniai šiame ežere buvo aptikti 1900 m., o nuo 1910 m. pradėta gręžti pirmuosius povandeninius gręžinius. Gręžimo bokštas buvo pastatytas

ant kiparisinių polių, įkaltų į ežero dugno nuosėdas, platformos. Gręžinio gylis siekė 730 metrų. Per dieną buvo išgaunama 450 barelių (1 barelis – 119,2 litro) naftos. Praėjus daugiau negu 100 metų, iš šio naftos telkinio vis dar gaunama nafta ir dujų. Ežero ekvatorija apstatyta mažomis platformomis, kuriose nepertraukiamai siurbiama nafta.

Kita vieta, kurios jūrinėje pakrantėje pradėta išgauti naftą, buvo Luizianos valstija (JAV). Pirmieji gręžiniai buvo išgręžti 1938 m. Meksikos įlankoje 19 km nuo kranto, vandens gylis ten siekė 5,5 metro. Gręžimui sausumoje sukurtos technologijos buvo patobulintos ir pritaikytos povandeniniam gręžimui. 1978 m. „Shell Oil“ bendrovė pastatė 46 000 t sveriančią gręžimo platformą ir išgręžė 62 gręžinius 312 m vandens gylyje. Dešimteriopai išaugus naftos kainai, pradėta eksploatuoti naftos turtingas, sunkiai pasiekiamas kaupvietes. Viena tokių vietų yra Šiaurės jūra, kita – Arkties vandenynas. Sudėtingų gamtos sąlygų regionams sukurtos naftos gavybos technologijos tapo pavyzdžiu visai pasaulinei povandeninės naftos ir dujų gavybos plėtrai. Šiandien naudojami du pagrindiniai giliavandenių platformų statybos būdai: iš virintinių plieno konstrukcijų arba gelžbetonio. Suvirintos plieno konstrukcijos surenkamos pakrantėse esančiuose sausuose dokuose arba ant plūduriuojančių platformų. Suvirinti plieniniai karkasai sveria per 25 000 tonų. Konstrukcijos nuplukdomos baržomis į verslavietę ir nuleidžiamos į vandenį. Kai kurios Šiaurės jūroje pastatytos platformos sveria 110 000 t, todėl jos gali atlaikyti didžiulę bangų ir vėjo sukeliamą griaunamą jėgą (18.1 pav.).



18.1 pav. Naftos gavybos platforma Meksikos įlankoje (Gulf Offshore Platform.jpg.)

Išgręžus gręžinį, didelio požeminio slėgio (vandens, dujų) veikiami angliavandeniliai veržiasi į paviršių.



18.2 pav.
Antžeminė naftos gavybos verslovė (Oil well.jpg)

Šis gamybos etapas yra vadinamas *pirmine gavyba* (18.2 pav.). Kuo giliau yra kaupvietė, tuo tas slėgis yra didesnis. Požeminio vandens slėgiu iš kaupviečių išgaunama 50 % ar daugiau joje esančių angliavandenilių.

Naftą iš kaupvietės gali iškelti ir dujos, kurios gali būti ištirpusios naftoje arba susikaupusios virš jos. Pirmuoju atveju, sumažėjus slėgiui, ištirpusios dujos skiriasi iš naftos ir sukuria dujų slėgį, kuris stumia naftą į paviršių. Panašus procesas vyksta vandenyje, kuriame ištirpdinta angliarūgštė. Atsukus butelio kamštį, ji pradeda skirtis iš vandens, o susidarantys dujų burbuliukai gali net išlieti vandenį iš butelio. Išsiskiriančios iš naftos dujos iš kaupvietės išstumia nuo 5 iki 30 % naftos.

Kai virš naftos kaupvietės yra susikaupusios suslėgtos dujos, pragręžus gręžinį jos stumia naftą į paviršių. Mažėjant kaupvietėje naftos ir didėjant dujų tūriui, jų slėgis pamažu krinta. Šiuo atveju iš kaupvietės galima išgauti 20–40 % naftos. Kai kaupvietėje natūralus dujų ar vandens slėgis sumažėja ir nafta nebepasiekia paviršiaus, naudojami dirbtiniai naftos išstūmimo būdai – dujų įšvirkštimas arba slėgio padidinimas mechaniniais siurbliais. Įšvirkštus gamtinių dujų į šachtoje esančią naftą, jos tankis sumažėja ir ji lengviau stumiama vamzdžiu į paviršių apačioje esančio slėgio.

Kai gręžinyje išnaudojamos natūralios naftos pakėlimo į paviršių jėgos, kaupvietėje dar lieka nuo 25 iki 95 % nepaimtos naftos. Dedama daug pastangų, kad naftos paėmimo iš radavietės procentas būtų didesnis. Šiam

tikslui naudojami keli būdai: *vandens pumpavimas į kaupvietę* (užtvindymas), *dujų įšvirkštimas*, *cheminis užtvindymas* ir *šiluminis poveikis*. *Užtvindymas vandeniu* taikomas tada, kai nafta visiškai savaime nebekyla į paviršių. Aplink pagrindinį gręžinį gręžiami keli pagalbiniai gręžiniai, kuriais į kaupvietę pumpuojamas vanduo. Pagrindiniu gręžiniu į paviršių kylantis naftos ir vandens mišinys paviršiuje yra atskiriamas. Užtvindymas vandeniu yra pigiausias ir dažniausiai naudojamas naftos gavybos padidinimo būdas.

Naftos gavybą galimą padidinti ir į kaupvietę įšvirkščiant gamtinių dujų arba azoto. Šių dujų slėgis, stumdamas naftą iš kaupvietės į paviršių, didina paimamos naftos kiekį.

Naudojant cheminį užtvindymą, į gelmę pumpuojamą vandenį dedama specialių paviršinį aktyvumą didinančių cheminių medžiagų. Gelmėje vandeniui susimaišius su nafta, šios medžiagos suskaido naftą į smulkius lašelius, kurie lengviau kyla iš kaupvietės į paviršių. Šiluminis poveikis taikomas, kai nafta labai klampi ir iš kaupvietės negali pasiekti gręžinio. Pašildytos naftos klampa sumažėja ir jos srautas padidėja. Naftai pašildyti naudojamas garas, kuris pumpuojamas į gręžinį. Veikiant šilumai iš angliavandenilių susidaro ir dujų; dėl sumažėjusio naftos klampumo ir dujų slėgio nafta vėl pradeda tekėti eksploataciniu gręžiniu į paviršių.

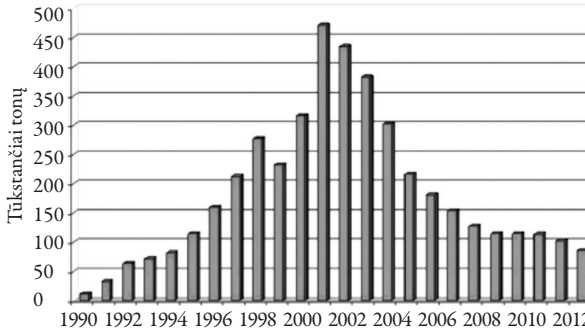
Dar vienas šilumos panaudojimo būdas kaupvietėje yra *liepsninis užtvindymas*, arba šildymas *in situ* (vietoje): į gręžinį pumpuojamas oras ir uždegamos jame susikaupę dujos ar nafta. Degimo intensyvumas priklauso nuo paduodamo deguonies kiekio, kuris gali būti reguliuojamas. Aplink degimo zoną nafta suskystėja, susidaro dujos, vanduo virsta garais. Karštas vanduo, garai ir dujos, veikdami kartu, stumia naftą gręžinio vamzdžio link ir verčia ją kilti į viršų.

NAFTOS GAVYBA LIETUVOJE

Lietuvoje ilgą laiką nepavyko rasti naftos, ir tik 1968 m. pirmasis naftos fontanas ištryško Vakarų Lietuvoje. Lietuvos teritorija įeina į Baltijos naftingą sritį. Naftos telkiniai surasti tik vakarinėje šalies dalyje, čia nafta susikaupusi kambro periodo smiltainiuose 1 850–2 000 m gylyje. Dėl aukšto požeminio slėgio nafta į paviršių kyla savaime. Lietuvoje šiuo metu nafta išgaunama iš

15 naftos telkinių. 2012 m. nafta buvo siurbiama iš 61 šulinio. Apie 0,4 mln. tonų gaunamos naftos per metus patenkina 5–13 % šalies poreikio. Nuo naftos gavybos pradžios 1990 m. iki 2017 m. gauta per 5,33 mln. tonų naftos (18.2, 18.3 pav.). Mokslininkai prognozuoja, kad Lietuvos naftos atsargos gali siekti per 60 mln. tonų. Dar 40–80 mln. tonų galima rasti Lietuvos ekonominėje zonoje Baltijos jūroje, tačiau šie galimi telkiniai visiškai neišžvalgyti. 2012 m. Lietuvoje išgauta 102 040 tonų naftos, o 2013 m. – 86 070 tonų. Naftos gavyba Lietuvoje nuosekliai mažėja nuo 2011 m., kai buvo išgautas didžiausias jos kiekis – arti 600 000 m^3 žaliavos. 2016 m. naftos gavybos apimtys siekė 77 370 m^3, t. y. sumažėjo 15 %. Iki šiol visa išgauta nafta buvo eksportuojama.

Šiuo metu išžvalgyti Lietuvos ištekliai tesudaro 3 mln. tonų. Esant tokiam pat gavybos tempui, jie bus išnaudoti per 8 metus. Baltijos jūroje, arčiausiai Lietuvos teritorijos, yra „Kravcovskoje“ naftos telkinys. Jame Rusijos Federacijos kompanija „Lukoil“ vykdo angliavandenilių gavybą nuo 2004 metų. Naftos platforma D-6 yra kontinentiniame šelfe Baltijos jūroje 22,5 km atstumu nuo Kuršių nerijos bei 5 km atstumu nuo valstybinės Rusijos-Lietuvos sienos. 1988 m. Lietuvoje buvo ruošiamasi naftos gavybai priekrantėje. Klaipėdoje iš vamzdinių konstrukcijų suvirinta pirmoji atrama buvo nuleista į planuotą gavybos vietą netoli Nidos. Antroji pagaminta atrama nebuvo nuleista į vandenį, nes 1999 m. kilęs žaliųjų judėjimas nuteikė visuomenę prieš naftos gavybą Baltijos jūros šelfe. Pretekstu tapo nuslėpti atramos defektai (nekokybiškos virintinės jungtys). Tolesnė atramų gamyba buvo nutraukta, o pats projektas sustabdytas.



18.3 pav. Naftos gavyba Lietuvoje

Lietuvoje naftą perdirba AB „ORLEN Lietuva“ (buvusi „Mažeikių nafta“) – vienintelė naftos perdirbimo įmonė Baltijos šalyse. Ši įmonė valdo žalios naftos ir naftos produktų pardavimo tinklą ir Būtingės jūrų terminalą.

1966 m. per Lietuvos teritoriją pradėta tiesti naftos transportavimo vamzdynus – planuota statyti naftos perdirbimo įmonę. Įmonei buvo numatyta vieta netoli Jurbarko, tačiau vėliau pasirinkta vietovė netoli Mažeikių. Planuojamas įmonės pajėgumas – 15 mln. tonų žalios naftos per metus. 1972 m. pradėta statyti Mažeikių naftos perdirbimo įmonė. 1979 m. nutiestas naftotiekis Polockas–Biržai–Mažeikiai. Naftotiekio ilgis Lietuvos teritorijoje 225 km. 1980 m. Mažeikiuose pradėtas eksploatuoti pirmasis pirminio naftos perdirbimo įrenginys. 1992 m., atsiskyrus nuo „Družbos“ naftotiekio, pastatytas jūrinis Būtingės naftos priėmimo terminalas. Jo statyba pradėta 1995 m., o baigta 1999 metais. Šis Lietuvoje ant Baltijos jūros kranto pastatytas reversinis naftos *eksporto* ir *importo* terminalas yra visus metus neužšąlantis uostas. Per metus Būtingės terminalas gali eksportuoti iki 14 mln. tonų naftos. Taip pat yra galimybė importuoti naftą ir visiškai aprūpinti Mažeikių naftos perdirbimo produktų gamyklą žaliava. Terminalas gali aptarnauti iki 150 tūkst. tonų talpos tanklaivius. Būtingėje veikia 6 naftos rezervuarai, iš kurių nafta naftotiekiu (91,5 km) pasiekia Mažeikių įmonę. Šiandien naftos perdirbimo įmonė apdoroja maždaug 10 mln. tonų žalios naftos per metus (18.4, 18.5 pav.). Jos gaminami produktai: benzinas, dyzelinas, mazutas, reaktyvinis kuras JET A-1, suskystintos naftos dujos, bitumas ir siera.



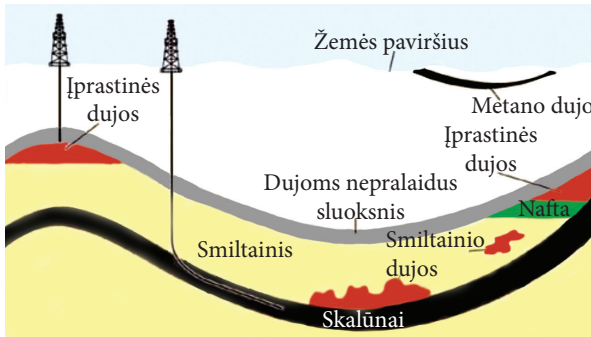
18.4 pav. Mažeikių naftos perdirbimo gamykla (AB Mazeikiu nafta3a.JPG.)



18.5 pav. Giluminio naftos perdirbimo įrenginio transportavimas į Mažeikių naftos perdirbimo gamyklą (1988 05 02 MNPG4.jpg.)

SKALŪNŲ DUJŲ GAVYBA

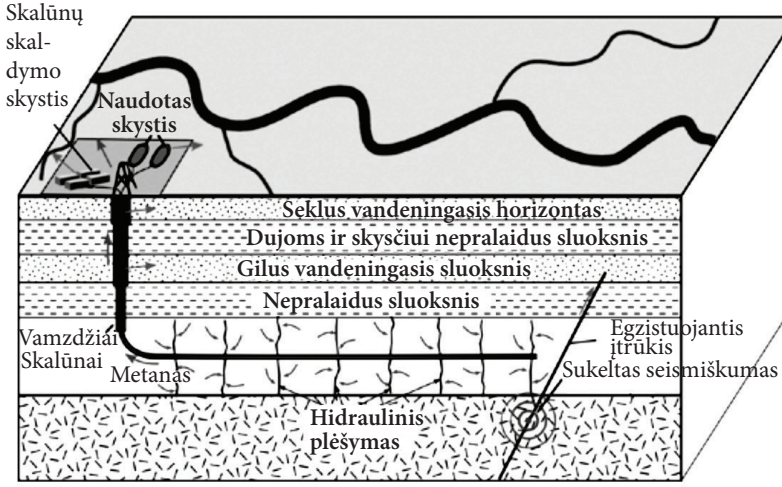
Skalūnų dujos yra gamtinės dujos, susikaupusios skalūnų formavimosi metu (18.6 pav.). Pirmą kartą šios dujos buvo išgautos Niujorko valstijoje (JAV) 1821 metais. Horizontalus gręžimas prasidėjo 1930 m., o 1947 m. JAV buvo išgręžtas pirmas gręžinys hidrauliniam plėšymui. Pramoniniu mastu darbai neprasidėjo iki 8 dešimtmečio, kol mažėjanti įprastų gamtinių dujų gavyba nepaskatino JAV federalinės valdžios investuoti į gręžinių gręžimo ir hidraulinio plėšymo mokslinius tyrimus bei demonstracinius projektus. 2000 m. skalūnų dujos sudarė 1 % JAV išgaunamų gamtinių dujų, o 2010 m. viršijo 20 %. Prognozuojama, kad iki 2035 m. 46 % tiekiamų gamtinių dujų JAV sudarys skalūnų dujos.



18.6 pav. Dujų kaupviečių tipai (Schematic cross-section of general types of oil and gas resources and the orientations of production wells used in hydraulic fracturing.jpg.)

Lietuva su Kaliningrado sritimi ir Lenkija patenka į Baltijos skalūninių dujų baseiną. Lietuvos geologų preliminariais skaičiavimais, Vakarų Lietuvos žemės gelmėse esantys skalūnų dujų ištekliai siekia 585 mlrd. m^3, iš kurių techniškai būtų galima išgauti 10–15 % (60–90 mlrd. m^3). Skalūnų uolienos Lietuvoje slūgso apie 2 000 m gylyje. Lietuva kasmet pramonei ir buičiai sunaudoja apie 3 mlrd. m^3 gamtinių dujų, kurias kol kas įsiveža iš svetur.

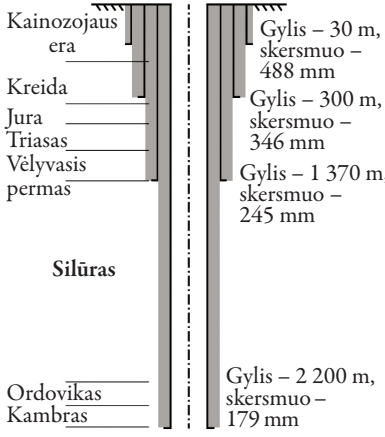
Skalūnų uoliena pasižymi mažu dujų pralaidumu, todėl skalūnus reikia suardyti. Staigus skalūnų dujų gavybos didėjimas pastaruoju metu siejamas su šiuolaikinių hidraulinio plėšymo (ardymo) technologijų plėtra, kurios apie gręžinio kiaurymę esančią uolieną suplėšo į plonas plokšteles. Į susidariusius plyšelius dideliu slėgiu pilamas vandens, smėlio ir cheminių medžiagų mišinys. Iš skalūno uolienoje atsivėrusių mikroertmių dujos patenka į vandenį ir šis jas išneša į paviršių. Specialiuose įrenginiuose dujos atskiriamos nuo vandens ir nukreipiamos į dujų rezervuarus. (18.7 pav.). Vanduo gręžinio sieneles veikia iki 100 MPa slėgiu, į gręžinį paduodama 265 litrų per sekundę skysčio, kurį sudaro vanduo (apie 90 %), smėlis



18.7 pav. Skalūnų dujų gavybos schema: gręžimas ir plėšymas (HydroFrac2.svg.)



18.8 pav. Skalūnų dujų gręžvietė Vakarų Lietuvoje (A. V. Valiulio nuotr.)



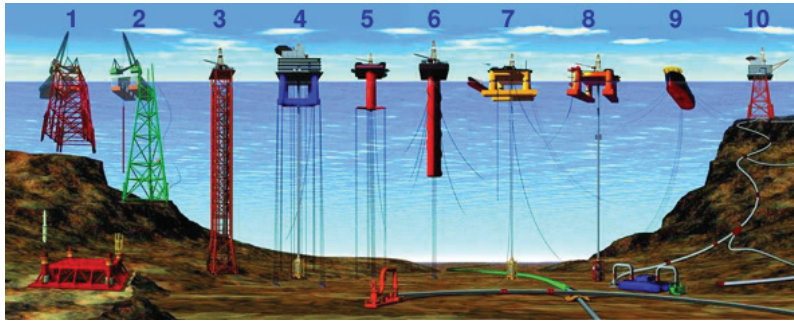
18.9 pav. Skalūnų dujų gręžinio Lietuvoje pjūvio schema

(9,5 %) ir įvairios cheminės medžiagos, skirtos smėlio grūdelių trinčiai, korozijai mažinti, mikroorganizmams naikinti (0,5 %). Dažniausiai hidrauliniam plėšymui naudojami metanolis, izopropilo alkoholis, 2-butoksietanolis ir etilenglikolis. Vienam gręžiniui sunaudojama apie milijoną litrų vandens, todėl su juo į gelmes patenka šimtai tūkstančių litrų cheminių medžiagų. Tik 50–70 % užteršto vandens iš gelmių pakyla į paviršių ir saugoma tvenkiniuose. Vanduo gali būti naudojamas pakartotinai, valomas ar išvalytas išleidžiamas į aplinką (18.7–18.9 pav.).

NAFTOS IR DUJŲ GAVYBA JŪRŲ PAKRANTĖSE

Vien Europą supančiose jūrose yra per 1 000 naftos ir dujų gavybos platformų, 27 iš jų – giliavandenės.

100 km į šiaurės vakarus nuo Bergeno po Šiaurės jūros vandenimis slypi milžiniški naftos ir dujų telkiniai. Gavyba iš šio telkinio sudaro beveik trečdalį Norvegijos išgaunamų dujų. Dujos ir nafta iš telkinio išgaunama per tris „Troll“ tipo platformas. Didžiausia iš jų „Troll A“ sveria 656 000 t, jos aukštis 472 m, stovi 303 m gylyje. „Troll A“ platforma, galinti išgauti iki 3,4 mln. m^3 dujų per dieną, pradėjo dirbti 1996 metais. Vienoje platformos atraminėje kolonoje įrengtas liftas per 9 min. nusileidžia nuo



18.10 pav. Jūrinių naftos ir dujų gavybos platformų tipai: 1, 2 – fiksuotos platformos (giliausia 412 m); 3 – bokštinė (giliausia 534 m); 4, 5 – vertikaliai pririštos (giliausia 1 425 m); 6 – pririšta šoninėmis atatampomis (giliausia 710 m); 7, 8 – pusiau panardintos (giliausia 1 920 m); 9 – plūduriuojanti gavybos, sandėliavimo ir iškrovimo (giliausia 1 345 m); 10 – povandeninio angliavandenilių priėmimo ir perdavimo į krantą (giliausia 2 307 m) (Types of offshore oil and gas structures.jpg.)

platformos viršaus iki jūros dugno. „Troll A“ platformos gelžbetoninės atramos sienelė yra net vieno metro storio. Atramą jūros dugne laiko šešių inkarų sistema, 40 metrų įgilinta į jūros dugną. Dujos surenkamos iš 40 gręžinių ir vamzdžiais tiekiamos į platformą. Gelžbetoninę platformą sudaro dvi dalys. Viršutinėje dalyje įrengtos gamybinės ir gyvenamosios patalpos, o apatinė dalis skirta platformos tvirtinimui prie dugno (18.11 pav.).

Gelžbetoninė „Troll B“ platforma yra pusiau panardinta. Jūros gylis ties platforma siekia 325 metrus. Platforma pradėta statyti 1995 metais. Nafta siurbiama iš 56 gręžinių, o dujos – iš vieno. Pačioje platformoje gręžimo įrenginių nėra. Planuojama, kad ji veiks iki šio šimtmečio antrojo dešimtmečio pabaigos. „Gulifaks C“ platforma buvo pradėta eksploatuoti 1989 metais. Kaip ir „Troll“ platformos, ji pastatyta Šiaurės jūroje. Jos svoris 1,5 mln. t, o aukštis, matuojant nuo jūros dugno, siekia 262 metrus. Platformos gelžbetoninėms konstrukcijoms sunaudota 245 000 t betono ir 80 000 t armatūrinio plieno. Tokio kiekio plieno pakaktų dešimčiai Eifelio bokštų. Siurbiant naftą ir dujas, į paviršių pakyla nemažas kiekis požeminio vandens. Vanduo



18.11 pav. „Troll A“ jūrinės platformos atramų statyba (Oil platform Norway.jpg.)

atskiriamas nuo angliavandenilių, dalis jo grąžinama į gręžinius, o kita dalis valoma ir išleidžiama į jūrą.

Pradėti labiausiai į šiaurę nutolusio telkinio „Aasta Hastin“ įsisavinimo darbai. Jūros gylis darbų zonoje yra 1 300 metrų. Po vandeniu bus nutiestas 480 km ilgio dujotiekio vamzdynas. Planuojamas vamzdynas gali tapti pirmuoju pasaulyje dujotiekiu, nutiestu tokioje gelmėje.

GILIAVANDENĖS PLIENINĖS PLATFORMOS

Naudodamiesi ankstesne platformų kūrimo patirtimi inžinieriai 1989 m. pastatė aukščiausią pasaulyje atviros jūros „Bullwinkle“ platformą (18.12 pav.). Ši fiksuoto tipo plieno



18.12 pav. Pusiau panardinama naftos gavybos platforma (Oil platform P-51 (Brazil).jpg.)

konstrukcijų platforma, stovinti Meksikos įlankos vandenyse, yra 529 m aukščio, jos povandeninė dalis siekia 412 metrų. Platformos konstrukcijos pagamintos krante esančiose įmonėse ir baržomis atvežtos į telkinio vietą. „Bullwinkle“ platformos konstrukcijos sveria daugiau kaip 75 000 tonų. Jos turi atlaikyti iki 20 m aukščio bangų spaudimą ir pasižymėti dideliu atsparumu nuovargiui bangoms veikiant konstrukciją daugelį metų. Platforma svyruoja 5 sek. dažniu, jos viršutinė dalis svyravimo metu juda beveik 2 m amplitude. „Bullwinkle“ atramos yra išsidėsčiusios 1,8 ha plote.

Tobulėjant jūrinės angliavandenilių gavybos technologijoms, bandoma eksploatuoti Arkties vandenyne iššvalgytus telkinius. 1970 m. bandomieji gręžiniai įrengti Boforto jūroje. Naftos gavyba šiauriniuose regionuose susiduria su ledo lyčių grėsme. Platformų konstrukcijos turi atlaikyti statinį ir dinaminį ledo spaudimą. Negiliose vietos (20–60 m) supilamos dirbtinės salos, ant kurių statomos gręžimo platformos. Tokios apie 100 m skersmens salos yra 4–25 m iškilusios virš ledo lygio.

GELŽBETONIO PLATFORMOS

Gelžbetonio platformos yra labai stabilios – jų didelis svoris atlaiko vėjo, bangų ir vandens srovių spaudimą. Tokios konstrukcijos vandenyje gali būti dešimtmečius. Jos yra labai stabilios ir dažniausiai naudojamos gręžiniams. Šio tipo platformos statomos ant kieto, uolėto jūros dugno nenaudojant tvirtinimo polių. Gelžbetonio platformos yra didesnės ir sunkesnės už plieninės platformas. Nors yra įvairių konstrukcijų, tačiau povandeninė dalis daroma iš gelžbetonio, kuriame įrengiamos didelės išsiurbtos naftos saugojimo talpyklos (18.13 pav.). Antai gelžbetoninėje „Mobil Oil“ platformoje, stovinčioje Šiaurės jūroje, yra 19 tuščiavidurių betono cilindrų. Jų sienelės storis 60 cm, vidinis skersmuo 20 m, aukštis 49,5 metro. Cilindrinės talpyklos sumontuotos taip, kad kai jos užtvindomos vandeniu, platforma tik iš dalies panyra į vandenį, tačiau išlaiko plūdrumą. Šios būklės platforma velkama į numatytą vietą, talpos pripildomos vandens ir platforma skęsdama pasiekia jūros dugną. Platforma remiasi į kelias (paprastai tris ar keturias) ilgas, kūgines betono atramas, kurių aukštis virš talpyklų gali siekti iki 90 metrų. Galiausiai betoninės konstrukcijos viršutinėje dalyje padaromas plieninis antstatas. Kartais,



18.13 pav. Sunkioji gelžbetoninių atramų platforma (Troll A Platform.jpg.)



18.14 pav. Naftos teršalai Luizianos (JAV) pakrantėje (Thick Oil Washes Ashore.jpg.)

siekiant sukurti tvirtesnį platformos pagrindą, po talpyklų dugnu papildomai pilamas skiedinys. Tokia platforma yra pakankamai sunki, ji gali atlaikyti išorinių jėgų veikimą ir nepritvirtinta poliais prie grunto.

2009 m. prie Australijos krantų plaukiojančioje jūrinėje naftos platformoje „Montara Wellhead“, esančioje 650 km į vakarus nuo Darvino miesto, įvyko nekontroliuojamas naftos prasiveržimas, kuris vėliau virto gaisru. 74-ias paras į vandenį plūdo 65–240 m^3 naftos per dieną. Pasklidusi nafta užteršė daugiau nei 70 000 km^3 vandenyno, sustabdyti naftos išsiliejimą iš gręžinio prireikė daugiau negu 10 savaičių.

2010 m. „Deepwater Horizon“ platformoje, įsikūrusioje per 80 km nuo Luizianos krantų, įvyko sprogimas, platforma užsidegė ir po dviejų dienų nuskendo. Per sprogimą žuvo 11 platformoje dirbusių žmonių. Avarijos metu buvo pažeistas 1 600 m gylyje esantis naftos gręžinys ir į Meksikos įlankos vandenis ištekėjo 780 000 m^3 naftos. Likviduoti nuotėkį užbetonuojant gręžinį pavyko tik po trijų mėnesių (18.14 pav.).

2011 m. Rusijos Tolimuosiuose Rytuose, apie 200 km nuo Sachalino salos, siaučiant stipriam vėjui ir prasidėjus galingai audrai, naftos gavybos platformos liukus pažeidė ledas ir bangos. Dėl į vidų suplūdusio vandens platforma apvirto ir nuskendo. Keli žmonės žuvo.

Apskaičiuota, kad į jūrinę aplinką dėl įvairių priežasčių patenka apie 0,001 % visos kontinentiniame šelfe išgautos naftos kiekio. Nors ši statistika

neatrodo šokiruojanti, reikėtų įvertinti tai, kad milžiniška ir ilgalaikė žala supančiai aplinkai padaroma tais atvejais, kai įvyksta didelės avarijos.

KALNAKASYBA

Kalnakasyba – mineralinių medžiagų, akmens anglies ar kitokių medžiagų išgavimas iš žemės gelmių, paprastai iš šia medžiaga turtingo telkinio, gyslos ar sluoksnio. Kalnakasyba apima visų neatsinaujinančių išteklių gavybą (pvz., nafta, gamtinės dujos ar net vanduo).

Nuo civilizacijos pradžios žmonės naudojo akmenį, keramiką, vėliau metalus, randamus netoli žemės paviršiaus, ankstyviems įrankiams ir ginklams gaminti. Titnago kasyklos buvo rastos kreidinių nuogulų sluoksniuose (4 000–3 000 m. pr. m. e.), kuriuose buvo kasamos šachtos ir galerijos. Seniausia žinoma archeologų aptikta kasykla yra Svazilando Ngwenya kasykla, jos amžius siekia apie 43 000 metų. Šioje vietoje paleolito periodo žmonės kasė hematito rūdą, iš kurios gamino raudoną pigmentą – ochrą.

Ankstyvieji egiptiečiai kasė malachitą. Iš pradžių ryškiai žalius malachito akmenis egiptiečiai naudojo ornamentams ir keramikai. Turkio ir vario karjerai aptikti sausos upės dugne Egipto Rytų dykumoje, Turoje, Asuane, įvairiose Nubijos vietovėse, Sinajaus pusiasalyje ir Timnos slėnyje Pietų Izraelyje. Nubijos aukso kasyklos buvo vienos didžiausių Senovės Egipte. Uolienos gabalus su aukso intarpais ar gyslomis skaldydavo įkaitindami iki aukštos temperatūros ir staiga ataušindami. Maži gabalėliai susmulkinami į miltelius, kuriuos plaunant vandeniu buvo atskiriamos aukso dulkės.

Kasybos Europoje istorija yra labai sena – paminėtinos Lauriumo sidabro kasyklos Senovės Graikijoje. Tačiau tik romėnai sukūrė kalnakasybos metodą, pasitelkę didelį vandens kiekį, kuris kasyklas pasiekdavo akvedukais. Romėnai uolienas įkaitindavo atvira ugnimi ir apipildavo vandeniu. Šilumos smūgio sutrupintą uolieną nuplaudavo iš akvedukų leidžiamo vandens srove.

Vietiniai Didžiosios Britanijos gyventojai naudojo mineralus tūkstantmečiais, tačiau, atėjus romėnams, kasybos mastas labai padidėjo. Romėnams reikėjo Britanijos aukso, sidabro, alavo ir švino. Romėnų kasybos metodai neapsiribojo vien atvira paviršine kasyba. Ankstyvaisiais viduramžiais

kalnakasyba daugiausia buvo skirta vario ir geležies gavybai. Tauriųjų metalų gavyba nebuvo nutrūkusi, nes jų reikėjo monetoms ir papuošalams gaminti. Iš pradžių dauguma metalų buvo gaunami atviros kasybos būdu. Apie XIV a. geležies paklausą labai padidino išaugę ginkluotės (ginklų, šarvų, balnakilpių, pasagų ir kt.) poreikiai. 1465 m. kilo sidabro krizė – kasyklos pasiekė tokį gylį, kad turimos technologijos nepajėgė pašalinti šachtoje susikaupiančio vandens. Buvo pasitelkta vandens galia. Vandens sukami įrenginiai trupino rūdą, kėlė ją iš gelmių į paviršių, didžiulėmis dumplėmis ventiliavo šachtas. Uolienoms trupinti parakas pirmą kartą panaudotas 1627 m. Selmecbánya vietovėje, Vengrijos karalystėje (dabar Banska Štiavnica, Slovakija). Sprogdinimu uolienos sutrupinamos gerokai greičiau negu kaitinamos liepsna ir aušinamos vandeniu, be to, šiuo būdu galima sutrupinti ir kietesnes uolienas.

Pietų Afrikoje aukso kasyba prasidėjo apie 1885 metus. Nuo 1913 m. šiose kasyklose išgaunama daugiau kaip 45 % pasaulyje iškasamo aukso. Čia auksas glūdi giliai sudėtingose geologinėse formacijose, dažnai sumaišytose su piritiniais-sulfidiniais mineralais. Šie auksingi konglomeratai susidarė dideliame priešistoriniame jūrų baseine prieš 2,7 mlrd. metų. Auksingo sluoksnio storis yra tik keli centimetrai. Susmulkinus nuo 40 iki 50 tonų uolienos, išgaunama iki 336 g tauriojo metalo. Antra vertus, auksingi klodai yra labai dideli ir išplitę net 160 × 272 km plote. Auksas iš rūdos išgaunamas gyvsidabriu ir amalgama pagrįsta technologija. Vandeniu sudrėkinti rūdos milteliai beriami ant gyvsidabriu padengtų vario plokščių. Tirpindamas auksą gyvsidabris išlieka skystas, jeigu jame aukso kiekis neviršija 10 %. Virš vario plokščių susidaranti amalgama periodiškai nubraukiama. Joje būna 40–50 % aukso. Vėliau iš amalgamos kaitinimo būdu atskiriamas gyvsidabris ir lieka grynas auksas.

Aukso gavybos produktyvumas labai priklauso nuo rūdos sudėties. Perdirbant geležies pirito (FeS) rūdas gyvsidabrio amalgama, iš rūdos išgaunama 55–65 % aukso. Daugiau aukso išgaunama naudojant cianidą. Iš pradžių auksinga uoliena yra smulkinama ir apdorojama natrio arba kalio cianido tirpalu. Vėliau auksas nusodinamas ant cinko drožlių ar atskiriamas elektrolizės ar kaitinimo būdais. „Western Deep“ aukso kasyklos (Pietų Afrikos Respublika) gylis 1982 m. pasiekė 4 265 m, per dieną šachta 16 m skverbiasi

vis gilyn. Tokiame gylyje uolienų temperatūra siekia 60 °C. Pučiamas šaltas oras aplinkos temperatūrą sumažina iki 30 °C. Vietoj oro panaudojus ledinį vandenį, temperatūrą pavyksta sumažinti iki 28 °C. Susprogdinta uoliena greitaisiais keltuvais (70 km/h) keliama į žemės paviršių. Per mėnesį iškeliama apie 450 000 t uolienos. Kiekvienai iškastos uolienos tonai į šachtą reikia paduoti 15 t oro ir išpumpuoti tūkstančius m^3 vandens. Iš 50 t susmulkintos uolienos išgaunama 336 g aukso.

Vienas didžiausių pasaulyje atviros kasybos karjerų yra deimantų kasykla Jakutijoje, netoli Mirno miesto. Karjero gylis 525 m, skersmuo 1,25 km. Intensyviausiu kasybos laikotarpiu per metus kasykloje buvo iškasama 10 mln. karatų deimantų, iš jų gana daug (20 %) buvo itin aukštos kokybės. Geologiniai tyrimai rodo, kad kimberlitiniame vamzdyje deimantų yra net iki 1 km gylyje. Kasykla uždaryta 2004 metais.

Čukikamatos vario rūdos kasykla šiaurės Čilėje yra atvirasis karjeras, kurio gylis siekia 1 250 m, ilgis – 4,3 km, plotis – 3 km, plotas – 800 ha. Tai pirmas pagal tūrį ir antras pagal gylį karjeras pasaulyje (18.15 pav.).

Lietuvoje nėra ypač brangių iškasenų, tačiau čia iškasama ūkinei veiklai svarbių žaliavų: dolomito, klinčių, molio, smėlio, žvyro, durpių, naftos, sieros, požeminio gėlo ir mineralinio vandens.



18.15 pav. Čukikamatos atviro karjero vario rūdos kasykla Čilėje (Chuquicamata-002 02.jpg.)

19 SKYRIUS
TILTAI

Tiltas – statinys, jungiantis kelią ar geležinkelį per upę, kanalą, tarpeklį, sąsiaurį ir pan. Tiltas virš kelio ar geležinkelio vadinamas *viaduku*. Tiltai yra skirti geležinkelio transportui, pėstiesiems, kelių eismui, vamzdynams ar vandens transporto eismui. Akvedukas yra tiltas, jungiantis nutolusius vienodo aukščio taškus, kurio viršutine dalimi teka vanduo. Jeigu šis aukštis neviršydavo dviejų metrų, būdavo statoma siena, kurios viršumi tekėdavo vanduo. Jeigu reikėdavo vandenį pakelti į didesnį aukštį, buvo statomos arkados. Kelių eismo ir geležinkelio tiltu vienu metu vyksta automobilių ir traukinių eismas. Tiltai klasifikuojami pagal konstrukcijose pasiskirstančias gniuždymo, lenkimo, sukimo ir šlyties jėgas. Tiltų konstrukcija gali skirtis priklausomai nuo jų funkcijos (geležinkelio, pėsčiųjų, automobilių transporto) ir vietovės, kurioje pastatyti.

Pirmieji tiltai buvo sukurti pačios gamtos, pavyzdžiui, skersai upelį nuvirtęs medis. Pirmieji žmonių surėsti tiltai greičiausiai buvo iš rąstų ar lentų, kryžmiškai išdėstytų ir paprastai paremtų akmenimis. Išmaniausi senovinių tiltų statytojai buvo romėnai, kurie statė arkinius tiltus ir akvedukus, gerokai atsparesnius klimatiniam ar stichiniam poveikiui. Tiltų statybai romėnai naudojo cementą, todėl galėjo išvengti natūralaus akmens stiprio netolygumo ir pleišėjimo. Vulkaninės kilmės pelenus – *pucolaną* – sutrynę ir įmaišę į kalkių skiedinį arba sumaišę kartu su akmenų ir plytų skalda, jie išgavo stiprų „romėnų betoną“. Statiniai iš „romėnų betono“ funkcionuoja iki šiol, nors jiems daugiau kaip du tūkstančiai metų. Senovės romėnai išrado ir „kiautinį mūrą“: sumūrijus du akmenų mūro kiautus, tarpai tarp jų pasluoksniui užpildomi „romėnų betonu“. Ši technologija pagreitindavo statybas – senovės romėnai statė milžiniškus kupolus, skliautus ir gynybines sienas. Sugriuvus Romos imperijai, šis išradimas buvo prarastas. Plytų ir skiedinio tiltai buvo statomi tik viduramžiais, vėl „atradus“ cementą, Europa sužinojo apie „romėnų betoną“. Lynų ar virviniai kabantieji tiltai buvo naudojami inkų civilizacijoje, klestėjusioje Andų kalnuose Pietų Amerikoje dar prieš tai, kai 1500-aisiais ją užkariavo europiečiai.

Nors Kinijoje dideli medinės konstrukcijos tiltai egzistavo jau gilioje senovėje, seniausias išlikęs akmeninis segmentinis tiltas buvo pastatytas 595–605 m. e. m. Europoje segmentinių arkinių tiltų statyba prasidėjo apie II m. e. amžių. Apie 105 m. e. metus Romoje buvo pastatytas segmentinis arkinio tipo medinių konstrukcijų tiltas. Pontė Vekijo (*Ponte Vecchio*) segmentinis arkinis tiltas Florencijoje yra seniausias ir žinomiausias tokio tipo tiltas Europoje. Jis buvo pastatytas 1345 m. ir yra vienintelis, išsaugojęs savo pirminę išvaizdą.

XVIII a. medinės konstrukcijos tiltuose buvo įdiegta daugybė naujovių, tačiau didžiausiu technologiniu pasiekimu buvo geležies panaudojimas. Pirmas ketaus konstrukcijų tiltas buvo pastatytas 1779 m. Anglijoje per Severno upę. XIX a. geležinės santvaros buvo naudojamos sijinių tiltų statyboje, tačiau didelės apkrovos veikiamiems tiltams nebepakako kaltinės geležies ar ketaus stiprio. Permainas atnešė plienas, jis buvo stipresnis už geležį ir jo konstrukcijas buvo galima suvirinti. 1927 m. vienas iš suvirinimo pradininkų Stefanas Bryla pastatė pirmąjį virintinį kelių tiltą netoli Lovičiaus (Łowicz) miestelio (Lenkija).

Pirmuosius lietuvių statytus tiltus Livonijos kronika mini apie 1290 metus. Molėtų rajone, Luokesų ežere, archeologai atrado polinę gyvenvietę ir tilto į ją liekanas, apytikriai datuojamas tarp I tūkst. pr. m. e. ir I tūkst. mūsų eros. Istorikai tvirtina, kad XIII–XIV a. Lietuvoje mediniai sijų tiltai buvo statomi ties pilimis, o po vandeniu buvo tiesiami slapti perėjimai – *kūlgrindos*. Pirmuoju tiltu Vilniuje istoriniuose šaltiniuose laikomas 1536 m. per Nerį pastatytas tiltas. Šiuo metu Lietuvoje yra per 4 tūkst. tiltų. Ilgiausias ir aukščiausias (599 m ilgio ir 42 m aukščio) yra geležinkelio tiltas per Dubysą ties Lyduvėnais (Raseinių r.). Tiltas pastatytas 1918 metais. Ilgiausias automobilių tiltas (494 m) jungia Nemuno krantus Jurbarke (pastatytas 1978 m.). Ilgiausias pėsčiųjų tiltas (525 m) yra nutiestas per Širvenos ežerą Biržuose (pastatytas 1987 m.). Vien Vilniuje per upes ir geležinkelį buvo pastatyti 23 tiltai (kai kurie jau nenaudojami).

SIJINIAI TILTAI

Sijinis tiltas yra pats paprasčiausias tilto tipas (19.1 pav.), kurio pagrindinė laikančioji konstrukcija yra lenkiamasis elementas (*spragotinė sija*). Tiltas gali

a



b



19.1 pav. Sijiniai tiltai: a – tiltas per Vilnelę Vilniuje, b – geležinkelio tiltas per Nemuną Kaune (A. V. Valiulio nuotr.)

būti vieno ar kelių tarpatramių. Daugiaatramių tiltų konstrukcijos gali būti karpytosios, nekarpytosios ir gembinės. Sijiniai tiltai statomi iš plieno, gelžbetonio arba iš abiejų medžiagų, rečiau – iš geležies ir medienos. Šiandien vyrauja plieninės dėžinio skerspjūvio sijos (19.1, b pav.). Sijos turi būti atsparios sukimo ir lenkimo apkrovoms. Paprasčiausios konstrukcijos tiltą sudaro viena ar kelios horizontalios sijos, kurių galai remiasi ant vertikalių atramų. Sijų, tilto perdangos ir judančio tiltu transporto svoris veikia atramas gniuždymo jėga. Pagal veikiančią apkrovą viršutinis sijos paviršiaus yra gniuždomas, o apatinis yra tempiamas. Tarp šių paviršių yra įsivaizduojama linija, kurioje medžiaga nei gniuždoma, nei tempiama. Ši linija vadinama *neutralia ašimi*.

ARKINIAI TILTAI

Arkinis tiltas – vienas seniausių žinomų tiltų konstrukcijų tipų. Seniausias žinomas arkinis tiltas pastatytas Graikijoje (Mikėnų Arkadiko tiltas) apie

1 300 m. pr. m. e. Dėl lenktos formos arkinis tiltas gali jungti tolimesnius krantus negu sijinis tiltas. Jo abiejų galų atramos vadinamos *ramtais*. Dėl gana didelės skėtimo jėgos arkose būtina projektuoti masyvius pamatus. Veikiančios simetrinės apkrovos arkoje sukelia tik gniuždymą, todėl arkoms sunaudojama mažai plieno, nors perdengiami gana dideli tarpatramiai. Pagrindiniu arkinės konstrukcijos trūkumu galima laikyti jos formos nesuderinamumą su funkcine tilto paskirtimi. Dėl to arkiniuose tiltuose projektuojamos papildomos horizontaliosios konstrukcijos, ant kurių įrengiamas paklotas. Arkinius tiltus iš plytų ar akmens pirmieji pradėjo statyti romėnai. Tiltų arka gali būti trikampė (19.2 pav.), pusapskritė, segmentinė, lancetinė, trilapė, pasaginė, parabolinė, elipsinė ir kt.

Dabartiniai arkiniai tiltai statomi iš gelžbetonio ar plieno (19.3 pav.). Dėl šių naujų medžiagų arkinių tiltų angos gali būti ilgesnės, o tiltai žemesni.

Dolomitinis penkių arkų tiltas-užtvanka per Kruoją ties Pakruoju pastatytas 1821 metais. Jo ilgis – 36,3 m, plotis – 5,2 m, aukštis – 6 m. Šis retas Europoje hidrotechninis statinys pastatytas pagal romėnų akvedukų pavyzdį (19.4 pav.).



19.2 pav. Trikampės arkos tipo tiltas (48 – Mende – Pont Notre-Dame.jpg.)



19.3 pav. Geležinis arkinis tiltas Vilniuje (A. V. Valiulio nuotr.)



19.4 pav. Pakruojo dvaro tiltas (A. V. Valiulio nuotr.)

KONSOLINIAI TILTAI

Konsolinio tilto konstrukcija išsirutuliojo iš sijinių ir santvarinių tiltų. Specifinis šios konstrukcijos elementas yra *konsolės*. Mažesni konsoliniai tiltai gali būti statomi su sijomis, bet didžiausi tokio tipo tiltai statomi su plieninėmis ar gelžbetoninėmis dėžinio skerspjūvio santvaromis.

Konsoliniai tiltai vertinami dėl tarpatramių ilgio (gali būti daugiau kaip 460 m) bei lengvesnio montavimo. Konsolinį tiltą paprastai sudaro konsolių poros su įdėklu tarp konsolių galų (19.5 pav.). Pusiausvyrai išlaikyti konsolės galai turi atsvarą. Konsolės remiasi ant masyvių pasvirų ar vertikalių atramų.

KABAMIEJI TILTAI

Kabamųjų tiltų konstrukcijos yra vienos veiksmingiausių tiltų konstrukcijų. Primityviausi kabamieji tiltai buvo daromi iš virvių ir lentų arba net iš medžio (banjano) šaknų (Indijoje). Šiuolaikinių kabamųjų tiltų važiuojamoji dalis daroma iš dėžinio skerspjūvio sekcijų, kurias laiko labai stiprūs lynai. Įprasta, kad pėsčiųjų tiltams kabamosios konstrukcijos naudojamos gana plačiai. Kabamųjų tiltų konstrukcijos yra išraiškingos ir patrauklios: nedideli skerspjūviai, mažos plieno sąnaudos sudaro itin lengvos konstrukcijos įspūdį. Pagrindiniu laikančiuoju kabamojo tilto konstrukcijų elementu yra tempiamasis lynas, atremtas į statramsčius. Prie šio lyno pakabomis



19.5 pav. Plieninis konsolinis tiltas (Pulaski Skyway full view.jpg.)

tvirtinama standumo sija. Vienas pagrindinių konstrukcijos trūkumų – per didelė deformacija, kurią nulemia asimetrinių apkrovų sukelti kinematiniai poslinkiai. Kabamųjų tiltų lynų tempimo jėgoms perimti turi būti įrengiami masyvūs inkariniai pamatai.

Tiltų lynai gaminami iš tūkstančių susuktų plieno vielų. Tokiai vielai pagaminti tinkamiausias didelio stiprio legiruotas šalto valcavimo plienas. Viena 2,5 mm skersmens viela nenutrūksta net veikiama 5 000 N tempimo jėgos. Lengvų ir stiprių kabamųjų tiltų tarpatramio plotis gali būti 600–2 100 metrų. Tokio tarpatramio pločio negali turėti joks kitos konstrukcijos tiltas, todėl šie tiltai ypač tinkami judrios laivininkystės zonose. Vis dėlto dažnai jie yra patys brangiausi. Kabamąjį tiltą laiko du lynai, kurie remiasi į tilto galuose stovinčias masyvias atramas ir įtvirtinami sausumoje įrengtose inkaravimo sistemose. Kabamieji tiltai reaguoja į aplinkos temperatūrą: ilgiausių tiltų važiuojamasis paviršius vasarą nusileidžia žemyn, o žiemą pakyla aukštyn. Aukščio pokytis pagal vertikalę siekia apie 3 metrus. Taip atsitinka todėl, kad tiltų lynai žiemos metu traukiasi, o vasaros metu ilgėja.

Kabamasis Akaši Kaikijo (arba Perlo) tiltas Japonijoje yra pats ilgiausias toks tiltas pasaulyje (19.6 pav.). Jis kerta Akaši sąsiaurį nuo Kobės uostamiesčio iki Avadži salos, kurioje įsikūrusi Japonijos perlų pramonė. Tilto statybose panaudotų plieno lynų ilgis, ištiesus į vieną liniją, siektų 300 000 km. Tokio ilgio užtektų apvynioti Žemę 7,5 karto.



19.6 pav. Kabamasis tiltas (Akashi Bridge.JPG.)



19.7 pav. Kabamasis tiltas per Miniją (A. V. Valiulio nuotr.)

Ilgiausias Lietuvoje kabamasis tiltas yra pastatytas per Miniją 1900 m. (Lankupių kaime, Priekulės seniūnija), jis jungia Klaipėdos ir Šilutės rajonus. Tai metalinis lentų pakloto tiltas, kurio ilgis 130 m, o plotis 1,4 m (19.7 pav.).

VANTINIAI TILTAI

Vantinis tiltas – tai kabamojo tilto rūšis, jį sudaro vienas ar daugiau pilonų, sujungtų su važiuojamąja dalimi tiesiais lynais – vantais. Vantinių tiltų konstrukcijos perdengiamų tarpatramių dydžiu nusileidžia tik kabamiesiems tiltams. Tarp pagrindinių vantinių tiltų privalumų paminėtinas didesnis standumas, palyginti su kabamuoju tiltu. Vienas pirmųjų vantinių pėsčiųjų tiltų su atotampomis iš plieninių lynų buvo pastatytas 1817 m. Anglijoje. Šio tilto tarpatramio ilgis siekė 33,5 metro. Pagal vantų išdėstymą gali būti lygiagrečių, radialių ir mišrių vantų konstrukcijos tiltai. Dažnai statomi kelių tarpatramių vantiniai tiltai. Tiltų pilonai daugiausia būna iš gelžbetonio. Vantinio tilto standumo sijoje lenkiamieji elementai nėra dideli. Šio tilto konstrukcijoje praktiškai nebūna kinematinių poslinkių, todėl jam nebūtini inkariniai pamatai. Tačiau vantinio tilto standumo sijos yra santykinai didesnio skerspjūvio, nes jas papildomai veikia gana didelės vantų įrąžų sukeltos gniuždymo jėgos. Vantų konstrukcija gali būti iš atskirų strypų, lygiagrečių vielų, lygiagrečių lynų, suvytų iš atskirų vielų, ir vielų, suvytų į vientisą vantą. Vantų strypai gaminami iš didelio stiprio plieno (iki 1 500 MPa), vielų stipris siekia iki 1 900 MPa.

Ilgiausias vantinis (230,3 m tarpatramio ilgio) pėsčiųjų tiltas per Nerį, sujungęs Žvėryno rajoną su Vingio parku, buvo pastatytas Vilniuje 1985 m. (19.8 pav.).



19.8 pav. Vantinis pėsčiųjų tiltas per Neries upę Vilniuje (A. V. Valiulio nuotr.)

Kombinuotomis tiltų konstrukcijomis vadinamos tokios konstrukcijos, kuriose sujungiami skirtingi elementai (sijos, arkos, kabamieji lynai, atotampos (vantos) ir pan.). Šių elementų sintezė suteikia kombinuotosios konstrukcijos tiltams kokybiškai naujų savybių. Kabamuosius ir vantinės konstrukcijos tiltus būtų galima priskirti prie kombinuotųjų, nes jų konstrukcijos sudarytos iš sijų ir tempiamųjų elementų (lynų arba vantų).

SANTVARINIAI TILTAI

Santvarinių tiltų konstrukcijos kilo iš sijinių tiltų konstrukcijų. Siekiant perdengti didesnius tarpatramius, lenkiamieji elementai santvarose pakeisti tarpusavyje sujungtais lanksčiai arba standžiai tempiamaisiais ir gniuždomaisiais strypais. Santvarinio tilto rėmo konstrukciją sudaro sija (rėmas) ir statramsčiai (kolonos). Rėmo konstrukcijoje dominuoja gniuždymo ir santykinai nedideli lenkimo įtempiai. Rėmo skersinės sijos perduoda tolygiai paskirstytas apkrovas į santvarų mazgus, todėl būtina įrengti stačiuosius ir gulsčiuosius ramsčius. Rėmų pamatai turi perimti ne tik vertikaliąsias, bet ir gulsčiąsias atramines apkrovas.

Tilto paviršius turi tvirtą paklotą (lentos, tašai, asfaltas). Ankstyvieji tiltai buvo statomi iš medienos, vėliau – iš medienos su įterptais (tempiamais) geležies strypais. Šiuolaikiniai tiltai yra metaliniai (kaltinė geležis, plienas) arba gelžbetoniniai (19.9 pav.).



19.9 pav. Plieninis dengtas santvarinis tiltas per Vilnelės upę Vilniuje (A. V. Valiulio nuotr.)

PAKELIAMIEJI TILTAI

Pakeliamasis tiltas priklauso judančių tiltų tipui. Viduramžiais tokie tiltai buvo naudojami pilies ar gyvenvietės apsaugai, statomi virš mažų vandens kanalų. Šiandien pakeliamieji tiltai naudojami tada, kai po tiltu upe ar kanalu reikia praplaukti laivams, baržoms (19.10 pav.) ar pereiti pėstiesiems (19.12 pav.). Retkarčiais jie naudojami automobilių transportui, kai reikia kirsti mažą vandens kanalą ar upę. Tiltai buvo pakeliami ir nuleidžiami atsvarais ir gervėmis. Šiuolaikinių tiltų kėlimo mechanizmus (gerves, krumpliaratines pavaras ar hidraulinius stūmoklius) varo elektromotorai. Ilgiausias pasaulyje pakeliamasis tiltas (340 m) įrengtas per Sueco kanalą (Egiptas). Jis skirtas kelių ir geležinkelių transportui, važiuojančiam tarp Sinajaus pusiasalio ir Nilo deltos. Tiltas pastatytas 2001 metais.



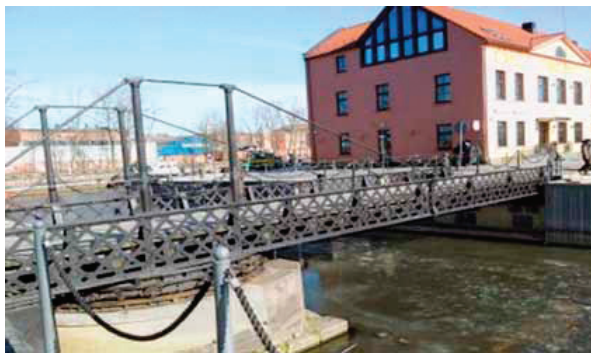
19.10 pav. Pakeliamasis Tauerio tiltas Londone (Tower Bridge, London Getting Opened 5.jpg.



19.11 pav. Pakeliamasis tiltas per Danės upę Klaipėdoje (A. V. Valiulio nuotr.)

Lietuvoje pasukamų ar pakeliamų tiltų nedaug. Iš viso Lietuvoje yra tik trys pakeliami tiltai: Biržos (pakeliamas mechaniniu būdu – besisukančiu sraigtu) (19.11 pav.) ir Pilies (pakeliamas hidrauliniu būdu) Klaipėdoje bei Kauno Vytauto Didžiojo tiltas, nuo 2005 m. jau nebekilnojamas. Pastarasis tiltas įdomus savo plieninėmis konstrukcijomis, kurias sudaro keturi tarpatramiai, perdengti aštuoniomis nekarpytomis sijomis, vidurinė dalis pakeliama laivams praleisti.

Dar yra Grandinių, arba *pasukamasis*, tiltas Klaipėdoje (19.12 pav.), jungiantis Klaipėdos senamiestį ir piliavietę. Jis pastatytas 1855 m. iš kaltinės geležies. Jo laikančiosios santvaros – daugiaspragotinės (laužyto kontūro). Pasukimo mechanizmas – rankinis. Ramtas – plytinis, ant granitinio cokolio. Tilto ilgis – 21,1 m, plotis – 4,34 m.



19.12 pav. Pasukamasis Grandinių tiltas pėstiesiems Klaipėdoje (A. V. Valiulio nuotr.)

TILTŲ ARCHITEKTŪRA

Tiltams statyti naudojamos įvairios konstrukcinės medžiagos: mediena, plytos, akmuo, ketus, kaltinė geležis, mažaanglis plienas, didelio tempimo stiprio plienas, legiruotas plienas, aliuminis, gelžbetonis, iš anksto įtemptas gelžbetonis ir stiklo pluoštu armuotas plastikas. Šios medžiagos ar jų kombinacija turi atlaikyti apkrovas (tempimo, gniuždymo, smūginio poveikio, vibracijų, lenkimo, šlities, nuovargio, temperatūrinio plėtimosi) ir aplinkos poveikį (koroziją, eroziją, trintį, kritulius, potvynius, vėjo gūsius, jūros vandens poveikį ir kt.).

Tilto statyba nėra vien tik paprastas visų dalių sujungimas į visumą. Suvirinant metalines konstrukcijas, aukšta temperatūra gali jas iškraipyti ar deformuoti. Metalui greitai auštant, gali pakisti (blogėti) jo mechaninės savybės. Bloga suvirinimo kokybė gali išryškėti ne iš karto, o vėliau, jau tilto eksploatacijos metu. Dėl didelio surenkamų konstrukcijų svorio, netolygaus svorio pasiskirstymo surinkimo metu būtinos atsargumo priemonės, specialūs kėlimo įrenginiai. Montavimo metu, siekiant išlaikyti konstrukcijų lygiagretiškumą, galimi įtempiai, kurie gali sukelti įtrūkius. Tilto konstrukcijos turi būti nuolat prižiūrimos. Orą sudaro azotas ir deguonis, tačiau jame yra ir įvairių dujų (sieros dioksido, sieros trioksido, azoto oksidų), kurių ore prieš 500 metų nebuvo. Šios dujos nuolat veikia metalų paviršių, dėl drėgno oro ar lietaus paviršiai sparčiai koroduoja. Į kniedytas ir varžtines jungtis prasiskverbia drėgmė, nors jos žalingas veikimas iš išorės yra nematomas. Siekiant padidinti metalinių konstrukcijų atsparumą, jos dažomos, anodinamos, dengiamos specialiomis dangomis (cinku).

Kokios dažniausiai pasitaikančios tiltų avarijos? Tilto atramų avarijos dėl gniuždymo ypač retos. Dažniau avarijos priežastimi yra metalo nuovargis, dėl kurio įtempių koncentracijos vietose gali atsirasti mikroįtrūkiai. Šie įtrūkiai vėliau labai greitai plečiasi ir gali suardyti pačią konstrukciją. Atramos ir plokštės dažniausiai visiškai nesuyra, tačiau sulinksta. Dažnai avarijos įvyksta tilto konstrukcijų jungtyse su prietilčiu. Kai kurios konstrukcijos ant tilto atramų laikosi tik dėl savo svorio. Didelio potvynio metu iki tilto santvarų pakilęs vanduo gali jas pastumti. Žemės drebėjimai kartais yra tokie galingi, kad jokios konstrukcijos negali išlaikyti jų smūgių. Būta atvejų, kai plaukiantys laivai atsitrenkė į tiltų konstrukcijas ar perdangas ir šios neišlaikiusios

smūgio nuvirto į upę. 1975 m. Vilniuje nesutvirtintas (nebaigtas statyti) pontoninis tiltas per Neries upę, neišlaikęs einančių 200–300 žmonių svorio, atsikabino nuo kranto. Kraštiniai tvirtinimo lynai nutrūko, pabirusius pontonus pradėjo blaškyti srovė ir žmonės ėmė kristi į vandenį.

XX a. tiltų projektavimas pakilo iki lygio, kuris buvo vadinamas „statybiniu menu“. XIX a., atsiradus „Portland“ cementui, greitai pasirodė pirmosios betono ir gelžbetonio konstrukcijos.

Plieno strypai buvo įterpiami į betoninės konstrukcijos tempimo įtempių veikimo zoną. Betonas visada buvo atsparus gniuždymui, tačiau panaudojus jame plieno armatūrą, jis tapo atsparus ir tempimui. Šiandien gelžbetonis – viena populiariausių statybinių medžiagų. Iš jo galima statyti įvairių architektūrinių formų konstrukcijas ir statinius. Prancūzas Josephas Monier 1875 m. pastatė pirmąjį gelžbetonio tiltą, jo konstrukcijai panaudodamas gelžbetonio sijas. J. Monier išnaudojo geriausias plieno ir betono savybes. Lengvai gaunamas ir formuojamas betonas yra atsparus gniuždymui, tačiau nelabai tinkamas veikiant šlyties ir tempimo įtempiams. Kita vertus, iš plieno lengva pagaminti strypus ar vielą, jis atsparus tempimui ir pasižymi dideliu stipriu. Nustatyta, kad betono ir plieno šiluminio plėtimosi koeficientai mažai skiriasi, todėl tokios kompozitinės konstrukcijos tiko darbui ir žemoje, ir aukštoje temperatūroje. Stiprų gelžbetonį mažai veikia atsitiktinės perkrovos ir kiti aplinkos veiksniai, jis standus, tvirtas, nedega, nebrangus ir higieniškas, bet gana laidus šilumai ir garsui. Gelžbetonio konstrukcijų skaičiavimo principus 1886 m. sukūrė Matias Koenenas (Vokietija).



19.13 pav. Ganterio tiltas (Šveicarija), iškilęs 152,4 m virš tarpeklio (Gantertal2, 2010 July.jpg.)

Iš anksto įtempto gelžbetonio konstrukcijos leido sukurti dar įspūdingesnio tarpatramių pločio tiltus, tokius kaip Ganterio (19.13 pav.).

Tai unikalus vantinis-konsolinis gelžbetonio tiltas (ilgiausias atstumas tarp atramų 174 m, visas ilgis 678 m), kurio atramų aukštis 150 metrų.

Šiuolaikiniai tiltai yra sudėtingi ir brangūs susisiekimo statiniai, turintys didelę reikšmę šalių ekonominiams, politiniams ir kultūriniams ryšiams. Tai ne vien objektas, pagerinantis susisiekimą. Tai ir architektūrinis objektas, kurio išvaizdai taikomi tie patys estetikos dėsniai kaip ir pastatams ar skulptūrai. Tilto forma glaudžiai susijusi su konstrukcijomis ir jų meniškumu, todėl tilto estetikoje reikia atsižvelgti į meniškų konstrukcijų kūrimo būdus.



19.14 pav. Rėminis-konsolinis Žirmūnų tiltas per Neries upę Vilniuje (A. V. Valiulio nuotr.)



19.15 pav. Lyduvėnų geležinkelio tiltas

Yra tam tikri tiltų architektūros kriterijai, pagal kuriuos galima įvertinti tilto meninį vaizdą. Tiltų estetikai harmonizuoti taikomi architektūros tektonikos ir bionikos būdai. Kuriant architektūrinį tilto vaizdą reikia žinoti, kokiomis priemonėmis jis bus kuriamas. Pagrindiniai aspektai yra linija, kontūras, forma, spalva, tekstūra, nemažiau svarbūs tiltų projektavime šešėliai ir atspindžiai. Tilto architektūroje, kur kas daugiau negu kitose inžinerijos srityse, dekoratyvumą atskleidžia geometriniai elementai, tokie kaip aiški ar menama arka, sijos, kolonos. Būdami specialios paskirties ne visada jie padeda sukurti estetinį vaizdą. Siekiant estetinio vaizdo, kai kurie tiltai statomi aukštesni, didesnėmis arkomis, negu to reikia technologiškai. Tokio tipo tiltai mėgstami Rytų Azijos stiliaus soduose. Jie vadinami Mėnulio tiltais, nes primena kylančią Mėnulio pilnatį. Kiti dekoratyviniai sodų tiltai gali kirsti išdžiūvusią upės vagą

primenančią žvirgždo ir akmenų įdubą ar lomą, taip sukurdami įspūdį apie audringai tekėjusį vandens srautą. Pilių tiltai dažnai statomi per dirbtinius griovius ar kanalus ir simbolizuoja perėjimo į kitą erdvę svarbą. Elegantiška išvaizda pasižymi gelžbetoninis tiltas per Neries upę Vilniuje (Žirmūnų tiltas) (19.14 pav.). Įspūdingas ir vienas ilgiausių tiltų Lietuvoje – Lyduvėnų geležinkelio tiltas (19.15 pav.).

Ilgiausias pasaulyje 164,8 km ilgio geležinkelio viadukas-tiltas yra pastatytas Pekino–Šanchajaus greitojo geležinkelio linijoje; 9 km ilgio tilto sekcija yra virš ežero. Tiltas atidarytas 2011 metais. 2018 m. atidarytas tiltas per Perlų upės žiotis sujungė Makao ir Honkongą su žemynine Kinija.

19.1 lentelė. Ilgiausi pasaulio tiltai

Tiltas	Pagrindinė anga m	Užbaigimo data	Vietovė, šalis
Kabamieji tiltai			
Akaši Kaikijo	3 934	1998	Japonija
Hamberio	1 410	1982	D. Britanija
Auksinių Vartų	1 280	1937	San Franciskas, JAV
Bosforo	1 074	1973	Stambulas, Turkija
Konsoliniai tiltai			
Kvebeko (geležinkelio tiltas)	549	1917	Kvebekas, Kanada
Delavaro (per Delavaro upę)	501	1971	Česteris, Pensilvanija, JAV
Howrah (per Hooghly upę)	457	1943	Kalkuta, Vakarų Bengalija, Indija
Bay (per įlanką)	427	1936	Oklandas–San Franciskas, JAV
Plieniniai arkiniai tiltai			
Bayonne (tarp Naujojo Džersio ir Stateno salos)	504	1931	Naujasis Džersis–Niujorkas, JAV
Sidnėjaus įlankos	503	1932	Sidnėjus, Australija
Port Mann (per Freizerio upę)	366	1964	Britų Kolumbija, Kanada
Thatcher (per Panamos kanalą)	344	1962	Panama

19.1 lentelė. (Tęsinys)

Tiltas	Pagrindinė anga m	Užbaigimo data	Vietovė, šalis
Santvariniai tiltai			
Astoria-Megler (per Kolumbijos upę)	376	1966	Vašingtono valstija, JAV
Francis Scott Key per Patapsko upę	360	1978	Baltimorė, Merilando valstija, JAV
Tenmon tarp Kiusių ir Amakusa salų	300	1966	Kumamoto, Japonija
Dubuque (per Misisipės upę)	258	1943	Ajova, JAV
Vantiniai tiltai			
Reino	365	1979	Diuseldorfas, Vokietija
Duisburg-Neuenkamp per Reino upę	350	1970	Duisburgas, Vokietija
San Roque González de Santa Cruz tiltas per Paranos upę	330	1990	Tarp Posadas (Argentina) ir Encarnación (Paragvajus)
Bratislavos (per Dunojaus upę)	303	1971	Bratislava, Slovakija
Gelžbetoniniai arkiniai tiltai			
Krk (tarp Krk salos ir žemyno)	390	1980	Adrijos pakrantė, Jugoslavija
Gladesville (per Paramatos upę)	305	1964	Sidnėjus, Australija
„Draugystės“ tiltas (per Paranos upę)	290	1964	Brazilija–Paragvajus
Dėžinio skerspjūvio tiltai			
Branko (per Savos upę)	75 × 261 × 75 m	1956	Belgradas, Serbija
Zoobrucke (per Reino upę)	74 × 259 × 145 m	1966	Kelnas, Vokietija
Bonn-Sud (per Reino upę)	125 × 230 × 125 m	1971	Bona, Vokietija
San Mateo-Hayward (per San Francisko įlanką)	114–229–114 m	1967	San Franciskas, JAV

KARINIAI TILTAI

Visą žmonijos istoriją nuo neatmenamų laikų lydėjo karai. Kariuomenėms tekdavo kirsti upes ar kitokias vandens kliūtis, kelti per jas karius, ginkluotę, gurguoles. Karinis tiltas – tai laikinas tiltas, kurį karo inžinieriai turi sukonstruoti iš turimų medžiagų dažnai pavojingomis sąlygomis. Istoriškai seniausi buvo pontoniniai, arba plūduriuojantys, tiltai įrengti ant tarpusavyje sujungtų valčių. Pontoninis tiltas – tai lynais prie įtvirtinimų krantuose pritvirtintos tuščiavidurės plūduriuojančios metalinės, guminės, odinės talpyklos ar valtys. Šių konstrukcijų statinių ištakos siekia 512 m. pr. m. e., kai per Bosforo sąsiaurį tarp Europos ir Mažosios Azijos tokį tiltą pastatė Persijos karaliaus Darijaus kariuomenė. Senovės laikais pontoninius tiltus statė persai, graikai, romėnai, mongolai ir kiti. Vis dėlto ilgiausius karinius tiltus statė romėnai. Julijaus Cezario kariuomenė pastatė medinį tiltą per Reiną, o imperatoriaus Marko Trajano – medinį arkinį tiltą per Dunojų. Iki XVII a. Europos ir Turkijos armijų pontonai buvo gaminami ne tik iš medienos, bet ir iš odos, vario ir alavo. Antrojo pasaulinio karo metu pasirodė pripučiamieji pontonai.

Lietuvos Didžiojoje Kunigaikštystėje net buvo atskiras žmonių luomas – bartai, kurie statė ir prižiūrėjo tiltus, kamšas ar kelių grindinius. Pagal padėtį visuomenėje bartai buvo laisvi žmonės, valdė nuosavą tėvoninę žemę, turėjo teisę ją parduoti. Karo žygyje bartų daliniai kariuomenėje sudarė karinius-inžinerinius dalinius. 1514 m. mūšyje prie Oršos LDK karinės pajėgos staigiai forsavo Dnieprą. Tam buvo skubiai sumontuotas tiltas. Tilto dangą išlaikė specialios valtys ar statinių tipo plūdurai. Per šį tiltą į mūšio vietą buvo permesti sunkūs artilerijos pabūklai. Naujaisiais laikais Lietuvoje pontoniniai tiltai buvo statomi Vilniuje (XX a. 8 dešimtmetyje), Kaune (1915 m.) ir kt.

Šiandien karinis pontoninis tiltas yra greitai pastatomas inžinerinis įrenginys, padedantis per vandenį perkelti sunkiąją karinę techniką, įvairias transporto priemones, karius ir ginkluotę (19.16 pav.). Sunkvežimiais pervežtos metalinės tuščiavidurės talpos nuleidžiamos į vandenį ir tarp savęs tvirtai sujungiamos, visa konstrukcija kateriais pasukama skersai vandens ruožo. Tilto galai lynais įtvirtinami krantuose, paklojami ar įrengiami prieštilčiai, prireikus išklojamas paklotas.



19.16 pav. Karinis pontoninis tiltas (Bradley off bridge.jpg.)

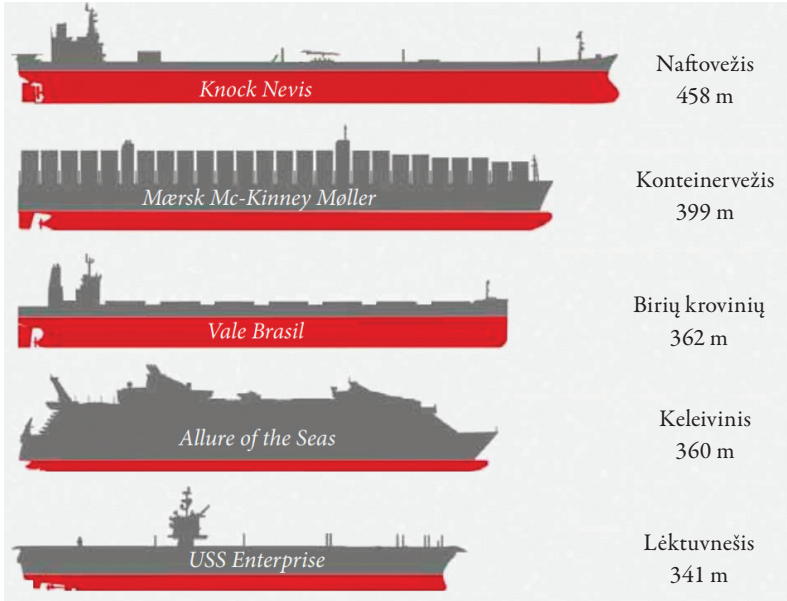
Persikėlimui per vandens kliūtis kariuomenės stato ir laikinus stacionarius tiltus. Dažniausiai mediniai poliai kalamai poliakalėmis. Poliai sujungiami santvaromis, įrengiamas medinis paklotas. Tokiais tiltais persikelia ne tik kariai, bet ir tankai, šarvuotieji automobiliai ar artilerija.

20 SKYRIUS
VANDENS IR KELIŲ TRANSPORTAS

SUPERLAIVAI

Naftos gavyba, jos transportavimas ir pasaulinė gamybos plėtra sąlygojo didžiųjų laivų ir tanklaivių statybą. Šie laivai skirstomi į dvi klases: VLCC (labai dideli žalios naftos pervežėjai) ir ULCC (ypač dideli žalios naftos pervežėjai). VLCC klasės laivai perveža nuo 250 000 iki 275 000 dedveito tonų (dedveito tonažas – saugiai gabenamo laivo krovinio dydis), o ULCC – iki 500 000 dedveito tonų (20.1 pav). Beveik 25 metus po Antrojo pasaulinio karo naftovežių varikliu buvo garo sukama turbina. Šiandien ji naudojama tik suskystintas gamtines dujas transportuojančiuose laivuose. Garo mašinos mažina gaisro pavojų, be to, garu pašildytus vežamus naftos produktus lengviau išpumpuoti iš laivo triumų. Laivuose naudojami garu varomi siurbliai, gervės ar keltuvai, dažniausiai yra vienas kintamo žingsnio varomasis sraigtas. Laivo grimzlė siekia 18 m ir daugiau, todėl laivai gali švartuotis tik giliavandeniuose uostuose. Sekliose pakrantėse įrengiami išoriniai uostai, kuriuose kroviniai iškraunami toli nuo kranto.

Didieji tanklaiviai visada kelia didelę potencialią grėsmę naftos produktų išsiliejimo į jūrą atveju. „Torrey Canyon“ (1967 m.), „Amoco Cadiz“ (1978 m.) ir „Exxon Valdez“ (1989 m.) laivų avarijos užteršė didžiules pakrančių teritorijas: iš „Torrey Canyon“ išsiliejo 117 000 t naftos, iš „Amoco Cadiz“ ir „Exxon Valdez“ – maždaug po 200 000 tonų. 1981 m. tanklaivis „Globe Asimi“ užplaukė ant pakrantės seklumos prie Klaipėdos uosto ir lūžo perpus. Iš triumų į jūrą išsiliejęs mazutas (16 493 t) 0,13 km^2 spinduliu jūros paviršių padengė iki 30,5 cm storio mazuto plėvele. Štorminių vėjų išnešioti teršalai užteršė 80 km pajūrio ruožo. 2005 m. naftos transportavimo



20.1 pav. Įvairių klasių laivų dydis: tanklaivis („Knock Nevis“) – 564 763 dwt, konteinervežis („Mærsk Mc-Kinney Møller“) – apytikriai 165 000 dwt, birių krovinių („Vale Brasil“) – 400 000 dwt, keleivinis („Allure of the seas“) – 19 750 dwt, lėktuvnešis („USS Enterprise“) – 93 500 t (Bateaux comparaison2 with Allure.svg)

tanklaiviai sudarė 36,9 % (dedveito tonomis) viso pasaulio laivyno. Bendras naftos ir biriųjų krovinių laivų tonažas – apie 73 % pasaulio laivyno tonažo. Yra paprasta taisyklė: krovinio tūris, kuris gali būti vežamas tanklaivyje, turi atitikti laivo ilgį, pakeltą kubu. Naftą pervežančių tanklaivių eksploatacijos trukmė yra apie 30 metų. Pakrauto tanklaivio tiek masė, tiek ir judėjimo inercija labai didelė, todėl jį valdyti sunku. Stabdomas pakrautas tanklaivis iki visiško sustojimo gali nuplaukti 4–8 km, o jo posūkio skersmuo yra apie 2 kilometrai.

BIRIŲ KROVINIŲ IR KONTEINERIŲ LAIVAI

XX a. pabaigoje jūrų prekybą labai praplėtė pažangios laivų statybos technologijos. Krovininiai laivai pagal konstrukciją skirstomi į du pagrindinius tipus:

birių krovinių laivus ir konteinervežius (20.2 pav.). Birių krovinių laivais gabenami grūdai, naudingosios iškasenos (boksitai, kaolinas, geležies rūda ir kt.). Konteineriniai laivai specialiai suprojektuoti konteineriams gabenti. Tie patys standartiniai konteineriai, pagaminti iš plieno lakštų, neretai tinkami gabenti ir laivais, ir žeme (geležinkeliu arba sunkvežimiais). Šiuo metu konteineriais pervežama apie 90 % krovinių, išskyrus piltinius krovinius (birius ar skystus). Didieji konteinervežiai („Mærsk Mc-Kinney Møller“) gali gabenti 23 964 konteinerių. Konteinerio dydis vertinamas TEU vienetais arba dvidešimties pėdų vieneto ekvivalentais. 1 TEU dydžio konteineris būna 6,1 m ilgio, 2,44 m pločio ir 2,59 m aukščio. Kai kurie konteinervežiai gali gabenti tūkstančius konteinerių. Konteinerių matmenys standartizuoti, todėl visuose pasaulio uostuose kėlimo įranga yra pritaikyta šio dydžio kroviniams kelti. Didelių konteinervežių ilgis – per 400 m, aukštis – 73 m, plotis – 59 m, grimzlė – 14,5 m, greitis 35–46 km/h. Laivą varo 20–30 MW galios dyzeliniai varikliai, sukantys du keturmenčius sraigtus. Šiuo metu tokie laivai gali plaukioti tik Azijos ir Europos pakrantėmis. Nė viename kitame žemyne nėra tinkamų uostų, kurie galėtų priimti šiuos laivus. Jie taip pat gali kirsti Sueco kanalą, o Panamos kanalas jiems yra per siauras. Jau dabar keletas Europos uostų yra gilinami arba svarstomos tokios galimybės. Jeigu vienu laivu vežami konteineriai būtų išrikiuoti į vieną liniją, ji nutįstų 146 km.



20.2 pav. Konteinervežis (Glen Canyon Bridge (ship, 2006) 001.jpg.)

Medžiagų aspektu didžiausią pokytį patyrė laivų korpusas – jam sunaudojama mažiau didelio stiprio plieno. Dabar korpusą sudaro net 65 % mažaanglio plieno. Laivuose diegiamos ir kitos naujovės. Viena tokių naujovių – suporinti, tandeminiai, priešingomis kryptimis besisukantys sraigtai. Tokia sraigtų kombinacija 14 % padidina sraigto naudingumą. Priekinis sraigtas sukelia vandens srauto sukimąsi ir nukreipia jį į antrąjį sraigtą, kuris srauto energiją paverčia didelio naudingumo laivą varančiąja jėga.

Pasaulio jūrose įprasta matyti 250 m ilgio krovininius laivus, kurių talpa yra 30 000 tonų. Šie dideli laivai atvirame vandenyne plaukia 18–24

mazgų (1 mazgas = 1,852 km/h) greičiu. Į uostus vidutiniškai jie įplaukia kas 7–8 dienas.

Naujas laivų statybos technologinis posūkis yra „greito laivo“ (*fast ship*) koncepcija. Naujos laivybos technologijos perpus sutrumpina šių laivų keliones. Transatlantinį reisą, kuris vidutiniškai trunka savaitę, greitas laivas nuplaukia per 3,5 paros, o kelionė į abi puses trunka aštuonias dienas. Su 8 000 t kroviniu laivas plaukia 78 km/h greičiu. Mažesnę laivo krovą, palyginti su įprastu konteinervežiu, kompensuoja dažnesni reisai. Šių laivų dujų turbinų reaktyvinė jėga varo laivą efektyviau negu sraigtas. Laivams naudojamos 5 MW galios lėktuvų turbinos. Laivo ilgis apie 236 m, o visas krovinys sandėliuojamas laivo triumuose. Šiuo metu ilgiausi konteineriniai laivai siekia 400 metrų. 2018 m. Klaipėdos uoste pirmą kartą švartavosi 363 m ilgio konteinervežis. Baltijos jūroje tokius laivus, be Lietuvos, dar gali priimti tik Gdansko uostas. Atplukdyti konteineriai perkraunami į mažesnius laivus ir paskirstomi po viso regiono uostus.

LAIVŲ STATYBA LIETUVOJE

Lietuvoje 1952 m. Klaipėdos uoste įkurta laivų statykla buvo skirta žvejybos laivų statybai (20.3 pav.). 1958 m. čia pradėta gaminti plieninius plaukiojančius dokus. UAB „Vakarų Baltijos laivų statykla“ yra vienintelė Baltijos šalyse (Lietuvoje, Latvijoje ir Estijoje) laivų statykla, savo produkciją tiekianti jūrinėms bendrovėms visame pasaulyje. Įmonėje gaminami pontonai, baržos, traleriai, plaukiojantys dokai, upių keltai, sausakrūviai laivai, konteinervežiai, taip pat atliekamas laivų remontas (20.4 pav.). Gaminami laivų anstatai *post-panamax* tipo ir mažesniems konteinervežiams, *ro-ro* bei balkerinio tipo laivams. *Ro-ro* laivas yra skirtas riedamiesiems arba ridenamiems kroviniams gabenti. Šiuose laivuose transportuojami traukinių vagonai, krovininiai automobiliai ir vilkikai, lengvieji automobiliai ir kitos transporto priemonės ant ratų. Pakrovimo ir iškrovimo darbai vykdomi ne vertikaliai (pro liukus), o horizontaliai (pro vartus). Balkeris – laivas, pervežantis birius krovinius (grūdus, rūdą, anglį, mineralines trąšas, statybos medžiagas ir kt.). Laivų statykla gali gaminti iki 115 m ilgio ir 19,7 m pločio laivų korpusus.

2010 m. UAB „Vakarų Baltijos laivų statykla“ pagamino didžiausią pasaulyje dujomis varomą keltą. Vidaus vandenų transportui skirto kelto ilgis – 109 m, plotis – 16,8 m, greitis – 20 mazgų (36 km/h). Jo konstrukcijai sunaudota apie 1 230 t plieno. Kelte telpa 600 keleivių ir 242 automobiliai, jį varo trys 2 430 kW dujiniai varikliai ir vienas 3 000 kW dyzelinis variklis. Šio kelto dujų varikliai kur kas mažiau teršia aplinką.



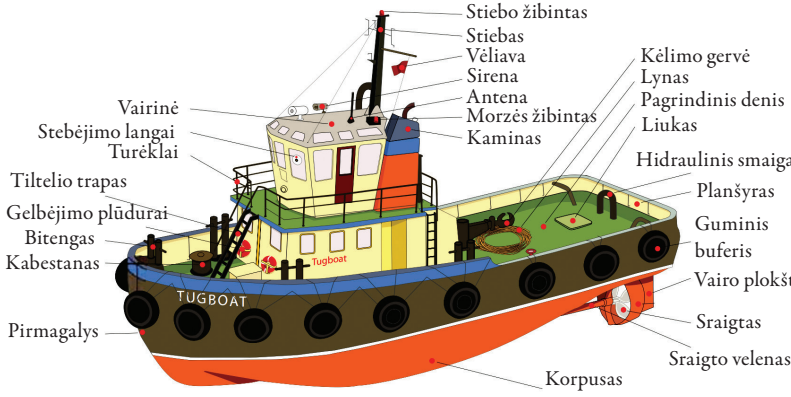
20.3 pav. Vidutinis žvejybos traleris „Dubingiai“, pastatytas Klaipėdos „Baltijos“ laivų statykloje 1961 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

„Vakarų Baltijos laivų statykla“ pastatė seriją priešgaisrinių uosto vilkikų. Toks vilkikas yra ir uosto ledlaužis, ir į uosto akvatoriją įplaukiančių laivų palydovas. Vilkike įrengti azimutiniai laivagalio sraigtų kreipiamieji antgaliai. Laivo korpusas dvigubos konstrukcijos, varomas dyzeliniais varikliais. Jo ilgis 30,3 m, grimzlė 4,8 m, greitis 13,6 mazgai (24,5 km/h), išvysto 70 t trauką (20.5 pav.).



20.4 pav. Barkentina „Meridianas“ Klaipėdos uoste (A. V. Valiulio nuotr.)

Įmonė „Klaipėdos laivų remontas“ (nuo 2018 m. AB „Kruizinių laivų terminalas“) įsteigta 1875 m. kaip laivų statytojų kooperatyvas. Bendrovė gamino metalinius ir medinius laivus, įvairias mašinas, liejinius. 1922 m. joje buvo pagamintas pirmas didelis (69 m ilgio) garlaivis. Vokietijai 1939 m. užėmus Klaipėdą, čia buvo gaminami minų traleriai, remontuojami karo laivai. Po karo veiklą atnaujinusi įmonė remontavo žvejybinius laivus. 1946–1949 m. buvo pastatyti pagrindiniai gamybiniai cechai, kuriuose buvo remontuojami vidutiniai žvejybiniai traleriai ir vidutiniai bei didieji žvejybiniai traleriai-šaldytuvai. Bendrovėje įkurtas jachtų uostas aptarnauja iš Lietuvos ir užsienio atplaukiančias jachtas.



20.5 pav. Priešgaisrinis uosto vilkikas (Tugboat diagram-en edit1a.svg.)

POVANDENINIŲ LAIVŲ ISTORIJA

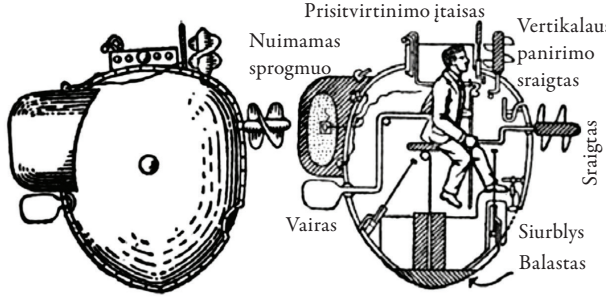
Pirmo povandeninio laivo eskizą 1578 m. popieriuje nubraižė britas Williamas Bourne'as. Jis sugalvojo odines „kišenes", kurias pripildžius vandens laivas nugrimzta, o vandenį išpylus – pakyla. Pirmas povandeninis laivas buvo nuleistas į vandenį 1620 metais. Jį sukonstravo olandų išradėjas Cornelius van Drebbelis. Tai buvo medinė valtis, apvyniota vandeniui nepralaidžia oda, kuri plaukdavo irkluojama laivo šonuose iškištais irklais. Oras į laivo vidų patekdavo pro iškištą į paviršių vamzdį. 1653 m. buvo pastatytas 22 m ilgio laivas karo tikslams. Paniręs po vandeniu jis turėjo pramušti skylę priešo laive. Laivą turėjo varyti spyruoklinis mechanizmas, tačiau jis buvo toks silpnas, kad laivas net nepajudėjo iš vietos. 1696 m. išradėjas Denisas Papinas povandeninio aparato išoriniam ir vidiniam slėgiui išlyginti pasiūlė naudoti oro siurblius. Paviršiumi plaukiantį laivą turėjo varyti burės, o po vandeniu – irklai. 1773 m. anglas Johnas Day'us sukonstravo povandeninį aparatą su nuimamu akmeniniu balastu, kuris buvo tvirtinamas prie laivo korpuso ir galėjo būti atkabinamas iš vidaus. Šis aparatas veikė gana gerai, bet tik sekliuose vandenyse.

Pirmą karinį povandeninį laivą „Turtle" (vėžlys) – rankų jėgos varomą povandeninį prietaisą – sukūrė amerikietis Davidas Bushnellis. 1776 m.

Amerikos revoliucijos metu laivas turėjo priplaukti prie Niujorko uostą blokuojančio britų karo laivo, pragręžti angą jo dugne ir įdėti sprogmenis su laikrodiniu detonatoriumi. Britų laivo korpusas buvo padengtas variniais lakštais, todėl operacija nepavyko. Laivą varė rankomis sukamas sraigtas, grąžtas buvo įtaisytas laivo priekinėje dalyje (20.6 pav.).

1798 m. Paryžiuje gyvenęs amerikietis Robertas Fultonas sukonstravo kariniams tikslams skirtą povandeninį laivą „Nautilus“. Vandens paviršiumi plaukiantį laivą varė burė, o nugrimzdusį po vandeniu – rankomis sukamas sraigtas. Po vandeniu laivas galėdavo pasiekti 4 mazgų (7,2 km/h) greitį. Laive buvo suspausto oro kolbos, kurios leido dviejų žmonių įgulai išbūti po vandeniu penkias valandas. Elipsės formos povandeninio laivo ilgis buvo 7 metrai. Nirimo po vandeniu kampą valdė horizontalūs pelekai. Išsiurbus vandenį iš balasto kameros, laivas iškildavo į paviršių. Iš pradžių laivą varė Archimedo sraigtas, tačiau vėliau jis buvo pakeistas keturmenčiu laivasraigčiu. R. Fultono suprojektuotas povandeninis laivas buvo pastatytas ir net sėkmingai išbandytas. Tačiau jam nesugebėjus slapta prisėlinti ir susprogdinti anglų karinio burlaivio, priartėjusio prie Prancūzijos krantų, Napoleonas nustojo domėtis šiuo projektu.

Olandijoje pirmasis povandeninis laivas sukurtas1881 metais. Cigaro formos laivas buvo 10 m ilgio ir 1,8 m skersmens. Korpusui panaudoti valcuotos geležies lakštai. Laivą varė 15–17 arklio galių (AG) dvitaktis „Brayton“ benzininis variklis. Laivo priekyje ir laivagalyje buvo užsandarinti skyriai, kuriuose esantis suslėgtas oras suteikė laivui reikalingą plūdrumą. Mažai naudingas 3,3 m ilgio pneumatinis pabūklas buvo



20.6 pav. D. Bushnellio povandeninis laivas „Turtle“ (Turtle submarine 1776.jpg.)

vienintelis povandeninio laivo ginklas. Vidaus degimo variklis pasiekdavo nedidelį greitį, ir laivas pakankamai ilgai galėjo plaukti iškilęs į vandens paviršių. Tačiau variklio išmetamas anglies monoksidas ir didelis deguonies sunaudojimas ribojo laivo įgulos buvimą po vandeniu. Apie 1900 m. pasirodę didelės talpos elektros baterijos ir elektros varikliai buvo tinkamesni povandeniniam aparatui, nes veikė tyliai, neteršė pavojingomis dujomis laivo. Vidaus degimo variklis dirbdavo tik laivui plaukiant paviršiuje. Kaip ginklo rūšis atsirado torpedos. Povandeninių aparatų konstruktoriai greitai įvertino šių naujovių svarbą ir jas sėkmingai panaudojo naujai kuriamuose povandeniniuose laivuose.

Iki 1906 m. Vokietija povandeninių laivų nestatė. Tam buvo dvi priežastys. Pirmoji – vokiečių admirolas Alfredas von Tirpitzas siekė kurti karo laivyną virš vandens – tokį, kokį kūrė svarbiausias varžovas D. Britanija, antroji – vokiečių karinio jūrų laivyno strategai buvo priešiški garo ar benzino kaip kuro laivams naudojimui. 1914 m. karo pradžioje Vokietija turėjo 29 kovinės parengties karo laivus, o britai – 49 kovos laivus.

Pramonei pradėjus gaminti dyzelinius variklius, juos pradėta naudoti ir kuriamuose povandeniniuose laivuose. D. Britanijoje buvo pastatyti keli laivai, kurių krova siekė 500 t, laivą varė du dyzelinio variklio sukami sraigtai. Laivai turėjo išorines balasto talpas, didelės galios elektros baterijas, kurios leisdavo laivui panirti dienos metu ir vėl iškilti virš vandens naktį, kai dyzeliniai varikliai įkraudavo baterijas. 1914 m. vokiečių karo laivynas turėjo 29 didelio nuotolio povandeninius laivus „U-boat“, parengtus Pirmojo pasaulinio karo jūrų mūšiams. 1914–1916 m. Vokietijos laivai plaukiojo D. Britanijos pakrantėmis. 1915 m. povandeninių laivų veiksmais nuskandintų ir prarastų laivų santykis buvo 23:1. Kitas modernus karo veiksnys, naudotas povandeninių laivų grėsmei atremti, buvo besikurianti aviacija. Žvalgybiniai ir patruliuojantys lėktuvai, hidroplanai stebėjo pakrantes ir įspėdavo laivus apie plaukiojančių povandeninių laivų grėsmę.

1914 m. prasidėjus intensyviam vokiečių povandeninių laivų puldinėjimui, buvo kuriami šių laivų aptikimo ir sunaikinimo būdai bei priemonės. Iki 1914 m. nebuvo prietaisų, galinčių aptikti povandeninį laivą, išskyrus atvejus, kai buvo pastebimas kyšantis iš vandens periskopas ar laivo tiltelis.

Hidrofonas – prietaisas akustinėms bangoms priimti vandenyje ir joms paversti elektriniais virpesiais – buvo sukurtas 1916 metais. Šis povandeninis mikrofonas galėjo išgirsti mašinos keliamą triukšmą ir buvo pirmuoju elektroniniu prietaisu, galinčiu aptikti visiškai panardintą povandeninį laivą. Povandeninių laivų ginkluotė buvo silpna. Torpedos galėjo būti paleidžiamos tik vienetiniais šūviais, be to, jos pasiekdavo tik labai artimus taikinius. Į mažos grimzlės ar mažus laivus torpedai buvo sunku pataikyti.

1916 m. vokiečiai sukūrė Pirmajam pasauliniam karui skirtą povandeninį laivą. Jis buvo 70 m ilgio, turėjo 19 torpedų ir svėrė apie 1 500 tonų. 1916–1918 m. Vokietija paskelbė savo priešininkams neribotą povandeninį karą. 1916 m. sąjungininkų prekybinis laivynas kas mėnesį netekdavo daugiau kaip 115 laivų. 1917 m. vokiečių didelio veikimo nuotolio U tipo povandeniniai laivai nuskandintų ir prarastų laivų santykį pakėlė iki 65:1. Visgi povandeniniams laivams tuo metu nepavyko tapti svarbiausiais kovos laivais, nes jie negalėjo lengvai sunaikinti gerai ginkluotų antvandeninių karo laivų.

1932 m. povandeninių laivų gamyboje pasižymi ir japonai. Japonija ima gaminti trijų klasių povandeninius laivus: kreiserinius, pakrančių ir smulkius. Japonai pirmieji užsiėmė povandeninių laivų, gabenančių skraidymo aparatus, kūrimu. 1943 m. vokiečių povandeniniame laive buvo įmontuotas kyšantis vamzdis, kuriuo į variklį buvo tiekiamas oras, ir tai leido plaukti negiliai panėrus ar perkrauti akumuliatorius. Vamzdį jūreiviai pavadino šnorkeliu. 1954 m. JAV nuleido į vandenį pirmąjį pasaulyje karinį atominį povandeninį laivą „Nautilus“. Laivo ilgis 98 m, svoris 3 674 t, paniręs po vandeniu jis nuplaukė 22 200 km ir pasiekė Šiaurės ašigalį. 1959–1960 m. JAV pastatytas atominis povandeninis laivas su balistinėmis raketomis „Polaris“, o 1960 m. JAV karo laivyno atominis povandeninis laivas „USS Triton“ apiplaukė pasaulį po vandeniu.

Kinijos gaminami „Jin“ povandeniniai laivai (2006 m.) yra dideli, triukšmingi, bet gali gabenti keliolika balistinių raketų su branduoliniais užtaisais. Manoma, kad Kinija siekia turėti mažiausiai aštuonis tokius laivus, kurių kiekvienas gabentų po 12 balistinių tarpžemyninių raketų. Branduolinį ginklą turinti Prancūzija strateginę atgrasymo priemonę – balistines raketas – naudoja turimuose keturiuose „Triomphant“ klasės povandeniniuose

laivuose (nuo 1996 m.). Kiekvienas povandeninis laivas gabena po 16 balistinių raketų, kurių kiekviena turi po šešias daugiau nei 100 kilotonų galios branduolines galvutes. Tad vienas laivas teoriškai gali sunaikinti 96 skirtingus taikinius. Britų branduolinio ginklo nešėjai yra „Vanguard“ klasės povandeniniai laivai (nuo 1996 m.). Laivo ilgis yra 150 m, o svoris 15,9 tūkst. tonų. Visuose laivuose yra po 16 balistinių raketų „Trident“, kurių kiekviena turi aštuonias branduolines galvutes. Bet kuri iš šių galvučių yra daug kartų galingesnė už ant Hirosimos numestą atominę bombą. Amerikietiški „Ohio“ klasės povandeniniai laivai yra 170 m ilgio ir sveria 18,7 tūkst. tonų. Laivai pasižymi tyliu veikimu, be to, keli šios klasės laivai pritaikyti leisti ne balistines, o sparnuotąsias raketas (2002–2008 m.). Rusijos naujausi „Borei“ klasės povandeniniai laivai (2013 m.) gali nusileisti į 450 m gylį ir judėti po vandeniu trisdešimties mazgų greičiu. Laivo ilgis 170 m, o svoris 24 tūkst. tonų. Jo balistinės raketos gali turėti tiek taktines, tiek ir strategines branduolines kovines galvutes. Rusijos „Typhoon“ klasės povandeninis laivas (pastatytas apie 1978 m.) yra 172 m ilgio ir sveria 48 tūkst. tonų. Tokį laivą galima apginkluoti 20 raketų su 200 kovinių galvučių.

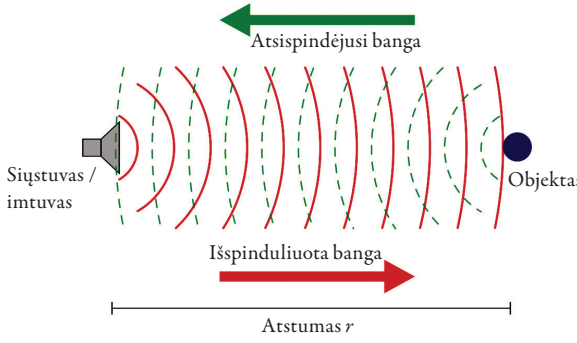
HIDROLOKATORIUS

Hidrolokatorius – laivo hidroakustinis įtaisas povandeniniams objektams rasti ir jų koordinatėms nustatyti. Skiriamos dvi hidrolokatorių rūšys – aktyvūs ir pasyvūs. Hidrolokatorius veikia paprastu principu – jis matuoja laiką, per kurį aidas grįžta į šaltinį. Aidas paverčiamas elektriniais signalais, kurie hidrolokatoriaus ekrane suformuoja kūno (nuo kurio atsispindėjo banga) vaizdą (20.7 pav.). Aido registravimo principu veikiantis hidrolokatorius buvo sukurtas dešimtmetį prieš Antrąjį pasaulinį karą, jis naudojo santykinai siaurą spindulį (nuo 15 iki 20°). Platus spindulys (dažniausiai 40–60° kampo) praverčia, kai reikia greitai nuskenuoti didesnius vandens plotus ir sužinoti bendrą informaciją apie gylį ir dugno struktūrą, tačiau tokiu atveju gaunamas ne toks tikslus ir detalus vaizdas. Siauresnis spindulys (10–20°), keliaudamas gilyn, platėja mažiau, gaunamas tikslesnis vaizdas, tačiau aprėpiamas mažesnis plotas. Dėl siauro spindulio ypatumų ir garso greičio vandenyje (914 m/s) operatorius turėjo būti labai įgudęs, ir tai apsunkino prietaiso panaudojimą.

Elektromagnetinės bangos jūros vandenyje nesklinda, todėl garso bangų naudojimas povandeninių laivų paieškai buvo vienintelis tinkamas būdas.

Nuo objekto atspindimo impulso forma ir intensyvumas priklauso nuo objekto pobūdžio ir formos. Pavyzdžiui, jei impulsas atsispindi tik nuo povandeninio laivo priekio, jis yra minimalus. Aidas nuo laivagalio yra stipresnis, nes čia dar prisideda sraigto keliamas triukšmas. Dauguma ankstyvųjų hidrolokatorių turėjo pjezoelektrinius keitiklius, kurių kristalo fizinių matmenų pokyčius sukelia atsirandanti elektros įtampa. Grįžtantys atsispindėję impulsai taip pat veikia kristalą, kuris sukuria silpną įtampą. Šis įtampos pokytis registruojamas ir, naudojantis matematinėmis formulėmis, apskaičiuojamas nuotolis iki aptikto objekto. Aktyvus hidrolokatorius, naudojamas atstumui nuo impulso siuntiklio iki dugno matuoti, vadinamas *echolotu*. Šiuolaikiniai karo laivai plačiai naudoja ir pasyvius, ir aktyvius hidrolokatorius. Jais aprūpinami ne tik laivai, bet ir orlaiviai, kiti stacionarūs objektai. Aktyvus hidrolokatorius atskleidžia operatoriaus buvimo vietą ir neleidžia tiksliai klasifikuoti objekto, todėl jis naudojamas greitiems (lėktuvams, sraigtasparniams) ir triukšmingiems (daugiausia paviršiniams laivams) objektams, bet retai – povandeniniams laivams. Antvandeniniai ar povandeniniai laivai aktyvų hidrolokatorių paprastai aktyvuoja labai trumpai arba paleidžia pertraukiamu režimu, taip siekdami sumažinti aptikimo riziką. Dėl šių priežasčių aktyvus hidrolokatorius paprastai laikomas atsarginiu pasyvaus hidrolokatoriaus variantu.

Pasyvus hidrolokatorius turi kelis privalumus. Svarbiausias iš jų – jis yra tylus. Jei aptiktas ar sekamas objektas skleidžia triukšmą, jis gali būti



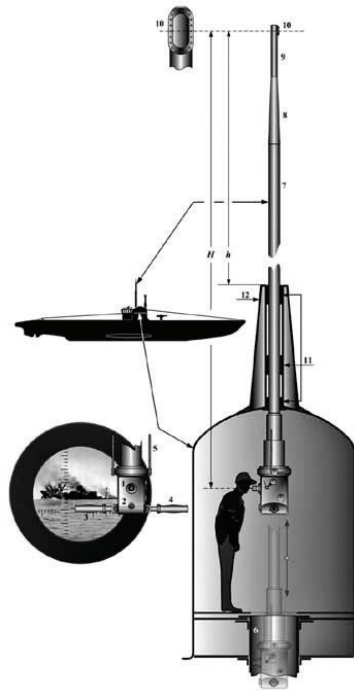
20.7 pav. Hidrolokatoriaus veikimo principas (Sonar Principle EN.svg.)

nustatomas esant didesniam nuotoliui, negu jį gali aptikti aktyvus hidrolokatorius. Kadangi bet koks motorizuotas objektas sukuria tam tikrą triukšmą, jis gali būti aptiktas atsižvelgiant į aplinkos ir objekto triukšmo lygį bei hidrolokatoriaus naudojamą technologiją. Ant povandeninio laivo priekio sumontuotas, išilgai laivo ašies orientuotas pasyvus hidrolokatorius tiria aplinką apie 270 laipsnių kampu. Abiejose laivo korpuso pusėse įmontuoti hidrolokatoriai žvalgo aplinką 160° kampu, o velkamas hidrolokatorius turi 360° apžvalgos zoną. Hidrolokatoriui nematomos zonos susidaro dėl paties laivo konstrukcijos fizinių kliūčių. Tam tikra kryptimi atsklidusį signalą galima susiaurinti ir įvertinti signalą atsiuntusį objektą. Kadangi kiekvienas variklis skleidžia tam tikrą garsų spektrą, pagal jį galima identifikuoti patį objektą. Pasyvus hidrolokatorius turi daugybę metodų garso šaltinio objektui pažinti. Pavyzdžiui, JAV laivai paprastai naudoja 60 Hz kintamosios srovės maitinimo sistemas. Jeigu laivo transformatoriai ar generatoriai sumontuoti be tinkamos vibracijų izoliacijos, tai apvijų 60 Hz virpesiai gali sklisti iš laivo į supančią terpę. Daugelio Europos šalių povandeniniuose laivuose veikia 50 Hz dažnio elektros sistemos, todėl patyręs operatorius, o dabar kompiuteris, gali lengvai identifikuoti, kokiai šaliai priklauso laivas. Pasyvios hidrolokatorių sistemos turi dideles garso duomenų bazes, tačiau galutinai garso šaltinį vis dėlto identifikuoja tik operatorius. Kompiuterinė sistema, naudodama duomenų bazes, nustato laivo klasę, greitį, panaudotą ginklo rūšį, kartais netgi laivo specialią paskirtį.

PERISKOPAS

Periskopas yra optinis vizualinio stebėjimo prietaisas aplinkai stebėti iš slaptos arba saugios padėties (20.8 pav.). Manoma, kad povandeninio laivo periskopą (apie 1902 m.) išrado amerikiečių išradėjas Simonas Lake'as. Paprastai jį sudaro vamzdis su optine sistema (veidrodžiais, prizmėmis, lęšiais), kuri atspindi šviesos spindulius, sklindančius nuo stebimo objekto, ir nukreipia juos į stebėtojo akį. Vienas kitam lygiagretūs atspindintys paviršiai vamzdžio ašies atžvilgiu yra pasukti 45°. Periskopo konstrukcija buvo nuolat tobulinama, per abu pasaulinius karus jie buvo plačiai naudojami povandeniniuose laivuose ir tankuose. Daugiau negu 50 metų periskopas buvo vienintelė vizualinė povandeninio laivo stebėjimo priemonė jam

plaukiant po vandeniu, kol atominiuose povandeniniuose laivuose buvo įdiegta povandeninė televizija. Naujuose povandeniniuose laivuose įrengti fotoniniai stiebai pakeitė iki tol naudotus periskopus. Šių stiebų viršūnėje sumontuotos didelės raiškos kameros gali suktis 360° kampu ir perduoti vaizdą tiesiai į povandeninio laivo valdymo patalpoje esančių kompiuterių monitorius.



20.8 pav. Povandeninio laivo monokuliarinis atakos periskopas (Attack periscope.png.)

POVANDENINIŲ LAIVŲ KATASTROFOS

1963 m. JAV karinis jūrų laivynas patyrė didžiausią povandeninio laivo katastrofą – bandydamas panerti į 400 m gylį nuskendo branduolinis povandeninis laivas „USS Thresher“ su 129 įgulos nariais. Nustatyta, kad nelaimė įvyko sugedus vamzdyno sistemoms. Spėjama, kad po avarijos į povandeninio laivo vidų pradėjo purkšti vanduo iš branduolinio reaktoriaus skyriaus. Įgula nesugebėjo greitai pašalinti gedimo, buvo sugadintos svarbios valdymo sistemos ir laivas nugrimzdo į 2 560 m gylį.

Sovietų Sąjungos branduolinis povandeninis laivas „Komsomolec“ nuskendo 1989 m. balandžio 7 d. dėl laive kilusio gaisro. Iš 42 žuvusių įgulos narių tik 4 sudegė, 23 ekipažo nariai suledėjo Norvegijos jūroje nesulaukę pagalbos. Laive buvo įrengtas vienas atominis reaktorius. Laivui esant 160 m gylyje, buvo paskelbtas aliarmas: pagalbinių mechanizmų skyriuje kilo gaisras. Trūko gelbėjimo liemenių ir plaustų. Iš lėktuvo išmestos gelbėjimo valtys buvo nublokštos nuo laivo „Komsomolec“, todėl skęstantieji

negalėjo jomis pasinaudoti. Po šešių valandų laivas nuskendo. Laivas ir branduolinis reaktorius iki šiol guli Barenco jūros dugne, maždaug 1,6 km gylyje.

2000 m. rugpjūčio 12 d. neskęstančiu laikytas Rusijos povandeninis laivas „Kursk“ nuskendo po dviejų kelių minučių intervalu įvykusių milžiniškų sprogimų. Rusijos raketinis branduolinis povandeninis laivas „Kursk“ pradėtas statyti 1992 m., o 1994-aisiais pradėtas eksploatuoti. Laivo ilgis 154 m, plotis 18,2 m, maksimalus panirimo gylis 500 m, varomoji jėga – 2 garo turbinos ir 2 septynlapiai sraigtai. Laivo išorinis korpusas buvo iš 8,5 mm storio chromnikelinio nerūdijančio plieno, pasižyminčio labai silpnu magnetiniu pėdsaku, todėl tokį laivą magnetiniams jutikliams sunku aptikti pagal aplinkos magnetinės anomalijos nuokrypius. „Kursk“ laive buvo dislokuotos 24 sparnuotosios raketos, 40 kartų galingesnės už atominę bombą, numestą ant Hirosimos, ir 24 torpedos.

2000 m. rugpjūčio 12 d., rengiantis mokomiesiems šaudymams, laive nugriaudėjo sprogimas. Pirmas sprogimas laive įvyko dėl vienos iš torpedų kuro komponento (vandenilio peroksido) nuotėkio. Po dviejų minučių kilo gaisras. Antras sprogimas įvyko dėl nesibaigiančio gaisro 1-ame skyriuje, kuris pasiekė lentynose sukrautas torpedas, ir 7 torpedos detonavo. Torpedų kuro oksidatoriumi buvo koncentruotas vandenilio peroksidas. Dėl prarūdijusios ar torpedos kėlimo metu įtrūkusios torpedos korpuso virintinės siūlės vandenilio peroksidas ištekėjo iš torpedos bako. Pasiekęs torpedos paleidimo šachtą, vandenilio peroksidas susimaišė su tepalais ir metalais. Reakcijų metu susidariusi garų ir deguonies atmosfera pradėjo spausti kuro (žibalo) baką, o šiam prairus įvyko pirmas sprogimas. Remiantis techninės priežiūros įrašais nustatyta, kad 1990 m. pagamintų torpedų virintinės siūlės niekada nebuvo tikrintos. Manyta, kad toks tikrinimas yra perteklinis, nes torpedos neturėjo kovinių galvučių. Koncentruotam vandenilio peroksidui (1,5 t) susijungus su žibalu (500 kg), sprogimas suardė išorinį torpedinio aparato vamzdį ir vamzdžio vidines dureles. Praėjus dviem minutėms ir penkiolikai sekundžių po pirmojo sprogimo, povandeninį laivą supurtė antras, daug stipresnis, sprogimas – dėl pirmojo sprogimo ir padidėjusios temperatūros detonavo stelažuose buvusios torpedos. Antrasis sprogimas prilygo 2–3 tonų trinitrotolueno (TNT), arba 5–7 torpedos



20.9 pav. Sprogimo sunaikintas povandeninis laivas „Kursk“ (Kursk wreck.jpg.)

kovinių galvučių, sprogimui. Antrasis sprogimas laivo korpuse išplėšė 2 m^2 skylę (20.9 pav.), sunaikino 3 ir 4 skyrių apsaugines pertvaras ir vanduo, plūsdamas 90 t/min greičiu, juos užtvindė. Penktame skyriuje buvo du laivo branduoliniai reaktoriai. Šio skyriaus pertvaros atlaikė sprogimą, todėl abu reaktoriai buvo automatiškai uždaryti – taip buvo užkirstas kelias reaktorių šerdies išsilydymui ir aplinkos užteršimui. Povandeninis laivas nuskendo santykinai sekliuose vandenyse, 108 m gylyje, tik 135 km nuo Severomorsko uosto. Nuskendę jūreiviai ir laivo nuolaužos buvo iškelti 2001 metais.

KELIŲ TRANSPORTO TUNELIAI

Tunelis – inžinerinis statinys, įrengiamas po žeme, pastatais, vandens telkiniais, skirtas įveikti kelio tiesimą užkirtusią kliūtį ar sutrumpinti kelią. Tuneliai naudojami transporto arterijoms – gatvėms, plentams, automagistralėmis, geležinkeliams, metro, pėstiesiems, laukiniams gyvūnams.

Tunelio statybos būdas priklauso nuo grunto sąlygų, gruntinio vandens lygio, tunelio skersmens ilgio ir gylio, kasimo logistikos, tunelio formos ir naudojimo rizikos. Išskiriami trys pagrindiniai tunelio statybos būdai:

• atviras būdas – kai iškasama sekli tranšėja, statomos sienos ir perdengiamos tvirta danga;

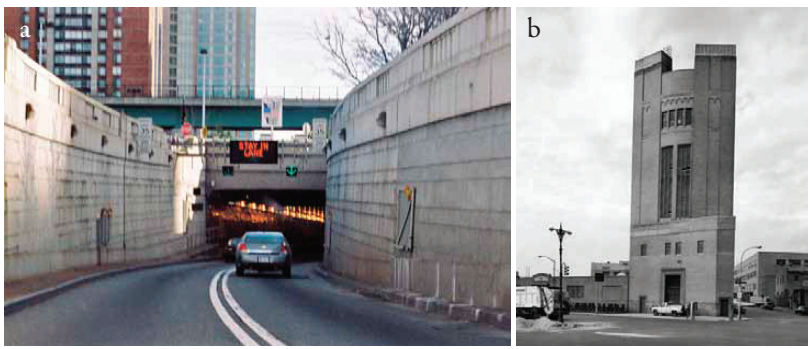
• gręžiamas požeminis tunelis, dažniausia pasagos skerspjūvio formos;

• panardinamas vamzdinis tunelis – didelio skersmens vamzdis paklojamas ant vandens telkinio dugno ar įkasamas šiek tiek giliau dugno.

Atviros statybos tuneliai dažnai naudojami seklioms metro linijoms, perėjoms po keliais. Kasant gilius tunelius, dažnai naudojami tunelių skydai ar gręžimo mašinos. Bet koks tunelio projektas pradedamas nuo išsamaus grunto savybių ir kasimo sąlygų tyrimo. Tyrimų rezultatai padeda pasirinkti tikslingesnę kasimo įrangą, kasimo ir tranšėjos ar tunelio sienų tvirtinimo būdą, mažina susidūrimo su nenumatytomis grunto sąlygomis riziką. Vienas seniausių tunelio statybos pavyzdžių yra povandeninis automobilių tunelis tarp Niujorko ir Naujojo Džersio. Praeito šimtmečio pradžioje Niujorkas traukė pasaulio dėmesį savo kuriama transporto sistema. Sparčiai didėjant kelių transporto priemonių skaičiui ir eismo intensyvumui, keltai per Hadsono upę iš Niujorko į Naująjį Džersį kasmet perkeldavo per 30 mln. transporto priemonių. Norint sujungti Manhatano salą su kitomis teritorijomis, reikėjo naujų didelių tiltų. 1905 m. Alfredas Nobelis po Hadsono upe nutiesė du geležinkelio tunelius – kiekvienas tunelis buvo per 7 m skersmens ir 1 600 m ilgio. 1909 m. po Hadsono upe buvo iškasti dar keturi 1 200 m ilgio geležinkelio tuneliai. Dėl skysto purvo ir nuosėdų inžinerijos sprendimai tiesiant tunelius po Hadsono upe buvo labai sudėtingi. Šie tuneliai buvo skirti geležinkeliui, tačiau plėtėsi ir automobilių transportas. Pastatyti tiltą per upę būtų buvę pigiau ir lengviau, tačiau pagal laivybos Hadsono upe reikalavimus tarp tilto ir vandens paviršiaus turėjo būti 60 metrų. Tokio aukšto tilto statyba iš Manhatano salos pusės buvo negalima, ir tilto idėjos atsisakyta. 1913 m. buvo nuspręsta tiesti tunelį. Du automobiliniai tuneliai pagal Cliffordo M. Hollando projektą buvo pradėti statyti 1920 metais. Svarbiausia tunelio konstrukcijos dalis buvo dviejų sienelių 9 m skersmens ir 2 819 m ilgio vamzdis. 1 670 metrų tunelio buvo po vandeniu (20.10 pav.). Tarp tunelio vamzdžių buvo apie 4,5 metro atstumas. Kiekviename vamzdyje buvo dvi vienos krypties juostos automobiliams

ir šaligatvis pėstiesiems (20.10 pav.). Tunelio ventiliacijos sistema įrengta taip, kad būtų galima valdyti oro srautą visame tunelyje ir palaikyti jame saugų anglies monoksido lygį. Projektuotojai sukūrė dviejų vamzdžių ventiliavimo sistemą: vienu vamzdžiu švarus oras patenka į tunelį, kitu užterštas oras iš jo išsiurbiamas. Keturiuose ventiliacijos pastatuose buvo pastatyti 42 orą įtraukiantys ir 42 išpučiantys ventiliatoriai. Šią sistemą vėliau perėmė automobilių tunelių statytojai visame pasaulyje. Iš 84 ventiliatorių nuolat veikia tik 56, kiti 28 ventiliatoriai yra rezervuoti ekstremalioms situacijoms. Tunelį gręžė du hidrauliškai valdomi skydai. Ketaus skydai svėrė apie 400 t, buvo 9 m skersmens, 4,8 m ilgio ir turėjo 6 000 t stūmimo galią. Per darbo pamainą skydas galėjo pasislinkti apie 12 metrų. Tunelio statyba prasidėjo 1920 m. ir tęsėsi daugiau negu septynerius metus. Šiandien Holando tuneliu tarp Naujojo Džersio ir Žemutinio Manhatano per dieną pravažiuoja apie 100 000 automobilių.

2016 m. buvo užbaigtas ilgiausias pasaulyje (57 km) geležinkelio tunelis. Tunelio po Alpėmis idėja kilo dar 1947 m., tačiau statyba buvo pradėta tik 1964 metais. Gręžimo mašina, naudota Gotardo tunelio statybai, yra judantis pusės kilometro ilgio įrenginys, kuriame kruopščiai susinchronizuoti visi procesai, reikalingi tuneliui kasti kalnuose. Tunelio gręžimo mašina – tai sudėtingas įrenginys, kasantis apskrito skerspjūvio tunelius įvairiuose dirvožemiuose ar uolienose. Mašina gali skverbtis pro uolienas, smėlį, žvirgždą.

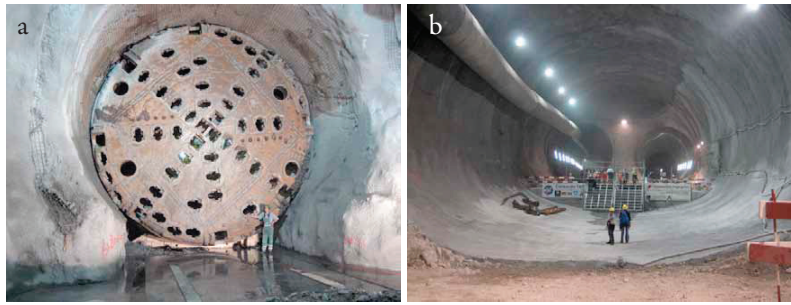


20.10 pav. Holando automobilių tunelis (a – Entrance to Holland Tunnel in New Jersey. JPG.) ir ventiliacijos bokštas (b – New York Land Ventilation Building south side)

Ji ne tik rausia uolienas, bet ir transportuoja jas atgal tuneliu, kloja betono blokus, sudarančius vidinę tunelio dangą. Šiuolaikinės gręžimo mašinos gręžia 1–16 m skersmens tunelius. Kai kurių tipų gręžimo mašinos turi bentonito suspensijos tiekimo ir grunto slėgio pusiausvyros palaikymo įrenginius (bentonitas yra itin smulkiagrūdis molis, pasižymintis didele absorbcija, – veikiamas drėgmės gali padidėti iki 15 kartų). Sukuriamas priešpriešinis slėgis suspaudžia gruntą prieš gręžimo galvutę ir subalansuoja iš išorės pritekančio vandens slėgį. Operatoriaus darbo skyriuje palaikomas normalus oro slėgis ir temperatūra. Esant reikalui (pjoviklių keitimui ar remontui), operatorius gali pasiekti bet kurias sukamo skydo vietas ir atlikti reikalingus darbus. Statant Gotardo tunelį, gręžimo įrenginys išgręžė apie 9 m skersmens tunelį (20.11, 20.12 pav.). Pati didžiausia kietų uolienų gręžimo mašina pasaulyje buvo Vokietijoje pagamintas įrenginys, galintis išgręžti 15,62 m skersmens tunelį. Įrenginio ilgis 130 m, svoris 4 500 tonų.



20.11 pav. Tunelio gręžimo mašina (Tunnel Boring Machine (Yucca Mt).jpg.)



20.12 pav. Pagrindinis Gotardo geležinkelio tunelis Šveicarijoje: a – gręžimo mašina prasilaužia pro uolienas (TBM S-210 Alptransit Faido East.jpgAuthor Cooper.ch.), b – tunelio ir daugiafunkcės stoties jungtis (gotthard-basistunnel02-wikipedia-hannes-ortlieb.jpg.)

2007 m. atidarytas 18 km ilgio Kinijos Zhongnanshano tunelis yra antras pagal ilgį magistralinis tunelis pasaulyje ir ilgiausias kelių tunelis Azijoje. Didžiausias tunelio atstumas nuo paviršiaus yra 1640 metrų. Statinį sudaro du tuneliai ir ventiliacinės šachtos. Kiekvieno tunelio aukštis 6 m, plotis 10,92 m, atstumas tarp tunelių – 30 metrų.

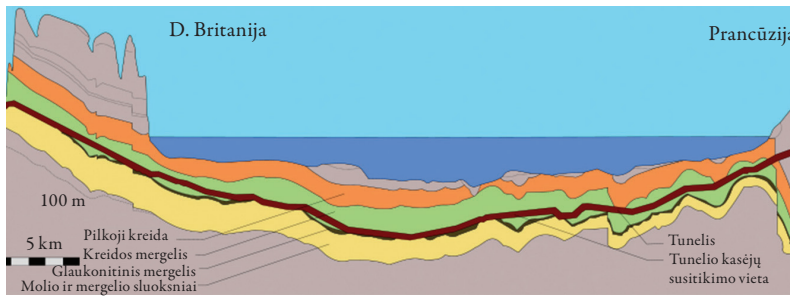
EUROTUNELIS

1994 m. gegužės 6 d. atidarytas Eurotunelis, iškastas po Lamanšo sąsiauriu. Šis geležinkelio tunelis tarp Kalė miesto Šiaurės Prancūzijoje ir Folkestono Jungtinėje Karalystėje sujungė žemyninę Europą su Britų salomis. Tunelio ilgis apie 50,5 km, iš jų 37,9 km yra po vandeniu. Tunelio kasimo darbams buvo suprojektuota ir pagaminta 11 specialių kasimo mašinų, veikiančių besisukančio cilindro frezavimo principu. Mašinos veikimo metu sienos buvo tvirtinamos specialiais betoniniais segmentais, iš kurių buvo formuojamas išorinis tunelio apvalkalas. Vienu metu buvo kasama iš dviejų sąsiaurio pusių. Tam, kad iš abiejų pusių kasamas tunelis susijungtų tiksliai, buvo naudojama lazerinė pozicionavimo sistema – abi pusės susitiko numatytame taške, apie 40 m žemiau sąsiaurio dugno. Nukrypimas nuo susitikimo taško pagal horizontalę buvo 35,8 cm, o pagal vertikalę – 5,8 cm. Didžiosios Britanijos tunelio gręžimo mašina iškasė 22 km, o Prancūzijos – 16 km tunelio. Didžiausias tunelio gylis buvo 75 m nuo jūros paviršiaus. Tunelio kasimo metu buvo iškasta apie 80 mln. tonų grunto. Prancūzai jį supylė į sąsiaurį, o anglai sukūrė dirbtinį 360 000 m^2 ploto Šekspyro vardo iškyšulį, kuriame įrengė parką. Tunelio statybai prireikė 7 metų.

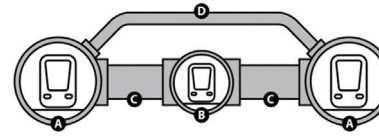
Idėja sujungti žemyninę Europą su Britanija nebuvo nauja. XIX a. pradžioje, valdant Napoleonui Bonapartui, ją pasiūlė prancūzų inžinierius Albertas Mathieu-Favieras. Tuneliu turėjo važinėti arklių traukiami ekipažai. Numatyta jį apšviesti aliejaus lempomis, tam tikru atstumu įrengti kaminus ventiliacijai, kurie turėjo išlįsti iš tunelio dirbtinai supiltose salose. 1875 m. anglai pasiūlė nutiesti metalinio cilindro formos tunelį Lamanšo dugnu, kuriuo judėtų traukiniai. Judantis traukinys iš vienos pusės į tunelį įsiurbtų orą, o iš kitos pusės jį išstumtų, taip sukurdamas savaiminį tunelio ventiliavimą. 1876 m. pagal Prancūzijos ir Anglijos susitarimą prancūzai pradėjo kasti tunelį netoli Sangat miestelio. 1883 m. darbai buvo nutraukti, nes

anglai išsigando, jog tuneliu bus galima lengvai užpulti šalį. Tuo metu jau buvo iškasta 2 026 m tunelio Anglijos pusėje ir 1 829 m Prancūzijos pusėje. 1922 m. darbai buvo atnaujinti, tačiau vėl sustabdyti dėl politinių motyvų. Tunelio statybos idėja prisiminta po Antrojo pasaulinio karo. 1957 m. buvo suformuota tyrėjų grupė, kuri 1960 m. rekomendavo iškasti tunelį su dviem pagrindinėmis šakomis ir viena tarnybine. 1973 m. pradėti tunelio kasybos darbai, tačiau po dvejų metų jie buvo nutraukti iškasus tik 280 metrų, nes D. Britanijos vyriausybė buvo nesuinteresuota finansuoti šį projektą.

Bet kokiai sėkmingai povandeninio tunelio statybai buvo labai svarbu suprasti Lamanšo geologiją. Sąsiauris formavosi apatinės kreidos periodo pabaigoje, maždaug prieš 66–100 mln. metų, kai ši vieta buvo priešistorinės jūros dugne. Per kainozojaus erą kreidos nuosėdos buvo iškeltos. Pasibaigus paskutiniam ledynmečiui, ėmė kilti jūros lygis, suformuodamas Lamanšo sąsiaurį. Iš abiejų sąsiaurio pusių kyšo kreidos uolos. Sąsiaurio dugne yra 4 geologiniai sluoksniai: per 90–100 mln. metų susidariusios jūrinės nuosėdos, smėlio sluoksnis, glaukonitinis mergelis ir klintmolis. Projektuojant darbus buvo numatyta tunelį kloti lengvesniame geologiniame kreidos sluoksnyje. Tinkamiausias tunelio kasimui buvo 25–30 m storio kreidos mergelio sluoksnis, susidaręs apatiniame kreidos sluoksnio trečdalyje. Kreidoje yra 30–40 % molio, todėl sluoksnis nepraleidžia gruntinio vandens, palyginti lengvai kasamas ir turi pakankamą, kasimo metu reikalingą, mechaninį stiprį. Didžioji išgręžta tunelio dalis yra kreidos mergelio sluoksnyje (20.13 pav.).



20.13 pav. Tunelio trasos geologinis profilis (Channel Tunnel geological profile 1.svg.)

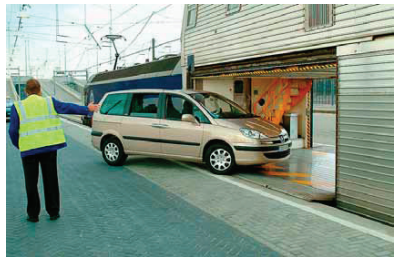


20.14 pav. Tunelio pjūvis: A – pagrindiniai tuneliai, B – aptarnavimo tunelis, C – avariniai įėjimai, D – ventiliacinė sistema (Eurotunnel schema (empty service).svg.)

Tunelio tarp Anglijos ir Prancūzijos kasimas ir įrengimas buvo sudėtingas inžinerijos iššūkis. Dėl didelio vandens slėgio ir silpno dugno grunto povandeniniams tuneliams visuomet gresia vandens įsiveržimas. Projekte buvo numatyta pastatyti du 50 km ilgio, 7,6 m skersmens 30 m vienas nuo kito nutolusius geležinkelio tunelius. Tarp jų turėjo būti 4,8 m skersmens aptarnavimui skirtas tunelis. Šis tunelis su pagrindiniais tuneliais turėjo būti sujungtas 3,3 m skersmens kryžminių perėjimų tuneliais, nutolusiais vienas nuo kito 375 metrus. Siekiant išlyginti važiuojančių traukinių sukeltą oro slėgį, pagrindiniai tuneliai sujungti 2,0 m skersmens vamzdžiais, įrengtais 250 m atstumu vienas nuo kito (20.14 pav.).

Visos tunelio elektros energijos sąnaudos vienodai padalijamos D. Britanijai ir Prancūzijai. Didžiausias greitis tunelyje siekia apie 350 km/h, tačiau greitaeigių traukinių greitis tunelyje sumažinamas iki 160 km/h. Dėl didelio greičio įkaitusius bėgius vėsina speciali šaldymo sistema. Keleivinis traukinys tunelį pravažiuoja per 20 min., o krovininis – per 35 min. Tuneliu kursuoja 4 tipų traukiniai: greitasis keleivinis, greitasis krovininis-keleivinis, gabenantis automobilius, autobusus, sunkvežimius, krovininis atviro tipo traukinys, skirtas sunkvežimiams su priekabomis pervežti (automobilių vairuotojai ir keleiviai pervežami specialiame keleiviniame vagone), ir krovininis, skirtas tik kroviniams vežti (20.15 pav.). Įdomu tai, kad transporto priemonė traukinyje pastatoma apytikriai per 8 min., o vairuotojas ir keleiviai lieka savo transporto priemonėje visos kelionės metu. Vienas toks traukinys gali gabenti 200 lengvųjų automobilių. Krovininiai automobiliai bei autobusai pritvirtinami ir vežami atviruose vagonuose. Tokį sąstatą sudaro apie trisdešimt platformų.

Eismas tuneliu yra stebimas kompiuteriu. Greitieji traukiniai išskiria daug šilumos, todėl oro temperatūra tunelyje pakyla iki 50 °C. Orą aušina 480 km ilgio, 61 cm skersmens vamzdynas, kuriuo tiekiamas iki 3,3 °C atšaldytas vanduo.



20.15 pav. Automobilių pakrovimas į traukinio platformą (Chargement voiture Eurotunnel.jpg.)

1996 m. dėl susikaupusio ant traukinių sniego ir ledo tirpsmo Lamanšo tunelyje sugedo traukinių elektros įranga ir beveik 1 000 keleivių užstrigo traukiniuose. 2007 m. dėl elektros sistemos gedimų keleiviai tunelyje išbuvo šešias valandas. 2009 m. siaučiant pūgai penki greitieji traukiniai negalėjo įvažiuoti į tunelį, nepatogumų patyrė per 2 000 keleivių. Ir šį kartą ant traukinių susikaupęs sniegas, tirpdamas šiltame tunelyje, sukėlė elektros sistemos gedimus. Tai buvo pirmas kartas, kai greitasis traukinys buvo evakuotas tunelio viduje.

2013 m. Londone pradėtas kasti tunelis „Crossrail“. Naujasis maršrutas tęsis nuo Meidenhedo ir Hitrou vakaruose iki Šenfildo ir Abivudo rytuose. Jį sudarys 42 km ilgio trasos.

Lietuva yra Rytų Europos lygumos vakariniame pakraštyje. Joje nėra kalnagūbrių, kalvotos aukštumos kaitaliojasi su lėkštomis lygumomis, todėl tiesiant kelius ar geležinkelius kasti tunelius nebuvo poreikio. Kauno geležinkelio tunelis – vienas iš dviejų geležinkelio tunelių Lietuvoje, vienintelis veikiantis geležinkelio tunelis Baltijos šalyse. Pasagos skerspjūvio formos tunelis iškastas po 30 m aukščio kalva. Jo aukštis – 6,6 m, plotis – 8,8 m, ilgis – 1 285 m.

1852 m. carinė Rusija pradėjo tiesti Peterburgo–Varšuvos geležinkelio liniją su atšaka į tuometinę Prūsiją. Tunelio statyba prie Kauno pradėta 1859 metais. Buvo kasama iš dviejų pusių, darbui paspartinti kas 150 m įrengtos 7 šachtos. Kapliais ir kastuvais iškastas gruntas, gruntinis ir lietaus vanduo buvo iškeliami rankomis sukamais keltuvais. Prie šachtų pastatytos garo mašinos pagreitino tunelio statybą. Vietomis buvo atliekami sprogdinimo darbai. Po žemkasių ir sprogdintojų dirbę mūrininkai mūrijo požeminio koridoriaus skliautus. Viršutinė tunelio dalis yra iš plytų (mūras), o šoninės sienos sumūrytos iš granito luitų. Statybos baigtos 1861 m., atiduotas eksploatacijai 1862 m. (22. 16 pav.).



20.16 pav. Kauno geležinkelio tunelio statyba (Kaunas Railway Tunnel.jpg.)

1944 m. vidurvasarį atsitraukdama vokiečių kariuomenė tunelyje sukėlė kelis sprogimus ir jį apgriovė, tačiau jau tų pačių metų rudenį sovietinė kariuomenė tunelį atstatė. 1962 m. tunelyje įrengta vandens nuleidimo sistema, 1964 m. vietoj dviejų paliktas vienas kelias, 1975 m. tunelio geležinkelis buvo elektrifikuotas. 2007–2009 m. tunelis rekonstruotas: sutvirtintos konstrukcijos, atnaujinta vandens nuleidimo sistema, įrengtos elektrifikavimo ir signalizacijos sistemos, nuolatinis tunelio apšvietimas, priešgaisrinė įranga, telekomunikacijos, modernizuota kontaktinių tinklų sistema, atkurta istorinė išorė. Po rekonstrukcijos tunelyje traukiniai galėjo judėti 83 km/h greičiu. 2019 m. tunelyje įrengta ir europinė (1 435 mm pločio), ir plačioji (1 520 mm pločio) geležinkelio vėžė, todėl skirtingų vėžių traukiniai gali judėti ta pačia geležinkelio atkarpa. Kauno geležinkelio tunelis vienintelis Europoje turi tokią sistemą.

Panerių geležinkelio tunelis (427 m ilgio, 6,4 m aukščio ir 8 m pločio) pradėtas statyti 1859 m. tiesiant geležinkelio Sankt Peterburgas–Varšuva atkarpą Vilnius–Lentvaris. Kelią link Lentvario pastojo aukštos kalvos, tad buvo nutarta po kalvomis iškasti tunelį. Šoninės tunelio sienos ir skliautai buvo išmūryti plytomis, darbai baigti 1861 metais (20.17 pav.). Šios statybos svarbą liudija faktas, kad paskutinę, simbolinę, plytą per tunelio atidarymo



20.17 pav. Geležinkelio tunelis Paneriuose, Vilnius (Paneriai tunnel.jpg.)

iškilmes 1861 m. spalio 3 d. į sieną įmūrijo pats Rusijos imperatorius. Tunelis baigtas statyti 1862 metais. Traukinių greitis buvo nedidelis – tik 38 km/h. Antrojo pasaulinio karo metu Panerių tunelis nenukentėjo. Traukiniai juo važiavo ir po karo, tačiau ilgainiui plytų skliautai ėmė smarkiai irti. Po beveik šimtą metų trukusios eksploatacijos 1960 m. tunelis buvo uždarytas.

Šie tuneliai buvo pirmieji ne tik Lietuvoje ir Rusijos imperijoje, bet ir vieni pirmųjų Europoje, pradėję veikti anksčiau nei pirmoji pasaulyje požeminė Londono metropoliteno linija, atidaryta 1863 metais.

AUTOMOBILIS

1769 m. pasirodžiusi pirmoji savaeigė kelių transporto priemonė buvo karinis garo traktorius, kurį išrado prancūzų inžinierius ir mechanikas Nicolas Josephas Cugnot. Šią transporto priemonę Prancūzijos kariuomenė naudojo artilerijos pabūklams pervežti. Automobilis turėjo tik tris ratus ir judėjo 4,5 km/h greičiu. Kas 10–15 min. automobilis turėjo sustoti, kad pasigamintų reikalingas garo kiekis. Jau 1770 m. N. Cugnot sukūrė garu varomą triratį, kuriame galėjo važiuoti keturi keleiviai (20.18 pav.). Pirmąjį automobilį galima apibūdinti kaip mažos galios variklio varomą nedidelį vagoną su pneumatinėmis padangomis, kuris buvo sukurtas pagal dviračių mechanikos



20.18 pav. Pirmoji mechaninio transporto avarija – N. Cugnot garo automobilis susidūrė su pastato siena (Fardier a vapeur.gif.)

principus. Šiandien automobilis apibrėžiamas kaip vidaus degimo ar elektros variklio varoma nebėginė mašina su keturiais ar daugiau ratų, kuri naudojama kroviniams bei keleiviams vežti.

1886 m. Karlas Benzas pagamino pirmąjį komerciniu požiūriu sėkmingą automobilį. Vėliau, 1891 m., variklis buvo perkeltas į važiuoklės priekį, o jo alkūninis velenas buvo lygiagretus ilgajai automobilio ašiai. Tai leido automobiliuose sumontuoti didesnius ir ilgesnius variklius. Gottliebas Daimleris ir Karlas Benzas sukūrė benzininį automobilio variklį ir taip pradėjo šiuolaikinių automobilių amžių. K. Benzo automobilis buvo triratis, su 0,55 kW varikliu, G. Daimlerio – dviejų ratų šiuolaikinio motociklo prototipas. 1886 m. G. Daimleris savo sukonstruotą vidaus degimo variklį pritaikė keturratei karietai. Pirmieji automobiliai atrodė keistai: dideli siauri ratai, virbalų storio stipinai, vairas – plieninis iš grindų styrantis strypas su rankena, variklis įtaisytas po vairuotojo sėdyne. Lietuvoje pirmasis automobilis užregistruotas 1896 metais.

Pirmąjį V formos variklį 1888 m. pristatė G. Daimleris ir Wilhelmas Maybachas – 1 050 cm^3 darbinio tūrio variklis išvystė 4 AG galią. 1893 m. W. Maybachas variklį papildė karbiuratoriumi su plūdine kamera. Pirmasis serijinės gamybos automobilis „Oldsmobile“ (1901–1906) buvo labiau panašus į bearklę karietą negu automobilį. 1901 m. grąžulą pakeitė kairėje pusėje įtaisytas vairaratis. Netrukus automobilyje atsirado ir kitų naujovių – variklio aušinimas vandeniu, priverstinis variklio mazgų tepimas, magnetinis uždegimas, amortizatoriai, bamperiai, priekiniai acetileno žibintai, automobilio stogas.

1885 m. pagamintas „Daimler-Maybach“ variklis buvo nedidelis, lengvas, turėjo karbiuratorių su benzino įpurškimu, jo cilindrai buvo išdėstyti

vertikaliai. 1886 m. G. Daimleris į karietą įstatė savo pagamintą variklį ir sukūrė pirmąjį pasaulyje keturių ratų automobilį. Jis laikomas pirmuoju išradėju, sukūrusiu naudojimui tinkamą vidaus degimo variklį.

„Ford T“ modelis buvo vienas perkamiausių automobilių pasaulyje – 1908–1927 m. parduota 15 mln. „Ford T“ automobilių. Tai nebuvo pirmas sukurtas automobilis, tai buvo pirmasis prieinamas pirkėjui automobilis. Modelio sėkmę lėmė automobilio paprastumas ir konvejerinis gamybos būdas, leidęs išvystyti masinę gamybą. Automobiliai neteko prabangos aureolės – jie tapo kasdieniniu reikalingu daiktu. Automobilyje buvo planetinė pavarų dėžė ir pedalų sistema. Jis turėjo dvi pavaras, galėjo važiuoti atbulas. Varantieji ratai buvo galiniai, jiems buvo naudojami tik mediniai ratlankiai. 1927 m. Lietuvoje 57 % automobilių buvo „Ford“ markės (20.19 pav.).



20.19 pav. 1908–1927 m. gamintas „Ford Model T“ automobilis, 1915 m. (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

1930 m. automobilių lenktynių trasose Prancūzijos „Bugatti“, Vokietijos „Auto Union“ ir „Mercedes Benz“ tapo legendomis. 1934 m. Ferdinandas Porsche sukūrė nedidelį



20.20 pav. Automobiliai: a – „Cadillac La Salle“ (1928 m., JAV), b – „Opel“ (1934–1937 m., Vokietija) (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

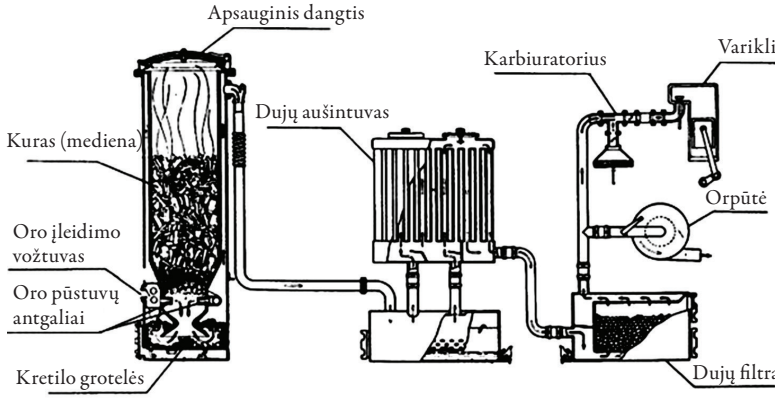
„žmonių automobilį“ („Volkswagen“). 725 kg sveriantis automobilis užpakalinėje dalyje turėjo oru aušinamą 36 AG variklį. Buvo pagaminta per 20 mln. šių automobilių ir viršytas ankstesnis „Ford“ automobilių pasiektas rekordas.

1925 m. JAV Walteris P. Chrysleris įkūrė „Chrysler“ kompaniją. Tais pačiais metais gamintojai pristatė automobilį su keturių ratų hidrauliniais stabdžiais, o 1934 m. sukūrė pirmuosius amerikietiškus aerodinaminius automobilius, kurie buvo gaminami masinės gamybos būdu. Toks automobilis turėjo lengvai judėti oro sraute ir stabiliai sukibti su kelio paviršiumi. Abu reikalavimus padėjo pasiekti tvirtas automobilio rėmas ir didelis svoris. Jaučiantis patogiai buvo galima važiuoti 130 km/h greičiu. Tarp daugybės kitų inovacijų buvo ir guminės variklio atramos, mažinančios vibraciją, ratų konstrukcija, neleidžianti oro netekusiai padangai nusimauti nuo disko.

1914 m. į „Cadillac“ automobilius pradėta montuoti modernius V-8 variklius, tačiau praktiški ir nebrangūs V-8 varikliai „Ford“ markės automobiliuose buvo naudojami tik nuo 1932 metų. Automobilių gamintojas „Chevrolet“ savo istoriją pradėjo dar 1911 m., kai minėtą kompaniją įkūrė Louis Chevrolet ir Williamas C. Durant'as. „Chevrolet“ 1919–1923 m. eksperimentavo su oru aušinamu varikliu, ir tai buvo paskutinis ženklesnis amerikiečių gamintojų bandymas pirmauti kuriant automobilių variklius.

Europos automobilių kūrėjai ir gamintojai orientavosi į mažiau degalų naudojančių automobilių kūrimą, o Amerikos automobilių gamintojai degalų taupymui skyrė mažai dėmesio. Didelis masinės gamybos mastas suteikė pranašumo didelėms įmonėms. Nuo 1970 m. Europos ir Japonijos automobilių gamintojai gamina technologiškai pažangius, saugius, mažai degalų naudojančius, nebrangius automobilius.

Antrojo pasaulinio karo metu labai trūko benzino, todėl jo naudojimas buvo apribotas. Didžiojoje Britanijoje, JAV ir Vokietijoje buvo sukurti įrenginiai, galėję medieną ir akmens anglį paversti automobilių transportui tinkamais degalais. Medienos dujų generatorius medieną arba medžio anglį paverčia medienos dujomis, kurias sudaro azotas, anglies monoksidas, vandenilis, metanas ir kitos dujos; po aušinimo ir filtravimo jos gali būti naudojamos vidaus degimo varikliuose arba kitiems tikslams (20.21 pav.).



20.21 pav. Medienos dujų generatoriaus schema (pinterest.com/pin/66709638209071343)

Šiuolaikinėmis technologijomis iš 5 kg medienos galima pagaminti 1 litrą degalų. Medienos dujų generatoriai dažniausiai naudoja medieną, tačiau gali naudoti ir medžio anglis. Iš medžio anglių pagamintos dujos yra švaresnės, jose mažiau lakiųjų frakcijų, be to, šiame kure, skirtingai nuo medienos, nėra vandens.

Medienos dujų generatoriai kai kuriais aspektais yra pranašesni už naftos produktus: mediena, naudojama vidaus degimo variklių kurui, yra atsinaujinantys ištekliai; uždaras anglies ciklas kuro gamyboje mažiau veikia visuotinį atšilimą; kuro degimo produktai yra švaresni už varikliuose deginamus naftos produktus (20.22 pav.). Medienos dujų generatorių trūkumai: dideli dujofikavimo įrenginio matmenys; lėtas variklio paleidimas (laikas, per kurį pradinė šalta mediena įkais iki reikalingos temperatūros); negalima staiga sustabdyti dujofikacijos proceso, nes likutinė šiluma dar kurį laiką gamina dujas; dujinimo metu pagamintose dujose yra daug anglies monoksido dujų, nuo kurių galimi mirtini apsinuodijimai; dėl drėgnos medienos (dažniausiai 15–20 %), taip pat dujų aušinimo ir filtravimo kondensuojasi skystis, kuriam būtinas specialus valymas. Šiam skysčiui apdoroti reikia sunaudoti apie 25–35 % sukurtos medienos dujų energijos.

Visuose automobiliuose palaipsniui buvo įdiegtos radialinės padangos, nepriklausomos pakabos, diskiniai stabdžiai, degalų įpurškimas, priekiniai varantieji ratai, bekamerės padangos, torsioninė pakaba. Torsioninė pakaba turi daug privalumų – ji pigesnė, lengvesnė, kiekvienas ratas juda nepriklausomai nuo kito (nepriklausoma pakaba), pakabos mazgas labai kompaktiškas. Įsiliepsnojus Antrajam pasauliniam karui pradėta gaminti didesnio pravažumo sunkvežimius kariniam jūrų laivynui ir jūrų pėstininkams. Karo metu buvo populiarūs „Studebaker US6“ 2,5 t trijų ašių sunkvežimiai – į Sovietų Sąjungą buvo pristatyta daugiau kaip 200 tūkst. šio tipo sunkvežimių. Net garsūs salviniai reaktyvinės artilerijos įrenginiai „Katiušos“ buvo montuojami ant „Studebaker US6“ platformos. Nuo 1942 m. „Studebaker“ sunkvežimiai buvo surenkami Maskvoje iš detalių, atsiustų iš JAV (20.23 pav.).



20.22 pav. „Fordo“ sunkvežimis su medienos dujų generatoriumi, perdarytas į traktorių (Wood gasifier on epa tractor.jpg.)

Pirmieji automobilio „Pobeda“ bandymai buvo atlikti 1943 m. Gorkio automobilių gamykloje, kai pergalė Antrajame pasauliniame kare atrodė tikėtina. „Pobeda“ buvo



20.23 pav. Sunkvežimis „Studebaker US6“ (a – Studebaker US.jpg.) ir džipas „Willys MB“ (b – Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

pirmasis „masinės rinkos“ automobilis, pasirodęs Lietuvoje po Antrojo pasaulinio karo. Automobilis svėrė 1 460 kg, turėjo 4 cilindrų 2,1 l variklį, išvystantį 50 AJ galią. Jo didžiausias greitis buvo 105 km/h (20.24 pav.).

Lietuvos keliais daugelį metų važinėjo vidutinės klasės lengvieji automobiliai „Moskvič“. 1967–1977 m. juos gamino Maskvos mažalitražių automobilių gamykla (20.25 pav.), o vėliau ir gamykla Iževske (Rusija).

Apskaičiuota, kad kuriant šiuolaikinius automobilius užregistruota daugiau negu 100 000 patentų. 1980 m. Japonija gaminamų automobilių kiekiu aplenkė daugiausiai pasaulyje automobilių gaminusias Jungtines Amerikos Valstijas.



20.24 pav. Automobilis „Pobeda“ (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

Modernesnius automobilius imta gaminti nuo XX a. 7–8 dešimtmečio, juose įtaisyta nepriklausoma priekinių ratų pakaba, automatinė sankaba, šildomas kėbulas, hidrauliniai stabdžiai, antiblokavimo sistema, radijo ryšys. Devintajame dešimtmetyje ėmė plisti automobiliai su dyzeliniu ir dujiniu varikliu, turintys oro kondicionierių, vairo, stabdžių stiprintuvus ir kt. Nuo 1990-ųjų kito



20.25 pav. Automobilis „Moskvič“: a – „Moskvič 400“ (1947–1956 m.), b – „Moskvič 407“ (1958–1963 m.) (Energetikos ir technikos muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

automobilio išvaizda, įtaisomi reguliuojamo įtempimo saugos diržai, oro pagalvės, magnetofonai. Tapo įprastas variklio ir pakabos sistemos valdymas kompiuteriu, pradėta naudotis palydoviniu ryšiu.

Sukūrus naujas medžiagas ir patobulinus mazgų konstrukciją vidutinis automobilio svoris sumažėjo nuo 1 750 kg 1975 m. iki 1 230 kg 1985 metais.

Konstruktoriai daug dirba, siekdami automobilių kurui panaudoti vandenilį. Kol kas vandeniliniams automobiliams sunku konkuruoti su baterijomis varomais elektromobiliais dėl didžiulės kainos ir neišvystytos infrastruktūros. Nors vandeniliu varomas transportas pristatomas kaip ekologiškas, vandenilis dažniausiai gaminamas iš dujų, o ši gamyba yra nepigi ir teršianti aplinką. Vandenilį panaudoti automobiliuose galima dvejopai: „sudeginti“ jį pritaikytame vidaus degimo variklyje arba panaudoti kuro celėse, kurios vandenilio reakciją su oru verčia elektra, o ši suka elektrinį variklį. Abiem atvejais į aplinką bus išskiriamas tik vanduo.

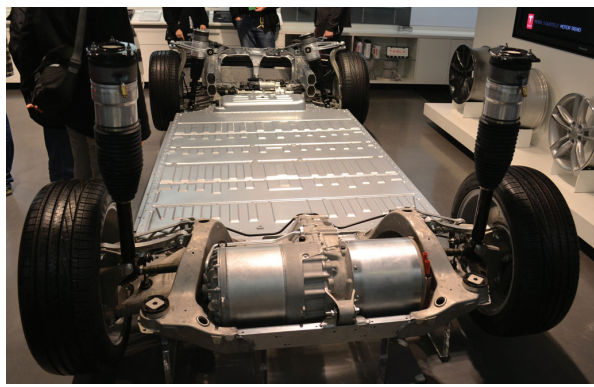
Automobilių konstruktoriai nuolat siekia sukurti dar saugesnį, mažiau degalų naudojantį, mažiau aplinką teršiantį automobilį. Pasaulyje stiprėjant judėjimui, siekiančiam mažinti šiltnamio efektą didinančių išmetamų dujų poveikį, automobilių keliama atmosferos tarša įvardijama vienu didžiausių taršos šaltinių. Nuolat griežtinami reikalavimai vidaus degimo variklio išmetamų dujų taršai. Pastaraisiais dešimtmečiais dėl inžinierių ir konstruktorių sprendimų ženkliai sumažėjo automobilių variklių išmetamų dujų kiekis. 2008 m. lengvojo automobilio išmetamose dujose turėjo būti ne daugiau 154 g CO_2/km, 2012 m. – 130 g CO_2/km, 2020 m. – 80 g CO_2/km, o 2025 m. – tik 60 g CO_2/km.

Automobilio ateities kol kas niekas netemdo. Skirtingai nei viešasis transportas, asmeninis automobilis yra patogesnis ir kur kas saugesnis. Dėl automobilio judrumo daugelyje miestų prekybos ir paslaugų įmonės iš centro pasitraukė į pakraščius. Koks bebūtų automobilis – vandenilinio kuro, elektrinis ar hibridinis – ateityje jis bus integruotas į visuomenės gyvenimą ir, kaip ir iki šiol, formuos ateities visuomenę. Vienas iš įdomiausių futuristinių dizaino sprendimų yra elektrinis automobilis su įdiegta dirbtinio intelekto sistema. Toks automobilis nuolat fiksuoja vairuotojo būseną, analizuodamas jo veido išraišką, kūno kalbą ir balso tembrą.

ELEKTRINIS AUTOMOBILIS

Elektromobilis – automobilis, varomas vienu ar daugiau elektriniu varikliu. Elektra saugoma baterijose arba kituose įrenginiuose. Pirmieji elektromobiliai pasirodė apie 1880 metus. Tokie automobiliai buvo populiarūs XIX a. pabaigoje ir XX a. pradžioje. Vėliau, atsiradus masinei automobilių gamybai ir prekybai bei pingant iškastiniam kurui, elektromobiliai prarado savo populiarumą. Tačiau dabar brangstant iškastiniam kurui, didėjant gamtos apsaugos reikalavimams, nuo 2008 m. elektromobiliai vėl pradėjo populiarėti. Elektriniai varikliai pasižymi greitai atsirandančiu sukimo momentu, kuris leidžia automobiliui sparčiai ir tolygiai greitėti. Elektrinė transporto priemonė gali būti ir hibridinė. Varomas iškastinio kuro variklis suka elektros generatorių, o jo gaminama elektra suka automobilio ratus. Elektromobiliuose iškastinį kurą, vidaus degimo variklį keičia periodiškai įkraunamos ličio jonų baterijos (20.26 pav.). Visi dabartiniai automobiliai naudoja akumuliatoriaus baterijas, reikalingas varikliui užvesti ir jo elektrinėms sistemoms maitinti, tik jos negali ilgesnį laiką sukti automobilio ratų. Automobilių gamintojų manymu, jau 2020 m. elektriniai modeliai turėtų sudaryti net dešimtadalį visų mašinų pasaulyje.

Elektros variklio kūrimo istorija galbūt yra ilgesnė net už tradicinio automobilio kūrimo istoriją. XIX a. pabaigoje jų raida vyko lygiagrečiai, tačiau XX a. pradžioje pagreitį įgavo vidaus degimo variklio varomų automobilių plėtra.



20.26 pav. „Tesla Model S“ važiuoklė su pavaros varikliu (Tesla Motors Model S base.JPG.)

1828 m. vengras Ányos Jedlikas sukūrė pirmą „gyvybingą“ elektrinį variklį, turintį statorių, rotorių ir komutatorių, kurį po metų įmontavo į mažą automobilį. 1835 m. Groningeno universiteto (Nyderlandai) profesoriaus Sibrandus Stratingh'as sukūrė nedidelį elektrinį automobilį. Apie 1832–1839 m. škotas Robertas Andersonas išrado pirmąjį elektrinį vežimėlį, maitinamą neperkraunamų baterijų. Pirmosios masinės gamybos elektrinės transporto priemonės pasirodė JAV 1900-ųjų pradžioje. 1902 m. „Studebaker Automobile Company“ pradėjo elektra varomų automobilių verslą. Išplitus masinei pigių „Ford“ automobilių gamybai, elektrinių transporto priemonių vystymasis buvo pristabdytas.

Elektrinių transporto priemonių baterijas būtina dažnai įkrauti. XIX a. pabaigoje ir XX a. pradžioje pakrauti šias baterijas miestuose buvo sudėtinga, o kaimo vietovėse ir apskritai neįmanoma. Pirmosios elektrinės transporto priemonės susidūrė su daugeliu problemų, būdingų vien šioms mašinoms. Ironiška, kad vieną iš svarbių vidaus degimo variklio problemų išsprendė elektros inžinierius Thomas F. Ketteringas – sukūrė elektrinį starterį ir 1912 m. jį panaudojo „Cadillac“ automobilyje. Per naktį benzinu varomas automobilis tapo ne tik vyro, bet ir moters automobiliu.

Nors šios transporto priemonės buvo santykinai lėtos, tačiau turėjo ir privalumų: nebuvo benzininiams automobiliams būdingos vibracijos, kvapo ir triukšmo, važiuojant nereikia keisti pavarų. Elektriniai automobiliai buvo populiarūs tarp miestiečių, kuriems buvo nesvarbus ribotas transporto priemonės važiavimo nuotolis. Jie buvo patrauklūs dar ir tuo, kad, skirtingai nuo benzininių automobilių, jų nereikėjo užvedinėti sukant paleidimo rankeną.

Kaip paprasta ir lengvai valdoma elektrinė transporto priemonė ji buvo labai patraukli moterims (20.27 pav.). Visgi kiti du veiksniai – automobilio kaina ir vienu įkrovimu nuvažiuojamas nuotolis – stabdė šios transporto rūšies plėtrą. Istoriškai elektros automobilių rinka buvo maža. Nors 1910–1920 m. išspręsta elektrinės transporto priemonės akumuliatoriaus problema, sumažintos gamybos sąnaudos, tačiau nebuvo centralizuotos baterijų įkrovimo sistemos. Benzininis automobilis laimėjo – jis tapo ne tik miesto, bet ir kaimo transporto priemone. Net ir šiandien elektra varomos transporto priemonės vienu įkrovimu gali nuvažiuoti tik šiek tiek toliau negu 100 km. Šiandienos elektrinės transporto priemonės yra aprūpintos geresniais varikliais, kompiuteriniais



20.27 pav. 1904 m. Vokietijoje gamintas elektromobilis (Bundesarchiv Bild 183-1990-1126-500)

valdikliais, švino-rūgšties akumuliatoriais ir supaprastintomis greitesnėmis įkrovimo sistemomis. 1994 m. elektra varomas pikapas per 24 valandas nuvažiavo 1 420 km, per tą laiką baterijų įkrovimui sunaudojęs tik 18 minučių. Dar prieš įsitvirtinant vidaus degimo variklių varomoms mašinoms, elektriniai automobiliai buvo pasiekę greičio ir atstumo rekordų, pavyzdžiui, 1899 m. elektrinis automobilis pirmasis viršijo 100 km/h greitį. Iki 1920 m. elektra varomi automobiliai kokybiško aptarnavimo požiūriu konkuravo su benzininiais automobiliais.

Elektrinių transporto priemonių privalumas:

– *Energetinis efektyvumas*. Elektrinės transporto priemonės apie 59–62 % iš tinklo imamos elektros energijos perduoda ratų sukimui, kai tradiciniai benzininiai automobiliai tik apie 17–21 % benzino energijos paverčia ratų sukimo energija.

– *Aplinkos saugumas*. Elektrinės transporto priemonės neišmeta teršalų, nors elektros energiją gaminančios jėgainės teršia aplinką. Naudojant saulės elementų, vėjo, hidroelektrinių ar branduolinių jėgainių gaminamą elektrą taršos nebūtų iš viso.

– *Naudojimo pranašumas*. Elektriniai varikliai užtikrina ramesnį, lygesnį transporto priemonės judėjimą, jiems reikia mažiau techninės priežiūros negu vidaus degimo variklių automobiliams.

– *Mažesnė energetinė priklausomybė*. Lengvai pasiekiamas ir labai išplėtotas energijos paskirstymo tinklas.

Deja, elektrinės transporto priemonės susiduria su baterijų problemomis:

– *Važiavimo vienu įkrovimu nuotolis*. Iki baterijų pakartotinio įkrovimo dauguma elektra varomų transporto priemonių gali nuvažiuoti apie 160–320 km, o įprasti automobiliai, nepapildę kuro, – daugiau negu 500 km.

– *Baterijų įkrovimo trukmė*. Baterijos įkrovimas gali užtrukti nuo 4 iki 8 valandų. Net „greitas“ įkrovimas iki 80 % talpos gali užtrukti 30 minučių.

– *Baterijos kaina*. Didelės baterijos yra brangios, po tam tikro skaičiaus įkrovimų jas reikia keisti.

– *Matmenys ir svoris*. Baterijų paketai yra sunkūs ir užima automobilyje daug vietos.

Jei elektra varomos transporto priemonės taptų didesne viso transporto priemonių segmento dalimi, kiltų rūgštinių akumuliatorių problema. Didelio šios rūšies baterijų kiekio gamyba ir panaudotų baterijų perdirbimas taptų rimtu aplinkosaugos iššūkiu. Apskaičiuota, kad rūgštines baterijas naudojantis elektrinis automobilis paskleidžia 60 kartų daugiau švino negu įprastinis automobilis, naudojantis švinu etiliuotą benziną. Į aplinką švinas pasklinda ne iš elektra varomų transporto priemonių, bet lydant šviną ir utilizuojant naudotas baterijas. Keičiant švino rūgštines baterijas (akumuliatorius) nikelio-kadmio arba nikelio-metalo hidrido baterijomis aplinkosaugos aspektu padėtis nepagerės. Šių konstrukcijų baterijų elektrolitai yra dar toksiškesni. Natrio-sieros arba ličio-polimerų baterijos būtų geresnės, tačiau jos dar tik kuriamos.

Elektriniai automobiliai nebūtų galėję taip sparčiai tobulėti, jei nebūtų sukurtos baterijos, galinčios ilgesnį laiką saugoti daugiau energijos – tokias baterijas galima įkrauti daugybę kartų ir nekeisti kitomis. Automobilių pramonė, norėdama elektriniam automobiliui suteikti trokštamą važiavimo nuotolį ir greitą baterijos įkrovimą, kol kas renkasi ličio-nikelio-mangano-kobalto oksido ($LiNiMnCoO_2$) baterijas. Ličio jonų baterijose elektrolitas būna skysčio formos. Tai gali būti ličio druskos, pavyzdžiui, $LiPF_6$, $LiBF_4$ ar $LiClO_4$, arba organiniai tirpikliai – metileno karbonatas, dimetilo karbonatas ar dietilo karbonatas. 500 km rida, į kurią orientuojasi dauguma šiuolaikinių brangiausių elektrinių automobilių, šioms baterijoms jau yra viršutinė riba.

Ličio baterijos dažnai parenkamos dėl jų didelės galios ir esant dideliam energijos poreikiui, tačiau jų ilgaamžiškumas ir įkrovimo ciklų skaičius ribotas, todėl gali gerokai padidėti transporto priemonės eksploatacinės išlaidos. Siekiant padidinti baterijų patvarumą, tiriamos ličio-geležies fosfato ir ličio titanato baterijos.

Nors dauguma naujausių elektrinių automobilių naudoja ličio jonų ir kitas ličio baterijas, tačiau automobiliuose galima pamatyti ir įvairių alternatyvių baterijų:

– švino rūgštinės baterijos vis dar yra labiausiai naudojamos elektrinėse transporto priemonėse; jų gamyba yra žymiai pigesnė negu kitų baterijų, ir nors baterijos svorio ir sukauptos energijos santykis yra prastesnis, baterijos galią galima padidinti didinant baterijų skaičių;

– Ni-Cd baterijos, jas pakeitė didesnės talpos nikelio-metalo hidrido (NiMH) tipo baterijos;

– nikelio-metalo hidrido (NiMH) baterijos;

– nikelio-geležies baterijos pasižymi nedidele galia, tačiau santykinai ilga eksploatavimo trukme.

Kuriamos cinko-oro, skystų druskų baterijos. Cinko-bromo baterijose vietoj baterijos įkrovimo taikomas elektrolito perpylimas. Perspektyvesnės yra *kietos struktūros baterijos*. Kaip ir ličio jonų baterijos, kietos struktūros baterijos yra sudarytos iš teigiamo ir neigiamo elektrodų bei elektrolito. Vienintelis ir svarbiausias skirtumas – elektrolitas tokiose baterijose yra ne skystas, bet kietas. Tokiais elektrolitais gali tapti bet kokios kietos medžiagos, pradedant keramika bei stiklu ir baigiant ličio sulfidu. Kietos struktūros baterijos yra mažesnės, pasižymi didesniu energijos tankiu, geresniu saugumu ir baterijos įkrovimu. Deja, jas pagaminti yra itin brangu.

Yra daug duomenų, kad elektra varomų automobilių gamyba gamtosaugos požiūriu yra taršesnė negu automobilių, varomų iškastinio kuro produktais. Visgi, imant visą automobilio gyvavimo ciklą, didesnę taršą kelia pastarieji. Didesnė pradinė tarša susijusi su automobilio baterijų gamyba – ji sudaro net 43 % vidutinio dydžio elektrinio automobilio taršos.

Vidaus degimo varikliais varomų automobilių neriboja važiavimo nuotolis, juos labai greitai galima papildyti kuru beveik visur. Elektrinio automobilio vienu baterijos įkrovimu nuvažiuojamas atstumas kol kas yra labai svarbus veiksnys, nes įkrovimo stočių tinklas dar neišplėtotas, be to, baterijų įkrovimas trunka daug ilgiau.

„Tesla Roadster“ automobilis vienu baterijų įkrovimu gali nuvažiuoti 394 km. Naudojant 220 voltų įtampos ir 70 amperų srovės tinklą, jo baterijoms įkrauti reikia 3,5 valandos. Tokia įkrovimo stotelė gali būti įrengta kiekviename name. Visgi, naudojant įprastą buitinį 220 voltų įtampos ir 16 amperų srovės tinklą, įkrovimas trunka ilgiau negu 15 valandų.

Nedidelį atstumą važiuojantys elektromobiliai galėtų pasinaudoti ir kita technologija – baterijų pakeitimu. Baterijoms pakeisti reikėtų tik kelių minučių, be to, šis procesas yra švaresnis negu bako pildymas degalais. Kol kas tokių stočių statybai reikia didelių investicijų, o ekonominė nauda dar nėra aiški. Dar vienas galimas būdas – nuolatinės srovės greitojo įkrovimo stočių statyba. Šios stotys naudotųsi trifaziu elektros tinklu, kuris baterijas, leidžiančias vienu įkrovimu nuvažiuoti 170 km, iki 80 % talpos įkrautų per 30 minučių (20.28 pav.).



20.28 pav. Automobilio baterijų įkrovimo stotis Vilniuje, 2019 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

Elektrinės transporto priemonės vienas iš privalumų yra galimybė kiekvieną automobilio ratą sukti atskiru elektros varikliu. Su ratu tiesiogiai sujungtas elektros variklis ne tik suktų ratą, bet ir padėtų stabdyti automobilį (varikliui persijungus į generatoriaus režimą). Kai kuriais atvejais variklis gali būti montuojamas tiesiog į patį ratą, tuomet mašinoje neliktų diferencialo ir transmisijos, tačiau padidėtų rato svoris ir galbūt pasunkėtų automobilio vairavimas.

Elektromobilyje nėra tepalų ir filtrų, todėl jų keisti nereikia, nėra ir įprastos aušinimo sistemos, dirželio, žvakių bei daugybės kitų detalių. Elektrinis variklis užtikrina pastovų sukimo momentą net ir esant mažam greičiui, dėl konstrukcijos visa galia perduodama ratams automobiliui vos pajudėjus, įsibėgėjant lenkimui ar kitais atvejais. Elektrinio variklio naudingumo koeficientas didesnis 3–5 kartus, palyginti su tradicinio automobilio varikliu. Elektromobilyje prarandama ne daugiau kaip 15 % energijos, kai įprastas automobilis šilumos pavidalu iššvaisto daugiau kaip 70 % degalų energijos. Rekuperacinė elektromobilio sistema papildomai „pasigamina“ elektros energijos, priversdama variklį dirbti kaip generatorių stabdymo metu ir riedant neutralia pavara. Tokiu būdu mechaninė energija paverčiama elektros energija ir grąžinama atgal į elektromobilio baterijas.

Tad ar tikrai atėjo laikas rinktis elektromobilį? Elektrinių transporto priemonių ateitis pirmiausia priklausys nuo baterijų kokybės ir jų įkrovimo tinklo plėtros, nes elektros variklių, valdiklių, įkroviklių gamyba yra subrendusi ir

konkurencinga vidaus degimo varikliams. Nuo 2017 m. parduodamas serijinis „Tesla Model 3“ (JAV) 5 vietų sedanas vienu įkrovimu nuvažiuoja 386 km, maksimalus greitis siekia 225 km/val., o iki 96,5 km/val. įsibėgėja per 5,3 sek. Automobilis naudoja ličio jonų baterijas. Bateriją sudaro 2 976–4 416 celės. Skirtingos automobilio versijos sveria 1 600–1 800 kg, tai yra 122–144 W/kg. Gerėjant saulės elementų naudingumo koeficientui, didelę įkrovimui reikalingos energijos dalį elektromobiliai galės gauti iš stacionarių ar ant paties elektromobilio sumontuotų saulės energijos konverterių. Australijoje jau 30 metų rengiamos (nuo 1987 m.) „World Solar Challenge“ saulės energija įkraunamų elektromobilių lenktynės. Jos pradedamos Darvino mieste Australijos šiaurėje, o baigiamos Adelaidėje, Australijos pietuose. 3 022 km ilgio trasa kerta žemyno dykumas ir pusdykumes. Šios lenktynės patvirtina, kad saulės baterijų įkraunami elektromobiliai gali pasiekti keliuose įprastą greitį, o po nedidelių pakeitimų gali sėkmingai konkuruoti su vidaus degimo varikliais varomu transportu.

TRAMVAJAI IR TROLEIBUSAI

Miesto tramvajus yra populiari keleivių viešojo transporto rūšis. Tramvajai pasirodė JAV XIX a. pradžioje. Pirmoji arklių traukiama tramvajų linija 1828 m. atidaryta Baltimorėje (Merilandas), po ketverių metų – Niujorke, o 1834 m. – Naujajame Orleane (Luiziana). Iš pradžių bėgiai buvo iškilę virš gatvės lygio, dėl to kildavo avarijos, būta sunkumų pėstiesiems. 1852 m. buvo sukonstruoti giliau įterpti bėgiai su grioveliu. Pirmasis arklinis tramvajus Prancūzijoje pasirodė 1853 m. ruošiantis artėjančiai pasaulinei mugei. XIX a. pabaigoje – XX a. pradžioje gyvulių traukiamus tramvajus iš pradžių pakeitė garo mašinų varomi, o vėliau – elektriniai tramvajai (20.29 pav.).

Pirmoji elektrinio tramvajaus linija dabartinėje Lietuvos teritorijoje buvo atidaryta 1904 m. Klaipėdoje (20.31 pav.). Po trisdešimties metų ji buvo pakeista autobusais.

Lietuvoje (Vilniuje ir Kaune) arklinis tramvajus važinėjo 1893–1929 m. (20.30 pav.). Vilniuje veikė 3 maršrutai, kasdien kursuodavo vidutiniškai 28 arklinio tramvajaus vagonai, juos traukė 122 arkliai, tramvajų aptarnaudavo daugiau kaip 150 darbininkų. Trijų tramvajaus linijų bendras ilgis sudarė 9,5 kilometro. Kaune arklinis tramvajus vežė keleivius nuo 1892 m. iki 1929 metų.

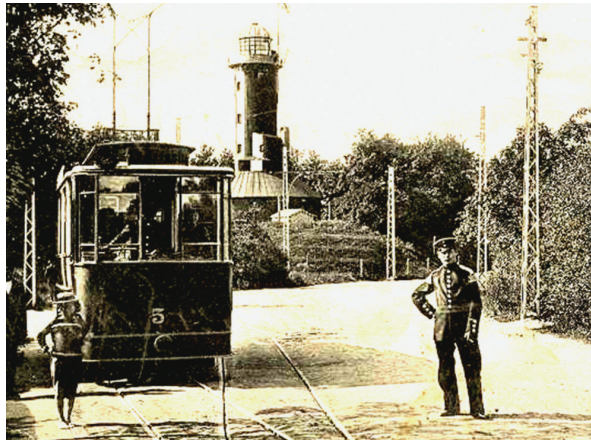


20.29 pav. Garinio tramvajaus vagonas Vokietijoje, 1900 m. (Bruehl Feuriger Elias.jpg.)

Pirmasis garo mašina varomas tramvajus buvo paleistas Anglijoje 1873 metais. Tramvajai keleivių vagone turėjo garo mašiną ir vandens šildytuvą. Vagone susidarantys nešvarumai, dūmai ir karštis labai vargino keleivius, todėl greitai keleiviai ir įranga buvo atskirti. Elektrinė trauka labai tiko tramvajams, tačiau dar ilgai teko laukti, kol atsiras tinkamas elektros tinklas. Pagrindinis gatvės tramvajų trūkumas buvo tas, kad jis sustodavo gatvės viduryje, keldamas pavojų įlipantiems ir išlipantiems iš tramvajaus keleiviams susidurti su kitomis transporto priemonėmis.



20.30 pav. Arklinis tramvajus Kaune, 1892 m. (Kauno arklinis tramvajus.jpg.)



20.31 pav. Elektrinis tramvajus Klaipėdoje (vilnius-ir-kaunas-jau-paragavo-sostines-duonos-metas-atejo-klaipedai.d?id=58791059)

Kai kuriose šalyse mechaniniams tramvajams buvo naudojamos kitos energijos formos: Stokholme (Švedija) tramvajus varė benzininis variklis, Prancūzijoje važinėjo dujomis ir net suspaustu oru varomi tramvajai.

Tramvajaus alternatyva buvo troleibusas, kuris galėjo imti srovę iš to paties, kaip ir tramvajus, virš gatvių nutiesto elektros tinklo, tačiau važiuoti pneumatiniais ratais, o ne bėgiais. Troleibuso kontaktinį tinklą, skirtingai nuo tramvajaus, sudaro du lygiagretūs laidai: antrasis laidas yra reikalingas todėl, kad troleibusams dažniausiai naudojamos guminės padangos, ir grįžtamoji srovė negali būti nukreipiama į žemę ar bėgius, kaip tramvajuje. Troleibusų istorija prasidėjo 1882 m., kai Berlyno priemiesčio linijoje Šarlotenburgas–Spandau pasirodė pirmoji bandomoji nebėginė elektros energija varoma miesto transporto priemonė, tačiau ji nebuvo plėtojama. Eksperimentinė troleibusų linija 1900 m. veikė Paryžiaus tarptautinėje parodoje. Pirmą keleivinį troleibusą, važiavusį Byletalio (Bielethal) miestelyje netoli Drezdeno (Vokietija), 1901 m. sukūrė Maxas Schiemannas. Jis sugalvojo virš troleibuso nutiesti kontaktinį tinklą iš dviejų lygiagrečių elektros laidų, o prie troleibuso pritvirtinti du plieninius strypus, vadinamus ūsais, tamprių spyruoklių keliamus į viršų ir šliejamus prie laidų. Šis elektros tiekimo būdas tapo visuotinai pripažintu standartu (20.32 pav.). Pirmieji keleiviniai troleibusai Jungtinėje Karalystėje pasirodė 1911 metais. Troleibusas, kaip ir tramvajus, negali



20.32 pav. Pirmasis pasaulyje troleibusas, 1882 m. (First Trolleybuss of Siemens in Berlin 1882)

aplenkti tokios pat transporto priemonės, imančios energiją iš to paties kontaktinio tinklo, todėl vis populiaresni hibridiniai troleibusai, kurie gali veikti ir atskirti nuo kontaktinio tinklo, nes turi atsargines akumuliatorių baterijas arba dyzelinį variklį. Troleibusai naudojami miestuose, kuriuose yra plačios gatvės ir palyginti mažai kitų įprastinių transporto rūšių. Kai kur troleibusai naudojami ir tarpmiestinėse linijose. Kryme troleibuso linijos Simferopolis–Jalta ilgis apie 95 km. 1956 m. Vilniuje atidarytas pirmasis troleibusų tinklas



20.33 pav. Pirmieji troleibusai Vilniuje, 1956 m. (E. Sisko nuotr.)



20.34 pav. Žemagrindžiai troleibusai Vilniuje, 2012 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

Lietuvoje (20.33 pav.), čia kursavo Rusijoje gaminti MTB-82D troleibusai. Vėliau juos pakeitė čekoslovakiški troleibusai „Škoda 9Tr“. Kaune pirmieji troleibusai pasirodė 1965 metais. Žemagrindžiai Lenkijoje gaminami troleibusai „Solaris“ į Vilniaus gatves išvažiavo 2004 m. (20.34 pav.).

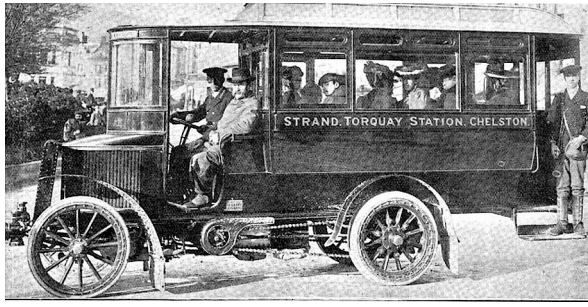
AUTOBUSAI

Arklių traukiamas omnibusas pirmą kartą pradėtas naudoti Prancūzijoje 1829 m. (20.35 pav.). Arkliniai autobusai Londone važinėjo net iki 1911 m., kol juos pakeitė vidaus degimo varikliais varomi autobusai.

1662 m. Blaise'as Pascalis atidarė pirmą žinomą viešąją keleivių pervežimo aštuonvietėje karietoje liniją Paryžiuje. Kareiviams ir valstiečiams šiuo „autobusu“ važiuoti buvo draudžiama. Po 15 metų ši paslauga buvo nutraukta, toks keleivių pervežimo būdas vėl pasirodė tik 1820 metais. XVIII a. pabaigoje ir XIX a. pradžioje arklių traukiami autobusai važinėjo daugelyje pasaulio miestų. Londone paskutinė arklinio autobuso linija nutraukė veiklą 1914 metais. Nuo 1830 m. pradėjo važinėti pirmieji gariniai autobusai (20.36 pav.). Pirmąjį pasaulyje autobusą su gariniu varikliu 1823 m. pagamino anglas Goldsworthas Jemis, ir jau 1825 m. buvo atidaryta pirmoji D. Britanijoje reguliaraus susisiekimo autobusų linija. Pirmasis dviaukštis autobusas (20.37 pav.) pagamintas Londone 1847 m., o 1900 m. garinis omnibusas tampa pirmuoju autobusu su pneumatinėmis padangomis. 1928 m. Prancūzijoje pagaminti suslėgtomis dujomis varomi autobusai, o 1998 m. Vokietijoje



20.35 pav. XIX a. pabaigos omnibusas (Shillibeer's first omnibus.png.)



20.36 pav. Garinis autobusas (Chelmsford steam omnibus built by Clarkson Ltd.)

sukurtas eksperimentinis ateities autobusas, kaip kurą naudojantis vandenilį. Plečiantis automobilių gamybai atsirado ir pirmieji vidaus degimo variklio autobusai, kurie greitai tapo svarbia viešojo transporto dalimi. 1895 m. vokiečių inžinierius Karlas Benzas sukonstravo pirmą 10 vietų autobusą su benzininiu 5 AG varikliu.

XX a. labai išsiplėtė autobusų įvairovė. Šiuolaikiniai miesto autobusai turi 3 duris, valdomas iš vairuotojo kabinos, kondicionavimo sistemą. Turistiniai autobusai yra pritaikyti tolimoms kelionėms, juose dažniausiai yra 45–60 sėdimų vietų, priemiestiniai autobusai turi apie 20 sėdimų vietų. Keleivių pervežimui naudojami vienaukščiai, dviaukščiai, triaukščiai, autobusai su puspriekabe ir kitokios konstrukcijos autobusai (20.38 pav.,



20.37 pav. Dviaukštis autobusas Paryžiuje, 1930 m. (ile:CM 104 – PARIS – Carrefour des Bds Montmartre et des Italiens – La station des omnibus.JPG.)

20.39 pav.). Ilgesnėms kelionėms pritaikyti autobusai turi saugos diržus, tualetą, garso ir vaizdo sistemas, atskirą bagažo skyrių po grindimis, dviračių gabenimo laikiklius, gali važiuoti didesniu greičiu. Nuo 1920 m. autobusuose dažniausiai naudojami dyzeliniai vidaus degimo varikliai.



20.38 pav. Daugiaaukštis autobusas (The Making of Harry Potter 29-05-2012)

Manoma, kad pirmasis autobusas į Lietuvą atriedėjo 1903 metais. Jis važinėjo pajūriu iš Klaipėdos į Liepoją. 1908 m. tarp Jelgavos ir Šiaulių pradėjo kursuoti benzininis autobusas, galėjęs vežti 16 keleivių. 1911–1913 m. atidaryta keletas tarpmiestinių maršrutų: Šiauliai–Kelmė, Daugpilis–Zarasai, Šiauliai–Joniškis. 1919 m. Lietuvoje susikūrusios pirmosios autobusų bendrovės pradėjo reguliarius keleivinius ir pašto reisus. Vilniuje pirmosios autobusų linijos atidarytos 1926 metais. Arklinis tramvajus tuo metu likviduotas, bėgiai nuimti. Pirmieji keleiviniai autobusai



20.39 pav. 30,7 m ilgio autobusas (some-of-the-worlds-longest-buses)

kursavo maždaug tais pačiais, kaip arklinio tramvajaus, maršrutais: Geležinkelio stotis–Rotušės aikštė–Žvėrynas, Stotis–Antakalnis ir Stotis–Kalvarijų gatvė. Šiais maršrutais važinėjo nedideli (14–15 vietų) autobusai. 1929 m. Kaune įsteigtose Amerikos ir Lietuvos akcinės bendrovės dirbtuvėse buvo surinkti pirmieji autobusai. 1956–1979 m. Kaune veikusi Kauno autobusų gamykla pagamino daugiau kaip 12 000 autobusų (20.40 pav.). Gamykla buvo įkurta senosiose „Ford“ dirbtuvėse, veikusiose nuo 1930 metų. Gamyklos konstruktoriai pagal GAZ-51 sunkvežimį sukūrė nuosavos konstrukcijos autobusą KAG-1. Masiškiausiai gamintas KAG-3 autobuso modelis. 2015 m. Kaune reguliariais reisais keleivius pradėjo vežti 25 m ilgio autobusas „Van Hool AGG 300“, įrašytas į Lietuvos rekordų sąrašą kaip ilgiausias Lietuvoje registruotas autobusas.



20.40 pav. Kauno autobusų gamykloje gamintas 19 keleivių vietų autobusas, 1956 m. (Kirill Borisenko nuotr.)

DVIRAČIAI

Dviratis – tai dviratė žmogaus raumenų jėgos varoma transporto priemonė. Maždaug prieš 500 metų Leonardo da Vinci nupiešė įtaisą, labai panašų į šių laikų dviratį – su vienodo dydžio ratais, grandinine pavara, pedalais ir sėdyne. Pirmą kartą apie dviratį pradėta kalbėti 1790 m., kai prancūzų grafas Comte de Sivracas išrado vadinamąjį „ratinį arkliuką“ – medinę lentelę su balneliu ir gerai pritvirtintais ratais, kuri judėjo stumiama koja. 1817 m. vokietis Karlas Draisas pademonstravo savo sukurtą dviratę vairuojamą priemonę, tiesioginį šiuolaikinių dviračių pirmtaką, kuri dar neturėjo pedalų. Dviratis užpatentuotas 1819 metais. Škotas Kirkpatrickas Macmillanas 1839 m. padarė pirmą mechaninį dviratį su aukštyn ir žemyn judančiais pedalais, kurie suko galinį ratą. 1879 m. anglas Henris Johnas Lawsonas išrado grandininės pavaros varomą dviratį. Prancūzijoje apie 1867 m. dviračius pradėta gaminti masiškai. 1885 m. serijinę dviračių gamybą pradėjo anglų firma „Rover“. Atsirado įvairių modifikacijų

a



b



20.41 pav. Dviratis: a – 1869 m. (AB8/A1ZClRE7NT8/s1600/705px-McCall1869.jpg.), b – dviratis mediniais ratlankiais, apjuostais gumos sluoksniu (A. V. Valiulio nuotr.)



20.42 pav. „Penny-farthing“ modelio dviratis, 1870 m. (stock-illustration-penny-farthing-or-high-wheel.html.)

dviračių (20.41 pav.). Dviračio išradimas turėjo didelį poveikį visuomenės kultūrai ir kūrybai. Kai kurios dviračio kūrimo idėjos ar naujovės (pneumatinės padangos, rutuliniai guoliai, grandininė pavara) buvo perimtos ir pritaikytos automobiliuose.

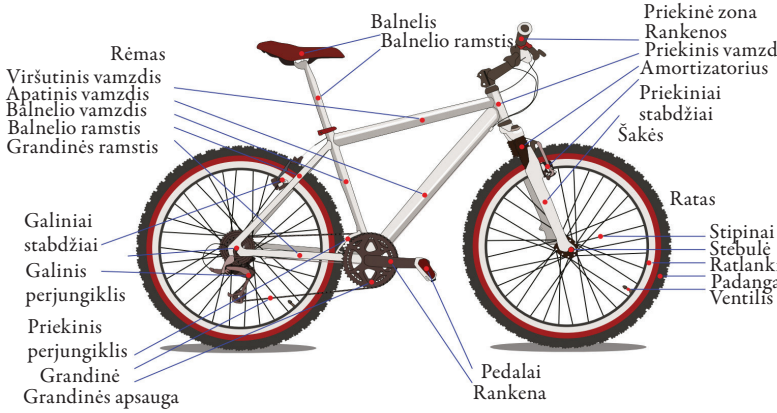
„Penny-farting“ modelio dviračiai buvo populiarūs 1880–1890 m., juos nurungė pasirodę „saugaus modelio“ dviračiai. „Penny-farting“ dviračiai turėjo didelį priekinį ir mažą galinį ratą (20.42 pav.). Didesnis priekinis ratas (1,5 m skersmens) leido pasiekti didesnį greitį, tačiau tik važiuojant tiesiai.

Dviračiams naudojamos medžiagos turi būti lengvos ir stiprios. Nuo 1930 m. dviračių rėmas ir šakės buvo gaminami iš legiruoto plieno vamzdžių. Nuo 1980 m. dviračio rėmui ir kitiems mazgams ar detalėms pradėta naudoti aliuminio lydinius. Dauguma vidutinės kainos dviračių gaminami iš įvairių aliuminio lydinių profilių. Kartais dviračių rėmas gaminamas iš titano ar kitų specialiomis savybėmis pasižyminčių lydinių. Brangių dviračių rėmai gaminami iš anglies pluošto kompozitinių medžiagų. Kompozitinės medžiagos padidina detalių profiliavimo galimybes, todėl labai sumažėja konstrukcijos svoris ir padidėja jos standumas.

Pagrindiniai dviračių tipai yra šie: kalnų dviratis, plento dviratis, miesto dviratis ir hibridas. Dar yra nemažai tarpinių dviračių tipų (turistinis dviratis, kroso (*cyclocross*), fitneso dviratis ir kt.) bei specialiųjų dviračių, skirtų ekstremaliam sportui (treko dviratis, greitojo nusileidimo dviratis, triukų dviratis ir kt.). Rėmo tipas lemia dviračio greitį, stabilumą, sėdėsenos komfortą ir valdymo jautrumą. Plento dviratis skirtas greitam sportiniam važiavimui, kalnų dviratis – važinėti po miškus, prastais keliais ir ten, kur kelių visai nėra. Miesto dviratis patogus sėdėti, jį lengva minti, tačiau jis netinkamas tolimoms kelionėms. Hibridas skirtas važiuoti vidutiniu greičiu vidutinius nuotolius pačiais įvairiausiais keliais ir miško takais. Turistinis dviratis labai panašus į hibridą, tik pritaikytas ilgesnėms kelionėms su daug bagažo. Fitneso dviratis – tai hibridas su plento dviračio elementais, pritaikytas sportiškam važinėjimui po miestą, keliais ir dviračių takais.

Šiuolaikinių dviračių balnelis daugiausia tvirtinamas ant vertikalaus vamzdžio. Šių dviračių konstrukciją sudaro iš vamzdžių padaryti du trikampiai – priekinis ir galinis (20.43 pav.). Dauguma dviračių jėgą į galinį ratą perduoda grandine. Kai kuriuose dviračiuose jėgos perdavimui naudojamas velenas ar specialus diržas. Keičiamos pavaros padeda dviratininkui išlaikyti optimalų pedalų mynimo greitį, kuris, keičiantis kelio reljefui, kinta. Šiuolaikiniai dviračių stabdžiai gali būti: ratlankiniai – trinties trinkelės spaudžiamos prie ratų ratlankių; stebulės stabdžiai – trinties trinkelės yra ratų stebulėse; diskiniai stabdžiai – trinkelės spaudžiamos prie atskiro disko. Dviračių pakaba reikalinga keliems tikslams. Ji padeda išlaikyti dviračio ratus nuolatiniame sąlytyje su kelio paviršiumi, lengvina dviračio valdymą ir apsaugo vairuotoją bei bagažą nuo kelio nelygumų keliamų vibracijų ar smūgių. Kelių dviračiams naudojamos 18–25 milimetrų pločio dažniausiai visiškai lygios padangos. Bekelės dviračių padangos dažniausiai yra 38–64 mm pločio, o jų protektorius turi rantus geresniam sukibimui su kelio paviršiumi.

Važiuojant specialiuoju dviračiu, pvz., tandeminiu, būtini tam tikri važiavimo gebėjimai (20.44 pav.). Dviračiu važiuoja du dviratininkai: vienas priekyje ir vienas už jo nugaros. Kiekvienas dviratininkas mina atskirus pedalus, tačiau suka tik vieną grandinę. Mindami pedalus kartu, dviratininkai gali išvystyti didesnį važiavimo greitį.



20.43 pav. Dviračio konstrukcija (Bicycle diagram-en.svg.)

Pirmieji dviračiai daugiausia plito aukštuomenėje, tačiau vėliau jį perėmė įvairios verslo rūšys: pasiuntiniai, keliaujantys siuvėjai, lenktynių organizatoriai, nes važiuojant dviračiu reikia beveik tris kartus mažiau energijos, negu vaikštant, be to, dviračiu norimą tikslą galima pasiekti tris ar keturis kartus greičiau. Yra specialūs dviračiai, suprojektuoti kroviniams ar vaikams vežti, gerinti fizinę būseną, lenktyniauti, atlikti akrobatinius triukus ir kt. (20.45 pav.). Daugelyje pasaulio miestų įrengti dviračių nuomos punktai ar stotelės (20.46 pav.). Viešoji dviračių transporto paslauga yra alternatyva motorizuotam transportui, nes padeda mažinti gatvių perkrovimą ir aplinkos taršą.



20.44 pav. Tandeminis dviratis (Tandem VTT doublettrack Tthunder.jpg.)



20.45 pav. Dviratis-vilkikas (Trailercycle.jpg.)



20.46 pav. Dviračių nuomos stotelė Vilniuje, 2014 m. (A. V. Valiulio nuotr.)

Elektrinius dviračius galima apibūdinti kaip naujas dvirates transporto priemones, varomas ne tik žmogaus raumenų jėgos, bet ir elektrinio variklio. Elektriniu dviračiu galima važiuoti tiek trumpas, tiek ir ilgas distancijas. Net jei kelionė yra ypač ilga ir akumuliatorius išseks, galima važiuoti toliau minant pedalus kaip ir įprastiniu dviračiu. Šių dviračių privalumas akivaizdus: lengviau nuvažiuoti didesnį atstumą, mažiau pavargstama, paprasta įveikti įkalnes, galima išvystyti iki 25 km/h greitį. Kuriant elektrinius dviračius ypač kreipiamas dėmesys į baterijų ilgaamžiškumą, galią ir talpą. Jau gaminamos baterijos, kurios, pakrautos per 6 min., išsikrautų tik po 320 km. Spėjama, kad 2023 m. pasaulyje bus parduota maždaug 40 mln. elektrinių dviračių, 34,3 mln. iš jų – Kinijoje.

DVIRAČIŲ GAMYBA LIETUVOJE

Tarpukario laikotarpiu Lietuvoje plito Anglijoje ir Vokietijoje pagaminti dviračiai. Lietuvoje dviračiai pradėti gaminti 1951 m. Šiaulių dviračių ir variklių gamykloje „Vairas“ (dviračių gamykla Šiauliuose įsteigta 1948 m.). Jie buvo skirti vaikams ir paaugliams ir tinkami tiek mergaitėms („Kregždutė“), tiek berniukams („Ereliukas“). 1983 m. gaminti dviračiai „Venta“ ir „Rambynas“ turėjo sulankstomą rėmą. Pertvarkius „Vairo“ gamyklą 1993 m. įkurta jungtinė Lietuvos ir Vokietijos įmonė „Baltik vairas“, kuri gamino „Panther“ ir kitų modelių dviračius. Apie 75 % įmonės produkcijos yra kalnų, kelionių ir turistiniai dviračiai (20.47 pav.), likusieji yra miesto



20.47 pav. „Baltik vairas“ įmonėje (Šiauliai) gaminti dviračiai, 2013 m. (Šiaulių dviračių muziejus 2010 02 1034.JPG.)

dviračiai be pavarų. 2011 m. nuo konvejerio nuriedėjo penkiamilijonasis įmonėje UAB „Baltik vairas“ pagamintas dviratis.

KELIAI IR GREITKELIAI

Kelias – inžinerinis statinys, skirtas transporto priemonių ir pėsčiųjų eismui. Kelio konstrukciją sudaro žemės sankasa, pagrindas, kelio danga ir papildomi kelio statiniai. Šiuolaikiniame kelyje yra daugybė inžinerinių statinių – tai tiltai, tuneliai, atraminės konstrukcijos, paprastos, žiedinės, kelių lygių sankryžos, kelio rinkliavos punktai.

Istoriškai daugelis kelių buvo tiesiog maršrutai, kurių niekas netiesė ir neprižiūrėjo. Seniausias žinomas grįstas kelias buvo nutiestas Egipte 2600–2200 metais pr. m. e. Akmenimis grįsti keliai ar gatvės Uro valstybėje atsirado apie 4000 metus pr. m. e. Rąstais iškloti keliai Anglijoje pasirodė taip pat apie 4000 metus pr. m. e. Jų amžių pavyko nustatyti dendrochronologijos būdu pagal išlikusias medžio rieves (3807 metų pr. m. e. žiema ar 3 806 m. pr. m. e pavasaris). Plytomis grįstos gatvės Indijoje atsirado apie 3 000 metus pr. m. e. Achemenidų imperijos (Persija) klestėjimo metu (500 metais pr. m. e.) buvo intensyviai plečiamas kelių tinklas. Vakarinis imperijos miestas Sardis keliu buvo sujungtas su Zagros kalnagūbrio papėdėje įsikūrusiu Susos miestu. Ši kelių sistema tęsėsi iki Baktrijos (Šiaurės Afganistanas) ir Indijos. Plėtojantis upių laivininkystei, keliai buvo tiesiami upių pakrantėmis. Jais arkliai (o kartais ir žmonės) traukdavo laivus. Apie 312 m. e. m. Romos imperija kariniams tikslams labai išplėtė kelių tinklą Europoje ir Šiaurės Afrikoje. Klestėjimo metu grįstų kelių tinklo ilgis siekė 78 000 km. Aštuntame m. e. a. kelių statybą plėtė Arabų imperija. Moderniausi keliai buvo statomi Bagdade. Jiems grįsti buvo naudojamas naftos distiliacijos produktas – bitumas.

XX a. militarizuotos Vokietija ir Italija pradėjo statyti autostradas. Pirmoji autostrada, atidaryta 1924 m., jungė Milaną ir Varezę; joje buvo tik po vieną juostą kiekvienai krypčiai ir nebuvo jokių skirtingų lygių sankryžų. Vokietija planavo pastatyti per 4 000 km autostradų. 1942 m. buvo nutiesta 2 096 km autostradų. JAV taip pat autostradų statybos plėtrą grindė gynybos poreikiais. Vokietijos autostrados tapo visų tolesnių modernių kelių tiesimo pavyzdžiu. Automagistralė turi skiriamąją juostą ir priklausomai nuo jos pločio – aptvarus,

kurie avarijos atveju apsaugotų nuo įvažiavimo į priešpriešinę juostą. Susisiekimui tarp automagistralės ir kito kelio naudojamos įvažos ir nuovažos su greitėjimo arba lėtėjimo juostomis, kurios skirtos įvažiuoti arba išvažiuoti iš magistralės. Pirmoji nuo aplinkinių srautų atskirta automagistralė, sujungusi Frankfurtą ir Darmštatą (Vokietija), buvo atidaryta 1935 metais. Vokietijos kelių tinklas tapo šiandieninės Europos greitkelių tinklo dalimi (20.48 pav.).

JAV valstybinis kelių tinklas apima daugiau kaip 60 000 km, o penkios ilgiausios autostrados driekiasi rytų–vakarų kryptimi. Kiekvienos autostrados ilgis yra per 3 200 km. Senesnių kelių dangos storis 10–12,5 cm, naujų greitkelių – 22,5–25 cm. Neliko tiesioginių autostradų ir geležinkelių sankryžų. Autostrados kreivis, aukštis, matomumo nuotolis, nuokalnių ar įkalnių nuolydis priklausomai nuo leidžiamo važiuoti greičio buvo standartizuoti. Lygiame kelio ruože buvo leidžiama važiuoti 112 km/h greičiu, vingiuotose atkarpose – 96 km/h, kalvotose atkarpose – 80 km/h. Kelio nuolydis atitinkamai buvo 3, 4 arba 5 %. Mažiausias kelio juostos plotis buvo 3,65 metro.

Šiandien keleivių ir krovinių pervežimui greitkelių svarba nekelia abejonių. Jie labai pakeitė susisiekimą tarp urbanizuotų regionų. Plečiantis greitkelių tinklui plėtėsi netoli jų išsidėstę priemiesčiai ir jų gyventojų asmeninio transporto srautai. Greta greitkelių išaugo ekonominiai koridoriai. Pasireiškė ir neigiamas greitkelio poveikis aplinkai – padidėjo triukšmas ir oro tarša, atvirose vietovėse kyla grėsmė vietinėms augalų ir gyvūnų rūšims.



20.48 pav. Aštuonių eismo juostų greitkelis šalia Miuncheno (Vokietija) (Garching Bundesautobahn 9.jpg.)

Didžiausias pasaulyje greitkelių tinklas – apie 6,4 mln. km – yra JAV. Antras didžiausias pasaulyje greitkelių tinklas yra Kinijoje – jo bendras ilgis yra per 4 mln. km. Ilgiausias pasaulyje tarptautinis Panamerikos greitkelis (beveik 25 000 km) jungia Šiaurės ir Pietų Amerikos šalis. Ilgiausias valstybinis greitkelis yra 7 821 km ilgio Transkanados greitkelis – jis prasideda rytinėje Niufaundlando pakrantėje ir pasiekia Vankuverį Ramiojo vandenyno pakrantėje. Ilgiausia Australijos valstybinė magistralė, nutiesta žemyno pakrante, yra nutįsusi per 20 000 km. Judriausiu laikomas Kanados 401 greitkelis, juo per dieną vidutiniškai pravažiuoja 500 000 automobilių. Plačiausias pagal važiavimo juostų skaičių yra „Katy Freeway“ greitkelis Hiustone (JAV) – kai kuriose jo atkarpose yra 26 važiavimo juostos. Pakistaną su Kinija jungiantis Karakorumo kelias vietomis pakyla į 4 693 m aukštį.

Keliai yra Europos prekybos ir socialinės gerovės pagrindas (20.49 pav.). Nors vis daugiau dėmesio skiriama kitoms transporto rūšims (geležinkeliui,

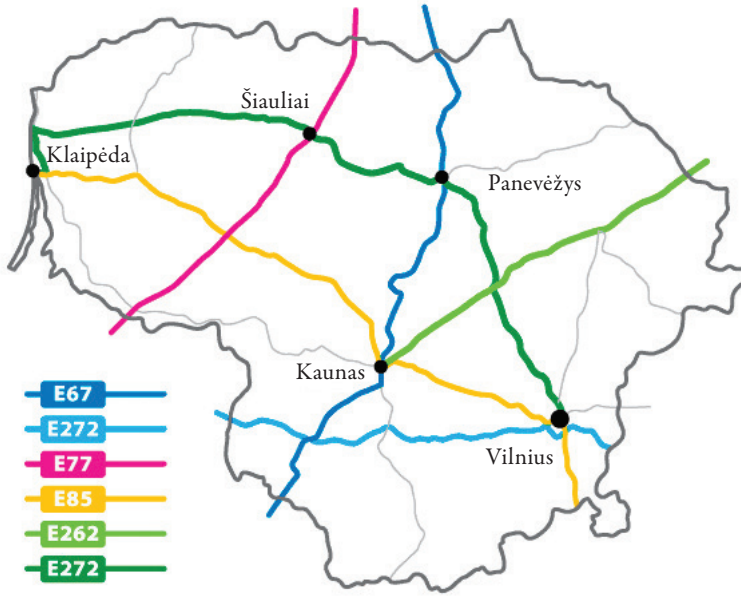


20.49 pav. Europos greitkelių tinklas, 2012 m. (pin/556053885219622367)

laivybai, visų rūšių viešajam transportui), keliais pervežama daugiausiai krovinių ir keleivių. Šiuolaikiniai greitkeliai trumpina kelionės trukmę, lengvina persėdimą į kitas transporto priemones, gali sukurti prielaidas atsirasti naujoms transportavimo kryptims. Dabartinė ekonomika ir visuomenė labai priklauso nuo kelių infrastruktūros efektyvumo. Eismo paslaugų paklausa visada viršija pasiūlą, todėl transporte neišvengiamai susiduriama su „butelio kaklelio“ efektu ir eismo spūstimis. Europos Sąjungoje keliais gabenama apie 44 % visų prekių, automobiliais ar autobusais važiuoja 85 % žmonių. Kaip ir visos inžinerinės konstrukcijos laikui bėgant keliai blogėja. Duobės, gilios provėžos keliuose susidaro dėl sunkiojo transporto, lietaus, transporto stabdymo, įvairių statybos darbų. Keliuose formuojasi plyšiai, provėžos ir duobės, danga sensta, joje kaupiasi drėgmė, todėl pasireiškia didesnis neigiamas šalčio poveikis.

Šiandien keliai ir jų statyba susiduria su dideliais iššūkiais – reikalaujama geresnės kelių kokybės, greitesnės ir pigesnės jų statybos ir priežiūros. Nuo kelio projektavimo ir statybos kokybės priklauso ir kelio ilgaamžiškumas. Intensyvėjant eismui kelių remontui skiriama vis mažiau laiko, todėl remonto darbai turi būti atlikti labai greitai, griežtai laikantis sudarytų ir skelbiamų grafikų. Aplinkos apsaugos reikalavimai (oro tarša, keliamo triukšmo lygis, natūralių žaliavų naudojimas) tampa vis griežtesni, kelių statytojai ir prižiūrėtojai turi jų paisyti. Europos kelių statybos koncepcijoje pirmenybė bus teikiama kelių transporto ekologiškumui. Nulinės taršos emisijos automobiliai, tyliai riedančios padangos, naujos triukšmą sugeriančios kelio dangos sumažins oro taršą ir triukšmo lygį. Ypatingas dėmesys skiriamas eismo saugumui. Gatvėse ir keliuose įrengiamos specialios juostos, teikiančios pirmenybę tam tikroms transporto rūšims, pvz., tolimojo susisiekimo transporto juostos, atskiros juostos autobusams ir dviračiams miestuose ir priemiesčiuose. Svarbiu reikalavimu tampa patogus ir prieinamas visų amžiaus grupių ir fizinių gebėjimų žmonių transportavimas.

Lietuvos greitkeliai jungia šalies sostinę Vilnių su Klaipėdos uostu ir Panevėžio miestu. Vilniaus–Klaipėdos greitkelio ilgis yra per 300 km. Kelias eina per antrąjį pagal dydį šalies miestą – Kauną (20.50 pav.). Vilniaus–Panevėžio kelio ilgis yra 135 km. Greitkeliuose yra keturios juostos (dvi juostos kiekvienu keliu), jos atskirtos žolės juosta ir saugos atitvarais. Didžiausias



20.50 pav. Svarbiausieji greitkeliai Lietuvoje (Lithuania-roads-(E) v2.png.)

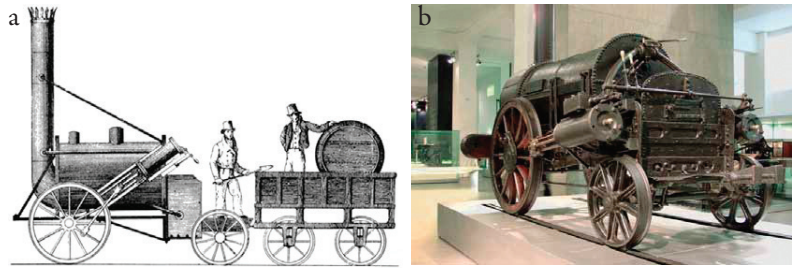
leistinas greitis – 130 km/h vasarą ir 110 km/h žiemą. Lietuva yra vienintelė Baltijos valstybė, turinti automagistrales.

Valstybinės reikšmės keliai skirstomi į magistralinius, krašto ir rajoninius. Vietinės reikšmės keliai skirstomi į viešuosius ir vidaus kelius. Bendras Lietuvos automobilių kelių tinklas siekia apie 70 tūkst. km. Valstybinės reikšmės keliai sudaro apie 21,3 tūkst. km, o vietiniai keliai – 59,7 tūkst. km.

21 SKYRIUS
GELEŽINKELIO TRANSPORTAS

Keliais, pagamintais iš medinių bėgių, arkliai vežimus ar vagonus traukė lengviau negu per pažliugusią žemę ar purvą. Šie vargani mediniai bėgiai buvo šiuolaikinių geležinkelių pradžia. Nuo 1776 m. medinius bėgius ir vežimų ratus pakeitė geležiniai ir vietoje senųjų transporto priemonių Europoje atsirado ir greitai paplito tramvajai. Tačiau net ir atsiradus tramvajams dar ilgai vežimus ar vagonus traukė arkliai. 1789 m. buvo suprojektuoti pirmieji vagonai su profiliuotais ratais. Dėl profiliuoto rato paviršiuje esančio griovelio ratas geriau sukibdavo su metaliniu bėgiu. Šis svarbus konstrukcinis elementas vėliau buvo perkeltas į lokomotyvus. Šiuolaikinio geležinkelio ir traukinių atsiradimui labai svarbiu riboženkliu buvo garo mašinų išradimas. Pirmąjį garinį variklį sukonstravo mechanikas Richardas Trevithickas. Garinis lokomotyvas buvo sukonstruotas ir išbandytas 1804 metais. Jis traukė 10 t krovinį ir dar 70 keleivių penkiuose vagonuose, 14 km kelią Merter Tidvilio mieste (Velsas) jis įveikė per beveik dvi valandas. 1825 m. pradėjo veikti pirmasis geležinkelis, kuriuo reguliariai buvo vežami kroviniai ir keleiviai. George'as Stephensonas 1815 m. sukonstravo pirmąjį geležinkelį ir garu varomą lokomotyvą, kuris maždaug 6,5 km/h greičiu traukė aštuonis vagonus, pakrautus 30 t akmens anglies. Pagal jo projektą 1825 m. buvo nutiesta pirmoji geležinkelio linija. 1829 m. nuo Mančesterio iki Liverpulio buvo nutiestas geležinkelis. Lokomotyvas traukė šešis pakrautus anglies vagonus ir 21 keleivinį vagoną su 450 keleivių maždaug 14,5 km/h greičiu.

D. Stephensonas laikomas pirmojo geležinkelių garo lokomotyvo išradėju. 1825 m. persikėlęs į Liverpulio-Mančesterio geležinkelio bendrovę, jis kartu su sūnumi Robertu sukonstravo (1826–1829) lokomotyvą „Rocket" (21.1 pav.). Traukinys galėjo vežti 4,5 t krovinį, jo didžiausias greitis buvo 40 km/h. Nors jis puikiai gabeno krovinius, tarp gyventojų buvo labai nepopuliarus, nes krovinius pervežantys žmonės manė, kad lokomotyvas juos išstums iš verslo. Greitai išryškėjo lokomotyvo patikimumo ir saugumo problemos. Lokomotyvas dažnai gesdavo, todėl kroviniai ir keleiviai



21.1 pav. D. Stephensono lokomotyvas „Rocket“: a – eskizas (Stephenson's Rocket drawing.jpg.), b – lokomotyvo vaizdas (StephensonRocketScienceMuseumLondonJan2008.jpg.)

vėluodavo. Dėl blogų kelių ir silpnų tiltų dažnai įvykdavo nelaimingi atsitikimai, susižeisdavo žmonės. Kita problema buvo netobula geležinkelio konstrukcija: jis turėjo tik vieną kelio juostą, ne dvi, todėl traukiniai galėjo susidurti. Lokomotyvai skleidė juodus dūmus, iš jų kamino lėkdavo karšti pelenai ar mažos žarijos, kurios gadindavo keleivių drabužius, galėjo sukelti šalia geležinkelio esančių pastatų gaisrą. Transportui lokomotyvas buvo būtinas, tačiau dėl daugelio trūkumų jis nebuvo mėgstamas. Pirmasis savarankiškai suprojektuotas garo lokomotyvas „Beuth“ buvo pastatytas 1841 m. Vokietijoje. Seniausias, pagamintas 1860 m., nuolat dirbantis garo variklis GKB 671 yra Austrijoje. Jis iki šiol naudojamas specialioms ekskursijoms.

Milžinišką reikšmę geležinkelių tiesimas turėjo JAV ūkio raidai. Pulkininkas Johnas Stevensas yra laikomas Amerikos geležinkelio tėvu – 1815 m. jam buvo suteikta pirmoji geležinkelio licencija Šiaurės Amerikoje. 1830 m. buvo nutiesta pirmoji linija, o po dvidešimties metų geležinkelių ilgis jau siekė 15 tūkst. kilometrų. Peteris Cooperis 1830 m. suprojektavo ir pastatė pirmą amerikietišką garo lokomotyvą. Bendros paskirties lokomotyvas buvo pavadintas „Tom Thumb“. Miegamąjį vagoną ir vagoną-restoraną 1857 m. sugalvojo George'as Pullmanas. Nuo 1830 m. Amerikos geležinkeliuose buvo naudojami miegmaišiai, kurie keleiviams buvo nepatogūs, todėl miegamieji geležinkelio vagonai greitai paplito ne tik JAV, bet ir Europoje. XIX a. 4-ajame dešimtmetyje geležinkeliai atsirado Austrijoje, Belgijoje, Vokietijoje, Prancūzijoje ir Rusijoje. Pirmoji geležinkelio

linija Šveicarijos teritorijoje tarp Strasbūro ir Bazelio atidaryta 1844 metais. 1850–1870 m. geležinkeliai pradėti tiesti Azijoje, Afrikoje, Pietų Amerikoje ir Australijoje. Prie bėgių transporto dar priskiriami tramvajai, metro ir funikulieriai.

Po Pirmojo pasaulinio karo geležinkelių plėtra sulėtėjo, nes ją labai paveikė kitų transporto rūšių konkurencija. Europoje geležinkeliai išlaikė savo išplėtotą keleivių ir krovinių vežimo infrastruktūrą, tačiau kitur pasirinktas arba keleivių, arba krovinių pervežimas, ir tai priklausė nuo motorinių transporto priemonių, kelių ir greitkelių bei oro linijų plėtros. Komercinėje aviacijoje atsiradus dideliais atstumais skrendantiems keleiviniams lėktuvams, geležinkeliui liko krovinių pervežimas.

Garo varomi lokomotyvai greitai tobulėjo, buvo paprastos konstrukcijos, didelės galios ir tiko greitam krovinių ir keleivių pervežimui. 1938 m. D. Britanijoje pagamintas lokomotyvas „Mallard“ pasiekė 206 km/val. greitį. Tai buvo didžiausias garo lokomotyvų, gamintų nuo 1829 m., pasiekimas. Termodinamikos požiūriu garo mašinos efektyvumas priklauso nuo darbinės medžiagos (garo, oro ir kt.) temperatūros prieš ir po panaudojimo. 1824 m. Nicolas Carnot nustatė, kad teorinis didžiausias šiluminio variklio naudingumo koeficientas yra lygus temperatūros skirtumą tarp karšto ir šalto rezervuaro padalijus iš karšto rezervuaro absoliučios temperatūros. Geležinkelio lokomotyvų naudingumo koeficientas niekada nebuvo didesnis negu 8 %. Nuo 1935 m. JAV geležinkeliuose anglimi kūrenamus garvežius keitė dyzelinu kūrenami garvežiai ir elektros varikliai.

Pirmasis dyzelinis variklis visuomenei pristatytas Vokietijoje 1897 metais. Jo pasiekiamas 26 % naudingumo koeficientas atrodė stulbinantis. Pirmojo variklio galia buvo 14,7 kW. Tuo metu garo varomos mašinos pasiekdavo vos 12 % naudingumo koeficientą. Pirmieji dyzeliniai vidaus degimo varikliai geležinkelių transportui buvo mažai tinkami. Variklių naudingumo koeficientas buvo mažas, o jų galios ir svorio santykis lokomotyvams netiko. Neaukštos apsukos, didelis oro kompresorių, naudojamų kuro įpurškimo sistemose, svoris ribojo pirmųjų dyzelinių variklių naudojimą geležinkeliuose. „General Motors“ pagamino pirmą geležinkeliams tinkamą dyzelinį variklį. Charlesas Ketteringas 1930 m. išrado dvitaktį dyzelinį variklį, kuris 1940–1950 m. tapo svarbiausia geležinkelio traukos priemone. Šiandien

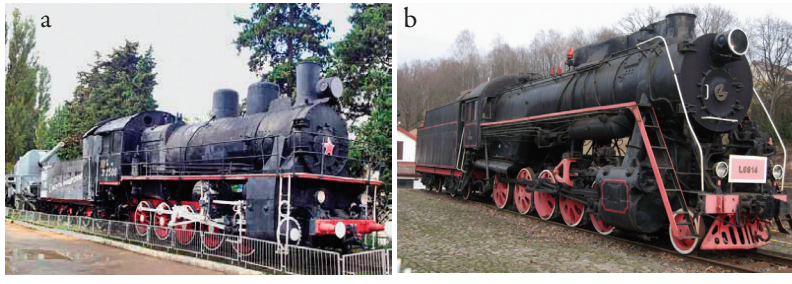
gaminami dviejų ir keturių taktų dyzeliniai varikliai. Keturių taktų varikliuose, kaip ir pirmajame dyzeliniame variklyje, pirmojo takto metu judėdamas žemyn stūmoklis į cilindrą įsiurbia orą. Antrojo takto metu stūmoklis suspaudžia orą, įpurškiamas kuras ir kuro mišinys užsidega. Trečiojo takto metu degantis kuro mišinys stūmoklį spaudžia žemyn ir šis perduoda judesį alkūniniam velenui. Ketvirtojo takto metu stūmoklis kyla į viršų, išstumdamas iš cilindro proceso metu susidariusius degimo produktus. Dviejų taktų varikliuose viskas vyksta vos dviem judesiais. Pirmojo takto metu stūmoklis juda cilindre į viršų. Pro įleidimo sklendes, esančias virš stūmoklio grįžimo taško, kompresorius įpučia švarų orą. Tuo pat metu prie cilindro galvutės atsidaro vožtuvai sudegusio kuro dujoms išmesti. Stūmokliui pasiekus viršutinį tašką, vožtuvai užsidaro ir įpurškiamas dyzelinis kuras. Įpurškimo metu kuras užsidega, slėgis stūmoklio kameroje padidėja ir stumia stūmoklį žemyn. Šio proceso metu stūmoklis perduoda judesio momentą alkūniniam velenui. Šiuolaikiniuose dviejų taktų varikliuose pasiekiamas 180 barų slėgis yra šešis kartus didesnis už Rudolfo Dieselio pasiektą slėgį pirmajame variklyje. Ch. Ketteringo dyzelinis variklis buvo pagamintas iš chromu, manganu ir siliciu legiruoto plieno, kuris dar labiau sumažino variklio svorį. Kiekvienas jo aštuonių cilindrų dviejų ciklų variklio cilindras išvystydavo 75 arklio jėgų galią, tai yra galios ir svorio santykis buvo 1:10. Dyzelinis variklis negalėjo tiesiogiai sukti lokomotyvo ratų, vietoj to variklis suko nuolatinės srovės elektros generatorių. Nuolatinės srovės varikliai ne tik suko lokomotyvo ratus, traukinio stabdymo metu jie iš variklio „pavirsdavo“ generatoriumi ir veikdavo kaip papildomas traukinio stabdys. Toks stabdymas būdavo tolygesnis, be to, mažiau susidėvėdavo stabdžių trinkelės. Lokomotyvai, varomi dyzelinių variklių (vadinamieji šilumvežiai), išstūmė garvežius ir yra pagrindinė lokomotyvų rūšis neelektrifikuotuose geležinkelių ruožuose.

Antrojo pasaulinio karo metu geležinkeliai buvo gyvybiškai svarbūs pervežant kariuomenę, įrangą ir krovinius į priekines linijas, dažnai evakuojant ištisas gamyklas ir gyvenvietes. Besitraukdami vokiečiai Rytų fronto teritorijose paliko daug lokomotyvų BR-52 („Kriegslokomotive“ 2-10-0). Šis lokomotyvas buvo sukurtas ir naudojamas Vokietijos transportavimo reikmėms Antrojo pasaulinio karo metu (21.2 pav.).



21.2 pav. Vokiečių garinis lokomotyvas „BR-52“ (052 740-8 in Mayen 20060520.jpg.)

Lokomotyve buvo apie 5 000 atskirų detalių; gamybos karo metu supaprastinimui apie 2 000 detalių buvo suprojektuotos specialiai. „BR-52“ rėmas buvo pagamintas iš 30 mm storio plieninės plokštės. Vieno lokomotyvo gamybai reikėjo sugaišti apie 11 650 darbo valandų. Lokomotyvas su kuro ir vandens tenderiu svėrė 139 tonų. Karo metu buvo pagaminta apie 6 000 „BR-52“, tačiau lokomotyvo konstrukcija buvo tokia sėkminga, kad dar keli šimtai lokomotyvų buvo pagaminti jau karui pasibaigus. Tai buvo didžiausias Vokietijos geležinkelių istorijoje pagamintų vieno tipo lokomotyvų kiekis. Po karo pabaigos Sovietų Sąjungoje liko apie 2 700 šių lokomotyvų (21.3 pav.).



21.3 pav. Gariniai lokomotyvai: a – Antrojo pasaulinio karo šarvuotojo traukinio lokomotyvas „El-2500“ (Sevastopolio karinis istorinis muziejus-draustinis), b – LTG Infra lokomotyvas Kauno geležinkelio stotyje (2019 m. lauko ekspozicija, A. V. Valiulio nuotr.)

Dalis lokomotyvų turėjo standartinio pločio (1 435 mm) bėgių vėžę ir buvo naudojami Baltijos šalyse ir kaimyninėse valstybėse, likusieji buvo plačios bėgių vėžės (1 524 mm), dar vadinamos rusiška arba imperine vėže. Po karo Sovietų Sąjungai reikėjo veiksmingesnių krovinių pervežimo lokomotyvų. 1945–1955 m. buvo pagaminta 4200 „L“ serijos lokomotyvų, kurių didžiausias greitis siekė 90 km/h. Šie krovinių pervežimui skirti lokomotyvai buvo labai paklausūs ir sudarė strateginį Sovietų Sąjungos geležinkelio lokomotyvų rezervą. Pokario gamybos „žvaigždė“ – greitiesiems keleiviniams traukiniams skirtas lokomotyvas. Šis lokomotyvas pasižymėjo ne tik elegantišku dizainu, jis galėjo traukti sunkius greituosius traukinius didžiausioje pagal plotą pasaulio šalyje. 1950–1956 m. buvo pagamintas 251 lokomotyvas. Lokomotyvas, be 12-os ratų pakabos, svėrė 133 tonas. Jo kaitinimo grotelių plotas buvo 6,75 m^2, šildomo paviršiaus plotas – 243 m^2, garų kaitintuvo paviršiaus plotas – 132 m^2, katilo darbinis slėgis – 15 atmosferų. 1 850 mm skersmens ratus suko tik du 575 × 800 mm garo cilindrai. Lokomotyvo galia buvo 2 265 kW, o didžiausias greitis – 125 km/h. Garo lokomotyvų šilumos naudingumas buvo 9,22–9,25 %. 1956 m. garo lokomotyvų gamyba Sovietų Sąjungoje buvo sustabdyta – nuspręsta geležinkelyje pereiti prie dyzelinių ir elektros variklių traukos lokomotyvų.

JAV garo lokomotyvai negaminami jau nuo 1950 metų. Europos transporto infrastruktūra Antrojo pasaulinio karo nebuvo sunaikinta, todėl pokariniu laikotarpiu buvo tobulinamos ankstesnės keleivinių traukinių konstrukcijos. Skirtingai nuo Europos šalių, japonai suprato, kad konkuruodami su aviaciniais ir automobiliniais keleivių ir krovinių pervežimais, ypač mažu ir vidutiniu atstumu, geležinkeliai turi keistis.

Europoje įprasčiausias individualių asmenų susisiekimo būdas yra automobiliai – iš dalies dėl jų patogumo vykstant į netolimas kaimo vietovėse, kai nėra kitų galimybių. Šiai transporto priemonei tenka beveik 74 % viso nuvažiuoto atstumo. Antroje vietoje yra aviacija (8 %), toliau – miesto ir tarpmiestiniai autobusai (panaši procentinė dalis), geležinkeliai (6 %) ir variklinės dviratės transporto priemonės, tramvajai bei metro. Paskutinėje vietoje yra jūrų transportas (mažiau kaip 1 %).

Geležinkelių transporte, konkuruojančiame su kelių bei oro transportu, atsirado nauja geležinkelių rūšis – supergreitieji geležinkeliai, skirti

keleiviams vežti. Iš pradžių traukiniai važiuodavo iki 160 km/h greičiu, tačiau šiuo metu supergreitųjų linijų traukiniai važiuoja 260 km/h ir didesniu greičiu. Didžiausias greitis pasiektas 1990 m. Prancūzijoje – 515 km/h. 1960 m. prasidėjusi Japonijos nacionalinių geležinkelių greitojo geležinkelio plėtra vėl grąžino susidomėjimą keleiviniais traukiniais. Nauji traukiniai, vadinami „Shinkansen“ (kulkinis traukinys), buvo labai aerodinamiški, juose panaudotos aukštosios technologijos sujungė į visumą kelius ir traukinius. Galingi elektriniai varikliai, aprūpinami elektra iš išorinių tinklų, išstūmė iš geležinkelių sunkiasvorius dyzelinius lokomotyvus, specialiai suprojektuoti bėgiai ir kelio danga nuolat stebimi kompiuteriu. Supergreitųjų traukinių liniją tarp Tokijo ir Osakos Japonija atidarė 1964 metais. 1990 m. buvo pasiektas net 443 km/h greitis. 1991 m. Vokietijoje buvo atidarytos pirmosios supergreitųjų traukinių linijos Hanoveris–Viurcburgas (327 km) ir Manheimas–Štutgartas (99 km), nuo to laiko ši transporto rūšis tobulėja itin sparčiai. 1988 m. bandymų metu pasiektas 407 km/h greitis. Pagal 1985 m. Prancūzijos, Belgijos, Olandijos ir Vokietijos susitarimą nutiesta supergreitųjų geležinkelių linija tarp Paryžiaus, Briuselio, Kelno ir Amsterdamo. 1976 m. buvo parengta pirmoji Prancūzijoje supergreitųjų geležinkelių linija Pietūs–Rytai tarp Paryžiaus ir Liono. Traukinių greitis joje siekia 350 km/h. 1981 m. prancūzų greitieji traukiniai „TGV“ pasiekė 380 km/h greitį, iki 1989 m. jų greitis siekė 400 km/h. Bandomi traukinių prototipai trumpoje atkarpoje jau pasiekė ar viršijo 500 km/h greitį. Italijoje greitojo geležinkelio linija Roma–Florencija atidaryta 1996 m., traukinių greitis 250 km/h. Australija stato supergreitųjų traukinių liniją tarp Sidnėjaus ir Kanberos, traukinių greitis 350 km/h. Kinijoje 2011 m. pradėtas greitųjų traukinių eismas tarp Pekino ir Šanchajaus, P. Korėjoje – tarp Seulo ir Pusano miestų. Nuo 2009 m. maršrutu Maskva–Sankt Peterburgas (Rusija) važinėja greitasis traukinys, galintis išvystyti 250 km/h greitį ir vežti iki 600 keleivių. 2018 m. Indija pradėjo statyti greitąjį geležinkelį (320 km/h) tarp Mumbajaus ir Ahmedabado miestų. Visas geležinkelio ruožas drieksis 508 km, iš jų 21 km bus visiškai po vandeniu. Iš viso pasaulyje yra daugiau kaip 5 tūkst. kilometrų naujų supergreitųjų geležinkelių linijų ir daugiau kaip 11 tūkst. kilometrų rekonstruotų į supergreituosius geležinkelius. JAV – labai automobilizuota ir oro erdvę intensyviai išnaudojanti valstybė – taip pat peržiūri savo transporto politiką ir diegia supergreituosius geležinkelius. Visgi

net ir greitajam geležinkeliui sunku konkuruoti su oro transportu. 2005 m. pradėjęs skraidyti keleivinis lėktuvas „A-380“ ekonomine klase gali skraidinti daugiau kaip 800 keleivių. Skrydžio nuotolis – 15 000 km.

Siekiant supergreituosiuose geležinkeliuose 500 km/h ir didesnio važiavimo greičio, reikia visiškai pašalinti trinties pasipriešinimą, kurio neišvengė visi traukiniai, pradedant „Rocket“ lokomotyvu. Kaip alternatyva greitųjų geležinkelių transportui, pagrįstam tradicine profiliuoto rato ir bėgio sąveika, susidomėta *magnetinės levitacijos*, arba „maglev“ technologija. Iš pradžių praktiniam šios idėjos taikymui stigo lėšų, dėmesio, būta saugos problemų, be to, visuomenę tenkino tradiciniai greitieji traukiniai. „Maglev“ traukinys – magnetinės levitacijos principu virš kelio besilaikantis traukinys, neliečiantis bėgių. Tokiu būdu ženkliai sumažinama traukinio trintis ir pasiekiamas labai didelis greitis. Dabartinėse elektromagnetinių pakabų (EMS) sistemose traukinio važiuoklė apglėbia specialų bėgį, o galingo magneto trauka pritraukia jį prie bėgio taip, kad apačioje lieka tik apie 10 mm tarpelis ir traukinys pakimba ore. Varomosios jėgos ir stabdymas valdomi keičiant linijinio variklio sistemos dažnį ir įtampą.

Idėja, kad traukinys gali būti pakeltas virš kelio ir varomas magnetinėmis priemonėmis, kilo vokiečių mokslininkams dar 1930 metais. Antrasis pasaulinis karas šiuos planus nutraukė, tačiau idėja išliko. Vis dėlto ne Vokietija sukūrė šią transporto priemonę. 1973 m. amerikietis Henry'is H. Kolmas pagamino „maglev“ prototipą *magneplaną*. Vokietija 1970-ųjų pabaigoje sukūrė kelis „maglev“ prototipus ir 1978 m. išbandė keleivinį „maglevą“, kuris (be keleivių) pasiekė 500 km/h greitį. 1979 m. žmogaus nevaldomas „ML-500R“ „maglev“ traukinys Japonijoje pasiekė 504 km/val. greitį, t. y. pirmą kartą pasaulyje transporto priemonė viršijo 500 km/val. greitį. 2015 m. 7 vagonų „Shinkansen L0“ traukinys pasiekė 603 km/val. greitį. Nepaisant dešimtmečiais vykstančių tyrimų ir plėtros darbų, pasaulyje komercinei veiklai naudojamos tik dvi „maglev“ traukinių linijos. 2004 m. pradėtas naudoti Šanchajaus Pudongo tarptautinio oro uosto linijos traukinys (30,5 km), 2005 m. Japonijoje atidaryta 8,9 km ilgio „Linimo“ linija, 2016 m. atidaryta 6,1 km ilgio „maglev“ traukinių linija Pietų Korėjos sostinėje Seule (traukinio greitis 110 km/h). Vokiečiai sukūrė „Transrapid 06“ „maglev“ traukinį, galintį važiuoti 500 km/h greičiu ir vežti 200 žmonių.

Vokietija siekia tapti pirmąja šalimi pasaulyje, pradėsiančia naudoti vandeniliu varomus keleivinių traukinių lokomotyvus, kurių išmetalai tebus garas ir vanduo. Vienu pripildytu baku traukinys galės nuvažiuoti 600–800 km. Energijos sistemos lankstumą užtikrins ličio jonų baterijos, kuriose bus kaupiama energija. Trasoje bus reikalinga vandenilio tiekimo infrastruktūra. Šio kuro naudojimą skatina ir tai, kad vandenilį galima gauti iš chemijos įmonių, kur šis elementas gaunamas kaip pašalinis produktas. Panašūs projektai jau įgyvendinti Didžiojoje Britanijoje, JAV, Danijoje, Japonijoje, Vokietijoje, Indijoje, Kinijoje ir Pietų Amerikoje. Vandeniliu varomų lokomotyvų gamybą planuojama pradėti ir Latvijoje.

GELEŽINKELIAI LIETUVOJE

Lietuvos geležinkelių pagrindinį tinklą sudaro 1 796 km ilgio, 1 520 mm pločio vėžės geležinkelis; 150 km geležinkelio yra elektrifikuota (21.4 pav.). Taip pat eksploatuojama 115 km ilgio standartinės (1 435 mm) vėžės atkarpa (Mockava–Kaunas). Privažiuojamųjų kelių bendras ilgis siekia 227 km. Rekreacijos tikslais naudojamo 750 mm pločio vėžės Panevėžio–Anykščių geležinkelio bendras ilgis 179 km. Jis įvardijamas kaip kultūros paveldo objektas.

1851 m. Rusijos carinė vyriausybė priėmė sprendimą nutiesti Sankt Peterburgo–Varšuvos geležinkelio liniją, kurios ilgis – apie 1 250 kilometrų. Statyba buvo baigta 1862 metais. 1858 m. gegužės mėn. pradžioje Vilniaus apylinkėse buvo pradėta 19 km ilgio ruožo statyba. Pirmasis traukinys iš Daugpilio (Latvija) atvyko į Vilnių 1860 m. rugsėjo 16 d. Traukinių eismas iš Sankt Peterburgo per Vilnių į pasienio stotį su Prūsija – Virbalį – atidarytas 1862 m. kovo 15 d. Geležinkelio atkarpa nuo Lentvario iki Varšuvos buvo užbaigta 1862 m. gruodžio mėn., o reguliarus eismas iš Sankt Peterburgo į Varšuvą prasidėjo 1862 m. gruodžio 15 d. Pirmieji Sankt Peterburgo–Varšuvos geležinkelio garvežiai buvo pagaminti Anglijoje (1857 m. Mančesteryje), Prancūzijoje (1860 m. Paryžiuje) ir Belgijoje (1862 m.). Tai buvo „G“ serijos 0-6-0 aširačių formulės garvežiai, jie turėjo du cilindrus ir svėrė 30–32 tonas. Per abu pasaulinius karus geležinkelis iš dalies buvo sunaikintas. 1873 m. viešam naudojimui buvo atidaryta Vilniaus–Minsko



21.4 pav. Lietuvos geležinkelių tinklas, 2013 m.

geležinkelio atkarpa. 1872 m. pradėtas tiesti Mažeikių–Jelgavos geležinkelio ruožas keleivių ir prekių pervežimui pradėtas naudoti 1873 metais. Nutiesti ir kiti svarbūs kelio ruožai: Liepoja–Kaišiadorys (atidarytas 1871 m.), Radviliškis–Daugpilis (1873 m.), Vilnius–Lyda (1884 m.), Varėna–Alytus–Šeštokai–Suvalkai (1899 m.).

Pirmojo pasaulinio karo (1916–1918 m.) metu Vokietijos karinės valdžios institucijos 1916 m. baigė Lauksargių–Šilėnų liniją (124,4 km) ir pradėjo statyti Šiaulius–Joniškį– Jelgavą jungiantį kelią. Kelių tiesimas baigtas 1916 metais.

XX a. 8 dešimtmetyje Lietuvoje dar buvo galima išvysti garvežių įvairiose geležinkelio atkarpose. Lietuvoje važinėjo šių markių garvežiai: „L“, „TE“ (vokiški) ir „SO17“. „L“ serijos garvežiai buvo masiškai gaminami Sovietų Sąjungoje 1946–1955 metais. Garvežys svėrė 106 tonas. Serija pavadinta

konstruktoriaus L. C. Lebediansko garbei. Prekinis garvežys „TE-52“ (vokiškas žymėjimas „DRB-52“) gamintas karo reikmėms. Jo tenderyje tilpo 10 t kuro ir 32 m^3 vandens. Garvežio kabinos ir tenderio jungtį dengė brezentas. Garvežio greitis 80 km/h. Lietuvoje važinėjęs garvežys buvo pagamintas 1942 m. Austrijos „Lokomotivfabrik Wien-Florisdorf“ gamykloje (21.3, b pav.). Per Antrąjį pasaulinį karą Rytų frontui Europos gamyklose buvo pagaminta daugiau nei 6 700 „DRB-52“ serijos garvežių. Garvežiai buvo gaminami 1 435 mm pločio vėžei. Sovietų Sąjungoje jų važiuoklė buvo pritaikoma 1 524 mm vėžei. Šios serijos garvežiai Sovietų Sąjungoje buvo gaminami pagal vokišką „BR-52“ „Kriegslokomotive“ supaprastintos konstrukcijos pavyzdį. „SO17“ pats seniausias ir, beje, ilgiausiai naudotas garvežys (ašies apkrova 17 t). „SO“ serijos garvežiai buvo pirmieji sovietiniai garvežiai. Serijos pavadinimas buvo suteiktas sovietų valstybės ir partijos veikėjo Sergo Ordžonikidzės garbei. Garvežių naudingumo koeficientas, atsižvelgiant į naudojamo kuro rūšį, siekė tik 0,04–0,09, todėl 1956 m. Sovietų Sąjungoje garvežių gamyba nutraukta.

Nepriklausomos Lietuvos laikotarpiu (1918–1940 m.) Lietuvos geležinkeliams priklausė 943 km kelių, šeši lokomotyvai, 15 keleivinių ir 57 krovininiai vagonai (išnuomoti iš Vokietijos). 1923 m. baigus geležinkelio ruožą Šeštokai–Kazlų Rūda, Kazlų Rūda buvo sujungta su Marijampole (21.5 pav.). 1926 m. baigtas statyti geležinkelio ruožas Kužiai–Telšiai, o 1932 m. – Telšiai–Kretinga.



21.5 pav. Marijampolės geležinkelio stoties pastatas, pastatytas 1924 m. (Marijampolės Geležinkelio stotis.jpg.)

Vienas svarbiausių Lietuvos geležinkelių plėtros darbų buvo Vilniaus–Kauno ir Lentvario–Trakų linijų elektrifikavimas. 1975 m. iš Vilniaus į Kauną atvyko pirmasis elektrinis traukinys. 1972–1975 m. į plačiąją vėžę (1520 mm) rekonstruota geležinkelio linija tarp Švenčionėlių ir Utenos. 1982 m. pastatyta nauja Radviliškio–Pakruojo

geležinkelio linija, nutiesta geležinkelio atšaka nuo Adutiškio į Didžiasalį (šiuo metu išardyta) (21.4 pav.). 1979 m. baigėsi garo lokomotyvų era, jie pakeisti dyzeliniais lokomotyvais. 2017 m. pradėta statyti 1 435 mm vėžės pločio „Rail Baltica“ geležinkelio linija nuo Lenkijos-Lietuvos valstybinės sienos (per Kauną) iki Lietuvos-Latvijos valstybinės sienos. „Rail Baltica“ yra geležinkelio transporto projektas, turintis sujungti Varšuvą per Kauną ir Rygą su Talinu bei keltu ar tuneliu – su Helsinkiu. Projekto tikslas – integruoti Baltijos šalis į Europos geležinkelių tinklą. Projektą planuojama užbaigti 2026 metais. „Rail Baltica“ trasoje keleiviniai traukiniai važiuos 249 km/h, o krovininiai traukiniai – 120 km/h greičiu. 2016 m. baigtas ruožo (28,6 km) N. Vilnia–Lietuvos-Baltarusijos valstybinė siena elektrifikavimas. Įrengta kontaktinio tinklo sistema leis elektrifikuotu ruožu traukiniams važiuoti 160 km/h greičiu. Planuojama antrojo kelio statyba ruože Telšiai–Lieplaukė, ruožų Kaišiadorys–Radviliškis ir Radviliškis–Klaipėda elektrifikavimas. Ateityje Lietuvoje bus elektrifikuota visa IX tarptautinio transporto koridoriaus dalis – nuo sienos su Baltarusija iki Klaipėdos. Geležinkelio atkarpoje Kyviškės–Valčiūnai (24,5 km) vietoje esamo vienkelio bus nutiestas dvikelis geležinkelis, kuris leis sklandžiau ir greičiau gabenti tranzitinius krovinius Kauno ir Klaipėdos kryptimis (21.6 pav.).

Nuo 2008 m. automotrisių tipo traukiniai naudojami nedideliems keleivių srautams pervežti (21.7 pav.).



21.6 pav. Vilniaus geležinkelio krovinių stotis, 2013 m.



21.7 pav. Geležinkelio automotrisė

Siaurasis geležinkelis Lietuvoje pradėtas tiesti XIX a. paskutiniajame dešimtmetyje. Jo paskirtis buvo atvežti krovinius ir keleivius prie plačiojo geležinkelio. Siaurojo geležinkelio statyba buvo techniškai paprastesnė ir pigesnė. 1895 m. pirmoji 71 km siaurojo geležinkelio atkarpa sujungė Švenčionėlius (Peterburgo–Varšuvos plačiojo geležinkelio stotį) su Pastovio miestu (Baltarusija), o Švenčionėlių–Panevėžio ruožas 1898 m. sujungė kitas plačiojo geležinkelio atšakas. Siaurojo geležinkelio traukinius traukė Suomijoje, Lenkijoje, Čekoslovakijoje pagaminti garvežiai. Anykščių siauruko pradžia laikomi 1899 m.: tais metais rugsėjo 28 d. pro Anykščius pravažiavo pirmasis traukinys, traukiamas garvežio. 1901 m. pradėjo veikti Anykščių geležinkelio stotis. Atidarymo metu siaurojo geležinkelio linija turėjo 15 garvežių, 112 krovininių, 58 įvairaus tipo keleivinius ir 6 pašto vagonus bei 154 krovinines platformas. Siaurasis geležinkelis pakilimą išgyveno tarpukariu, kai buvo plačiai naudojamas įvairiose ūkio šakose (vežė javus, kvarcinį smėlį, vietinių įmonių gaminius). Lietuvos geležinkelių užsakymu 1932 m. „Škodos“ gamykloje Pilzene (Čekoslovakija) buvo suprojektuotas ir pagamintas keleiviniams vagonams traukti „Tk“ serijos garvežys (21.8, a pav.) – modernus, 35 t svorio, pritaikytas standartinei geležinkelio vėžei (1 435 mm). Šie garvežiai važiavo maršrutu Pagėgiai–Radviliškis–Obeliai ir galėjo pasiekti 90 km/h greitį. 1929–1940 m. traukiniai per Anykščius važiuodavo keletą kartų per dieną. XX a. I pusėje siaurasis geležinkelis buvo pagrindinė transporto priemonė

Aukštaitijoje, pervežanti ir keleivius, ir krovinius. Atvykę iš Vilniaus plačios vėžės geležinkeliu į Švenčionėlius ir kelias valandas palaukę stotyje, paryčiui keleiviai pajudėdavo siauruoju geležinkeliu Utenos ir Panevėžio link. Vėliau, pradėjus kursuoti tarpmiestiniams autobusams, atsiradus kitokiam automobiliniam transportui, įprastos siaurojo geležinkelio funkcijos ėmė silpti. Nuo 1957 m. garvežius keitė šilumvežiai. 1996 m. buvo uždarytos geležinkelio atšakos į šiaurę nuo Panevėžio. 2001 m. siaurasis geležinkelis nustojo veikti ir kaip keleivinė susisiekimo priemonė. Lietuvoje yra 179 km ilgio siaurojo geležinkelio (vėžės plotis 750 mm) tinklas. 2001 m. nuo jo buvo atskirtas 68 km ilgio ruožas ir įkurta įmonė „Aukštaitijos siaurasis geležinkelis“, aptarnaujantis penkias stotis (21.8 pav.). 1996 m. Aukštaitijos siaurojo geležinkelio kompleksas įrašytas į LR nekilnojamųjų kultūros vertybių registrą.

Siekiant didesnio Lietuvos geležinkelių konkurencingumo integruojantis į Europos transporto paslaugų rinką, iškilo būtinybė pertvarkyti geležinkelius. Per Lietuvą eina du Europos multimodalinio geležinkelio transporto koridoriai: I koridorius (Varšuva–Šeštokai–Kaunas–Šiauliai–Talinas– Helsinkis) su atšaka (Šiauliai–Pagėgiai–Tilžė–Karaliaučius) ir IX koridorius (vakarų–rytų kryptis) su IXB atšaka (Klaipėda–Vilnius–Minskas–Kijevas) ir IXD atšaka (Kaišiadorys–Kaunas–Karaliaučius). Galimos dvi supergreitojo geležinkelio įrengimo alternatyvos Lietuvoje. Vyrauja nuomonė, jog tikslingiausia šį geležinkelį tiesti nuo valstybės sienos su Lenkija iki Kauno.



21.8 pav. Siaurasis geležinkelis Lietuvoje: a – „Tk“ serijos siaurojo geležinkelio garvežys (Siaurojo geležinkelio muziejaus ekspozicija Anykščiuose, Kristinos Kiaušaitės nuotr.), b – 750 mm pločio vėžės Anykščių siaurojo geležinkelio stotis (Aloyzo Jonušio nuotr.)



21.9 pav. Tiesinių ir kreivinių geležinkelio iešmų gamyba Vilnius įmonėje UAB „Voestalpine VAE Legetecha“, 2013 m.

Kitas variantas – nuo Šeštokų, per Alytų ir Varėną iki Vilniaus. Pradinis važiavimo greitis būtų 160 km/h, ateityje jis turi gerokai didėti.

Šalia Vilniaus įsikūrusi Lietuvos ir Austrijos bendrovė UAB „Voestalpine VAE Legetecha“ gamina geležinkeliams skirtą produkciją, tiekia surinktus iešmus, smailes, kryžmes ir izoliuotąsias sandūras Lietuvos bei užsienio geležinkelių kompanijoms (21.9 pav.). Geležinkelio infrastruktūroje iešmai yra labai svarbūs, todėl konstruojami ir gaminami laikantis aukščiausių kokybės ir saugumo reikalavimų. Lietuvoje pagaminti iešmai keliauja į Ispaniją, Italiją, Lenkiją, Austriją, Šveicariją, Vokietiją, JAV, Australiją, Pietų Afrikos Respubliką (21.10 pav.).



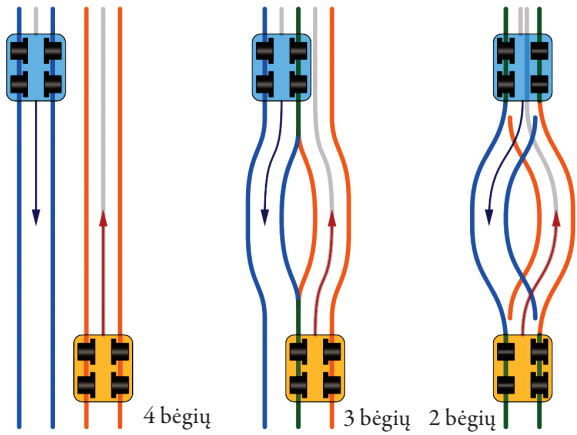
21.10 pav. Geležinkelio linijų sankirta, Čikaga (CTA loop junction.jpg.)

BĖGINIAI FUNIKULIERIAI

Funikulierius, arba lyninis keltuvas, – trumpas geležinkelis su lynine traukle, įrengiamas stačiuose šlaituose keleiviams vežti. Lyno tempiami vagonai važiuoja bėgių keliu (21.11 pav.). Dažniausiai priešpriešiais juda du vagonai. Žemyn važiuojantis vagonas dalį savo potencinės energijos lynais perduoda kylančiam į viršų vagonui, taip sumažindamas sistemos veikimui reikalingą energijos kiekį.

Pirmą kartą funikulierius užregistruotas 1515 m. Austrijoje. Iš pradžių kanapine virve traukiami vagonai riedėjo mediniais bėgiais, vagonui traukti buvo naudojama žmonių ar gyvulių jėga. Pirmuoju Anglijos medinių bėgių funikulieriumi (1606 m.) buvo gabenama anglis į Severno upėje plaukiojančias baržas. XVIII a. funikulieriai buvo upių baržų pagalbininkai – jie padėdavo baržoms įveikti staigius pakilimus ar nusileidimus. Miestuose veikiantys šiuolaikiniai funikulieriai atsirado 1860 metais. 1862 m. atidaryta pirmoji linija Lione (Prancūzija), 1869 m. paleistas Budapešto pilies kalno funikulierius, 1875 m. pradėjo veikti pirmasis požeminis funikulierius Stambule. Vieno iš Niujorko funikulierių nuolydis yra net 74 %.

Pirmasis lyninis keltuvas Lietuvoje buvo pastatytas Kaune 1931 m.; jis sujungė miesto centrą su Žaliakalniu. Keltuvas vienkelis su 2 vagonais,



21.11 pav. Keturių, trijų ir dviejų bėgių funikulieriai (Funicular layouts.svg.)

prasilenkiančiais kelio viduryje. Bėgiai plieniniai, 142 m ilgio trasos pasvirimo kampas 25,9 %. Mediniuose skarda apkaltuose vagonuose tilpo 36 keleiviai.



21.12 pav. Gedimino kalno funikulierius Vilniuje (A. V. Valiulio nuotr.)

Kauno Aleksoto funikulierius oficialiai atidarytas 1935 metais. Funikulierius sujungė senamiestį su tada nauju Aleksoto rajonu. Bėgiai plieniniai, kelio ilgis 132,9 m, pasvirimo kampas 18 %, 2 vagonai prasilenkia kelio viduryje, viename vagone gali važiuoti 25 keleiviai. Abiejų keltuvų vagonėliuose įrengti specialūs automatiniai stabdžiai, kurie trūkus lynui neleidžia vagonams nuriedėti žemyn. 2003 m. lyninis vieno vagono keltuvas pradėjo veikti ir Vilniuje – kelia keleivius nuo Gedimino kalno papėdės į kalno viršutinę dalį. Trasos ilgis 71 m, į vagoną telpa 16 keleivių (21.12 pav.).

POŽEMINIS (METRO) TRANSPORTAS

Metro (metropolitenas) – geležinkelio tipo miesto transportas, nepriklausantis nuo jokių kitų transporto rūšių ir su jomis nesikertantis. Pasaulyje priskaičiuojama per 160 metropolitenų ir jų skaičius nuolat auga. Metro linijos paprastai yra požeminiuose tuneliuose, tačiau gali būti ant žemės ar estakadų. Antžeminės metro linijos aptveriamos ir tiesiamos vietose, kuriose mažiau statinių. Metro stotys įrengiamos didžiausio keleivių susibūrimo vietose (po aikštėmis, prie magistralinių gatvių, metro linijų susikirtimo vietose, prie geležinkelio ir kitų stočių). Ten, kur metro linijos susikerta ar suartėja, įrengiamos persėdimo stotelės, perėjos. 1868 m. Niujorke ant estakadų pradėjo veikti metro, traukiamas lynų (1871 m. jie pakeista garo, 1890 m. – elektrine trauka). Nuo 1890 m. Londone metro įrengiamas giliuose tuneliuose, jam panaudota elektrinė trauka. Miestams didėjant, antžeminės ir estakadinės metro linijos keičiamos požeminėmis. 1892 m. metro atidarytas Čikagoje, 1896 m. metro su elektrine trauka ėmė veikti Budapešte ir Glazge (Škotija),

1900 m. – Paryžiuje, 1902 m. – Berlyne. Ilgiausias metropoliteno tinklas yra Pekine (690 km), antrasis pagal ilgį – Niujorko metropoliteno tinklas (424 km). Kiti stambūs metropolitenai yra Londone (408 km), Maskvoje (408 km), Delyje (347 km), Tokijuje (317 km), Madride (288 km), Seule (217 km), Paryžiuje (214 km), Berlyne (151 km).

Iš pradžių tuneliai buvo kasami atviru būdu, iškasas perdengiant įvairių rūšių konstrukcijomis. Dalis kelių buvo tiesiama virš žemės, nes traukai buvo naudojami dūmus ir garą išleidžiantys geležinkelio lokomotyvai. Daugelis miestų, supratę naujos susisiekimo sistemos privalumus, sekė Londono pavyzdžiu. Paryžiuje metro linijos pradėtos statyti po esamomis gatvėmis kasant atviras tranšėjas. Negilių metro stočių perdangą laiko sijos su keliomis eilėmis atramų arba skliautai. Gilaus metro stotys įrengiamos tuneliuose, kurie sutvirtinami ketaus ar gelžbetonio vamzdžio pavidalo konstrukcija (21.13 pav.). Perdangą laiko pilonai (piloninės stotys) arba plieninės ar gelžbetoninės kolonos (koloninės stotys). Budapešto metro linija driekiasi po žeme 60 m gylyje, Maskvos ir Sankt Peterburgo metro tinklų atkarpos yra net 80 m gylyje po žeme.

Londono metro projektuotojai ir statytojai stengėsi sušvelninti eismo spūstis. Prancūzijoje metro buvo statomas siekiant spręsti sanitarijos problemas, nes šiukšliavežiai negalėjo privažiuoti prie šiukšlių konteinerių. Daugelis metro,



21.13 pav. Metro tunelio įranga (Metro Turin Italy Tunnel.JPG.)

ypač naujesnių, nuo pat pradžios turėjo elektrinę trauką. Metro linijos yra visiškai atskirtos nuo bendrojo eismo ir gali veikti nepriklausomai nuo virš jų esančiose gatvėse susidarančių transporto kamščių, avarinių situacijų ar kokių nors remonto darbų. Metro linijos naudoja atskiras geležinkelio linijas, todėl metro traukiniai gali judėti labai reguliariai ir dideliu greičiu (per 70 km/h).

Metro traukiniams elektros energija dažnai tiekiama per vadinamąjį „trečiąjį bėgį“. Traukiniai važiuoja dviem tradiciniais bėgiais, kaip ir antžeminiai traukiniai, o elektros energiją gauna iš slystančio kontakto, judančio trečiojo bėgio paviršiumi. Kai kuriais atvejais metro sistema gali naudoti antžeminę elektros maitinimo sistemą. Paprastai požeminė metro dalis yra miestų senamiesčiuose, o paviršinės linijos – mažiau urbanizuotuose miesto rajonuose ar užmiestyje. Metro linijų sistema derinama su kitomis miesto transporto rūšimis – priemiestiniais geležinkeliais ar miesto autobusais. Šis derinys mažina bendrą eismo intensyvumą, tokiame mieste yra maloniau ir patogiau gyventi ar dirbti.

Daugelyje miestų yra ne viena, o kelios metro linijos, kurios tiesiamos taip, kad būtų aprėptas kuo didesnis miesto plotas. Atstumas tarp stočių yra 500–800 m (Berlyne, Madride, Milane), 1–2 km (Maskvoje, Kijeve), o greitojo metro linijose – 3–6 km (Niujorke). Esant mažesniam atstumui tarp stočių keleiviai greičiau ir lengviau pasiekia kelionės tikslą.

Niujorko metro pradėtas statyti 1900 m., pirmieji 34 km (8 iš jų buvo elektrifikuoti) užbaigti 1904 metais. Maskvos metro pradėtas statyti 1931 metais. Miesto gruntas buvo labai nestabilus, todėl kasti tunelius net ir slenkančių skydų būdu buvo neįmanoma. Inžinieriai kietino gruntą cheminiu būdu. Natrio silikato (skysto stiklo) skiedinys pro perforuotus vamzdžius buvo purškiamas net į 10 m gylį. Skiediniui sutvirtinus gruntą, buvo kasamas tunelis ir tvirtinamas betono sienomis. Per darbo pamainą tunelį pavykdavo pailginti apie 1 metrą, kasimo procesas buvo labai brangus. Pirmoji metro linija atidaryta 1935 m. po sunkaus ketverių metų darbo. Maskvos metro sistemoje oras per valandą pakeičiamas keturis kartus, kartą per mėnesį stotys plaunamos didelio slėgio vandens srove. Kilimui į paviršių ir leidimuisi į giliai įrengtas metro stotis pirmą kartą buvo panaudoti greitieji eskalatoriai (1 m/s).

Pagal maršrutų ilgį ir stočių skaičių didžiausia pasaulyje greitojo pervežimo sistema yra Niujorko metro. Keleivinių linijų ilgiu pirmauja Seulo,



21.14 pav. Metro stotis Maskvoje (Moscow MayakovskayaMetroStation 0943.jpg)

Pekino, Šanchajaus ir Londono metro. Didžiausi kasdieniniai ir metiniai keleivių pervežimo metro skaičiai užregistruoti Tokijo, Seulo ir Maskvos metropolitenuose. 2012 m. 184 pasaulio miestai turėjo greitojo keleivių pervežimo (nebūtinai požeminio) sistemą (21.14, 21.15 pav.).

Vilniaus gyventojai kasdien piko metu susiduria su didelėmis spūstimis, eismas mieste vis labiau užkemšamas automobilių. Pirmą kartą apie galimybę statyti metropoliteną Vilniuje užsiminta dar XX a. 8 dešimtmetyje. Europoje yra apie 10 panašaus dydžio kaip Vilnius ir mažesnių miestų, kuriuose veikia metro sistemos. Gvildenama trijų metro linijų statybos idėja (21.16 pav.): pirmoji linija driektųsi nuo Sudervės mikrorajono iki Šiaurės miestelio Žirmūnų mikrorajone ar net Valakampių, antroji – nuo Saulėtekio iki Buivydiškių, trečioji (Žiedinė trasa) eitų aplink Vilniaus senamiestį, užkabindama Vilniaus Geležinkelio stotį (pietinėje trasos dalyje) ir Bajorų mikrorajoną (šiaurinėje dalyje). Iš žiedinės linijos eitų 4 perėjimai į abi linijines trasas. Senamiestyje trasa būtų 30 m gylyje. Dabar mieste plėtojamos kitos transporto sistemos: greitieji autobusai,



21.15 pav. Metro traukinys Niujorke (R160 E enters 42nd Street.jpg.)



21.16 pav. Vilniaus metropoliteno idėjos schema (Vilniaus metro Map.png.)

viešojo transporto juostos gatvėse, planuojama integruoti mieste esančią geležinkelio infrastruktūrą į miesto keleivinio transporto sistemą ir kt. Diskutuojama, kad artimiausią dešimtmetį metro dar nereikės, bet po 15 ar 20 – visko gali būti.

22 SKYRIUS
AERONAUTIKOS INŽINERIJA

RAKETŲ AUŠRA

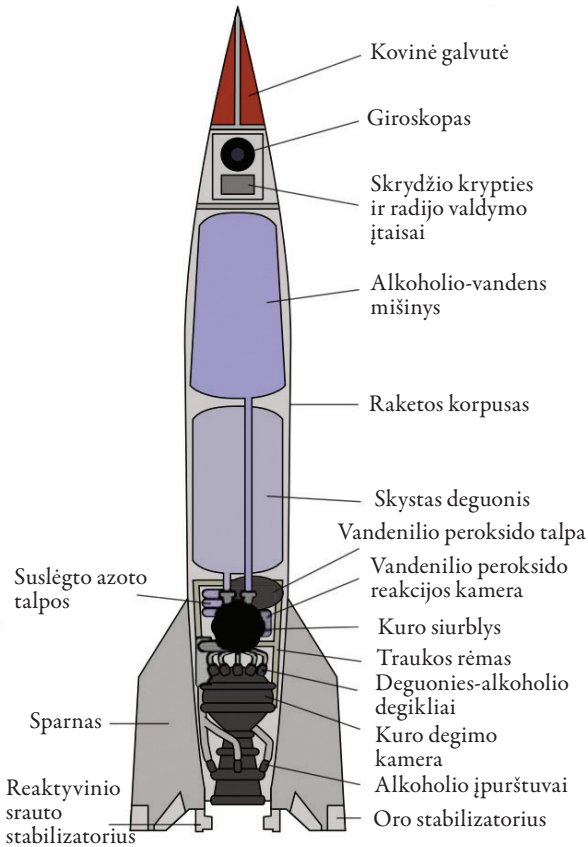
Nuopelnai už pirmosios pasaulyje skystuoju kuru varomos raketos (benzinas ir skystas deguonis), 1926 m. sėkmingai paleistos į orą, sukūrimą priskiriami amerikiečiui Robertui Hutchingsui Goddarui. Ši raketa per 2,5 sekundės nuskriejo 56 metrus. Goddardo raketo konstrukcijoje sėkmingai pritaikytas trijų ašių valdymas, giroskopas bei traukos kontrolė leido veiksmingai kontroliuoti raketos skrydį.

Dvi pirmosios ginkluotei skirtos raketos „V-I“ buvo sukurtos Pėnemiundėje (Vokietija) 1942 metais. Vokietijoje priimtas sprendimas pradėti serijinę lėktuvų-sviedinių „V-1“ („Fau-1“) gamybą.

Vokiečių inžinierių sukonstruotas lėktuvas-sviedinys, arba sparnuotoji bomba, tapo pirmąja modernia valdoma sparnuotąja raketa, naudota Antrojo pasaulinio karo metu. Jos ilgis buvo 7,9 m, sparnų mojis – 5,1 m, skridimo nuotolis siekė 240–250 km, aukščio lubos – 3 km, didžiausias greitis – 656 km/h, kovinės galvutės svoris – 830 kg. Lėktuvą-sviedinį „V-1“ valdė įmontuoti automatiniai prietaisai, skridimo aukštį reguliavo jautrus aukščio matuoklis, kryptį – su kompasu suderinti giroskopo prietaisai. Skrydžio nuotolis buvo matuojamas sparneliais, kurie, įveikus nustatytą nuotolį, lėktuvą-sviedinį nukreipdavo žemyn. Kurui buvo naudojamas 80 oktaninio skaičiaus benzinas (oktaninis skaičius rodo mišinio atsparumą savaiminei detonacijai). Bake tilpo 567 l kuro, jo sunaudojimas buvo 2,4 litro/km. Lėktuvas-sviedinys uodegoje turėjo autopilotą, kuris valdė aparatą suspaustu oru.

Pirmoji pasaulyje balistinė raketa „A-4“ („Fau-2“) pirmą sėkmingą startą įvykdė 1942 metais. „A-4“ sudarė keturios pagrindinės dalys: kovinė galvutė (su 1 000 kg amatolo), prietaisų skyrius, kuro bakas ir uodegos sekcija su varikliu (22.1 pav.). Kuras, 75 % etanolio ir vandens mišinys bei skystas deguonis (oksidatorius), buvo pumpuojami į variklį garo sukamu išcentriniu

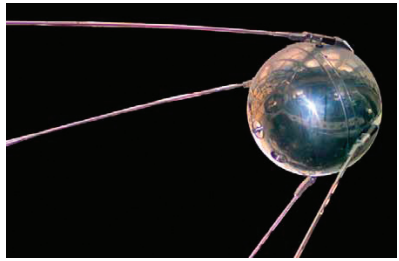
siurbliu. Garą gamino kalio permanganato ($KMnO_4$) ir vandenilio peroksido (H_2O_2) mišinys. Raketos valdymo sistema paprasta: grafito plokštės nukreipdavo raketų liepsną ir koreguodavo sparnų kryptį. Inercinę valdymo sistemą raketos nosyje kontroliavo giroskopai. Akcelerometras turėjo užtikrinti, kad variklis išsijungs esant tinkamam greičiui. Raketa startuodavo vertikaliai, jos varikliai veikdavo vos minutę. Pradinė raketos masė 12,5 t, ilgis 14 m, greitis 5 760 km/h, skrydžio nuotolis 320 km. Kuro degimo zonoje temperatūra siekė 2 500–2 700 °C.



22.1 pav. „V-2“ raketa (Vokietija) (V-2 rocket diagram (with French labels).svg.)

Skysto kuro raketa buvo pirmoji pasaulyje didelio nuotolio kovinė-balistinė raketa ir pirmasis žinomas žmonijos sukurtas aparatas, įskridęs į kosminę erdvę. Antrojo pasaulinio karo metais Vokietijoje sukurtomis balistinėmis raketomis buvo apšaudomas Londonas ir Antverpenas. 1944 m. Vokietijos kariuomenė į sąjungininkų teritorijas paleido per 3000 „V-2“ raketų.

Nuo Antrojo pasaulinio karo pabaigos Jungtinėse Amerikos Valstijose ir Sovietų Sąjungoje buvo intensyviai kuriamos karo ir taikiems kosminės erdvės tyrimų tikslams skirtos raketos. Abi valstybės pasinaudojo Vokietijoje kurtų raketų konstrukcijomis, idėjomis ir naudotomis medžiagomis. Abiejose valstybėse dirbo į nelaisvę patekę ar sutikę bendradarbiauti vokiečių mokslininkai ir inžinieriai. Abi šalys kūrė mokslinius palydovus, tačiau 1957 m. paleistas „Sputnik-1“ (22.2 pav.) patvirtino didelį Sovietų Sąjungos pranašumą kuriant didelio skrydžio nuotolio ir didelės kėlimo galios raketas.



22.2 pav. Pirmasis dirbtinis žemės palydovas „Sputnik-1“ (Sputnik asm.jpg.)



22.3 pav. Šuo „Laika“ – vienas iš pirmų gyvūnų, skridusių į kosmosą, 1957 m. (Laika (Soviet dog).jpg.)

Tais pačiais 1957 m. įvykdytas „Sputnik-2“ skrydis buvo ryškus kosmoso tyrinėjimų istorijos momentas. Tai buvo vos antras kartas, kai į Žemės orbitą buvo paleistas erdvėlaivis, ir pirmas kartas, kai juo skrido gyva būtybė. Nors šunį „Laiką“ galima laikyti skrydžio aplink Žemę pioniere, tačiau gyvūnai kosmoso tyrinėjimams buvo naudojami jau visą dešimtmetį (22.3 pav.). 1947 metais į 109 km aukštį buvo pakeltos vaisinės muselės, o 1951 m. buvo surengtas skrydis su beždžione ir 11 pelių. Pirmieji gyvūnai, 1960 m. pasiekę išorinį kosmosą ir grįžę gyvi į Žemę, buvo kalytės „Belka“ ir „Srelka“. Skrydžiams buvo

parenkami benamiai šunys, nes jie protingesni ir ne tokie reiklūs. 1968 m. Sovietų Sąjunga skrydžiui aplink Mėnulį paleido erdvėlaivį su dviem vėžliais, vaisinėmis muselėmis ir didžiaisiais milčiais. Po jų sekė varlės, katės ir vorai. Tačiau po 1969 m., kai žmonės nusileido Mėnulyje, gyvūnų vaidmuo pradėjo slopti. Įvairūs gyvūnai padėjo išbandyti erdvėlaivių gyvybės palaikymo sistemas, grįžimo į Žemę procedūras, suteikė duomenų apie erdvėlaivio temperatūrą, slėgį, įvairių dalelių spinduliuotę ir magnetinius laukus.

Per daugiau kaip 50 metų trukusias JAV, Sovietų Sąjungos, Prancūzijos, Kinijos, Japonijos ir kitų šalių kosmoso programas buvo paleistas pirmasis dirbtinis Žemės palydovas, atliktas orbitinis žmogaus skrydis, žmonės nusileido Mėnulyje, buvo atlikti skrydžiai į Saulės sistemos pakraščius, nuleisti moksliniai aparatai ant Marso ir Veneros, sukurtos ilgalaikės tarptautinės kosminės stotys. Vienu iš tokių vaisingo tarptautinio bendradarbiavimo pavyzdžių buvo Mercury/Gemini/Apollo/STS (JAV) ir Vostok/Voskhod/Soyuz/Mir (SSRS) programos.

ŽMOGAUS VALDOMI KOSMINIAI SKRYDŽIAI

1961 m. SSRS paskelbė apie pirmojo kosmonauto Jurijaus Gagarino sėkmingą paleidimą ir grįžimą. Pirmasis kosmonautas erdvėlaiviu „Vostok-1“ apie Žemę apskriejo vieną kartą. 1961 m. JAV astronautas Alanas Shepardas erdvėlaiviu „Mercury“ atliko suborbitinį skrydį. 1964 m. pirmoji moteris Valentina Tereškova nuskrido į kosmosą SSRS erdvėlaiviu „Vostok-6“.

Sovietų sėkmės „paslaptį“ lėmė daugiapakopė didelės galios raketa nešėja, sudaryta iš kelių mažesnių raketų paketo. Šis (SS-6) kelių variklių „darbinis arklys“ iškėlė į kosmosą erdvėlaivius „Sputnik“ ir „Vostok-1“. Vienos pakopos raketos gali skrieti žema orbita aplink Žemę, tačiau nepajėgios visiškai išsiveržti iš Žemės traukos lauko. Dėl šios priežasties raketos nešėjos turi nuo dviejų iki penkių pakopų. Pakopą sudaro kuro ir variklių sekcijos, valdymo įranga ir pakopų atskyrimo sistema. Norint pasiekti didesnį raketos pradinį greitį, prie pirmosios pakopos gali būti tvirtinami starto greitintuvai. Viena po kitos sujungtos pakopos pradeda veikti atsiskyrus išdeginto kuro pakopai. Taip sumažėja krovinio svoris ir raketos išneša kosminį aparatą iš žemos orbitos aplink Žemę

į kosmosą. 1964 m. paleisto antrosios kartos sovietinio erdvėlaivio „Voskhod“, galinčio skraidinti vieną kosmonautą, masė buvo 5 300 kg ir beveik prilygo JAV kosminiam aparatui „Apollo“, pakilusiam į kosmosą penkeriais metais vėliau.

1969–1972 m. Sovietų Sąjungoje buvo kuriama raketa kosmonautams pasiųsti į Mėnulį. Starto metu raketa galėjo sukurti 4 500 t trauką (raketos „Saturnas-5“ trauka 3 500 t). Raketos aukštis siekė 105 m, o masė – 2 735 tonos. Raketa turėjo penkias pakopas, varomas žibalu ir suskystintu deguonimi. Pirmojoje pakopoje raketa turėjo 30 dviem ratais sumontuotų variklių. Iš viso raketa kilo keturis kartus. Visi jos skrydžiai buvo nesėkmingi.

Iš pat pradžių erdvėlaivius kuriantys inžinieriai susidūrė su nepakankamu kompiuterių pajėgumu, žinių trūkumu apie tikslų dangaus kūnų orbitinį judėjimą (ypač Mėnulio), netobulomis orientavimo ir sekimo, erdvėlaivių šiluminės apsaugos medžiagų ir grįžimo į Žemę sistemomis. Sukurtos naujos medžiagos – teflonas ir termiškai atspari keramika. Sekant kuriamomis pasaulinėmis komunikacijomis, kuriose naudojamos mikrobangų ir palydovinės technologijos, buvo sukurtas tarpplanetinių erdvėlaivių sekimo „Tolimojo kosmoso tinklas“. Naujos skysto ir kietojo kuro technologijos padidino raketų nešėjų galią – jos pakako žmonių valdomiems skrydžiams į Mėnulį. Naudojamos įvairios raketų kuro rūšys. Kieto kuro raketose naudojamas kietas raketinis kuras (amonio nitratas, amonio dinitramidas, amonio perchloratas, kalio nitratas polimeriniame rišiklyje ir kt.), skystojo kuro raketose – vandenilis, metanas, suskystintos gamtinės dujos, vandenilio peroksidas, hidrazinas ir kt., dujų kuro raketose – dujos, o hibridinėse raketose – kietų ir skystų arba dujinių medžiagų derinys.

Variklių galia priklausė nuo degimo metu sukuriamo dujų srauto ir šilumos, degimo kameros gamybai panaudotų medžiagų, jos konstrukcijos, degimo proceso valdymo ir kt. Raketos paleidimas buvo prilygintas „kontroliuojamam sprogimui“. Balistinės raketos, pradedant vokiečių V-2, buvo kuriamos skrydžiams atmosferoje. Kuriant naujos kartos raketas atsižvelgta į tai, kad paleistos jos nebegrįš į atmosferą, turės išlikti ilgą laiką veiklios tolimame kosmose. Kietojo kuro naudojimo atveju buvo svarbu nustatyti optimalią kuro grūdelių formą ir dydį, degimo kameros konfigūraciją, sukurti kuro degimo kontrolės priemones. Šiuolaikiniai kietojo kuro varikliai naudoja dviejų rūšių kurą: dvigubos bazės ir kompozitinių grūdelių. Pirmajai kuro rūšiai priklauso

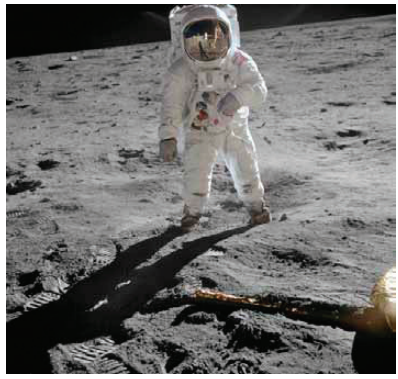
nitroglicerinas ($C_3H_5(ONO_2)_3$) ir nitroceliuliozė ($C_6H_7O_2(ONO_2)_3$). Nitroceliuliozė suteikia kuro grūdeliams mechaninį stiprį, o nitroglicerinas yra kuro intensyvaus degimo komponentas. Kompozitinių grūdelių kurą sudaro polibutadienas (kuras) ir oksidatorius, pastaruoju gali būti kalio nitratas (KNO_3) arba amonio perchloratas (NH_4CrO_4).

Kosminės lenktynės tarp Sovietų Sąjungos ir JAV dėl pasiekimų kosmonautikos srityje prasidėjo 1957 m., kai SSRS pirmoji paleido palydovą į kosmosą („Sputnik-1“), ir baigėsi 1975 m. draugiška bendra Sovietų Sąjungos ir JAV misija „Apollo-Soyuz“. Pagrindiniais kosminių lenktynių pasiekimais laikomi: pirmojo dirbtinio žemės palydovo paleidimas į kosmosą (1957 m.), pirmasis žmogaus pakilimas į kosmosą (1961 m.) ir pirmas žmogaus nusileidimas Mėnulyje (1969 m.). Abi supervalstybės puolė kurti žmonių skrydžiams skirtus erdvėlaivius. Greitai pasirodė ir šio skubėjimo pasekmės. 1967 m. visa „Apollo-1“ įgula (Gus Grissom, Edward White ir Roger Chaffee) sudegė erdvėlaivyje žemėje vykusių treniruočių metu. Tais pačiais metais nelaimę patyrė erdvėlaivis „Sojuz-1“: leidžiantis kapsulei jos parašiutas neišsisklaidė ir joje skridęs kosmonautas Vladimiras Komarovas žuvo moduliui atsitrenkus į žemę. Abiejų avarijų priežastimis buvo įvairios projektavimo klaidos. Nors nelaimių tyrimas, priežasčių nustatymas ir erdvėlaivių sistemų taisymai sutrikdė planuotų skrydžių grafikus, pilotuojamų skrydžių programos buvo tęsiamos.

ŽMONĖS MĖNULYJE

1969 m. erdvėlaiviui „Apollo-11“ nusileidus Mėnulyje, astronautai Neilas Armstrongas ir Buzzas Aldrinas tapo pirmaisiais žmonėmis, savo kojomis palietusiais kitos planetos paviršių (22.4 pav.).

Skrydis nuo Žemės iki Mėnulio užtruko 4 dienas. Jau Mėnulio orbitoje būdami astronautai Armstrongas ir Aldrinas iš komandinio modulio „Kolumbija“ perėjo į nusileidimo modulį „Erelis“. 111 km aukštyje Mėnulio orbitoje skriejančiame komandiniame modulyje pasiliko tik astronautas Michaelis Collinsas. Nusileidimo moduliui pasiekus 15 km aukštį astronautai sumažino modulio greitį ir pasirengė nusileidimui. Pastebėjus, kad aparatas leidžiasi į pilną riedulių kraterį, N. Armstrongas buvo priverstas rankiniu būdu jį nutupdyti lygesnėje vietoje, kompiuteris rodė, kad



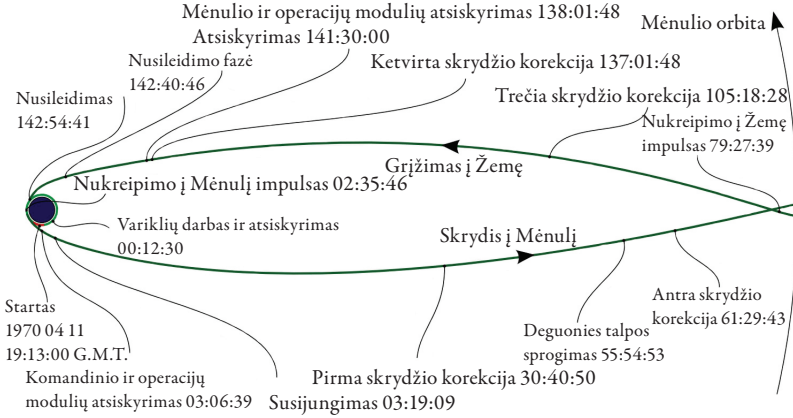
22.4 pav. Pirmosios žmogaus pėdos, įspaustos Mėnulio paviršiuje (Aldrin Apollo 11 original.jpg.)

degalų liko maždaug 20 sekundžių. Planuota, kad prieš žengdami Mėnulio paviršiumi astronautai pamiegos, tačiau jau po keleto valandų jie buvo pasiruošę pasivaikščioti žemės palydovo paviršiumi. Pirmasis koją ant dulkėto Mėnulio paviršiaus prispaudė N. Armstrongas, ištardamas visiems gerai žinomus žodžius: „Mažas žmogaus žingsnis – didžiulis žmonijos šuolis“. Po 40 min. ant Mėnulio paviršiaus išlipo ir B. Aldrinas. Per apie dvi su puse valandos trukusį pasivaikščiojimą astronautai rinko akmenų ir grunto pavyzdžius, darė nuotraukas, iškėlė Amerikos vėliavą Mėnulyje ir atliko keletą mokslinių eksperimentų. Po 21,5 val. trukusio buvimo Mėnulyje astronautai susijungė su Mėnulio orbitoje skriejančiu komandiniu moduliu. Į Žemę jie parvežė 22 kg Mėnulio akmenų bei grunto. Vėliau buvo suorganizuoti dar šeši žmonių skrydžiai į Mėnulį. Visi jie, išskyrus vieną, buvo sėkmingi. Erdvėlaivio „Apollo-12“ įgula (1969 m.) praleido Mėnulyje beveik 32 val. ir parskrido su 34 kg mėginių.

1970 m. paleisto erdvėlaivio „Apollo-13“ misija vos nesibaigė tragedija, kai aptarnavimo modulyje sprogo deguonies bakas (iš viso buvo 4 bakai – 2 deguonies ir 2 vandenilio) ir nustojo veikti dvi iš trijų kuro elementų baterijų, aprūpinančių komandinio modulio ekipažo skyrių elektros energija. Netekęs energijos bei deguonies šaltinių erdvėlaivis negalėjo nusileisti Mėnulyje. Tuo momentu modulis buvo nutolęs nuo Žemės per 320 000 kilometrų. Astronautai Jimas Lovellis, Jackas Swigertas ir Fredas Haise'as stengėsi sugrįžti į Žemę, pasinaudodami nusileidimui Mėnulyje skirtu moduliu, o misijos kontrolės štabas darė viską, kad išgelbėtų nelaimės ištiktus astronautus. Po sprogimo erdvėlaivio valdymo modulyje liko tik ribotos veikimo trukmės baterijos. Nusileidimo Mėnulyje modulio priemonių pakako pusantros dienos dviem žmonėms, o ne trims ar keturioms dienoms. Skirtingai nuo

valdymo modulio, kurį maitino kuro elementai, kaip šalutinį produktą dar gaminantys vandenį, nusileidimo modulį maitino tik sidabro-cinko baterijos. Taigi vandens, reikalingo sistemoms aušinti bei patiems žmonėms, buvo kritiškai mažai. Kad modulio gyvybės palaikymo ir ryšio sistemos veiktų kiek galima ilgiau, visų sistemų ir medžiagų naudojimas buvo sumažintas iki minimalaus lygio. Sumažinus elektros naudojimą, vidinė temperatūra modulyje sumažėjo iki 4 °C, ant kieto paviršiaus pradėjo kondensuotis vandens garai ir kilo elektros sistemų grandinės trumpojo jungimo pavojus. Galiausiai, artėdami prie Žemės, astronautai atskyrė nusileidimo modulį nuo komandinio modulio ir kapsulė pasiekė vandens paviršių pietvakarinėje Ramiojo vandenyno dalyje (22.5 pav.). Įgula buvo išgelbėta, tačiau misija, kurios tikslas buvo nusileisti ir išsilaipinti viename iš Mėnulio kalnynų, žlugo. Kita vertus, tai puikus astronautų ir skrydžio valdymo komandos dalyvių geros parengties ekstremaliomis sąlygomis pavyzdys.

„Apollo“ projekto erdvėlaiviai iškėlimui į kosminę erdvę naudojo „Saturno“ konstrukcijos raketas. Programai pavyko pasiekti planuotą tikslą – nuskraidinti žmogų į Mėnulį. Sukauptos pirmam skrydžiui technologinės ir programinės įrangos pakako dar 9 skrydžiams ir nusileidimams bei labai ambicingiems planams plėsti Mėnulio geologinius ir astrologinius žvalgomuosius tyrimus.



22.5 pav. Erdvėlaivio „Apollo-13“ skrydžio trajektorija (Apollo 13 timeline.svg.)

Iš pradžių abi valstybės į kosminę erdvę skraidino palyginti mažas, dažnai nepilotuojamas kosmines laboratorijas, tokias kaip „Salyut“ ir „Skylab“, kurioms iškelti naudojo „Soyuz“ ir „Apollo“ raketas. Buvo manoma, kad žmones skraidinančios kosminės stotys yra neperspektyvios, nes nepilotuojami palydovai tą darbą gali atlikti daug ekonomiškiau. 1969 m. JAV buvo panaikinta pilotuojama orbitinė laboratorija („Manned Orbital Laboratory“), Sovietų Sąjunga panašios laboratorijos („Almaz“) atsisakė 1978 metais. Apie 1974 m. taikaus sambūvio (*detante*) laikotarpiu JAV ir SSRS susitarė pagerinti abipusius ekonominius ryšius ir paskelbė kosminių varžybų pabaigą. 1975 m. vykdyto „Apollo-Soyuz“ projekto metu dviejų valstybių kosminiai erdvėlaiviai susijungė kosmose ir erdvėlaivių įgulos aplankė viena kitą.

Sovietų Sąjungai niekada nepavyko įvykdyti „mėnulio programos“ dėl dviejų priežasčių: pirma, nebuvo sukurta didelės galios raketa nešėja (tokia kaip „Saturnas-5“), antra, kuriamos raketos buvo nepatikimos. Sovietų Sąjunga 1969–1972 m. bandė paleisti „Saturno“ galios raketą nešėją, tačiau trys bandymai buvo nesėkmingi. Turimos „Soyuz“ tipo raketos nebuvo pajėgios tokio lygio kelionėms apie Mėnulį, kaip kad atliko erdvėlaivis „Apollo-8“. Mėnuliui apskristi reikėjo mažiausiai septynių dienų, o į kosmosą raketa „Soyuz“ iškeltų erdvėlaivių „Kosmos-212“ ir „Kosmos-213“ skrydis tęsėsi tik penkias dienas. Skyrėsi ir skrydžio į Mėnulį idėjos įgyvendinimo techniniai sprendimai. JAV savo projektuose sėkmingai taikė atskirų modulių autonomiškumą, suartėjimą, susijungimą ar atsiskyrimą kosmose. Sovietų Sąjungos erdvėlaiviai niekada tokios technologijos nenaudojo. Sovietinėje erdvėlaivių koncepcijoje skrydžio ir nusileidimo moduliai tokio autonomiškumo neturėjo, todėl erdvėlaiviui paleisti reikėjo labai galingos raketos nešėjos. Tik 1986 m., pradėjus „Mir“ kosminės stoties programą, buvo suprojektuota orbitinį branduolį turinti modulinė stotis. „Kvant“ tipo moduliai buvo skraidinami atskirai ir tvirtinami prie „Mir“ pagrindinio modulio. „Soyuz-TM“ erdvėlaiviai skraidino (keitė) kosmonautų įgulas, o bepiločiai „Progress“ erdvėlaiviai aprūpindavo stotį būtinomis priemonėmis ir resursais. Žlugus Sovietų Sąjungai labai sumažėjo kosminės programos finansavimas, ir „Mir“ buvo vienintelė ilgalaikė sėkmės istorija Rusijos kosmoso įsisavinimo programoje.

Pasibaigus „kosmoso lenktynėms“ kosmoso tyrimo programos sulėtėjo, bet nenutrūko. 1981 m. JAV sukūrė pirmąjį daugkartinio naudojimo kosminį



22.6 pav. Kosminės šaudyklės „Space Shuttle“ paleidimas (Space Shuttle Columbia launching cropped 2.jpg.)

laivą „Space Shuttle“ (kosminę šaudyklę) (22.6 pav.). Sekdami JAV pavyzdžiu Sovietų Sąjungos konstruktoriai 1988 m. sukūrė bepilotį pakartotinio naudojimo erdvėlaivį „Buran“, kuris realiose kosmoso programose nebuvo panaudotas.

Pagal kosminę programą Kinija taip pat siekia sukurti nuolatinę kosminę stotį, kurioje įgula galėtų savarankiškai gyventi kelis mėnesius – panašiai kaip JAV stotyje „Skylab“, Sovietų Sąjungos stotyje „Saliut-6“, Sovietų Sąjungos / Rusijos stotyje „Mir“ ir Tarptautinėje kosminėje stotyje. 2012 m. Kinijos erdvėlaivis „Shenzhou-9“ rankiniu būdu sėkmingai buvo prijungtas prie orbita skriejančio modulio „Tiangong-1“, ir tai buvo pirmasis toks kinų kosminio aparato prijungimas orbitoje. 2011 m. kosminė laboratorija „Tiangong-1“ buvo iškelta į orbitą, o 2016 m. kovo mėn. stoties veikla nutrūko. „Tiangong-1“ visų pirma buvo eksperimentinė platforma didesniems Kinijos kosminės programos projektams, tokiems kaip kosminė stotis „Tiangong-2“, paleista 2016 m. rugsėjo mėnesį. Beveik 9 tonas svėrusi stotis

„Tiangong-1“ sudegė tankiuosiuose atmosferos sluoksniuose 2018 m. pavasarį. Savo nuolatinę kosmoso stotį kinai planuoja pradėti statyti 2021 metais.

Su skrydžiais į kosmosą prasidėjo ir kosminės erdvės tarša. Kosminės „šiukšlės“ – tai nebenaudojamų žmogaus sukurtų objektų (raketinio kuro talpyklos, dirbtiniai palydovai, dėl erozijos, sprogimų ir susidūrimų atsiradusios raketų nuolaužos ir kt.), skriejančių orbitoje aplink Žemę, sankaupos. 2019 m. buvo apskaičiuota, kad kosminių „šiukšlių“ kiekis siekia 128 milijonus. Nors jos nuolat įskrieja į Žemės atmosferą ir sudega, kol kas dar neišrasta jokių ekonomiškai priimtinų kosminės erdvės valymo nuo nuolaužų būdų. Didesnės kosminės nuolaužos ne visada sudega atmosferoje ir kartais pasiekia žemės paviršių. Kiek žinoma, iki šiol jos yra pataikiusios tik į vieną žmogų: 1997 m. Oklahomos parke bėgiojusios amerikietės Lottie Williams petį kliudė nuolauža, atitrūkusi nuo JAV raketos „Delta II“.

LIETUVIŠKAS PĖDSAKAS

Rimantas Stankevičius buvo pirmos klasės lakūnas bandytojas, SSRS kosmonautas, išbandęs daug įvairių lėktuvų ir erdvėlaivį „Buran“. 1979 m. jis buvo paskirtas SSRS kosminės šaudyklės „Buran“ (22.7 pav.) bandymams. Išlaikęs visus reikiamus egzaminus 1982 m. jis tapo pirmuoju Lietuvos kosmonautu. Nuo 1984 m. jis treniravosi skrydžiui su erdvėlaiviu „Buran“. 1989 m. jam suteiktas „Nusipelniusio TSRS lakūno bandytojo“ garbės vardas. Jis atliko 14 bandomųjų skrydžių su erdvėlaivio „Buran“ atitikmeniu – „BTS-02“ orlaiviu ir 6 bandomuosius atmosferinius skrydžius erdvėlaiviu „Buran“. Jis buvo ir erdvėlaivio pilotas, ir jo vadas. R. Stankevičius žuvo 1990 m. Italijoje oro technikos parodos metu įvykus „Su-27“ naikintuvo avarijai. Palaidotas Aukštųjų Šančių karių kapinėse Kaune. Kosminė šaudyklė „Buran“ po bandomųjų skrydžių



22.7 pav. Krovininis lėktuvas „An-225 Mriya“ (SSSR) su daugkartinio naudojimo erdvėlaiviu „Buran“ ant nugaros (Antonov An-225 with Buran at Le Bourget 1989)

niekada nebuvo panaudota kosminėse programose. Sovietų Sąjunga toliau plėtojo kosminę stotį, „Soyuz“ erdvėlaivius naudodama kaip kosminės šaudyklės pakaitalą.

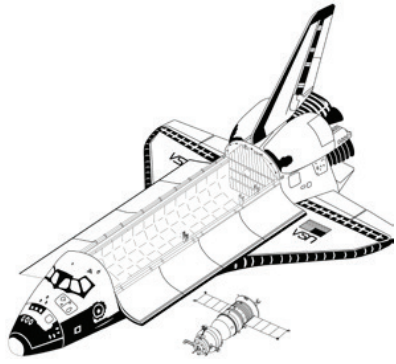
KOSMINĖS ŠAUDYKLĖS PROGRAMA

Pasibaigus „kosmoso lenktynėms“ JAV kosmoso programa daugiausia buvo nukreipta į daugkartinio kosminio lėktuvo ar „šaudyklės“ gamybą. NASA „kosminės šaudyklės“ programa buvo JAV žmogaus valdomų paleidimo raketų programa, vykdyta 1981–2011 metais. „Kosminė šaudyklė“ – tai orlaivis ir raketa kartu. „Space Shuttle“ daugkartinis erdvėlaivis kildavo vertikaliai su 5–7 astronautais (nors yra skridę ir 8). Jis galėjo pakelti į orbitą iki 29 700 kg krovinį. Atlikęs savo užduotį, erdvėlaivis nusileisdavo kaip sklandytuvas. Galėjo būti eksploatuojamas iki 10 metų ir per tą laiką atlikti ne daugiau kaip 100 skrydžių. Jis visada buvo pilotuojamas ir negalėjo skristi be įgulos. „Space Shuttle“ sistemą starto metu sudarė pats erdvėlaivis, du išorėje sumontuoti kietojo kuro varikliai ir didelis degalų bakas, maitinantis tris erdvėlaivio variklius (22.6 pav.). Kietojo kuro varikliai vėliau nusileisdavo su parašiutais, erdvėlaivis grįždavo kaip sklandytuvas, taigi vienintelė stambi vienkartinė dalis buvo palyginti nebrangus degalų bakas. Vis dėlto dėl kiekvieno naujo skrydžio reikėdavo nemažai padirbėti: kiekvieną kartą varikliai išimami, išardomi ir iš naujo surenkami, taisoma išorinė danga, apsauganti laivą nuo sudegimo dideliu greičiu įskrendant į atmosferą. Dėl didelių sąnaudų „Space Shuttle“ skrisdavo daug rečiau, negu buvo planuota jį kuriant. Parengti „Space Shuttle“ naujam skrydžiui būdavo tik tris kartus pigiau, nei jį pagaminti iš naujo.

„Kosminė šaudyklė“ yra vienintelis valdomus sparnus turintis erdvėlaivis ir vienintelė pakartotinai naudojama kosminė transporto priemonė, atlikusi į orbitą kelis skrydžius (22.8 pav.). Šių skrydžių metu į įvairaus aukščio orbitas buvo gabenamos didelės konstrukcijos (pavyzdžiui, Tarptautinės kosminės stoties segmentai), vykdyta Tarptautinės kosminės stoties įgulų rotacija (22.9 pav.). Erdvėlaivis buvo naudojamas sugedusių dirbtinių žemės palydovų remontui arba jų grąžinimui į Žemę, naujų palydovų kėlimui į kosmosą ir kt.



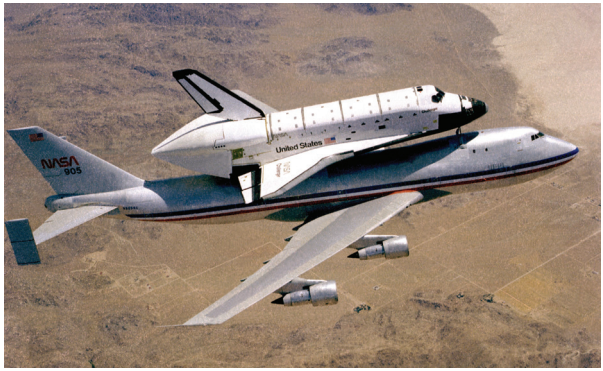
22.8 pav. Kosminės šaudyklės nusileidimas su parašiutu (Space Shuttle Discovery Landing after STS-124.jpg.)



22.9 pav. Krovinių pristatymas kosminės šaudyklės erdvėlaiviu (Space Shuttle vs Soyuz TM – to scale drawing.png.)

„Kosminės šaudyklės“ transportavimui buvo naudojamas transportinis orlaivis „Boeing-747“ (22.10 pav.). Juo erdvėlaivis buvo skraidinamas iš nusileidimo aerodromo į raketos starto aikštelę J. Kenedžio kosmoso centre (JAV rytinėje pakrantėje) arba iš kitų tolimų vietų, kurias sunku pasiekti antžeminiu transportu.

1981 m. sėkmingai startavusi „kosminės šaudyklės“ programa dėl labai sudėtingos konstrukcijos variklių patyrė didžiausias valdomų skrydžių tragedijas. Kosminio laivo „Challenger“ katastrofa (1986 m.), kurioje žuvo septyni astronautai, sukrėtė visą pasaulį, nes milijonai žmonių per televiziją stebėjo tiesioginę transliaciją. Erdvėlaivis kilo savo dešimtam skrydžiui. Praėjus 73 sekundėms po starto užsidegė pro kuro baką ištekėję degalai, sprogo pagrindinis kuro bakas. Tyrimu nustatyta, kad sprogimas įvyko užsidegus sintetinės gumos žiedui, hermetizuojančiam raketos nešėjos segmentus, kad degimo metu susidarančios dujos nepatektų prie kuro bakų jungčių. „Challenger“



22.10 pav. Kosminės šaudyklės transportavimas transportiniu orlaiviu „Boeing-747“ (STS Challenger on 747 SCA.jpg.)

įgula žuvo ne iš karto, kaip buvo manoma anksčiau. Galimas dalykas, kad jie išgyveno sprogimą ir buvo gyvi iki to laiko, kol neatsitrenkė į vandenyną.

Erdvėlaivio „Columbia“ avarija įvyko 2003 m., jam grįžtant iš dvi savaites trukusios misijos. Per šią katastrofą žuvo visi septyni skridę astronautai. Tyrėjai yra įsitikinę, kad erdvėlaiviui kylant nuo kuro bako atplyšusi viena termoizoliacinė plokštelė atsitrenkė į sparną ir pažeidė termoizoliacinę dangą, todėl grįždamas į atmosferą erdvėlaivis perkaito ir subyrėjo į dalis.

1971 m. SSRS kosmonautai Georgijus Dobrovolskis, Viktoras Pacajevas ir Vladislavas Volkovas žuvo grįždami į Žemę iš kosminės stoties „Saliut-1“. Jų kapsulė ant Žemės nusileido sklandžiai, tačiau visi žmonės buvo negyvi. Tyrimo metu išaiškėjo, kad trūkus oro ventiliacijos vožtuvui, oras iš kapsulės vidaus buvo išsiurbtas į kosmosą ir kosmonautai užduso. Kosmonautai buvo be jokios apsaugos, todėl po vožtuvo trūkimo jie išgyveno vos kelias sekundes. Kapsulės nusileidimo sistema veikė automatiškai, taigi ji galėjo nusileisti ir be kosmonautų įsikišimo.

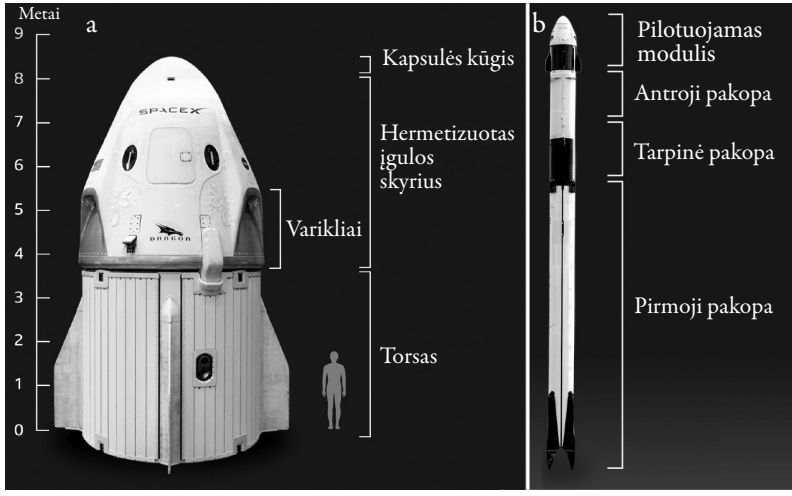
Kosminės šaudyklės „Shuttle“ buvo tinkamos skrydžiams tik mažo aukščio orbitoje. Svarbiausia jų užduotis – aprūpinti nuolatines kosmines stotis atnaujintais prietaisais ar mazgais, medžiagomis, kuru ir kitomis programose numatytomis priemonėmis. Ateityje iš nuolatinių kosminių stočių planuojami skrydžiai į Mėnulį ir Marsą.

TARPTAUTINĖS KOSMOSO PROGRAMOS

Pastaraisiais metais kosminiai tyrimai vyko plataus tarptautinio bendradarbiavimo fone. Akivaizdžiausias tokio bendradarbiavimo rezultatas – Tarptautinės kosminės stoties (TKS) statyba ir jos veiklos užtikrinimas. JAV vykdo daug kitų kosminės erdvės tyrimų, tačiau savo moksliniais moduliais aktyviai dalyvauja ir TKS programose, taip pat planavo kurti bepiločius Marso zondus, karinius palydovus ir kt. 2004 m. startavusios „Constellation“ kosmoso programos planuose buvo numatyta iki 2018 m. pradėti naujos kartos daugiafunkcių „Orion“ erdvėlaivių skrydžius, iki 2020 m. grįžti į Mėnulį, vėliau – skrydžiai į Marsą. Rusija siūlo komercines kosminių objektų paleidimo paslaugas, savo moduliais remia TKS veiklą, siunčia į ją pilotuojamus ir krovininius erdvėlaivius, kurių, užbaigus JAV „Shuttle“ programą, kosminių paslaugų rinkoje labai trūksta. Rusija iki 2018 m. planavo sukurti daugiafunkcį pilotuojamą erdvėlaivį ir iki 2020 m. atlikti pilotuojamą skrydį į Mėnulį. Europos kosmoso agentūra (ESA) 1988 m. pradėjo savo erdvėlaivių „Ariane“ skrydžius. Šie erdvėlaiviai buvo naudojami komerciniams nepilotuojamiems skrydžiams, taip pat palydovams, zondams į kometas ir Marsą paleisti. Su savo sukurtais moduliais ir nepilotuojamais krovininiais erdvėlaiviais ESA taip pat dalyvauja TKS programose. Europos kosmoso agentūra ir Rusijos koncernas „Roskosmos“ nuo 2006 m. veda derybas dėl Pilotuojamos kosminės transporto sistemos (*Crew Space Transportation System*, CSTS) kūrimo. Šis daugkartinio naudojimo erdvėlaivis galės gabenti 6 įgulos narius į Tarptautinę orbitinę stotį ar 4 astronautus į ekspediciją Mėnulyje.

2020 m. pirmą kartą pilotuojamą skrydį į Tarptautinę kosminę stotį atliko komercinė bendrovė „SpaceX“ (JAV). Kosminį erdvėlaivį „Crew Dragon“ į orbitą iškėlė dviejų pakopų raketa nešėja „Falcon 9“ (22.11 pav.), kurios aukštis 70 m, skersmuo 3,7 m, masė 549 t. Į žemąją Žemės orbitą (160–2 000 km) ji gali iškelti 22,8 t, į geostacionarią perdavimo orbitą (35 786–42 164 km) – 8,3 t, o skrendant į Marsą – 4,02 t krovinį. Erdvėlaiviu gali skristi 7 astronautai.

Kosminiu aparatu skrendantys žmonės skirtingose valstybėse vadinami skirtingai. NASA pasirinko terminą astronautas, Sovietų Sąjunga ir Rusija – kosmonautas, Kinija – taikonautas, Prancūzija žmones, skrendančius į kosmosą, vadina spasijonautais, o Indija tikisi į kosmosą iškelti vjomanautus.



22.11 pav. Pilotuojamas modulis „Dragon“ (a) ir jį iškėlusi raketa „Falcon 9“ (b)

Taigi pagal šiuos terminus galima lengvai atsekti, apie kokios valstybės keliautojus į kosmosą kalbama.

Marso tyrinėjimai vykdomi jau šimtus metų, pradedant nuo 1600 m., kai buvo išrastas teleskopas. 2013 m. Indijos kosminių tyrimų organizacija (ISRO) pradėjo pirmą nacionalinę misiją į Marsą. „Mangalyaan“ vardu pavadintos misijos tikslas nuskraidinti į Marsą dirbtinį palydovą. Planuota, kad „Mangalyaan“ misija vyks šešis mėnesius, tačiau ir po penkerių metų palydovo aparatūra veikė nepriekaištingai. Aparatas perdavė tūkstančius spalvotų nuotraukų ir iš arti nufotografavo Marso mėnulius Fobą ir Deimą. Kol kas tai vienintelis dirbtinis Marso palydovas, galintis užfiksuoti visą Marso diską viename vaizdo kadre. Indija planuoja į Marsą paleisti kosminį aparatą „Mangalyaan-2“ ne tik kaip Marso palydovą, aparate yra nusileidimo modulis ir marsaeigis. Jei ši misija bus sėkminga, Indija taps trečiąja valstybe pasaulyje, kurios kosminis aparatas pasieks Marsą.

2013 m. prasidėjo NASA „MAVEN“ Marso programa. Pasiekęs Marsą (2014 m.) palydovas sukasi apie jį 150 km nutolusia nuo paviršiaus orbita, tirdamas jo atmosferą ir bandydamas išsiaiškinti, kodėl iš Marso dingo vanduo



22.12 pav. Marsaeigis „Curiosity“ planetos paviršiuje (PIA16239 High-Resolution Self-Portrait by Curiosity)



22.13 pav. Marso paviršiaus išgraužos, 1999 m. (ESP 037506 2285gullychannels.jpg.)

ir planeta tapo netinkama gyvybei. 2018 m. NASA į Marsą paleido „InSight“ aparatą, kuris tiria planetos seisminį aktyvumą ir vidinę geologinę sandarą.

2004 m. planetoje nusileidę du NASA marsaeigiai „Spirit“ ir „Opportunity“ tyrė, ar yra Marse vandens. Gauta duomenų, patvirtinančių ankstesnes spėliones apie vandens buvimą. Tai, jog čia kažkada tikriausiai tyvuliavo sūraus vandens jūra, rodė uolų stratifikacija bei uolienų pavyzdžiuose aptiktas chloras ir bromas. Nuo 2012 m. Marso paviršiuje pabuvojo marsaeigis „Curiosity“ (22.12 pav.), aplink planetą skriejo ir planetos paviršių tyrė trys orbitiniai zondai. Svarbiausias „Curiosity“ marsaeigio tikslas – atsakyti į klausimą, ar yra Marse gyvybė. Iki šiol dar nepavyko Marso grunto pargabenti į Žemę. 2005 m. paleistas erdvėlaivis-zondas „Mars Reconnaissance Orbiter“ buvo suprojektuotas ilgesniam laikotarpiui nei vieneri Marso metai. Šis daugiafunkcis įrenginys renka duomenis apie Marso geologines struktūras (22.13 pav.), paviršiaus reljefą, oro sąlygas, nuleidžiamiems aparatams leistis tinkamas vietas. Atominio reaktoriaus varomas šešiaratis marsaeigis „Curiosity“ kaip tik ir yra dalis ilgalaikio plano, kurio pabaigoje astronautai turėtų vaikščioti Marso paviršiuje, kaip

kad jie vaikščiojo Mėnulyje. Visureigio automobilio dydžio marsaeigis turi kibernetinį manipuliatorių, grąžtą ir dešimties mokslinių prietaisų rinkinį, kuriame yra dvi spalvoto vaizdo kameros, lazeris, uolienų analizės priemonės. Svarbiu NASA tikslu yra Marso uolienų pavyzdžių pargabenimas į Žemę, kuriuos analizuodami mokslininkai galėtų ieškoti buvusių ar esamų gyvybės požymių Marse. Planuojama, kad astronautai turėtų pasiekti Marsą apie 2030 metus. Kada išties žmogaus pėda palies Marso paviršių – dar nežinia, tačiau techninės ir technologinės prielaidos nuolat artina žmoniją prie šio tikslo.

Europos kosmoso agentūra (ESA) vykdo 2001 m. pradėtą programą „Aurora“. Du pagrindiniai šios programos tikslai – ilgalaikiai Saulės sistemos bepiločiai ir pilotuojami tyrimai bei gyvybės už Žemės ribų paieška. 2024 m. planuojamas žmogaus skrydis į Mėnulį, 2026 m. – bepilotė misija į Marsą, 2033 m. planuojamos žmogaus pilotuojamos misijos.

2003 m. Kinija tapo trečiąja šalimi, savarankiškai išsiuntusia žmogų į kosmosą (22.14 pav.). 2007 m. išbandė balistinę raketą, skirtą sunaikinti



22.14 pav. Kinijos erdvėlaivio „Shenzhou-5“ nusileidimo kapsulė (Shenzhou5-3.JPG.)

palydovus orbitoje. Kinija 2021 m. planuoja pradėti statyti modulinę kosminę stotį, kuri leis sparčiau vystyti saulės energijos panaudojimo technologijas. Bendra visų stoties modulių masė sieks apie 100 t. Kinija teikia komercinę palydovų paleidimo paslaugą ir turėtų netrukus sukurti sunkius krovinius keliančias raketas. Pirmąją nepriklausomą Kinijos tarpplanetinę misiją planuojama pradėti 2020 m. – į Marsą bus paleistas erdvėlaivis, sudarytas iš planetos orbita skriesiančio palydovo ir marsaeigio. Ambicingą mėginių grąžinimo iš Marso misiją numatoma pradėti apie 2030 metus. Vėliau, siekiant pargabenti grunto mėginių, į praskriejančius asteroidus bus išsiųstas zondas. Į Jupiterį paleistas zondas, tikimasi, jį pasieks 2036 metais. Misija nusitaikys į Ganimedą, vieną svarbiausių Saulės sistemos kandidatų, kuriame gali slypėti gyvybė. Ganimedas – didžiausias Jupiterio palydovas. Numatoma ištirti Ganimedo atmosferą, paviršių, struktūrą, tektoniką ir ledo sluoksnį. Tuo pat metu Kinija intensyviai sieks įgyvendinti žmonių skrydžių į kosmosą planus, išplėtos Mėnulio tyrimo programą, apimančią Mėnulio polius ir nematomą pusę. Artimiausia Kinijos didelio masto kosmoso misija bus Mėnulio grunto pavyzdžių parvežimas į Žemę.

Japonija sukūrė mokslinį modulį darbui TKS ir bepilotį krovininį erdvėlaivį. Ji taip pat planuoja siųsti zondą į Marso orbitą. Mėnulio zondas „Selene“ (2009 m.) po „Apollo“ Mėnulio tyrimų misijos yra laikomas labiausiai pavykusiu kosminiu bepiločiu aparatu. Zondas „Selene“ pirmą kartą istorijoje sudarė detalų Mėnulio žemėlapį ir didele raiška nufilmavo šio dangaus kūno paviršių. Japonijos „Hayabusa“ zondas (2005 m.) pirmasis paėmė mėginį iš Itokavos asteroido ir jo dulkių ir pargabeno į Žemę. „Ikaros“ zonde (2010 m.) pirmą kartą aparato traukai panaudota saulės burė. Nors Japonija yra sukūrusi valdomą erdvėlaivio prototipą, tačiau nė vienas iš jų nebuvo paleistas. Dabartinis Japonijos siekis yra iki 2025 m. sukurti žmonių skrydžiui tinkamą erdvėlaivį ir iki 2030 m. Mėnulyje įkurti nuolat veikiančią bazę.

Nuo 2007 m. jau 33 valstybių atstovai (įskaitant kosmoso turistus) amerikiečių, rusų ir kinų erdvėlaiviais skrido į kosmosą.

Orbitinės stotys, veikiančios bazės Mėnulyje, skrydžiai į Marsą ir kitos tolimojo kosmoso tyrimo programos yra glaudžiai susijusios su didelės kėlimo galios raketų nešėjų kūrimo pasiekimais (22.1 lentelė).

22.1 lentelė. Didelės kėlimo galios raketos nešėjos

Raketa nešėja	Pirmas skrydis	Krovinių svoris (t), pakeliamas į žemesniąją Žemės orbitą (200–400 km)	Raketos aukštis m	Raketos starto svoris t
„Saturn 5“, JAV	1967	140	110,6	2 960
Raketa nešėja N1, SSRS	1969	95	105	2 750
„Space Shuttle“, JAV	1981	29,7	56,1	2 030
„Energia“, SSRS	1987	100	57,8	2 400
„Titan IVB“, JAV	1989	21,6	50–62	943
„Ariane 5“, ESA	1996	20	46–52	780
„Long March 3B“, Kinija	1996	11,5	54,8	425,8
„H 28“, Japonija	2001	10–15	53	445
„Proton M“, Rusija	2001	23	58,2	705
„Atlas V“, JAV	2002	20,5	58,3	590
„Delta IV Heavy“, JAV	2004	28,8	72	733
„Angara A5“, Rusija	2014	24,5	64	790
„Falcon Heavy“, JAV	2018	63,8	70	1 420
„Big Falcon Rocket“, JAV	2020	150	118	5 000
„Yenisei“, Rusija	2028	125	80	2 397
„Long March 9“, Kinija	2030	140	93	3 000

ZONDŲ SKRYDŽIAI Į KITAS PLANETAS

Kosminis zondas yra automatinis kosminis aparatas, skirtas Saulės sistemos planetoms, jų palydovams ir asteroidams tirti. Kosminiam zondui elektros energiją tiekia zondo Saulės baterijos. Toks kosminis aparatas gali skrieti arba būti pagreitintas kokio nors kosminio kūno traukos lauko (pvz., planetos) arba cheminiu kuru varomų variklių. Judėdamas iš vienos stacionarios orbitos į kitą automatinis zondas daugiausia naudojasi planetų

trauka. Automatiniame zonde gali būti įvairūs moksliniai prietaisai: ultraspektrometras dujų sudėčiai tirti, infraspektrometras žemųjų atmosferos sluoksnių temperatūrai matuoti, magnetometras magnetinio lauko stiprumui matuoti, jonizacijos kamera kosminiams spinduliams tirti, Saulės plazmos detektorius protonams registruoti, meteorinių dalelių detektorius kosminių dalelių kiekiui ir jų pasiskirstymui nustatyti, infraradiometras planetų paviršiaus sudėčiai tirti. Kiekvienas šiuolaikinis kosminis zondas turi aukštimatį, fotografavimo kameras, televizijos aparatūrą, valdymo programinę įrangą, radijo ryšio antenas. Saulės sistemos planetas labai sėkmingai tyrinėjo šie automatiniai zondai: „Luna-2“ (1969 m.) pirmasis minkštai nusileido Mėnulyje, „Pioneer-10“ (1972 m.) tyrė Jupiterį ir atsiuntė išsamių planetos vaizdų, „Pioneer-11“ (1973 m.) perdavė Saturno ir jo žiedų atvaizdus, „Lunar Prospektor“ (1998 m.) Mėnulyje atrado vandens, „Viking-2“ (1976 m.) nusileido Marse, „Mars Pathfinder“ (1997 m.) tyrė Marso kalnus, „Venera-7“ (1970 m.) pirmoji sėkmingai nusileido Veneroje, „Mariner-10“ (1973 m.) praskriejo pro Merkurijų ir Venerą, „Magellan“ (1989 m.) radiolokaciniu būdu sudarė Veneros žemėlapį, „Galileo“ (1989 m.) tyrė Jupiterį, „Voyager-1“ (1977 m.) apskriejo Jupiterį ir Saturną, „Voyager-2“ (1977 m.) apskriejo išorines (Žemės atžvilgiu) planetas, „Cassini-Huygens“ (2007–2017 m.) tyrė Saturną ir palydovus, „Giotto“ (1985 m.) – Halio kometą, „Ulysses“ (1990 m.) – Saulę ir jos vėją, NEAR (2001 m.) tyrinėjo asteroidų žiedą ir pirmą kartą nusileido ant asteroido. Nauji zondai, tokie kaip „New Horizons“, ruošiami tolimųjų Saulės sistemos planetų tyrimams. Su „New Horizons“ zondu 2015 m. siekta ištirti Plutoną ir kai kuriuos Koiperio žiedo koiperoidus. Keli seni zondai („Pioneer-10“, „Pioneer-11“, „Voyager-1“ ir „Voyager-2“) skrenda už Saulės sistemos ribų link netoli esančios tarpžvaigždinės erdvės, kurios ribą eksperimentiškai nustatė „Voyager-2“.

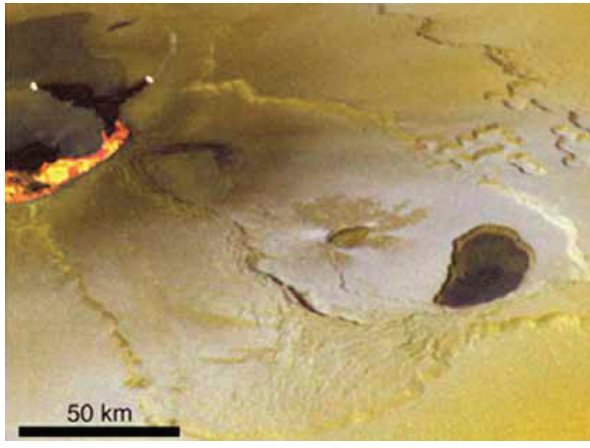
1967 m. paleisto „Venera-4“ zondo metro skersmens sferinė kapsulė parašiutu buvo lėtai nuleista į Veneros atmosferą. 94 minutes trukusio nusileidimo metu buvo užfiksuota 370 °C temperatūra, atsiųsti duomenys apie atmosferos slėgį, tankį ir cheminę sudėtį. Veneros paviršių pasiekęs zondas „Venera-7“ perdavė užregistruotus duomenis: slėgis – 90 atmosferų, temperatūra – 475 °C. Vėlesni ir sudėtingesni kosminiai zondai atsiuntė uolėto planetos paviršiaus nuotraukas. 1976 m. kosminis zondas „Viking“ ne tik perdavė Marso paviršiaus

nuotraukas, bet ir analizavo jo dirvą. Analizuotuose mėginiuose jokių organinių junginių nerasta.

„Voyager“ kosminiai zondai svėrė daugiau kaip 800 kg, turėjo 3,7 m skersmens anteną, sudėtingą įvairių jutiklių sistemą, didelės ir mažos raiškos televizinę įrangą. 1979 m. prie Jupiterio (278 000 km) priartėjęs zondas „Voyager-1“ perdavė jo debesų vaizdus. Jis praskriejo pro keturis Jupiterio palydovus (Ijo, Ganimedą, Kalistą ir Europą) ir atsiuntė jų paviršių nuotraukas. Ijo palydovo nuotraukos užfiksavo vulkaninę veiklą (22.15 pav.). Zondas „Voyager-2“ 1986 m. priartėjo prie Urano, o 1989 m. – prie Neptūno planetų.

2018 m. startavusio „Parker Solar Probe“ zondo pagrindinis tikslas – tyrinėti Saulės vainiką. Zondas praskries tik už 6,16 mln. km nuo Saulės paviršiaus. Jo apsaugos skydas, kurio storis 11,43 cm, yra pritaikytas atlaikyti 500 kartų intensyvesnę spinduliuotę negu Saulės spinduliuotė Žemėje. Tikimasi, kad net ir Saulės vainiko srityje, kur plazmos temperatūra gali siekti daugiau kaip 555 000 °C, skydas įkais tik maždaug iki 1370 °C.

Kosminiai skrydžiai yra labai susiję su raketų paleidimo kompleksų – kosmodromų – kūrimu. Kosmodromas – teritorija, kurioje išsidėstę kosminių aparatų paleidimo kompleksai. Tinkamiausia vieta kosmodromui – ekvatorius. Ekvatoriuje paleista raketa nešėja geriausiai išnaudoja Žemės sukimąsi ir gali sunaudoti 10 % mažiau energijos nei paleista šiaurėje arba pietuose.

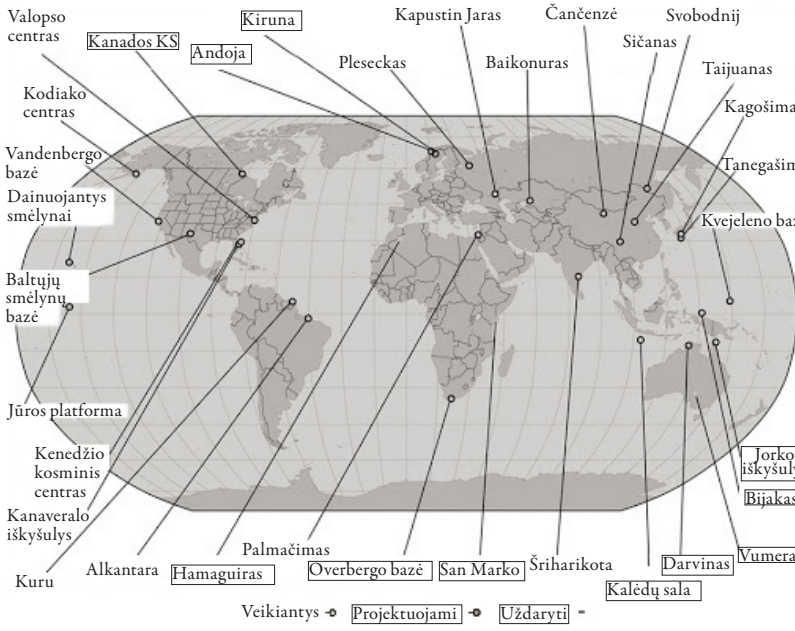


22.15 pav. Veikiančio ugnikalnio išsiveržimas Jupiterio palydove Ijo (Tvastarpic2.jpg.)

Oficiali nustatyta kosmoso riba – 100 km. Pasaulyje priskaičiuojama per 20 kosmodromų (22.16 pav.). Jie įrengiami negyvenamose arba labai retai gyvenamose teritorijose.

JAV per metus paleidžia apie 30 kosminių aparatų. Turi 4 poligonus: du iš jų priklauso Gynybos departamentui (rytinis poligonas Kenedžio kosminiame centre ir vakarinis Vandenbergo oro bazėje), kiti du – NASA (Kenedžio kosminis centras ir Valopso salos bazė Virginijoje). Visi kosmodromai yra netoli vandenyno.

Baikonuro kosmodromas Kazachstano teritorijoje – pirmas ir didžiausias kosmodromas pasaulyje. Iš jo galima paleisti visų tipų raketas nešėjas. Kosmodromo statybos pradžia – 1955 metai. Nuo 2009 m. Baikonuras yra civilinis kosmodromas, beveik visi kariniai startai perkelti į Plesecko kosmodromą.



22.16 pav. Raketų paleidimo centrai – kosmodromai (satellite-launch-direction?noredirect=1)

Vienintelis Europoje Rusijos Plesecko kosmodromas veikia nuo 1957 m. ir yra apie 200 km į pietus nuo Archangelsko. Iš jo 2014 m. sėkmingai buvo paleista didelės kėlimo galios raketa nešėja „Angara A5“. Tolimuosiuose Rytuose, netoli Kinijos sienos, statomas naujas Rusijos kosmodromas Vostočnij. Šiame kosmodrome didelės kėlimo galios raketų nešėjų starto rampą planuojama baigti 2025 m., o raketa nešėja iš jo galbūt startuos jau 2023 metais.

Kuru kosmodromas (arba Gvianos kosminis centras) yra pastatytas Prancūzijos Gvianoje (Pietų Amerika). Tai – Prancūzijos bei Europos kosmoso agentūrų naudojamas kosminis centras. Kuru kosmodromas yra arti (maždaug 500 km) Žemės pusiaujo, raketos nešėjos paleidžiamos virš vandenyno. Kosmodromas pradėtas statyti 1965 metais.

Vos kelis šimtus kilometrų nuo pusiaujo yra nutolęs Brazilijos paleidimo centras Alkantara. Indijos Satiš Davan paleidimo centras Šriharikotos saloje pradėtas statyti 1976 m., pirmas startas įvyko 1979 metais. Japonijoje pirmasis kosmodromas – Kagošimos kosminis centras – pradėtas statyti 1960 metais.

Kosminės programos yra labai brangios, todėl ilgą laiką jas plėtojo tik valstybinės organizacijos. Pastaraisiais metais į šį veiklos segmentą skverbiasi privatus kapitalas, kuris savo lėšomis ne tik kuria palydovus, zondus ar raketas nešėjas, bet ir siūlo pasauliui pažangesnes kosmoso priemones. JAV „SpaceX“ bendrovė įgyvendina raketinių kompleksų pakartotinio naudojimo idėją. Bendrovei pavyko paleidimo raketos 1-ąją pakopą iš 80 km aukščio nutupdyti ant plūdrios platformos. Erdvėlaiviais „Dragon“ gabenami kroviniai (iki 3,3 t) į Tarptautinę kosminę stotį, naujasis „CrewDragon“ ruošiamas astronautams, „Mars Colonial Transporter“ – tolesnėms kelionėms. Svarbiausias privačios „SpaceX“ kompanijos pasiektas rezultatas: 2012 m. į Tarptautinę kosminę stotį raketa nešėja „Falcon-9“ erdvėlaiviu „Dragon“ nuskraidino 6 t krovinį. Beje, „Dragon“ buvo sugrąžintas atgal – jis sėkmingai „nutūpė“ Ramiajame vandenyne pargabendamas krovinį iš TKS. Artimiausiu metu daugkartiniu erdvėlaiviu „Dragon-V2“ planuojama surengti net turistinius skrydžius aplink Mėnulį. 2018 m. „SpaceX“ bendrovė pirmą kartą paleido galingiausią pasaulyje sunkiąją raketą nešėją „Falcon Heavy“, kuri, planuojama, ateityje pakels pilotuojamus erdvėlaivius skrydžiams į Mėnulį ar Marsą.

23 SKYRIUS
BRANDUOLINĖS ENERGIJOS ATRADIMAS IR PLĖTRA

Pirmą kartą branduolių dalijimąsi 1934 m. stebėjo italų fizikas Enrico Fermi. 1938 m. vokiečių mokslininkai Otto Hahnas ir Fritzas Strassmannas nustatė, jog neutronas padalija didelį urano atomą į dvi apytiksliai lygias dalis. Remdamiesi šiuo atradimu danas Nielsas Bohras ir JAV mokslininkas Johnas Archibaldas Wheeleris 1939 m. sukūrė branduolių dalijimosi modelį. Branduolių dalijimosi (skilimo) metu atomo branduolys skyla į du mažesnius branduolius, paskleisdamas neutronus ir gama fotonus. Per grandininę branduolių dalijimosi reakciją išsiskiria didžiulis energijos kiekis – iki kelių šimtų MeV (1 MeV (vienas milijonas elektrovoltų) = $1{,}609 \times 10^{-13}$ J). Palyginimui – cheminių reakcijų metu išsiskiria vos kelios dešimtys eV energijos. Skilimas gali būti savaiminis arba sukeltas neutronų. Lengviausiai skyla sunkiausių elementų branduoliai – urano, torio ir plutonio. Esant pakankamam urano izotopo U^{235} kiekiui, gali prasidėti grandininė branduolinė reakcija. Pirmasis branduolinis reaktorius buvo pastatytas Čikagoje (JAV) 1942 metais. Šio reaktoriaus statybai vadovavo E. Fermi. 1946 m. branduolinis reaktorius buvo sukonstruotas ir SSRS. Jo kūrimui vadovavo Igoris Kurčiatovas.

Neutronui pataikius į urano U^{235} izotopo atomą, pastarasis suskyla į du lengvesnius atomus, atpalaiduoja didelį šilumos kiekį ir išmeta keletą greitų neutronų (vidurkis 2,5). Naujai atsiradę laisvi neutronai skaldo kitus urano U^{235} atomus, kurie išskiria naujus neutronus, skaldančius vis didesnį atomų skaičių. U^{235} skilimo metu išlėkę neutronai vadinami *greitaisiais neutronais*. Kad galėtų skaldyti kitus U^{235} branduolius, jie turi būti sulėtinti, nes greitųjų neutronų branduoliai nepagauna. Greitieji neutronai, susidurdami su lėtiklio molekulėmis, kaskart praranda dalį kinetinės energijos ir sulėtėja. Neutronų sulėtinimui naudojamas grafitas ar sunkusis vanduo. Virtę *lėtaisiais neutronais* (šiluminiais) jie sąveikauja su U^{235} branduoliais ir juos skaldo. Norint sumažinti greitojo neutrono pradinę 1 MeV energiją iki 0,025 eV, reikia apie 1 110 susidūrimų.

$U^{238} + n \rightarrow U^{239}$ arba $U^{235} + n \rightarrow$ Skilimas

Branduolinis reaktorius gali kurui naudoti natūralų uraną, kurio 1/139 dalį sudaro suskaldomas uranas U^{235}, natūralaus urano ir suskaldomo urano mišinį (toks kuras vadinamas praturtintu kuru) ar plutonį Pu^{239}. Kai natūralus uranas bombarduojamas šilumos, t. y. labai lėtais, neutronais, vyksta dvi reakcijos: viena yra branduolio suskaldymas, o kita – neutrono prijungimas prie branduolio, kuris virsta uranu U^{239} ir paskleidžia γ spinduliuotę. Šis naujas branduolys yra nepastovus – išmesdamas vieną elektroną jis virsta nauju elementu – neptuniu Np^{239}. Neptunis irgi nepastovus – išmesdamas taip pat vieną elektroną, virsta plutoniu Pu^{239}, nauju elementu, kuris praktiškai yra pastovus.

$$^{238}_{92}U\,(n,\gamma)\,^{239}_{92}U \xrightarrow[23{,}5\ \text{min.}]{\beta^-} {}^{239}_{93}Np \xrightarrow[2{,}34\ \text{d}]{\beta^-} {}^{239}_{94}Pu \xrightarrow[24400\ \text{m.}]{\alpha}$$

Be neptunio ir plutonio, atominė grandininė reakcija sukuria 30 radioaktyvių branduolio skilimo produktų, tokių kaip baris, ksenonas, jodas ir kt.

Oak Ridžo (JAV) reaktorius (1943) buvo pirmasis, gaminęs energiją. Jo branduolį sudarė 7,25 m^3 grafito blokų ir 1 248 kuro kanalai. Kvadratiniai (kraštinės ilgis 4,4 cm) kuro kanalai buvo įstatyti į 17 cm kraštinių kvadratinį tinklą. Į kuro kanalus kasetėmis buvo sukrauta 35 tonos urano. Siekiant išvengti oksidacijos, kasetės (2,8 cm skersmens ir 10 cm ilgio) buvo padengtos aliuminio apvalkalu. Reaktorius aušinamas oru – pro pagrindinius kanalus buvo prapučiama 47,2 tūkst. m^3/min. oro. Reaktoriui generuojant 3 800 kW galią, branduolinio kuro temperatūra siekė 245 °C, o grafitinio lėtiklio – 130 °C. Reaktoriaus apsauginės betoninės sienelės storis buvo 2,1 metro.

Reaktoriai klasifikuojami pagal branduolinio kuro pasiskirstymą reaktoriuje (homogeniniai, heterogeniniai), pagal lėtiklio medžiagą (grafitas, sunkusis ir įprastas vanduo, BeO, organiniai bifenilo ir terfenilo angliavandeniliai), pagal aušinimui naudojamą medžiagą (vandeniu, skystu metalu, dujomis), pagal dalijimosi reakcijoms sukelti naudojamų neutronų energiją (lėtųjų arba šiluminių neutronų ir greitųjų neutronų), pagal branduolinio kuro cheminę formą (oksidinis, metalinis, keramikinis, skystas) ir pagal branduolinių reaktorių paskirtį (elektros energijos gamybai, transporto priemonių varomajai jėgai generuoti, vandens gėlinimui, pastatų šildymui, vandenilio gamybai, dauginimo reaktoriai, moksliniai tiriamieji).

Šiandieninėse branduolinėse jėgainėse elektra gaminama panašiai kaip ir šiluminėse elektrinėse. Reaktoriuje išsiskyrusi šiluma kaitina vandenį, vandens garai suka garo turbiną, o turbina – elektros generatorių. Greitųjų neutronų reaktoriuose grandininės branduolių dalijimosi reakcijas palaiko greitieji neutronai (jų energija siekia 1 MeV), todėl nereikalingas neutronų lėtiklis. Toks reaktorius naudoja didelio prisodrinimo branduolinį kurą. Greitųjų neutronų sukeltų dalijimosi reakcijų metu išskiriama daug daugiau dalijimosi neutronų negu šiluminių neutronų sukeliamomis reakcijomis. Pertekliniai neutronai gali būti naudojami kitiems tikslams, pvz., gaminti branduolinį kurą (greitieji dauginimo reaktoriai) arba ilgaamžius radionuklidus versti trumpaamžiais. Greitųjų neutronų reaktorių aušinimui naudojamas skystas metalas arba dujos. Tikimybė, kad dauginimo reaktoriuje U^{238} absorbuos neutroną, padidėja iki 77 %. Reaktoriaus darbo metu, veikiant neutronams ir γ spinduliams, susidaro Pu^{239}. Tolesnių reakcijų metu susidaręs Th^{232} virsta skiliuoju U^{233}. Šie reaktoriai aušinami skystu natriu (Na lydosi 90 °C temperatūroje), kuris tekėdamas vamzdynais uždaru kontūru atiduoda šilumą vandeniui ir jį paverčia garu. Manoma, kad šie reaktoriai gali pagaminti 150 kartų daugiau branduoliniam skilimui tinkamo kuro, negu jo sunaudoja.

Grandinine branduoline reakcija vadinama tokia branduolinės reakcijos rūšis, kai vienos reakcijos produktai, susidūrę su medžiaga, sukelia tolesnes reakcijas. Grandininės branduolinės reakcijos yra itin svarbios, kadangi jomis remiasi branduolinio reaktoriaus konstrukcija, o nekontroliuojama grandininė reakcija yra branduolinio ginklo veikimo pagrindas. Kad tokia reakcija galėtų vykti, reikalinga tam tikra pradinė medžiagos masė, vadinama *kritine mase*. Kritinė masė priklauso nuo branduolio savybių (tankio, formos ir kt.). Esant kritinei masei, susidaro pakankamai reakcijos produktų, galinčių inicijuoti tolesnes reakcijas. Kritinę masę galima sumažinti apsupus pradinę medžiagos masę neutronus atspindinčiomis medžiagomis arba padidinus jos tankį (pavyzdžiui, suspaudus ją paprastos sprogstamosios medžiagos užtaisu ar suartinus jo dalis tarpusavyje). Ji taip pat sumažėja pašalinus iš bandinio neutronus sugeriančias medžiagas (pavyzdžiui, reaktoriaus stabdymo strypus).

Kai branduolys pagriebia neutroną, jis gali skilti tuoj pat arba trumpą laiką išlikti nestabilios būsenos. Jeigu grandininei reakcijai tęsti yra

pakankamai skylančių branduolių, laikoma, kad medžiagos masė yra kritinė. Jei energijos „išlaisvinimas“ greitai ir nekontroliuojamai auga, tai toks procesas virsta sprogimu. Branduolio skilimo metu susidaro γ spinduliai, laisvieji neutronai ir kitos subatominės dalelės (23.1 pav.). ^{235}U urano ir neutrono branduolinė reakcija vyksta šia seka:

$$^{235}_{92}U + n = ^{236}_{92}U$$

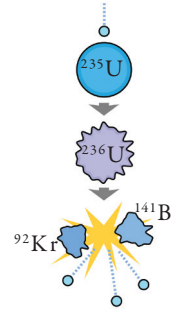
$$^{236}_{92}U = ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3n + 177\ MeV$$

Plėtojant branduolinę energetiką inžinerijai reikia išspręsti kelias problemas:

– sukurti perspektyvią energijos gamybos alternatyvą,

– susidoroti su radioaktyviosiomis atliekomis.

Artimojoje perspektyvoje, bent jau pirmame XXI a. ketvirtyje, nafta ir anglis išliks pagrindiniu energijos gamybos šaltiniu. Šiuo metu branduolinių elektrinių gaminama energija sudaro apie 16 % elektros energijos gamybos. Ji naudojama ne tik buities ar gamybos reikmėms, bet ir lėktuvnešiuose, ledlaužiuose ir povandeniniuose laivuose. Ateityje branduolinės jėgainės galbūt tieks 25–40 % reikalingos energijos. Nesukūrus tinkamų energijai gaminti *dauginimo reaktorių*, branduolių *dalijimosi reaktoriai* vargu ar išspręs augančio energijos poreikio problemą. Tolimesnėje perspektyvoje tikimasi sukurti branduolių sintezės reaktorius ir energijos gamybai naudoti vandenilio energetiką. Antroji branduolinės energetikos problema susijusi su radioaktyviųjų atliekų, kurios tokiomis išlieka labai ilgą laiką (>10^5 metų), utilizavimu. Labiausiai pavojingiems radionuklidams (Ni, Co, Sr) izoliuoti ir saugoti kuriamos keramikos ir stiklo atliekų imobilizavimo technologijos.



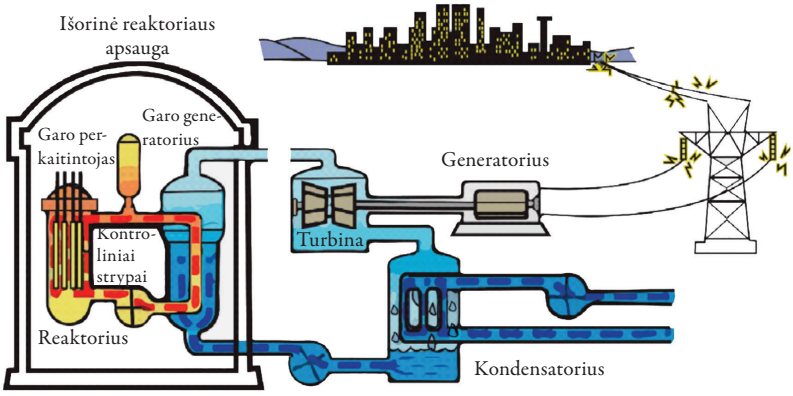
23.1 pav. Priverstinis branduolinis dalijimasis. Neutroną „sugėręs“ ^{235}U atomas skyla į greitai lekiančius skilimo produktus (Ba ir Kr) ir laisvuosius neutronus (Nuclear fission.svg.)

ENERGIJOS GAMYBA BRANDUOLINĖSE JĖGAINĖSE

Branduolinė energija – ilgalaikė, produktyvi ir sąlyginai nebrangi energijos rūšis, išgaunama branduoline technologija: kontroliuojant urano branduolių

dalijimąsi išlaisvinama energija, kuri naudojama šildymui bei elektros energijos gamybai.

Daugelyje iškastinio kuro elektros jėgainių vanduo yra šildomas ir paverčiamas garais, kurie suka garo turbiną, o ši – elektros generatorių. Iškastinio kuro jėgainėse deginama anglis, mazutas, gamtinės dujos. Branduolinės elektrinės reaktoriuje skylantys urano atomai išskiria daug šilumos, kuri panaudojama garui gaminti. Branduolinėje elektrinėje daugiausia naudojami korpusiniai suslėgto vandens ir korpusiniai verdančio vandens šiluminių neutronų reaktoriai. Branduolinis reaktorius, be biologinės apsaugos, turi avarinio aušinimo, valdymo, energijos generavimo ir tankio pasiskirstymo kontrolės, kuro elementų sandarinimo kontrolės, kanalų aušinimo, vandens debito kontrolės ir reguliavimo, kanalų sandarumo kontrolės sistemas. Ignalinos AE veikė korpusiniai kanaliniai verdančio vandens šiluminių neutronų reaktoriai. Į reaktoriaus šerdį įkraunamas urano ($^{235}_{92}U$) kuras. Dalijantis urano arba plutonio (1 g) izotopų branduoliams, išgaunama apie 22,5 MWh šiluminės energijos. Kai didelis ir skalus atomo branduolys (uranas-235 arba plutonis-239) sugeria neutroną, jis gali skilti. Į du ar daugiau lengvesnių branduolių (skilimo produktų) skylantis sunkusis branduolys išlaisvina *kinetinę energiją*, *gama spinduliuotę* bei *laisvuosius neutronus*. Dalis šių neutronų vėliau gali būti sugerti kitų branduolių ir sukelti tolesnius skilimo įvykius, ir taip tęsiasi, kol skyla paskutinis branduolys. Tai yra grandininė branduolinė reakcija. Kai skilimo produktų kinetinė energija verčiama į šiluminę energiją, reaktoriaus branduolys gamina šilumą. Grandininę branduolinę reakciją galima valdyti naudojant neutronų lėtiklius. Valdymo elementai, pagaminti iš neutronus absorbuojančių medžiagų, įmontuojami tarp kuro rinkinių. Kai valdymo elementai (strypai) ištraukiami iš šerdies, padaugėja laisvųjų neutronų, grandininė reakcija pagreitėja ir sukuriama daugiau šilumos. Įstumti į šerdį, jie absorbuoja daugiau neutronų, todėl grandininė reakcija lėtėja arba visai sustoja. Dauguma komercinių branduolinių reaktorių branduolių dalijimosi procese reaktoriaus šerdyje susidariusią šilumą pašalina paprastu vandeniu. Tokio tipo reaktoriai vadinami *lengvojo vandens reaktoriais*. Vanduo juose yra ir neutronų lėtiklis. Šiuo metu naudojami du skirtingi lengvojo vandens reaktoriaus modeliai: *suslėgto vandens reaktorius* (*Pressurized water reactor*) (23.2 pav.) ir *verdančio vandens reaktorius* (*Boiling water reactor*).



23.2 pav. Suslėgto vandens reaktoriaus schema (PressurizedWaterReactor.gif.)

Suslėgto vandens reaktoriuje šiluma iš reaktoriaus pašalinama didelio slėgio vandeniu, tekančiu uždaru (pirmuoju) kontūru. Iš pirmojo kontūro pro šilumokaitį šiluma patenka į antrą vandens kontūrą. Antrajame kontūre vandens slėgis yra mažesnis, todėl vanduo jame gali užvirti, virsti garu ir sukti garo turbiną. Per turbinos mentes praėjęs garas kondensuojamas į vandenį ir grąžinamas į šilumokaičio kontūrą. *Verdančio vandens reaktoriuje* vanduo užverda pačiame reaktoriuje, o susidarę garai tiesiogiai nukreipiami į garo turbiną, kuri suka elektros energiją gaminantį generatorių. Praėjęs turbinos mentes garas kondensuojamas, o kondensatas grąžinamas pakartotiniam naudojimui.

BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS PLĖTRA LIETUVOJE

Dvidešimt šešerius metus (1983–2009 m.) Lietuva buvo branduoline valstybe (23.3 pav.). Ignalinos atominės elektrinės parengiamieji statybos darbai prasidėjo 1974 metais. Elektrinė turėjo tenkinti buvusios Sovietų Sąjungos vientisos Šiaurės–Vakarų energetikos sistemos poreikius. 1983 m. ėmė dirbti pirmasis reaktorius, 1987 m. – antrasis reaktorius. Kiekviename elektrinės bloke buvo įrengtos dvi garo turbinos 800 MW galios generatoriams sukti. 1986 m. įvykus Černobylio atominės elektrinės, turėjusios tokio pat tipo

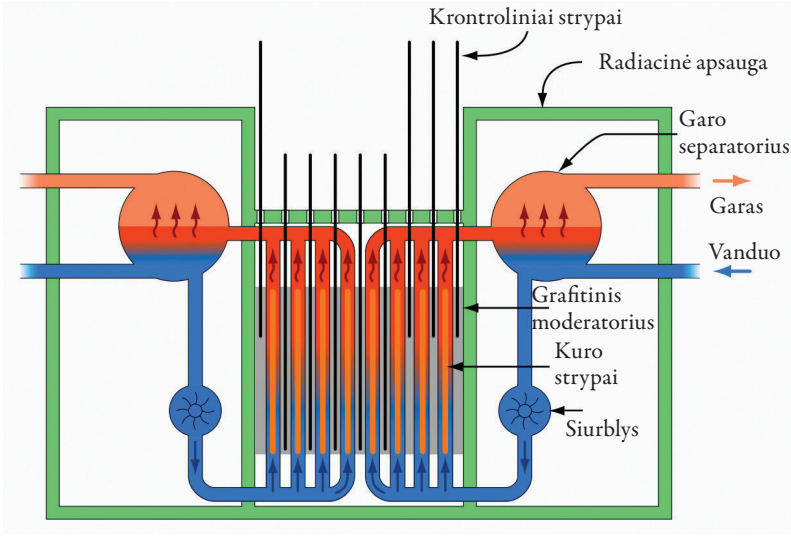


23.3 pav. Ignalinos atominė elektrinė
(Ignalina Nuclear Power Plant Lithuania two towers.JPG.)

reaktorių, kaip ir Ignalinos atominė elektrinė, avarijai, pirmasis reaktorius uždarytas 2004 m., antrasis – 2009 metais. Jėgainėje planuota įrengti dar du blokus. Trečiojo bloko statyba prasidėjo 1985 m., tačiau 1988 m. buvo sustabdyta. Blokas pradėtas išmontuoti 1989 m., o baigtas 2008 metais. Dėl visuomenės reakcijos į atominę energetiką po Černobylio katastrofos 4-ojo bloko statyba nebuvo pradėta. Stojimo į Europos Sąjungą sutartyje Lietuva įsipareigojo uždaryti Ignalinos atominę elektrinę. 1991 m. Ignalinos AE pagamino 60 % visos šalies elektros energijos, o rekordiniais Lietuvos branduolinei energetikai 1993 m. – net 88, 1 % valstybei reikalingos elektros energijos.

Kanaliniai šiluminių neutronų vandens-grafito branduoliniai reaktoriai (RBMK-1500) yra aušinami vandeniu. RBMK tipo reaktoriuose naudojama vieno kontūro šiluminė schema: į turbinas tiekiamas prisotintas 6,5 MPa slėgio garas susidaro tiesiog reaktoriuje verdant per jį pratekančiam lengvajam vandeniui, kuris sistemoje cirkuliuoja uždaru kontūru. RBMK reaktoriaus konstrukcija leidžia keisti kuro strypus (rinkles) nestabdant reaktoriaus, be to, reaktorius gamino ne tik garą, bet ir plutonį. Ignalinos atominėje elektrinėje buvo pastatyti du RBMK-1500 reaktoriai, aušinami vandeniu ir turintys grafitinę neutronų lėtinimo sistemą. Paleidimo metu tai buvo galingiausias pasaulyje reaktorius, kurio elektros gamybos galia siekė 1 500 megavatų (MW), o šiluminė galia – 4 800 MW (23.4 pav.).

Gelžbetoninės reaktoriaus šachtos matmenys yra 21,6 × 21,6 × 25,5 metro. Helio ir azoto mišiniu (70–90 % He, 10–30 % N_2) pripildytame inde yra grafito rietuvė. Inertinių dujų mišinio atmosfera saugo grafitą nuo oksidacijos ir perduoda šilumą nuo grafito elementų į aušinimo skysčio kanalus. Neutronų



23.4 pav. Kanalinio šiluminių neutronų vandens-grafito branduolinio reaktoriaus (RBMK) schema (RBMK reactor schematic.svg.)

lėtiklio blokai (250 × 250 × 500 mm) yra pagaminti iš „branduolinio“ grafito. Šis sintetinis grafitas beveik visiškai neturi neutronus absorbuojančių priemaišų (ypač boro). Pro grafito blokuose padarytas išilgines 11,4 cm skersmens kiaurymes įstatomi kuro ir valdymo strypai. Į reaktoriaus indo vidų sukrauti blokai sudaro jo cilindrinę šerdį. Didžiausia leistina grafito darbo temperatūra yra 730 °C. Reaktoriaus plieninio indo sienelės storis 16 mm. Neutronų lėtinimo sistemą (moderatorių) supa cilindrinis vandens rezervuaras. Vanduo į rezervuarą patenka iš cilindro apačios ir išteka per jo viršų. Vandens bakas, smėlio sluoksnis ir reaktoriaus viršutinė betono plokštė yra papildomi biologinės saugos elementai. Reaktoriaus viršuje yra viršutinis biologinis skydas, pro jame padarytas skyles įkišami kuro ir valdymo strypai. Viršutinė ir apatinė reaktoriaus indo dalys padengtos 4 cm storio plieno plokštėmis, suvirintomis taip, kad pro siūles neprasiskverbtų net helis. Tarpas tarp plokščių ir įkištų vamzdžių užpildomas serpentinu – paviršinį vandens molekulių sluoksnį turinčia uoliena. Reaktoriaus apatinėje dalyje yra apatinis biologinis skydas.

Kuro kanalai gaminami iš suvirintų cirkonio lydinio vamzdžių, kurie yra prakišti pro grafitinius neutronų lėtinimo blokus. Kuro kanalo vamzdis, kurio viršutinė ir apatinė dalys daromos iš nerūdijančio plieno, jungiamas su cirkonio lydinio vamzdžiu cirkonio-plieno lydinio movomis. Vamzdžiai privirinami prie plieninių reaktoriaus indo viršutinės ir apatinės plokščių. Reaktoriaus šerdyje yra 1 661 kuro kanalas ir 211 valdymo kanalų (23.5 pav.). Kuro rinkles kanale laiko specialus laikiklis, turintis sandarinimo kamštį. Mažas tarpelis tarp slėginių aušinimo vamzdžių ir grafito bloko darbo metu kelia tam tikrą pavojų. Slėginio aušinimo vamzdžio deformacija ar plyšimas, pvz., esant per dideliam vidiniam slėgiui, gali spausti grafito blokus, juos pažeisti, pažeidimas gali išplisti net į gretimus kanalus.

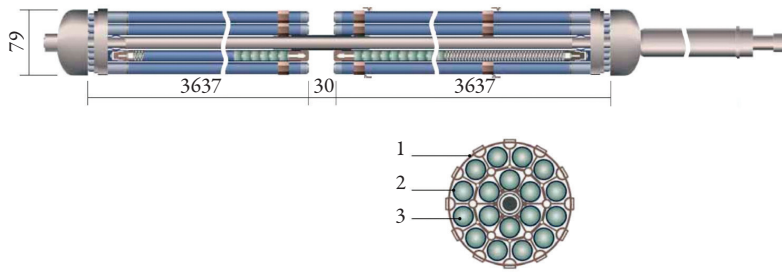
Kuro granulės gaminamos iš urano dioksido miltelių, sumaišytų su rišikliu ir sukepintų į 1,15 cm skersmens ir 15 mm ilgio cilindrus. Siekiant sumažinti granulės šiluminį plėtimąsi ir jos sąveiką su apvalkalu, granulės turi puslankio išpjovas. Didžiausia leistina kuro granulių temperatūra 2 100 °C. Kuro strypų vamzdžiai, kurių išorinis skersmuo 13,6 mm, o sienelės storis 0,825 mm, gaminami iš cirkonio lydinio (1 % Nb). Strypai pripildomi 0,5 MPa slėgio heliu ir hermetiškai užsandarinami. Kiekviename kuro strype yra 3,5 kg kuro granulių. Kuro strypo ilgis yra 3,64 m, aktyvus ilgis – 3,4



23.5 pav. Ignalinos atominės elektrinės reaktoriaus indo viršutinės plokštumos vaizdas (RBMK reactor from Ignalina ArM.jpg.)

metro. Didžiausia leistina kuro strypo temperatūra 600 °C. Kuro rinklę sudaro du kuro strypų komplektai, kiekviename iš jų yra 18 strypų. Bendra urano masė kuro rinklėje –114,7 kg. Kad tilptų apvaliuose RBMK reaktorių slėgio kanaluose, kuro rinklės daromos cilindro formos (23.6 pav.). Kuras perkraunamas krovimo mašina reaktoriui veikiant ir nemažinant jo galios. Tiksliai nutaikyta į technologinį kanalą mašina su juo susijungia, mašinos tarpvamzdis su viršutine kanalo dalimi užsandarinamas. Specialus mašinos griebtuvas susikabina su pakaba ir technologinis kanalas išhermetinamas. Įjungiamas kėlimo mechanizmas ir pakaba kartu su šilumą išskiriančia kasete visiškai įtraukiama į skafandrą. Į technologinį kanalą įstatoma pakaba su nauja šilumą išskiriančia kasete ir technologinis kanalas hermetinamas. Nuo technologinio kanalo atsiskyrusi kuro krovimo mašina juda link naudotų kasečių priėmimo mazgo, kur yra iškraunama. Iš reaktoriaus ištraukta rinklė dedama į aušinimo šulinį. Kuro krovimo mašina per dieną gali pakeisti dvi kuro rinkles.

Svarbiausia atominės elektrinės saugumo sritis – panaudoto branduolinio kuro saugojimas. Nuo Ignalinos AE eksploatavimo pradžios panaudotas branduolinis kuras saugomas specialiuose vandens baseinuose tose pačiose patalpose, kur ir reaktoriai. Tai laikino saugojimo būdas. Neturint ilgalaikių gamtinių panaudoto branduolinio kuro saugyklų, naudojami specialūs plieniniai konteineriai. Tuščio konteinerio svoris – apie 70, su panaudotu



23.6 pav. RBMK reaktoriaus kuro rinklė ir jos skersinis pjūvis: 1 – tarpelį tarp kuro tablečių išlaikanti armatūra, 2 – kuro strypo apvalkalas, 3 – kuro tabletės (Rbmk fuel rods holder.png.)

branduoliniu kuru – apie 84 tonos. Tokio tipo konteineriuose panaudotas branduolinis kuras gali būti saugomas 50 metų, po to jį reikėtų išgabenti į „amžino laidojimo“ vietą, bet tokios vietos Lietuvoje kol kas dar nėra.

Dauguma reaktoriaus valdymo strypų įkišami iš reaktoriaus viršaus, nors dalis trumpesnių strypų įkišami ir iš reaktoriaus apačios. Valdymo strypą sudaro 4,5 m ilgio grafito sekcija, perskirta 1,25 m ilgio teleskopiniu elementu (kuris tarp grafito ir neutronų sugėriklio sukuria vandeniu užpildytą erdvę) ir boro karbido neutronų sugėriklio sekcija. Kai valdymo strypas yra visiškai ištrauktas, grafito sekcija atsiduria reaktoriaus šerdies viduryje, o abiejuose sekcijos galuose dar yra 1,25 m vandens stulpas. Valdymo strypų kanalai aušinami atskiru vandens kontūru, kuris palaiko 40–70 °C temperatūrą. Dėl mažo plyšelio tarp valdymo strypo ir kanalo sienelės strypai įkišami ar ištraukiami lėtai (apie 0,4 m/s). Reaktoriaus šerdį pakrovus šviežiu kuru, įkišami papildomi boro karbido neutronų sugėrikliai. Išdegant branduoliniam kurui papildomų sugėriklių kiekis palaipsniui mažinamas.

Reaktoriuje yra du nepriklausomi aušinimo kontūrai. Aušinimo vanduo į reaktorių patenka pro apatinę dalį. Kiekvienas aušinimo kanalas praeina pro reaktoriaus šerdį, kur vanduo užverda. Garo ir vandens mišinys paduodamas į garų separatorių. Iš separatoriaus garas nukreipiamas į turbinų salėje esantį turbogeneratorių, iš kurio patenka į kondensatorių, čia vanduo nukreipiamas į deaeratorius, kuriuose iš vandens pašalinamos dujinės fazės, tarp jų ir koroziją sukeliančios dujos. Tuomet vanduo vėl grąžinamas į reaktorių. Nominaliam reaktoriaus aušinimui reikia 46 000–48 000 m^3/h vandens srauto. Reaktoriui dirbant visu galingumu per valandą pagaminama 5 440–5 600 t garo. Vandens lygis garų separatoriuose, procentinis garų kiekis reaktoriaus vamzdžiuose, parametrai, kuriems esant vanduo pradeda virti reaktoriaus šerdyje, neutronų srautas, energijos pasiskirstymas reaktoriuje ir aušinimo vandens tekėjimas aušinimo kontūru yra nuolat ir atidžiai kontroliuojami.

BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS KATASTROFOS

Sovietų kariniams strategams branduolinis ginklas buvo tam tikra garantija, kad pražūtinga invazija, kokią patyrė SSRS ir jos sąjungininkai Antrojo

pasaulinio karo metu, nepasikartos. Branduolinio ginklo kūrimas ir branduolinės programos plėtra SSRS buvo ypač įslaptinta veikla. Buvo pastatyti bent devyni slapti branduoliniai objektai, o šalia jų – „slaptieji miestai“. Šiuose miestuose dirbo daugiau kaip 700 000 žmonių, kurie ir sukūrė sovietinę branduolinę programą. 1954 m. Obninske (100 km į pietryčius nuo Maskvos) buvo pastatytas pirmasis 5 000 kW galios branduolinis reaktorius, skirtas šilumai ir elektros energijai gaminti. Pirmasis eksperimentinis amerikiečių branduolinis reaktorius elektrai gaminti pradėjo veikti 1951 m. Aidaho valstijoje, tačiau jo galia buvo labai maža. 1954 m. SSRS ir JAV pradėjo statyti branduoline jėgaine aprūpintus laivus. 1954 m. buvo pastatytas pirmasis amerikiečių povandeninis branduolinis laivas „USS Nautilus“, o 1959 m. JAV ir SSRS pastatė pirmuosius branduolinius variklius turinčius antvandeninius laivus. Pirmasis branduolinės energijos varomas laivas buvo ledlaužis „Leninas“, į vandenį nuleistas 1957 m., o pirmą kartą panaudotas 1959 metais. Prasidėjusi branduolinių elektrinių statybų plėtotė, kaip ir tikėjosi inžinieriai, labai pagelbėjo Sibiro ir Tolimųjų Rytų regionų vystymuisi. Tuo laikotarpiu niekas nediskutavo apie branduolinės energijos trūkumus, jos atliekų šalinimo problemą ir eksploatacijos saugą. Nebuvo jokių diskusijų apie branduolinių avarijų galimybę ir keliamus pavojus.

Sovietų Sąjungoje kuriami branduoliniai reaktoriai skyrėsi nuo Vakarų valstybėse kuriamų reaktorių. Pagrindiniai ir esminiai skirtumai buvo ne reaktoriaus konstrukcijos principai, bet požiūris į jo saugų veikimą. Vakarų valstybių reaktorius buvo visiškai izoliuotas nuo aplinkos, jį supo aklina gelžbetoninė konstrukcija, kuri avarijos atveju turėjo lokalizuoti įvykį šioje erdvėje. SSRS buvo pastatyti 62 reaktoriai, iš jų 53 gamino 10 % visos SSRS gaminamos elektros energijos. JAV veikė 103 reaktoriai, kurie gamino 16–19 % visos šalies elektros energijos. 47 sovietinio dizaino reaktoriai yra *suslėgto vandens tipo* reaktoriai, dar vadinami WWER (*Water-Water Energetic Reactor*) reaktoriais. Skirtingi WWER reaktorių modeliai neturi visiškos izoliacijos nuo aplinkos. Likusieji, vadinamieji *kanalinio tipo didelės galios reaktoriai* (*Реактор Большой Мощности Канальный* – RBMK), yra vandeniu aušinami verdančio vandens reaktoriai, valdomi grafitiniais neutronų sugėrikliais (moderatoriais). WWER ir vakarų šalyse pastatytuose reaktoriuose neutronų „srauto“ intensyvumas reguliuojamas vandens

moderatoriais, kuris ir palaiko nustatyto galios lygmens reaktoriaus darbą. RBMK reaktorių paskirtis dvejopa – jie gamina elektros energiją ir ginklams reikalingą plutonį. Toks RBMK konstrukcijos reaktorius veikė ir Černobylio branduolinėje elektrinėje (Ukraina), kurioje 1986 m. atsitiko viena iš labiausiai pasaulyje žinomų branduolinių avarijų.

Ir iki Černobylio avarijos Sovietų Sąjungoje buvo pavojingų incidentų, tačiau jie buvo slepiami. 1957 m. uždarame miestelyje (dab. Oziorskas, Čeliabinsko sritis) sprogo chemijos pramonės įmonės radioaktyviųjų atliekų rezervuaras. Sprogimas, prilygęs maždaug 75 t sprogusio dinamito, nuplėšė metro storio betoninį talpyklos dangtį. Į aplinką pasklidusios pavojingos medžiagos dviejų kilometrų aukštyje suformavo radioaktyvų debesį. Pavojaus zonoje atsidūrė apie 300 tūkst. žmonių, 12 tūkst. iškelti iš savo gyvenamųjų vietų. Tuomet tai buvo didžiausia branduolinė katastrofa pasaulyje – radiacija buvo užterštas maždaug 15–20 tūkst. km^2 plotas. 1970 m. Sormovo laivų statykloje (Žemutinis Naugardas) įvyko dar statomo povandeninio laivo branduolinio reaktoriaus avarija. Dvylika darbuotojų žuvo vietoje, dar trys mirė po savaitės, radioaktyviomis medžiagomis buvo užteršti cechai, kažkiek teršalų pateko į Volgos upę. 1979 m. Trijų mylių salos branduolinėje jėgainėje (Pensilvanijos valstija, JAV) iš branduolinio reaktoriaus nutekėjo radioaktyviosios medžiagos. Reaktorius buvo suvaldytas. Černobylyje sprogimo metu išgaravo 50 t urano kuro, likęs kuras susilydė su gelžbetonine apsauga. Susidariusi radioaktyvi stiklinė masė susikaupė po buvusiu reaktoriumi. Trijų mylių salos ir Černobylio katastrofų skirtingas pasekmes lėmė tai, kad Černobylio atominės elektrinės reaktoriai neturėjo izoliuojančio nuo aplinkos gaubto. Išsami informacija apie Černobylio katastrofą yra pateikta daugelyje avarijos ataskaitų. 1986 m. vykdant planinius remonto darbus buvo numatyti įvairūs įrangos bandymai, kurių metu buvo keičiama reaktoriaus galia. Nukritusią reaktoriaus galią personalas nusprendė atkurti ištraukdamas apsauginius reaktoriaus strypus. Pasiekus 200 MW šiluminę galią buvo išjungta dalis cirkuliacinių siurblių, todėl aktyvioje reaktoriaus zonoje temperatūra ėmė artėti prie virimo temperatūros. Suveikus avariniam signalui, apsauginiai strypai pajudėjo link aktyviosios zonos, tačiau dėl netinkamos konstrukcijos ir sumažėjusios operatyvios reaktyvumo atsargos reaktorius nebuvo

uždarytas. Operatoriai bandė rankiniu būdu įkišti į reaktorių valdymo strypus, tačiau šiluma deformavo strypų nuleidimo sistemą ir jie užstrigo nepasiekę reikiamos zonos. Maždaug per 3 sekundes pasigirdo du sprogimai ir reaktorius buvo visiškai sunaikintas. Pirmąjį sprogimą sukėlė perkaitusioje reaktoriaus šerdyje susidariusios vandenilio dujos, antrasis galėjo būti branduolinis.

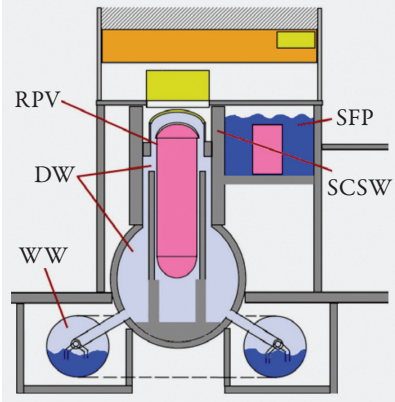
Tyrimų metu nustatyta, kad Černobylio reaktorius turėjo nemažai konstrukcinių trūkumų. Du iš jų buvo svarbūs avarinės situacijos atveju: pirmasis – teigiamas grįžtamasis ryšys tarp galios ir reaktyvumo, atsiradęs dėl įvairių reaktoriaus veikimo režimų, antrasis – vadinamasis „galutinis efektas“, sukeltas tam tikrų eksploatacijos sąlygų. Reaktoriaus veikimo metu per aktyviąją zoną tekantis vanduo naudojamas kaip šilumnešis, tuo pat metu jis sugeria ir lėtina neutronus, darydamas didelę įtaką reaktyvumui. Reaktoriaus viduje vanduo verda ir iš dalies virsta garais, kurie blogiau nei vanduo (tūrio vienetui) atlieka neutronų sugėrimo ir lėtinimo funkciją. Reaktorius buvo suprojektuotas taip, kad garinis reaktyvumo koeficientas būtų teigiamas, tai yra intensyvesnis garų susidarymas didino teigiamą reaktyvumą (ir skatino reaktoriaus galios didėjimą). Reaktoriaus bandymo metu veikė teigiamas grįžtamasis ryšys – galios augimas skatino tokius aktyviosios zonos procesus, kurie lėmė dar didesnį galios augimą. Tai darė reaktorių nestabilų ir pavojingą. „Galutinis efektas“ reaktoriuje atsirado dėl netinkamos valdymo ir apsaugos sistemos strypų konstrukcijos. Efekto esmė yra ta, kad tam tikromis sąlygomis, strypui patekus į aktyviąją zoną, pastebimas teigiamas reaktyvumas vietoje neigiamo. Strypų konstrukciją sudaro dvi sekcijos: sugėrikliai (boro karbidas), besitęsiantys per visą aktyviosios zonos aukštį, ir išstūmikliai (grafitas), iš dalies išstumiantys vandenį iš reaktoriaus valdymo ir apsaugos sistemos kanalo visiškai pašalinus sugėriklį. Šis efektas galėjo atsirasti dėl to, kad reaktoriaus valdymo ir apsaugos sistemos strypai, esantys aukščiausiame taške, apačioje palieka 7 metrų vandens stulpą, kurio viduryje yra 5 metrų ilgio grafitinis išstūmiklis. Strypams judant žemyn ir mažėjant vandens stulpui, grafitas, kuris blogiau nei vanduo sugeria neutronus, sukelia teigiamą reaktyvumą, tačiau tuo pat metu viršutinėje dalyje grafitą (išstūmiklį) keičia boro karbidas (sugėriklis), o tai lemia neigiamą reaktyvumą. Koks ir kokio ženklo bus

suminis reaktyvumas, priklauso nuo neutronų lauko formos ir jo pastovumo (judant strypams), o tai savo ruožtu lemia daugelis reaktoriaus pradinės būsenos veiksnių.

Kuriant atominius reaktorius manyta, kad jokių branduolinių sprogimų juose negali įvykti. Kalbant apie daugumą reaktorių, turbūt tai yra tiesa. Visgi teoriškai RBMK tipo reaktoriuose tokia avarija galima. Deja, taip ir atsitiko. Sprogimų išmestos radioaktyviosios dulkės pasklido Ukrainoje, dalyje Vakarų ir Rytų Europos. Baltarusijoje, Ukrainoje ir Rusijos Federacijoje ženkliai padaugėjo vaikų skydliaukės vėžio ir leukemijos atvejų. Susirgimų padaugėjo net už 500 km nuo Černobylio. Jungtinės Tautos 2005 m. nustatė, kad po Černobylio avarijos maždaug 4 tūkst. žmonių žuvo ar mirė nuo vėžio ir kitų su radiacija susijusių ligų. Tačiau „Greenpeace“ mano, kad realus skaičius yra arti 100 tūkstančių. Sprogęs blokas buvo uždengtas skubiai pastatytu gelžbetoniniu „sarkofagu“, kurio ilgaamžiškumas (apie 30 m.), palyginti su uždengtų radioaktyviųjų medžiagų ilgaamžiškumu, yra beveik niekinis. 2016 m. virš sprogusio reaktoriaus pastatyta nauja didžiausia pasaulyje mobili arka. Naujoji arka – ilgesnė nei dvi futbolo aikštės ir aukštesnė už Laisvės statulą Niujorke. Arkos statytojai mano, kad ji apsaugos reaktorių ateinančius 100 metų.

2011 m. įvyko didžiausias Japonijos istorijoje užfiksuotas devynių balų pagal Richterio skalę žemės drebėjimas, sukėlęs cunamį, kurio banga prilygo maždaug 12 aukštų namui. Milžiniškos cunamio bangos nesunkiai persirito per apsauginę Fukušimos Dai-ichi elektrinės sieną. Užtvindytoje teritorijoje vandens lygis viršijo net 15 m aukštį. Projektuojant jūros pakrantėje statomą Dai-ichi elektrinę, buvo modeliuojama, kad aukščiausia cunamio banga jos aplinkoje galėtų būti apie 3 m, todėl komplekso apsauginė siena buvo tik 6 m aukščio. Fukušimos atominė elektrinė turi 6 verdančio vandens reaktorius, kurių bendra galia siekia 4,7 GW. Reaktoriai apsaugoti gaubtais, todėl avarijos metu visa radioaktyvioji medžiaga teoriškai turėjo likti viduje. Dėl pavojingai didelio susidariusių dujų slėgio šiuos gaubtus reikėjo atidaryti ir katastrofos metu radiacija pasklido į aplinką. Po žemės drebėjimo automatiškai išsijungė 3 elektrinės blokai. Netekusi vietinio energijos šaltinio aušinimo sistema ėmė naudoti išorinę skirstomojo

tinklo energiją. Drebėjimui pažeidus išorines elektros linijas, buvo paleisti avariniai dyzeliniai generatoriai, kuriuos netrukus užpylė kilęs cunamis. Išsijungusiuose blokuose sutriko reaktorių aušinimas, pradėjo kilti temperatūra ir slėgis. Aušinančiam vandeniui pradėjus virti ir garuoti, aktyvi reaktorių dalis, likusi be aušinamojo skysčio, išsilydė, o susidariusi lavos pavidalo masė nutekėjo į apsauginių pastatų dugnus. Įkaitusiems vandens garams reaguojant su reaktoriuje naudojamu cirkoniu, susidarė daug vandenilio, kuris vėliau sprogo, sugriaudamas išorinius pastatus (jų viduje esantys reaktorių apsauginiai statiniai išliko) (23.7 pav.). Suardyti reaktoriai vis dar gamino pavojingai daug šilumos, todėl buvo aušinami jūros vandeniu, pilant jį siurbliais ant reaktorių liekanų. Reaktorius atvėsinęs labai radioaktyvus vanduo kaupėsi reaktorių rūsiuose. Gelbėdami rūsius nuo užtvindymo avarijos likviduotojai anksčiau elektrinėje saugomą mažiau radioaktyvų vandenį išleido tiesiog į vandenyną, o į atsilaisvinusias talpas pumpavo avarijos metu susidariusį radioaktyvų vandenį. Reaktorių temperatūra per kelis mėnesius nukrito žemiau 100 °C ir jau nekėlė pavojaus, tačiau kada ir kaip pavyks išardyti ir nukenksminti išsilydžiusius reaktorius, šiuo metu dar nėra aišku.

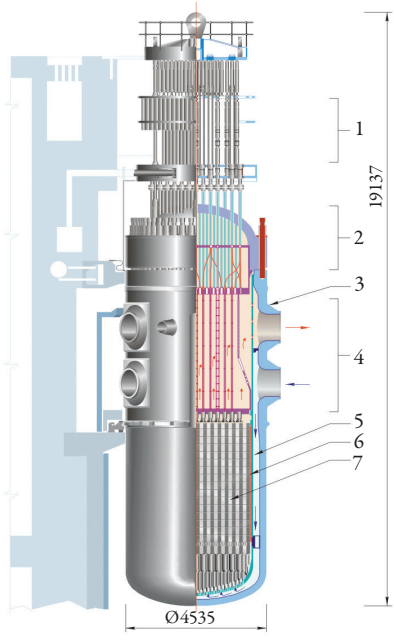


23.7 pav. Verdančio vandens reaktoriaus „Mark I“ schema: DW – sausoji ertmė, WW – šlapioji ertmė, SFP – panaudoto kuro baseinas, SCSW – antra betono apsauginė siena, RPV – reaktoriaus slėginis indas (BWR Mark I Containment sketch with downcomers.png.)

Bendras radioaktyvių teršalų, išleistų į atmosferą, kiekis sudarė maždaug 10 % Černobylio katastrofos taršos. Daug radioaktyviųjų medžiagų pateko į elektrinę supančias teritorijas ir vandenyną. Keli elektrinės darbuotojai, daugiausia dėl žemės drebėjimo, buvo sunkiai sužeisti ar žuvo (nuskendo, pateko po krentančiomis įrangos ir pastatų nuolaužomis ir kt.). Dėl tiesioginio radiacinio apšvitinimo mirčių nebuvo.

PAVOJINGA KAIMYNYSTĖ

Baltarusijos atominė elektrinė, statoma „Ostrovets“ aikštelėje, nuo Vilniaus nutolusi tik 45 km atstumu. Projekte numatyta 2016–2020 m. pastatyti du branduolinius reaktorius, o iki 2025 m. – galbūt dar du. Elektrinėje bus įrengti du dviejų kontūrų WWER tipo reaktoriai, kurių kiekvieno galia – 1 200 megavatų (23.8 pav.). Pakrauti branduolinį kurą į pirmąjį elektrinės reaktorių buvo planuojama 2019 m. vasario mėnesį, vėliau šis terminas buvo atidėtas iki 2020 m. rugpjūčio mėnesio. Pirmasis reaktorius visa galia turėtų pradėti veikti 2021 metais. Antrąjį reaktorių tikimasi įjungti praėjus maždaug vieneriems metams nuo pirmojo reaktoriaus veiklos pradžios.



23.8 pav. Reaktoriaus WWER principinė schema: 1 – apsauginė zona, 2 – reaktoriaus dangtis, 3 – korpusas, 4 – apsauginis vamzdynas, 5 – šachta, 6 – aktyviosios zonos apsauga, 7 – reguliavimo strypai (Wwer-1000-scheme.png.)

Baltijos atominė elektrinė – branduolinė jėgainė, statoma Rusijos Federacijos Kaliningrado srityje, 17 km į pietryčius nuo Ragainės miesto, apie 20 km nuo sienos su Lietuva. Statyba pradėta 2010 m., abu reaktoriai turėjo pradėti veikti jau 2018 m., tačiau dėl ekonominių ir techninių priežasčių 2013 m. statyba buvo užšaldyta. Atominę elektrinę turėjo sudaryti du suslėgto vandens WWER-1200/491 tipo reaktoriai. Kiekvieno reaktoriaus galia – 1082 MW, naudingumo koeficientas 35 %. Viename reaktoriuje telpa apie 70 t iki 4,71–4,85 % prisodrinto urano. Elektrinė gamintų tris kartus didesnį energijos kiekį nei dabartinis srities elektros

energijos poreikis. Jeigu Baltijos valstybės savo elektros tinklus sinchronizuos su žemyninės Europos tinklais (tai planuojama padaryti iki 2025 m.), Baltijos atominė elektrinė būtų izoliuota nuo Rusijos elektros tinklų ir neturėtų kur panaudoti energijos perviršį.

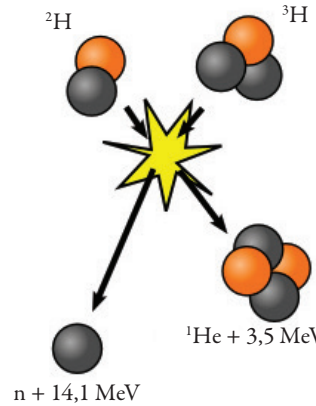
BRANDUOLIŲ SĄLAJOS (SINTEZĖS) REAKTORIAI

Gyventojų kiekis planetoje didėja, todėl iškastinio gamtinio kuro poreikis taip pat nuolat auga. Esami resursai vis sunkiau tenkina augančius poreikius, todėl būtina ieškoti naujesnių ir tvaresnių energijos šaltinių. Energijos gamyba, pasitelkus branduolių sąlajos technologijas, gali tvariai, su mažu poveikiu aplinkai patenkinti didėjančią energijos paklausą. Branduolių sąlaja (sintezė) – naujų atomo branduolių kūrimo procesas iš kitų branduolių arba nukleonų (protonų ir neutronų). Reakcija, kurios metu du lengvi branduoliai susilieja į naują branduolį, vadinama *branduolinės sąlajos reakcija* (23.9 pav.). Deuterio ir tričio sąlajos į helį reakcijos pavyzdys:

$^{2}_{1}$Deuteris + $^{3}_{1}$Tritis ==> $^{4}_{2}$He + $^{1}_{0}$n + 17,5 MeV.

Kad įvyktų sąlajos reakcija, branduoliai turi suartėti iki tokio atstumo, kokiame veikia branduolinės jėgos, t. y. 2×10^{-15} m. Branduoliams suartėti trukdo elektrostatinė stūmos jėga, todėl jiems būtina turėti labai didelę kinetinę energiją. Tokią energiją jie įgyja tik labai aukštoje temperatūroje, todėl branduolių sąlajos reakcijos dar vadinamos termobranduolinėmis reakcijomis.

Visi atomų branduoliai turi teigiamą krūvį, o dvi teigiamą krūvį turinčios dalelės jas artinant ne traukia, o stumia viena kitą. Įgreitintos branduolių dalelės gali įveikti šį pasipriešinimą ir suartėti iki atstumo, kai pradeda veikti traukos jėgos ir vyksta

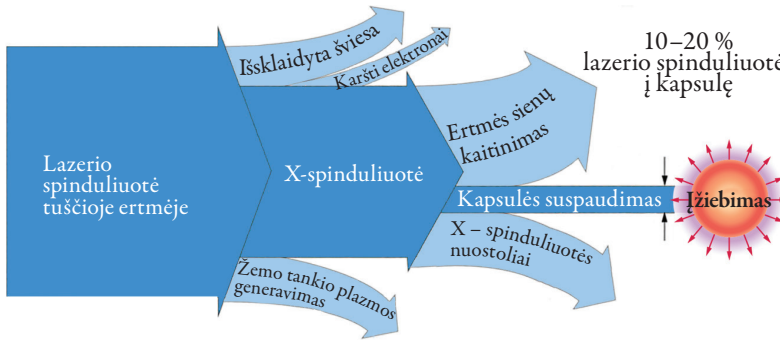


23.9 pav. Deuterio ir tričio (D-T) sąlajos (sintezės) schema (Deuterium-tritium fusion.svg.)

branduolių jungimosi procesas. Branduoliams aukšta temperatūra suteikus pakankamai energijos, elektrostatinio stūmimo jėgą galima įveikti. Saulės centre termobranduolinė reakcija vyksta 15 mln. laipsnių temperatūroje ir 100 tūkst. atmosferų slėgyje. Tokių sąlygų Žemėje sukurti neįmanoma. Deuterio ir tričio jungimosi procesui būtina apie 100 000 000 K temperatūra. Tokią aukštą temperatūrą labai sunku išlaikyti dėl plazmoje vykstančios turbulencijos – ji išsklaido šilumą, t. y. atsiranda šilumos nuostoliai (23.10 pav.).

Viena didžiausių kontroliuojamos branduolių sąlajos vilčių yra milžiniškas ITER (Tarptautinis termobranduolinis eksperimentinis reaktoriaus), statomas Kadaraše, Pietryčių Prancūzijoje, kurio kūrime dalyvauja net 35 šalys. ITER projekto tikslas – plazmos fizikos eksperimentinius tyrimus paversti ilgai laukta elektros energijos gamyba branduolių sąlajos jėgainėse. Projektą finansuoja ir valdo Europos Sąjunga, JAV, Indija, Japonija, Kinija, Rusija ir Pietų Korėja.

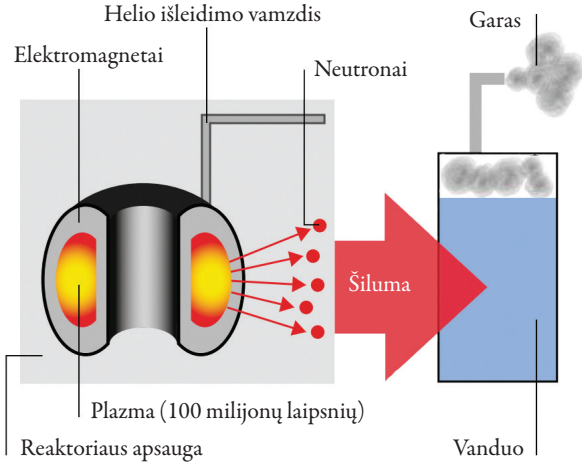
Teigiama, kad ITER galėtų pradėti veikti jau 2035–2040 metais. Tikimasi, kad ITER branduolių sąlajos metu bus gaunama daugiau energijos, negu sunaudojama palaikant reaktoriaus veiklą. Ankstesniuose reaktoriuose branduolių sąlajos reakcija nėra pavykę sukurti daugiau energijos, negu sunaudota pačiai reakcijai inicijuoti. Įrenginio statyba prasidėjo



23.10 pav. Sąlajos reakcijos įžiebimas lazerio spinduliuote ir lazerio spinduliuotės nuostoliai (Laser hohlraum target energy coupling.svg.)

2007 m., o pirmoji plazma turėtų būti gauta apie 2020 metus. Numatoma deuterio ir tričio reaktoriaus darbo pradžia – 2027 metai. Kuriamas ITER generuos maždaug 500 MW galią. Sąlajos reakcijos trukmė – iki 1 000 sekundžių, per tą laiką 840 m^3 tūrio kameroje susijungs apie 0,5 g deuterio ir tričio mišinio. Tikimasi, kad ITER pagamins (šilumos pavidalu) 10 kartų daugiau energijos, negu jos sunaudojama plazmai įkaitinti iki sąlajos temperatūros. ITER projektas susiduria su nemažai techniškai sudėtingų problemų. Viena iš jų yra ta, kad 14 MeV energijos neutronai, susidarę sąlajos reakcijose, pažeis medžiagas, iš kurių yra pastatytas reaktorius. Aukštos energijos neutronai, išmušantys atomus iš jų įprastų padėčių kristalinėje gardelėje, dalį reaktoriaus pavers radioaktyviu. Tokio reaktoriaus demontavimas gali būti sunkus ir brangus. Akivaizdu, kad iki ITER eksploatavimo praeis dešimtmečiai. Branduolių sintezės reaktorių kūrėjams tenka susidurti su didžiuliais inžineriniais iššūkiais. Reaktorių sienos turi atlaikyti sąlajos metu išsiskiriančią šilumą ir apie 150 mln. laipsnių Celsijaus temperatūrą. Dar reikia sukurti superlaidžias medžiagas, kurios galėtų generuoti galingus magnetinius laukus, reikalingus stabiliai atomų sąlajos reakcijai išlaikyti. Daugelio branduolinių reakcijų išskiriama energija yra daug didesnė už cheminių reakcijų metu išskiriamą energiją, nes branduolių nuklonų ryšio energija yra gerokai didesnė už energiją, surišančią atomo branduolį ir elektroną. Pavyzdžiui, jonizacijos energija, įgyta vandenilio atomui prisijungus elektroną, yra 13,6 eV, o deuterio-tričio reakcijoje išsiskiria 17 MeV, t. y. vienu milijonu eV energijos daugiau.

Esant tokiai aukštai temperatūrai, dalelės turi didelę kinetinę energiją, taigi ir greitį. Vandenilio bombos sprogimas irgi yra sintezės procesas, tačiau nevaldomas. Užduotis – kontroliuoti sintezės reakcijos erdvę ir proceso eigą – yra sudėtinga ir techniškai labai sunki. Fiziškai neapribotoje erdvėje dalelės greitai išsisklaidys, su savimi nusinešdamos energiją, todėl plazmos temperatūra sumažės iki lygio, kai nebebus gaminama „grynoji“ energija. Efektyviai veikiančiame reaktoriuje sintezės zonos tūris turėtų būti mažas, o dalelės jame turėtų išlikti pakankamai ilgai. Sintezės reaktoriuose elektrinį krūvį turinčios dalelės yra valdomos magnetiniu lauku. Reaktorius turi ir kietą apvalkalą, kuris apsaugo magnetus, ir kitą įrangą nuo aukštos temperatūros, didelės energijos fotonų ir dalelių. Jis reikalingas ir beveik

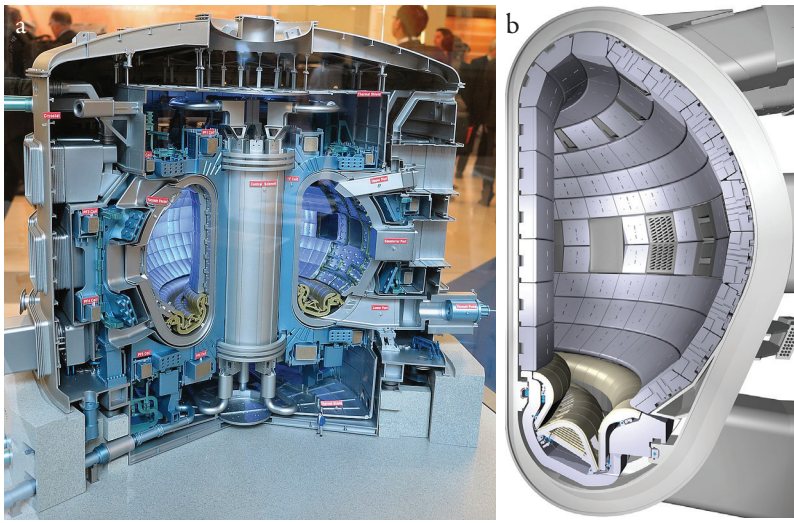


23.11 pav. Atomų sąlajos (sintezės) reaktoriaus schema

vakuuminei erdvei sukurti, kuri būtina plazmos egzistavimui. Konteinerio indas yra veikiamas didelės energijos dalelių – elektronų, jonų, fotonų, alfa dalelių ir neutronų srauto, jos nepaliaujamai bombarduoja ir gadina konstrukcijos medžiagų struktūrą. Reikalingos medžiagos, kurios ilgą laiką išlaiko neutronų bombardavimą ir plazmos spinduliuojamą, milijonus laipsnių siekiančią temperatūrą. Prasidėjus sąlajai, aukštos energijos neutronai sklis iš reakcijos regionų plazmoje, lengvai kirsdami magnetinio lauko linijas, nes jų elektros krūvis yra neutralus. Kadangi neutronai gaus didžiąją dalį energijos, jie bus pagrindinis ITER energijos atidavimo šaltinis (23.11 pav.). Susidariusios alfa dalelės idealiu atveju išeikvos savo energiją plazmoje, dar ją pašildydamos. Greitųjų neutronų energija bus absorbuojama, virs šiluma ir pateks į pirminį aušintuvą. Patekusi į aušintuvą šiluma garins vandenį, o garai suks elektros generatoriaus turbiną. ITER vakuuminio indo išorinis skersmuo – 19,4 m, vidinis – 6,5 metro. Sumontuota konstrukcija bus 11,3 m aukščio ir svers 5 116 tonas. Centrinis ITER mazgas yra dviejų sienelių vakuuminis indas, kuriame susidariusią plazmą erdvėje laiko stiprūs magnetiniai laukai (23.12 pav.). Krūvį turinti ir magnetiniame lauke judanti dalelė negali iš jo ištrūkti – ji ima suktis. Reaktoriaus laukas turi toro (riestainio) formą, todėl dalelės jame yra „uždarytos“. Kiekvieno gaubto sienelės storis 60 mm.

Sienelių paviršiuje yra aušinimo vandeniu kanalai. Tarpuose tarp gaubtų (kiautų) sienelių sumontuota įvairi technologinė armatūra. Ji pagaminta iš nerūdijančio plieno rūšių. Ši armatūra reikalinga neutronams lėtinti ir absorbuoti, saugoti pagrindinių konstrukcijos medžiagų struktūrą nuo neutronų bombardavimo ir, ličiui sąveikaujant su neutronais, gaminti sintezės procesui reikalingą tritį.

Jeigu ITER eksperimentinio branduolių sąlajos reaktoriaus kūrimas bus sėkmingas, bus statoma DEMO (*Demonstration Power Plant*) branduolių sąlajos elektrinė. DEMO tikslas – nepertraukiamai gaminti mažiausiai keturis kartus daugiau branduolių sąlajos energijos, negu pagamintų ITER branduolių sąlajos reaktorius. 2–4 GW šiluminės galios DEMO reaktoriai savo galia bus panašūs į šiuolaikines iškastinio kuro elektrines. Svarbu, kad DEMO būtų pirmuoju branduolių sąlajos reaktoriumi, gaminančiu vien tik elektros energiją. Ankstesni reaktoriai, tokie kaip ITER, gaunamą šilumą



23.12 pav. ITER sąlajos reaktorius: a – reaktoriaus skerspjūvis (ITER Exhibit (01810402) (12219071813) (cropped).jpg.), b – branduolių sąlajos kameros skerspjūvis (NIST Light Source Illuminates Fusion Power Diagnostics (5940503177).jpg.)

naudojo vien tik garo gamybai. DEMO reaktoriuje plazmos tankis bus apie 30 % didesnis negu ITER reaktoriuje. Planuojama, kad komercinis branduolių sąlajos reaktoriaus DEMO prototipas galėtų pradėti gaminti elektros energiją apie 2033 metus. Tikimasi, kad neutronų sukeltas reaktoriaus medžiagų radioaktyvumas bus beveik perpus trumpesnis negu radioaktyviųjų medžiagų, susidariusių skilimo reaktoriuose, ir neviršys 100 metų. Dabartiniu metu gaminant tritį susidaro ilgą laiką radioaktyviomis išliekančios atliekos. ITER ir DEMO branduolių sąlajos reaktoriai tritį gamins patys. Po DEMO projekto planuojamas kitas Europos Komisijos ilgalaikės branduolių sąlajos energijos gamybos mokslinių tyrimų strategijos projektas PROTO. PROTO reaktorius veiktų kaip komercinė elektros energijos gamybos įmonė. Ji turėtų būti pastatyta iki 2050 metų.

DEMO projektuose yra ir Lietuvos mokslininkų indėlis. Lietuvos energetikos instituto Branduolinių įrenginių saugos laboratorijos mokslininkai vykdo branduolių sintezės įrenginių saugos vertinimą, struktūrinę ir stiprumo analizę, įrangos patikimumo ir neutronų pernašos tyrimus.

Nors dirba daugelio šalių mokslininkai, branduolių sąlajos reaktorių kūrėjai susiduria su daugybe techniškai sudėtingų klausimų. Nobelio premijos laureatas Pierre-Gilles de Gennes kandžiai įvardijo branduolių sąlajos problemą: „Sakome, kad galime saulę patalpinti į dėžę. Idėja yra puiki. Problema yra ta, kad mes nežinome, kaip tą dėžę pagaminti.“ Branduolių sąlajos reakcijose susidarę neutronai gadina reaktoriaus konstrukcijos medžiagas. Vyksta moksliniai tyrimai, kaip suprojektuoti reaktorių apvalkalus ar sienas, kad jos būtų atsparios ilgalaikiam ir intensyviam neutronų bombardavimui. Didelės energijos neutronai iš savo įprastos padėties kristalinėje gardelėje išmuša gardelės atomus, sukeldami radioaktyvumą pačioje reaktoriaus medžiagoje. Todėl komercinio reaktoriaus priežiūra ir eksploatavimo nutraukimas gali būti sudėtingas ir brangus. Kita svarbia problema yra pavojus, kad neutronų srautas gali sugadinti superlaidumo sąlygomis veikiančius magnetus.

Sintezės reaktorių šalininkai mano, kad susidarančių radioaktyviųjų atliekų kiekis turėtų būti šimtus kartų mažesnis, negu jų susidaro skilimo reaktoriuose, ir kad jame neturėtų atsirasti jokių ilgalaikių radioaktyviųjų atliekų. Svarbu, kad tokiame reaktoriuje negali labai išsiplėsti grandininė

reakcija. Kuro kiekio, kuris yra termobranduolinio reaktoriaus kameroje (pusė gramo deuterio-tričio), pakanka, kad branduolių sąlajos procesas tęstųsi nuo minutės iki daugiausia valandos, o skilimo reaktoriuje esanti kuro įkrova yra pakankama, kad reaktorius veiktų kelerius metus. Avarijos atveju tikimasi, kad branduolių sąlajos reaktoriai sukels kur kas mažesnę radioaktyvią taršą negu branduolių dalijimosi atominė elektrinė. Branduolio sąlajos reaktoriai nesukuria branduolinio ginklo gamybai reikalingų daliųjų medžiagų. Pastaraisiais metais vis daugiau domimasi *transmutacijos* procesu. Manoma, jog jis padėtų išspręsti labai aktualią branduolinių elektrinių radioaktyviųjų atliekų problemą. Transmutacija paverčia ilgą radioaktyvaus skilimo trukmę turinčias atliekas greitai skylančiomis, tačiau šiam procesui reikalingas brangus protonų greitintuvas.

ITER nėra vienintelis sintezės technologijos įgyvendinimo projektas. Sintezės reaktoriai kuriami JAV („Lockheed Martin“), Kanadoje („General Fusion“), Jungtinėje Karalystėje („Tokamak Energy“), Vokietijoje (Wendelstein 7-X“) ir kitose šalyse. „Tokamak Energy“ kūrėjų tikslas – iki 2030 m. pradėti komercinę veiklą ir tiekti elektros energiją. Kuris iš šių projektų pirmasis įvaldys branduolių sintezę – dar nėra aišku.

Branduolinės avarijos ar ginklai yra labai pavojingi. Skirtingai nuo konvencinių ginklų, sprogimo metu išspinduliuojamas labai stiprus šviesos impulsas, karštis, oro banga, sprogimo garsas ir radiacinė apšvita yra mirtini branduolinio ginklo veiksniai. Civilinės branduolinės ir radiologinės avarijos pirmiausia susijusios su atominėmis elektrinėmis. Dažni radioaktyviųjų medžiagų nuotėkiai yra labai pavojingi toje zonoje dirbančiam personalui, o dar rimtesnis pavojus kyla šioms medžiagoms išsiveržus į aplinką. Karines avarijas paprastai sukelia pamestas branduolinis užtaisas arba netikėtai detonavęs ginklas. 1954 m. JAV branduolinių bombų bandymai (Ramiajame vandenyne Maršalo salų Bikinio koraliniame atole) užteršė netoliese esančias salas, jūros fauną, nuo spindulinės ligos mirė vienas japonų žvejys. 1950–1970 m. povandeniniai laivai ir lėktuvai prarado keletą branduolinių bombų, kai kurios iš jų niekada nebuvo surastos.

24 SKYRIUS
CHEMIJOS INŽINERIJA: DEGALAI, MEDŽIAGOS, TRĄŠOS

MUILO IR SINTETINĖS NAFTOS GAMYBA

Chemijos inžinerija pradėjo vystytis XIX a. pabaigoje. Prieš XVIII a. prasidėjusią pramoninę revoliuciją cheminės medžiagos ir kiti vartojimo produktai, tokie kaip muilas, daugiausia buvo gaminami tam tikromis proporcijomis induose sumaišant supiltas medžiagas. Medžiagų maišymas, šildymas, aušinimas, suslėgimas buvo nelengvas ir ilgas darbas. Pagamintą produktą reikėjo išgryninti, išbandyti, suteikti jam tam tikrą formą. Ir šiandien tarpiniai farmacijos produktai, kvepalai, dažai, sirupai ir kt. vis dar gaminami šiuo nenašiu būdu. Pramonės revoliucija lėmė didesnę cheminių medžiagų (sieros rūgšties, pelenų, natrio ir kt.) paklausą. Išaugo reikalavimai gaminamų produktų kokybei. Reikėjo ženkliai padidinti gamybos apimtį ir efektyvumą, nuo ciklinio (porcijinio) gamybos būdo pereiti prie nenutrūkstamos gamybos. Vakarų Europoje pramoniniu būdu muilas pradėtas gaminti XV amžiuje. Pirmosios didžiosios dirbtuvės įkurtos Sevilijoje ir Malagoje, kiek vėliau – Venecijoje. XVIII a. pab. gamyba išsiplėtė atradus pigesnį sodos gaminimo iš druskos būdą. Šis atradimas tapo galingos muilo pramonės pagrindu.

XIX a. viduryje Vokietijoje jau vyko pažangi pramoninė cheminių medžiagų gamyba – nuo dažiklių iki vaistų. Siekdama persverti Vokietijos pranašumą sprogmenų, įvairių rūgščių, nekarinės paskirties cheminių medžiagų gamyboje, JAV pradėjo eksploatuoti didžiulius anglies, naftos, fosfatų ir sieros išteklius. Anglis ir nafta valstybėms suteikė ne tik žaliavų, bet ir galios, fosfatai aprūpino trąšomis ir azoto rūgštimi, o siera tapo svarbiausios H_2SO_4 rūgšties gamybos pagrindu. Iš akmens anglies dervos buvo gaminamas aspirinas, novokainas ir fenacetinas, iš acetilinto dirbtinio pluošto, celiuliozės – viskozė, iš celiuliozės ir akmens anglies dervos, veikiant šiluma ir slėgiu,

buvo gaminama žaliava bakelitui – pirmajam plastikui. Tolesniais tyrimais atrasta, kaip pagaminti ir panaudoti milžiniškų molekulių polimerus. Iš jų buvo sukurtas nailonas.

Antrojo pasaulinio karo metu Vokietija iš anglies pradėjo gaminti sintetinį kurą ir dujas. Energijos gamybai ir chemijos pramonei buvo naudojama rudoji anglis, labai panaši į lignitą. Kad lignitas tinka kurui, pirmą kartą atrado senovės graikai, pastebėję, kad alyva apipiltas lignitas dega ir palaiko degimo procesą. Tai žinodama Vokietija sukūrė anglimi kūrenamus įrenginius, kurie dūmams valyti naudojo elektrostatinius separatorius ir cheminius skruberius, todėl pagal dūmų taršą tokių įmonių vietos beveik buvo neįmanoma nustatyti.

1913 m. Vokietijos chemikai sukūrė sintetinės naftos iš akmens anglies gamybos būdą, ir tai leido pramoniniam gigantui „IG Farben“ padidinti gamybos apimtis ir pagerinti kuro kokybę. Gamybos procesas buvo padalytas į du etapus: anglies hidrinimą į skystąjį kurą ir sunkiosios alyvos skaldymą katalizatoriais į lengvesnes frakcijas. Hidrinimu gali būti gaminamas benzinas, tepalai, parafinas, metanolis, kiti organiniai junginiai. 1944 m. Vokietijos sintetinės naftos gamyba pasiekė 19 700 m^3 per dieną (124 000 barelių per dieną) ribą. Po pralaimėto karo didžioji dalis sintetinės naftos gamyklų buvo išmontuotos. JAV taip pat sukūrė naftos gamybos iš anglies technologijas, tačiau jų neplėtojo, nes turėjo dideles gamtinės naftos atsargas, o iš anglies gauta nafta negalėjo ekonomiškai konkuruoti su natūralia nafta. Mažėjant naftos atsargoms, iš anglies gaunamų naftos produktų gamyba bus perspektyvi alternatyva. Šie destiliatai galbūt nebus naudojami automobilių transportui, tačiau jie gali būti labai svarbūs tepalų ar kitų medžiagų gamybai.

LIETUVOS CHEMIJOS INŽINERIJOS RAIDA

XIX a. pab. susikūrusi Lietuvos chemijos pramonė gamino daugiausia dažus ir lakus, įvairias druskas, rūgštis, vaistus, kosmetikos prekes. Pirmosios didesnės įmonės buvo Klaipėdoje 1875 m. pastatytas superfosfato fabrikas „Union“, Vilniaus ir Klaipėdos degiųjų dujų fabrikai. 1919–1940 m. chemijos pramonės raidai trukdė vietinių žaliavų ir kapitalo stoka, maža vidaus rinka. Didžiausią gamybos dalį sudarė buitiniai chemijos gaminiai. Pirmosios

nedidelės muilo gamyklos Lietuvoje atsirado XIX a. pradžioje. 1900 m. pagaminta apie 4 000 t muilo. Lietuvos muilo fabrikų tradicijos siekia netgi 1853 m., kada buvo įsteigta AB „Vislickis“, taip pat muilo produkcija garsėję fabrikai „Žuvelė“, „Florance“ (vėliau „Grožis“), Panevėžio muilo fabrikas. 1920 m. įkurtos akcinės aliejaus bendrovės „Ringuva“ pirmoji produkcija – linų aliejus, linų alyva, išspaudos, grūsti dažai, ratų tepalas. Įmonės veikla labai teigiamai veikė tiek Lietuvos pramonę, tiek žemės ūkį – savo produkcija ji ne tik užkirto kelią aliejaus importui, bet ir pirkdama sėmenis labai padėjo Lietuvos ūkininkams plėsti linų ūkį. XX a. 3 dešimtmečiu muilo gamyklos buvo pastatytos Kaune, Klaipėdoje ir Panevėžyje. 1937 m. buvo pagaminta apie 2 800 t muilo. Bendrovė „Ringuva“ muilą pradėjo gaminti 1939 metais. Šiandien bendrovė gamina kūno ir plaukų priežiūros, skalbimo, valymo, plovimo ir dezinfekcijos priemones, skystąjį muilą. Ji gamina daugiausia ūkiško muilo Baltijos šalyse.

Akcinė bendrovė „Lietuvos muilas“, pradėjusi veikti 1933 m., gamino skalbiamąjį, kelių rūšių tualetinį, taip pat skystąjį pramonėje naudojamą muilą, ratų ir batų tepalą, po Antrojo pasaulinio karo – tualetinį ir skalbiamąjį muilą, sėmenų ir sojų aliejų.

Po Antrojo pasaulinio karo Kaune išplėstas buitinės chemijos fabrikas „Chemikas“. Buitinės chemijos gaminius (dažus, lakus, tirpiklius, klijus, valymo bei skalbimo miltelius ir kt.) iki 1960 m. gamino 6 verslinės kooperacijos artelės. Superfosfatą (30–50 tūkst. t per metus) gamino Klaipėdoje 1947–1956 m. veikęs superfosfato fabrikas „Artojas“. Cheminių medžiagų ir plastikų gamyba buvo pradėta tik XX a. II pusėje. 1959–1965 m. pastatyta Vilniaus plastmasinių dirbinių, Kėdainių chemijos, Kauno Spalio penkiasdešimtmečio dirbtinio pluošto ir Jonavos azotinių trąšų gamyklos (24.1 pav.). Pirmaisiais XXI a. dešimtmečiais įvairios cheminės medžiagos, trąšos, žaliava polimeriniams gaminiams ir polimeriniai gaminiai, dažai, biotechnologiniai preparatai sudaro daugiau kaip 80 % šalies chemijos pramonės apyvartos.

Kėdainių chemijos gamykla (dabar „Lifosa“) pradėta statyti 1959 metais. 1963 m. pradėjusi veikti sieros rūgšties gamybos linija per metus pagamindavo 100 000 t, taip pat gamintas miltinis ir granuliuotas superfosfatas. 1964 m. paleistas aliuminio fluorido gamybos cechas ir trečia sieros rūgšties gamybos linija. 1968 m. pabaigoje darbą pradėjo fosforo rūgšties ir amofoso



24.1 pav.
„Lifosa“ – azotinių trąšų gamykla Jonavoje (Lifosa001.JPG.)

cechai, o 1972 m. pradėtos gaminti presuotos fosforo-kalio trąšos. Nuo 1998 m. gaminamos vertingesnės trąšos – diamonio fosfatas. Sieros rūgšties gamybos metu išsiskirianti technologinė šiluma nuo 1998 m. naudojama Kėdainių miesto objektams apšildyti. 2000 m. bendrovė tapo didžiausia sieros rūgšties gamintoja Europoje. 2001 m. pradėta gaminti pašarinius dikalcio, monokalcio ir monodikalcio fosfatus, 2016 m. pradėta tirpaus kristalinio monoamonio fosfato gamyba. Įmonėje veikia ilgiausias Lietuvoje (880 m ilgio) technologinis transporteris.

1962 m. netoli Jonavos miesto pradėta statyti Jonavos azotinių trąšų gamyklą (nuo 1974 m. AB „Achema“). 1965 m. gaminamas sintetinis amoniakas, vėliau – metanolis (1968 m.), karbamidas (1971 m.), azoto rūgštis (1972 m.), amonio salietra, karbamido formaldehido dervos ir polivinilacetato dispersija (1973 m.). 1977 m. įmonė pagamino 258 000 t azoto ir 48 000 t fosforo trąšų. 1999 m. pradėtas gaminti aliuminio sulfato tirpalas.

Mažeikių naftos perdirbimo įmonė pradėjo dirbti 1980 metais. Gamyklos projektinis pajėgumas – 15 mln. t žalios naftos per metus. Iki 2006 m. žaliava į naftos perdirbimo gamyklą buvo importuojama iš Rusijos 720 mm skersmens naftotiekio magistrale. Vamzdyno atšakos iki Mažeikių projektinis pajėgumas – 16 mln. t per metus. Nutrūkus naftos tiekimui vamzdynu, bendrovė žaliava apsirūpina per Baltijos jūroje įrengtą Būtingės

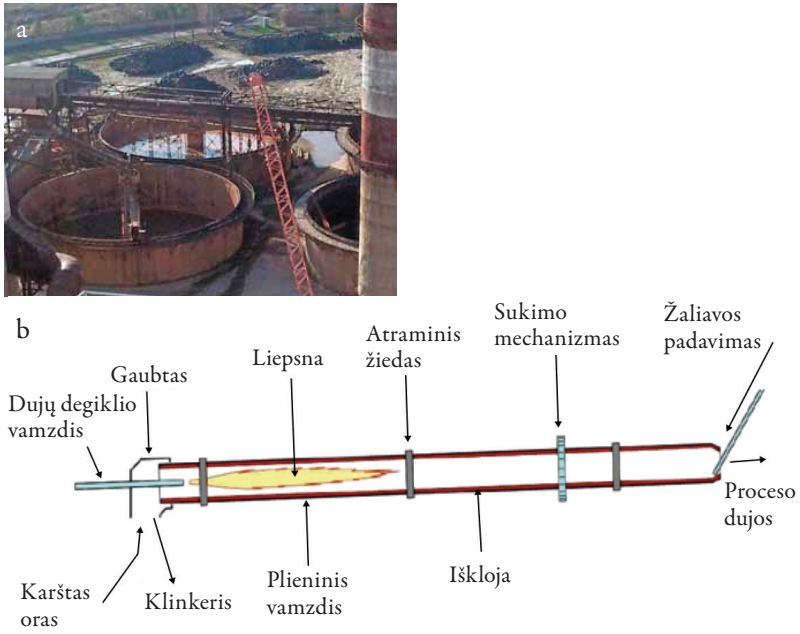


24.2 pav. Mažeikių naftos perdirbimo gamyklos panorama

terminalą. Perdirbama maždaug 8 mln. t žalios naftos, iš naftos produktų gaminamos ir kitos įvairios cheminės medžiagos. 2007 m. paleistas katalizinio krekingo benzino nusierinimo įrenginys, 2009 m. – vandenilio gamybos įrenginys, 2013 m. – sieros degazavimo ir granuliavimo įrenginys, o 2014 m. pradėtas eksploatuoti visbrekingo likučio vakuuminės rektifikacijos įrenginys. Visbrekingo įrenginys yra naudojamas papildomam šviesiųjų naftos produktų kiekiui iš gudrono (vakuuminės distiliacijos likučio) išgauti ir sunkiųjų produktų kiekiui sumažinti. Terminio proceso metu skylant gudronui susidaro dyzelino ir benzino frakcijos. 1995 m. visiškai atsisakyta etiliuoto benzino gamybos. Nuo 1996 m. gaminamas žieminis dyzelinas, 1997 m. pradėta reaktyvinių variklių kuro gamyba, 2003 m. pradžioje pradėta gaminti arktinį dyzeliną. Gamykla gamina benziną, kūrenamąjį mazutą, automobilines suskystintas naftos dujas, suskystintas dujas komunaliniams ir buitiniams poreikiams, kelių ir stogų bitumą. Mažeikių naftos perdirbimo gamykla yra vienintelė naftos perdirbimo gamykla Baltijos šalyse (24.2 pav.).

CEMENTO GAMYBA

Cementas yra mineralinis statybinių medžiagų (žvyro, skaldos, smėlio) rišiklis. Gali būti paprastas ir hidraulinis. Hidraulinis cementas stingsta ne tik ore, bet ir vandenyje. Babiloniečiai ir asirai degtoms plytoms ar alebastro blokams surišti naudojo bitumą. Egipte akmens blokai buvo sutvirtinami skiediniu iš smėlio, degto gipso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), kuriame dažnai dar buvo kalcio karbonato ($CaCO_3$). Senovės graikų statybininkai tam naudojo kalkes (kalcio oksidą). Senovės makedoniečiai, o po trijų šimtmečių



24.3 pav. Cemento gamyba šlapiuoju būdu Naujojoje Akmenėje: a – suspensijos maišymas (A. V. Valiulio nuotr.), b – sukamosios krosnies schema (CemKilnKiln.jpg.)

romėnai, naudojo hidratuotų kalkių ir vulkaninių pelenų hidraulinį mišinį. Milžiniškas Panteono kupolas ir masyvios Karakalos pirtys Romoje yra senųjų konstrukcijų, pagamintų iš šio betono, pavyzdys. 1780 m. britas Jamesas Parkeris užpatentavo vadinamąjį „Romos cementą“, kuris greitai išpopuliarėjo, tačiau 1850 m. jį pakeitė portlandcementis. Portlandcemenčio išradėju laikomas Williamas Aspdinas. Portlandcementis, šiandien pasaulyje labiausiai paplitęs cemento tipas, yra svarbiausia betono, skiedinio, tinko dalis. Portlandcemenčio gamybai reikėjo daugiau kalkių, aukštesnės degimo krosnies temperatūros (daugiau kuro), o gaunamas klinkeris buvo toks kietas, kad greitai susidėvėdavo malimo įrenginiai. Jo gamybos sąnaudos buvo gerokai didesnės, tačiau toks cementas lėčiau kietėdavo, greičiau sustiprindavo gaminį, todėl labai tiko betonui gaminti. 1867 m. prancūzas

Stanislas Sorelis patentavo „Sorelio cementą“, stipresnį už portlandcementį. Šios cemento rūšies plitimą statybose ribojo blogas atsparumas vandeniui ir blogesnis atsparumas korozijai. Kitas svarbus portlandcemenčio gamybos veiksnys buvo išrasta sukamoji krosnis. Šioje krosnyje pagamintas klinkeris buvo homogeniškesnis, o gamyba galėjo vykti nepertraukiamai. Cementas gaminamas krosnyje kaitinant kalkakmenio (kalcio karbonato), molio ir kitų medžiagų mišinį 1 450 °C temperatūroje. Šio proceso, vadinamo kalcinavimu, metu iš kalcio karbonato skiriasi anglies dioksidas ir susidaro kalcio oksidas, arba kalkės, kurios chemiškai susijungusios su kitomis mišinyje esančiomis medžiagomis sudaro kalcio silikatus ir kitus cementinius junginius. Gauta kieta medžiaga, vadinama „klinkeriu“, malama į miltelius, į kuriuos dar primaišoma nedaug gipso miltelių. Priklausomai nuo žaliavų mišinio fizinės būklės skiriamos kelios portlandcemenčio klinkerio gamybos technologijos:

– šlapiojo būdo technologija – žaliavų mišinys paruošiamas kaip žaliavų mišinio suspensija vandenyje;

– pusiau šlapio ar pusiau sauso būdo technologija – iš žaliavų paruošiamos drėgnos granulės;

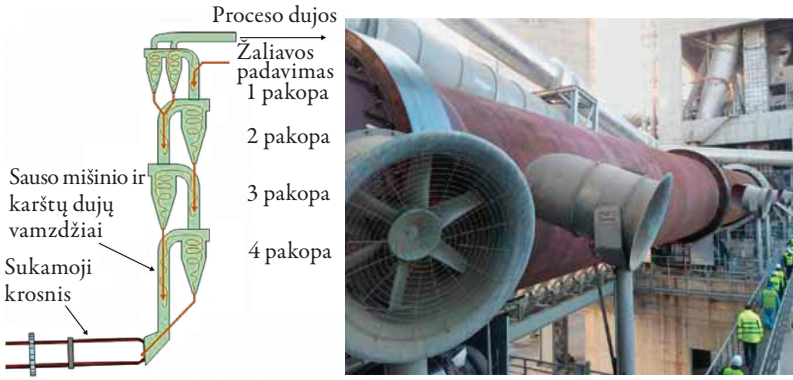
– sausojo būdo technologija – žaliavų mišinys paruošiamas kaip sausi milteliai.

Šiauriniame Lietuvos pakraštyje, Naujosios Akmenės mieste, veikia vienintelė Lietuvoje cemento gamykla. Pirmoji sukamoji klinkerio degimo krosnis čia pradėjo veikti 1952 m.; 1970 m. pradėjo suktis 185 m ilgio ir 5 m skersmens klinkerio degimo krosnis. Šios krosnys per metus pagamindavo 3, 4 mln. t cemento.

Cemento gamybai naudojama klintis iškasama šalia esančiame Karpėnų karjere ir sutrupinama žiauniniuose bei plaktukiniuose trupintuvuose. Nuo pat 1952 m. cementas buvo gaminamas šlapiuoju būdu (24.3 pav.). Sumaltas molio ir klinčių mišinys buvo maišomas su vandeniu, kol gaunama grietinės konsistencijos košė. Degimo metu visą vandenį reikia išgarinti, todėl procesas trunka ilgai, o sukamoji krosnis turi būti labai ilga. 2014 m. įdiegta modernesnė sausojo būdo klinkerio gamybos technologija. Klintis iš trupinimo skyriaus transporteriais keliauja į žaliavų mišinio sandėlį, į kurį paduodamas ir trupintas molis. Klinties ir molio mišinys, sumaišytas su koreguojančiais priedais – smėliu ir geležies rūda,

transporteriais paskirstomas į atitinkamus bunkerius. Transporteriais į trupintuvą bei žaliavų malūną patekusios medžiagos susmulkinamos ir išdžiovinamos. Įkrovos milteliai paduodami į įkrovimo silosą, iš kurio elevatoriumi pakeliami į cikloninį šilumokaitį. Iš 4 pakopų cikloninio šilumokaičio įkaitusi ir iš dalies kalcinuota medžiaga patenka į degimo krosnį, čia 1 450 °C temperatūroje susidaro klinkeris. Ataušintas klinkeris iš aušintuvo transporteriu paduodamas į klinkerio silosus, o iš jų transportuojamas į cemento malūnus. Malant klinkerį ir gipsą cemento malūnuose, gaunamas cementas. Cikloninis šilumokaitis – tai kūginis indas, kuriame oro ir miltelių srautas sukuria sūkurį. Pereidamas per ciklonus žaliavos mišinys efektyviai šildomas, nes tarp karšto dujų srauto ir mišinio miltelių vyksta labai intensyvūs šilumos mainai. Praktikoje ciklonų pakopų skaičius svyruoja nuo 1 iki 6 (24.4 pav.), nors dažniausiai naudojama 4 pakopų schema; ciklono skersmuo 6 metrai. Viršutinėje pakopoje mišinys įkaista iki 300 °C, o žemutinėje temperatūra pasiekia 1 000 °C. 20 % mišinio iš žemutinės pakopos būna kalcinuota, todėl sukamojoje krosnyje kalcinavimas trunka trumpiau, didėja krosnies pagaminamos produkcijos kiekis.

Naujosios Akmenės cemento gamybos įmonėje šlapiasis gamybos būdas buvo naudojamas ilgiau nei 50 metų. Įdiegta nauja sausojo būdo technologija



24.4 pav. Cemento gamyba sausuoju būdu: a – 4 pakopų kaitintuvai (CemKilnSP4.jpg.), b – sausojo proceso sukamoji krosnis (A. V. Valiulio nuotr.)

gerokai padidino gamybos apimtis ir sumažino energijos sąnaudas. Naujoji gamybos linija turėtų veikti maždaug 50 metų.

KERAMINIŲ GAMINIŲ GAMYBA

Keramika – tai degti dirbiniai ir medžiaga iš molio arba kitų mineralinių medžiagų. Pagrindinė keramikos žaliava yra molis (kaolinas), gryni oksidai ir karbidai bei priedai, arba „liesinančios“ medžiagos (smėlis, susmulkintas degtas gamybos niekalas, kvarcas). Žaliavų sukepimo temperatūrai pažeminti pridedama fliusų (lauko špato). Keraminės medžiagos gali būti kristalinės arba amorfinės. Jos yra akytos, todėl poros ir kiti mikroskopiniai defektai veikia kaip įtempio koncentratoriai, mažinantys tvirtumą ir tempimo stiprumą. Kristalinės keramikos gaminiams iš karto suteikiama norima forma arba milteliai „formuojami“ į pageidaujamą formą ir baigiamajame gamybos etape sukepinami. Nekristalinės, arba stikliškos, keramikos gaminiai paprastai liejami. Tradicinis keramikos gamybos procesas vyksta pagal tokią seką: *smulkinimas → mišinio proporcijų sudarymas → maišymas → formavimas → džiovinimas → degimas*. Gaminiai formuojami plastišku, pusiau sausu ar sausuoju ir liejimo būdu. Suformuoti gaminiai iš pradžių džiovinami periodinio veikimo (kamerinėse) ar nuolatinio veikimo (tunelinėse, konvejerinėse) džiovyklose iki 2–3 parų. Degami periodinio (kamerinėse) ir nuolatinio veikimo (žiedinėse ir tunelinėse) krosnyse; degimo temperatūra 1 000–1 300 °C, specialių gaminių – iki 2 000 °C. Dažnai keraminiai gaminiai dengiami angobu, glazūra bei dažomi specialiais dažais, kad būtų gražesni, stipresni ir atsparesni cheminiam poveikiui. Angobas – tai plonas balto arba spalvoto molio, porceliano sluoksnis, kuriuo dengiamas padžiovinto arba išdegto keramikos dirbinio paviršius. Angobu išlyginamas rupus paviršiaus, pakeičiama spalva, sumažinamas dirbinio sienelių pralaidumas skysčiui.

Pagal poringumą keraminiai gaminiai būna *sukepusieji* (įgeria <5 % vandens) ir *poringieji* (įgeria >5 % vandens). Pagal paskirtį keramika yra statybinė, techninė, ugniai atspari ir dailioji (meninė). *Statybinei keramikai* priskiriamos paprastos molio plytos, tuščiavidurės ir lengvosios plytos, tuščiaviduriai keraminiai blokai, čerpės, kokliai, grindų plytelės, rūgštims atsparūs gaminiai (plytos, plytelės, vamzdžiai), keraminiai kanalizacijos

vamzdžiai ir drenos. Skiriami kanalizacijos, technologiniai (rūgštims atsparūs) ir drenažo keraminiai vamzdžiai. Kanalizacijos ir rūgštims atsparūs keraminiai vamzdžiai gaminami iš sunkialydžio ugniai bei rūgštims atsparaus molio dar pridedant smulkaus šamoto, kartais kvarcinio smėlio, lauko špato ir kt. Suformuoti gaminiai džiovinami konvejerinėse arba tunelinėse džiovyklose, glazūruojami rūgštims ir šarmams atsparia glazūra ir degami kamerinėse arba tunelinėse krosnyse 1 100–1 200 °C temperatūroje. Drenažo keraminiai vamzdžiai gaminami iš lengvalydžio molio taikant panašią technologiją kaip ir keraminėms plytoms. *Techninei keramikai* priskiriami buitiniai, laboratoriniai ir kt. paskirties indai (porceliano, pusporcelianio, fajanso, majolikos), elektrotechnikos (porceliano izoliatoriai, grynųjų oksidų aukštatemperatūriai dielektrikai, keraminiai puslaidininkiai, sukepinto magnezito, cirkonio, berilio oksidų gaminiai, kermetai) ir santechnikos gaminiai (praustuvai, vonios, klozetų puodai). *Ugniai atspari keramika* apima dinaso, aliumosilikatų, magnezito, chromo, cirkonio gaminius, kvarcinę keramiką ir kt. *Dailioji keramika* – tai molio, terakotos, fajanso, majolikos, akmens masės, porceliano dirbiniai. *Porcelianas* yra dirbtinė keraminė medžiaga, gaminama kaitinant krosnyje kaoliną ir kitas medžiagas iki 1 200–1 400 °C temperatūros. Porceliano kietumą, stiprumą ir permatomumą nulemia aukštoje temperatūroje stiklėjančios medžiagos ir susidarantis mulito mineralas. Be paminėtų savybių, porcelianas pasižymi mažu vandens pralaidumu, elastingumu, baltumu, atsparumu cheminiam poveikiui. 1788–1793 m. anglų keramikas Josiahas Spode'ė sukūrė naują porceliano porūšį – *kaulinį porcelianą*, ypač baltą, permatomą, labai stiprų ir atsparų įtrūkiams. Dėl didesnio stiprio kaulo porceliano gaminių sienelės galėjo būti plonesnės negu kitų porceliano rūšių (24.5 pav.). Kaulo porceliane gali būti 20–50 % kaulų pelenų, 20–35 % kaolino ir 20–45 % lauko špato.



24.5 pav. Lietuviškas kaulo porcelianas (A. V. Valiulio nuotr.)

Jau nuo XV a. Lietuvos miestuose buvo steigiamos keramikos dirbtuvės, plytinės, gausėjo amatininkų, kūrėsi cechai. 1495–1500 m. statytai Vilniaus Šv. Onos bažnyčiai panaudotos 33 formų plytos. XX a. 7–8 dešimtmečiais ypač išplėtota statybinės keramikos gamyba – gamyklos veikė Tauragėje, Palemone (Kaune), Kuršėnuose, Kalvarijoje, Švenčionėliuose, Didžiasalyje (Ignalinos r.) ir kitur. Keraminiai dirbiniai buvo gaminami Kauno ir Vilniaus „Dailės“ kombinatų cechuose, Kauno „Jiesios“ gamykloje ir jos filialuose.

POLIMERINIŲ GAMINIŲ GAMYBA IR ATLIEKŲ PERDIRBIMAS

Polimeras – medžiaga, kurios molekulės sudarytos iš daugybės besikartojančių struktūrinių vienetų, monomerų, sujungtų kovalentiniais cheminiais ryšiais. Polimerai gali būti sudaryti iš šimtų ar tūkstančių monomerų. Pagal kilmę polimerai skirstomi į gamtinius ir sintetinius. Ilgainiui polimerinės medžiagos sensta, t. y. keičiasi jų fizikinės, cheminės ir mechaninės savybės, ir tai priklauso nuo destrukcijos reakcijų. Šių reakcijų metu polimero makromolekulės skyla, todėl dirbiniai deformuojasi, skilinėja, kol pagaliau suyra. Dėl savitos cheminės sudėties polimerai degraduoja lėtai. Visiška įvairių gaminių degradacija gali trukti iki kelių dešimtmečių. Nors polimerinių medžiagų perdirbimo technologijos yra labai sudėtingos ir brangios, tačiau pakartotinis atliekų perdirbimas labai svarbus aplinkos apsaugai, be to, padeda sutaupyti tūkstančius tonų pirminės žaliavos, kurios gamybai naudojami senkantys gamtiniai ištekliai, tokie kaip nafta ar dujos. Antrinių žaliavų perdirbimas prasideda nuo jų pirminio rūšiavimo. Nerūšiuotos polimerinių medžiagų atliekos keliauja į bendrus sąvartynus ir geriausiu atveju gali būti sudeginamos atliekomis kūrenamose krosnyse. Rūšiuotos atliekos patenka į specializuotus sąvartynus ir tampa vertinga žaliava (24.6 pav.). Po daugelio technologinių procesų surinkta antrinė žaliava virsta pusiau pagaminta produkcija – granulėmis. Iš šių granulių vėl galima gaminti vertingus gaminius: maišus šiukšlėms, įvairios paskirties plėveles, vamzdžius, dėžes, kaušus, įvairias talpas, stogo čerpes, plastikinius lakštus. Tokios gamybos nauda akivaizdi – mažėja aplinkos tarša, mažiau naudojami senkantys gamtos ištekliai.

Vilniaus gamyklos „Plasta“ istorija prasidėjo 1961 metais. Gamykla gamino buitinius dirbinius iš lieto ir presuoto plastiko. 1961–1965 m. pradėta gaminti aukšto tankio polietileno vamzdžius ir mažo tankio polietileno plėvelę, 1966–1970 m. pradėta polietileno pakuočių gamyba. 1995–1996 m. gamykloje įrengta maišelių šiukšlėms gamybos linija. 1997–1998 m. pradėta gaminti naujos kartos drenažo sistemoms skirtus polipropileno vamzdžius. „Plasta“ pati kuria naudoto plastiko perdirbimo technologijas ir įrangą. Įmonėje naudojamos aplinką tausojančios technologijos, išmetančios minimalų anglies dvideginio kiekį, taikomas gamybos be atliekų principas. Per metus įmonė perdirba apie 30 000 t naudoto plastiko atliekų. Didžioji dalis panaudojamos energijos pagaminta iš atsinaujinančių energijos išteklių. „Plasta“ gamina naudoto plastiko granules plėvelei, vamzdžiams, pūstiems gaminiams, kabeliams ir vandens tiekimui skirtus vamzdžius, statybinę plėvelę ir maišus, 8 mikrometrų sienelės storio polimerinius maišelius, pagamintus iš 100 % perdirbtos plastiko žaliavos ir kt.



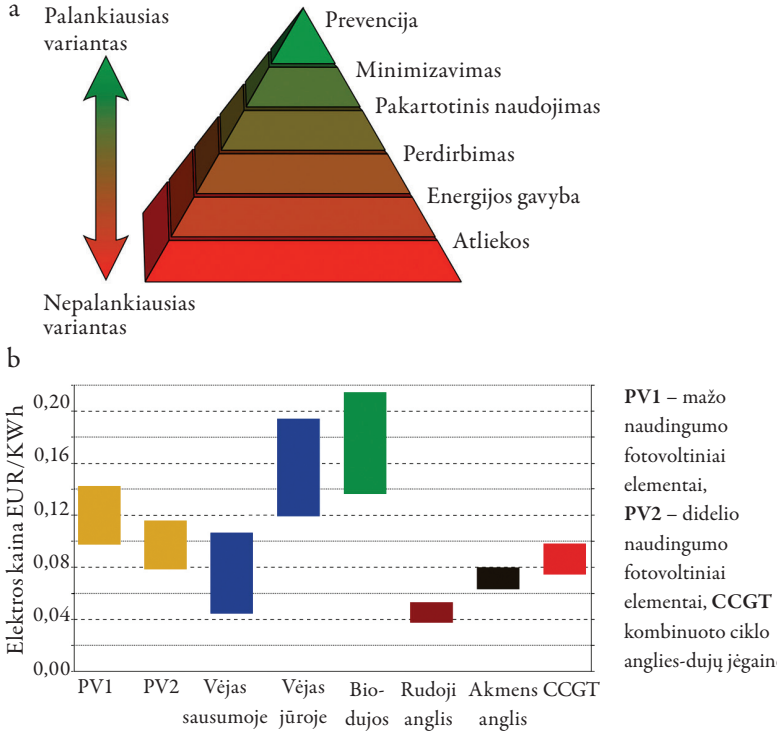
24.6 pav. Polimerinių medžiagų perdirbimas: a – polimerinių gaminių atliekos (Wik Pilchowo śmieci SDC17203.JPG.), b – iš atliekų pagamintos polietileno granulės (Stärke-Packstoff Pömpel CG.jpg.)

ATLIEKŲ DEGINIMAS

Postindustrinė vartotojiška visuomenė, galima sakyti, skęsta šiukšlėse ir atliekose. Atliekos teršia gamtinę aplinką, vandenį, per jas plinta ligos.

Komunalinės kietosios atliekos (pvz., popierius, kartonas, mediena, tekstilė, maisto likučiai) daugiausia yra biogeninės. Vienas iš atliekų panaudojimo būdų yra jų deginimas. Deginimo metu gaunama energija naudojama šildymui ir elektros energijos gamybai (24.7 pav.). Atliekų deginimas laikomas atsinaujinančios energijos gamybos rūšimi.

Atliekos pašalinamos deginant jas aukštoje temperatūroje. Šis ir kiti aukšta temperatūra pagrįsti metodai vadinami *terminiu atliekų apdirbimu* (24.8 pav., a). Deginamos atliekos paverčiamos šiluma, dujomis ir pelenais.



PV1 – mažo naudingumo fotovoltiniai elementai, **PV2** – didelio naudingumo fotovoltiniai elementai, **CCGT** – kombinuoto ciklo anglies-dujų jėgainė

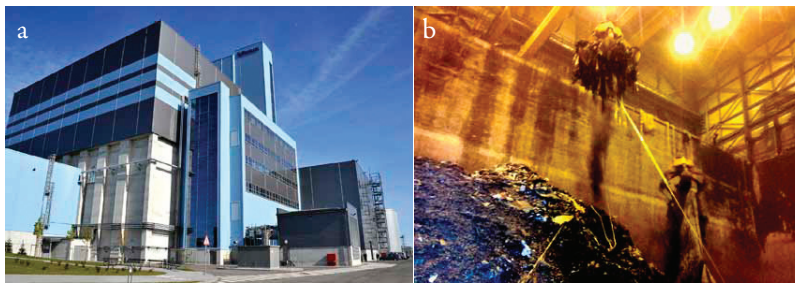
24.7 pav. Atliekų hierarchija ir naudojimas (a – Waste hierarchy.svg.), elektros energijos gamybos kaina (b – wikiwand.com/en/Cost_of_electricity_by_source)

Deginant komunalines atliekas, pusė energijos gaunama iš biogeninių atliekų. Atviruose sąvartynuose viena tona atliekų į aplinką išskiria 62 m^3 šiltnamio efektą sukeliančių metano dujų.

Šiltnamio dujomis vadinamos atmosferoje esančios dujos, sugeriančios dalį į atmosferą patekusių infraraudonųjų spindulių. Kai kurios jų yra atmosferos sudėtinė dalis, kitos į ją patenka dėl žmonių veiklos. Prie pastarųjų priskiriami anglies dioksidas (CO_2) ir metanas (CH_4). Metano poveikis šiltnamio efektui yra du kartus didesnis negu CO_2 dujų.

Iš atvirų sąvartynų arba miesto komunalines atliekas atvežę šiukšliavežiai verčia jas į atliekų deginimo įmonės uždaroje patalpoje įrengtą didelę duobę. Didžiuliai greiferiniai griebtuvai meta atliekas į deginimo įrenginį (24.8, b pav.), kuriame atliekos deginamos aukštesnėje kaip 1 000 °C temperatūroje. Deginimo metu susidaro pelenai, šlakas ir įvairių dujų mišinys. Dujose gali būti kietųjų dalelių, sunkiųjų metalų, dioksinų, organinių junginių (furanų), sieros dioksido, metano ir druskos rūgšties. Temperatūra deginimo įrenginiuose turi būti didesnė negu 850 °C, nes tik tokioje temperatūroje visiškai suskyla toksiški organiniai junginiai. Jei įmonėje įrengta šiuolaikinė susidarančių dujų cheminės sudėties kontrolė, tai tokia įmonė aplinkos taršos požiūriu yra visiškai saugi.

Termofikacinė jėgainė Klaipėdoje veikia nuo 2013 metų. Iš biokuro ir buitinių atliekų ji gamina miestui 65 MW šilumos energijos ir 21 MW elektros energijos. Jėgainėje pagaminama 40 % viso Klaipėdos miestui reikalingo



24.8 pav. Atliekų deginimo įmonė Klaipėdoje (a) ir deginamų atliekų sandėlis (b) (A. V. Valiulio nuotr.)

šilumos kiekio. Šiuo metu Vilniuje ir Kaune statomos *kogeneracinės* jėgainės. Kogeneracija vadinama šilumos ir elektros energijos gamyba vieno technologinio proceso metu, kai pagaminta šilumos energija yra tikslingai ir efektyviau panaudojama. Jėgainėse gali būti deginamos po rūšiavimo likusios ir perdirbti netinkamos komunalinės atliekos, taip pat nepavojingos pramoninės atliekos, pvz., baldų, tekstilės ar statybos pramonės atliekos, vandens valymo įrenginių dumblas. Prognozuojama, kad 2030 m. Lietuvoje bus sudeginama apie 30 % šalyje susidarančių komunalinių atliekų (ES Žiedinės ekonomikos direktyva leidžia deginti iki 35 %). 2020 m. Lietuvoje sudeginama 77 kg vienam šalies gyventojui tenkančių atliekų (Danijoje – 400 kg). Pastačius Vilniaus ir Kauno jėgaines šis rodiklis sieks apie 170 kg komunalinių atliekų vienam šalies gyventojui.

Vilniaus kogeneracinėje jėgainėje naudinga energija bus galima paversti apie 160 tūkst. tonų namų ūkiuose susidarančių perdirbti netinkamų atliekų. Toks kiekis atliekų atitiktų 200 tūkst. tonų biokuro. Jėgainė galės pagaminti apie 40 % Vilniuje centralizuotai tiekiamos šilumos energijos, apie 0,4 TWh elektros energijos, kurios pakaktų 230 tūkst. namų ūkių. Planuojama, kad jėgainė pradės veikti 2021 metais.

Kauno kogeneracinės jėgainės gaminamos elektros galia sieks apie 264 MW, o šilumos – apie 70 MW. Per metus ji pagamins apie 500 GWh šilumos bei apie 170 GWh elektros energijos, sudegins apie 200 tūkst. tonų komunalinių atliekų, pagamins apie 40 % Kauno miestui reikalingos šilumos. Jėgainė veiklą pradėjo 2020 metais.

Pirolizė ir *dujinimas* (gazifikacija) yra panašūs terminio apdorojimo metodai: atliekos kaitinamos aukštoje temperatūroje uždaroje krosnyje, kurioje yra ribotas deguonies kiekis ir aukštas slėgis. Šie metodai yra efektyvesni energijos išgavimo atžvilgiu nei tiesioginis deginimas. Dujinimo proceso metu organinės medžiagos tiesiogiai paverčiamos sintetinėmis dujomis, kurias sudaro anglies monoksidas ir vandenilis. Šios dujos naudojamos biomasės jėgainėse elektros energijai ir šilumai gauti. Kietųjų medžiagų pirolizės metu susidariusi alyva ir dujos gali būti deginamos išgaunant energiją arba rafinuojamos iki kitų naudingų medžiagų. Kietieji likučiai (anglis) taip pat gali būti perdirbami, pvz., į aktyvuotąją anglį.

25 SKYRIUS
BIOMEDICININĖ INŽINERIJA

Biomedicininė inžinerija yra viena iš naujausių šiuolaikinės inžinerijos sričių ir apibūdinama kaip medicinos ir inžinerijos sąsajoje vykdoma veikla. Biomedicininė inžinerija – tai inžinerijos principų ir dizaino koncepcijų taikymas medicinoje ir biologijoje. Ši sritis apima inžinerijos ir projektavimo sprendimų pritaikymą medicinos bei biologijos mokslų srityse norint pagerinti sveikatos priežiūrą, įskaitant diagnostiką, stebėseną, gydymą ir terapiją. Visuomenėje gerai žinomi biomedicininės inžinerijos taikymo pavyzdžiai yra biologiškai suderinamų protezų, įvairių diagnostikos ir terapijos medicinos prietaisų (nuo klinikinės įrangos iki mikroimplantų), vizualizavimo įrangos, regeneracinio audinio auginimo būdų kūrimas.

Fiziologinių procesų suskirstymas į hidraulinius (širdis, kraujotakos sistema), pneumatinius (kvėpavimo sistema) ir ryšių (nervų sistema) procesus ar mechanizmus leidžia biomedicinos inžinieriui kurti žmogaus „hemodinamikos sistemos“ ir kitų organų stebėjimo ir kontrolės sistemas. Vieni pirmųjų buvo bandymai matuoti nervų ir raumenų veiklos, širdies plakimo ir kitų organų bioelektrinius potencialus. Žymus Italijos psichiatras ir fizikas Luigis Galvanis 1786 m. nustatė, kad biologiniai organizmai gamina elektrą. Norint išmatuoti šiuos potencialus, būtina turėti jutiklį, galintį konvertuoti joninį potencialą ir srovę į elektrinius atitikmenis.

Pirmaisiais jutikliais buvo paprasti dvikrypčiai elektrodai. Šie jutikliai fiksuodavo jonų srovių generuojamų elektrinių laukų bangų formos ypatumus. Tokių matavimų pavyzdys yra elektrokardiogramų ir elektroencefalogramų registravimas.

Elektrokardiografija – tai tyrimų metodas, kai specialiu prietaisu – elektrokardiografu – užrašoma širdies ląstelių sukurto suminio elektros lauko potencialo kitimo kreivė, pagal kurios ypatumus sprendžiama apie širdies veiklą. Pirmuosiuose elektrokardiografuose matavimo metu į druskingo vandens maišelius reikėjo panardinti vieną ranką ir vieną koją. Šis elektrinių signalų matavimo būdas buvo sukurtas 1903 m., o elektrokardiografas, kurio

veikimo principai yra ir šiuolaikiniuose prietaisuose, buvo pagamintas 1912 metais.

Elektroencefalograma (EEG) nustato smegenų neuronų aktyvumą ir naudojama, kai reikia įvertinti elektrinę smegenų veiklą. Smegenų ląstelės bendrauja viena su kita per elektros impulsus. EEG registruoja ir įrašo smegenų siunčiamus elektros impulsus. Maži, plokšti metaliniai elektrodai laidais prijungiami prie galvos. Elektrodai užregistruotus smegenų veiklos elektrinius impulsus siunčia į kompiuterį, kuris užfiksuoja matavimo rezultatus. EEG įrašyti elektriniai impulsai (banguotos kreivės) leidžia gydytojams greitai įvertinti funkcinius pokyčius. Bet kokie pažeidimai gali būti sutrikusios smegenų veiklos priežastis. EEG nustatyti smegenų elektrinio aktyvumo pokyčiai gali būti susiję su epilepsija, galvos traumomis, smegenų uždegimu, smegenų augliais, atminties sutrikimais, miego sutrikimais, insultu ir kitais susirgimais.

Kiti bioelektrinio potencialo prietaisai yra EMG (elektromiografas), EGG (elektroretinografas) ir EOG (elektrooksulografas). *Elektromiografija* yra neurologinis tyrimas, kurio metu vertinamas ir užregistruojamas natūralus raumenų elektrinis aktyvumas. *Elektroretinografija* – akies tinklainės bioelektrinių potencialų užrašymas. Šie prietaisai registruoja akies ir jos raumenų veiklos impulsus. *Elektrooksulografija* – akies pasukimo kampo vertinimas elektrookulogramos metodu. Akies obuolio priekinė ir užpakalinė dalys yra elektriškai izoliuotos viena nuo kitos ir tarp jų susidaro elektrinis potencialų skirtumas. Traktuojant akį kaip „galvaninį elementą“, ragena atitiktų katodą, o tinklainė – anodą. Akį nukreipus tiesiai prieš save, atstumas nuo abiejų elektrodų yra maždaug vienodas, o registruojamas potencialas lygus 0. Kai akies obuolio priekinė dalis, ragena, yra arčiau teigiamo elektrodo, užregistruojamas teigiamas potencialų skirtumas. Šiuolaikinės intensyviosios terapijos skyriuose naudojami visi išvardyti elektrinių signalų registravimo ir stebėjimo būdai. Šiame sąraše dar yra kvėpavimo ir temperatūros stebėjimų metodai ir įranga.

Termografija – odos temperatūros stebėjimas infraraudonųjų spindulių prietaisais. Termografas yra skenavimo įrenginys, kuriame registruojama jutiklių išmatuota infraraudonųjų spindulių energija ir fiksuojama ant fotografinio popieriaus. Kūno sričių temperatūros pokyčiai gali parodyti

anomalaus šiluminio aktyvumo sritis. Temperatūros matavimas atliekamas diagnostikos ir stebėsenos tikslais.

Biotelemetrija – tai nuotolinis biologinių parametrų matavimas. Pirmasis elektrokardiogramos perdavimas iš ligoninės į laboratoriją buvo atliktas 1903 metais. Šiuolaikinė biotelemetrija naudoja radiotelemetriją.

Diagnostikos tikslams buvo kuriamos rentgeno ir radioizotopinės, ultragarso sistemos, elementarių dalelių greitintuvai. Buvo sukurti širdies stimuliatoriai, defibriliatoriai, įvairūs dirbtiniai organai. Medicinos prietaisai (širdies stimuliatoriai, infuziniai siurbliai, širdies ir plaučių aparatai, dializės aparatai) ir įvairūs protezai (širdies vožtuvai, dirbtiniai organai, dirbtinės galūnės, korekciniai lęšiai, akių protezai, veido protezai, kaulų ir dantų implantai) buvo skirti ne tik ligų diagnozei, bet ir gydymui ar prevencijai. Pirmą kartą biotelemetrinės sistemos panaudotos apie 1958 m., kai kosmose skrendančių gyvūnų ar žmonių išmatuoti fiziologiniai signalai buvo perduodami į Žemę analizei.

Biomedicininis vizualizavimas šiandien yra labai svarbi medicininių prietaisų sritis. Šiais prietaisais siekiama padėti gydytojui tiesiogiai ar netiesiogiai „apžiūrėti“ organus ir jų funkcionavimą (dažnai 3D). Šiems tikslams pasitelkiamas ultragarsinis, magnetinis, ultravioletinės spektroskopijos, radiologinis ir kt. vizualizavimas. Vizualizavimo technologijos labai svarbios medicininei diagnozei, todėl šiuolaikinės ligoninės ar poliklinikos yra aprūpintos labai sudėtinga įranga – fluoroskopais, magnetinio rezonanso ir pozitroninės emisijos tomografais, projekciniais rentgenografais (rentgeno ir kompiuterinė tomografija), ultragarsiniais tomografais, optiniais ir elektroniniais mikroskopais.

RADIOLOGIJA

Radiologija – mokslas, tiriantis jonizuojančios ir nejonizuojančios spinduliuotės poveikį organizmui ir jos panaudojimą diagnozės nustatymui ar gydymui. Radiologijoje naudojami medicininės paskirties jonizuojančios ir nejonizuojančios spinduliuotės šaltiniai ir įranga, susijusi su asmenų medicinine apšvita. Radiologija apima platų vizualizavimo technologijų spektrą – rentgenografiją, ultragarsinę ir kompiuterinę tomografiją,

radiologinę mediciną, pozitronų emisijos tomografiją ir magnetinio rezonanso tomografiją. *Rentgenografija* atsirado 1895 m., kai vokiečių fizikas Wilhelmas Conradas Röntgenas atrastais spinduliais peršvietė pirmąjį pacientą. Šie spinduliai buvo pavadinti rentgeno spinduliais, o tyrimo metodas – rentgenografija. Skvarbioji radiacija greitai tapo svarbiu medicininės diagnostikos metodu, o vėliau buvo pritaikyta ir gydymui. Rentgeno spinduliai gaunami rentgeno aparatuose panaudojant įgreitintus elektronus: dideliu greičiu atsitrenkę į anodą, nedidelę savo judėjimo energijos dalį (0,1–5 %) jie išspinduliuoja rentgeno spindulių pavidalu. Rentgeno spinduliai (angl. *x-ray*), arba elektromagnetinės bangos (bangos ilgis 10–0,01 nm), lengvai prasiskverbia pro daugelį medžiagų. Įvairūs audiniai skirtingai sugeria rentgeno spindulius, todėl prasiskverbiančios spinduliuotės intensyvumas švitinamame plote yra skirtingas. Labiausiai rentgeno spindulius sugeria kauluose esantis kalcis, todėl monitoriuje ar nuotraukoje kaulai atrodo balti, riebalai ir kiti minkštieji audiniai spindulius sugeria mažiau ir atrodo pilki. Mažiausiai rentgeno spindulius sugeria oras, todėl plaučiai nuotraukose yra juodi. Tiriant smegenis kontrastine terpe būna oras, o tiriant virškinamąjį traktą – bario sulfatas. Praėję pro audinius rentgeno spinduliai paveikia fotografinę plokštelę, kurioje po cheminio ryškinimo atsiranda matomas vaizdas (25.1 pav.). Naujuose radiografuose fotografines medžiagas pakeitė skaitmeninė rentgenografija. Rentgeno spinduliai paveikia daviklių matricą, kuri atsiradusius signalus transformuoja į skaitmeninę informaciją ir konvertuoja į ekrane matomą vaizdą. Vaizdai gali būti saugomi ar gydytojui perduodami telemetrijos būdu.



25.1 pav. Kaulų rentgenogama (Knee plain X-ray.jpg.)

BRANDUOLINĖ MEDICINA

Branduolinė medicina – medicinos sritis, ligoms diagnozuoti ir gydyti naudojanti specialius cheminius junginius – radiofarmacinius vaistinius preparatus, kurių sudėtyje yra radionuklidų, pvz., skydliaukės vėžiui gydyti

naudojamas radioaktyvusis jodas (^{131}I). Radioaktyviųjų izotopų apykaita organizme nesiskiria nuo stabiliųjų izotopų (neradioaktyvių medžiagų). Įvairios medžiagos kaupiasi skirtinguose organuose arba tik patologiniuose židiniuose, pavyzdžiui, jodas – skydliaukėje ir pan. Taigi tyrimo metu pacientui suleidžiama nekenksminga organizmui radioaktyvi medžiaga, kuri parenkama pagal tam tikrus reikalavimus. Po kurio laiko specialia įranga užrašoma spinduliuotė, kurią skleidžia tiriamame organe susikaupusi radioaktyvi medžiaga. Radionuklidinė diagnostika labai tinka inkstų funkcijai tirti, esant kaulų pažeidimui (ištiriamas visas skeletas), skydliaukės augliams, plaučių ligoms ir t. t. Tai neinvazinis, skausmo nesukeliantis tyrimo metodas. Radioaktyvių medžiagų dozės yra labai mažos, todėl nesutrikdo medžiagų apykaitos ir beveik neapšvitina organizmo – apšvita daug mažesnė nei rentgeno ar kompiuterinės tomografijos metu.

Branduolinė medicina pradėta taikyti 1950 m. pradžioje, kai buvo sukaupta daug žinių apie radionuklidus, radioaktyvumo nustatymą ir tam tikrų radionuklidų naudojimą biocheminiams procesams sekti. Branduolinės diagnostikos ar gydymo metu radiofarmaciniai preparatai į organizmą patenka pro veną ar burną. Išoriniai detektoriai, registruodami radioaktyviųjų preparatų skleidžiamą spinduliuotę, formuoja vaizdus. Nuo 1970 m. dauguma kūno organų buvo vizualizuojami taikant branduolinės medicinos procedūras (25.2 pav.). 1980 m. sukurti radiofarmaciniai preparatai, diagnozuojantys širdies ligas.

Emisijos ir transmisijos tomografijos koncepcijos apie 1950 m. virto *vieno fotono emisijos kompiuterine tomografija*. Šis radionuklidinis tyrimas tiriamo objekto dvimačiam (arba trimačiam) atvaizdui gauti naudoja gama spindulius. Tyrimui naudojami įvairūs radioindikatoriai, dažniausiai – technecis-99m, jodas-123, ksenonas-133, indis-111. Skirtingai nuo *pozitronų emisijos tomografijos*, gama fotonai į aplinką išskiriami tiesiogiai iš radioindikatoriaus. Tiriami smegenų, širdies, plaučių, inkstų susirgimai, onkologinių procesų plitimas. Vieno fotono emisijos kompiuterinė tomografija paskatino širdies rekonstrukcijos ir branduolinės kardiologijos kūrimą. Prie naujausių branduolinės medicinos pasiekimų galima priskirti *pozitronų emisijos tomografiją*, kuri tapo neatskiriama onkologijos diagnostikos ir gydymo priemone.



25.2 pav. Kaulų būklės vizualizavimas, rodantis daugybę prostatos vėžio metastazių (Nl bone scan2.jpg.)

Radionuklidų terapija gali būti naudojama hipertirozės, skydliaukės vėžio ir kraujo sistemos sutrikimams gydyti. Radioaktyvių preparatų išskiriama jonizuojančioji spinduliuotė sklinda mažu atstumu, todėl labai sumažėja nepageidaujamas šalutinis poveikis šalia tiriamo ar gydomo organo esantiems organams ar struktūroms. Dažniausiai naudojami šie spinduliuotės šaltiniai: cesis-137, kobaltas-60, iridis-192, jodas-125, paladis-103, rutenis-106.

Biologijoje ir žemės ūkyje radiacija siekiama sukelti organizmų mutacijas, reikalingas tobulinant ar kuriant naujas augalų rūšis. Radiacija naudojama vabzdžių kiekio kontrolei: radiacine spinduliuote sterilizuojami patinėliai nebegali turėti palikuonių ir jų populiacija mažėja. Pramoninėje gamyboje, ypač maisto produktų, radiacija naudojama įrankių ir įrangos sterilizavimui. Svarbu, kad prieš sterilizavimą objektas būtų sandariai uždarytas plastiko pakuotėje. Vis daugiau maisto produktų, prieš pasiekdami rinką, yra apšvitinami, tai yra sterilizuojami.

ULTRAGARSAS

Medicininė ultragarsografija tyrimams naudoja ultragarsą (aukšto dažnio garso bangas), leidžiantį realiai pamatyti minkštųjų audinių struktūras kūne (25.3 pav.). Kai medžiaga sklindanti garso banga susiduria su kitokio



25.3 pav. Medicininė ultragarsinė vizualizacija (CRL Crown rump length 12 weeks ecografia Dr. Wolfgang Moroder.jpg.)

tankio medžiaga, dalis garso bangos kaip aidas atsispindi ir sugrįžta į zondą, o gaunama informacija iškart matoma monitoriaus ekrane. Laikas, per kurį garso banga grįžta į zondą, yra matuojamas ir pagal jį vertinamas garso bangas atspindėjusio objekto (paviršiaus) nuotolis ar vieta organizme. Iš atsispindėjusių ultragarso bangų sužinoma apie minkštųjų audinių būklę, struktūrą, erdvinę padėtį, jos parodo svetimkūnius, tulžies akmenis, navikus. Onkologijoje, gastroenterologijoje, akušerijoje naudojamas ultragarsinis prietaisas, kuris į tiriamą organizmą spinduliuoja trumpus (kelių mikrosekundžių trukmės) ultragarso signalus. Sklisdami audinyje jie iš dalies atsispindi ir grįžta į pjezoelektrinį keitiklį, iš kurio siunčiami į elektroninį vamzdį. Jo ekrane matomą vienmatę echogramą sudaro daugelis skirtingos amplitudės ir formos impulsų. Kardiologijoje naudojamų ultragarsinės diagnostikos prietaisų atsispindėję signalai moduliuoja elektroninio vamzdžio spindulio intensyvumą. Lėtai sklindant šitaip moduliuojamam spinduliui, ekrane gaunama vienmatė echograma, rodanti, kaip ilgainiui kinta biologinės struktūros. Onkologijoje, akušerijoje, ginekologijoje, gastroenterologijoje, otorinolaringologijoje dažniau naudojami ultragarsinės diagnostikos prietaisai su dvimačiu indikatoriumi. Siekiant dvimačio vaizdo, ultragarso bangų spindulys organizmo paviršiuje vedamas įvairiomis kryptimis. Nuo audinių atsispindėję ultragarso signalai moduliuoja elektronų spindulio intensyvumą. Toks spindulys elektroninio vamzdžio ekrane brėžia dvimatį organizmo skerspjūvio vaizdą. Ultragarsinis spektrometrinis analizatorius, analizuodamas pro audinį praėjusius įvairaus dažnio signalus, rodo audinių mikrostruktūrą. Kraujotaka, žmogaus gemalo judesiai tiriami dopleriniais matuokliais, kuriais matuojamas išspinduliuotų ir atsispindėjusių nuo judančios biologinės struktūros nuolatinių signalų dažnių skirtumas. Priešingai nei rentgenografija, kompiuterinė tomografija

ir branduolinė medicininė vaizdavimo technika, *medicininė ultragarsografija* nenaudoja jonizuojančiosios spinduliuotės, todėl medicininiu požiūriu ji laikoma saugesne. 2–18 MHz dažnio garso bangas skleidžia pjezoelektrinis daviklis, gaminamas iš bario titanato arba kitų pjezokristalų, kurie, veikiami elektros srovės, spinduliuoja ultragarso bangas. Bendro pobūdžio ir vaikų tyrimams dažniausiai naudojamas 2,25 MHz dažnis, pediatrinei echokardiografijai – 5,0 MHz. Ultragarsografija turi ir trūkumų: ultragarsu gautų vaizdų kokybė labai priklauso nuo operatoriaus įgūdžių; atliekant pilvo organų tyrimą žarnyne negali būti dujų – pro jas prastai skverbiasi ultragarsas; labai riboti plaučių ir kaulų tyrimai.

Ultragarsinę defektoskopiją medicinoje pirmą kartą panaudojo Georgas Ludwigas (JAV) 1940 metais. Žarnyno tyrimams ultragarsinė defektoskopija buvo panaudota 1949 m., tačiau tik 1963 m. medicinos tikslams buvo sukurtas kūno paviršiumi ranka vedžiojamas zondas.

MAGNETINIO REZONANSO TOMOGRAFIJA

Magnetinio rezonanso tomografija – būdas neskaidriems organizmo dariniams atvaizduoti bei jų patologiniams pokyčiams nustatyti. Magnetinio rezonanso tomografą sudaro stiprus magnetas (nuolatiniai ir superlaidieji elektromagnetai), kuriantis nuolatinį magnetinį lauką, gradientinių magnetinių laukų sistema, radijo impulsų siųstuvas ir imtuvas, duomenų apdorojimo kompiuteris. Tiriamojo audinio sluoksnis sužadinamas siųstuvo siunčiamais radijo impulsais. Stipriame nuolatiniame magnetiniame lauke audinio tam tikrų atomų branduoliai (daugiausia vandenilio) selektyviai sugeria aukšto dažnio radijo bangas ir pereina į aukštesnį energijos lygmenį. Nutraukus magnetinio lauko poveikį, branduoliai grįžta į žemesnį energijos lygmenį (vyksta relaksacija), išspinduliuodami sugertą elektromagnetinę energiją magnetinio rezonanso impulso pavidalu, kurį užrašo jutiklis ir panaudoja tiriamajam sluoksniui atvaizduoti monitoriaus ekrane. Branduolių relaksacijos trukmė priklauso nuo jų terpės, todėl galima tiksliai įvertinti skirtingų darinių savybes ir nuokrypį nuo normos.

Magnetinio rezonanso tomografijos tyrimai dažniausiai yra taikomi smegenų, stuburo, nervų, sąnarių, širdies ir kraujagyslių, navikinėms ligoms

diagnozuoti, įvertinti minkštųjų audinių pažeidimus, limfmazgių būklę, kraujotaką. Audinių skenavimo metu gauti vaizdai pasižymi ypač ryškiu minkštųjų audinių kontrastu. Tiriant kraujotaką dažnai naudojama kontrastinė medžiaga. Tyrimas saugus, pacientai nėra veikiami jonizuojančiosios spinduliuotės. Tyrimas gali trukti nuo 15 min. iki 1,5 valandos. Pacientas paguldomas ant nugaros ant specialaus medicininio stalo, jam uždedamos skenavimo metu sklindančius garsus sušvelninančios ausinės (25.4 pav.). Magnetinio rezonanso tomografą 1978 m. sukūrė P. Lauterburas (JAV) ir P. Mansfieldas (D. Britanija). Pastarasis pirmas atliko galvos smegenų ir pilvo organų magnetinio rezonanso tomografiją.



25.4 pav. Magnetinio rezonanso skeneris (MRI-Philips.JPG.)

KOMPIUTERINĖ TOMOGRAFIJA

Kompiuterinė tomografija – neinvazinis objektų vidinės struktūros tyrimas peršviečiant juos iš įvairių pusių skvarbia spinduliuote. Tomografijos medicinoje pradžia – rentgeno spinduliuotės panaudojimas (1895 m). Kompiuterinės tomografijos principus ir pirmąjį aparatą 1974 m. sukūrė Godfrey'us Hounsfieldas (D. Britanija). Kompiuterinį tomografą sudaro rentgeno spindulių šaltinis, rentgeno spindulių detektorius (ar keli detektoriai) ir kompiuteris. Tyrimo metu pacientas juda pro tomografo angą, o detektoriai ir rentgeno spindulių šaltinis nuolat sukasi aplink tiriamąjį, nubrėždami kelių spiralių trajektoriją. Gaunamas sluoksninis / spiralinis įvairių organizmo sričių vaizdas (tomograma), apdorojus kompiuteriu, pateikiamas tomografų monitoriuose. Detalūs vaizdai gali būti rekonstruoti į trimačius (3D) vaizdus. Spiralinis kompiuterinis tomografas sukurtas 1989 m., o daugiapjūvis kompiuterinis tomografas – 1992 metais. Kompiuterinė tomografija gali aptikti smulkesnius pokyčius audiniuose,

tačiau pacientas gauna daugiau jonizuojančiosios spinduliuotės negu rentgenografinio tyrimo metu. Be to, tą patį matomą vaizdą galima gauti naudojant nedidelį kontrastinės medžiagos kiekį. Kompiuterinis tomografinis skenavimas naudojamas diagnozuojant smegenų kraujavimą, plaučių emboliją, aortos sienelės plyšimus, apendicitą, širdį, inkstų akmenis. Juo lengviau tirti kelias sritis iš karto, tai ypač patogu tiriant sergančiuosius onkologinėmis ligomis, pacientus po traumų ir kt.

Jonizuojančioji spinduliuotė yra charakterizuojama kaip elektrinių dalelių srautas arba labai trumpos (bangos ilgis $\lambda < 10^{-8}$ m) elektromagnetinės bangos, kurių energijos pakanka medžiagos atomams ir molekulėms jonizuoti. Pagrindiniai jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai: rentgeno spinduliai, alfa (α) spinduliuotė (alfa dalelių, t. y. teigiamą krūvį turinčių helio branduolių, kurie sudaryti iš dviejų protonų ir dviejų neutronų, spinduliuotė), beta (β) spinduliuotė (beta dalelių, t. y. neigiamą krūvį turinčių elektronų, srautas) ir gama (γ) spinduliuotė (aukštos energijos trumpų elektromagnetinių bangų spinduliuotė). Skverbdamasi pro medžiagą spinduliuotė silpsta, nes dėl sąveikos su medžiaga praranda savo energiją. Energijos pernešimo ir silpimo procesai įvairiuose biologiniuose audiniuose vyksta skirtingai. Šiais skirtumais ir paremta radiologija – medicinos sritis, susijusi su spinduliuotės panaudojimu pacientų gydymui bei ligų diagnostikai.

RADIOIZOTOPAI

Spindulinė terapija siejama su onkologinių susirgimų gydymu naudojant spindulines technologijas. Medicina taiko spindulinę terapiją kaip vėžio gydymo būdą jau daugiau negu 100 metų. Spindulinės medicinos (radiologijos) era prasidėjo nuo W. K. Röntgeno atradimo 1895 metais. Jo atrastų spindulių intensyvumo minkštajame biologiniame ir kauliniame audinyje skirtumai pirmą kartą buvo panaudoti anatominių struktūrų vaizdui. Tik vėliau, apie 1920 m., rentgeno spinduliuotė pradėta taikyti spindulinėje terapijoje. Spindulinės terapijos galimybės išsiplėtė po to, kai 1898 m. Marija Kiuri atrado radioaktyviuosius elementus – polonį ir radį. Radžio terapiją vėliau pakeitė kobalto ir cezio terapija. XX amžiaus 4 dešimtmečio pabaigoje medicinoje pradėta naudoti linijinių greitintuvų

sukuriamą spinduliuotę. Apie 1971 m. atsiradus kompiuterinei tomografijai ir trimatei vizualizacijai, naudodami tomografinius paciento anatomijos vaizdus gydytojai galėjo paskirti tikslesnes švitinimo dozes. Atsiradus magnetinio rezonanso vizualizavimui ir pozitronų emisijos tomografijai (apie 1980 m.), spindulinė terapija perėjo į švitinimo intensyvumo moduliavimo ir tikslios švitinimo vietos lokalizavimo stadiją. Naujos medicininės vizualizacijos technologijos teikė daugiau svarbios biologinės informacijos apie paciento fiziologiją, organų funkcijas, biocheminius procesus, metabolizmą, molekulinę biologiją, net genetiką, neprarandant anatominio vaizdo kokybės, padėjo nustatyti ir lokalizuoti pažeistus organus ar audinius. Kita svarbi vystymosi tendencija – perėjimas nuo dvimačių prie trimačių vaizdų, leidžiančių apibūdinti tūrinius objektus, tarp jų ir auglius. Jau realizuota ir 4D vaizdinimo technika, kur ketvirtuoju matmeniu pasirinktas laikas, leidžiantis įvertinti paciento ir jo organų judėjimą (kvėpavimą, širdies plakimą). Svarbiausias uždavinys, kurį tenka spręsti gydytojams, yra švitinimo dozių planavimas kiekvienam pacientui. Apšvitos metu taikinys (vėžio pažeistas organas ar audinys) turi sugerti spinduliuotės dozę, reikalingą navikui sunaikinti, o aplinkiniai sveiki organai turi būti maksimaliai apsaugoti nuo apšvitinimo. Šiuolaikinės radioizotopinės technologijos naudoja įvairius radioizotopus (^{34}P, ^{131}I, ^{99}Mo), kurie generuoja emisiją, juntamą jutiklių ir skenavimo įrenginių. Visa natūrali, arba foninė, spinduliuotė, rentgeno spinduliai, gama, alfa arba beta spinduliuotė sukelia audinių jonizaciją. Audinių pažeidimo dydis yra tiesiogiai proporcingas specifiniam radiacijos tipui ir kiekiui. Labiausiai kenksmingi biologiniam audiniui yra helio branduoliai (alfa dalelės). Dėl stipraus poveikio ši spinduliuotė naudojama navikų terapijoje. Toks radioizotopo panaudojimas vadinamas spinduline terapija. Radioterapija dažniausiai taikoma vėžiniams susirgimams gydyti, nes spinduliuotė gali kontroliuoti vėžinių ląstelių augimą. Jonizuojančioji spinduliuotė paveikia vėžinės ląstelės DNR ir ląstelė miršta. Siekiant apsaugoti sveikus audinius, radiacijos spinduliai nukreipiami į vėžinį auglį keliomis kryptimis, kurios susikerta auglio zonoje. Atskiro spindulio biologinis poveikis audiniams yra nedidelis, tačiau spindulių sankirtoje esantys vėžiniai audiniai gauna labai stiprią spinduliuotės dozę. Pastaruoju metu vėžinių auglių terapijai naudojami linijinių greitintuvų

skleidžiami didelės energijos rentgeno spinduliai. Įvairūs dariniai bombarduojami neutronų, elektronų ar mezonų dalelių srautu. Dalelėms susidūrus su taikiniu, sukuriama labai intensyvi energinga skvarbiosios radiacijos spinduliuotė. Dėl didelio spinduliuotės tankio bendra paciento švitinimo trukmė sutrumpėja, o poveikis vėžiniam augliui padidėja.

ŠIRDIES STIMULIATORIAI IR DEFIBRILIATORIAI

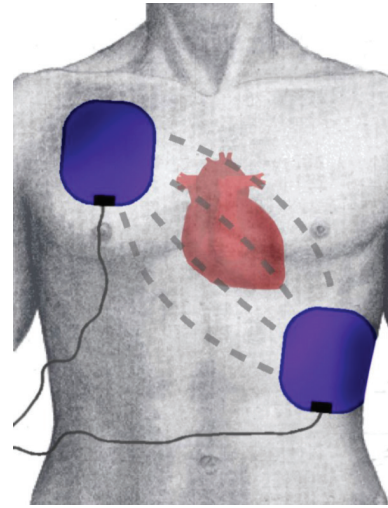
Širdies stimuliatorius – tai širdies plakimo dažnį normalizuojantis elektroninis prietaisas. Sveikos širdies „ritmo vadovas“ – sinusinis mazgas – nustato, kokiu dažniu širdis turi dirbti žmogui miegant, bėgant, jaudinantis ar sėdint. Impulsas, atsiradęs šiame sinusiniame mazge, plinta prieširdžiais, pereina pro atrioventrikulinį mazgą, plinta į skilvelius ir skilveliai susitraukia. Tuomet širdis plaka tiek, kiek reikia organizmui. Kartais „ritmo vadovas“ sugenda, t. y. skilvelių laidžioji sistema nepraleidžia impulso. Šiuolaikiniai stimuliatoriai ne tik reguliuoja ritmo dažnį, bet ir neteisingus (asinchroniškus) skilvelio susitraukimus. Kai stimuliatoriaus pagalbos širdžiai nereikia, prietaisas nesikiša į jos darbą, tik stebi – „įsikiša“ tada, kai jo pagalba būtina.

Širdies stimuliatorius per stimuliavimo laidą siunčia elektrinį impulsą į širdį, kuris sužadina širdies susitraukimą. Stimuliatorius stimuliuoja širdį, kai širdies ritmas yra nereguliarus ar pernelyg retas. Širdies stimuliatoriai yra tiek vienos, tiek dviejų kamerų. Naudojant vienkamerinį širdies stimuliatorių, stimuliuojamas dešinysis prieširdis arba dešinysis skilvelis. Naudojamas tik vienas laidas. Naudojant dvikamerinį širdies stimuliatorių, stimuliuojamos dvi kameros – dešinysis prieširdis ir dešinysis skilvelis. Tam reikia dviejų stimuliavimo laidų. Vienas laido galas yra prijungtas prie širdies stimuliatoriaus bloko, kitas įvedamas į dešinįjį skilvelį arba dešinįjį prieširdį. Laidas gali būti fiksuotas tiek širdies sienelės viduje, tiek išorėje. Toks laidas vadinamas endokardiniu laidu. Silpni išoriniai elektromagnetiniai laukai paprastai nekenkia širdies stimuliatoriui, tačiau stiprūs elektromagnetiniai laukai gali sukelti elektromagnetinius trikdžius, laikinai pakeisti širdies stimuliatoriaus veiklą ir neleisti jam nustatyti reikalingą širdies ritmą.

Širdies stimuliatorių sudaro maitinimo elementas ir elektroninė mikroschema, hermetiškai uždaryti metaliniame titano dėkle. Dabartiniai

stimuliatoriai – maži, ploni, sveriantys 27 gramus, o skirti vaikams – apie 12 gramų. Stimuliatoriai pritvirtinami ant krūtinės ląstos po oda. Širdies veiklos dažnį jie pritaiko pagal žmogaus fizinį krūvį – vienokį dažnį parenka tada, kai žmogus aktyviai juda, kitokį – kai jis, pavyzdžiui, miega. Kartais širdies stimuliatorius ir defibriliatorius yra sujungti į vieną implantuotą prietaisą.

Pirmieji tyrimai apie išorinių elektrinių impulsų pritaikymą žmogaus širdies ritmo reguliavimui paskelbti 1899 metais. JAV išradėjas Wilsonas Greatbatchas 1956 m. sukūrė širdies stimuliatorių. 1958 m. pagamintas išorinis širdies ritmo reguliatorius svėrė 45 kg ir buvo maitinamas 12 voltų akumuliatoriumi. Implantuojamų prietaisų patikimumą ir tarnavimo laiką ribojo gyvsidabrio baterijų trumpaamžiškumas. Nuo 1971 m. stimuliatoriuose pradėta naudoti ličio baterijas. Nuo 1960 m. naudojamas vidinis (implantuotas) ir išorinis širdies ritmo reguliatorius. Vidiniai širdies stimuliatoriai su impulsų generatoriumi implantuojami į krūtinės ląstoje chirurginiu būdu sukurtą kišenę. Išoriniai širdies stimuliatoriai skiriami pacientams, jaučiantiems laikinus širdies plakimo ritmo sutrikimus. Impulsų generatorius dėvimas ant diržo ar riešo, o elektrodai tvirtinami virš širdies srities. Vidinį širdies stimuliatorių turinčiam žmogui kas 5–10 metų reikia atlikti operaciją – pakeisti susidėvėjusią bateriją.



25.5 pav. Defibriliatoriaus elektrodų išdėstymas ant žmogaus krūtinės (širdies vieta ir elektrošoko srovės tekėjimo kryptys) (Defibrillation Electrode Position.jpg.)

Defibriliatorius naudojamas, kai širdies veikla praranda sinchronizaciją (25.5 pav.). Sveika širdis ramybės būsenoje plaka reguliariai 50–80 kartų per minutę. Fizinio krūvio metu ar susijaudinus dažnis gali padidėti iki 100 kartų ir daugiau. Jeigu širdies susitraukimų dažnis pasiekia daugiau nei 250 kartų/min.,

tai vadinama *skilvelių plazdėjimu*. Skilvelių plazdėjimas greitai gali pereiti į *skilvelių virpėjimą*, o ši situacija jau yra grėsminga gyvybei. Skilvelių virpėjimą galima įveikti išoriniu elektriniu impulsu, vadinamu *defibriliacija*. Jis vienu metu sužadina visus širdies raumenis, leidžia sinusiniam mazgui vėl reguliariai skleisti impulsus į širdį ir atkuria normalų širdies plakimo ritmą. Defibriliatorius panašus į širdies stimuliatorių. Sistemą sudaro trys dalys: impulsų generatorius, elektrodai ir programuojama sistema. Šiandien impulsų generatorius yra labai mažas – degtukų dėžutės dydžio ir veikia kaip mažas kompiuteris. Visą dieną jis priima iš elektrodų informaciją apie širdies ritmą – nagrinėja ritmo tempą (per greitas ar per lėtas), kaip plaka širdis – ritmiškai ar neritmiškai. Defibriliatorius paleidžia vieną intensyvų srovės impulsą, vadinamą elektrošoku. Šis elektrošokas yra suderinamas su širdies ritmu ir vadinamas *kardioversija*. Jeigu elektrošoko negalima suderinti su širdies ritmu, pvz., skilvelių virpėjimo metu, jis vadinamas *defibriliacija*. Impulsai nesukelia skausmo ir daugelis pacientų jų visiškai nejaučia. Defibriliatorius taip pat gali suaktyvinti per retą ritmą (bradikardiją) – tuomet jis veikia kaip širdies stimuliatorius.

Nors defibriliatoriaus veikimo principas su šunimi buvo pademonstruotas 1899 m., tačiau žmogui pirmą kartą buvo panaudotas tik 1947 metais. Pirmasis prietaisas skleidė trumpus (0,25–1 s) 60 Hz dažnio, 6 amperų srovės impulsus, kurie iš naujo sinchronizuodavo širdies plakimo ritmą. Šis būdas buvo pavadintas *alternatyviąja kintamos srovės defibriliacija*. 1962 m. buvo sukurtas naujas defibriliacijos metodas. Pagal šį metodą veikiantys defibriliatoriai turi aukštos įtampos įkraunamą kondensatorių, kuris, elektrodams palietus paciento krūtinę, greitai išsikrauna. Širdies plotą paveikia 5 mikrosekundes trunkanti 100–400 J impulsinė energijos iškrova. Dabartiniai automatiniai išoriniai defibriliatoriai – tai kompiuteriniai prietaisai, kurie analizuoja širdies ritmą, atpažįsta sutrikimą ir išskiriamu elektros impulsu atkuria normalų širdies darbą.

Šiandien nešiojamaisiais defibriliatoriais aprūpinami visi greitosios pagalbos automobiliai, oro uostai ar net parduotuvės. Neseniai pasirodė implantuojami po oda, nepažeidžiantys kraujagyslių belaidžiai defibriliatoriai. Implantuojamieji širdies defibriliatoriai – tai visiškai autonominės ligonio organizme kelerius metus veikiančios sistemos.

DIRBTINIAI ORGANAI

Dirbtinis organas – tai inžinerinis darinys ar audinys, implantuotas arba integruotas į žmogų. Jo paskirtis – pakeisti natūralų organą, dubliuoti jį arba sustiprinti tam tikrą organo funkciją, kad pacientas vėl galėtų grįžti į įprastą gyvenimą. Nuo 1960 m. prasidėjo spartus biomedicinos dirbtinių prietaisų ar organų kūrimas. Visuomenei labiausiai žinomi dirbtinis inkstas arba dializės aparatas, širdies ir plaučių aparatas ir dirbtinė širdis. Dializės mašina, nors yra kritiškai svarbus gyvybės palaikymo įtaisas, kuris beveik visiškai pakeičia inkstų funkciją, nėra dirbtinis organas. Implantuojami kaulai ar sąnariai yra laikomi dirbtiniais organais. Kaulai yra dažniausias transplantacinis audinys organizme. Dirbtiniai organai naudojami, kai jie yra būtini gyvybės palaikymui (laukiant širdies transplantacijos), kai labai pagerina paciento savarankiškumą (dirbtinės galūnės) ar gebėjimą bendrauti (kochlearinis implantas), gyvenimo kokybę (organų atkūrimas po vėžio operacijos ar nelaimingo atsitikimo). Vis daugiau žmonių pasaulyje gyvena su svetimais inkstais, ragenomis, širdimis, plaučiais, kepenimis ar kitais transplantuotais organais bei audiniais. Žmonių, kuriems reikia persodinti vieną ar kitą organą, skaičius nemažėja ir nepakanka donorų, galinčių paaukoti organus ligoniui. Šiandien, plėtojantis naujoms technologijoms, vis drąsiau kalbama apie dirbtinių biologinių audinių ar net organų kūrimą.

Gaminant kaulų karkasus 3D technologijomis naudojami sotieji alifatiniai poliesteriai, pavyzdžiui, polilaktinė rūgštis. Tai biologiškai skaidomas polimeras, pasižymintis dideliu biologiniu suderinamumu su žmogaus audiniais. Uždegiminės bei alerginės reakcijos į polilaktinę rūgštį kartais riboja tokių karkasų naudojimą, todėl kuriami 3D kompozitinių medžiagų karkasai iš hidroksiapatitu modifikuoto titano dioksido. Neorganinė medžiaga hidroksiapatitas savo sudėtimi yra labai panaši į mineralinę kaulo fazę, o siekiant karkasui suteikti ir antiosteoporozines savybes, į hidroksiapatito struktūrą įterpiami Mg ir Sr jonai. Karkasai sukuria 3D matricą, ant kurios ląstelės gali daugintis, migruoti ir formuoti norimos formos funkcinį audinį. Karkasai taip pat užtikrina besivystančio audinio struktūrinį stabilumą ir leidžia integruoti biologinius ar mechaninius signalus, kad pagerėtų audinių susidarymas.

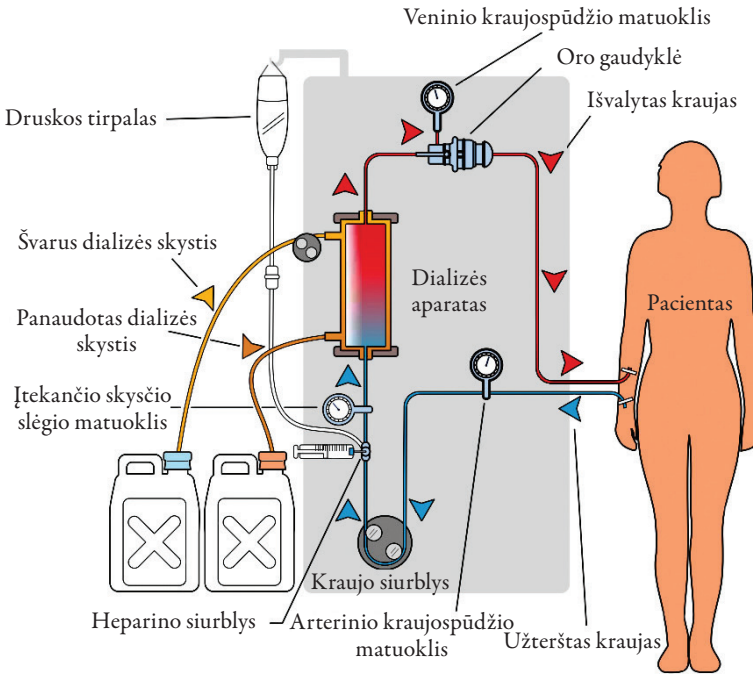
Dirbtiniame audinyje karkasas atstoja gyvame organizme funkcionuojantį tarpląstelinį užpildą, kuris garantuoja būdingą audinio formą, struktūrą. Jis turi tikti ląstelių augimui ir dauginimuisi, užtikrinti tarpląstelinio užpildo formavimąsi, augimo veiksnius ar kitų medžiagų patekimą. Karkasas turi būti nekenksmingas organizmui ir nesukelti imuninio atsako, lemiančio implantuoto dirbtinio audinio atmetimą. Tokioms medžiagoms dar būtinas farmakologinis inertiškumas ir porėtumas, reikalingas maisto medžiagų, skirtų augančioms ląstelėms, pralaidumui. Gali būti pageidaujama, kad pagaminti ląstelių karkasai organizme iš lėto degraduotų, palikdami egzistuoti tik ant jų užaugusias ląsteles ir ląstelių suformuotą tarpląstelinį užpildą.

3D spausdinimo būdu galima greitai pagaminti reikiamos formos karkasus, netgi individualiai kiekvienam pacientui. Pavyzdžiui, esant dideliam žandikaulio defektui, 3D spausdintuvu iš biologiškai suderinamos medžiagos galima suformuoti defektą atitinkantį kietą karkasą ir jį apauginti paciento kamieninėmis ląstelėmis. Į pažeidimo vietą implantuotas toks darinys galėtų atkurti žandikaulį bei veido kontūrus.

Dializė yra dirbtinis kraujo valymo būdas, kai žmogaus inkstai nebeveikia dėl ūminio ar lėtinio inkstų nepakankamumo arba kai inksto iš viso nėra. Šis gydymo metodas pagrįstas pusiau laidžių membranų veikimo principu, kai vienoje membranos pusėje yra kraujas (plazma), o kitoje – dializės tirpalas. Hemodializės metu nepageidaujamos molekulės šalinamos iš kraujo per pusiau laidžią membraną į dializės tirpalą. Molekulės juda per pusiau laidžią membraną, o jų judėjimas priklauso nuo molekulės dydžio, membranos porų dydžio, elektrinio krūvio bei molekulės formos. Pirmasis dializės aparatas, naudojamas kaip dirbtinis inkstas, buvo pagamintas 1913 m., o pirmasis sėkmingas dirbtinis inkstas buvo sukurtas 1940 m. Olandijoje. Visgi dabartiniai dirbtiniai inkstai iki šiol yra nemobilūs. Pacientų kraujas bent 12 valandų per savaitę turi būti valomas šiais išoriniais aparatais (25.6 pav.). Šiandienos dializės aparatai dar nėra tobuli. Jų efektyvumas siekia tik apie 10 % veikiančio inksto efektyvumo. Pavyzdžiui, tris kartus per savaitę atliekama kraujo dializė negali sukontroliuoti šlapalo koncentracijos kraujyje svyravimų, nes šlapalo pašalinimas dializės metu priklauso nuo kraujo tėkmės greičio, dializės tirpalo (sąveikaujančio su krauju per pusiau laidžią membraną) tėkmės greičio bei membranos efektyvumo.

Kol kas implantuojami dirbtinio inksto prototipai dar tik kuriami. Dializės aparatą prie juosmens segintys pacientai galės atlikti hemodializę namuose ar vaikščiodami po miestą. Nešiojamasis inkstas suteiks galimybę pacientams gyventi įprastą gyvenimą ir neapribos judėjimo laisvės. Jis turėtų veikti visą parą ir padės išvengti sveikatai žalingos periodiškai padidėjančios „nešvarumų“ koncentracijos kraujyje.

Viliojančias galimybes šioje srityje atveria nanotechnologijos. Plonos dializės aparatų nanomembranos būtų pralaidesnės kraujyje esančioms kraujo teršalų molekulėms negu įprastomis technologijomis gaminamos dabartinės pusiau laidžios membranos. Dabartinių membranų poros yra įvairaus dydžio, nanomembranų porų dydis būtų tiksliai reglamentuojamas, jų pasiskirstymas būtų tolygesnis.

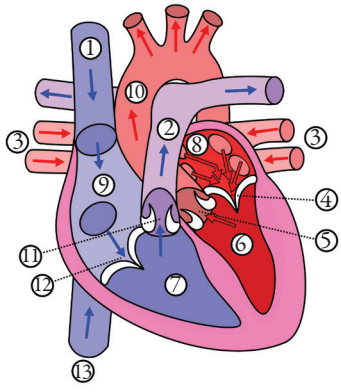


25.6 pav. Dializė (dirbtinis inkstas) (Hemodialysis-en.svg.)

DIRBTINĖ ŠIRDIS

Bandymai sukurti dirbtinę širdį, kuri visiškai pakeistų natūralią, vyksta jau kelis dešimtmečius, tačiau iki šiol šio tikslo pasiekti nepavyko. Žmogaus širdis nėra paprastas kraujo siurblys, ji labai ištverminga: širdies raumuo vidutiniškai susitraukia 60 kartų per minutę, o per metus – 35 milijonus kartų. Širdį sudaro du prieširdžiai ir du skilveliai (25.7 pav.). Iš viso organizmo į dešinįjį prieširdį atneštas veninis kraujas išstumiamas iš dešiniojo skilvelio į plaučius (mažąjį kraujotakos ratą). Į kairįjį prieširdį venomis iš plaučių atiteka deguonimi įsotintas kraujas (arterinis). Iš kairiojo skilvelio išeinančia aorta kraujas pasklinda po visą kūną (į didįjį kraujotakos ratą).

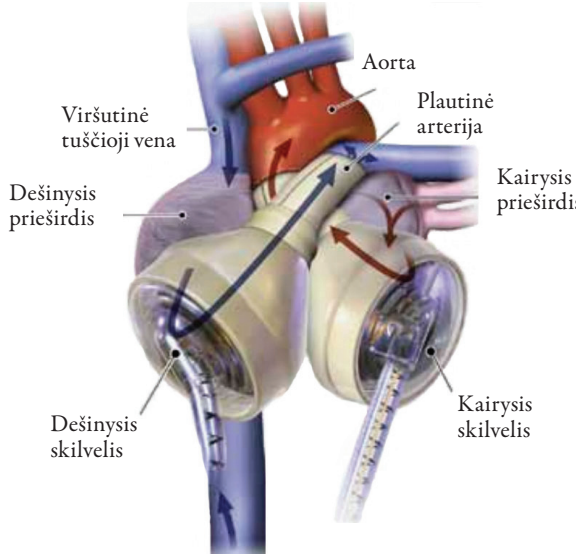
Dirbtinės širdys naudojamos, kad žmogus sulauktų širdies transplantacijos, arba kai širdies transplantacija neįmanoma. Pirmoji dirbtinė kraujotakos sistema buvo sukurta 1951 m. į apatinę aortą įstačius rutulinį atbulinį vožtuvą. Pirmą dirbtinę širdį 1937 m. sukūrė SSRS mokslininkas Vladimiras Demichovas. Ji buvo implantuota šuniui. 1952 m. dirbtinė širdis 50 min. plakė vietoj žmogaus širdies jos operacijos metu. 1949 m. sukurta dirbtinė širdis buvo implantuota šuniui ir veikė ilgiau negu valandą. 1957 m. Klivlendo ligoninėje (JAV) šuniui implantuota dirbtinė širdis veikė 90 min. 1964 m. JAV Nacionalinis sveikatos institutas pradėjo dirbtinės širdies kūrimo programą, kurios tikslas – iki dešimtmečio pabaigos sukurti implantuojamą dirbtinę širdį ir jai būtiną energijos šaltinį. Iki 1950 m. pabaigos buvo daromi triburiai mechaniniai vožtuvai (pagal biologinio analogo konstrukciją), tačiau atsirasdavo įtrūkiai arba medžiaga prarasdavo elastingumą. Nuo 1960 m. pradėta gaminti rutulinius vožtuvus. Jie dirbdavo ilgiau, tačiau audiniai aplink implantuotą vožtuvą gydavo sunkiai, pavojų kėlė galimi kraujo krešuliai. Dalinio ar visiško širdies pakeitimo eksperimentai prasidėjo 1967 metais. 1982 m. dirbtinė širdis buvo implantuota Barney Clarkui (JAV), kuris išgyveno 112 dienas. Antrasis žmogus su implantuota dirbtine širdimi išgyveno jau 620 dienų. Šios širdies veikimui reikėjo 180 kg sveriančios išorinės įrangos. 1967 m. buvo sukurtos dvi svarbios dirbtinės širdies sistemos sudedamosios dalys – skilvelis su pusiau sferinėmis diafragmomis, kurios nežalojo raudonųjų kraujo kūnelių, ir išorinis širdies ritmo reguliatorius. Vėliau kuriamuose širdies prototipuose buvo naudojamos kraujo krešulių nesudarančios polimerinės medžiagos.



25.7 pav. Žmogaus širdies schema: 1 – viršutinė tuščioji vena, 2 – plaučių arterija, 3 – plaučių venos, 4 – mitralinis (dviburis) vožtuvas, 5 – aortos pusmėnulinis (aortinis) vožtuvas, 6 – kairysis skilvelis, 7 – dešinysis skilvelis, 8 – kairysis prieširdis, 9 – dešinysis prieširdis, 10 – aorta, 11 – plaučių pusmėnulinis vožtuvas, 12 – triburis vožtuvas, 13 – apatinė tuščioji vena (žmogaus širdies diagrama.png.)

Konstruojant dirbtinę širdį didelį iššūkį kėlė galimas implantuojamo objekto dydis ir forma. 1980 m. viduryje dirbtines širdis aptarnavo indaplovės dydžio pneumatiniai maitinimo įrenginiai, savo veikla panašūs į melžimo aparatus. Be to, du didžiuliai kateteriai, kuriais pneumatiniai impulsai buvo perduodami į dirbtinę širdį, buvo išvesti pro krūtinės ląstą ir tai labai didino infekcijos riziką. Vėliau buvo pradėti naujos kartos elektra varomų dirbtinės širdies prototipų kūrimo darbai ir tyrimai (25.8 pav.). 1999 m. Vilniuje, Santariškių ligoninėje, pacientui pirmą kartą Lietuvoje prijungta dirbtinė širdis. 2007 m. gruodžio 6 d. eidamas 69-uosius metus mirė Peteris Houghtonas, septynerius metus gyvenęs su dirbtine širdimi. 2000 m. jam buvo persodinta naujo modelio dirbtinė širdis. Tai ilgiausias gyvenimo su dirbtine širdimi laikotarpis. 1996 m. 46 metų vyrui vienu metu buvo persodinta dirbtinė širdis ir inkstai (Taivanis). Vis dėlto dirbtinė širdis dažniausiai yra laikina priemonė laukiant širdies transplantacijos.

Dirbtinės implantuojamos širdies kūrimas yra sudėtingas mechanikos ir medžiagų kūrimo uždavinys. Naujesniuose dirbtinės širdies prototipuose nebėra pulsuojančio širdies mechanizmo, nes kraujo cirkuliacijai ciklinis režimas nereikalingas. Tolygaus kraujo srauto tekėjimo aparatai yra mažesni, lengvesni, kelia mažesnį infekcijos pavojų. Dirbtinėje širdyje gali būti naudojamas elektra varomas, be pulsacijų veikiantis išcentrinis arba ašinis kraujo siurblys. Dirbtinei širdžiai gaminti naudojami metalai, polimerinės, keraminės ar net gyvulinės kilmės medžiagos. Siurblys ir kitos metalinės detalės gaminamos



25.8 pav. Dirbtinė širdis (Graphic of the SynCardia temporary Total Artificial Heart beside a human heart.jpg.)

iš titano-aliuminio-vanadžio lydinio. Šis lydinys biologiškai dera su paciento organiniais audiniais ir turi tinkamas mechanines savybes. Lietų detalių, išskyrus kontaktuojančių su krauju, paviršiai nuglotninami mechaniniu būdu. Su krauju kontaktuojantys paviršiai padengiami specialia, tvirtai sukibusia su paviršiumi, titano mikrosferų danga. Naudojant šią dangą, kraujo ląstelės su metaliniais paviršiais liečiasi ne tiesiogiai, o per tam tikrą „pamušalą“. Su krauju kontaktuojanti siurblio diafragma gaminama iš specialaus tekstūrinio poliuretano, užtikrinančio geresnį kraujo kūnelių sukibimą su diafragma. Du vamzdiniai transplantantai, reikalingi širdies pritvirtinimui prie aortos, gaminami iš poliesterio, o širdies vožtuvams naudojami kiaulių vožtuvai. Variklis, kitos detalės gaminamos iš titano ar kitų metalų lydinių arba keramikos. Kuriant dirbtinę širdį reikia įveikti kelias labai svarbias problemas. Pasirinktos medžiagos turi biologiškai derėti, negali būti rūdijančios ar kitaip degraduojančios sąlytyje su krauju ir organiniais audiniais, ilgos eksploatacijos. Elektros variklis turi išskirti mažą šilumos kiekį. Dėl galimo dirbtinės širdies atmetimo viso įrenginio bendras tūris ir jo paviršiaus plotas turi būti kuo mažesni. Dirbtinė širdis sveria apie 1 200 g.

26 SKYRIUS

VIEŠŲJŲ PASLAUGŲ IR BUITIES TECHNOLOGIJŲ RAIDA

Visos viešosios paslaugos miestuose atsirado sąveikaujant daugeliui skirtingų, per daugelį metų sukurtų technologijų. Paslaugas galima suskirstyti į tris pagrindines grupes:

– vandens tiekimo (vandens šaltinių, vandens apdorojimo, vandens paskirstymo, drenažo ir nuotekų šalinimo),

– energijos tiekimo (dujų, elektros, hidraulikos ir pneumatikos priemonės),

– atliekų surinkimo ir rūšiavimo.

VANDENS TIEKIMAS

Vandens tiekimas yra viena svarbiausių viešųjų paslaugų. Joks miestas ilgą laiką negali išgyventi be geriamojo vandens. Siekiant užtikrinti gyventojų nuolatinį vandens poreikį, reikėjo nemažai fizinių jėgų, tam tikrų technologinių įgūdžių ir medžiagų. Egipto ir Mesopotamijos civilizacijos, graikų miestai-valstybės, Romos provincijos buvo sukūrusios sudėtingas drėkinimo sistemas, kurios tiekdavo vandenį laukams ir miestams. Dešimtimis kilometrų nusidriekę akvedukai aprūpindavo piliečius kokybišku vandeniu. Išlikę iki šių laikų jie yra puikus senovės projektuotojų ir statytojų profesinės kvalifikacijos įrodymas. Pagrindiniais vandens šaltiniais buvo upės, ežerai, šaltiniai ir arteziniai šuliniai. Kad vanduo tekėtų, reikėjo siurblių, vandens pakėlimo į didesnį aukštį įrenginių. Vandens tiekimo, upės kontrolės ir drėkinimo darbai istoriškai labai seni. Vienas seniausių inžinerinių statinių pasaulyje yra III tūkstantmetyje pr. m. e. 32 km į pietus nuo Kairo pastatyta Sadd el-Kafaros užtvanka. Dauguma senovės užtvankų buvo vienalytės žemių užtvankos. Arkinės užtvankos pasirodė ypač tinkamos statant dideles užtvankas kalnuotose vietovėse ir statybai

naudojant betoną. Užtvankų statybos metodai ypač ištobulėjo XIX a. II pusėje. Tose vietovėse, kur paviršinio vandens buvo mažai arba jis sunkiai pasiekiamas, buvo naudojami požeminiai vandens šaltiniai. Kai kuriuose sausringuose regionuose tokia vandens gavyba yra gyvybiškai svarbi, be to, ji turi būti nenutrūkstama. Paprastiems ar arteziniams šuliniams buvo reikalingi didelės galios ir našumo siurbliai, o jų sukimui buvo sukurtos galingos garo mašinos.

Vandens kokybė priklauso nuo jame ištirpusių, suspenduotų ir pakibusių medžiagų, bakterijų ir kitų priemaišų, todėl net ir iš požeminių gręžinių išgautas vanduo prieš vartojimą yra valomas. Vandens valymui pasitelkiamas švitinimas ultravioletine spinduliuote, filtravimas, vandens minkštinimas, atvirkštinis osmosas, ultrafiltravimas, dejonizacija ir kt. Vandens gerinimo proceso metu iš vandens gali būti šalinamos kietosios dalelės (smėlis, suspenduotos kietosios organinės dalelės, dumblas), organizmai (pirmuonys, bakterijos, dumbliai, virusai, grybeliai), mineralinės druskos (kalcio, silicio, magnio ir kt.), nuodingųjų metalų jonai ar junginiai (švino, vario, chromo ir kt.).

Daugelyje valstybių geriamojo vandens kokybė gerinama plačiai naudojamais buitiniais filtrais. Mechaninio valymo filtrai iš vandens pašalina smėlį, molį, rūdis ir kitas nuosėdas, nugeležinimo filtrai – dvivalentės geležies junginius, nitritų šalinimo filtrai – nitratus, nitritų junginius, aktyvuotosios anglies filtrai – chlorą, pesticidus, kitas organines medžiagas, pašalina nemalonius kvapus. Baigiamasis geriamojo vandens ruošimo etapas visada yra vandens dezinfekavimas. Vanduo laikomas tinkamas vartojimui, kai nerandama žarninių lazdelių *Escherichia coli* ir žarninių enterokokų.

Vandens paskirstymas vartotojams labai priklauso nuo inžinerinių priemonių. Jeigu vandens šaltiniai ar rezervuarai yra toli nuo vartotojų (100–150 km), statomos pralaidos ir akvedukai, įrengiami sifonai, tuneliai ir mechaniniai vandens siurbliai (26.1 pav.). Daugeliu atvejų vandens lygio rezervuaruose nepakakdavo tiesioginiam vandens tiekimui į vartotojų čiaupus, todėl buvo statomi vandens bokštai. Jau XIX a. vandens kėlimui į bokštus buvo naudojamos galingos garo mašinos. Didelio slėgio vandens tiekimui, jo perdavimui po žeme reikėjo stiprių ir ilgų vamzdynų.



26.1 pav. Vilniuje 1930 m. pastatytas 800 m ilgio vandens akvedukas (A. V. Valiulio nuotr.)

Ilgą laiką vandens vamzdžiai buvo gaminami iš 6–9 m ilgio pragręžtų medienos (guobos, pušies, eglės, ąžuolo, maumedžio) rastų. Romos imperijoje buvo naudojami sveikatai kenksmingi švininiai vamzdžiai. Vilniaus vandentiekio sistemą XVI a. sudarė įvairios paskirties ir skersmens vamzdžiai. Magistralinių vamzdžių skersmuo buvo daug didesnis negu atšakinių. Vamzdžiai buvo jungiami metalinėmis movomis, surišami metaliniais apkaustais, plyšiai užpilami lajumi, užkamšomi kanapėmis ar pakulomis. Vėliau šiuos vamzdžius pakeitė lieti ketaus vamzdžiai, kurie turėjo flanšus ir buvo sujungti varžtais. Požeminės vandens perdavimo magistralės buvo daromos iš kaliosios geležies vamzdžių. Tokie vamzdžiai puikiai tiko akvedukams, kai vandenį iš rezervuaro reikėdavo perduoti per slėnius ar kitas kliūtis. Vėliau kaliąją geležį pakeitė stipresnis mažaanglis plienas. Dabartiniu metu dažnai naudojami cinkuoto plieno vamzdžiai, neteršiantys vandens korozijos produktais. Kartais vandens tiekimo sistemose naudojami betoniniai vamzdynai. Kai kuriuose pasaulio regionuose (Kuveitas, Jungtiniai Arabų Emyratai) labai trūksta gėlo vandens, todėl jūros vandens gėlinimas yra vienintelis būdas patenkinti gėlo vandens poreikį.

Drenažas. Jau senovėje gyvenvietėse būta drenažo sistemos, kuri pašalindavo paviršinį vandenį (pvz., lietaus) ir susidarančias buitines nuotekas. Miestuose daugėjant pastatų, grįstų gatvių ir kiemų, paviršiniam

vandeniui sunkiau prasiskverbti į podirvį, todėl būtina įrengti dirbtines kanalizacijas. Lietaus nuotekų kanalizavimas apsaugo gyvenvietes nuo rimtų potvynių.

Nuotekų šalinimas. Vandens tiekimo sistemų atsiradimas ir plitimas buvo esminis veiksnys, privertęs ieškoti organinių atliekų šalinimo būdų. Miestuose ir gyvenvietėse įrengus gėlo vandens tiekimo sistemas, susidarydavo didelis kiekis užterštų skystų atliekų. Dauguma ankstyvųjų kanalizacijos sistemų nuotekas išleisdavo tiesiai į upes, tačiau greitai buvo pastebėta, kad užterštos atliekos pasiekdavo pasroviui esančias gyvenvietes ir pakenkdavo jų naudojamo vandens kokybei. Pamažu formavosi nuotekose esančių teršalų šalinimo procesas. Dabar jį sudaro fiziniai, cheminiai ir biologiniai procesai, kurių metu iš nuotekų šalinami mechaniniai, organiniai bei biogeniniai teršalai. Yra kelios nuotekų valymo pakopos: parengtinis, pirminis, antrinis ir tretinis nuotekų valymas bei nuotekų valymo metu susidariusio dumblo apdorojimas. Parengtinio valymo paskirtis – pašalinti iš nuotekų stambesnes medžiagas ir plūdrenas (smėlį, riebalus ir tepalus). Pirminio nusodinimo tikslas – išskirti iš nuotekų nusėdančias priemaišas (nuosėdas). Antrinio (biologinio) valymo metu reaktoriuje esantys mikroorganizmai suskaido ir suvartoja nuotekose esančius teršalus (organines medžiagas, azotą, fosforą), taip išvalydami nuotekas ir pašalindami nemalonius kvapus. Tretinio (mechaninio) valymo įrenginiuose nuotekos filtruojamos pro grunto sluoksnį. Nuotekų valymas padėjo įveikti choleros ir kitų epideminių ligų plitimą miestuose. Modernios kanalizacijos sistemos statomos iš betono, polimerinių vamzdynų.

DUJŲ IR ELEKTROS TIEKIMAS

Dujos. Iki XVIII a. svarbiausiu dujų šaltiniu buvo anglies dujos, kurios kaip šalutinis produktas susidarydavo anglies kaitinimo metu. Tik XVIII a. pabaigoje sugalvota, kaip panaudoti šiame procese susidarančias dujas. Anglies pirolizės (pirolizė – tai organinių medžiagų skaidymas kaitinimu be oro) dujas pradėta naudoti apšvietimui ir šildymui. Pirmoji įranga veikė prastai – dujoms degant susidarydavo dūmų, buvo juntamas nemalonus kvapas. Vis dėlto iki 1815 m. pabaigos dujų tiekimui buvo įrengta apie

40 km ilgio dujotiekių. Dujų aušinimui buvo naudojamos ketaus retortos, dujų valymui – kalkės. Kai kuriose įmonėse anglies pirolizės dujas pakeitė naftos distiliavimo dujos. Bandyta panaudoti ir banginių riebalus, tačiau tokių dujų gamyba buvo labai brangi, todėl nutraukta. Dažniausiai dujos buvo naudojamos gatvėms ir viešosioms vietoms apšviesti. Apie 1840 m. buvo sukurtas orinis dujų degiklis. Bunzeno (1855 m.) ir žiedinis dujų degikliai (1867 m.) buvo montuojami į šildymo katilus ir krosnis, tačiau dujinės viryklės atsirado tik po 1870 metų. Anglies distiliavimas retortose nesikeitė iki 1960 m., nors tradicines horizontalias retortas palaipsniui pakeitė masinei gamybai tinkamesnės vertikaliosios retortos. Nuo XX a. II pusės anglies pirolizės dujas pakeitė gamtinės dujos iš dujų ar naftos telkinių.

1863 m. buvo parengtas Vilniaus miesto svarbiausių gatvių apšvietimo planas ir 1864 m. įsižiebė pirmieji žibintai. Prie 14 km ilgio dujinio apšvietimo tinklo prijungti 307 žibintai apšvietė 32 gatves, skersgatvius ir aikštes.

Elektra. Nors XIX a. mokslinės žinios apie elektros energiją sparčiai plėtėsi, buvo sukurti cheminiai ir mechaniniai nuolatinės elektros srovės gamybos įtaisai, tačiau elektros energijos tiekimo priemonių plėtra buvo labai lėta. Protrūkį sukėlė apšvietimo elektros lempų, elektrinių transporto priemonių (tramvajų, metro traukinių) kūrimas ir diegimas. 1881 m. D. Britanijoje įsižiebė pirmoji elektros lemputė, Berlyne paleidžiama pirmoji visuomeninė elektrinio tramvajaus linija. Diegiant elektrinį transportą, teko kurti jam tinkamus elektros variklius, statyti elektros energijos gamybos jėgaines, įrengti elektros perdavimo sistemą ir tinklus. Elektrinio transporto važiuoklė labai skyrėsi nuo automobilių važiuoklės, todėl jos kūrimas, pritaikymas bėginio transporto sistemai ir diegimas taip pat užėmė nemažai laiko. Iš pradžių elektros srovę tiekė nuolatinės srovės elektrinės, tačiau netrukus pasiūlyta transportui panaudoti kintamąją elektros srovę. Kintamoji elektros srovė yra gerokai pranašesnė už nuolatinę srovę, nes esant aukštai įtampai ją galima perduoti dideliais nuotoliais. Palaipsniui elektrinės buvo jungiamos tarp savęs, o vėliau – į nacionalinius tinklus, kuriuose didesnės galios jėgainės gamino daugiau ir pigesnę elektros energiją. Nuo 1950 m. į tokius tinklus jungėsi ir branduolinės jėgainės.

ATLIEKŲ ŠALINIMAS

Šiuolaikinė pramonė, žemės ūkis ir buitis sukuria daugybę atliekų, todėl svarbia viešąja paslauga yra jų šalinimas. Organinių atliekų šalinimas naudojant vandenį yra glaudžiai susijęs su gėlo vandens tiekimu. Šiuolaikinėje visuomenėje pramoninės ir buitinės atliekos reguliariai renkamos ir apdorojamos įvairiais būdais. Iš atliekų atskiriami metalai, stiklas ir kitos pakartotiniam naudojimui tinkamos medžiagos. Daugelyje šalių pastatytos atliekų (šiukšlių) deginimo jėgainės, kuriose šiukšlės naudojamos kaip kuras, o gaunama šiluma naudojama vandens šildymui ar elektros energijos gamybai. Atliekų deginimo metu išsiskiria pavojingos dujinės medžiagos, kurias būtina atskirti ir neutralizuoti. Kai kurios šiuolaikinės pramonės atliekos gali kelti didelį pavojų sveikatai (pvz., branduolinės energijos gamybos, chemijos įmonių). Paprastai teisiniais aktais ribojamas ar visiškai draudžiamas pavojingų atliekų šalinimas į orą ar vandens telkinius. Tokių objektų stebėsena yra svarbi viešoji paslauga, o šiuolaikinė technologinė įranga (radioaktyviųjų medžiagų stebėsena, darbuotojų apsauga nuo pavojingų medžiagų) yra gyvybiškai svarbi šios paslaugos dalis.

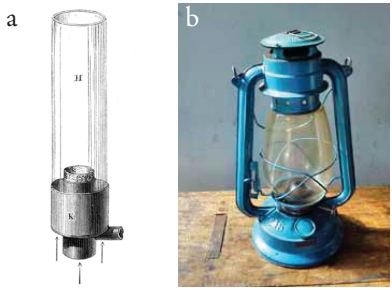
ŠILDYMAS IR APŠVIETIMAS

Senovėje žmonės namuose, daugiausia virtuvėje, bandė išlaikyti nuolat degančią ugnį. Naktį ji būdavo prislopinama – smilkstančią liepsną padengdavo pelenų sluoksnis. Rytą pašalinus pelenus dumplėmis vėl atgaivinama liepsna. Iki XVIII a. pabaigos buvo naudojami du pagrindiniai ugnies įžiebimo būdai: trinant medžio gabalus ir įskeliant ugnį skeltuvu. Pirmuoju atveju reikalinga lazdelė ir lenta su nedidele įduba. Į įdubą įstatyta lazdelė tol sukama tarp delnų, kol lentos ir lazdelės sąlyčio paviršius įkaista. Ant įkaitintos zonos patekusios degios sausos medžiagos pradeda rusenti, o lengvai pučiant pasirodo liepsna. Skeltuvu tarp titnago ir plieno išskeliamos geležies dalelės, kurios nuo smūgio įkaista ir kibirkščiuoja. Po šiomis kibirkštimis pakišama lengvai užsiliepsnojanti medžiaga (pvz., pintis, samanos, vata ir kt.). Ugnies įžiebimo būdas pasitelkiant titnagą ir plieną (arba titnagą ir piritą) buvo naudojamas ne vieną šimtą metų. 1850 m. pasirodę degtukai pamažu

išstūmė skeltuvus. Sieroje išmirkyti pušies pagaliukai senovės Kinijoje buvo naudojami gal net VI amžiuje. Panašūs degtukai su siera viduramžiais pasirodė ir Europoje. XIX a. pradžioje degtukų galvutėms buvo naudojamas kalio chloratas ir cukrus, kuriuos padegdavo su lašeliu sieros rūgšties. 1826 m. buvo išrastas pirmasis „modernus“ degtukas. 1833 m. tokius degtukus pramoniniu būdu pradėta gaminti Vokietijoje. Tačiau šie degtukai labai lengvai užsiliepsnodavo. 1836 m. užpatentuotas tyliai užsidegantis ir nesprogus degtukas. Degtukų gamybos pradžia Lietuvoje – XIX a. vidurys. Seniausi šaltiniuose minimi fabrikai – nuo 1874 m. Klaipėdoje veikęs degtukų fabrikas ir nuo 1876 m. pradėjęs veikti degtukų fabrikas Ukmergėje; 1884 m. Lietuvoje buvo 5 degtukų fabrikai.

Apšvietimas. Iki 1830 m. vieninteliai dirbtinės šviesos šaltiniai buvo balanų, žvakių ir alyvos lempos. *Balana* – plona sausos pušies (retais atvejais – beržo) skala (apie 100 cm ilgio ir 3 cm pločio), naudota gyvenamosioms patalpoms apšviesti. Apatinis balanos galas įspraudžiamas specialiame laikiklyje, o viršutinis padegamas. Nedidelė balanos liepsnelė, lėtai slenkanti žemyn, kažkiek apšviesdavo aplinką.

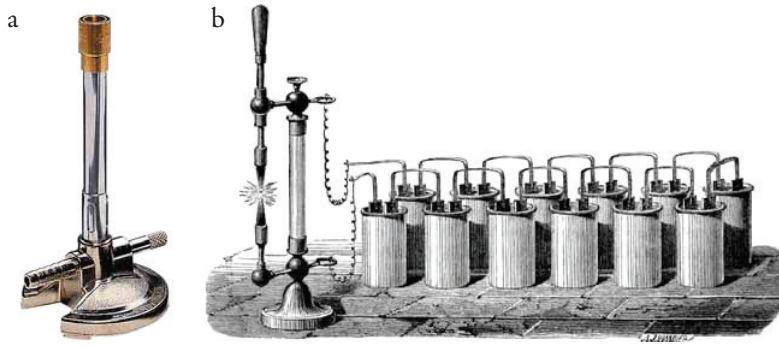
Žvakės buvo rankų darbo, gaminamos iš liejamų į formas taukų. XVIII a. pabaigoje žvakėms gaminti buvo naudojami banginio taukai, o XIX a. pradžioje pradėtas naudoti parafinas ir stearinas. *Apšvietimo lempoms* buvo naudojamos įvairios kuro rūšys: alyvuogių aliejus, gyvuliniai ar augaliniai aliejai, rapsų aliejus, banginių riebalai, parafinas ir kt. 1784 m. buvo pagaminta stiklinė vamzdinė lempa (26.2 pav.). Lempoje susidaręs oro srautas pagerino degimą ir lempos šviesumą padidino iki dešimties kartų. XX a.



26.2 pav. Argando stiklinė vamzdinė lempa (a – Verre du bec d'Argand.jpg.) ir šiuolaikinė žibalinė lempa (b – Kerosine lamp.jpg.)

pradėtos naudoti parafino lempos šviesė dar ryškiau, nes degalai išgaruodavo prieš pasiekdami liepsną, taigi daugiau energijos virsdavo šviesa, o ne šiluma.

1816 m. Londono gatves ir viešuosius pastatus pradėta apšviesti dujų žibintais. Išmokus apvalyti dujų liepsną labai pagerėjo dujinis apšvietimas. Dujų liepsna skleidė daugiau šviesos, neliko kvapo, sumažėjo degimo nešvarumų. 1855 m. išrastame Bunzeno degiklyje oras sumaišomas su dujomis dar prieš mišinio degimą. Taip paruoštas dujų mišinys dega karštesne liepsna (26.3, a pav.). Nuo 1871 m. gatvių, gamyklų, geležinkelio stočių apšvietimui naudojamos elektrolankinės lempos. Vis dėlto šios lempos netiko buitinėms patalpoms apšviesti – jų šviesa buvo brangi, o stiprumą buvo sunku reguliuoti. (26.3, b pav.). Elektros apšvietimas namuose atsirado pasirodžius kaitinamojo siūlelio lempoms. Apie 1840 m. buvo užpatentuota kaitinamoji elektros lemputė. Anglų išradėjas Thomas Swanas (1878 m.) ir amerikiečių išradėjas Thomas Edisonas (1879 m.) sukūrė anglinį kaitinamąjį siūlelį turinčią lempą. Tokios lempos rinkoje dominavo iki maždaug 1910 metų. Volframu anglis buvo pakeista 1907 metais. Laikui bėgant buvo sukurti geresni lempų kaitinamieji siūleliai: osmio (1902), tantalo ir volframo (1906). Volframinis siūlelis lydosi 3 410 °C temperatūroje, yra labai patvarus, tačiau aukštoje temperatūroje garavimo produktai padengia stiklinės kolbos vidų ir mažina šviesos intensyvumą. 1913 m. buvo sukurta argonu užpildyta kaitinamoji lempa, kurios siūlelis buvo susuktas į spiralę. Dabartinės elektros lemputės spinduliuoja apie keturis kartus intensyvesnę šviesą negu anglies siūlelio lempos, naudojančios apšvietimui tokį patį elektros energijos kiekį. 1911 m. sukurta neoninė lempa. Dujomis (argonu) pripildytos lempos pasirodė 1913 m., dienos šviesos lempos – 1938 metais. Atsiradus dujinio išlydžio lempoms, kaitinamąsias lemputes pakeitė neoninės ir gyvsidabrio bei natrio garų išlydžio lempos, kurios dažniausiai naudojamos gyvenviečių gatvėms apšviesti. Dujiniuose išlydžio šaltiniuose optinę spinduliuotę sukelia elektros išlydis (tekant srovei) inertinėse dujose, metalų garuose arba jų mišiniuose. Liuminescencinės lempos stiklinis vamzdelis pripildomas argono ir šiek tiek gyvsidabrio, į galus įlydomi elektrodai, vamzdelis padengiamas liuminoforu. Šviečia įšilę ir išgaravę gyvsidabrio garai, fosforas konvertuoja šviesą. Natrio lempoje šviesą skleidžia natrio garai.



26.3 pav. Bunzeno degiklis, 1855 m. (a – Bunsen burner.jpg.) ir H. Davy lankinė lempa, 1865 m. (b – Arc light and battery.jpg.)

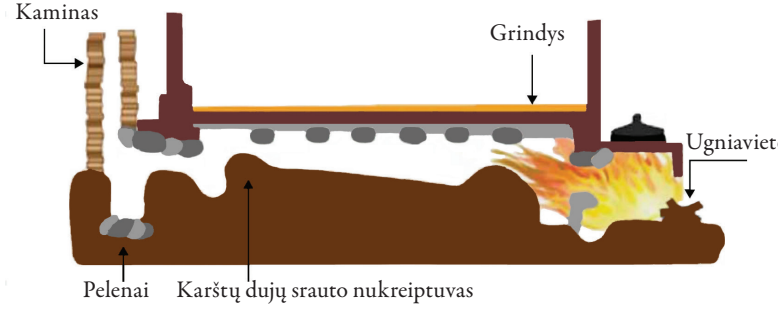
Fluorescencinės lempos pasirodė 1930 metais. Tai dujinės iškrovos principu veikianti elektros lemputė, naudojanti elektros srovę gyvsidabrio garams argono arba neono aplinkoje sužadinti. Susidaranti plazma skleidžia ultravioletinę šviesą. Ultravioletiniai spinduliai sužadina liuminoforo (švytalo), kuriuo padengtas vidinis lemputės paviršius, liuminescenciją ir liuminoforas švyti matoma šviesa. Tokių lempučių šviesos spalva gali keistis naudojant skirtingų tipų liuminoforus. Šios lemputės sunaudoja vidutiniškai 3–4 kartus mažiau elektros energijos nei tiek pat matomos šviesos sukuriančios kaitinamosios lemputės. Be to, liuminescencinės lemputės tarnauja ilgiau.

1907 m. britų inžinierius Henry'is Josephas Roundas atrado, kaip iš diodo išgauti elektroliuminescenciją. Gamybos kaštams mažėjant šviesos diodai netrukus išstums šiuo metu paplitusias energiją taupančias kompaktines fluorescencines lemputes (CFL). 1962 m. sukurtas pirmasis praktiškai pritaikomas matomo spektro šviesos diodas (LED). 2020 m. LED lempos užėmė apytikriai 20 % rinkos, tačiau prognozuojama, kad greitai šis skaičius sieks 70 %. Apšvietimui pradėjus naudoti organinius šviesos diodus (OLED technologija), sukurti ištisi šviesos lakštai, todėl ateityje šviesos šaltiniais gali tapti sienos ar lubos. Svarbios ir lazerių technologijos. Lazerinį diodą galima „pripildyti" apytikriai 2 000 kartų daugiau elektros energijos nei į tradicinį šviesos diodą, todėl galima manyti, kad lazeriniai diodai pajėgūs skleisti

2 tūkst. kartų stipresnę šviesą. Daugelyje išsivysčiusių valstybių apšviečiamos ne tik gatvės ar aikštės, bet ir intensyvaus eismo magistralės, kurios tęsiasi dešimtis ar net šimtus kilometrų. Automobilio lazeriniai žibintai apšviečia net 600 m nuotolį.

Šildymas. Jau senovės romėnai naudojo patalpų centrinio šildymo būdą – hipokaustinį šildymą (26.4 pav.). Tokios sistemos buvo naudojamos visų tipų pastatuose, įskaitant ir gyvenamuosius namus. Hipokaustinis šildymas – tai toks šildymo būdas, kai rūsyje kūrenama viena krosnis, iš kurios išvesti kanalai į kitas patalpas. Karštas oras iš krosnies per sienų dūmtraukius vienu metu šildo kelias patalpas.

Sužlugus Romos imperijai, jos centralizuotas hipokaustinis šildymas buvo užmirštas iki pat šiuolaikinės centrinio šildymo sistemos atsiradimo. Iki XVII a. pradžios buitinės patalpos buvo šildomos atviruose židiniuose deginant malkas, durpes, medžio anglis. Židiniai buvo mūrijami iš plytų ar akmenų. Pamažu malkas buityje išstūmė akmens anglis. Židiniuose buvo deginamas bedūmis ar mažai dūmų išskiriantis kuras, šiluma konvekcijos būdu šildė kelias patalpas, židinyje buvo įrengtas vandens šildytuvas. Apie 1860 m. atsiradusios parafinu kūrenamos viryklės daugiausia buvo naudojamos kaimo vietovėse, kurias dujos ir elektra pasiekė gerokai vėliau negu miestus. XVIII–XIX a. gamyklos ir kiti dideli pastatai buvo šildomi įvairiais garinio centrinio šildymo būdais. Elektros energijos panaudojimas šildymui



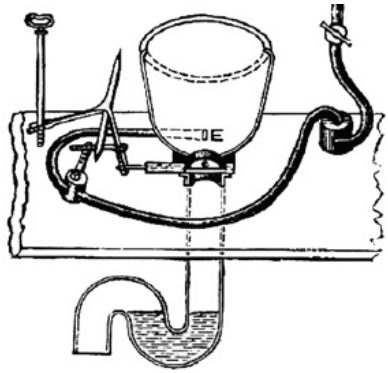
26.4 pav. Hipokaustinis šildymas (shiptons.ca/shiptons-blog/a-brief-history-of-home-heating/21)

labai atsiliko nuo jos panaudojimo apšvietimui. Pirmieji elektriniai šildytuvai pasirodė apie 1894 metus. Šildytuvą sudarė šilumą spinduliuojanti lieto ketaus plokštė, kurios emaliuotame paviršiuje buvo įterpti didelės elektrinės varžos laidai. Apie 1930 m. sugalvota, kaip šildymui panaudoti ne piko metu tiekiamą pigesnę elektros energiją. Masyvūs plytų ar betono šildymo įrenginiai galėjo kaupti šilumą ir ją naudoti šildymui, kai elektra buvo brangi ar jos nepakako.

SKALBIMAS, PRAUSIMASIS IR TUALETAS

Skalbimas ir prausimasis. Didžiausia priešistorinių žmonių higienos mokytoja buvo evoliucija. Primityvi sanitarija pradėjo skirti žmones nuo gyvulių. Tuometiniai žmonės nujautė, kas yra gerai, o kas yra blogai ir pavojinga. Jie taip pat suprato, kokią įtaką turėjo vanduo jų išvaizdai, savijautai ir aplinkai. Bronzos amžiuje Indijoje jau veikė kanalizacijos sistema. Pomėgis nuolat praustis tikriausiai atsirado karštuose Žemės taškuose. Muilo prototipas atsirado jau apie 2800 metų prieš mūsų erą (pagamintas iš gyvulinių riebalų, sumaišytų su pelenais). Vis dėlto tikraisiais dabartinės higienos pradininkais laikomi antikos graikai. Jiems higiena buvo atskira filosofijos šaka. Graikai racionaliai žvelgė į žmogaus kūną, jo harmoniją su aplinka ir jos įtaką kvėpavimui, maistui, miegui, darbui ar mankštai. Viešosios pirtys suklestėjo senovės Romoje. Apsilankymas jose buvo neatsiejama kiekvieno romėno kasdienės rutinos dalis. Ilgainiui švara tapo ir miestietiškos romėnų kultūros dalimi – gerai prižiūrėtas ir švarus kūnas buvo civilizacijos simbolis. Graikų sukurta, o romėnų ištobulinta gyvenimo koncepcija lėmė, kad Roma ir jos piliečiai daug investavo į švaros socialinę infrastruktūrą – pirčių ir vonių, akvedukų ir fontanų statybą. Romėnų bendruomenės buvo aprūpintos viešaisiais (arba privačiais didesniuose namuose) tualetais, gerai įrengta vandens tiekimo sistema, skalbimo priemonėmis.

Po Vakarų Romos imperijos žlugimo viduramžių vienuolynuose šaltas vanduo buvo tiekiamas į baseinus ir naudojamas kasdieniam skalbimui, o pašildytas vanduo naudotas retesniam maudymuisi. Nuo XVI a. iki XIX a. vidurio asmeninė švara buvo labai prasta, nes namų ūkiams trūko reikalingų priemonių ar pačios infrastruktūros. Žmonės prausėsi tiesiog virtuvėse ar



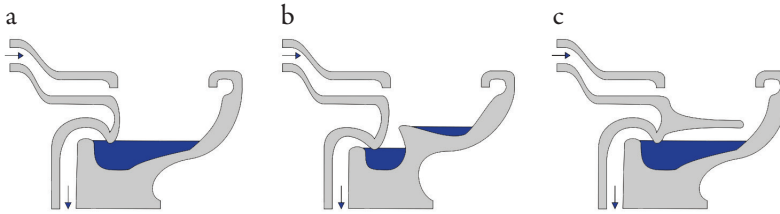
26.5 pav. 1775 m. patentuotas klozetas su vandens uždoriu (Cummings S-bend.jpg.)

miegamuosiuose. Iki XVIII a. vidurio vandens tiekimas nebuvo nuolatinis. Vandens vonios buvo šildomos medžio anglimi arba dujomis, todėl paslauga buvo brangi. Pašildyto vandens vonios tapo populiarios, kai į jas pradėtas tiekti šaltas vanduo, kurio tekėjimą buvo galima reguliuoti čiaupu. Nuo 1880 m. naujų namų vonios kambariuose buvo įrengiami vonia, dažnai dušo kabina, bidė ir praustuvė. Po 1900 m. pasirodžiusios porceliano ar emalės danga dengtos vonios išstūmė dažytas ketaus vonias. Iki XIX a. pabaigos vanduo prausimuisi buvo šildomas virtuvėse ir į prausimosi patalpas nešiojamas ąsočiais. Elektriniai vandens šildytuvai rinkoje pasirodė tik nuo 1920 metų.

Lietuvoje (Lentvaryje) iki XX a. pabaigos buvo gaminamos emale dengtos ketaus vonios. Dabartiniu metu vonios ar dušo padėklai gaminami iš polimerinių medžiagų.

Santechnika ir tualetai. Romėnai turėjo gerą kanalizacijos sistemą ir viešuosius tualetus. Privačių tualetų nebuvo, bet miestuose buvo gausu šių viešųjų įstaigų (315 m. e. metais Romoje jų buvo net 144) ir net labai didelių. Vietoje tualetinio popieriaus naudojo kempinę su trumpa medine rankena. Saksai, skirtingai nei romėnai, šiam reikalui skyrė nedaug dėmesio. Jie naudojosi naktipuodžiais arba giliomis pamazgų duobėmis. Viduramžiais gatvių kanalizacijos sistemos buvo atviros, taigi ištuštinti naktipuodžius buvo labai paprasta – turinys į griovį buvo išpilamas pro langą. Vis dėlto jau viduramžiais miestuose buvo įrengti viešieji tualetai. Turtingieji turėjo mažus atskirus tualeto kambarėlius atokiau nuo išorinės namo sienos. Juose buvo lentelė su skyle atsisėsti, o turinys krisdavo tiesiog žemyn. 1596 m. britas Johnas Harringtonas sukūrė pirmą tualetą su vandens nuleidimo prietaisu. Po jo mirties tualetas buvo sunaikintas ir tik beveik po 200 metų jis vėl iš naujo išrastas. Dažniausiai miestelėnai turėjo pamazgų duobes už namų, sodeliuose,

ten ir ištuštindavo savo naktipuodžius. Škotas Alexanderis Cummingsas 1775 m. sugalvojo pirmą modernų išpuodį su nuleidžiamu vandeniu (26.5 pav.). XIX a. D. Britanijos miestuose sparčiai padaugėjo žmonių, tačiau tualetų skaičius nesikeitė. Kartais vienu tualetu naudojosi daugiau kaip 100 žmonių. Kanalizacijos valymo įrenginių tais laikais nebuvo, tad visas turinys patekdavo į upes. Londone srutos tekėdavo tiesiai į Temzę. Sunku patikėti, bet gyventojai gėrė tą patį nevalytą vandenį iš upės. 1865 m. užbaigta kanalizacijos sistema, atliekos nebebuvo nutekinamos tiesiai į upę. Sumažėjo epidemijų ir žmonių mirtingumas. Pertvarkyti ir viešieji tualetai. Jie buvo mokami. Manoma, kad didžiausios permainos įvyko maždaug 1820 m., kai D. Britanijoje buvo sukurtas išpuodis su aukštai sumontuotu vandens rezervuaru. Patraukus virvutę vožtuvas atsidarydavo ir vandens srovė nuplaudavo visus nešvarumus. 1870 m. sukurtas naujo dizaino išpuodis. Jame vandens rezervuaras įrengtas už išpuodžio, o stiprią vandens srovę užtikrina vandens vamzdynuose esantis slėgis (26.6 pav.). Asmens higienos pažangai labai svarbus buvo tualetinio popieriaus išradimas. Pirmą supakuotą fabrikinės gamybos tualetinį popierių 1857 m. išleido amerikietis Josephas C. Gayetty'as iš Niujorko. Tualetinis popierius dažniausiai gaminamas iš medienos. Tik maža dalis prasčiausio popieriaus pagaminama iš antrinių žaliavų – makulatūros. Pasaulyje per metus sunaudojama apie 30,6 mlrd. ritinėlių tualetinio popieriaus. Vienas Lietuvos gyventojas per metus vidutiniškai sunaudoja 30 ritinėlių. Lietuvoje tualetinį popierių gamina AB „Grigeo" Vilniuje, UAB „Eseira" Ramygaloje ir UAB „Dzūkijos popierius" Alytuje.



26.6 pav. Išpuodžių tipai: a – tiesioginio nuplovimo, b – išplovimo, c – nuplaunamos lentynos (Cummings S-bend.jpg.)

VALYMAS

Iki XX a. atsiradusių valymo technologijų namų valymas buvo labai sunkus darbas. Visą šiems darbams reikalingą įrangą sudarė šepečiai ar šluotos, pagaminti iš šakelių, gyvulių plaukų, vilnos, medvilnės ar lino, minkšto audinio arba plunksnų. Iki XIX a. vidurio beveik visa valymo įranga ir valymo medžiagos buvo namų darbo. Net muilas buvo gaminamas namuose. Jis atrodė labai nepatraukliai ir turėjo nemalonų kvapą.



26.7 pav. Kilimų valymo įrenginys (Carpet sweeper. png.)

Mechaniniai valymo prietaisai. Pirmoji grindų valymo mašina buvo patentuota XIX a. pradžioje. Ją sudarė du skriemulio sukami ritininiai šepečiai. Pirmas veiksmingas kilimų valymo įrenginys buvo patentuotas 1876 m. (26.7 pav.). Keturi šepečio ratai guminiu protektoriumi lietė šepečio ritinį ir dėl susidarančios trinties šis sukosi. Trinčiai su valomu kilimu sumažinti šepetėliai ant ritinėlio buvo išdėstyti spirale, todėl valant vienu metu su kilimo paviršiumi lietėsi nedaug šerių.

Vakuuminiai dulkių siurbliai. Pirmuoju dulkių siurbliu greičiausiai galima laikyti 1868 m. Iveso McGaffey Čikagoje sukonstruotą „Whirlwind“. Britas Hubertas Boothas 1901 m. sukonstravo vidaus degimo varikliu varomą, dulkes sutraukiantį ir joms nusėsti neleidžiantį įrenginį. Jo sukonstruotas arkliu pervežamas siurblys dulkes siurbė pro ilgą vamzdį. Šie įrenginiai nebuvo populiarūs. 1901 m. buvo patentuotas vakuuminis siurblys vagonams valyti – suspausto oro srautu šiukšlės buvo išpučiamos iš vieno vagono galo į kitą. Greitai suvokta, kad valant geriau siurbti orą, negu jį pūsti. Tuometinis siurblys buvo stumdomas vagonėlis su ilgomis žarnomis. Pirmą patalpų valymui tinkamą kilnojamąjį dulkių siurblį 1905 m. sukūrė Walteris Griffithsas (D. Britanija), o pirmą nešiojamą elektrinį dulkių siurblį 1906 m. – amerikietis Jamesas Murray Spangleris. 1906 m. Iveso McGaffey sukurtame vakuuminiame siurblyje nešvarumai buvo atskiriami vandeniu. Ilgą laiką dulkių valymo įrenginiai buvo prabangos prekė, tačiau po Antrojo pasaulinio karo jie atpigo ir labai išplito JAV ir kitose pramoninėse valstybėse.

Beveik visiems ankstyviems buitiniams siurbliams reikėjo žmogaus fizinės jėgos – rankomis ar kojomis sukti siurbiantį ventiliatorių ir stumdyti siurblį po patalpą (26.8 pav.).



26.8 pav. Rankinis vakuuminis siurblys (VacuumCleanerIXLMuseum.jpg.)

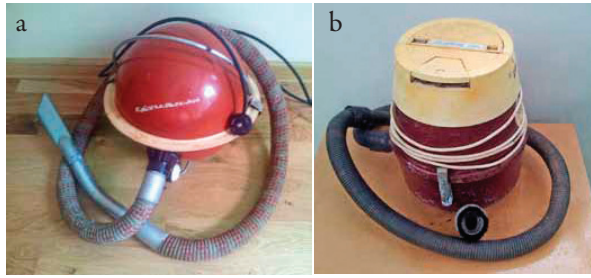
Buityje ir pramonėje naudojami įvairaus dydžio, modelio ir paskirties modernūs dulkių siurbliai – rankiniai, maitinami baterijų, dideli stacionarūs pramoninės paskirties siurbliai ar savaeigiai pramoniniai siurbliai, galintys išsiurbti didelį kiekį išsiliejusių pavojingų teršalų ar valyti ir šalinti užterštą dirvožemį. 2004 m. rinkoje pasirodė siurblys, judantis ant oro pagalvės.



26.9 pav. Cikloninis dulkių siurblys (Dyson.cleaner.dc07.arp.jpg.)

Šiuolaikiniai vakuuminiai dulkių siurbliai turi orą ir šiukšles traukiantį kompresorių (26.9, 26.10 pav.). Į popierinį ar medžiaginį maišą surinkti nešvarumai perkošiami pro vandens filtrą ar atskiriami ciklonu. Dulkių siurblio filtras gali būti medžiaginis, popierinis, vandens, su išcentriniu separatoriumi. Dabartiniuose buitiniuose dulkių siurbliuose dar būna semtuvai, antgaliai plovimui ar vibracijos mechanizmai, nukratantys dulkes nuo minkštųjų baldų dalių. 1980 m. prekyboje pasirodė automatiniai dulkių siurbliai. Toks užprogramuotas dulkių siurblys gali nustatytu laiku pats įsijungti ir išsiurbti patalpą. Dar neseniai rinkoje vyraujančių buitinių siurblių variklių galia siekė 2 400 W. 2013 m. Europos Sąjunga, siekdama mažinti namų ūkio energijos sąnaudas, išleido direktyvą, ribojančią maksimalią leistiną galią iki 900 W.

Išmetamųjų dujų (oro) filtravimas. Paprastai siurblio filtras įdėtas taip, kad ventiliatoriaus sukuriamas oro srautas pereitų pro jį ir elektros variklį, kurį būtina aušinti (26.9 pav.). Oras filtruojamas keliais metodais. Naudojant maišelį (vienkartinio ar daugkartinio naudojimo), užterštas oras pereina



26.10 pav. Lietuvoje gaminti dulkių siurbliai:
a – vakuuminis siurblys „Saturnas“ (nuo 1963 m. gamino Vilniaus elektros suvirinimo įrenginių gamykla),
b – siurblys „Audra“ (gamintas nuo 1976 m.)

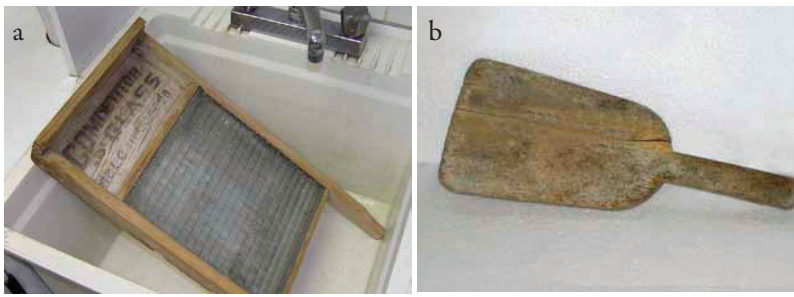
pro popierinio ar medžiaginio maišelio sieneles, kurios sulaiko teršalus. Bemaišeliuose siurbliuose maišelio funkciją atlieka siurblio konteineris ir daugkartinio naudojimo filtras. Cikloniniuose dulkių siurbliuose nėra specialaus maišelio dulkėms surinkti. Valymo procesas panašus į centrifugos veikimą: sunkesnės dalelės spaudžiamos prie ciklono sienelės, o lengvesnės (oras) lieka centrinėje ciklono dalyje. Į šiame siurblyje įmontuotą specialų konteinerį nukeliauja visas susiurbtas turinys. Vienas iš jo privalumų – nešvarumus galima išmesti į šiukšliadėžę, o talpą lengva išvalyti. Galingumu ir kitais parametrais šis siurblys beveik nenusileidžia kitų tipų siurbliams, tačiau jis nerekomenduojamas alergiškiems žmonėms, nes nedidelis dulkių kiekis gali grįžti į aplinką.

Dulkių siurbliuose su vandens filtrais dulkės tiesiog skandinamos vandenyje, nes įsiurbiamas oras pereina pro vandenį. Įlašinus kelis lašus kvapiųjų medžiagų į filtre esantį vandenį, ne tik išvalomos patalpos, bet ir paskleidžiamas malonus kvapas. Dulkių siurbliai su vandens filtrais labai tinka alergijų ar astmos kamuojamiems žmonėms.

Ligoninėse ar gamybinėse patalpose, kuriose reikalingas ypač švarus oras, naudojami labai švaraus oro siurbliai. Pro siurblį praėjęs oras dar kartą valomas antriniu filtru. Toks valymas pašalina smulkiausius vidinius patalpos teršalus. Kai kuriuose dulkių siurbliuose kvapui pašalinti montuojami anglies filtrai.

SKALBIMAS

Audinių (drabužių, patalynės) skalbimas nuo seniausių laikų buvo išties varginantis ir daug laiko atimantis darbas. Senovėje žmonės savo apdarus skalbė daužydami juos į pakrantės akmenis, trindami smėliu ir skalaudami vandenyje. Pirmasis būtinas skalbimo elementas – fizinis / mechaninis poveikis plaunamam drabužiui – buvo žinomas jau pirmykščiams žmonėms. Antras būtinas elementas – cheminis poveikis – buvo atrastas antikos laikais. Babilone ir senovės Romoje iš gyvūnų riebalų, pelenų ir smėlio buvo gaminamos skalbimo priemonės, vėliau atsirado iš šarmo gaminamas muilas. Romėnai skalbinius merkdavo į didžiulius metalinius katilus, pripiltus muilino karšto vandens. Vanduo būdavo šildomas atskirai ir į katilus atnešamas dideliais ąsočiais arba ugnis kūrendavosi tiesiog po katilu. Be abejo, didelio vandens kiekio šildymas, jo nešiojimas, skalbimo katilų ar kubilų užpildymas ir išpylimas buvo labai sunkus darbas. Muilą daugiausia gamino namuose, todėl jis buvo labai brangus. Skalbimo procesas tęsėsi dvi ar daugiau dienų. Tik 1797 m. pasaulyje pasirodė pirmoji banguota skalbimo lenta, kuri išliko nepakitusi iki mūsų dienų (26.11 pav.). Pirmasis skalbimo mašinos brėžinys pasirodė 1752 m. viename britų žurnale. Pirmasis patentas skalbyklei, galinčiai išplauti, išspausti vandenį, išlyginti skalbinius, buvo užregistruotas dar 1780 metais. 1782 m. Henry'is Sidgieras užpatentavo sukamo būgno skalbyklę. XIX amžiaus išradėjai dėjo daug pastangų, kurdami



26.11 pav. Banguota skalbimo lenta (a – Glass washboard.jpg.) ir medinė kultuvė (b – AAks banketre A00804.jpg.)

skalbimo mašiną. 1851 m. amerikietis Jamesas Kingas sukonstravo pirmą skalbimo mašiną su sukamu būgnu, kuriame įmontuotos pertvaros kėlė vandens sūkurius. Šis principas nebuvo visiškai originalus – yra žinoma, kad senovės Babilone bandyta mechanizuoti skalbimo procesą, didelėse statinėse sukant kažką panašaus į šiuolaikinio propelerio mentes. Skalbimo mašinoje, kurią suko dešimt pakinkytų mulų, vienu metu buvo galima skalbti daug audinių, tad ją galima laikyti pirmąja viešąja skalbykla. 1861 m. ant skalbimo mašinos funkciją atliekančių kubilų atsirado rankomis sukami velenėliai skalbiniams gręžti – tokie nepakitę kai kuriuose skalbimo mašinų modeliuose egzistavo iki pat XX a. pabaigos. 1862 m. Mančesteryje (D. Britanija) buvo patentuota rotacinė skalbimo mašina su skalbinius išgręžiančiais ritinėliais. Prieš 1880 m. pagamintose keliose skalbyklėse buvo įrengtas vandens pašildymas – vanduo buvo šildomas dujų degikliu arba anglimi kūrenamame katile (26.12 pav.). Skalbyklės skalbė dviem būdais: vienu atveju vandens srautą sukurdavo besisukantis banguoto paviršiaus diskas (XX a. II pusėje Lietuvoje buvo paplitę šiuo principu veikiančios Latvijoje gamintos skalbyklės „Ryga“), antruoju atveju buvo sukamas perforuotas cilindras, kuris periodiškai keitė sukimosi kryptį. 1874 m. savamokslis išradėjas amerikietis Williamas Blackstone'as sukūrė pirmą šiuolaikinės skalbimo mašinos prototipą – bet kur pastatomą nedidelę menčių sukeliamos vandens srovės principu skalbiančią skalbyklę, lengvai sukamą moters rankomis. Elektrinės skalbimo mašinos pradėtos reklamuoti apie 1904 m., tačiau jų išradėjas lieka nežinomas, nes skirtingi išradėjai ginčija šį pirmumą. 1908 m. amerikietis Alva J. Fisheris sukūrė vieną pirmųjų elektrinių skalbimo mašinų. Tai buvo



26.12 pav. 1890 m. JAV sukurta dviejų kubilų skalbimo mašina, sukama elektrinio arba benzininio variklio (Woman's Friend – Indiana State Museum – DSC00433.JPG.)

galvanizuoto plieno kubilas su benzininiu varikliu, kuris krumpliaračiais arba diržu pakaitomis į vieną ar kitą pusę suko medinį būgną. 1930 m. skalbimo mašinose įrengtas darbo laiko matuoklis ir nuotekų vamzdis. 1949 m. JAV pagaminta pirmoji automatinė skalbimo mašina su skalbimo režimo programavimu (perfokortomis). 1957 m. pradėtos gaminti skalbimo mašinos su kontroliuojamu apsukų greičiu, kiek vėliau tokios skalbyklės tapo ir skalbinių gręžimo centrifugomis. 1978 m. pasirodė pirmoji mikroprocesoriaus valdoma skalbyklė.

Iki 1930 m. namų ūkiams ar net įmonėms elektros energija buvo sunkiai prieinama, todėl skalbimo mašinoms buvo naudojami mažo sukimosi greičio vieno cilindro vidaus degimo varikliai. Pirmosios automatinės skalbyklės prie vandens tiekimo sistemos buvo prijungiamos laikinomis jungtimis (žarnomis) arba tiesiog prie kriauklių čiaupų. Vėlesnės skalbyklės jau turėjo tiesiogines jungtis su išorinėmis karšto ir šalto vandens tiekimo sistemomis. Šiuolaikinėse skalbimo mašinose yra tik šalto vandens tiekimo jungtis, nes vandens pašildymo sistema yra autonominė.

Skalbyklės su ankstyvosios kartos elektromechaniniu laikmačiu elektros variklis sukosi pastoviu greičiu viso plovimo ciklo metu. Apie 1950 m. iškilo lankstaus skalbimo ciklo poreikis, todėl pradėta naudoti sudėtingesnius, daugiau funkcijų turinčius (pvz., mirkymo, skalbimo, skalavimo, centrifugavimo) laikmačius. Laikmatis pasirinkta seka įjungia ir išjungia variklį, keičia variklio sūkių dažnį ir pan. Automatinės skalbyklės, turinčios programuojamus skalbimo, skalavimo ir išcentrinio džiovinimo ciklus, paplito apie 1960 metus (26.13, 26.14 pav.).



26.13 pav. 1950 m. modelio skalbimo mašina (Waschvollautomat Constructa 1950er.jpg.)

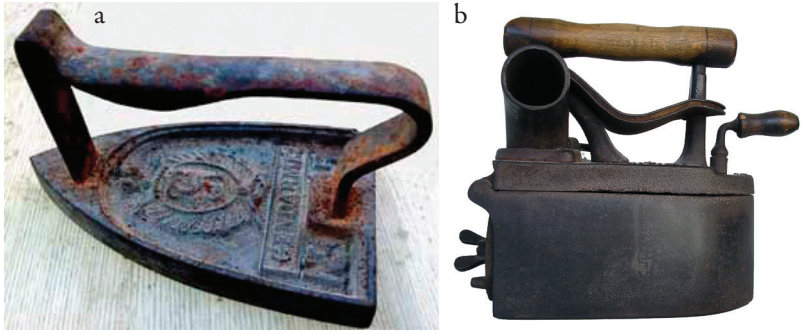
Daugelis šiuolaikinių skalbyklių turi mikroprocesorinį valdymą. 2008 m. „Xeros Washing Machine“ bendrovė sukūrė skalbimo mašiną, kuri skalbimo ciklui sunaudoja mažiau kaip 300 ml (stiklinę) vandens ir 20 kg pakartotinai naudojamų plastikinių skiedrų. Ciklo pabaigoje skalbiniai būna beveik visiškai sausi, o skalbimui, palyginti su tradicine skalbykle, sunaudojama tik 2 % vandens ir energijos. Tokios skalbyklės kasmet sutaupo milijardus litrų gėlo vandens.



26.14 pav. 2013 m. Alytaus gamykloje „Astra“ gamintos skalbimo mašinos

Lyginimas – įkaitinto metalinio įrankio (lygintuvo) naudojimas norint pašalinti audinio raukšles. Drėgno audinio raukšlių lyginimas karšta geležimi Europoje pradėtas naudoti XVI a. pabaigoje. Šildomų lygintuvų protėvis buvo rytietiškas metalinis kaistuvas, naudotas Tolimuosiuose Rytuose nuo ankstyvųjų viduramžių, ir šis tradicinis modelis gaminamas iki šiol. Varinės ar bronzinės konstrukcijos įrankis primena mažą puodą su medine rankena. Į jo vidų dedamos rusenančios medžio arba akmens anglys. Įkaitusiu puodo dugnu audinio paviršius trinamas tol, kol nelieka raukšlių. Senovėje skalbiniams lyginti buvo naudojamas medinis *kočėlas*. Lyginimo įrenginį sudarė 2 dalys: apvalus pagalys ir plokščia, siaura lentelė rantuota ar dantyta apačia – *rintė*. Rintė buvo gaminama iš kietos medienos su rankena viename ilgos lentelės gale (kartais – viršutinėje dalyje). Rintę spaudžiant ir stumiant, kočėlas su audiniu sukdavosi ir skalbiniai išsilygindavo. Mediniai įrankiai baltiniams, audiniams lyginti, kočioti lietuvių buityje naudoti iki XX a. vidurio.

Anksčiausiai karštą metalą audinių lyginimui panaudojo kinai. Iki elektrinių lygintuvų atsiradimo XIX a. viduryje buvo du pagrindiniai lygintuvo metalo šildymo būdai: žarijomis ir įkaitinant nuo kito šilumos šaltinio, pvz., nuo virtuvinės viryklės. Žarijomis kaitinami tuščiaviduriai lygintuvai pro atidaromą viršutinę dalį buvo pripildomi rusenančių žarijų (26.15, b pav.). Pro lygintuvo galinėje sienelėje įrengtą nedidelę angą (skląstį) į lygintuvą galėjo patekti anglių degimui reikalingas oras. Viršutinėje dalyje buvo



26.15 pav. Iš išorės kaitinamas lygintuvas (a – A. V. Valiulio nuotr.) ir lygintuvas su rusenančia medžio anglimi (b – Charcoal iron.jpg.)

dūmtraukis ir medinė rankena. Iš išorės kaitinamas (žaizdrinis) lygintuvas buvo daromas iš vientiso metalo, daugiausia ketaus gabalo (26.15, a pav.).

XIX a. pabaigoje prasidėjo sparti įvairiais būdais kaitinamų lygintuvų plėtra. 1850 m. atsirado dujomis kaitinami lygintuvai, vėliau – kaitinami aliejumi, parafinu, metilo alkoholiu, karbidu, acetilenu ir benzinu. Pirmieji elektra šildomi lygintuvai pasirodė 1880 m., tačiau jie neturėjo vidinio elektrinio šildymo – buvo pašildomi ant atskiro elektra šildomo stovo. Iki 1920 m. elektriniai lygintuvai plito pamažu, nes labai retai namų ūkiuose buvo elektra. Lygintuvai su termostatine kontrole pasirodė 1930 m. pabaigoje, o su vandens garinimo sistema – 1950 metais. Anksčiau lygintuvai gaminti iš ketaus ar kito metalo, dabar jie dažnai yra kombinuoti. Lygintuvo plieninė pado plokštė yra padengta apsauginiu polimerinės medžiagos sluoksniu. Šiuolaikinės komercines lyginimo paslaugas teikiančios



26.16 pav. 2013 m. Alytaus gamykloje „Astra“ gamintas lyginimo presas

įmonės dideliems skalbiniams (paklodėms, užvalkalams) džiovinti ir lyginti naudoja garinius stalo tipo (26.16 pav.) ir rotacinius lyginimo presus.

NAMUDINIS VERPIMAS

Namudinis verpimas yra senovinis tekstilės gamybos būdas, kai iš augalinio (lino, kanapių), gyvūninio (vilnos) arba sintetinio pluošto jį susukant gaminami verpalai (siūlai). Augalinį pluoštą išgaudavo iš lino arba kanapių stiebelių. Šį gana ilgą procesą sudarė keli etapai. Išdžiūvę linų šiaudeliai buvo sulaužomi linamyne (26.17, a pav.) ir brukami linų brukamąja. Taip buvo gaunama 10–12 % ilgo pluošto, 14–16 % trumpo pluošto (pakulų) ir apie 65 % spalių. Ilgasis linų pluoštas buvo naudojamas audiniams austi, trumpasis pluoštas – įvairiems tekstilės gaminiams, neaustinėms, izoliacinėms medžiagoms, popieriaus gamybai.

Viduramžių Europoje rankinis verpimas buvo svarbi namų ūkio veikla. Vilnos ar lino verpėjai (dažnai moterys ir vaikai) suverpdavo šeimos poreikiams pakankamą verpalų kiekį.

Iki XVII a. pabaigos valstiečiai verpimui naudojo *verpstę*. Verpstė – medinis verpimo prietaisas, naudotas kartu su verpstuku. Verpstę sudarė dvi statmenai sunertos medinės dalys: viršutinė 40–50 cm ilgio – vadinamoji galva, arba prieverpstė (prie jos buvo tvirtinamas vilnų arba linų kuodelis), užsibaigianti kotu, ir apatinė – iki 70 cm ilgio vadinamoji koja, ant kurios sėdėdavo verpėja. Buvo verpiama sukant siūlus ant rankoje laikomo



26.17 pav. Linamynė (a) ir lietuviškas vertikalus verpimo ratelis (b) (A. V. Valiulio nuotr.)

verpstuko. XVIII a. I pusėje Lietuvoje atsirado modernesnis verpimo prietaisas – *verpimo ratelis* (26.17, b pav.). Jis gali būti gulsčias (plačiau naudotas Klaipėdos krašte ir Aukštaitijoje) ir stačias. Verpimo ratelio dalys: ritė siūlams, ratelis, ratas, krėslas, pamina, trys kojos. Pamina minama koja ir taip sukamas ratas. Pluošto kuodelis tvirtinamas prie prieverpstės. Sukdama ratelį koja verpėja kaire ranka peša iš kuodelio verpalą, o dešine ranka, prilaikydama jį, lygina siūlą, nutaiko siūlo storumą ir leidžia jį į ritę. Verpimo ratelius darydavo iš liepos, uosio, alksnio.

Žvėrių kailius ir jų odas savo reikmėms žmonės naudojo nuo neatmenamų laikų. Ilgainiui juos imta apdirbti įvairiais būdais, todėl jie tapdavo minkštesni, ilgaamžiškesni ir spalvingesni. Viena įdomiausių senovės technologijų yra odų dažymas. Odų dažyklos atsirado daugiau kaip prieš devynis šimtmečius. Dar ir dabar kai kuriose šalyse (pavyzdžiui, Magribo) odos dažomos akmens voniose, pripildytose dažų ir įvairių kvapiųjų skysčių. Po paruošimo ir dažymo avių ir ožkų oda virsta aukštos kokybės gaminiais. Visi darbai atliekami rankiniu būdu, nenaudojant jokių šiuolaikinių mašinų ar įrenginių. Darbininkai braido akmens voniose, kurios kaip koriai užpildo dažyklos kiemą (26.18 pav.). Nudažyti kailiai išdžiovinami ant stogų ar kitų saulės spinduliams pasiekiamų vietų.



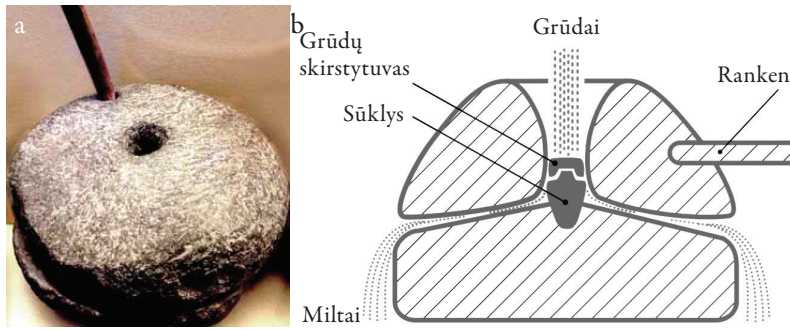
26.18 pav. Odos dažykla Feso mieste, Marokas (A. V. Valiulio nuotr.)

GRŪDŲ MALIMAS

Girnos – primityvus rankinis grūdų malimo įtaisas. Girnas sudaro du 40–60 cm skersmens akmenys (girnapusės), tarp kurių patekę grūdai trinami iki miltų. Girnos buvo naudojamos beveik visuose geležies amžiaus kaimuose ir ūkiuose. Lietuvoje nuo neolito laikų naudotos *trinamosios girnos* – akmuo su įdubimu, į kurį būdavo pilami grūdai, ir mažesnis akmuo, su kuriuo būdavo trinama. Tokių girnų jau yra tarp I tūkst. pr. m. e.

laikotarpio radinių. Nuo X a. pradėtos naudoti *sukamosios girnos* – du skritulio formos akmenys, tarpusavyje sujungti vertikalia ašimi, aplink kurią būdavo sukamas viršutinis akmuo; naudotos iki XIV amžiaus. Jų randama piliakalniuose, senovinių gyvenviečių liekanose. Viršutinės girnapusės viduryje buvo 4–6 cm skersmens skylė grūdams pilti. Prie viršutinės girnapusės, aplenktos skeltu mediniu lanku (vėliau geležiniu), pritaisyta medinė „ausis“, į kurią įstatytas nudailintas pagalys girnoms sukti. Apatinė girnapusė įtvirtinta nejudamai. Kuo girnapusės yra arčiau viena kitos, tuo jos smulkiau mala. Abi girnapusės – tai šiek tiek aptašyti grublėti akmenys, viršutinis šiek tiek įgaubtas, o apatinis išgaubtas. Senovinės sukamosios girnos būdavo įrengiamos 50–65 cm pločio, 110–160 cm ilgio lovyje ar iš lentų sukaltoje dėžėje. Girnomis buvo malami kviečių, miežių arba rugių grūdai, o iš gautų miltų kepama duona ar kiti maisto produktai. Laikui bėgant girnos buvo tobulinamos. Nuo XIX a. jos sukamos ilga lazda (miliniu), o tarpas tarp girnapusių, nuo kurio priklausė malimo stambumas, buvo reguliuojamas brūzguliuku su virvute arba pleištu. Girnos buvo laikomos priemenėje, prikaitėje arba svirne. Būdavo ir arklinių girnų, pritaisytų prie maniežo. Rankinių girnų poreikis sumažėjo išplitus malūnams, kuriuose girnas suko vėjas arba vanduo. Ilgiausiai rankinės girnos naudotos iki XX a. vidurio Rytų Lietuvoje (26.19 pav.).

Ankstyviausios žinios apie malūnus Lietuvos Didžiojoje Kunigaikštystėje datuojamos 1429 m., kai Vytautas savo malūnininkui Petrui Lubai suteikė



26.19 pav. Rankinės girnos (a) ir jų veikimo principas (b)

privilegiją iki gyvos galvos valdyti ir gauti pajamas iš vietinio malūno. LDK buvo paplitę du malūnračių tipai: tekančio vandens iš apačios įsukamas ratas (26.20 pav.) ir krentančio vandens iš viršaus įsukamas ratas. Ant upelio, tekančio į Zaraso ežerą, kranto pastatytas Šlyninkos vandens malūnas mala grūdus jau 300 metų.



26. 20. Šlyninkos vandens malūnas (A. V. Valiulio nuotr.)

VIRTUVĖ

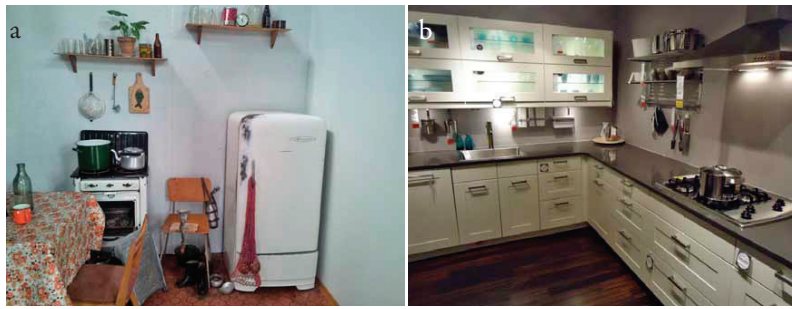
Virtuvė – tai pastato ar kambario dalis, kurioje ruošiamas maistas. Gali būti „vidinė“ ir „išorinė“ (pvz., lauko), pagal veiklos pobūdį – namų ūkio, įmonės, viešojo maitinimo įstaigos (kavinės, restorano) virtuvė. Moderniose virtuvėse paprastai yra karštas ir šaltas tekantis vanduo, viryklė, šaldytuvas, mikrobangų krosnelė, indaplovė ir kiti elektriniai prietaisai, įvairūs įrankiai (peiliai, šaukštai, šakutės), indai (puodai, keptuvės). Pagrindinė virtuvės funkcija yra maisto ruošimas, tačiau ji gali būti naudojama kaip valgomasis, maisto atsargų saugykla, indų plovykla ar skalbimo patalpa.

Senovės Romoje virtuvės priemonės ir įrenginiai buvo paprasti, tačiau patogiai išdėstyti. Dažniausiai virtuvė būdavo atvirame prieangyje (atriume), didesniuose namuose ji būdavo įrengiama atskiroje patalpoje namo gale. Maisto gamybai ir skalbimui vanduo iš lietaus vandens kaupimo rezervuarų vamzdynais buvo tiekiamas į akmens plautuves, o nuotekos kanalizuojamos į pastato išorėje įrengtas nuotekų kaupyklas ar tiesiog išleidžiamos į aplinką. Virtuvėje stovėjo mediniai ar akmeniniai stalai, pasienyje – indams ir įrankiams skirtos lentynos ir stelažai, rikiavosi dideli, maisto atsargoms saugoti skirti, ąsočiai. Virtuvių įranga ir kiti patogumai gerėjo labai lėtai. Iki XVII a. net ir didesniuose namuose virtuvės buvo mažos ir nelabai patogios. Ankstyvųjų viduramžių Europoje ilguosiuose namuose buvo statomos „atviros ugnies“ virtuvės. Šie ankstyvieji pastatai stoge turėjo skylę, pro kurią dūmai išeidavo iš patalpos. Be maisto gaminimo, virtuvėje degantis

laužas buvo šviesos ir šilumos šaltinis. Iki XVIII a. maistas buvo verdamas atvira ugnimi. Atsiradus kaminui buvo pastatyti pirmieji mūriniai židiniai ir viryklės. Keraminius maisto virimo indus ar puodus pakeitė indai iš geležies, bronzos ar vario. Kaitinimo temperatūra buvo kontroliuojama puodo atstumu nuo ugnies. Atviros liepsnos virtuvė kaimo vietovėse ir neturtingesniuose namuose išliko iki XX a. vidurio.

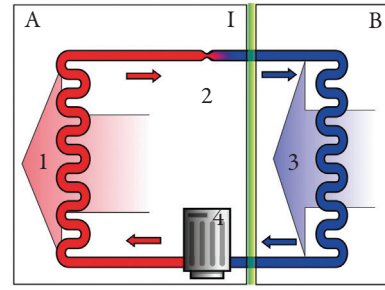
Industrializacijos technologiniai pasiekimai lėmė didelius virtuvės pokyčius. Apie 1800 m. didelėse virtuvėse atsirado labiau energiją taupančios viryklės ir krosnys. Šios viryklės galėjo šildyti kelis puodus vienu metu. Puodai buvo įleidžiami žemiau viryklės paviršinės plokštės, todėl šilo ne tik dugnas, bet ir šonai. Kurui buvo naudojama mediena ir anglys. 1825 m. virtuvėse pasirodė dujinės viryklės. XIX a. II pusėje miestuose įrengiami vandentiekiai, kanalizacija, dujofikuojami namų ūkiai, tačiau maži kaimai prie centralizuotų sistemų buvo prijungti daug vėliau. Lietuvoje kaimo vietovių ūkių jungimas prie centralizuotų kanalizacijos ir dujų tiekimo sistemų vyksta ir XXI amžiuje. XX a. pradžioje atsirado elektrinės viryklės, tačiau, kaip ir dujinių viryklių, jų plėtra iš pradžių buvo lėta. Mūrinės krosnys ir viryklės Lietuvoje beveik visur išnyko XX a. pabaigoje. Jas pakeitė dujinė ir elektrinė virtuvės įranga.

Ilgainiui naujuose namuose atsirado ryški, spalvinga modulinė virtuvė. Polimerinių medžiagų ir mikroelektronikos plėtra labai paveikė virtuvės dizainą ir daugelį jos funkcijų (26.21 pav.).



26.21 pav. Tipinė sovietų laikotarpio (1960–1980) virtuvė (a – A. V. Valiulio nuotr.) ir šiuolaikinė modulinė virtuvė (b – Kitchen design at a store in NJ 2.jpg.)

Šaldytuvas yra buitinis prietaisas, kurį sudaro termiškai izoliuotas skyrius ir šilumos siurblys (mechaninis, elektroninis ar cheminis), perduodantis šilumą iš šaldytuvo vidinės dalies į išorinę aplinką, kad šaldytuvo vidus būtų atšaldytas iki temperatūros, žemesnės negu kambario temperatūra. Šaldytuvo kameros temperatūra paprastai būna 0–5 °C. Šaldytuvai taip pat turi šaldyklę, kurioje palaikoma –20 °C ir žemesnė temperatūra. Kad atšaldytas maistas ilgiau negenda, žmonės žinojo jau gilioje senovėje. Maisto atšaldymui buvo naudojamas ledas. 1834 m. sukurtas pirmas *garo kompresijos* šaldymo įrenginys, kurį sudarė kompresorius, garintuvas, kondensatorius ir droseliavimo įtaisas (26.22 pav.). 1913 m. pagamintas šaldytuvas plačiai paplito maisto gamybos pramonėje, kai 1920 m. šaldymui buvo panaudotas freonas. Pirmieji buitiniai (virtuviniai) šaldytuvai atsirado tik apie 1950 metus.



26.22 pav. Garo kompresoriaus šaldymo ciklas: A – šilta patalpa (virtuvė), B – šalta patalpa (šaldytuvo kamera), I – šilumą izoliuojanti medžiaga, 1 – kondensorius, 2 – išsiplėtimo vožtuvas, 3 – šaldymo skysčio garintuvas, 4 – kompresorius (Refrigerator-cycle.svg.)

1963 m. Alytaus šaldytuvų gamykla pagamino pirmą Lietuvoje šaldytuvą. Pirmaisiais gamybos metais buvo pagaminti 25 šaldytuvai. 1975 m. per metus pagaminta daugiau nei 1 mln. šaldytuvų. 2006 m. gamykla savo produkciją eksportavo į daugiau nei 40 valstybių.

Maisto virimas. Romėnų virtuvėje pagrindine kuro rūšimi buvo medžio anglis. Geležies, bronzos, žalvario arba vario katilai buvo statomi ant trikojo stovo, po kuriuo degė ugnis. Nuo ankstyvųjų viduramžių iki XVIII a. pabaigos visi maisto ruošimo darbai, išskyrus kepimą krosnių viduje, buvo atliekami virš arba priešais atviros liepsnos židinį. Prie ugniaviečių buvo įrenginiai mechanizmai, pakeliantys ir nuleidžiantys puodus ar katilus, taip pat galintys juos perkelti toliau nuo šilumos šaltinio. XIX a. virimo krosnys buvo statomos taip, kad naudotųsi bendru namo kaminu. Krosnys būdavo mūrijamos



26.23 pav. Virimas atviroje ugniavietėje (a – flickr.com/photos/edbrambley/4261584543) ir senovės Romoje (b – Villa Rustica Ahrweiler Küche der Mansio.jpg.)

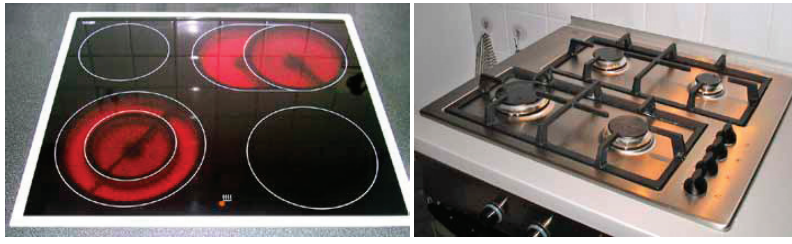
iš plytų, turėjo varstomas metalines dureles, o apie viryklę esančios grindys būdavo išgrįstos plytomis ar akmenimis (26.23 pav.).

Šimtmečiais naudojant atviros ugnies maisto ruošimo įrenginius, kai ugnis degdavo daugelį valandų, buvo labai svarbu ekonomiškiau naudoti kurą ir kontroliuoti gaunamos šilumos naudojimą. XIX a. pabaigos viryklės buvo ir didesnės, ir veiksmingesnės. Jose būdavo įrengtos viena ar dvi krosnys, keturios–šešios kaitlentės, karšto vandens bakas, šildoma lėkščių džiovinimo spintelė ir daug kitų smulkesnių įtaisų. Šiluma ir dūmų šalinimas buvo kruopščiai kontroliuojami, todėl mažiau sunaudojama kuro. XIX a. pradžioje išplitus dujų tiekimui atsirado daugybė įvairios konstrukcijos dujinių viryklių (26.24 pav.). 1930 m. pasirodė spalvota emale dengtos lengvai valomos dujinės viryklės. 1923 m. išrastas termostatinis orkaitės valdymas, vėliau – automatinis dujų degiklių uždegimas. Nuo 1965 m. daugelyje šalių dujinėms viryklėms naudojamos gamtinės dujos (26.24 pav., b). Viryklės aprūpinamos degiklių elektrine kibirkštinio uždegimo sistema, orkaitės kaitinimo laikmačiu, temperatūros kontrolės ir reguliavimo įtaisu ir kt.

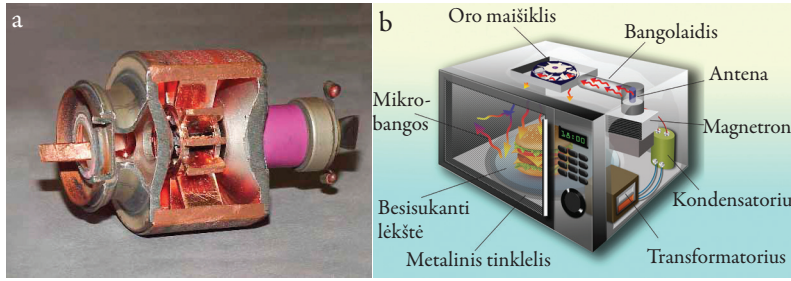
Elektrinės viryklės. Pirmoji elektrinė viryklė buvo pademonstruota 1891 metais. Daugumą ankstyvųjų elektrinių viryklių sudarė keli atskiri prietaisai.

Šildymo elementas – tai ant keraminio cilindro užvyniota didelės elektrinės varžos viela, jo kaitinimo galia buvo valdoma atskirais jungikliais. Kaip ir dujinės viryklės, elektrinės viryklės namų ūkiuose plito labai pamažu dėl daugelio priežasčių. Žmonės tiesiog jomis nepasitikėjo. Kaitinimo liepsnos nesimatė, todėl buvo pavojus nusideginti neatsargiai palietus karštą viryklės paviršių, be to, kaitinimo elementai buvo brangūs ir nepatikimi. Tik po 1930 m. elektros energija virtuvėje pradėjo rimtai konkuruoti su dujomis ir rinka prisipildė įvairiais elektriniais virtuvės prietaisais ir įrenginiais. 1970 m. atsirado modernių technologijų produktas – keraminės ir šaltos kaitlentės viryklės (26.24 pav., a). Kaitinamieji vamzdiniai žiediniai elementai pakeitė lėtai šylančias ankstesnes kietąsias plokšteles. Orkaitėse buvo įrengtas termostatinis temperatūros ir kaitinimo trukmės valdymas. Naujosios viryklės efektyviau taupo elektros energiją, greičiau pasiekia reikalingą temperatūrą.

Mikrobangų krosnelė – tai elektrinis buitinis prietaisas, mikrobangų principu šildantis maistą. Mikrobangų krosnelė buvo sukurta 1959 m. D. Britanijoje. Šildant maistą tradiciniais maisto ruošimo būdais, išoriniai šaltiniai (kieto kuro, dujų ar elektros šiluma) greitai sušildo gaminio paviršių, tačiau jo vidurys sušyla tik praėjus ilgesniam laikui. Mikrobangų krosnelėse naudojamos trumpos radijo bangos. Vos tik įjungus šį prietaisą į elektros tinklą viduje įmontuotas magnetronas pradeda skleisti mikrobangas. Pro indą su maistu prasiskverbusios mikrobangos priverčia virpėti vandens, riebalų, baltymų ir cukraus molekules maiste. Virpėjimas sukelia molekulių vidinę trintį ir pakelia temperatūrą. Kadangi mikrobangos krosnelės viduje



26.24 pav. Virtuvinės viryklės: a – elektrinė (Ceranfeld.jpg.), b – dujinė (Kookplaat.jpg.)



26.25 pav. Mikrobangų krosnelės magnetronas (a – Magnetron2.jpg.), mikrobangų krosnelės sandara (b – Mikrobangų krosnelė.jpg.)

sklinda atsispindėdamos nuo sienelių įvairiomis kryptimis, maistas sušyla tolygiai. Maisto šildymas mikrobangų krosnelėje yra labai švarus, greitas ir nebrangus. Daugumos mikrobangų krosnelių galią valdo tiristorius ir mikroprocesorius (26.25 pav.). Šios krosnelės nepertraukiamai veikia 2 450 megahercų dažniu. Mikrobangų spinduliavimo šaltinis yra magnetroninis vamzdelis. Magnetronas konvertuoja 50 Hz elektros srovę į 2 450 MHz elektromagnetinę spinduliuotę, kurios bangos ilgis apie 12 cm. Magnetronui reikalingą 3 000–4 000 voltų įtampą teikia įtaisas, sudarytas iš transformatoriaus, lygintuvo ir filtro. Jis paverčia kintamąją 50 Hz dažnio srovę nuolatine srove. Mikrobangos iš magnetrono į krosnies ertmę perduodamos bangolaidžiu. Mikrobangų modų maišyklė daugiau ar mažiau vienodai paskleidžia mikrobangas visoje vidinėje krosnelės erdvėje.

Oficialiai teigiama, kad mikrobangų krosnelės yra absoliučiai saugios ir nekelia jokio pavojaus sveikatai. Bet ar tikrai jos saugios? Mikrobangų krosnelėje vyksta kur kas daugiau procesų nei šildymas. Didelis kiekis energijos, veikiantis šildomą maistą, suskaido baltymų molekules ir sukelia reakcijas, kurios nevyksta naudojant kitus maisto gaminimo būdus. Taigi sukuriamos naujos organizmui nepažįstamos molekulės, kurios gali būti toksinės ar net kancerogeninės. Vienas ar keli mikrobangų krosnelėje paruošti patiekalai žmogui gal ir nepakenks, bet ilgesnį laiką vartojamas toks maistas alina organizmą, todėl šiuo prietaisu reikėtų naudotis saikingai.

27 SKYRIUS

PUOLIMO IR GYNYBOS GINKLAI BEI TECHNOLOGIJOS

Karinės technologijos – tai įrangos, transporto priemonių, konstrukcijų ir ryšių sistemų, skirtų naudoti karo metu, visuma. Valstybės galia tradiciškai grindžiama turimais kariniais pajėgumais ir ekonominiu išsivystymu, nes be stiprios ekonominės bazės negalima išlaikyti karinės galios. Technologijų turėjimas ir naudojimas lemia valstybės galią, todėl visos valstybės, siekiančios platesnio vaidmens tarptautinėje arenoje, deda daug pastangų, kad kurtų, įsigytų ar plėtotų naujausias karines technologijas. Kitaip tariant, dabartiniame laikotarpyje valstybės strateginė pozicija priklauso nuo jos ekonominės ir karinės įtakos. Iki 2025 m. planetos gyventojų skaičius padidės daugiau nei milijardu gyventojų, ir tai labai padidins spaudimą planetos ištekliams. Tikėtina, kad esama elektros energijos gamybos sistema nebepajėgs tenkinti didėjančių poreikių ir ją gali ištikti krizė. Antra vertus, dėl šiltnamio efekto didėjanti vidutinė planetos temperatūra gali sukelti pasekmes, kurių mes dar gerai nesuprantame, tačiau jos neišvengiamai turės įtakos maisto gamybai, transportui, kai kurios pasaulio vietovės taps negyvenamomis, o tai lems masinę gyventojų migraciją. Kylančios naujos grėsmės skatina karinės parengties ir kariuomenių didinimą bei karinių technologijų plėtrą siekiant užtikrinti valstybių apsaugą nuo branduolinių, biologinių, cheminių, radiologinių ar hibridinių antpuolių.

PRIEŠISTORINIAI GINKLAI

Pirmieji ginklai buvo rankiniai: kuokos, peiliai, kirviai, dalgiai, kalavijai, durklai, ietys, lankai su strėlėmis ir padedantys apsiginti skydai, šalmai, šarvai. Įvairiose šalyse jie skyrėsi forma ir skirtingai vadinosi: kuokos – buožėmis, bulavomis, buzdiganais; kirviai – bardišiais, alebardomis (kirvio ir ieties derinys); kalavijai – akinakais, jataganais, rapyromis; durklai – stiletais, kortikais.

Ginklai buvo daromi iš medžio, akmens, kaulo, vėliau – iš bronzos, ketaus ir plieno. Buvo išrasti svaidomieji ginklai akmenims, strėlėms, ietims arba specialiems sviediniams mėtyti. Svaidomieji ginklai buvo asmeniniai (lengvi, parankūs naudoti vienam žmogui) ir kolektyviniai (sunkūs, sudėtingi pabūklai, naudojami kelių ar keliolikos žmonių).

Tarp ankstyviausių ir labiausiai paplitusių žmogaus ginklų buvo ietis – ilgas (1,5–6 m ilgio) medinis strypas ar lazda su smailiu galu, vadinamu ietigaliu. Senoviniai iečių antgaliai būdavo akmeniniai (iš titnago, obsidiano ir pan.) arba kauliniai (iš kaulo arba rago). Akmeniniai trikampio ar smailaus lapo formos ietigaliai būdavo įsprausti į skeltą kotą, aprišti plaušais ar odiniais dirželiais, priklijuoti derva. Ankstyvojo laikotarpio ietys buvo dviejų rūšių – duriamosios ir mėtomosios. Mėtomoji ietis buvo lengvesnė. Kiti du originalūs ginklai buvo vėzdas ir kirvis. Vėzdas buvo gaminamas iš kieto medžio rūšių, kirvis – iš vientiso akmens skaldymu suteikiant migdolo riešuto formą.

Lankas – senovinis rankinis ginklas strėlėms svaidyti. Darytas iš lankstaus medžio strypo ir tarp jo galų įtemptos templės. Traukiant templę, lankas lenkiasi ir jo strypo galuose kaupiasi potencinė energija, kuri, atleidus templę, virsta kinetine strėlės energija. Daugelis lankų buvo žmonių dydžio. Templės gamintos iš pintų odinių juostelių. Pirmuosius lankus sukūrė Vidužemio jūros civilizacijos. Naudoti paleolite, neolite, eneolite, tačiau daugiausia – geležies amžiuje. Lietuvoje ankstyviausių pėdsakų (titnaginių strėlių antgalių) rasta iš X–VIII tūkstantmečio pr. m. e. Esminį poveikį ginklams turėjo metalo atradimas (apie 1 500 m. pr. m. e.). Durklai (trumpi šaltieji duriamieji ginklai) iš titnago ar kitokio akmens, kaulo ar rago buvo daromi dar priešistoriniais laikais. Pirmieji metaliniai durklai buvo variniai (geležtė iki 30 cm), vėliau – bronziniai (bronzos amžiuje, III tūkstantmetis pr. m. e.). Pirmieji kardai atsirado kiek vėliau kaip „peraugę“ durklai. Išmokus išgauti geležį, vario, bronzos ir geležies ginklai dar ilgą laiką egzistavo kartu. Asmeninei apsaugai buvo naudojami du ankstyvųjų šarvų tipai: žvyniniai ir lameliniai (grandininiai) (27.1 pav.) Žvyniniai šarvai buvo gaminami ant audeklo (trumpos tunikos) prisiuvant mažus bronzos žvynus. Šarvai iš metalinių plokštelių, surištų viena su kita be audeklinio pagrindo, vadinami lameliniais šarvais.



27.1 pav. Ankstyvųjų šarvų tipai: a – žvyniniai, b – lameliniai (grandininiai) (Rokiškio krašto muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

Iš pradžių šalmai buvo gaminami iš audinio, vėliau juos darydavo iš odos, metalo arba abiejų šių medžiagų. Trečiu svarbiu asmens apsaugos elementu buvo skydas (apie II tūkstantmetį prieš m. e.) – rankoje laikoma kario šarvuotės dalis. Šiuo plokštės formos įtaisu apsisaugoma nuo priešo kirstinių ginklo smūgių, strėlių ir svaidomų ginklų. Skydai buvo apvalūs, stačiakampiai, ovalo formos, gaminami iš odos, oda ar plonomis metalo juostelėmis dengtos medienos. Lengvieji skydai buvo pinti iš vytelių ir aptraukti oda. Jie neblogai sulaikydavo strėlių ir svaidomų iečių smūgius, kažkiek saugojo nuo plačiaašmenių ginklų. Dideli skydai, beveik žmogaus ūgio, saugodavo karį nuo kelių iki smakro. Kumštiniai skydai, nedidelio (iki 35 cm) skersmens, apvalūs, laikomi už rankenos kumštyje, buvo labai tvirti – metaliniai arba iš metalu šarvuoto medžio. Jais nukreipdavo į šoną kalavijų, buožių smūgius. Vėlesniais laikotarpiais Romos legionieriai naudojo falangos skydus. Suremti skydai sudarydavo skydų sieną, kuri saugojo nuo priešo atakų. Viduramžiais buvo naudojami dideli, tvirti, ant žemės statomi skydai. Kautynėse juos naudodavo šauliai (lankininkai ir arbaletininkai), kad galėtų šaudyti abiem rankomis ir kartu pasislėptų nuo priešininko strėlių. Nuo 3 500 pr. m. e. dominuojantis kovos ginklas buvo kovos vežimas. Dviračiai kovos vežimai buvo naudojami priešo puolimui frontu, panikos kėlimui. Vežimo įgula

turėjo ietis, kovinius lankus. II tūkstantmečio pr. m. e. pabaigoje atsirado kavalerija. Ankstyvoji kavalerija buvo ginkluota lankais ir ietimis. Kovai su stipriais miestų gynybiniais įtvirtinimais asirai naudojo taraną – senovinį karo inžinerijos įtaisą (paprastai masyvų rąstą), skirtą vartams išlaužti ar spragoms gynybinėse sienose pramušti. Paprasčiausias variantas – rąstas, kuriuo žmonės įsibėgėję daužo vartus ar sieną; sudėtingesnis variantas – ant lynų ar grandinių pakabintas taranas specialiame namelyje ant ratų. Apie 500 m. pr. m. e. graikai išrado ankstyvąją artilerijos atmainą – katapultą. Skirtingai nuo lanko, kur kinetinė energija kaupiama elastingame lanke, katapultose ir balistose kinetinė energija kaupiama mažai elastingose susuktose virvėse. Virvę galima įtempti tik specialiu mechanizmu. Ją paleidus, ji išstumia strėlę ar akmenį su daug stipresne nei žmogaus jėga. Katapulta buvo naudojama strėlėms, ietims ir nedideliems akmenims svaidyti iki 230 metrų. Naujas ginklas Romos imperijoje buvo dramblys. Hanibalas savo žygyje per Alpes turėjo kovinių dramblių, kurie 216 m. pr. m. e. padėjo nugalėti romėnus. Apie 400 m. e. m. prie Romos imperijos sienų iš rytų atkeliavusių vandalų, gotų, dar vėliau hunų gyvenimo būdas visiškai priklausė nuo arklio. Arkliai per dieną galėjo nueiti iki 160 km. Bizantiečiai greitai suprato arklių teikiamus privalumus ir hunų pavyzdžiu sukūrė savo karinę kavaleriją. Bizantijos kariuomenėje buvo dvi pėstininkų rūšys: lengvieji, daugiausia lankininkai, ir sunkieji, ginkluoti ietimi, kardu ir kirviu. Šiuo laikotarpiu atsirado ir pirmasis cheminis ginklas – graikiška ugnis, galinti degti ir sąlytyje su vandeniu. Tai buvo šiuolaikinio napalmo pirmtakas. Pradžioje graikiška ugnis būdavo naudojama lengva katapulta iššaunant į audinį įvyniotą sviedinį (jo viduje galėjo būti indas). Toks 6–9 kg sviedinys galėdavo nuskrieti 350–450 metrų. Vėliau pumpuojantis mechanizmas galėjo nedideliu atstumu iššvirkšti degančio skysčio srovę. Degiąją medžiagą sudarė sieros, dervos ir naftos mišinys. XI a. Vakarų Europą pasiekė nauja ginklų tūšis – arbaletas, o XIV a. sukurta apsauginė liemenė, skirta apsaugoti kario krūtinę.

Lietuvos teritorijoje XI–IX a. pr. m. e. (paleolitas) buvo naudojamos ietys su kauliniais antgaliais, IX–V a. pr. m. e. (mezolitas) – lankas ir strėlės su titnaginiais ir kauliniais antgaliais, kauliniai durklai-peiliai. Dar III tūkstantmečio pr. m. e. pabaigoje į Baltijos kraštą atėję indoeuropiečiai naudojo akmeninius laivinius kovos kirvius, akmenines buožes. Jau nuo XVI a. pr. m. e.

plito žalvario ginklai – durklai, baltiški kirviai, ietys, kalavijai (nuo IV–V a.), dideli peiliai, siauraašmeniai kirviai, lankai ir strėlės su geležiniais antgaliais, mediniai skydai su metaliniais apkaustais. X–XII a. ginklai tobulėjo, darėsi įvairesni. XII a. pradėta naudoti šalmus iš geležinės skardos, nuo XIII–XIV a. – iš geležinių žiedelių pintus ir odinius, apkaustytus metalo plokštėmis, šarvus, nuo XV a. – vien metalo plokščių šarvus; nuo XIII a. naudotas arbaletas. Pilių sienoms griauti LDK nuo XIII a. naudotos įvairios svaidyklės (balistos), siendaužiai (taranai), pristumiamieji bokštai. Nuo XIV a. pab. LDK kariuomenė naudojo šaunamuosius ginklus: bombardas, patrankas, nuo XVI a. pab. – muškietas. Nuo XVI a. pėstininkų ir raitelių ginklai darėsi lengvesni, šarvus dėvėjo tik sunkioji kavalerija. Ginklus gamino amatininkai, gyvenę miestuose, pilyse, feodalų dvaruose. XVI–XVII a. Vilniuje, Valkininkuose, Nesvyžiuje ir kitur veikė LDK kariuomenės patrankų liejyklos. Savos gamybos ginklų neužteko, todėl jie buvo perkami užsienyje.

Svarbiausiu technologiniu pasiekimu karo istorijoje laikomas parako išradimas. Pirmasis parakinis šaunamasis ginklas, pagamintas iš ketaus, užregistruotas 1324 m. Meco mieste Prancūzijoje. Šie ankstyvieji ginklai šaudė nedideliu nuotoliu ir buvo labai netaiklūs. Rankinių ginklų pažanga siejama su XV a. išrasta arkebūza. Arkebūzoje vietoj timpos pradėtas naudoti parakas ir dagtis. Šaulys galėjo naudotis abiem rankomis ir taip stabilizuoti ginklą šaudymo metu. Arkebūza svėrė 2,8–4 kg, vamzdžio ilgis – apie 90 cm, o bendras ilgis siekė 120 cm. XVI a. viduryje vietoje arkebūzų kavalerija pradėjo naudoti pistoletą. XV a. II pusėje labai ištobulėjo artilerija. Naujas pėstininkų ginklas, atsiradęs XVII a., buvo rankinė granata ir granatomis šaudantys artilerijos pabūklai – mortyros (27.2 pav.). Mortyra – tai didelio kalibro artilerijos pabūklas, šaudantis į žemės taikinius labai statmena trajektorija. Mortyros būdavo naudojamos kaip apgulties pabūklai įtvirtinimams griauti ir taikiniams (pvz., kareiviams už tvirtovės sienų) apšaudyti, kurių neįmanoma apšaudyti lėkšta trajektorija šaudančiais pabūklais. Tokiems tikslams mortyros dar naudotos XIX a., o XX a. jos ėmė nykti. XV a. Italijoje ir Vokietijoje pasirodė naujo tipo ginklas – haubica. Šis artilerijos pabūklas yra skirtas šaudyti aukšta trajektorija, neretai iš uždarų pozicijų į nematomą taikinį, jo vamzdis trumpesnis negu patrankos. Haubicos užėmė tarpinę padėtį tarp patrankų ir mortyrų; jos turėjo važiuoklę, todėl už mortyras



27.2 pav. Senovinė mortyra (Rokiškio krašto muziejus, A. V. Valiulio nuotr.)

buvo manevringesnės. XVI a. II pusėje haubicos ėmė šaudyti sprogstamaisiais sviediniais. Šiuolaikinių haubicų kovinė šaudymo sparta – iki 10 šūvių/min., šaudymo tolis – iki 24 km.

XVIII a. pabaigoje ir XIX a. I pusėje reikšmingai pasikeitė ginklų gamybos būdai ir technologijos – gaminamos atsarginės detalės ar mazgai, patrankų vamzdžių gręžimo kokybė galėjo užtikrinti kalibro standartą. 1836 m. Samuelis Coltas (JAV) užpatentavo revolverį; prasidėjusią pramoninę revolverių gamybą nuo 1857 m. sėkmingai plėtojo Smitho ir Wessono bendrovė (JAV).

Pirmasis kulkosvaidis buvo sukurtas Belgijoje 1850 m., tačiau sėkmingesnis buvo Ričardo Gatlingo (JAV) modelis, užpatentuotas 1862 metais. Kiekvienas Gatlingo kulkosvaidžio vamzdis turi savo šovinio lizdą. Šaudymo metu vamzdžių blokas sukasi, vamzdis, atsisukęs į šovimo liniją, iššauna, išmeta tūtelę ir sukasi toliau. Jo vietą užima kitas vamzdis, o ką tik iššautas vamzdis sukimosi metu vėl užtaisomas. Tokios konstrukcijos ginklas šaudo sparčiai ir neperkaista. 1884 m. Hiramas Maximas (JAV) sukonstravo pirmą tikrą kulkosvaidį, užtaisymui ir iššovimui naudojantį šūvio metu sprogusio parako dujų energiją, kai gatlingai tam naudojo šalutinę, ne parako, energiją. XVIII a. pradžioje buvo sukurtas šrapnelinis sviedinys, pavadintas britų išradėjo Henry'io Shrapnelio vardu. Tai rutulinių kulkų pripildytas sviedinys, sprogstantis ore iš anksto nustatytu nuo taikinio atstumu. Dar vienas radikalus pokytis įvyko XIX a. viduryje, kai apvalios šautuvų kulkos buvo pakeistos pailgomis. Pailgosios kulkos yra taiklesnės, nes turi kreipiamuosius sparnelius, kurie įsuka kulką apie savo ašį ir stabilizuoja jos lėkimo trajektoriją. Karinės kulkos būna paprastosios (vientisinės ir su apvalkalu) ir specialiosios (šarvamušės, padegamosios, šviečiamosios). 1888 m. chemikas Alfredas Nobelis iš nitroglicerino ir celiuliozės nitratų mišinio pagamino bedūmį paraką, kuris naudojamas reaktyviniams užtaisams įvairios paskirties reaktyviniuose įrenginiuose, taip pat artilerijos ir šaulių šovimo užtaisams.

XX AMŽIAUS GINKLAI

XX a. karuose paplito įvairūs liepsnosvaidžiai, minosvaidžiai, granatsvaidžiai, cheminis ginklas. Antrajame pasauliniame kare buvo pradėtas naudoti reaktyvinis ginklas, pirmosios sparnuotosios ir balistinės raketos, atominės bombos. Nepriklausomos Lietuvos kariuomenė (1918–1940 m.) buvo ginkluota daugiausia užsienyje (Vokietijoje, Čekoslovakijoje, Belgijoje, Prancūzijoje, Anglijoje) pirktais ginklais. Kaune ir Linkaičiuose (Radviliškio r.) veikusiose ginklų gamyklose buvo gaminami šoviniai, šautuvų ir kulkosvaidžių vamzdžiai, remontuojami ginklai. 1990 m. atkurta Lietuvos kariuomenė ginkluota užsienyje (NATO šalyse, Rusijoje ir kt. valstybėse) pirktais šaunamaisiais ginklais. 2000 m. Kauno rajone, Giraitės kaime, pastatyta Lietuvos šovinių gamykla.

NUODINGOSIOS DUJOS

Cheminis ginklas – vienas pražūtingiausių išradimų žmonijos istorijoje. Toksinių medžiagų kaip ginklo naudojimas turi tūkstantmetę istoriją. Jau senovėje medžioklėse buvo naudojami užnuodyti ginklai (iečių ar strėlių antgaliai), užnuodytas vanduo (žvejyba) ar gyvūnų apnuodijimas deginamų toksiškų medžiagų dūmais. Nuodingosios ar toksiškos medžiagos buvo natūralios kilmės, išgaunamos iš augalų, grybų ar kai kurių gyvūnų (gyvačių, tarantulų). Kai kurios medžioklėse naudotos nuodingosios medžiagos vėliau buvo pritaikytos tarpusavio karuose. Deja, nuodingųjų medžiagų naudojimas, kovojant su išorės ar vidaus priešais, išliko iki dabartinių laikų. Viduramžiais, išradus paraką, buvo sukurti nauji nuodingųjų medžiagų perkėlimo į priešininko aplinką būdai (toksiškomis medžiagomis užtaisytos granatos, artilerijos sviediniai). Prasidėjus pramonės revoliucijai atsirado daugiau nuodingųjų medžiagų transportavimo priemonių ir kariaujančios valstybės nevengė tuo pasinaudoti. Pavyzdžiui, Krymo kare (1853–1856 m.), puolant Sevastopolį, siūlyta naudoti sieros dioksido dujas deginant sierą. JAV pilietiniame kare buvo siūlymų naudoti artilerijos sviedinius, užpildytus binarinės sistemos nuodingomis dujomis (kalio cianidu ir vandenilio chlorido rūgštimi), arsenu, pipirinėmis dujomis.

Cheminio ginklo gamybą ir naudojimą ne kartą draudė įvairūs tarptautiniai susitarimai, tačiau vis dar susiduriama su cheminio ginklo naudojimo atvejais. Nuodingosios medžiagos skirstomos į kelias grupes:

– *nervus paralyžiuojančios*: VX (0,01), zarinas (0,075), ciklozarinas (0,05), zomanas (0,03), tabunas (0,4), „Novičiok“ (nuo 5 iki 8 kartų toksiškesnis už VX, pažeidžia nervų sistemos veiklą, prasideda traukuliai, o vėliau ištinka paralyžius);

– *troškinančios* (dusinančios): chloras (6,0), fosgenas (3,2), difosgenas (1,0); pažeidžia plaučių audinius;

– *odą žeidžiančios*: liuizitas (3,75), ipritas (1,35); pažeidžia odą (sukelia pūlinius), akis, kvėpavimo takus, plaučius;

– *bendrojo veikimo*: chlorcianas, ciano anglies rūgštis (0,5); patekusios į organizmą sutrikdo deguonies perėjimą iš kraujo į audinius.

Vertinant cheminio ginklo pavojingumą, naudojamas specialus parametras – vidutinė mirtina koncentracija. Ji rodo, kiek miligramų medžiagos turi būti viename litre oro, kad įkvėpęs medžiagą žmogus mirtų per minutę (medžiagos mirtina koncentracija (mg/min.) nurodyta skliaustuose po medžiagos pavadinimo).

Lemiamu lūžiu cheminių ginklų istorijoje buvo Pirmasis pasaulinis karas. Pirmasis cheminis ginklas šiame kare buvo ašarinės dujos. Prancūzų armija 1914 m. pirmoji išbandė granatas su ašarinėmis dujomis. Vokiečiai 1915 m. pirmą kartą fosgeno ir chlorino junginius panaudojo prieš britus: išleista 88 t dujų, 1 069 žmonės buvo traumuoti, 69 žuvo. Šiame kare iš viso pagaminta apie 36 600 t fosgeno. Tai buvo antras pagal kiekį cheminis ginklas Pirmajame pasauliniame kare po chlorino (93 800 t). Iš viso karo metu pagaminta 190 000 t cheminio ginklo. Pirmajame pasauliniame kare populiariausios ir efektyviausios dujos buvo vokiečių sukurtas ipritas. Tokio ginklo panaudojimą sąlygojo kelios priežastys: didelio masto karo konfliktas, aukšto lygio mokslo ir technologijų pasiekimai, sukaupti ginklų arsenalai, sparti chemijos pramonės plėtra, įprastų šaudmenų stygius ir ilgalaikis statiškas (tranšėjinis) karo pobūdis. Cheminiu ginklu siekta pralaužti priešininko gynybą ir pereiti į mobilius karo veiksmus. Ši strategija nepasiteisino, tačiau ji rodė didelį cheminio ginklo efektyvumą ir kariuomenės jį vertino kaip svarbią operacinę-taktinę kovos priemonę. Kovojančios pusės palaipsniui

didino cheminio ginklo naudojimo mastą. Didžiosios kovojančios valstybės (Vokietija, Prancūzija, Didžioji Britanija, Rusija ir JAV) pagamino daugiau kaip 200 000 t cheminio ginklo medžiagų. Jomis buvo užtaisomi artilerijos ir minosvaidžių sviediniai, rankinės granatos ir netgi šautuvų šoviniai. Užtaisams buvo naudojamas chloras, fosgenas, difosgenas, chlorpikrinas, vandenilio cianidas, o karo pabaigoje ir garstyčių dujos ar kiti dirginantys aerozoliai. Nors greitai buvo sukurtos ir masiškai gaminamos dujokaukės, tačiau cheminis ginklas iš aktyvių karo veiksmų pašalino apie vieną milijoną karių, iš kurių apie 10 % mirė. Cheminis ginklas turėjo didelį psichologinį poveikį ir sustiprino įprastinių ginklų kovinį efektyvumą.

Po Pirmojo pasaulinio karo viešoji nuomonė, matydama cheminio ginklo nehumaniškumą, buvo nusistačiusi prieš tolesnį jo naudojimą, bet cheminis ginklas jau buvo tapęs neatsiejama valstybių karinės doktrinos dalimi. Pirmosios kartos cheminis ginklas buvo naudojamas pilietiniame kare Rusijoje, ispanų ir prancūzų kariuomenės jį naudojo Maroke, Italijos kariuomenė – Abisinijoje, Japonijos kariuomenė – Mandžiūrijoje. Lėktuvai, aprūpinti bombomis ir nuodingų medžiagų purškimo įtaisais, galėjo giliai prasiskverbti į priešo užnugarį, kelti grėsmę miestams ir pramoniniams kompleksams, trikdyti strateginę pusiausvyrą. Cheminio ginklo arsenalai augo, buvo kuriamos naujos kovinės medžiagos. Nervus paralyžiuojančios tabuno, zarino dujos tapo antrosios kartos cheminių ginklų pagrindu.

Antrojo pasaulinio karo metu kovojančios valstybės buvo sukaupę per 400 000 t įvairių rūšių cheminio ginklo. Karo pabaigoje Vokietija sukūrė du naujus ginklus – zariną ir zomaną. Zarinas greitai garuoja, tad karštą vėjuotą dieną užteršimas gali išnykti jau po pusvalandžio ar valandos. Nuodingi zomano garai, kaip ir zarino, yra pavojingi, ypač patekę ant odos. Iki 1944 m. Vokietija sukaupė daugiau kaip 12 000 t tabuno ir zarino atsargų. Europoje karo metu cheminis ginklas nebuvo panaudotas, jį ribotai naudojo Japonija kovose su Kinija. Po Antrojo pasaulinio karo svarbiausia ginkluotės kūrimo kryptimi tapo branduolinių technologijų vystymas, nors buvo kuriama ir cheminė ginkluotė. Kelios Vakarų šalys (pirmiausia Didžioji Britanija, o vėliau – Švedija) atrado fosforo organinius junginius, kurie pavadinti V agentais. Vienas efektyviausių tokių junginių buvo VX medžiagos. SSRS sukūrė savo V versiją – beveik tokią pačią, tik kiek lėčiau garuojančią ir ilgiau

išsilaikančią R-33. VX garų nuodingumas apie 15 mg/m^3/min., t. y. maždaug 3 kartus didesnis už zarino. V grupės medžiagos lėtai skildavo aplinkoje: netgi karščiausiu metu užterštumas laikydavosi apie 4–7 dienas, o civiliams pavojingas užterštumas likdavo iki kelių mėnesių.

Po Šaltojo karo Jungtinės Amerikos Valstijos plėtojo trečiosios kartos cheminio ginklo kūrimo programas, o Sovietų Sąjunga kūrė savo cheminį ginklą („Foliant“, „Novichok“) ir naujus, ketvirtosios kartos, cheminių ginklų projektus, tai yra pradėjo kurti binarinius cheminius ginklus. Dėl technologinių sunkumų šie bandymai nebuvo sėkmingi. Šaltojo karo laikotarpiu cheminiai ginklai buvo perduodami trečiojo pasaulio šalims, kurioms šis ginklas buvo branduolinio ginklo alternatyva. Antai Irakas sukaupė daugiau kaip 3 800 t cheminio ginklo (garstyčių, tabuno, zarino), kurį panaudojo kare su Iranu ir malšindamas vietinius šalies gyventojus kurdus.

1997 m. buvo pasirašyta tarptautinė Cheminio ginklo kūrimo, gamybos, kaupimo ir panaudojimo uždraudimo bei jo sunaikinimo konvencija. Konvenciją pasirašiusios šalys deklaravo apie 71 000 t sukauptų cheminių ginklų atsargų. Didžiausias atsargas deklaravo Rusija (40 000 t) ir JAV (30 000 t), likusi dalis buvo Albanijoje, Indijoje, Irake, Pietų Korėjoje, Libijoje ir Sirijoje. Iki 2012 m. daugiau kaip 51 000 t (apie 72 %) cheminių ginklų buvo sunaikinta.

Biologinis ginklas yra masinio naikinimo ginklas, kurio veikimas pagrįstas žmonių, gyvulių ir augalų ligas sukeliančio užkrato paskleidimu. Jis būna mirtinas ir susargdinantis. Užkratas yra patogeniniai organizmai (virusai, bakterijos, riketsijos, grybeliai), nuodijantieji jų gyvensenos produktai, mikrobų ir virusų genetinė medžiaga. Nors biologinės ir cheminės medžiagos tiesiogine prasme nėra ginklai, jos gali pridaryti daug žalos. Biologinis ginklas nėra naujovė. Senovėje dažnai būdavo užnuodijami geriamojo vandens šaltiniai, strėlių antgaliai kišami į pūvančius lavonus, kad net menkas įbrėžimas sukeltų infekcinį susirgimą. XIV a. totoriai katapultomis mėtė maro aukų kūnus per Juodosios jūros Kafos uosto sienas, norėdami sunaikinti jo gyventojus. Sukelta maro epidemija per trejus metus nušlavė beveik trečdalį Europos gyventojų. Šiaurės Amerikoje britai užkrėtė indėnus raupais ir per kelis mėnesius sukėlė raupų epidemiją. Biologinio ginklo sąvoka susiformavo per Pirmąjį pasaulinį karą.

Vokiečiai planavo užkrėsti juodlige galvijus, kariuomenės maisto šaltinį, ar sukelti choleros epidemiją Italijoje. Juodligės ir kitus biologinius ginklus ypač sparčiai gamino Japonija, JAV, Sovietų Sąjunga, Vokietija ir Didžioji Britanija. Antrojo pasaulinio karo metu japonai maro bakterijomis apkrėtė Čekjango (Kinija) provincijos civilius gyventojus, o 1942 m. Nankine išdalijo vaikams juodlige užkrėstą šokoladą. 1942 m. prie Stalingrado rusai bandė panaudoti biologinį ginklą prieš vokiečius, tačiau apsikrėtė ir patys. Britai juodligės sporų bombą išbandė su avimis Gruinardo saloje (Škotija) ir sala 45 metus tapo negyvenama. Po Antrojo pasaulinio karo buvo sukurta mažiausiai 10 skirtingų biologinių medžiagų – bakterijų, virusų ir mikrobų, skirtų žmonėms bei svarbioms žemės ūkio kultūroms apkrėsti. SSRS ir JAV sukaupė didžiulius juodligės bakterijų kiekius bei sukūrė šio ginklo paskleidimo priemones – bombas ir išpurškiamus aerozolius, kuriuos gali gabenti lėktuvai ar raketos.

Biologinis ginklas yra labai klastingas – ore kybantys bakterijų ar virusų debesėliai yra beveik nematomi ir bekvapiai. Paskleistas ore kaip mikrometro dydžio dalelių aerozolis jis tampa masinio naikinimo ginklu. Mažyčiai lašeliai sklendžia ore didelį atstumą, o įkvėpti giliai į plaučius sukelia pavojingas sistemines infekcijas. Dėl biologinių medžiagų įvairovės jas sudėtinga aptikti: tai gali būti bakterijos, virusai ar negyvi bakterijų toksinai. Šiuo metu mokslininkai kuria ankstyvojo perspėjimo sistemas. Jose naudojamos technologijos apima DNR (deoksiribonukleorūgštį) ir antikūnus naudojančius biolustus, taip pat „elektronines nosis“, galinčias užuosti mirtinus mikrobus. Nors yra sukurta įvairių biologinio ginklo detektorių, jų efektyvumas ir užkrato nustatymo sparta yra nepakankami.

Tarptautinę biologinių ir cheminių ginklų sutartį 1972 m. pasirašė 160 valstybių, tačiau 34 valstybės tokios sutarties dar nepasirašė. 1975 m. įsigaliojusi ši sutartis faktiškai uždraudė kurti, kaupti ir naudoti biologinį ir cheminį ginklą. Deja, ji nedraudė plėtoti mokslinio tyrimo darbų. Ekspertai mano, kad tokie tyrimai vykdomi ir toliau. Sovietų Sąjunga tęsė labai slaptas šio ginklo kūrimo programas iki pat 1990 metų. 1979 m. Sverdlovske (dabar Jekaterinburgas), keičiant užsikimšusį filtrą, iš karinės įmonės mikrobiologinio įrenginio pasklidusios juodligės sporos pražudė apie 100 žmonių. Biologiniai ginklai kartais vadinami vargšų atomine bomba. Pasigaminti

biologinį ginklą gali net ekonomiškai silpnos valstybės – tam nereikia brangios įrangos ir infrastruktūros, pigesnė ir žaliava.

Mokslo pasaulyje vis daugiau nerimo kelia modernioji biotechnologija. Neseniai buvo paskelbtas choleros DNR kodas, baigiama išaiškinti kitų mikroorganizmų, tarp jų sukeliančius juodligę, marą, dizenteriją, vidurių šiltinę, genomus. Šie tyrimai, be abejo, bus panaudoti praktiniams gydymo tikslams, tačiau ar nebus šiais rezultatais pasinaudota kuriant naujos kartos siaubingos naikinančios galios biologinį ginklą? Jau dabar yra galimybė kurti genetiškai naujas biologines medžiagas ir naujų savybių biologinius ginklus.

KONVENCINĖ KARYBA

1916 m. D. Britanijoje pradėta gaminti sunkiuosius tankus „Mark 1“ (27.3 pav.). Jo įgulą sudarė 8 kareiviai: 4 valdė tanką ar kontroliavo mechanizmus, kiti 4 buvo priskirti prie kovos ginklų – dviejų „Hotchkiss“ patrankų ir trijų 8 mm kalibro kulkosvaidžių. Tankas svėrė 28,5 t, turėjo 6 cilindrų 78 kW galios variklį ir galėjo judėti iki 6 km/h greičiu. Jo ilgis siekė 10 metrų, todėl tankas galėjo kirsti priešininko tranšėjas. Kadangi pėstininkų tankai turėjo kariauti tokiu pačiu greičiu kaip ir atakuojantys pėstininkai, didelis greitis nebuvo esminis požymis, tačiau jie turėjo storesnius šarvus (6–12 mm). Pirmasis tankų mūšis įvyko 1918 m. Prancūzijoje tarp trijų britų „Mark IV“ ir trijų vokiečių tankų. Jau 1917 m. kovai su tankais buvo sukurtas prieštankinis šautuvas. Vokiečių kariuomenė naudojo specialius šovinius su šarvamuše kulka, kurie tiko šaudyti iš paprasto šautuvo.



27.3 pav. Tankas „Mark I“ (British Mark V-star Tank.jpg.)

Iš pradžių orlaiviai buvo naudojami oro žvalgybai, tačiau jau 1914 m. jie buvo panaudoti bombardavimui. Pirmieji orlaiviai buvo ginkluoti šautuvais, pistoletais, granatomis. Pagrindinė techninė problema – kaip šaudyti iš kulkosvaidžio nekliudant orlaivio propelerio menčių. 1915 m. pradžioje prancūzai sukūrė greitašaudį kulkosvaidį, galintį šaudyti virš propelerio, tačiau proveržiu tapo „Fokker“ firmos sukurtas kulkosvaidžio ir variklio sinchronizatorius, kuris leisdavo šaudyti tik tada, kai propelerio mentės būdavo horizontalioje padėtyje. Plintant koviniams orlaiviams, buvo sukurti garso detektoriai, galintys aptikti daugiau kaip už 8 km skrendantį orlaivį.

Pirmojo pasaulinio karo metais prekybos laivams praktiškai nebuvo nieko baisesnio už povandeninį laivą. Vokietija priėmė sąmoningą sprendimą be jokio įspėjimo skandinti civilinius laivus. 1915 m. Šiaurės jūra buvo paskelbta karo zona, o povandeniniams laivams įsigaliojo neriboto povandeninio karo politika. Vokietijos laivynas, pasinaudodamas turimais povandeniniais laivais, konflikto metu paskandino 5 tūkstančius (daugiausia prekybinių) laivų, nors neteko tik 178 povandeninių laivų. Karui įgaunant pagreitį, vokiečių ir britų nuomone, didžiuosiuose mūšiuose jėgas turėtų suremti didieji koviniai laivai, tokie kaip linijiniai kreiseriai. Povandeniniai laivai turėjo apsiriboti pakrančių gynyba, priešų laivų rengtų blokadų prevencija arba sargyba. 1914–1918 m. karinis jūrų laivynas naudojo dviejų rūšių ginklus – torpedas ir minas. Torpedos sukurtos XIX a. pabaigoje sparčiai tobulinant pirmuosius povandeninius laivus. Pirmosios torpedos judėdavo tiesia linija, kol atsitrenkdavo į taikinį ir sprogdavo, suveikus kontaktiniam detonatoriui arba pasibaigus kurui. Greitai paaiškėjo, kad didesnę grėsmę priešininkui kelia torpedomis ginkluoti povandeniniai laivai, o ne pačios torpedos, nes tų laikų torpedos norimą taikinį pasiekdavo tik tuo atveju, jeigu jis būdavo nutolęs iki vieno kilometro. Torpedų efektyvumą didino judėjimo krypties valdymas giroskopu. Povandeniniai laivai į paviršių iškildavo tik suradę taikinį. Būdai, kuriais buvo galima aptikti povandeninį laivą, buvo sukurti tik 1918 metais.

Radiolokacija kariniams tikslams pradėta taikyti 1935 metais. Stebint blyksnius monitoriaus ekrane, išmokta aptikti orlaivio vietą erdvėje. Naktiniuose naikintuvuose įrengti radarai padėdavo aptikti ore priešo orlaivį. Naudojantis radaru ir echolotu buvo galima aptikti povandeninį laivą ne tik

virš vandens, bet ir po vandeniu. Radaras turėjo ir trūkumų – kaip „aktyvią“ sistemą jį buvo galima aptikti ir sunaikinti. Laivų ir orlaivių navigacijoje radarai įdiegti tik įsibėgėjus Antrajam pasauliniam karui. Svarbiausias ginklas prieš povandeninius laivus buvo sukurtas amerikiečių 1942 m. – tai iš oro paleidžiama akustinė torpeda. Karui tęsiantis minų ir torpedų konstrukcijos nuolat tobulėjo. Dar prieš karo pradžią vokiečiai pradėjo naudoti sumanias parašiutais nuleidžiamas minas. Parašiutas kontroliavo minos nusileidimo greitį. Kai mina panirdavo po vandeniu ir pasiekdavo reikalingą gylį, hidrostatinis jungiklis sustabdydavo vidinį laikrodinį mechanizmą. Minai pasiekus dugną, susijungdavo elektros grandinė, mina pereidavo į kovinę parengtį, o praplaukiančio laivo sukuriamas magnetinis laukas detonuodavo miną.

Artilerija – tai aparatai, svaidantys į tolį sviedinius, minas, akmenis ar panašius objektus. Pirmos patrankos, pagamintos iš bambuko, pasirodė Kinijoje apie 1132 metus. Mortyros pirmą kartą minimos Mongolų imperijos ir Sun dinastijos 1268–1279 m. karuose. Kryžiaus žygių pabaigoje į Lietuvą kryžiuočiai atvežė kelias patrankas, ir jau 1410 m. Žalgirio mūšyje keturios patrankos iššovė po keturis kartus. Pasaulinėje karo istorijoje gerai žinomas Kazimieras Simonavičius XVII a. parašė net 200 metų kaip vadovėlį naudotą knygą „Didysis artilerijos menas“. Lietuvoje artileriją pirmasis panaudojo kunigaikštis Kęstutis, 1382 m. laivais Nemunu atplukdęs bombardas. Tais pačiais metais pabūklų Jogailai padovanojo kryžiuočiai. XIV a. pab. ties Vilniaus pilimi Vytautas įkūrė pabūklų liejyklą.

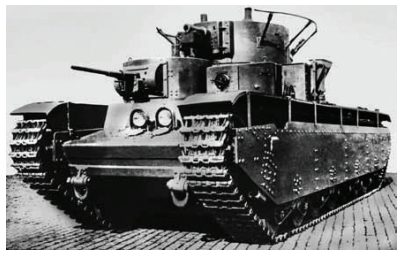
Skiriamos kelios artilerijos rūšys: lauko artilerija (patrankos, haubicos, minosvaidžiai), apgulties artilerija (katapultos, balistos), tvirtovių artilerija, savaeigė artilerija, karo laivų artilerija, kranto artilerija, priešlėktuvinė artilerija. Pagal artilerijos sistemų konstrukcijos ypatumus skiriama graižtvinė ir lygiavamzdė, beatošliaužė, reaktyvinė (raketinė), kazematinė ir universalioji artilerija. Šaunamąjį pabūklą pirmieji panaudojo arabai XIII a. pab. ar XIV a. pradžioje. XIV a. jį perėmė Italija, Ispanija, Prancūzija, Vokietija, Anglija, Lietuva, Rusija. Pirmieji artilerijos pabūklai buvo primityvūs į medinę trinką įtvirtinti metaliniai vamzdžiai, drūtgalyje aklini, o užtaisomi iš laibgalio. Šaudymo nuotolis 200–400 m, greitašauda – keli šūviai per dieną; sviediniai – akmenys, geležies, švino gabalai. XIV–XV a. pabūklus pradėta lieti iš vario ir bronzos, o nuo XVII a. – iš geležies lydinių. Pirmieji pabūklai

su graižtviniais vamzdžiais buvo pagaminti XVII a., tačiau pramoniniu būdu juos pradėta gaminti tik po 200 metų. XIX a. pab. išrastas bedūmis parakas, atrastos galingą sprogimą sukeliančios sprogstamosios medžiagos. Visa tai sudarė sąlygas didinti šaudymo nuotolį ir sviedinių ardomąją galią. 1872–1877 m. sukonstruotas greitašaudis šoviniais užtaisomas pabūklas, turintis optinį taikiklį ir stūmoklinę spyną su daužikliu, lafetą su sraigtiniais vertikaliojo ir horizontaliojo kreipimo mechanizmais. Prieš Antrąjį pasaulinį karą pradėta kurti reaktyvinė artilerija vėliau buvo automatizuojama, didinamas jos manevringumas, gerinamas valdymas. Sukurta branduolinė artilerija, šaudanti sviediniais su branduoliniais užtaisais, prieštankinės valdomosios raketos, nauji savaeigiai pabūklai. Sukurtos zenitinės valdomosios raketos. Pėstininkai ir oro desantininkai ginkluojami granatsvaidžiais ir beatošliaužiais pabūklais. Net ir sukūrus raketas ir branduolinį ginklą, labai ištobulėjus karo aviacijai, artilerija išliko viena svarbiausių priemonių, užtikrinančių pėstininkams ir tankams nuolatinę paramą mūšyje, ypač kai naudojamas tik įprastinis ginklas. Kol nebuvo reaktyvinės artilerijos ginklo, toliašauda priklausė nuo pabūklo masės. Pirmajame pasauliniame kare vokiečiai naudojo 48 t sveriantį artilerijos pabūklą „Didžioji Berta“: jis galėjo šaudyti 930 kg svorio sviediniais ir pasiekdavo taikinius už 15 kilometrų. Vokietijos kariuomenė turėjo 13 tokių pabūklų. 1586 m. Rusijoje nulieta bombarda buvo pritaikyta šaudyti akmeniniais sviediniais, kurių svoris – apie 800 kg. Patrankos ilgis – 5,34 m, išorės vamzdžio skersmuo – 120 cm, kalibras – 900 mm, svoris – 39,1 tonos. Mokslininkai nustatė, kad iš jos buvo iššauta mažiausiai vieną kartą. 1941 m. Vokietijoje buvo pagaminta gigantiška (1 350 t) geležinkelio bėgiais važiuojanti 80 cm (800 mm) kalibro patranka „Dora“. Jai aptarnauti reikėdavo net 250 karių. Pabūklas sugebėdavo iššauti net 7 t svorio sviedinius, kurie galėjo pasiekti taikinius už 40 km.

1919–1939 m. buvo pažangios tankų plėtros laikotarpis. Antrojo pasaulinio karo pradžioje Prancūzija ir SSRS vienintelės ginkluotėje turėjo sunkiųjų, vidutinių ir lengvųjų tankų. Antrąjį pasaulinį karą vokiečiai pradėjo lengvaisiais tankais. Tankai buvo ginkluoti kulkosvaidžiais, 50 mm ir 75 mm kalibro patrankomis. Kulkų kovinę galią didino volframo karbido šerdis. 1942 m. pabaigoje vokiečiai pradėjo naudoti naują sunkųjį tanką su 88 mm kalibro patranka. Tankai „Tigras“ ir „Pantera“ turėjo sunkiai pažeidžiamą

šarvuotę. „Tigrai“ buvo gaminami 1942–1944 m., iš viso pagaminti 1 357 šie sunkieji tankai. Lengvesni tankai, tokie kaip Amerikos „Sherman“, britų „Cromwell“ ir rusų „T-34“, buvo manevringesni (27.4 pav.).

Po karo pasirodę sunkieji amerikiečių „M-103“, britų „FV214 Conqueror“ ir prancūzų „ARL-44“ tankai buvo atsakas SSRS IS (Josifas Stalinas) klasės tankams. Rusija taip pat tobulino tankų konstrukcijas ir sistemas. „T-55M“ ir „T-55AM“ tankai bokšto priekyje ir šonuose turėjo pakabinamus dinaminių šarvų konteinerius, lazerinius tolimačius, balistinius kompiuterius ir taikiklius. Tankų patrankų kalibras pasiekė maksimumą, nes stambesnių kalibrų šovinių tankistai būtų nepakėlę. Naudotos patrankos su dvinariais šoviniais (užtaisomi atskirai dedant sviedinį ir tūtą su užtaisu). Buvo kuriami ir specialios paskirties tankai: skirti vietovės išminavimui, plaukiantieji tankai, oro desantiniai tankai, tankai-liepsnosvaidžiai, skirti remontui bei evakuacijai. Tankų važiuoklė buvo panaudota kuriant savaeigį zenitinį priešlėktuvinį pabūklą ir sunkųjį šarvuotą transporterį.



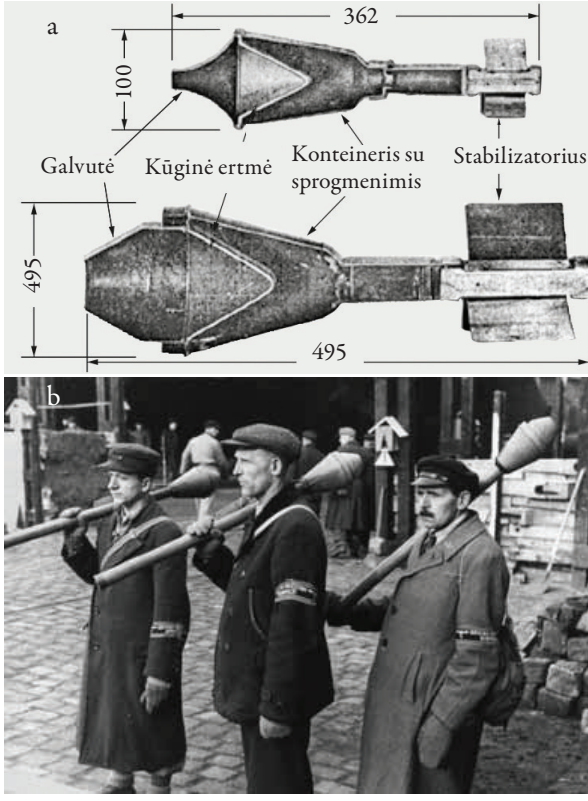
27.4 pav. Sovietų sunkusis tankas „T-35“ (P68l.jpg.)



27.5 pav. JAV tankas „M-1 Abrams“ (FaAbrams-transparent.png.)

Šiuolaikiniai tankai, tokie kaip JAV „M-1 Abrams“ (27.5 pav.), Rusijos „T-80“, britų „Challenger“ ir Vokietijos „Leopard-2“, sveria 45–60 t ir yra ginkluoti 120 mm kalibro patranka. Naujo tipo keraminiai šarvai nepadidino tanko svorio, tačiau pagerino apsaugą nuo rankinių reaktyvinių kumuliacinio užtaiso granatų.

Antrajam pasauliniam karui įpusėjus pradėta naudoti rankinius reaktyvinius vamzdinius ginklus, į šarvuotus taikinius šaudančius kumuliacinio užtaiso granatomis (vokiečių „Panzerfaust“, Amerikos „Bazooka“ ir britų FIAT) (27.6 pav.). Tai artimojo mūšio



27.6 pav. Vokiečių „Panzerfaust“ ginklas (a – Panzerfaust 2.jpg.) ir Volkšturmo kareiviai su „Panzerfaust“ granatomis Berlyne, 1945 m. (b – Bundesarchiv Bild 183-J31320, Berlin, Posten beim Bau einer Straßensperre.jpg.)

vienkartinio naudojimo ginklas, kurį sudaro superkalibrinė kumuliacinė granata, stabilizatorius, parako užtaisas ir iš abiejų galų atviras vamzdis su smogiamuoju mechanizmu ir taikikliu. Šaudymo nuotolis – 30 m, galėjo pramušti iki 200 mm storio šarvus. Šiuolaikinės reaktyvinės prieštankinės granatos kalibras 66–205 mm, masė 2,5–4,0 kg, veiksmingo šaudymo nuotolis 200–400 m.

Tuo pačiu metu pasirodė naujas greitašaudis ginklas (vokiečių „Nebelwerfer“, SSRS – „Katiuša“), šaudantis reaktyvinių šaudmenų salvėmis. Komplektą sudaro reaktyviniai šaudmenys (sviediniai), transportavimo ir savaeigė užtaisymo mašina, sukamojo rėmo kreipikliai padėčiai keisti



27.7 pav. Reaktyvinės artilerijos mašina „Katiuša“ (BM-13-Katjuscha Berlin.JPG.)

horizontalioje plokštumoje, taikymo, šaudmenų paleidimo ir pusiausvyros mechanizmai. Įrenginys vadinamas reaktyvinės artilerijos mašina (27.7 pav.). Šiuolaikinių įrenginių sviedinių kalibras siekia 375 mm, didžiausias šaudymo nuotolis – iki 70–80 km, turi 45–50 kreipiklių (bėgių, vamzdžių).

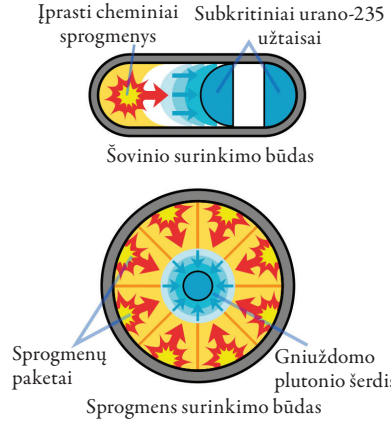
Antrojo pasaulinio karo pradžioje Vokietijoje buvo sukurta pirmoji pasaulyje skystuoju kuru varoma mažo nuotolio kovinė balistinė raketa. 1945 m. raketa pasiekė 200 km aukštį. Pirmoji raketa („V-1“) iš esmės buvo skraidanti bomba, nes turėjo sparnus, uodegos vairą ir aviaciniu benzinu varomą reaktyvinį variklį. Raketos galvutėje buvo 850 kg sprogstamas užtaisas, kuris galėjo pasiekti 400 km nutolusius objektus. 1944 m. rugsėjo mėn. vokiečių kariuomenė paleido daugiau kaip 3 000 naujo tipo „V-2“ raketų, kurių dauguma pataikė į Londoną ir Antverpeną. Ši raketa turėjo 1 000 kg sprogmenų, jai reikėjo 9 t skysto kuro. Pasibaigus Antrajam pasauliniam karui, amerikiečių, SSRS ir britų slaptosios tarnybos įsigijo „V-2“ raketos techninius brėžinius, jais pasinaudota kuriant savo raketinius ginklus.

BRANDUOLINIS GINKLAS

Grėsmingiausias ginklas, sukurtas Antrojo pasaulinio karo metu, buvo atominė bomba. Amerikiečiai šį ginklą panaudojo 1945 m. bombarduodami Japonijos Hirosimos ir Nagasakio miestus. Nuo 1945 m. pasaulį slegia nuolatinė branduolinio ginklo grėsmė. Pagrindiniai branduolinio sprogimo poveikio veiksniai yra sprogimo smūgio banga, galinga šviesos spinduliuotė, šilumos smūgis bei momentinė ir ilgalaikė radiacija.

Branduolinis ginklas gali nužudyti ar sužaloti ne tik žmones, bet ir kitas gyvybės formas, sukelti ilgalaikes pasekmes visai biosferai, sunaikinti ar padaryti didelę žalą įvairiems statiniams, natūralioms gamtinėms struktūroms

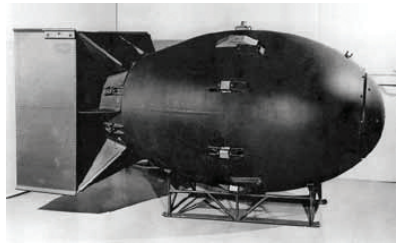
(pvz., kalnuose). Branduolinis ginklas naudoja branduolių dalijimosi (grandininės branduolinės reakcijos) ir jų sintezės energiją. Abiejų sprogimų metu iš palyginti mažo medžiagos kiekio išsiskyrė labai daug energijos (27.8 pav.).



27.8 pav. Branduolių dalijimosi ir sintezės bombos veikimo schema (Fission bomb assembly methods.svg.)

Šiuolaikinis termobranduolinis ginklas, sveriantis šiek tiek daugiau negu 1 100 kg, gali sukelti sprogimą kaip 1,1 mln. tonų trotilo. Branduolinės bombos konstrukcija yra sudėtingesnė, nei gali atrodyti. Tam tikrame aukštyje (optimaliausias aukštis 600 m) detonuoja pagrindinis sprogstamasis užtaisas; bomboje esančios mažesnė ir didesnė urano (plutonio) dalys, veikiamos didžiulės sprogimo jėgos ir temperatūros, susimaišo ir pasiekia vadinamąją „kritinę masę“. Jos metu iš urano (plutonio) branduolių išsilaisvinę neutronai bombarduoja kitus urano (plutonio) branduolius, kurie skyla į mažesnius atomus. Skilimo metu išskiriama milžiniška energija ir nauji neutronai, kurie toliau bombarduoja branduolius. Vyksta grandininė reakcija. Apie 50 % sprogimo sudaro sprogimo banga (vėjas), apie 35 % – temperatūra ir apie 15 % – radiacija. Temperatūra epicentre siekia apie 3 870 °C; 530 m spinduliu nuo epicentro lydosi keramika, 2 000 m spinduliu nuo epicentro užsidega žmogaus rūbai. Sprogimo metu išspinduliuojamos α, β, γ dalelės ir neutronai. Alfa ir beta dalelės absorbuojasi ore, o gama dalelės ir neutronai sunaikina arba pažeidžia gyvų organizmų ląsteles.

Antrojo pasaulinio karo pabaigoje, 1945 m. rugpjūčio 6 d., JAV numetė urano branduolinę bombą „Little Boy“ ant Japonijos miesto Hirosimos, o po trijų dienų – plutonio bombą „Fat Man“ ant Nagasakio (27.9 pav.). Dėl tiesioginio poveikio iškart žuvo apie 100–200 tūkst. žmonių, po dvejų ar penkerių metų dar daugiau mirė nuo radiacinio apšvitinimo. 1961 m. virš Naujosios Žemės salos Arkties vandenyne SSRS susprogdino galingiausią



27.9 pav. Virš Nagasakio susprogdinta termobranduolinė bomba „Fat Man“ (Fat man.jpg.)

žmonijos istorijoje pagamintą bombą – matavimo prietaisai užfiksavo 56 megatonų stiprumo sprogimą. Bomba sprogo maždaug 4 km aukštyje. Sprogimo galia buvo 3,8 tūkst. karto didesnė nei Hirosimoje ir prilygo 50 mln. tonų trotilo užtaiso sprogimui. Pastatų sunaikinimo spindulys siekė 120 km, šviesos žybsnis būtų apakinęs 220 km spinduliu. Prieš nusilpdama smūginė atmosferos banga suspėjo aplink Žemės rutulį apskrieti tris sykius.

Šaltojo karo metu branduolinės valstybės sukaupė ginklų arsenalą, kurio pakaktų nužudyti šimtus milijonų žmonių. Branduolinį ginklą turi Jungtinės Amerikos Valstijos, Rusija, Jungtinė Karalystė, Prancūzija, Kinija, Indija, Pakistanas ir Šiaurės Korėja. Manoma, kad Izraelis taip pat turi branduolinį ginklą, nors to nepripažįsta. Šiuo metu pasaulyje yra per 17 000 branduolinių kovinių galvučių. Maždaug 4 300 iš jų yra parengtos operacinei veiklai.

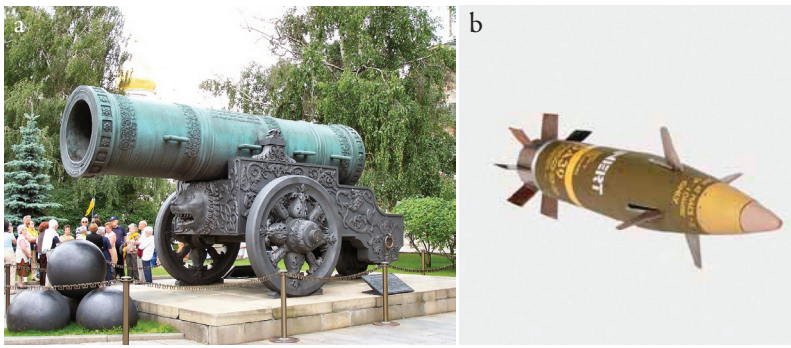
RAKETOS IR ARTILERIJA

Po Antrojo pasaulinio karo amerikiečiai ir SSRS pasinaudojo vokiečių balistinių raketų kūrimo patirtimi. Dabartinės raketos yra varomos tiek skystuoju, tiek kietuoju kuru. Šiandien egzistuoja dviejų tipų raketos, galinčios skraidinti branduolinį ginklą. Pirmasis tipas – tai raketos, galinčios skraidinti apie 200 kilotonų kovines galvutes 1 600 km nuotoliu. 1 kilotona yra ekvivalentiška 1 000 tonų trotilo, o virš Japonijos susprogdintų bombų galia buvo 12 kilotonų. Antras tipas – tai sparnuotosios raketos, galinčios skristi žemame aukštyje, sunkiai pastebimos radarais ir paleidžiamos iš oro, žemės ar vandens paleidimo įtaisų. Jų paskirtis gali būti labai įvairi: oras–oras, žemė–oras, oras–žemė, prieštankinės raketos. Oro gynybos sistemoms labai svarbiu veiksniu tapo identifikavimo prietaisų („draugas ar priešas“) sukūrimas. Orlaiviuose įrengti radijo atsakikliai žemės skrydžių valdymo centrams

turėtų perduoti orlaivio registracijos duomenis, tačiau jie gali skristi ir su išjungtu radijo atsakikliu arba iš viso nepalaikyti ryšio.

Pagal kovines savybes skiriama patrankų, haubicų, reaktyvinė, prieštankinė, kalnų ir minosvaidžių antžeminė artilerija; pagal judėjimo būdus – judrioji, stacionari ir aeromobilioji; pagal kalibrą – lengvoji, sunkioji, didelės galios. Dar skiriama toliašaudė ir ultratoliašaudė artilerija. Šiuolaikinė artilerija išsiskiria dideliu kalibru ir šaudymu sprogiais sviediniais ar raketomis (27.10 pav., a). Vis dėlto svarbiausia savybė yra priešininko apšaudymas netiesiogine ugnimi, kai apšaudomas objektas yra nematomas. Pagrindiniai artilerinės kovos ypatumai: sutelktumas svarbiausiomis kryptimis; netikėta ir tiksli ugnis; sąveika su pėstininkais, tankais, aviacija ir kt. ginkluotųjų pajėgų rūšimis; nuolatinis ir lankstus artilerijos ugnies ir manevro valdymas. Šiuolaikinė artilerija apima artilerinius pabūklus (haubicos, patrankos, minosvaidžiai) ir raketinę artileriją (27.10 pav.). Jai taip pat priklauso reaktyvinės salvinės ugnies sistemos ir prieštankinių raketų kompleksai.

Prieštankinės valdomos raketos sukurtos šarvuotoms karinėms transporto priemonėms naikinti (27.11 pav.). Šiuolaikinį prieštankinį raketų kompleksą sudaro paleidimo įrenginys, viena ar kelios raketos, patikros ir priežiūros aparatūra. Paleidimo įrenginyje yra raketos nutaikymo ir



27.10 pav. Didžiausia pasaulyje patranka „Caras“ (kalibras 890 mm) Maskvoje (a – TheTsarCannonJuly2004.jpg.) ir valdomas artilerijos sviedinys (b – XM982 Excalibur inert.jpg.)



27.11 pav. Nešiojamoji vidutinio nuotolio prieštankinė raketų paleidimo sistema „Javelin“, JAV (Army-fgm148.jpg.)

valdymo įranga. Pagal judrumą prieštankinis raketų kompleksas būna nešiojamasis, velkamasis, savaeigis ir įtaisytas sraigtasparnyje; pagal valdymo sistemą – rankinis, pusiau automatinio ir automatinio valdymo; pagal raketų skriejimo greitį – ikigarsinis ir viršgarsinis. Šiuolaikiniai prieštankiniai raketų kompleksai: JAV „Tow-2A“ (raketos masė 24,3 kg, leidimo nuotolis 3 750 m, pramuša šarvus iki 920 mm, nešiojamasis, savaeigis, iš sraigtasparnio); D. Britanijos „Swingfire“ (26,7 kg, 4 000 m, 500 mm, nešiojamasis ir savaeigis); vokiečių-prancūzų „Milan-3“ (7,12 kg, 2 000 m, 1 000 mm); Rusijos „Metis-2“ (13,8 kg, 1 500 m, 800 mm, nešiojamasis), „Udar“ (26,5 kg, 4 000 m, 700 mm, nešiojamasis ir savaeigis), „Ataka“ (48,3 kg, 3 750 m, 920 mm, savaeigis ir iš sraigtasparnio).

Dauguma šiuolaikinių prieštankinių raketų turi specialias sprogias kovines galvutes, galinčias prasiskverbti į šarvus. Šaudant taikoma į silpnesnes, turinčias plonesnį šarvą, kovinių mašinų vietas. Stipriausiai šarvuotas yra tanko priekis, silpniau šarvuoti bortai, o dar silpniau – užpakalinė ir viršutinė dalys. Įvairių modelių tankai turi specifinių „silpnų“ vietų. Klasikinės „silpnos“ vietos: važiuoklė, vieta kur korpusas jungiasi su bokšteliu, matymo ir taikymosi prietaisai ir kt. Tobulėjant prieštankinėms raketoms tobulinami ir tankų šarvai. Spartus chemijos ir fizikos mokslų vystymasis (kompozitinės medžiagos, keramika, urano lydiniai) leido nedidinant šarvų storio gerokai sustiprinti tankų šarvų atsparumą sviediniams ir raketoms, taip pat naudojamos naujos gynybinės sistemos (reaktyvūs šarvai, aktyvios gynybos sistemos ir kt.), pabūklai aprūpinti naujų tipų sviediniais (pokalibriniais, valdomais reaktyviniais) ir pan. Nauji „išmanūs“ šarvai pagaminti iš keleto skirtingų medžiagų sluoksnių: šarvo išorėje yra plonas apsauginio audinio sluoksnis, po juo – iš optinių skaidulų nunertas tinklas, po šiuo tinklu yra plonas standartinio šarvo lakšto sluoksnis. Į tanką pataikiusi raketa pažeidžia skaidulinį tinklą, o pasiekusi po juo esantį metalo lakštą detonuoja. Sensoriai, stebintys

optinėmis skaidulomis sklindančią šviesą, užregistruoja pažeidimą ir akimirksniu įjungia milžinišką elektros srovę, kuri sukuria stiprų magnetinį lauką. Magnetinis laukas suskaldo sviedinio skysto metalo čiurkšlę į atskirus fragmentus ir ji praranda šarvo pramušimui būtiną jėgą.



27.12 pav. „Lockheed U-2 Dragon Lady“ šnipinėjimo lėktuvas skrydžio metu (1st Reconnaissance Squadron Lockheed U-2R 80-1068 (cropped).jpg.)

Per pastaruosius keturiasdešimt metų žvalgybos ir sekimo prietaisai buvo reikšmingai patobulinti. Aukštai skrendantys „lėktuvai šnipai“ yra aprūpinti kameromis, kurios iš 40 km aukščio gali gera skiriamąja geba nufotografuoti 325 km^2 plotą (27.12 pav.). Kitas šios paskirties orlaivis yra nuotoliniu būdu valdomas bepilotis skraidymo aparatas, kurio fotografavimo kameros nuolat perduoda į valdymo ar kontrolės centrą stebimus vaizdus.

Vis daugiau dėmesio kreipiama puolimo iš kosmoso grėsmėms. Kosmose skrieja įvairių šalių kariniai žvalgybos ir ryšių palydovai. Labai tikėtina, kad netrukus palydovai galės neutralizuoti ar sunaikinti priešininko palydovus. Karui kosmose gali būti panaudoti energijos pliūpsnį generuojantys ir į taikinį nukreipiantys įrenginiai. Valdomos energijos ginklai yra lazeriai, spinduliuojantys fotonų spindulį, subatominių dalelių srautas, kuris susidaro branduolinių reakcijų metu, ultragarsiniai ir radijo dažnio ginklai. Naujoms karinėms technologijoms priskiriama gynyba balistinėmis raketomis, įprastiniai tolimo nuotolio ginklai ir kosminės ginklų sistemos.

BRANDUOLINIAI POVANDENINIAI LAIVAI

Didžioji Britanija, Prancūzija, Ispanija, Portugalija ir Nyderlandai šimtmečiais kariavo atviroje jūroje, siekdami kontroliuoti prekybą, apsaugoti laivybą ir valdomas kolonijas. Pirmasis atominis povandeninis laivas „USS Nautilus“, skirtas JAV karo laivynui, buvo pastatytas 1954 metais. Jis pirmasis po ledu nuplaukė į Šiaurės ašigalį. SSRS pirmasis atominis povandeninis



27.13 pav. Branduolinis povandeninis laivas „Akula“, Rusija (Typhoon3.jpg.)

laivas buvo pastatytas 1957–1958 metais. Jungtinės Karalystės pirmasis atominis povandeninis laivas „HMS Dreadnought“ pastatytas 1963 metais. Pirmasis laivas, 1960 m. apiplaukęs pasaulį po vandeniu, buvo JAV karo laivyno atominis povandeninis laivas „USS Triton“. 1959–1960 m. JAV pastatytas balistinėmis raketomis apginkluotas atominis povandeninis laivas „Polaris“. Branduolinį povandeninį laivą labai sunku aptikti, jis gali pradėti netikėtus karo veiksmus bet kurioje pasaulinio vandenyno dalyje (27.13 pav.). Karinių povandeninių laivų vaidmuo karinėse doktrinose yra ypač svarbus, pagrindinė jų paskirtis – būti karine smogiamąja jėga.

LĖKTUVNEŠIAI IR FREGATOS

Lėktuvnešis – tai karinis laivas, nuo kurio denio lėktuvai kyla ir leidžiasi. Lėktuvnešiai yra didelės strateginės reikšmės kariniai jūrų laivai, iš jų lėktuvai gali pasiekti taikinius pačiam lėktuvnešiui liekant tarptautiniuose vandenyse (27.14 pav.). Šie dideli laivai niekada neveikia pavieniui – tik kaip kovinė laivų grupė, kurią sudaro kreiseriai, naikintuvai, fregatos ir povandeniniai laivai, saugantys ir ginantys lėktuvnešį. Šiuolaikiniai lėktuvnešiai gabena kelias dešimtis įvairios paskirties lėktuvų ir sraigtasparnių.



27.14 pav. Lėktuvnešis (USS Enterprise (CVN-80) artist depiction.jpg.)

Laivynų fregatos. Fregata – tai greitas apsaugos ir eskorto karinis laivas. Fregatos saugo didesnius karo laivus, kovoja su povandeniniais laivais, priešo lėktuvais, eskortuoja

prekybinius laivus (27.15 pav.). Laivai ginkluoti zenitiniais-raketiniais kompleksais, suporintais artilerijos pabūklais, giluminėmis bombomis, reaktyvinių bombų svaidyklėmis, priešlaivine gynybos sistema, stambaus kalibro kulkosvaidžiais, laivo įgula ginkluota automatiniais šautuvais.



27.15 pav. D. Britanijos karo laivyno fregata (HMS Somerset (F82).jpg.)

Kreiseris – karo laivų tipas. Istoriškai laikomas mažiausiu laivu, galinčiu vykdyti savarankiškas operacijas. Pirmą kartą paminėtas XVII a. Nyderlanduose. Žvalgybinis kreiseris – XX a. pradžios karo laivų tipas. Šie kreiseriai buvo mažesni, greitesni, lengviau ginkluoti ir šarvuoti nei šarvuotadeniai ir lengvieji kreiseriai, tačiau stambesni už to meto eskadrinius minininkus. Žvalgybinių kreiserių paskirtis – žvalgymas laivyno veiklos zonoje, ginkluotė – 6–10 eskadrinio minininko kalibro (76–120 mm) patrankų ir 2–4 torpediniai aparatai. Šarvuotasis kreiseris – XIX a. pabaigos – XX a. pradžios kreiseris su plokščiu ar išgaubtu (karapaksiniu) šarvuotu deniu, kurio dalį mechanizmų ir artilerijos rūsių dengė šarvai. *Lėktuvnešis kreiseris* turi pakilimo denį ir aviacijos grupę (sraigtasparnius, vertikaliai kylančius orlaivius). Šie laivai skiriasi nuo lėktuvnešių dideliu greičiu ir galinga kreiserine ginkluote.

Lietuva yra įsigijusi dar SSRS pagamintas dvi to paties tipo fregatas – „Aukštaitį“ ir „Žemaitį“. Šiuo metu tai pati mažiausia tokio tipo universali fregata. Laivas turi ginkluotę kovai su antvandeniniais laivais ir oro taikiniais, gali veikti kaip nepriklausomas kovinis vienetas arba būti kovinių laivų divizijos sudėtinė dalis.

NAIKINTUVAI

Naikintuvas – kovos lėktuvas pilotuojamiems ir bepiločiams priešo orlaiviams naikinti. Dar naudojamas antžeminiams (jūrų) taikiniams naikinti ir žvalgybai iš oro. Skirstomi į lengvuosius ir sunkiuosius: lengvieji naikintuvai manevringesni ir greitesni, o sunkieji naikintuvai yra geriau apsaugoti šarvais ir



27.16 pav. Naikintuvas (Mirage 2000C in-flight 2 (cropped).jpg.)



27.17 pav. Bombonešis „B-2 Spirit stealth“, JAV (US Air Force B-2 Spirit.jpg.)

ginkluote, tačiau dėl masės praranda dalį greičio ir vikrumo. Į 15 000 m aukštį gali pakilti per 5 min. ir greičiau, aukščio riba – apie 20–25 km. Ginkluoti automatinėmis patrankomis, valdomomis įvairaus tipo raketomis, reaktyviniais sviediniais, turi radiolokacinius taikymo įrenginius (27.16 pav.). Pradėti naudoti per Pirmąjį pasaulinį karą.

JAV oro pajėgos naudoja viršgarsinį „nematomą“ orlaivį, galintį pasiekti 6 400 km/h greitį ir maždaug 30 km skrydžio aukštį (27.17 pav.). Šio lėktuvo techninės charakteristikos pranoksta 1964–1998 m. naudoto slapto JAV žvalgybos lėktuvo „SR-71“ charakteristikas (orlaivio didžiausias greitis buvo 3 540 km/h, o skrydžio aukštis – apie 25,7 km). Greičiausio civilinio viršgarsinio lėktuvo „Concorde“ greitis buvo 2 200 km/h, o skrydžio aukštis – 18 km.

ELEKTROMAGNETINIAI GINKLAI

Šio ginklo veikimo būdas paprastas – užtaisas iššaunamas veikiant magnetiniam laukui, kurį sukuria didelis kiekis elektros energijos, pats įrenginys sprogstamųjų medžiagų neturi. Užtaisai skrenda net 10 tūkst. km/h greičiu (septynis kartus greičiau už garsą). Iššaunamas užtaisas sveria vos keliolika kilogramų ir neturi sprogstamosios galvutės, bet taikiniui sunaikinti užtenka jo paties kinetinės energijos. Tokie užtaisai gali pataikyti į labai toli esančius taikinius, todėl ginklas pirmiausia skirtas objektams sausumoje naikinti,

taip pat priešlėktuvinei ir priešraketiniai gynybai. Kol kas didžiausia problema – šūviui reikalingas didžiulis elektros energijos kiekis.



27.18 pav. Tarpžemyninė balistinė raketa (Titan II launch.jpg.)

BALISTINĖS RAKETOS

Ši raketa didelę dalį skrydžio skrieja balistine trajektorija neveikiant varikliui. Trumpesnių nuotolių balistinės raketos skrieja Žemės atmosferoje, didesnių nuotolių raketos dalį trajektorijos skrieja virš atmosferos (27.18 pav.). Tarpžemyninių balistinių raketų skrydžio trajektoriją sudaro trys tarpsniai: variklinis skrydis, laisvasis skrydis ir grįžtamasis skrydis. Laisvojo ir grįžtamojo skrydžių tarpsniai sudaro raketos skrydžio balistinę trajektoriją. Vidutinio ir didesnių nuotolių balistinės raketos paprastai skirtos branduoliniams užtaisams gabenti. Balistinės raketos dažnai skirstomos pagal veikimo spindulį:

– taktinės balistinės raketos, veikimo spindulys nuo 150 iki 300 km;

– mūšio lauko balistinės raketos, veikimo spindulys iki 100 km;

– karo teatro balistinės raketos, veikimo spindulys nuo 300 iki 3 500 km;

– mažo nuotolio balistinės raketos, veikimo spindulys nuo 300 iki 1 000 km;

– vidutinio nuotolio balistinės raketos, veikimo spindulys nuo 1 000 iki 3 500 km;

– tarpinio nuotolio balistinės raketos, veikimo spindulys nuo 3 500 iki 5 500 km;

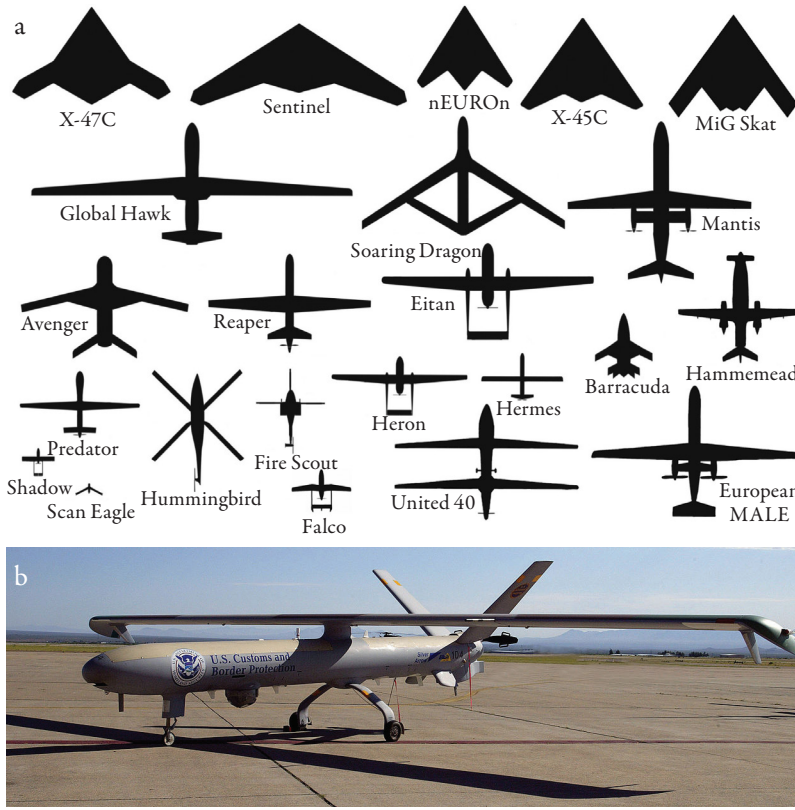
– tarpžemyninės balistinės raketos, veikimo spindulys didesnis nei 5 500 km;

– povandeninio starto balistinės raketos.

Iš viso per 30 valstybių ginkluotės arsenale turi balistinių raketų.

BEPILOČIAI ORLAIVIAI

Bepilotis orlaivis – autonomiškai arba nuotoliniu būdu valdomas orlaivis be įgulos (27.19 pav.). Bepiločiai orlaiviai skirstomi į kovos ir žvalgybos, jie būna įvairių dydžių, formų, konstrukcijų. Kovos bepiločiai orlaiviai skirti antžeminiams ir jūrų taikiniams naikinti (sparnuotoji raketa, sklandytuvas su koviniu užtaisu, bepilotis nuotolinio valdymo orlaivis ir kt.) Jų veikimo

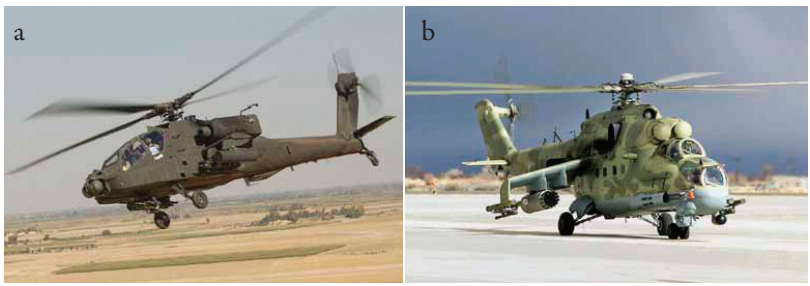


27.19 pav. Bepiločiai orlaiviai: a – įvairios bepiločių orlaivių konstrukcijos (UAV Comparison.jpg.), b – „Hermes-450“ (Hermes 450.jpg.)

nuotolis – nuo kelių dešimčių iki kelių tūkstančių kilometrų, skrydžio aukštis – nuo 50–100 m iki 25–30 km, greitis – nuo ikigarsinio iki viršgarsinio. Leidžiami iš antžeminių leidimo įrenginių, laivų ir lėktuvų. Turi specialią įrangą, kuri sudaro galimybes dieną ir naktį fotografuoti, stebėti radiolokacijos metodais ir kt. Sparnuotosios raketos nelaikomos bepiločiais orlaiviais – nors jos neturi įgulos ir kai kuriais atvejais yra valdomos nuotoliniu būdu, pačios yra vienkartiniai ginklai.

KARINIAI ATAKOS SRAIGTASPARNIAI

Sraigtasparniai – tai orlaiviai, kurie gali būti civilinio transporto priemone, gelbėjimo, evakuacijos ar sienos apsaugos tarnybų įrankiu ir karinės paskirties priemone. Atakos sraigtasparnio pagrindinė paskirtis yra žemės taikinių naikinimas (27.20 pav.). Dažniausi taikiniai – gyvoji jėga, tankai, pastatai. Įprasta atakos sraigtasparnių ginkluotė yra kulkosvaidžiai, automatinės patrankos, valdomos ir nevaldomos raketos. Kartais jie būna ginkluoti ir oras–oras raketomis, tačiau dažniausiai tik savigynai. Sraigtasparniai mūšiuose naudojami jau seniai, tačiau pirmus specializuotus atakos sraigtasparnius („AH-56 Cheyenne“ ir „AH-1 Cobra“) pagamino JAV karui Vietname. Rusija kovinėms operacijoms naudoja sraigtasparnius „Ka-52“ ir „Mi-24“ (eksportinė versija „Mi-35“). Prancūzijoje sukurtas „Eurocopter X3“ pasiekė 487 km/val. greitį. Planuojama, kad apie 2025 m. tokie sraigtasparniai skraidins 30–40 keleivių.



27.20 pav. Koviniai sraigtasparniai: a – „AH-64 Apache“, JAV (AH-64D Apache Longbow.jpg.), b – „Mi-24“, Rusija (Mi-24 Desert Rescue.jpg.)

KARINIAI ROBOTAI

Kariniai robotai yra autonominiai ir nuotoliniu būdu valdomi robotai arba kariniams tikslams sukurtos robotų sistemos. Jau sukurti egzoskeletai, išminavimo robotai, nepilotuojamos kovinės žemės ir oro transporto mašinos, nepilotuojamos autonominės povandeninės transporto priemonės. Kariniai robotai atsirado Antrojo pasaulinio karo metu (vokiečių vikšrinis „Goliath“) (27.21 pav.). XX a. 4 dešimtmetyje SSRS kūrė nuotoliniu būdu kontroliuojamus teletankus. 1941 m. į mūšį prieš vokiečius ji išsiuntė du batalionus tokių tankų.



27.21 pav. Britanijos kareiviai prie užgrobtų nuotoliniu būdu valdomų Vokietijos „Goliath“ naikinimo mašinų, 1944 m. (Mini-tanks-p012953.jpg.)

Dabartiniu metu kuriami robotai turės galimybę šaudyti, juose įdiegtos sistemos sugebės pačios organizuoti puolimą. Šie robotai turi kameras, radarus, tolimačius, kovinius ginklus, gali judėti beveik 50 km/val. greičiu (27.22 pav.). Autonominių ginklų kūrimas gali sukelti naujas ginklavimosi lenktynes, panašias į tas, kurias sukėlė atominių bombų kūrimas. Tokie ginklai sumažintų pavojų kariams ir



27.22 pav. Šiuolaikiniai kariniai robotai (Foster-Miller TALON SWORDS.jpg.)

politinę riziką pradėti karą, tačiau gali paskatinti naujus karinius konfliktus. Autonominius ginklus turėtų tik technologiškai labiausiai pažengusios šalys, bet juos galima pagrobti ir nukreipti prieš šeimininkus ar civilius asmenis. Tokie ginklai gali patys sukurti ar eskaluoti ginkluotus konfliktus prieš žmonių valią.

APIE ORO PAVOJŲ IŠ ANKSTO ĮSPĖJANTYS IR JĮ KONTROLIUOJANTYS ORLAIVIAI

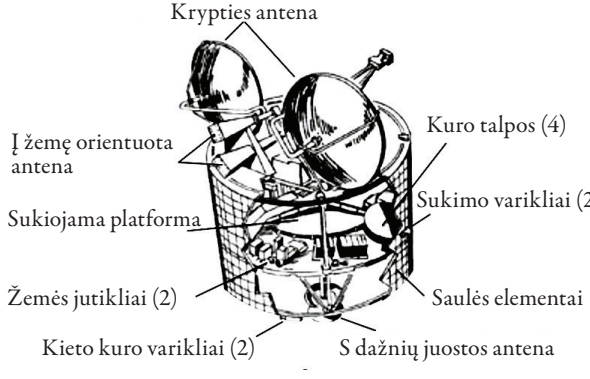
Šie orlaiviai sukurti XX a. 8 dešimtmetyje. Koviniai naikintuvai pajėgūs skraidyti gerokai žemiau, negu sugeba užfiksuoti antžeminiai radarai, todėl reikėjo sukurti aukštai skraidantį lėktuvą, sugebantį užfiksuoti „po savimi" bet kokiame aukštyje skrendančius orlaivius ir operatyviai informuoti atitinkamas tarnybas žemėje apie pastebėtus oro erdvės pažeidėjus. Virš lėktuvo fiuzeliažo sumontuota aptaki „lėkštė" – radaras – apžvelgia oro erdvę 360 laipsnių aprėptimi (27.23 pav.). Priklausomai nuo skrydžio aukščio lėktuvas gali stebėti oro erdvę 320 km spinduliu. Radaras gali vienu metu aptikti, atpažinti ir sekti objektus (orlaivius) virš sausumos ir jūros – šios užduoties dėl įvairių priežasčių negali įgyvendinti sausumoje dislokuoti radarai, taip pat gali būti naudojamas paieškos ir gelbėjimo operacijose, karinėse gynybos ir puolimo operacijose.



27.23 pav. Apie oro pavojų iš anksto įspėjantys ir jį kontroliuojantys orlaiviai (JAV): a – „Boeing E-3 Sentry" (weaponsparade.com/weapon/boeing-e-3-sentry/), b – „E-2 Hawkeye" (US Navy 090713-N-2798I-005 An E-2C Hawkeye assigned to the Greyhawks of Carrier Airborne Early Warning Squadron (VAW) 120 flies over Jacksonville, Fla.jpg.)

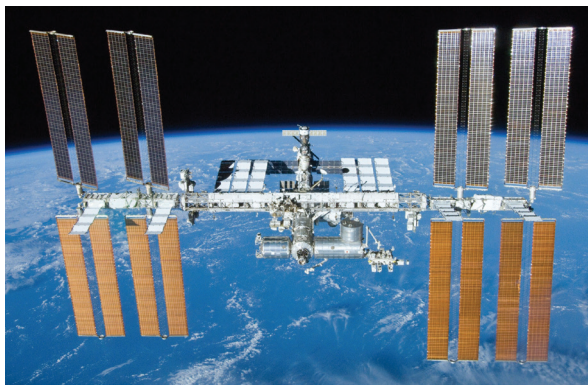
PASAULINĖ GYNYBINIO PALYDOVINIO RYŠIO SISTEMA

Gynybos palydovų ryšių sistema teikia ryšių paslaugas kariuomenei, jos aukščiausiai vadovybei (27.24 pav.), oro pajėgų terminalams, uostuose ar jūrose esantiems karinio jūrų laivyno laivams, aukščiausiems valstybių valdymo organams. Tokias sistemas turi JAV, Kinija, Rusija, o tam tikrus jos elementus naudoja daugybė šalių. Karo kosmose perspektyva nėra naujiena. JAV priešpalydovinės ginkluotės bandymus pradėjo XX a. 6 dešimtmečio gale. Palydovai tapo sudėtingos sistemos, anksti įspėjančios apie antžeminių branduolinių ginklų paleidimą ar panaudojimą, dalimi. SSRS kūrė ir bandė savaime detonuojančius kosminius zondus, galėjusius aptikti ir sunaikinti JAV palydovus šrapnelių kruša. Devintajame dešimtmetyje sukurtos orbitinės priemonės prieš tarpkontinentines balistines raketas. 1985 m. JAV naikintuvas „F-15“ raketa numušė sugedusį JAV palydovą žemojoje Žemės orbitoje. Be priešpalydovinių raketų, yra ir kitų būdų sugadinti ar sunaikinti palydovus. Prie palydovo prisiartinęs zondas gali paprasčiausiai užpurkšti dažais jo optinius prietaisus, nulaužti komunikacijų antenas ar destabilizuoti jo orbitą. Lazeriais galima išjungti ar sugadinti palydovo komponentus, ypač – jo jautrius jutiklius, o radijo bangos ar mikrobangos gali sugadinti ryšį su antžeminiais kontrolieriais. Dabar



27.24 pav. Ryšių palydovo konstrukcija

situacija daug sudėtingesnė. Žemosios ir aukštosios Žemės orbitos tampa intensyvios mokslinės ir komercinės veiklos sritimi, jose skrieja šimtai maždaug 60-ies šalių palydovų. Apie 1 300 aktyvių palydovų suka aplink planetą ankštoje orbitų pynėje, tiekdami pasaulinės komunikacijos, GPS navigacijos, orų prognozių ir planetos stebėjimo paslaugas. 2007 m. Kinija paleido raketą, sunaikinusią vieną iš jos orų palydovų žemojoje orbitoje, ir užteršė kosminę erdvę tūkstančiais smulkių šiukšlių. 2013 m. Kinija nusiuntė raketą į 30 000 km aukštį – prie strateginių geosinchroninių palydovų saugaus skriejimo zonos. Kaip atsaką JAV sukūrė Geosinchroninę įspėjimo programą, keturių palydovų masyvą, galintį stebėti aukštas Žemės orbitas ir netgi susitikti su kitais palydovais, kad galėtų juos apžiūrėti iš arčiau. Europos Sąjunga siūlo patvirtinti tinkamo elgesio „normas“ sukuriant savanorišką Tarptautinį kosmoso erdvės kodeksą. Kosmoso aplinka turi būti saugoma kaip pasaulinė vertybė, panašiai kaip Žemės vandenynai ir atmosfera. Nuo 2000 m. aplink Žemę sukasi Tarptautinė kosminė stotis, kurioje jau pabuvojo ne tik astronautai, bet ir kosmoso „turistai“ (27.25 pav.). Pirmuoju už tokią kelionę į kosmosą sumokėjusiu turistu tapo amerikietis inžinierius ir verslininkas Dennis Tito, 2001 m. praleidęs kosmose 7 dienas ir per tą laiką apskriejęs Žemę 128 kartus. „SpaceX“ bendrovė (JAV) planuoja į Mėnulio orbitą pasiųsti erdvėlaivį „Dragon 2“ su kosmoso turistais.



27.25 pav. Tarptautinė kosminė stotis (International Space Station after undocking of STS-132.jpg.)

28 SKYRIUS
TECHNOLOGIJŲ PLĖTRA ARTIMIAUSIOJE ATEITYJE

Per šimtmečius mokslinė ir technologinė pažanga vienose srityse buvo labai stipri, kitose silpnesnė, o kai kuriose beveik nevyko visai. Yra sričių, kuriose ir ateityje galima tikėtis naujų pažangių laimėjimų, tačiau juos pasiekti bus vis sunkiau. Kai prieš 75 tūkstančius metų Sumatros saloje išsiveržęs Tobos ugnikalnis sukėlė pasaulinį klimato atšalimą, arba vadinamąją vulkaninę žiemą, ir ledynmečių pradžią, žmonių skaičius planetoje sumažėjo iki 20 000 individų. Nuo to laiko žmonių populiacija išaugo iki 7,3 mlrd. individų, tai yra gyventojų plėtros sparta prilygo koeficientui $4 \cdot 10^5$ (Ambrose 1998).

Pasaulio bėgimo rekordininkas, bėgdamas 100 m, yra pasiekęs 45,7 km/h greitį. Astronautas, skridęs „Apollo 10“ kapsule, jos grįžimo į Žemės atmosferą metu judėjo 39 897 km/h greičiu, tai yra judėjimo greičio pažanga prilygo koeficientui $1 \cdot 10^3$.

Nustatyta, kad žmogaus smegenys gali atlikti tik dvi sąmoningas skaičiavimo operacijas per sekundę. Šiuolaikinis sparčiausiai skaičiuojantis kompiuteris gali atlikti $93 \cdot 10^{15}$ operacijų per sekundę. Šioje srityje pasiektos pažangos koeficientas prilygsta $5 \cdot 10^{16}$ (Möller, Vuik 2017).

Tiriant pirmykštes bendruomenes, medžiotojų-rinkėjų socialinius tinklus nustatyta, kad žmogus vienu metu gali bendrauti su maždaug 300 žmonių. Naudodamasis mobiliojo ryšio technologijomis šiandien žmogus iš esmės gali pasiekti visus kitus žmones planetoje. Bendravimo pažanga prilygsta koeficientui $2 \cdot 10^7$ (Hamilton et al. 2007).

Istoriškai žmonės daugiausia gamino energiją degindami medieną. Degdama mediena sukuria apie 16,2 MJ/kg energijos. Modernioje atominėje jėgainėje 1 kg urano U-238 arba plutonio Pu-239 gali generuoti 80 620 000 MJ energijos. Energijos gamybos efektyvumas padidėjo $5 \cdot 10^6$ karto (https://whatisnuclear.com/physics/energy_density_of_nuclear.html).

Saugomos informacijos tankis matuojamas informacijos bitų kiekiu, kuris gali būti saugomas tam tikro ilgio, paviršiaus ploto arba kompiuterinės laikmenos tūrio vienete. Ant 6,45 cm^2 ploto akmens paviršiaus gali būti išgraviruota, ant popieriaus užrašyta apie 10 bitų informacijos. 2016 m. sukurtos juostelės 6,45 cm^2 ploto paviršiuje tilpo 148 gigabaitai (Gb) informacijos. Dar 2010 m. naudotoje laikmenoje tilpo 5 kartus mažiau informacijos. Taigi saugomos informacijos tankio didėjimo koeficientas siekia $1 \cdot 10^{10}$ (http://www.bbc.com/news/technology-27282732).

Medžiotojų-rinkėjų bendruomenėse vieno individo išgyvenimui reikėjo apie 2 590 h žemės ploto. Norint išmaitinti žmonių populiaciją 25 aukščiausio maistinio kaloringumo augalams visame pasaulyje reikia $1 \cdot 10^9$ ha dirbamos žemės (2008 m. FAOSTAT duomenys). Maždaug 1 mlrd. ha plotas gali išmaitinti apie 10 mlrd. žmonių, arba 1 ha plotas gali išmaitinti apie 10 žmonių. Praeities ir dabarties maisto gamybos pažangos koeficientas yra apie $3 \cdot 10^4$ (http://www.gardeningplaces.com/articles/global-food-crisis.htm).

Pietryčių Anatolijos regiono (Turkija) archeologinių kasinėjimų vietovėje Göbekli Tepe surastų pastatų aukštis siekė ~15 metrų. Prieš 10–8 tūkst. m. pr. m. e. statyti du ritualinės paskirties pastatai yra laikomi seniausiais išlikusiais žemėje (https://en.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6bekli_Tepe). Saudo Arabijoje statomo Džidos dangoraižio (turėtų būti pastatytas 2024 m.) aukštis sieks 1 000 m, Saulės svajonės dangoraižis Indijoje – 1 200 m, bioninis dangoraižis Kinijoje – 1 228 m, Nakheel dangoraižis Dubajuje – 1 500 m, Svajonių dangoraižis Tokijo mieste – 1 700 m (https://en.wikipedia.org/wiki/Jeddah_Tower). Naujieji statiniai lenks senovės pastatų aukštį apie 66–113 kartų.

Vidutinė medžiotojų-rinkėjų gyvenimo trukmė buvo apie 30 metų. Šiuolaikinės Japonijos gyventojų vidutinė gyvenimo trukmė yra apie 84 metai. Vidutinė gyvenimo trukmė pailgėjo 3 kartus, tačiau atskirų individų gyvenimo trukmė senovėje ir dabar beveik nesiskiria. Istoriniai šaltiniai rodo, kad ir prieš 2000 metų kai kurie individai gyveno ilgiau negu 80 metų (http://www.livescience.com/10569-human-lifespans-constant-2-000-years.html (2009). Taigi atskiro individo gyvenimo trukmės pažangos

koeficientas yra beveik nulinis, nors visa medicinos pažanga vidutinę gyvenimo trukmę pailgino.

Pasiektą įvairių technologijų pažangą galima išdėstyti tokiu eiliškumu: skaičiavimo sparta, informacijos saugojimo tankis, komunikavimo mastas, energijos gamyba, gyventojų skaičiaus augimas, maisto gamybos intensyvumas, žmogaus judėjimo greitis, statinių aukštis, gyvenimo trukmės pokytis (medicinos pasiekimai) (Betz 2018).

Pasaulyje nuolat auga įtampa dėl mažėjančių gamtinių išteklių ir didėjančios aplinkos taršos. Žmonija neturi kito pasirinkimo – tik pereiti prie efektyvaus išteklių naudojimo ir atsinaujinančios (regeneratyvinės) ekonomikos. Ekspertai sutinka, kad jei iki 2050 m. išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų, ypač anglies dvideginio (CO_2), kiekis nebus sumažintas 50–80 %, poveikis visuotiniam atšilimui bus negrįžtamas ir žmonijai pražūtingas. Pavyzdžiui, cemento pramonė, kuri yra viena pagrindinių anglies dioksido gamintojų, sukuria iki 5 % visų išmetamų CO_2 dujų, iš kurių 50 % susidaro cheminių procesų metu, o 40 % – deginant gamybai reikalingą kurą. Cemento gamyba prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo tiesiogiai, kai šildomas kalcio karbonatas skyla į kalkes ir anglies dioksidą, ir netiesiogiai – deginant gamybos metu iškastinį kurą. Taršių gamybos technologijų yra ir daugiau, kad ir juodųjų metalų gavyba iš rūdų. Čia irgi deginamas iškastinis kuras, o geležies rūdų redukavimo metu susidaro daug CO_2 dujų. Daugiausiai, net 41 %, CO_2 dujų į atmosferą išmeta iškastinį kurą deginančios elektrinės. Iki 2050 m. energijos paklausa išaugs dvigubai ir iššūkis technologijoms bus didžiulis. Reikalingi greiti, kompleksiniai sprendimai, nes nė vienas atskiras sprendimas nesumažins išmetamų CO_2 dujų kiekio iki reikiamo lygio. Siekiant ženkliai sumažinti CO_2 dujų emisiją, reikia plėsti atsinaujinančius energijos šaltinius, efektyviau naudoti energiją, diegti CO_2 dujų surinkimo bei ilgalaikio saugojimo technologijas. Jei CO_2 dujų ilgalaikio saugojimo technologijos bus naudojamos visuose pramonės sektoriuose, iki 2050 m. išmetamų CO_2 dujų kiekis gali sumažėti daugiau negu 50 %.

Pramoninės veiklos grandinėse nauji radikaliai patobulinti gamybos procesai, labiau taupantys energijos, mineralinius išteklius ir mažinantys CO_2 emisiją, visuomenės požiūriu yra labai svarbūs. Išspręsti šias problemas galima

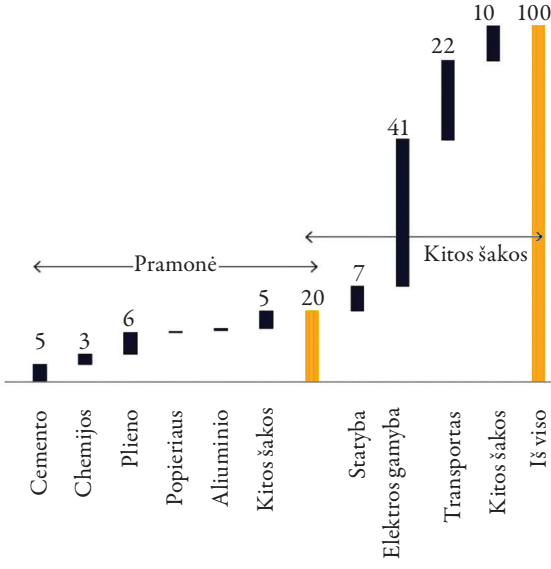
tik sukūrus naujus, išmaniuosius, technologinius procesus ir didesnės vertės gamybos produktus. Pažangūs technologiniai procesai turi:

1. Efektyviau naudoti (mažinti) energiją ir kitus išteklius net ir esamame įdiegtame technologiniame procese.

2. Pakartotinai panaudoti gamybos atliekas ir energiją tuose pačiuose gamybos sektoriuose ir tarp jų, gerinti atliekų pakartotinį panaudojimą, gamybos atliekų utilizavimą ir perdirbimą.

3. Keisti įprastas žaliavas į naujas ar atsinaujinančias (pvz., biologinės kilmės), siekiant mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro ir mineralinių žaliavų. Tai padėtų sumažinti CO_2 emisiją ir padidintų pirminių žaliavų naudojimo efektyvumą. Neefektyvius procesus pakeitus naujais būtų sutaupoma energijos ir mineralinių išteklių, padidėtų gamybos tvarumas (28.1 pav.).

4. Sukurti naujas medžiagas ir produktus, kurie prisidėtų prie efektyvesnio išteklių ir energijos naudojimo (perdirbamų atliekų integravimas, tai yra jų perdirbimas ar pakartotinis naudojimas), medžiagų savybių tobulinimas,



28.1 pav. Pasaulinis išmetamo CO_2 kiekis (%) pagal veiklos sektorius

pavyzdžiui, jų lengvinimas (mažesnės transporto priemonės degalų sąnaudos) ar geresnės izoliacinės savybės (tinkamesnės energiją taupantiems pastatams).

Du svarbiausi tikslai taupant išteklius iki 2030 m. būtų efektyvesnės energetikos sektoriaus plėtra ir efektyvesnis mineralinių išteklių naudojimas. Pasaulio energetikos rinką veikia daugybė veiksnių – klimato kaitos iššūkiai, naftos ir dujų atsargų mažėjimas, iškastinio kuro kainų didėjimas ir sunkiai nuspėjami tiekimo svyravimai, didelės CO_2 taršos leidimų kainos. Stipri vėjo energetikos sektoriaus plėtra reikštų ne tik mažesnę CO_2 dujų emisiją, bet ir švaresnį orą, saugesnę biologinę įvairovę, tvaresnį ekonomikos augimą, mažesnę priklausomybę nuo energijos importo, aukštesnės kokybės darbo vietas, technologijų plėtrą ir didesnį pasaulinį konkurencingumą. Iki 2030 m. 30 % sumažinti iškastinio kuro panaudojimą būtų įmanoma plečiant kogeneracinę elektros ir šilumos gamybą, intensyvinant energijos gamybos procesus, diegiant naujus energijos taupymo būdus, efektyviau panaudojant energiją, išnaudojant alternatyvius atsinaujinančios energijos gamybos šaltinius.

Mineralinių išteklių prieinamumas yra labai svarbus konkurencingos ir naujovėmis grįstos ekonomikos veiksnys. Mineralinių medžiagų pramonė apima rūdas, iš jų gaminamus metalus, medžiagas cementui ir įvairioms statybinėms medžiagoms, iškastinį kurą (akmens anglį, durpes, naftą, dujas). Šių medžiagų prieinamumas gyvybiškai svarbus šalių ekonomikai ir socialinei gerovei. Neatsinaujinančių žaliavų panaudojimą sumažinti 20 % iki 2030 m. įmanoma didinant cheminę ir fizinę žaliavų transformacijos išeigą, plačiau naudojant pirminių žaliavų perdirbimo atliekas ir atsinaujinančias žaliavas. Tam gali prireikti sudėtingesnių ir naujoviškai perdirbtų žaliavų.

Labai svarbu diegti ekonomiškai efektyvias energijos saugojimo priemones, išnaudoti atsinaujinančius energijos šaltinius, naudą galėtų teikti gamybos ar buitinės atliekos. Tam reikėtų plėtoti energiją saugančių baterijų, kuro elementų, didelės talpos kondensatorių technologijas, vietos sąlygoms pritaikyti naujus terminius-cheminius energijos saugojimo ar naudojimo būdus. Svarbi veiklos kryptis yra atsinaujinančios energijos generavimas efektyvesnėmis fotoelektros technologijomis. Kai kurios iš šių technologijų netiesiogiai, efektyviau panaudojant išteklius (išmanieji elektros perdavimo tinklai,

pastatų šildymas / vėsinimas, elektrinis transportas ir kt.), bus pritaikytos energetikos, transporto, statybos sektoriuose.

Ličio jonų baterijos yra populiarus nešiojamų elektroninių prietaisų maitinimo šaltinis, tačiau jų nepakanka pramonei ar automobiliams. Kitiems energijos saugojimo sprendimams (pvz., cheminiam saugojimui) reikės sukurti naujas medžiagas. Tai galėtų būti neorganinės kintančių fazių medžiagos, skirtos darbui aukštoje temperatūroje, aukštatemperatūrės (pvz., >800 °C) didelės šiluminės talpos medžiagos ir kintančių fazinių virsmų organinės ar polimerinės medžiagos. Kol kas dar neišspręstas vandenilio (H_2) saugojimas – ieškoma naujų medžiagų (pvz., anglies nanovamzdeliai) ir būdų. Kita kryptis – energetiškai efektyvesnių procesų paieška. Daug dirbama kuriant neorganinius (LED) ir organinius (OLED) šviesos diodus, tvarias kompozitines (biologines ir nebiologines), termoelektrines medžiagas. Pavyzdžiui, statybose gali būti naudojamos termoelektrinės stogo čerpės, energiją kaupiantys ir saugantys molio blokai, lengvas, itin stiprus betonas, lengvos statybinės kompozitinės medžiagos. Energetikos sektoriuje svarbu plėtoti vėjo energijos konversijos į elektros energiją jėgaines.

Ieškoma būdų, kaip efektyviau panaudoti energiją didelės apimties gamybos procesuose. Kaip pavyzdį verta paminėti:

- plieno gamyboje, net esant dabartinėms gamybos technologijoms, energijos naudojimo efektyvumas gali būti padidintas 20–30 %;
- garo tiekimo ir vidaus degimo variklių sistemų patobulinimas energijos panaudos efektyvumą padidintų 15–30 %;
- kombinuota šilumos ir elektros energijos gamyba gali sutaupyti 10–30 % kuro;
- efektyvesnės džiovinimo ir dujinimo technologijos gerokai sumažintų energijos poreikį popieriaus gamyboje iš celiuliozės;
- biomasės panaudojimas ir didesnio kiekio plastikinių atliekų perdirbimas ženkliai sumažintų CO_2 dujų emisiją.

Keliose pramonės šakose gali būti surenkamas ir saugomas milžiniškas kiekis CO_2 dujų. Šie skaičiai ypač dideli cheminių medžiagų, cemento, geležies ir plieno gamyboje. Veiksmingiausia būtų CO_2 dujas konvertuoti į chemines kuro atsargas, taip sukuriant pridėtinę vertę, o ne šiltnamio efektą didinančias atliekas. Tokios technologijos jau kuriamos. Ištirpusios vandenyje

CO_2 dujos sukuria rūgščią terpę, kuri veikia kaip elektrolitas. Tokia baterija mažina ištirpusio CO_2 kiekį vandenyje. Ši hibridinė Na-CO_2 sistema yra panaši į kuro celę. Ją sudaro katodas (metalinis natris), skyriklis (membrana) ir anodas (katalizatorius). Priešingai kitų rūšių baterijoms, katalizatorius laikomas vandenyje ir yra sujungtas švino laidininku su katodu. CO_2 patekus į vandenį, prasideda cheminė reakcija, kurios metu gaminama elektros srovė, išskiriamos H_2 dujos ir susidaro $NaHCO_3$. Tokios baterijos veiksmingumas siekia 50 %.

Kai kurių naujovių galimą poveikį iliustruoja šie keli pavyzdžiai:

• Tvarus biomasės tankio ir sudėties balansas išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, palyginti su iškastiniu kuru, sumažintų daugiau kaip 50–70 %.

• Palyginti su įprasta aukštakrosne, ULCOS (*Ultra Low CO_2 steelmaking*) tipo aukštakrosnių, turinčių CO_2 dujų surinkimo ir laidojimo (sekvestracijos) sistemas, CO_2 dujų emisija sumažėja 50 %, o metalo gamybai reikalingo iškastinio kuro kiekis sumažėja 15 %.

• Cemento gamyboje panaudojus magnezinį klinkerį, CO_2 dujų emisija sumažėja beveik iki nulio; proceso metu CO_2 dujos karbonizuojamos, todėl nebereikia jų išskirti iš kitų dujų ir laidoti.

• Cemento gamyboje naudojant biomasę ir gamtines dujas išmetamų CO_2 dujų kiekis sumažėja 35 %.

• Metalų gamybos procese naudojant elektrolizę galima visiškai atsisakyti iškastinio kuro. Inertinių anodų naudojimas aliuminio elektrolizės procese gali 10–20 % sumažinti elektros energijos sunaudojimą (nuo 13 iki 11 kWh/kg aliuminio). Be sutaupytos elektros energijos, naftos ir anglies sunaudojimas būtų sumažintas iki 18 GJ vienai tonai aliuminio, nes procese nebūtų naudojami anglies anodai.

Metiniai korozijos nuostoliai JAV naftos perdirbimo pramonėje sudaro 3,7 mlrd. JAV dolerių, chemijos pramonėje – 1,7 mlrd. JAV dolerių, o celiuliozės ir popieriaus gamyboje bei perdirbimo pramonėje – 5,9 mlrd. JAV dolerių. Korozijos nuostolių sąnaudų sumažinimas 10 %, naudojant geresnės kokybės medžiagas, šiose trijose pramonės šakose kasmet padėtų sutaupyti 1,1 mlrd. JAV dolerių. Šiuo metu pasaulyje kasmet sunaudojama 693,8 mln. tonų aliuminio. Gaminant aliuminį per vienerius metus perdirbama 11 mln.

tonų atliekų (laužo). Naudojant antrinį aliuminį kaip žaliavą, taupomos žaliavos (boksitai), o sunaudojamos energijos poreikis sumažėja 95 %.

Ateityje vienas didžiausių iššūkių pasaulinei bendruomenei bus konkurencija dėl vandens. Ši konkurencija bus ypač negailestinga didelės urbanizacijos ar labai industrializuotose teritorijose. Teritorijose, kuriose visą laiką trūksta ar anksčiau niekada nebuvo pakankamai vandens, gali būti labai naudingos membraninės vandens gavybos technologijos. Moksliniai tyrimai rodo, kad vanduo gali būti sėkmingai išgautas iš augalų perdirbimo įmonių kaminų ir kad šis vandens gavybos būdas yra parengtas didelio masto pramoniniam naudojimui. Naudojant membranines technologijas, mažiausiai 40 % pramonės įmonių (maisto produktų gamybos ir perdirbimo, popieriaus, cemento, plieno, naftos chemijos) kaminais išmetamo vandens gali būti sugrąžinama naudojimui. Išgautas nemineralizuotas vanduo būtų tinkamas pramoninėms reikmėms arba žemės ūkyje, o po mineralizavimo net buitiniam naudojimui. Energijos taupymo mastai, naudojant šias technologijas, gali būti didžiuliai.

Netrūksta problemų ir statybų sektoriuje. Socialiniai pokyčiai (senėjimas, didėjantis gyventojų skaičius) statyboms kelia vis didesnius komforto, saugumo, mobilumo reikalavimus. Antra vertus, nauji statybų projektai kelia didelius iššūkius medžiagoms, projektavimui, pačiai statybai. 163 aukštų Burdž Chalifa dangoraižis Dubajuje (Jungtiniai Arabų Emyratai) pasiekė 828 m aukštį. Planuojami ir projektuojami net 1 700 m aukščio pastatai. Europos Sąjungoje pastatų ūkiui sunaudojama apie 40 % visoms reikmėms sunaudojamos energijos.

Ateities gamybos produktų konkurencingumas tikriausiai bus grindžiamas pažangiomis integruotomis sistemomis, kurios apims visas produkto kūrime naudotas technologijas, pagaminto produkto kokybines charakteristikas ir jų nuolatinį gerinimą. Šios sistemos dažnai yra labai sudėtingos, tinklinio veikimo, energetiškai savarankiškos, nedidelės ir labai patikimos. Pažangių sistemų integracija yra nukreipta į mažų matmenų, tarpusavyje sąveikaujančių daugiafunkcių įrenginių kūrimą. Taigi gebėjimas miniatiūrizuoti ir integruoti išmanias funkcijas į tradicinius ir naujus gaminius ar medžiagas bus vienas ambicingiausių pramonės uždavinių.

Medžiagos mus supa visur. Jos yra šiuolaikinės buities ir žmonijos gerovės pagrindas. Šiandien pažangiųjų inžinerijos medžiagų ir technologijų pramonė susiduria su daugeliu nelengvų iššūkių, nes reikia prisitaikyti prie vis griežtėjančių aplinkosaugos teisės aktų, medžiagų ir produktų perdirbimo reikalavimų, didėjančių energijos ir žaliavų kainų.

Moderni ekonomika yra sunkiai įsivaizduojama be plieno produktų. Traukiniai, laivai, automobiliai, metalo apdorojimo, naftos perdirbimo, chemijos ar farmacijos, statybinių medžiagų ir kt. įmonių mašinos ir įrenginiai gaminami daugiausia iš plieno. Šiandien plieno gamybos sektorius susiduria su daugybe iššūkių, tokių kaip didėjanti globalizacija ir pasaulinė plieno gamybos konkurencija, gyventojų skaičiaus augimas, urbanizacija, gamtinių išteklių išeikvojimas ir klimato kaita. Siekdama išlaikyti savo konkurencingumą plieno pramonė turės tenkinti ne tik ekonominės plėtros keliamus uždavinius, bet ir atitikti vis griežtesnius aplinkosaugos reikalavimus. Plieno gamybos pramonė savo kelią pradėjo Europoje, dabar didžiausi plieno gamintojai yra Kinija ir Indija.

Nuolat vyksta geresnių savybių medžiagų kūrimas. Zentallium® yra nauja mechaniškai legiruota, labai stipri kompozitinė medžiaga iš aliuminio pagrindo matricos ir anglies nanovamzdelių. Gaminama miltelių metalurgijos būdu. Medžiagai būdinga nanostruktūrinė Al-matricos mikrostruktūra, kurios grūdelių dydis gerokai mažesnis negu 100 nm. Zentallium® yra stipresnis už nerūdijantį plieną ir prilygsta konstrukcinio plieno stipriui (700–1 000 MPa). Palyginti su aliuminio lydiniais, šios medžiagos elastingumas didesnis 20–30 %. Anglies nanovamzdeliai stabilizuoja lydinio savybes iki 240 °C temperatūros, o tai yra labai vertinga komerciniams aliuminio lydiniams.

Atsikuriančios medžiagos – tai medžiagos, galinčios panaikinti smūgio, dilimo, korozijos, nusidėvėjimo, ugnies ar ledo sukeltus pažeidimus ar defektus. Tokios medžiagos būtų paklausios chemijos, aukštųjų technologijų, energetikos, transporto ir kituose gamybos sektoriuose. Jos padidintų medžiagų patikimumą, ilgaamžiškumą bei gaminio ar konstrukcijos saugumą, palengvintų techninę priežiūrą. Asfalto, betono, įvairių dangų savaiminis atsikūrimas yra puiki technologinė naujovė. Dauguma šia savybe pasižyminčių polimerų gali pataisyti tik smulkius skilimus ir įbrėžimus, kurių plotis apie

100 mikrometrų, tačiau jau yra žinių apie polimerą, galintį užtaisyti iki 3 cm skersmens skyles. Esminė tokio betono ypatybė yra gebėjimas užtaisyti konstrukcijose atsivėrusius plyšius ir betono struktūroje atsirandančius defektus. „Biologinio“ betono sudėtyje yra du savaiminį atkūrimo procesą sukeliantys biocheminiai komponentai: šarminei betono aplinkai atsparios bakterijos ir maistinės medžiagos (kalcio laktatas), reikalingos bakterijoms maitinti ir nuosekliam gijimo procesui palaikyti. Betono atkūrimo metu tirpiosios maistinės medžiagos paverčiamos netirpiu kalcio karbonatu – medžiaga, kuri kietėdama atsivėrusiame plyšyje jį užsandarina. Tokiu principu veikdamos bakterijos gali užtaisyti iki 0,5 mm pločio plyšius ir ramybės būklės betone išlikti gyvybingos iki 200 metų.

Grafenas pasižymi išskirtiniu fizikinių ir cheminių savybių deriniu: ši medžiaga yra labai plona (dvimatė), tačiau stipresnė už plieną, jos elektrinis laidumas geresnis negu vario, turi unikalių optinių savybių. Tiriamos grafeno panaudojimo galimybės įvairiose srityse – nuo energetikos iki sveikatos apsaugos. Kaip šilumos laidininkas grafenas pranoksta visas anksčiau žinomas medžiagas, todėl puikiai tiks ateities ultragreitų mikroprocesorių išskiriamai šilumai išsklaidyti. Grafenų tranzistoriai yra greitesni už iki šiol naudotus silicio tranzistorius ir tai leis pagaminti veiksmingesnius kompiuterius. Kadangi grafenas yra beveik permatomas ir geras laidininkas, jis puikiai tinka permatomų liečiamų ekranų gamybai.

Karbinas – nauja anglies atomų pagrindu sukurta struktūra, kai iš dviejų grafeno sluoksnių suformuojamas apsauginis vamzdelis, o į jo vidų įdedamas karbinas. Medžiaga apibūdinama kaip ilga anglies atomų grandinė. Tokia vieno atomo storio anglies „lazdelė“ yra gerokai smulkesnė už anglies nanovamzdelį. Karbinas net du kartus tvirtesnis grafeną.

Pluoštinės ir tekstilės medžiagos bei gaminiai visada buvo gyvybiškai svarbūs žmonių gyvenime ir nėra pagrindo manyti, kad XXI a. jų reikšmė mažės. Didėjant pasaulio gyventojų skaičiui ir sparčiai augant tekstilės naudojimui besivystančiose šalyse, atsiranda vis naujos tekstilės gaminių naudojimo sritys, be to, nuolat auga vartotojų reikalavimai šių gaminių funkcionalumui, įvairovei, tikslumui, patikimumui ir kt.

Apie 98 % įvairios įrangos rūšių turi įterptus skaičiavimo įrenginius. Mobiliuosiuose telefonuose, kreditinėse kortelėse, televizoriuose, daugialypės

paskirties įrenginiuose, skalbimo mašinose, automobiliuose, lėktuvuose, biuruose ir gamyklose yra instaliuoti didesnės ar mažesnės galios kompiuteriai. Tikimasi, kad artimiausiu metu pramonės automatikos, telekomunikacijos, buitinės elektronikos, išmaniojo būsto, sveikatos ir medicinos įrangos srityse įterptų elektronikos komponentų vertės dalis galutinio produkto vertėje pasieks ženklų dydį. Jau dabar duomenų saugojimo pajėgumas didėja eksponentiškai. Mokslininkai sukūrė technologiją, kaip ultragreito lazerio spinduliuote įrašyti duomenis stikle. Šios naujos technologijos pranašumas yra stulbinantis: disko duomenų talpa siekia 360 TB, šiluminis stabilumas iki 1 000 °C, o veikimo laikas beveik neribotas. Ši optinės atminties atmaina labai tiktų nacionaliniams archyvams, muziejams ir kitoms organizacijoms, kurios apdoroja ir saugo daug dokumentų.

Senstanti visuomenė, jos geresnės gyvenimo kokybės lūkesčiai, sparti gyvenamosios aplinkos ir gyvenimo būdo kaita skatina kuri veiksmingesnę ir tinkamesnę sveikatos priežiūrą. Labai svarbu geriau suprasti žmogaus kūno funkcionavimą molekuliniu ir nanometriniu lygmeniu ir veikti pastebėjus pirmuosius ūminių ar lėtinių ligų simptomus. Nanomedicina, nanotechnologijų taikymas medicinoje gali palengvinti ankstyvą ligos aptikimą ir prevenciją bei iš esmės pagerinti daugelio ligų (onkologinių, širdies ir kraujagyslių ligų, diabeto, AIDS, Alzhaimerio ir Parkinsono ligų, uždegiminių ir infekcinių susirgimų), diagnozę, gydymą ir stebėjimą.

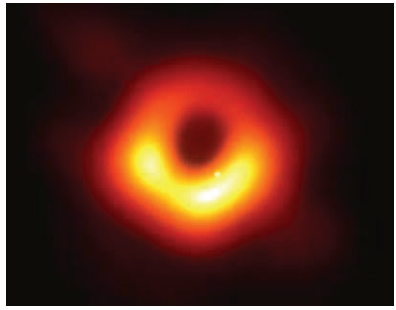
Fotonika – nauja studijų ir verslo sritis, apimanti šviesos generavimą, panaudojimą ir modifikavimą. Fotonika atsirado sąveikaujant daugeliui mokslų (optikai, medžiagų mokslui, elektrotechnikai, nanotechnologijoms, fizikai ir chemijai), susijusių su fotonų sinteze ar perdavimu. Šviesa yra universalus įrankis, kurio pritaikymas labai platus – nuo kompaktinių plokštelių grotuvų ir skenerių iki lazerinių gręžimo ir pjovimo staklių. Terahercinė fotonika leidžia pamatyti daiktų vidų, ji pritaikoma oro uostų saugos sistemose, diagnozuojant odos ar dantų ligas. Fotonika naudojama transporte, sveikatos apsaugoje, nacionalinio saugumo ir gynybos srityse, telekomunikacijose, žemės ūkyje, įvairiose laisvalaikio paslaugose. Optinė informatika ir jos siūlomas ultraspartus duomenų apdorojimas gali būti rytojaus mokymosi įrankis. Prietaisai, galintys aptikti ligas ar palengvinti tokias būsenas, kaip regos netekimas, itin išmanūs dronai, padedantys žemės

ūkyje, – visa tai tėra keletas iš daugybės optinės informatikos pritaikymo pavyzdžių. Lietuva pasaulyje garsėja pikosekundiniais ir femtosekundiniais lazeriais.

Svarbūs, į artimą ar tolimesnę ateitį orientuoti tyrimai vykdomi nanotechnologijų, kvantinių kompiuterių, bioinžinerijos, biotechnologijų, genų terapijos, gydymo kamieninėmis ląstelėmis, vakcinų ir bioninių kūno dalių kūrimo, klonavimo, branduolių sintezės, pažangių medžiagų (pvz., grafeno), viršgarsinių lėktuvų variklių, dronų, levitacinio transporto, didelės energijos lazerio spinduliuotės, superlaidumo, ekologiškų technologijų, alternatyvių degalų (pvz., vandenilio), elektrinių ir hibridinių automobilių, virtualios realybės ir nešiojamos elektronikos prietaisų, dirbtinio intelekto, žmogaus smegenų modeliavimo, galingų šviesos diodų, saulės baterijų, integrinių grandynų, belaidžio elektros energijos perdavimo įrenginių kūrimo, efektyvesnių variklių, energijos kaupimo ir saugojimo baterijų ir kt. srityse.

Kvantinis kompiuteris – tai skaičiavimo mašina, kuri apdoroja informaciją, naudodama kvantinius reiškinius – būsenų kvantavimą, kvantinę interferenciją ir kvantinę sietį. Skaičiavimo kvantiniu kompiuteriu principai grindžiami dalelių kvantinių savybių panaudojimu duomenims atvaizduoti ir struktūrizuoti bei išrastų kvantinių mechanizmų operacijoms su tokio tipo duomenimis atlikti. Klasikiniuose kompiuteriuose informacija yra operuojama diskrečiais bitais, o kvantiniuose kompiuteriuose – tolygiai kintančiomis kvantinėmis būsenomis – kubitais. Kubitas yra mažiausias informacijos saugojimo elementas, kuris dėl kvantinės mechanikos ypatybių tuo pačiu metu gali būti realizuojamas ne tik loginėmis būsenomis, atitinkančiomis 0 arba 1, bet tuo pat metu ir 0, ir 1 būsenomis. Manoma, kad kvantinis kompiuteris su pakankamai daug kubitų (1 000) išspręstų sudėtingus uždavinius. Tikimasi, kad šie kompiuteriai padarys proveržį chemijoje, farmacijoje, inžinerijoje ir kitose srityse.

Teorinė fizika šiuo metu tiria kvantinės gravitacijos (teorinės fizikos sritis, kurioje bandoma sujungti Einšteino bendrąją reliatyvumo teoriją ir kvantinę mechaniką), kilpinės kvantinės gravitacijos, supergravitacijos teorijas, naudojantis požeminiais detektoriais bandoma užčiuopti tamsiąją medžiagą, o lazeriniu interferometru aptikti gravitacines bangas. Siekiant surinkti naujų duomenų, 2017 m. balandžio mėn. aštuoni radijo teleskopai, esantys



28.2 pav. Juodosios bedugnės nuotrauka (Black hole - Messier 87 crop max res.jpg.)

Havajuose, Arizonoje, Ispanijoje, Meksikoje, Čilėje ir Pietų ašigalyje, buvo nukreipti į skirtingose Visatos srityse esančias dvi juodąsias skyles. Galaktikoje M87 esanti juodoji skylė nuo Žemės nutolusi maždaug 50 mln. šviesmečių atstumu (mūsų galaktikos skersmuo yra apie 100 tūkst. šviesmečių). Nuotraukoje matyti pirmasis tiesioginis juodosios bedugnės aplinkos vaizdas (28.2 pav.). Tamsų juodosios bedugnės centrą supa bedugnės gravitacijos iškreivinto iki milijonų laipsnių įkaitusių dujų disko atvaizdas. Pačios bedugnės matyti negalime, ne veltui ji vadinama juodąja. Mūsų galaktikos centre yra maždaug 25 mln. km skersmens juodoji bedugnė, kuri 4 mln. kartų masyvesnė už Saulę, tačiau M87 juodoji bedugnė yra 1 000 kartų masyvesnė už mūsų galaktikos bedugnę.

Šiuolaikiniais teleskopais, veikiančiais rentgeno ir radijo bangų diapazonu, 2018 m. užfiksuotas galingas sprogimas galaktikų telkinyje, nutolusiame nuo Žemės per 390 milijonų šviesmečių. Galaktikų telkiniai yra didžiausios Visatos struktūros, išlaikančios savo sandarą sistemoje veikiančiomis gravitacinėmis jėgomis. Galaktikų telkinį sudaro tūkstančiai atskirų galaktikų, karštų dujų pripildyta erdvė ir tamsioji medžiaga. Šio galaktikų telkinio centre yra milžiniška galaktika su supermasyvia juodąja skyle. Tyrėjai mano, kad milžiniško sprogimo šaltinis yra ši juodoji skylė. Nors juodosios skylės įsiurbia aplinkinę medžiagą, jos taip pat gali išskirti į supančią aplinką didelį kiekį medžiagų ir energijos. Į juodąją skylę plūstančios medžiagos pakeičia srautų kryptį ir šie pliūpsniais (arba spinduliuote) veržiasi į išorę susidurdami su aplinkoje esančia medžiaga. Šis sprogimas, kuris tęsėsi per 240 mln. metų, buvo toks galingas, kad erdvėje atsirado karštų dujų burbulas, kurio skersmuo prilygo 15 mūsų Paukščių tako galaktikos skersmenų, t. y. apie 1,5 mln. šviesmečių.

Vis dėlto po kojomis slypinčios Žemės paslaptis atskleisti yra sunkiau negu objektų, esančių Visatos paribiuose. Giliausias pasaulyje (12,2 km)

Kolos pusiasalio giluminis gręžinys buvo gręžiamas 20 metų, tačiau jis pasiekė tik vieną trečdalį Žemės plutos storio, skiriančio Žemės paviršių nuo mantijos. Šiame gylyje temperatūra siekė 180 °C. 1992 m., subyrėjus Sovietų Sąjungai, gręžimo darbai sustabdyti. Žemės plutos storis yra apie 40 km, nors kai kur giliose jūrų vietose siekia tik apie 6 km. Deja, giliavandeniai gręžimo dabai yra labai brangūs, jiems reikalingos specialios technologijos.

JAV, Europos Sąjungoje, Kinijoje ir kai kuriose kitose valstybėse kuriamos naujos erdvėlaivių konstrukcijos. „Orion“ (angl. *Orion Multi-Purpose Crew Vehicle*) erdvėlaivis (JAV) gali 4 astronautus nuskraidinti toliau nei žemesnioji Žemės orbita. Jis padės ištirti Mėnulį, asteroidus ir Marsą. „Orion“ erdvėlaivis taip suprojektuotas, kad, atsiradus naujoms technologijoms, jo dalis būtų galima atnaujinti. Erdvėlaivio skrydis į Marsą planuojamas 2030 metais.

Jameso Webbo kosminis teleskopas (NGST teleskopas) yra didelis infraraudonųjų spindulių kosminis teleskopas, kurį NASA planuoja paleisti 2021 metais. Teleskopas bandys nustatyti ankstyvąsias galaktikas ir tikslią Saulės sistemos vietą mūsų galaktikoje.

Pažangus kosminis teleskopas ATLAST su didelio skersmens (8–16 m) apertūra (pakeisiantis „Hubble“ teleskopą) pasižymės geresne skiriamąja geba, bus jautresnis negu jo pirmtakai ir bandys rasti tolimųjų egzoplanetų biosignalus (planuojama darbo pradžia – 2030 m.).

NASA ir ESA 2030 m. planuoja misiją į Marsą. Sukurtas kintamosios impulsinės magnetoplazmos raketinis variklis erdvėlaiviui suteikia daugiau nei penkis kartus didesnį greitį negu tradiciniu kuru veikiantis variklis. Variklyje radijo bangos jonizuoja plazmą, magnetinis laukas ją įgreitina ir ji generuoja trauką. Toks plazmos pašildymo būdas buvo sukurtas vykdant branduolių sintezės tyrimus.

Ateities energetikai labai svarbi sintezės reaktorių sėkmė. Sintezės reaktorius „kurui“ naudoja sunkiojo vandenilio izotopų – deuterio ir tričio – mišinį. Tinkamoje temperatūroje jonizuotas vandenilis jungiasi sukurdamas helį-4, turintį branduolyje 2 protonus ir 2 neutronus, ir išlaisvindamas milžinišką energijos kiekį.

Deuteris + tritis → helis + neutronas +17,5 MeV

Kad branduolinė sintezė vyktų, sunkiojo vandenilio atomai turi „sulipti“ ir sudaryti helį perkaitintoje plazmoje, kurios temperatūra siekia maždaug 100 mln.°C. Šio tipo reaktoriai turėtų pradėti veikti apie 2040–2050 metus.

2019 m. Europos branduolinių tyrimų organizacija (CERN) paskelbė ketinimą statyti Ateities hadronų kolaiderį. Tai būtų 31,8 km skersmens (100 km ilgio žiedo) įrenginys, beveik dešimt kartų galingesnis už esamą 8,6 km skersmens (27 km ilgio žiedo) Didįjį hadronų kolaiderį. Naujasis kolaideris turėtų būti pastatytas iki 2050 metų. Jis „medžiotų“ naujas subatomines daleles. Dabartinė subatominės fizikos teorija, vadinama standartiniu modeliu, 17 dalelių sąveika paaiškina medžiagos ir jėgų elgesį. 2012 m. Didžiuoju hadronų kolaideriu buvo atrasta paskutinė elementari dalelė – Higso bozonas. Vis dėlto astronomų stebėjimai rodo, kad standartiniu modeliu negalima paaiškinti daugelio visatos reiškinių: galaktikos sukasi greičiau, negu turėtų suktis, visatos plėtra spartėja, o ne lėtėja, standartinis modelis negali paaiškinti gravitacijos.

Prieš 13,7 mlrd. metų pirmapradėje visatoje įvyko mūsų visatą suformavęs didysis sprogimas, kuris sukūrė joje didžiulį vis dar besiplečiantį dujų, spinduliuotės ir kietosios materijos burbulą. Manoma, kad burbulo skersmuo siekia mažiausiai 93 mlrd. šviesmečių. Šiuo metu galima stebėti iki 13 mlrd. šviesmečių atstumu esančius kosminius objektus. Šio burbulo pakraščiai šiuolaikinėmis erdvės stebėjimo priemonėmis jau sunkiai įžiūrimi, o gal ir nebematomi. Logiška manyti, kad mūsų visatos „burbulas“ toje pirmapradėje visatoje yra ne išimtis, tokių „burbulų“ galėtų būti ir daugiau. Taigi, ar yra paralelinės visatos, kas ta pirmapradės visatos (multivisatos) substancija? Mūsų visatoje esantis medžiagos kiekis yra įvertintas remiantis reliktiniu spinduliavimu. Visatą sudaro 4 % atomų (žvaigždžių ir planetų pamatinė medžiaga), 22 % tamsiosios medžiagos ir 74 % tamsiosios energijos. Tamsioji medžiaga, arba nematomoji medžiaga, skiriasi nuo atomų, nes neabsorbuoja ir neišskiria šviesos. Ji atrasta netiesiogiai pagal jos įtaką visatos kūnų judėjimui ir gravitacijai. Tamsiosios medžiagos sudėtis nežinoma, tačiau manoma, kad pagrindinės tamsiosios medžiagos komponentės yra kažkokios elementariosios dalelės, vadinamos *nebarionine medžiaga*. Taigi tik apie 26 % kritinio tankio sudaro barioninė ir nebarioninė medžiaga, likę 74 % tenka vadinamajai tamsiajai energijai. Manoma, kad tamsioji energija

yra arba kosmologinė konstanta, tai yra tam tikras energijos tankis, tolygiai pasiskirstęs erdvėje, arba skaliarinis dinaminis laukas, kurio tankis gali keistis laike ir erdvėje. Taigi, ar yra tamsioji medžiaga ir tamsioji energija ir jeigu yra – tai kas jos? Yra nuomonė, kad galbūt jų iš viso nėra, nes šiuolaikiniai matavimai gali būti netikslūs ir gali lemti skaičiavimo klaidas. Antra vertus, Didysis sprogimas vyko ne mistinėje, o pirmapradės visatos apsuptyje, kuri galbūt ir yra ta tamsioji energija.

Protas taip pat yra materijos forma. Jis geba peržengti laiko ribas, jo dėka galima pažvelgti į mūsų Visatos pradžią, modeliuoti jos milijardų metų trukmės pokyčius ir galbūt baigtį. Mirusio žmogaus kūnas ilgainiui suskyla į molekules, cheminius junginius, atomus ar elementariąsias daleles. O kaip protas? Gal materijos forma protas taip pat pamažu virsta kitomis materijos formomis ir be pėdsakų išsisklaido visatoje?

Laikas tarp prognozės ar idėjos atsiradimo ir jos įgyvendinimo nuolat trumpėja. Pažinimas neturi ribų, ir daugelis prognozių, kurios atrodė įmanomos tik fantastikos literatūroje, šiandien yra įprasta mus supančios realybės dalis. Mokslininkai apskaičiavo, kad per 50 000 metų pasaulyje gimė ir mirė 100 mlrd. humanoidų. Esant dabartinei populiacijos augimo spartai, per ateinančius 50 000 metų pasaulyje gims ir mirs net 6,75 trilijono žmonių. Ar žmonijos klestėjimui pakaks planetos resursų? Į tuos klausimus atsakymo nėra, nes žmonių populiacija auga labai sparčiai. 2018 m. Žemėje gyveno 7,7 mlrd. gyventojų (7 mlrd. riba buvo pasiekta 2013 m.). Alegoriškai kalbant žmoniją galima palyginti su visą laiką žaliuojančiu, sparčiai augančiu medžiu. Ilgus tūkstantmečius šis „medelis“ vargingai egzistavo, tačiau pastaraisiais šimtmečiais jo augimo sparta labai suintensyvėjo. Šio „medžio“ lapai – tai žmonės. Jie, kaip ir lapas, gimsta, auga, teikia „medžiui“ naudą, vysta ir galų gale miršta. Kuo aukštesnis medis, tuo dažniau jį tranko ir aplaužo įvairūs gaivalai, audros ar vėjai. Dideli kataklizmai gali tą medį išversti ir sunaikinti, juolab kad Žemės istorijoje tokių pavyzdžių daugybė. Manoma, kad prieš 65 mln. metų Žemės sausumos ekosistemoje dominavusį roplių / dinozaurų „medį“ sunaikino su Žeme susidūręs meteoritas. Nors hominidų „medis“ klesti dar tik apie 20 mln. metų, jį gali aplaužyti ne tik gamtos stichijos, bet ir žmonių sukurti branduoliniai, cheminiai ar bakteriologiniai ginklai. Prognozuojama, kad 2050 m. Žemėje gyvens apie 10 mlrd. gyventojų. Ir

nors gimstamumas daug kur mažėja (pavyzdžiui, Europoje), o kai kurioms tautoms net gresia išnykimas, visgi populiacijos augimas yra grėsmingas. Skaičiuojama, kad XX a. nuo bado mirė apie 70 mln. žmonių. Istoriškai badas kildavo regionuose, kuriuose dėl demografinių pokyčių (gyventojų skaičiaus augimo) pritrūkdavo vietinių resursų gyventojams išmaitinti, nes badmečius lemdavo gamtinės priežastys (blogi orai, sausros, kenkėjai), karai, neefektyvi ekonominė politika, ir šių veiksnių globalus poveikis vis didėja. Vis dėlto žvelgdami į ateitį turime kliautis žmonijos protu ir tikėtis, kad bus rastas teisingas sprendimas.

Literatūra

Ambrose, S. H. Late Pleistocene human population bottlenecks, volcanic winter, and differentiation of modern humans. *Journal of Human Evolution*, 1998, Vol. 34, Issue 6, p. 623–651.

An Encyclopaedia of the History of Technology. Ed. by Ian McNeil. Routledge, 1990.

Atkinson, M. ULCOS: Searching for Breakthrough CO_2 -lean Steelmaking Routes. *GCEP Carbon Management in Manufacturing Industries*. USA, Stanford university, 16 April 2008. Prieiga per internetą: https://gcep.stanford.edu/pdfs/2RK4ZjKBF2f71uM4uriP9g/Mark_ Atkinson_ULCOS_GCEP_webversion.pdf

Basalla, G. *The Evolution of Technology*. Cambridge University Press, 1989.

Battison, E. A. Screw-thread cutting by the master-screw method since 1480. *Contributions from The Museum of History and Technology*, 2010, Paper 37. Prieiga per internetą: https://www.gutenberg.org/files/31756/31756-h/31756-h.htm

Bendikiene, R.; Bertasius, M.; Ciuplys, A.; Navasaitis, J.; Zaldarys, G. Excavations of ironware of the third–fifth century from Marvele necropolis (Lithuania). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2018, Vol. 10, Issue 6, p. 1503–1523. Prieiga per internetą: https://link.springer.com/article/10.1007/s12520-017-0474-9

Betz, Ulrich A. K. Is the force awakening? *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, Vol. 128, p. 296–303.

Bossert, H. T.; Storck, W. F. Das mittelalterliche Hausbuch, nach dem Originale in Besitze des Fürsten von Waldburg-Wolfegg-Waldsee. *Deutschen Vereins für Kunstwissenschaft*. Leipzig, 1912.

Childe, V. G. *Piecing Together the Past: The Interpretation of Archaeological Data*. Routledge and Kegan Paul, 1956.

Childe, V. G. *The Prehistory of European Society*. Spokesman Books, 2008.

Daumas, M. (Ed.). A *History of Technology and Invention: Progress Thought the Ages*. Vol. I: The Origins of Technological Civilization;

Vol. II: The First Stages of Mechanization; Vol. III: The Expansion of Mechanization, 1725–1860. Crown, 1969.

Derry, T. K.; Williams, T. I. *A Short History of Technology: From the Earliest Times to A. D. 1900.* Dover Publications, 1993.

Dyke, A. S.; Andrews, J. T.; Clark, P. U.; England, J. H.; Miller, G. H.; Shaw, J.; Veillette, J. J. The Laurentide and Innuitian ice sheets during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 2002, 21, p. 9–31.

Eisenstein, E. L. *The Printing Revolution in Early Modern Europe*. Cambridge University Press, 2005.

Ellul, J.; Merton, R. K. *The Technological Society.* Vintage, 1967.

Garrison, E. *A History of Engineering and Technology. Artful Methods*. CRC Press, 2000.

Grigelis, A. (sud.). *Skalūninių geologinių formacijų genezė ir angliavandenilių gavyba: poveikis aplinkai ir* žmonių *sveikatai*. Vilnius: Lietuvos mokslų akademija, 2014.

Hamilton, M. J.; Milne, B. T.; Walker, R. S.; Burger, O.; Brown, J. H. *The Complex Structure of Hunter-gatherer Social Networks*, 2007, Proc. R. Soc. B, 274, p. 2195–2202.

Hodges, H. *Technology in the Ancient World*. With drawings by Judith Newcomer. New York: A. Knopf, 1970.

Jonnes, J. *Empires of Light*: *Edison, Tesla, Westinghouse, and the Race to Electrify the World*. Random House Trade Paperbacks, 2004.

Lenski, G. *Ecological-Evolutionary Theory: Principles and Applications*. Paradigm Publishers, 2005.

Möller, M.; Vuik, C. On the impact of quantum computing technology on future developments in high-performance scientific computing. *Ethics and Information Technology*, May 2017. Prieiga per internetą: https://www.top500.org/lists/2016/11/

Mumford, L. *Technics and Civilization*. Mariner Books, 1963.

Mumford, L. *Myth of the Machine: Technics and Human Development*. Harvest/HBJ Book, 1971.

Navasaitis, J. *Lietuviška geležis*. KTU: Technologija, 2003.

Ozgowicz, W.; Kurc-Lisiecka, A.; Grajcar, A. *Corrosion Behaviour of Cold-Deformed Austenitic Alloys*, 2012. Prieiga per internetą: https://www.intechopen.com/books/environmental-and-industrial-corrosion-practical-and-theoretical-aspects/corrosion-behaviour-of-cold-deformed-austenitic-alloys

Ridley, M. *The Rational Optimist: How Prosperity Evolves*. Harper Collins Publishers, 2010.

Salatkienė, B. Geležies metalurgijos radimvietės ir jų paplitimas Lietuvos teritorijoje. *Istorija*, 2008, t. 70, p. 3–16.

Peters, S. *Material Revolution II: New Sustainable and Multi-Purpose Materials for Design and Architecture*. Birkhäuser, 2014, p. 224.

Singer, C.; Holmyard, E. J.; Hall, A. R.; Williams, T. I. (eds.). *History of Technology*. 6 vols. Oxford University Press, 1955–1979.

Suzuki, R. O.; Deura, T. N.; Ishii, R.; Matsunaga, T.; Harada, T. N.; Wakino, M.; Ono, K. *Titanium Powder Preparation from $TiCl_4$ in the Molten Salt*. Japan, Kyoto, 2000. Prieiga per internetą: https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/51230/1/Pro2000PMWC_401-404.pdf

White, L. T. *Medieval Technology and Social Change*. USA, Oxford University Press, 1966.

White, K. D. *Greek and Roman Technology*. Cornell University Press, 1984.

White, L. *The Evolution of Culture: The Development of Civilization to the Fall of Rome*. Left Coast Press, 2007.

Williams, T. I. *A History of Invention: from Stone Axes to Silicon Chips*. Checkmark Books, 2000.

Interneto nuorodos

Chronology of the universe. https://en.wikipedia.org/wiki/Chronology_of_the_universe
R. Conte. The global food crisis: feeding ten billion persons. https://www.gardeningplaces.com/articles/global-food-crisis.htm
Detailed logarithmic timeline. https://en.wikipedia.org/wiki/Detailed_logarithmic_timeline
Energy density calculations of nuclear fuel. https://whatisnuclear.com/physics/energy_density_of_nuclear.html
Göbekli Tepe. https://en.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6bekli_Tepe
Heron of Alexandria (c. 10–85 AD). https://www.academia.edu/2829688/Heron_of_Alexandria_c._10_85_AD_
HKUST physicist contributes to new record of quantum memory efficiency. https://www.top500.org/lists/2016/11/
Jeddah Tower. https://en.wikipedia.org/wiki/Jeddah_Tower
B. Radford. Human lifespan is nearly constant since 2000 years. http://www.livescience.com/10569-human-lifespans-constant-2-000-years.html (2009)
Sony tape smashes storage record. https://www.bbc.com/news/technology-27282732

1 priedas. **Geologinė ir biologinė Žemės raidos chronologija**

Astronomijos ir geologijos duomenys rodo, kad nuo Didžiojo sprogimo, arba mūsų Visatos pradžios, praėjo maždaug 13,8 mlrd. metų. Šis skaičius apskaičiuotas stebint, kaip Visata plečiasi dabar ir plėtėsi praeityje, kaip joje formuojasi ir vystosi struktūros. Stebėjimų interpretacija, paaiškinanti Visatos vystymąsi per šiuos 13,8 mlrd. metų, sudaro Didžiojo sprogimo teoriją. Tai nėra vienintelis absoliučiai teisingas ir į visus klausimus atsakantis paaiškinimas, bet šiuo metu jis geriau už bet kurį kitą pagrindžia stebėjimų duomenis, todėl yra visuotinai priimtas kaip standartinis modelis. 2014 m. eksperimentatoriai pranešė apie atrastas pirmykštes gravitacines bangas, kai buvo užfiksuoti kosminio mikrobangų fono – seniausios Visatoje atsiradusios šviesos liekanų – poliarizacijos pokrypiai ir posūkiai. Fizikai manė, kad šis atradimas yra preliminarus standartinio modelio, arba infliacijos teorijos, patvirtinimas. Pagal dabartinę infliacijos teoriją, mikrobangų fone turėjo būti sukurtos didelės gravitacinės bangos, kai trumputėlę akimirksnio dalį po Didžiojo sprogimo Visata plėtėsi labai greitai. Ši teorija yra plačiausiai naudojama, nes paaiškina daug paslapčių, tarp jų ir keistas Visatos plokštumas bei itin tolygų materijos pasiskirstymą joje, t. y. homogeniškumą. Visgi greitai šiuo atradimu buvo sudvejota, kai paaiškėjo, kad šviesos poliarizacijos vaizdą galėjo sukelti kosminės dulkės, todėl pastaruoju metu keliama mintis, kad Didysis sprogimas įvyko pirmapradėje Visatoje. Prieš jį mūsų Visata pamažu susitraukė ir po sprogimo vėl plėtėsi. Manoma, kad taip būtų galima paaiškinti mūsų Visatos vienodumą. Gravitacinių bangų nebuvimas ateityje galėtų būti šios teorijos pagrindimo pradžia. Jei turimais rezultatais apskritai galima pasitikėti, tai jie paneigia infliacijos teoriją ir iškelia ciklinės Visatos, egzistavusios prieš Didįjį sprogimą, tikimybę. Mūsų Saulės sistemos amžius yra apie 4,567 mlrd. metų, Žemės amžius – apie 4,55 mlrd. metų. Šis skaičiavimas grindžiamas seniausių žinomų Žemės mineralų, Vakarų Australijoje rastų mažų cirkonio kristalų, amžiaus vertinimu. Radioaktyvaus datavimo būdu nustatytas cirkonio kristalų amžius yra mažiausiai 4,404 mlrd. metų. Seniausios žinomos meteoritų kietos medžiagos, susiformavusios Saulės sistemoje (kalcio-aliuminio inkliuzai), yra 4,567 mlrd. metų senumo. Taigi ši data laikoma Žemės amžiaus riba. Maždaug prieš 3 mlrd. metų Žemė jau buvo pakankamai kieta, kad galėtų formuotis sausumos masyvai. Prieš 1,1 mlrd. metų

susiformavęs superkontinentas *Rodinija* vėliau suskilo į dalis, prieš 750 mln. metų nutolusias viena nuo kitos. Vėliau, prieš 600 mln. metų, jos vėl suartėjo ir suformavo naują superkontinentą – *Panotiją*. Prieš 550 mln. metų Panotija skilo ir susikūrė *Laurazija* ir *Gondvana*. Laurazija apėmė dabartinę Šiaurės Ameriką, Europą, Sibirą ir Grenlandiją, Gondvana – Indiją, Afriką, Pietų Ameriką ir Antarktidą. Maždaug prieš 275 mln. metų vėl susijungusios Laurazija ir Gondvana suformavo superkontinentą *Pangėją*. Pangėja ŷra ir šiandien. Šio irimo rezultatas – susiformavęs Atlanto vandenynas.

Prieškambrinis laikotarpis – 4567–542 mln. m.	**Hadeno eonas** (4567–3800 mln. m.). Apie šį laikotarpį geologinių įrašų nėra	4500 mln. m. – Žemės formavimosi etapas. Dėl per mažos Žemės sunkio jėgos pradinė vandenilio ir helio atmosfera išsisklaidė. Prieš 3900 mln. m. Žemės atmosferoje vyravo vandens garai, anglies dioksido, metano ir amoniako dujos; susidaro karbonatiniai mineralai, mažinantys anglies dioksido kiekį atmosferoje.
	Archėjaus eonas (3800–2500 mln. m.)	Atsirado pirmosios deguonį išskiriančios bakterijos (melsvabakterės, lot. *Cyanobacteria*). Manoma, kad būtent šių bakterijų gebėjimas atlikti deguonies fotosintezę ankstyvą redukuojančią Žemės atmosferą pavertė oksiduojančia. Prieš 3000 mln. m. – atmosferoje yra 75 % azoto, 15 % anglies dioksido dujų.
	Proterozojaus eonas (2500–542 mln. m.) **Paleoproterozojus** (2500–1600 mln. m.)	**Siderio periodas** (2500–2300 mln. m.) Susidarė pirmieji stabilūs kontinentai. Prieš 2500 mln. m. vandenynuose ir atmosferoje atsirado deguonis. **Riacinio periodas** (2300–2050 mln. m.) Prieš 2200 mln. m. atsirado organizmai su mitochondrijomis (dvimembraniais organoidais), pasižyminčiomis aerobiniu kvėpavimu (kvėpavimui naudojamas aplinkoje esantis deguonis). **Orosirio periodas** (2050–1800 mln. m.) Intensyviai formavosi kalnai. Atmosferoje kaupėsi deguonis. **Staterio periodas** (1800–1600 mln. m.) Atsirado sudėtingos vienaląstės gyvybės formos. Gausu bakterijų ir archėjų (archėjos nevykdo fotosintezės chlorofilo pagrindu).

Prieškambrinis laikotarpis – 4567–542 mln. m.

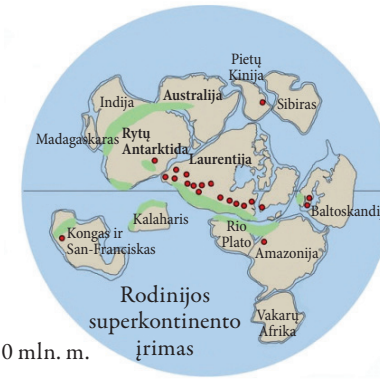
Proterozojaus eonas (2500–542 mln. m.)

Mezoproterozojus (1600–1000 mln. m.)

Kalimio periodas (1600–1400 mln. m.)
Plito saulės energiją fotosintezei naudojantys organizmai (sintetina organines medžiagas iš neorganinių). Atmosferoje – daugiau kaip 10 % deguonies. Susidarė ozono sluoksnis, kuris blokavo ultravioletinę saulės spinduliuotę. Prieš 1500 mln. m. atsirado eukariotiniai organizmai (eukariotinė ląstelė turi tikrą branduolį).

Ektazio periodas (1400–1200 mln. m.)
Gausiai plito žaliadumbliai (*Chlorobionta*) ir raudonieji dumbliai (*Rhodophyta*).

Stenio periodas (1200–1000 mln. m.)
Prieš 1200 mln. m. – sporų / gamečių formavimasis, tai yra lytinės reprodukcijos atsiradimas, kai diploidiniai organizmai gamina lytines ląsteles. Prieš 1100 mln. m. – superkontinento **Rodinija** formavimasis.



Rodinia reconstruction.jpg.

Neoproterozojus (1000–542 mln. m.)

Rodinijos kontinento skilimas mažiausiai į 8 dalis

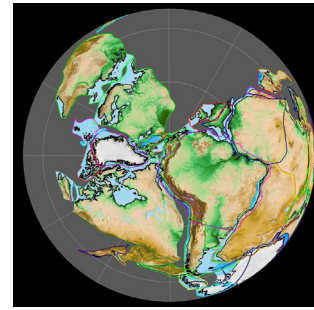
Tonio periodas (1000–850 mln. m.)
Prieš 1000 mln. m. atsirado pirmieji daugialąsčiai gyvūnai. Pirmosios kirmėlės ir pintys. Organizmų įvairovė apsiribojo vienaląsčiais grybais, bakterijomis, archėjomis, kai kuriais daugialąsčiais dumbliais. Dėl pražūtingų ultravioletinių spindulių sausuma nebuvo tinkama gyvybei. Prieš 950 mln. m. – antrojo ilgalaikio ledynmečio Žemės istorijoje formavimosi pradžia.

Prieškambrinis laikotarpis – 4567–542 mln. m.

Proterozojaus eonas (2500–542 mln. m.)

Neoproterozojus (1000–542 mln. m.)

Kriogenio periodas (850–630 mln. m.)
Prieš 750 mln. m. suiro superkontinentas **Rodinija** ir susidarė naujas superkontinentas **Panotija.**



Laurasia 600Ma.jpg.

Prieš 650 mln. m. dėl pasaulinio ledynmečio plėtros masiškai išnyko apie 70 % dominuojančių jūros augalų

Ediakario (Vendo) periodas (630–542 mln. m.)
Prieš 580 mln. m. pasirodė minkštieji organizmai – medūzos. Ediakaro epochos daugialąsčiai nepaliko kriauklių, kaulų ar kokių nors kitų kietų artefaktų. Apie šiuos gyvūnus žinoma tik iš atsitiktinių įspaudų uolienose. Prieš 570 mln. m. atsirado kriaukliniai bestuburiai gyvūnai. Prieš 550 mln. m. superkontinentas Panotija suskilo į Laurazijos ir Gondvanos kontinentus.

Paleozojus
(nuo 542 mln. m. iki 251 mln. m.)

Kambras
(542–488,3 mln. m.)

Intensyvus gyvybės suklestėjimas, dar vadinamas kambro sprogimu. Daug archeociatų, trilobitų, pinčių, brachiopodų. Dominavo bestuburiai, klestėjo jūriniai dumbliai, atsirado daug minkštą skeletą turinčių gyvūnų tipų, pirmieji vandenynų stuburiniai gyvūnai.

Ordovikas
(488,3–443,7 mln. m.)

Didelė įvairovė jūrinių stuburinių gyvūnų ir nariuotakojų (trilobitų).
Pirmieji žalieji augalai ir grybai sausumoje.
Atmosferoje mažėjo anglies dioksido.
Prieš 443 mln. m. apledėjo Gondvana. Masiškai nyko jūriniai stuburiniai gyvūnai. Išnyko net 49 % buvusios faunos.

Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)

Paleozojus (nuo 542 mln. m. iki 251 mln. m.)

Silūras (443,7–416 mln. m.)

Prieš 420 mln. m.:
Andų-Sacharos ledynmečio pabaiga,
Žemės klimato stabilizacija.
Vystėsi sausumos augalai, augo koraliniai rifai.
Vystėsi pirmosios nasrus turinčios žuvys – rykliai, įvairūs bestuburiai gyvūnai (voragyviai, šimtakojai).

Devonas (416–359,2 mln. m.)

Atsirado paparčiai ir sėklomis besidauginantys augalai (plikasėkliai); plito girių plotai.
Prieš 400 mln. m. atsirado sausumos gyvūnai, besparniai vabzdžiai, stuburiniai gyvūnai su kojomis, pirmosios amfibijos.
Prieš 374 mln. m. išnyko per 70 % jūrinių gyvūnųrūšių.
Gyvūnų nykimo procesas tęsėsi per 20 mln. metų. Žemės paviršiaus temperatūra nukrito nuo 34 °C iki 26 °C.
Prieš 370 mln. m. atsirado pirmieji medžiai.

Karbonas (359,2–299 mln. m.)

Misisipės laikotarpis (ankstyvasis karbonas, 359,2–318,1 mln. m.)
Prieš 350 mln. m. – Karu (Karoo) ledynmečio pradžia; plito primityvių medžių girios (į medžius panašūs papartiniai, kalamofitainiai, pleištalapiai, lepidodendronai, sigiliarijos). Augo samanos, asiūkliai ir plikasėkliai.
Sausumoje plito stuburiniai gyvūnai, atsirado pirmieji sparnuotieji vabzdžiai. Jūrose išplito primityvūs rykliai, koralai, pečiakojai, sunyko trilobitai ir nautiloidai.
Prieš 318 mln. m. atsirado amniotai – tikrieji sausumos stuburiniai. Amniotams priklauso ropliai, paukščiai.
Jie vystėsi sausumoje iš amniotinių kiaušinių.

Pensilvanijos laikotarpis (vėlyvasis karbonas, 318,1–299 mln. m.)
Prieš 300 mln. m. atsirado ir išplito nariuotakojai gyvūnai – sparnuoti vabzdžiai, kai kurie iš jų išaugo iki gigantiško dydžio. Atsirado pirmos reptilijos, anglį kaupiantys miškai. Atmosferoje labai padidėjo deguonies koncentracija.
Dėl ledynų veiklos jūra veržėsi į sausumą (transgresija), ir traukėsi nuo krantų (regresija).
Europoje, Azijoje ir Šiaurės Amerikoje susidarė akmens anglies klodai.

Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)

Paleozojus (nuo 542 mln. m. iki 251 mln. m.)

Permo periodas (299–251 mln. m.)

Permas skirstomas į tris epochas:
kizularį, gvadalupį ir lopingijų.
Prieš 275 mln. m. žemynai susijungė į superkontinentą Pangėją. Sausumoje vyravo šaltas ir sausas klimatas.



Pangėja
Prieš 300–180 mln. m.

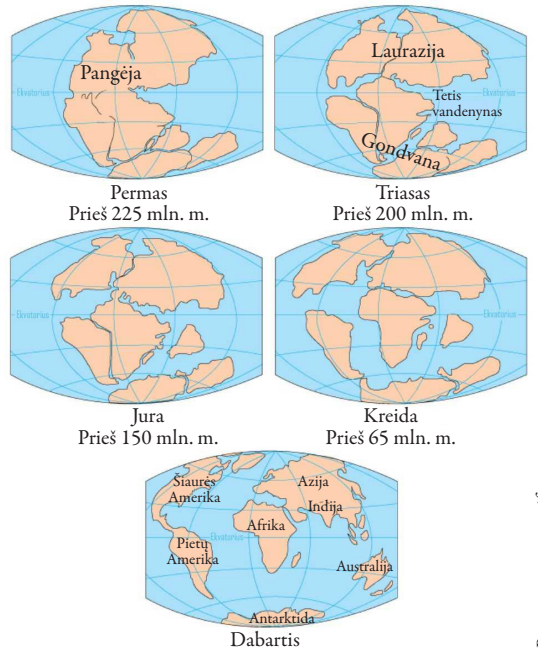
Pangaea continents.png.

Prieš 260 mln. m. – permo–karbono ledynmečio pabaiga. Paplito į žinduolius panašios reptilijos. Periodo viduryje karbono florą pakeitė plikasėkliai. Evoliucionavo bitės ir musės. Sekliuose šiltuose rifuose suklestėjo jūrų gyvybė – pečiakojai, dvigeldžiai, foraminiferos. Intensyvi vulkaninė veikla Sibiro teritorijoje į atmosferą išskyrė daug dujų (CO_2, CH_4 ir H_2S). Deguonies (O_2) kiekis sumažėjo nuo 30 % iki 12 %. Žemės paviršiaus temperatūra pakilo iki 50–60 °C, o jūros paviršiuje – iki 40 °C. Permo pabaigoje išmirė apie 95 % gyvybės formų jūrose ir 70 % sausumoje.

Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)

Mezozojaus era (251–65,5 mln. m.)

Triasas (251–199,6 mln. m.)



Pangaea to present.gif.

Ýra Pangėjos kontinentas; išgyvenusieji permo–triaso laikotarpį gyvūnai plečia savo gyvybinę erdvę, rekolonizuoja ankstesnes nišas; sausumoje plinta reptilijos.
Prieš 240 mln. m. atsirado jūros ežiai (*Arkarua*).
Prieš 235 mln. m. dinozaurai evoliucionavo iš driežų; milžiniški ichtiozaurai ir pleziozaurai išplito vandenynuose ir jūrose; sausumoje pasirodė pirmieji maži dinozaurai (*coelophysi*); vyravo archajiniai dinozaurai; konodontai tapo mažesni ir panašūs į žinduolius; atsirado pterozaurai ir krokodilai, šiuolaikiniai koralai.
Prieš 225 mln. m. atsirado pirmieji primityvūs žinduoliai *Adelobasileus*.
Prieš 201 mln. m. Centriniame Atlante vulkaninė veikla pražudė 20 % jūros gyvūnų rūšių.

Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)	**Mezozojaus era** (251–65,5 mln. m.)	**Jura** (199,6–145,5 mln. m.)	Žemės temperatūra aukšta; nebelieka poliarinių ledynų. Prieš 180 mln. m. Šiaurės Amerika atsiskyrė nuo Afrikos. Prieš 166 mln. m. kiaušinius dedantys žinduoliai (monotremos) evoliucionavo iš primityviųjų žinduolių; paplito plikasėkliai, sausumoje vyravo milžiniški žolėdžiai ir mėsėdžiai. Plito dinozaurai (zauropodai, karnozaurai, stegozaurai), ichtiozaurai, pliozaurai, skraidantys driežai (pterozaurai), atsirado pirmieji paukščiai; gausu dvigeldžių, amonitų ir belemnitų. Prieš 150 mln. m. atsirado pirmieji šarkos dydžio plunksnuoti šiltakraujai paukščiai (archaeopteriksai). Vyravo spygliuočiai, ginkmedžiai. Pangėjos superkontinentas skilo į Gondvaną ir Lauraziją.
		Kreida (145,5–65,5 mln. m.)	Aktyvus Žemės plutos plokščių judėjimo laikotarpis. Prieš 125 mln. m. Afrika ir Indija atsiskyrė nuo Antarktidos. Prieš 120 mln. m. prasidėjo pasaulinis klimato atšilimas. Prieš 105 mln. m. Pietų Amerika atsiskyrė nuo Afrikos; susiformavo Atlanto vandenynas. Žemėje nebuvo poliarinių apledėjimų. Prieš 100 mln. m. Žemės magnetinio lauko stipris buvo tris kartus didesnis negu dabar. Prieš 90 mln. m. pasibaigė Žemės klimato šiltasis periodas. Šiaurės Amerikoje plytėjo didžiulės vidinės jūros, kurios skyrė kontinentą į dvi dalis: vakarinę Laramidiją ir rytinę Apalačiją. Prieš 67 mln. m. Indijoje prasidėjo aktyvi vulkaninė veikla, kurios metu į atmosferą buvo išmesta daug dujų, o didelius paviršiaus plotus padengė vulkaninė lava ir pelenai. Meteorito smūgis Jukatano pusiasalyje Meksikoje išmušė 170 km skersmens kraterį. Dėl sukeltos atmosferos taršos ir kito poveikio išnyko 80–90 % vandens ir 85 % sausumos gyvūnų, tarp jų ir dinozaurai. Kreidos periode atsirado gaubtasėklių augalų ir naujos vabzdžių rūšys, padaugėjo šiuolaikinių žuvų. Paplito amonitai, belemnitai, jūrų ežiai. Žemėje išsivystė daug naujų dinozaurų rūšių (prieš 68 mln. m. klestėjo tiranozaurai, titanozaurai, raguotieji dinozaurai ir kt.). Jūrose atsirado šiuolaikiniai krokodilai (prieš 110 mln. m.) ir rykliai. Primityvūs paukščiai palaipsniui pakeitė pterozaurus. Atsirado kloakiniai, sterbliniai ir placentiniai žinduoliai. Pasirodė žydintys augalai.

Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)

Kainozojaus era (nuo 65,5 mln. m. iki dabar)

Paleogenas (65,5–23,03 mln. m.)



Bering Land Bridge in Late Cretaceous.png

Paleocenas (65,5–55,8 mln. m.)
Prieš 63 mln. m. baigėsi vulkaninis aktyvumas Indijoje. Šiaurės Amerikoje susiformavo uolėtieji kalnai. Prieš 55,8 mln. m. – globalus atšilimas; vidutinė temperatūra Šiaurės poliuje siekė 23 °C. Tropinis klimatas. Žydintys (gaubtasėkliai) augalai tampa labiausiai paplitusia augalų rūšimi. Išsiskyrė kelios primityvios žinduolių linijos. Atsirado placentiniai žinduoliai (lemūrai, sterbliniai gyvūnai), žinduolių plėšrūnų grupė (kreodontai), pirmieji dideli žinduoliai (lokio ir mažo begemoto dydžio).

Eocenas (55,8–33,9 mln. m.)
Prieš 50 mln. m. Indijos tektoninė plokštė susidūrė su Azijos plokšte, formavosi Himalajai. Prieš 45 mln. m. Australija atsiskyrė nuo Antarktidos. Prieš 35,6 mln. m. meteorito smūgis Šiaurės Amerikoje ir Rusijoje išmušė 90 ir 100 km skersmens kraterius. Susidariusi atmosferos tarša sukėlė pasaulinį klimato atšalimą ir paskatino ledyno susidarymą Antarktidoje ir naujo ledynmečio pradžią. Sparčiai vystėsi archajiniai žinduoliai. Atsirado kelios „šiuolaikinės“ žinduolių šeimos: raganosiai, kupranugariai, ankstyvieji arkliai, primityvūs banginiai.

Oligocenas (33,9–23,03 mln. m.)
Klimatas šiltas, intensyvi faunos evoliucija, ypač žinduolių, pvz., dramblių. Intensyvi žolinių ir žiedinių augalų evoliucija ir plitimas.

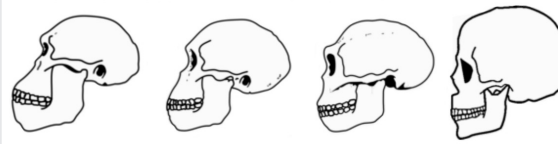
Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)

Kvarteras (nuo 2,58 mln. m. iki dabar)

Neogenas (nuo 23,03 mln. m. iki dabar)

Neogenas (nuo 23,03 mln. m. iki dabar)
Šiuo laikotarpiu vyko alpinė kalnodara, susiformavo dabartinio reljefo bruožai, iškilo Alpės, Balkanų, Kaukazo, Karpatų, Apeninų, Krymo, Himalajų ir kt. kalnai.

Miocenas (23,03–5,3 mln. m.)
Afrikos-Arabijos tektoninė plokštė susijungė su Azijos plokšte. Prieš 14 mln. m. Antarktida atsiskyrė nuo Australijos ir Pietų Amerikos. Didėjo Antarktidos ledynas. Globaliu požiūriu klimatas šiltėjo, plito žemyninė sausra, girios užleido plotus žoliniams augalams. Prieš 6 mln. m. išsivystė dviem kojomis vaikštantys hominidai.



Australopithecus | Homo habilis | Homo ergaster / Homo erectus | Homo sapiens

https://en.wikipedia.org/wiki/Homo_habilis

Šios epochos metu dvi susijungusios žmogaus protėvio chromosomos mutavo ir suformavo žmogaus chromosomą. Taip žmogaus genomas atsiskyrė nuo jam artimiausio šimpanzės genomo, kuriame yra viena chromosomų pora daugiau.

Pliocenas (5,3–2,58 mln. m.)
Prieš 4,4 mln. m. atsirado ankstyvųjų hominidų *Ardipithecus* gentis. Prieš 4 mln. m. Šiaurės ir Pietų Amerikas sujungė Panamos sąsiauris. Gyvūnai ir augalai pasklido abiejuose žemynuose. Naujai izoliuotame Atlanto vandenyne pasikeitė srovių kryptys.
Prieš 3,9 mln. m. pliocene atsirado žmogui artimi australopitekai.
Prieš 3,7 mln. m. *Australopithecus* hominidai išplito Rytų ir Šiaurės Afrikoje.
Prieš 3 mln. m. formavosi Arktikos ledynas. Ledynai augo abiejuose Žemės poliuose. Klimatas sausėjo ir šaltėjo. Plito pievų ir savanų plotai, ilgakojai ganomi gyvūnai.

Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)

Kainozojaus era (nuo 65,5 mln. m. iki dabar)

Kvarteras (nuo 2,58 mln. m. iki dabar)



KNM-ER 1813 skull.jpg

Homo habilis

Pleistocenas (nuo 2,58 mln. m. iki 11 400 m.)
Šiuolaikiniai žemynai pleistoceno metu praktiškai buvo dabartinėse savo vietose. Didžioji dalis Europos, Sibiro, Kanados, Naujosios Zelandijos, Tasmanijos, Argentinos buvo padengta ledu. Prasidėjo ir tęsėsi paskutinis ledynmetis. Prieš 2,4 mln. m. pasirodė *homo habilis* humanoidai. Prieš 2 mln. m. humanoidai pradėjo gaminti ir naudoti įrankius. Prasidėjo akmens amžius. Prieš 1,7 mln. m. *homo erectus* humanoidai pajudėjo iš Afrikos; gamtoje klestėjo dideli žinduoliai ir paukščiai. Prieš 700 000 m. pradėjo skirtis žmogaus ir neandertaliečio genetinės linijos. Prieš 530 000 m. *homo heidelbergensis* šakoje atsirado kalba. Prieš 400 000 m. humanoidai medžiojo medinėmis ietimis ir naudojo akmeninius pjovimo įrankius. Prieš 370 000 m. žmonių protėviai ir neandertaliečiai visiškai išsiskyrė į skirtingas populiacijas. Prieš 230 000 m. neandertaliečiai pasklido visoje Europoje. Prieš 160 000 m. pasirodė *homo sapiens* humanoidai. Žmonių giminės moteriškos linijos pradžia (mitochondrinė Ieva). Mitochondrinė Ieva – mokslininkų duotas pavadinimas moteriai, kuri yra visų dabar gyvenančių žmonių bendras protėvis pagal moterišką liniją. Jos mitochondrinę DNR šiuo metu turi visi žmonės. Prieš 125 000 m. – Riso-Viurmo ledynmetis; miškų plėtra teritorijose už poliarinio rato. Tirpstantys ledynai pakėlė jūros lygį 6 metrus. Prieš 105 000 m. akmens amžiaus žmonių mityboje atsirado pašarinių žolių (pvz., sorgo) sėklų.

Fanerozojaus eonas (nuo 542 mln. m. iki dabar)

Kainozojaus era (nuo 65,5 mln. m. iki dabar)

Kvarteras (nuo 2,58 mln. m. iki dabar)

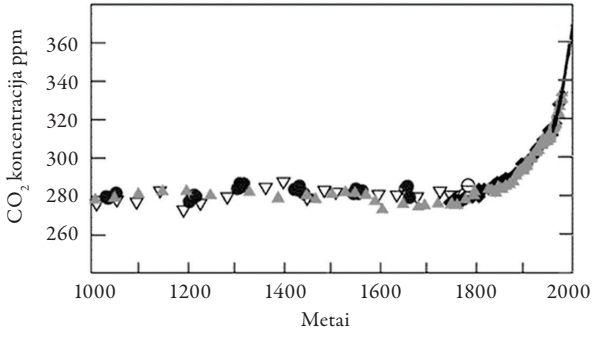
Prieš 80 000 m. neafrikiniai humanoidai kryžminosi su neandertaliečiais.
Prieš 74 000 m. įvyko galingas Tobos ugnikalnio sprogimas, pats didžiausias per pastaruosius du milijonus metų. Į atmosferą pateko didžiuliai kiekiai sieros dioksido dujų.
Homo sapiens žmonių planetoje sumažėjo iki 10 000.
Prieš 60 000 m. išsivystė seniausias dabartinės žmonijos vyriškas protėvis.
Prieš 46 000 m. Australijoje įsivyravo labai sausas klimatas, krūmynų gaisrai sunaikino faunos buveines, žuvo didelė dalis megafaunos.
Prieš 40 000 m. Europoje pasirodė kromagnono žmonės. Šios primityvių žmonių rūšies pavadinimas siejamas su Cro-Magnono urvu, esančiu pietvakarinėje Prancūzijoje.
Prieš 28 000 m. archeologinėse iškasenose nelieka neandertaliečių pėdsakų.
Prieš 22 000 m. paskutinio ledynmečio maksimumo metu jūros lygis buvo 130 metrų žemesnis negu dabar. Prieš 20 000 m. atsirado pirmieji degtosios keramikos indai.
Prieš 19 000 m. pradėjo tirpti Arktikos jūrų ledynai.
Prieš 15 000 m. Beringo žemės tiltas tarp Aliaskos ir Sibiro sukūrė sąlygas žmonėms migruoti iš Azijos į Ameriką.
Prieš 12 900 m. virš Kanados teritorijos sprogusi kometa nulėmė amerikietiškos megafaunos (mamutų, kardadančių tigrų) išnykimą.
Prieš 11 400 m. baigėsi Viurmo-Viskonsino ledynmetis. Jūros lygis pakilo 91 metrą.

Holocenas (nuo 11 400 m. iki dabar)
Žemdirbystės pradžia. Gyvūnų prijaukinimas.
Prieš 9 000 m. prasidėjo metalų gavyba iš rūdų;
prieš 5 500 m. išrastas ratas;
prieš 5 300 m. prasidėjo bronzos amžius;
prieš 5 000 m. atsirado ir plėtojosi raštas; prieš 4 500 m. Egipte pastatytos Gizos piramidės;
prieš 3 300 m. prasidėjo geležies amžius;
prieš 2 230 m. – matematikos kūrimas ir plėtra (Archimedas ir kt.);
prieš 250 m. – pramoninės revoliucijos pradžia;
prieš 50 m. – kosmoso užkariavimo pradžia: dirbtinis Žemės palydovas (1957), žmogaus pasivaikščiojimas Mėnulio paviršiuje (1969).

Žemės planetos artimiausia ateitis

Šiuolaikinė žmonių pramoninė veikla remiasi anglies, naftos produktų ir dujų deginimu. Maždaug nuo 1750 m. kuro degimo produktai dideliais kiekiais į atmosferą išmeta šiltnamio efektą sukeliančias dujas: anglies dvideginį (CO_2), metaną (CH_4) ir azoto oksidą (N_2O) (P1 pav.) Prognozuojama, kad padidėjęs šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis sukels pasaulinį atšilimą, o tai ištirpins poliarinius ledynus ir sunaikins gyvūnų, tokių kaip baltasis lokys ar jūros vėpliai, buveines. Padidėjus temperatūrai kalnuose sumažės sniego, nuslūgs vanduo kalnų upėse, kuris dabar naudojamas laukams drėkinti ar yra geriamojo vandens šaltinis. Anglies dioksidas padidins jūros vandens rūgštingumą ir sukels grėsmę koralų rifams, kriauklinėms ar geldelinėms gyvybės formoms.

Šiandien atmosferos anglies dioksido koncentracija yra apie 0,038 % (380 ppm), o vidutinė metinė Šiaurės ašigalio temperatūra –20 °C. Už poliarinio rato esančių vietovių paviršinių nuosėdų analizė rodo, kad prieš 55 mln. metų anglies dioksido koncentracija siekė 2 000 ppm, o Šiaurės ašigalio temperatūra buvo –23 °C. 1979–2003 m. darytos palydovinės fotografijos rodo maždaug 20 % sumažėjusį ledynų plotą. Arkties vandenyne ir jūrose ledo paviršiaus plotas kas dešimt metų sumažėja 9 %. Jeigu ši ledo tirpimo tendencija išliks, tai iki 2100 m. Arkties vandenyne vasaros metu nebeliks ledo. Grenlandijos ir Antarkties ledynuose yra sukaupta daug vandens. Šiems ledynams ištirpus, pakilęs vandens lygis užtvindytų daugybę pakrantės zonų visame pasaulyje, po vandeniu atsidurtų ištisi salynai. Ištirpus vien Grenlandijos ledynams, jūros lygis pakiltų 7,3 metro. Ištirpę Vakarų Antarkties ledynai jūros lygį pakeltų 5,8 metro, o Rytų Antarkties ledynai galėtų pakelti jūros lygį 51,8 metro. Bendras Grenlandijos ir Antarkties ledynų tirpsmas pakeltų jūros lygį net 65 metrus. Antarktida praranda apie 200 mlrd. tonų ledo per metus, kasmet pasaulinį jūros lygį pakelia 0,6 mm. Nuo 1992 m. Antarktidoje ištirpo apie 2,7 trilijonų tonų ledo, tai reiškia, kad pasaulinis jūros lygis pakilo daugiau nei 7,5 mm. Iki 2100 m. jūros lygis turėtų kilti 50–60 cm.



P1 pav. Anglies dioksido koncentracijos kaita atmosferoje

Žemės tolimos ateities prognozė

Žemės ateitis yra susijusi su Saulės ateitimi. Saulė yra savo gyvavimo ciklo pusiaukelėje. Termobranduolinėse reakcijose naudojamą likusį vandenilį ji sunaudos per 4 000 mln. metų. Šiandien Saulė išlieka pagrindinės sekos žvaigžde, tapdama ~10 % šiltesne ir šviesesne kas kiekvienus 10^9 metų. Kai Saulė pradės vėsti, atvėsęs branduolys nebegalės atlaikyti savo paties gravitacijos ir subliūkš. Per keletą sekundžių jo skersmuo sumažės nuo dešimčių tūkstančių iki vos keleto kilometrų, o atmosfera išsiplės Saulę paversdama raudonąja milžine. Saulei tapus raudonąja milžine, Merkurijus ir, tikėtina, Venera bei Žemė pateks į Saulę ir išgaruos. Saulei perėjus į helio degimo fazę, helio atomai virs anglies atomais ir ji praras ~30 % savo masės. Saulės fazė pasibaigs, kai ji numes planetos ūką, pasiliks tik branduolys, kuris bus žvaigždė baltoji nykštukė. Baltoji nykštukė Saulė, daugiau nebegaminanti energijos, pradės vėsti ir temti, kol pasieks juodosios nykštukės būseną. Žvaigždžių, kelis kartus didesnių už Saulę, žlugimas baigiasi masyvios supernovos sprogimu, po kurio erdvėje atsiranda sparčiai besisukanti neutroninė žvaigždė. Praėjus 2 000 mln. metų, kai Saulė taps baltąja nykštuke, mūsų Paukščių tako galaktika, manoma, susidurs su Andromedos galaktika. Susidūrimas tęsis kelis milijonus metų ir susikurs nauja supergalaktika „Milkomeda“. Galaktikų susidūrimo metu Saulė gali tapti Andromedos sistemos dalimi ir atsidurti toli nuo naujo jungtinės galaktikos centro. Laiko požiūriu Žemės ateities prognozė galėtų būti tokia:

+200 metų: tikėtinas pasaulinis atmosferos atšilimas, kurį gali sukelti didėjantis antropogeninio anglies dioksido (CO_2) kiekis atmosferoje. Dabar išskiriamo anglies dioksido kiekis kasmet siekia po 10 mlrd. tonų. Pagrindinės antropogeninės kilmės šiltnamio efektą sukeliančios dujos: anglies dioksidas (CO_2), metanas (CH_4), azoto suboksidas (N_2O), sieros heksafluoridas (SF_6), perfluoroangliavandeniliai (PFC), hidrofluoroangliavandeniliai (HFC).

+1,5 mlrd. m.: Saulė pasieks 6 mlrd. metų amžių ir bus 15 % šviesesnė negu dabartiniu metu.

+2,0 mlrd. m.: Paukščių tako galaktika susidurs su Andromedos galaktika.

+3,0 mlrd. m.: Saulės sistema taps naujosios „Milkomedos“ galaktikos dalimi.

+4,0 mlrd. m.: Saulės spinduliuotė bus maždaug dvigubai ryškesnė už dabartinę. Jos skersmuo padidės 40 %. Vykstančios branduolinės sintezės reakcijos išnaudos Saulės turimas vandenilio atsargas.

+5,0 mlrd. m.: Saulė pradės virsti žvaigžde – raudonąja milžine, kurios skersmuo bus 3 kartus didesnis už dabartinį Saulės skersmenį. Raudonoji milžinė „praris“ Žemę.

+10,0 mlrd. m.: raudonoji milžinė sprogs ir taps baltąja nykštukine žvaigžde.

+20,0 mlrd. m.: baltoji nykštukė Saulė virs juodąja nykštuke.

II priedas. **Technologinės plėtros riboženkliai**

Iki šiol nesibaigia ginčai dėl žmonių kilmės, tačiau mokslininkai sutaria, kad visos egzistavusios žmonių rūšys yra kilę iš į beždžiones panašių gyvūnų, kurie prieš šešis milijonus metų Afrikoje vaikščiojo stačiomis. Pirmieji sutvėrimai, kuriuos galėtume vadinti žmonėmis, Afrikoje atsirado prieš du milijonus metų.

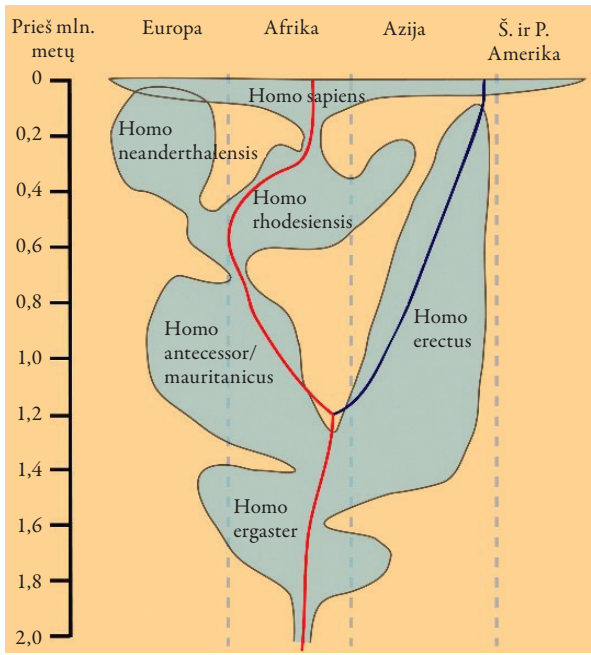
Priešistorinėmis technologijomis vadinamos technologijos, kurios buvo naudojamos anksčiau, negu atsirado raštas. Jų pradžią nuo dabartinių laikų skiria beveik 2,5 mln. metų. Pirmieji hominidai naudojo akmens įrankius, kuriais galėjo įžiebti ugnį, medžioti ar laidoti mirusiuosius. Priešistorinių technologijų apžvalgą palengvina tam tikrų technologijų raidos riboženklių nustatymas ir aprašymas.

Akmens amžius – tai platus priešistorinis laikotarpis, kurio metu akmuo buvo plačiai naudojamas aštriabriaunių ar smailų mušimo ar daužymo įrankių gamybai. Laikotarpis truko maždaug 2,5 mln. metų, tai yra nuo ankstyvųjų hominidų iki *homo sapiens* vėlyvojo pleistoceno eroje. Ši era baigėsi tarp 6000 ir 2000 m. pr. m. e., kai atsirado metalo apdorojimo technologijos. Akmens amžiaus gyventojų gyvenimas buvo grįstas medžiokle ir augalinio maisto rinkimu. Technologiniai pokyčiai šiame istoriniame periode buvo minimalūs. Baigiantis paskutiniajam ledynmečiui (prieš 12 500 metų), ženkliai keitėsi klimatas, išnyko didieji gyvūnai, tokie kaip mamutai ir senoviniai bizonai. Žmonės prisitaikė prie šių pokyčių ir efektyviau išnaudojo aplinką, rinkdami ir valgydami daugiau laukinių augalų rūšių, medžiodami ar žvejodami mažesnius gyvūnus ar vandens fauną. Gyvūnų prijaukinimas ir grūdinių kultūrų auginimas Afrikos-Eurazijos regionuose prasidėjo mezolito laikotarpiu, o Amerikos žemyne – archajiniame periode. Gyventojai labiau pradėjo remtis žemdirbyste ir kliautis jos vaisiais. Žemdirbystės plėtra klajoklinį gyvenimo būdą keitė į sėslų, labiau nusistovėjusį ir tinkamesnį technologinei pažangai. Lietuvoje paleolitas datuojamas XI–IX a. pr. m. e.

Ankstyvasis paleolitas – pirmasis paleolito, arba senojo akmens amžiaus, periodas, kuris prasideda hominidams pradėjus gamintis akmeninius įrankius (maždaug prieš 2,6 mln. m.) ir tęsiasi iki žemdirbystės atsiradimo maždaug prieš 10 tūkst. m. pr. m. e.

Šis periodas apima maždaug 2,5 mln. metų. Archeologiniai tyrimai rodo, kad šiuo laikotarpiu hominidai plėtojo kai kuriuos primityvius amatus ir naudojo akmeninius įrankius. Įrankiai ir ginklai dar buvo gaminami iš kaulo, odos ar medžio. Paleolito pradžia sutampa su pirmųjų beždžionžmogių (archantropų), priklausiusių Oldovajaus *homo habilis* (sumaniojo žmogaus) tipui, atsiradimu. *Homo habilis* gyveno Afrikoje maždaug 2,3–1,4 mln. m. pr. m. e. Paleolito pabaigoje hominidų evoliuciją užbaigia šiuolaikinio žmogaus – *homo sapiens* – atsiradimas.

Maždaug 2–1 mln. m. pr. m. e. išsivystęs *homo erectus* (stačiasis žmogus) iš savo pirmtakų išsiskyrė tiesia laikysena (P2 pav.). Tai pirmasis hominidas, iškėlęs koją iš Afrikos. Prieš maždaug 1,6 mln. metų jis pasiekė Europą ir išplito po visą Euraziją. Prieš 1,2 mln. metų išmokta gamintis dviašmenius kirvius, maždaug prieš 400 tūkst. m. pr. m. e. įvaldyta ugnis, o dar po 100 tūkst. metų aptinkami archeologiniai ankstyviausi medžioklės pėdsakai. Akmeniniai kirviai buvo panašūs į primatų gamintus kirvius, o jų protavimo lygis prilygo šiuolaikiniams 3–5 metų amžiaus vaikams ir mažai keitėsi milijonus metų. *Homo ergaster* gyveno rytinėje ir pietinėje Afrikoje 2,5–1,7 mln. m. pr. m. e. ir naudojosi įvairesniais bei sudėtingesniais akmens įrankiais. *Homo ergaster* gaminosi



P2 pav. Hominidų populiacijų raida laiko ir geografinės sklaidos požiūriu (http://www.plosbiology.org/article/info:-doi/10.1371/journal.pbio.0020340)

įrankius, buvo geri bėgikai ir puikūs medžiotojai. Panašu, kad *homo ergaster* išsivystė per ilgai trukusią stiprią sausrą, kuri sukūrė didžiules dykumas, nes sugebėjo prisitaikyti prie karščio (lygi ir beveik neplaukuota oda efektyviau išskirdavo prakaitą). Ši rūšis galėjo keliauti didelį atstumą ir sugebėjo pasklisti už Afrikos ribų, pirmiausia Azijoje. Naujoje gamtiškai palankesnėje aplinkoje jie toliau vystėsi ir antropologų buvo pavadinti nauju, *homo erectus*, vardu. Ši žmogbeždžionių rūšis išplito nuo Mažosios Azijos iki Kinijos, tačiau jų populiacija greičiausiai buvo nedidelė. Nedidelės medžiotojų ir rinkėjų grupės gyveno atvirose vietovėse, nes čia galėjo lengviau ir greičiau nusigauti iki maisto. Jų kūno forma ir sudėjimas jau buvo labai panašūs į dabartinius žmones. *Homo erectus* gyveno 1,8–1,3 mln. metų Vakarų Azijoje ir Afrikoje ir, manoma, rūpinosi paliegusiais ar silpnesniais giminaičiais. *Homo antecessor* – anksčiausiai Šiaurės Europoje pasirodęs hominidas – gyveno nuo 1,2 mln. iki 800 000 metų pr. m. e. ir naudojosi akmens įrankiais. *Homo heidelbergensis* gyveno 600 000–400 000 metų pr. m. e. ir naudojosi panašiomis akmens įrankių gamybos technologijomis kaip ir *homo erectus* hominidai. *Homo heidelbergensis* galėjo būti pirmoji hominidų rūšis, kuri prieš 500 000 metų laidojo mirusius gentainius.

Vidurinis paleolitas Europoje ir Artimuosiuose Rytuose apima prieš 350/250–45/35 tūkst. metų laikotarpį. Tuo metu čia jau gyveno neandertaliečiai. Australijoje panašios gyvenvietės egzistavo prieš maždaug 40 000 metų, kai šiuolaikiniai žmonės perėjo iš Azijos į Australiją. Uolose randami ankstyviausi Indijoje gyvenusių hominidų gyvenimo pėdsakai datuojami maždaug prieš 30 000 metų. *Homo neanderthalensis* naudoti akmens įrankiai buvo sukurti prieš maždaug 300 000 metų. Šiai epochai būdingi mažesni peiliai ar gremžtukai. *Homo neanderthalensis* laidojo mirusiuosius sekliuose kapuose, į kapavietę dėdavo įrankius ir gyvūnus, žmogaus skeleto likučiai buvo dažomi raudona ochra. Anksčiausiai datuojamas žmonių laidojimas siekia prieš 130 000 metų. *Homo sapiens* porūšis maždaug prieš 120 000 metų taip pat atkeliavo iš Afrikos, be kitų teritorijų, pasklido ir Europoje, kurioje tuo metu vyravo neandertaliečiai. Maždaug prieš 74 000 metų Sumatros saloje išsiveržęs Tobos ugnikalnis buvo pats stipriausias per pastaruosius du milijonus metų. Vėjo genami Tobos pelenų debesys padengė milžiniškus Azijos plotus. Prieš ugnikalnio išsiveržimą *homo erectus* populiacija Azijoje buvo pati didžiausia. Vėliau, tikriausiai dėl klimato pokyčių, jie palengva paliko apgyvendintas teritorijas.

Vėlyvasis paleolitas yra trumpiausias paleolito epochos laikotarpis, trukęs nuo 40/35 tūkst. iki 10 tūkst. m. pr. m. e. Maždaug prieš 24–20 tūkst. metų klimatas buvo gerokai atšalęs. Atvėsus klimatui, Šiaurei būdinga gyvūnija atsitraukė iki maždaug Pietų Europos. To meto žmonės mokėjo ręsti gyvenamuosius būstus iš akmens, medžio bei odos, išdirbti odą, kailius, iš jų pasidaryti aprangą. Žmonės pradėjo siūti drabužius prieš 190 000 metų. Siuvimo adatos pasirodė prieš 40 000 metų. *Homo sapiens* galėjo abstrakčiai protauti, bendrauti kalba ir spręsti kylančias problemas. To meto klajokliai žmonės vertėsi medžiokle ir rinkimu. Naujas žmonijos išradimas – svaidoma ietis, laikotarpio

pabaigoje pradėtas naudoti lankas su strėle. Buities ir medžioklės įrankiai buvo daromi iš titnago, akmens, kaulo, nusmailinto ir apdeginto medžio. Atsirado pirmieji religijos požymiai (neolitinio Deivės Motinos kulto užuomazga), pirmieji piešiniai, vaizdai ar reljefai ant uolų. Piešta ant urvų ar olų, molinių būsto sienų mineraliniais dažais – suodžiais, ochra. Atsirado apvalioji skulptūra, kaulo graviūros, kauliniai muzikos instrumentai (fleita).

Paleolito pabaiga siejama su ledynmečio epochos pabaiga (apie 10 tūkst. m. pr. m. e.), kai klimato pokyčiai privertė žmones keisti gyvenimo būdą. *Homo erectus* buvo šiek tiek didesni ir stipresni nei *homo sapiens*, tačiau pastarieji turėjo didesnes ir geriau išsivysčiusias smegenis. Archeologiniai tyrimai rodo, kad *homo erectus* tuos pačius paprastus kirvukus gaminosi daugiau nei milijoną metų. Tuo pat metu Homo sapiens sukūrė efektyvesnių priemonių, pavyzdžiui, ietį, kurią galima mėtyti ir kuri akivaizdžiai pranašesnė medžioklėje ir kovoje. Šie pranašumai padėjo *homo sapiens* konkurencinėje kovoje įveikti neandertaliečius, kai Europoje dėl ledynmečio smarkiai sumažėjo maisto išteklių. Neandertaliečiai ir *homo erectus* išmirė maždaug prieš 30 000 metų. Dar prieš 100 000 metų Žemėje egzistavo kelios hominidų rūšys, tačiau evoliucija planetoje paliko tik vieną.

Dėl specifinės geografinės Lietuvos padėties (gerokai šiauriau pirmųjų žmonių paplitimo arealo) ir visus pėdsakus sunaikinusio ledyno pirmosios paleolito kultūros Lietuvos teritorijoje randamos gerokai vėliau. Apie 14 000 m. pr. m. e. ledynas galutinai pasitraukė iš Lietuvos. Manoma, kad maždaug 11 tūkst. pr. m. e. atklydo pirmieji elnių medžiotojai iš Danijos, Šiaurės Vokietijos. Lietuvoje randamos tik vėlyvojo paleolito pabaigos kultūros. Žmonės vertėsi retmiškyje (tundroje) gyvenusių žvėrių medžiokle ir rinkimu. Žuvys taip pat buvo medžiojamos, o ne žvejojamos. Seniausi šlikę dirbiniai yra titnaginiai. Pirmieji Lietuvos gyventojai titnago rasdavo Pietų ir Vidurio Lietuvoje – Neries, Merkio, Nemuno upių pakrantėse. Pagrindiniai įrankiai: įkotiniai antgaliai, gremžtukai, rėžtukai, strėlių antgaliai, žeberklai, ylos, grąžteliai. Stovyklos buvo trumpalaikės (kultūrinis sluoksnis jose plonas, radinių nedaug, papuošalų nėra), sausose smėlėtose vietose prie pat vandens.

Mezolitas – paleolito medžiotojų-rinkėjų pereinamasis laikotarpis, kuris prasidėjo šiltame holocene 11 660 m. pr. m. e. ir baigėsi neolito periodo ūkinės veiklos pradžioje. Kiekvienoje geografinėje vietovėje šio laikotarpio pabaiga buvo skirtinga. Reikėjo prisitaikyti prie vykstančių klimato pokyčių, kurie turėjo įtakos tiek aplinkai, tiek ir naudojamoms maisto rūšims. Mezolito laikotarpiu žmogus kaip biologinė būtybė prisitaikė gyventi pakitusioje gamtinėje, daugiausia miškų, aplinkoje. Tarp klajoklių medžiotojų, žvejų ir maisto rinkėjų bendruomenių susidarė sėslių gyvulių augintojų ir žemdirbių bendruomenės. Mezolito metu atsirado pirmieji kultūriniai augalai ir pamažu buvo jaukinami pirmieji naminiai gyvūnai. Lietuvoje mezolitas apima 8 000–5 000 m. pr. m. e. laikotarpį. Skirstomas į ankstyvąjį (8 tūkstantmetis pr. m. e.), vidurinį (7 tūkstantmetis

pr. m. e.) ir vėlyvąjį (6 tūkstantmečio pr. m. e. pirmoji pusė). Ankstyvajame mezolite klimatas atšilo, šiaurės elniai pasitraukė į šiaurę ir anksčiau Lietuvos bei aplinkinėse teritorijose gyvenę paleolito kultūrų žmonės migravo paskui juos. Mezolito pabaigoje gyventojai išplito visoje Lietuvos teritorijoje. Greičiausiai jie buvo medžiotojai. Medžiota strėlėmis su titnago ar mediniais antgaliais, primityviomis ietimis. Žūklei naudoti žeberklai ir ietys, deginti ar skaptuoti luotai su irklais.

Neolito metu klajoklinį medžiotojų-rinkėjų gyvenimo būdą keitė sėsli žemdirbystė ir gyvulininkystė. Išskirtiniai neolito bruožai buvo keramikos, žemdirbystės (plūgas, kaplys) ir gyvulininkystės atsiradimas, naujoviškas akmens įrankių apdorojimas (šlifavimas). Įsitvirtino vienintelė žmogaus rūšis – kromanjonietis (*homo sapiens*), susiformavo atskiros rasės. Žmogus paplito visose klimato juostose – nuo šiaurinės Eurazijos iki pietinės Afrikos. Ne visos kultūros perėmė neolito pasiekimus vienu metu, be to, skirtingomis gamtinėmis sąlygomis pasireiškė kiti neolito bruožai. Artimuosiuose Rytuose (9 500 m. pr. m. e.) iš pradžių susiformavo sėslios bendruomenės, kurios išvystė žemdirbystę ir tik vėliau pradėjo gaminti keramiką. Japonijos neolito kultūra, priešingai, labai anksti įsisavino keramikos technologiją ir tik vėliau perėjo prie gamybinio ūkio ir žemdirbystės. Dar kitur (pvz., Eurazijos stepėje) neolitas turėjo įtakos klajokliškų gyvulių augintojų bendruomenių susiformavimui, o atšiauriomis gamtinėmis sąlygomis (pvz., Sibire) – tik medžioklės ir žvejybos įrankių patobulinimui. Pirmasis buvo prijaukintas šuo, kuris saugojo žmogų nuo žvėrių ir priešų, padėjo medžioklėje, vėliau – avys, ožkos, galvijai ir kiaulės. Iš pradžių gyvulius žmonės augino mėsai, vėliau naudojo jų vilną, melžė. Taip atsirado gyvulininkystė. Namų statybai buvo naudojamos nedegto molio plytos, moliu apdrėbtų pinučių sienos ar pertvaros. Buvo statomi pastatai maisto atsargoms saugoti, paminklai, įrengiamos laidojimo kapavietės.

Varis pradėtas naudoti dar 9 000 m. pr. m. e. Šiaurės Irake rastas vario pakabukas datuojamas 8 700 m. pr. m. e. Apie 8 000 m. pr. m. e. Šumere (dabartinis Pietų Irakas) pradėta naudoti skaičiavimo priemones (mažus molio žetonus). Vėlyvojo neolito laikotarpiu išrastas žiedimo ratas buvo naudojamas keramikos gamybai.

Lietuvoje neolitas prasidėjo atsiradus keramikai, gludintiems titnaginiams ir kitokiems akmeniniams įrankiams, išmokus juos pragręžti, o baigėsi atsiradus pirmiesiems metalų lydiniams. Seniausi puodai dažniausiai neornamentuoti, kartais tik papuošti įspaustomis netaisyklingomis duobutėmis, menkai išdegti. Pagrindinis puodų tipas – dideli, smailiadugniai, plačiaangiai puodai. Žemę apdirbdavo kapliais. Maistui buvo naudojamos kanapės ir soros. Svarbiausi dirbiniai: žeberklai, durklai, peikenos, ietigaliai, kabliukai, kirviai, kaltai, kapliai. Iš gintaro daryti papuošalai – pakabukai, vamzdeliniai karoliai, sagutės ir figūrėlės. Vėlyvajame neolite iš Europos pietų ir pietvakarių į Lietuvos teritoriją atsikėlę virvelinės keramikos ir laivinių kovos kirvių kultūros giminės – indoeuropiečiai – susiliejo su vietos gyventojais, atsirado prabaltai – baltų protėviai.

Techninių priemonių ir technologijų plėtros chronologija

Metai	Įvykiai
Prieš 1, 8 mln. metų	Ugnies suvaldymas ir naudojimas maistui gaminti
Prieš 500 tūkst. metų	Pastogės kūrimas ir įrengimas
Prieš 400 tūkst. metų	Pigmentinis (kūno, daiktų) dekoras Zambijoje, ietys Vokietijoje
Prieš 200 tūkst. metų	Molio keramikos dirbiniai Italijoje
Prieš 160–40 tūkst. metų	Mirusiųjų laidojimo ritualai
Prieš 64 tūkst. metų	Strėlių antgaliai Pietų Afrikoje
Prieš 61 tūkst. metų	Siuvimo adatos Pietų Afrikoje
Prieš 60 tūkst. metų	Šaudymo lankas
Prieš 36 tūkst. metų	Kanapių pluošto drabužių audiniai Gruzijoje
Prieš 35 tūkst. metų	Fleita Vokietijoje
Prieš 28 tūkst. metų	Vytos virvės
Prieš 16 tūkst. metų	Keraminiai molio indai Kinijoje
6000 m. pr. m. e.	Keramikos degimo krosnys Mesopotamijoje
5000–4500 m. pr. m. e.	Oro balionai Kinijoje
3000 m. pr. m. e.	Bronzos lydiniai Mesopotamijoje
3000 m. pr. m. e.	Papirusas Egipte
Pirmasis tūkstantmetis pr. m. e.	
VII a. pr. m. e.	Buriniai dvistiebiai etruskų laivai Italijoje
VI a. pr. m. e. – 515 m. pr. m. e.	Mechaniniai kėlimo įrenginiai senovės Graikijoje
V a. pr. m. e.	Ketaus gamyba senovės Kinijoje; arbaletas senovės Kinijoje ir senovės Graikijoje
V–III a. pr. m. e.	Lydkrosnės senovės Kinijoje, naudojamos aukštakrosnėse pagamintam ketui perlydyti
V–IV a. pr. m. e.	Katapulta senovės Kinijoje
Apie 421 m. pr. m. e.	Katapulta senovės Graikijoje
III a. pr. m. e.	Popieriaus gamyba Kinijoje; šliuzai helenistinio Egipto senajame Sueco kanale

III a. pr. m. e.	Graikų inžinierių įrengtas vandens kelias, jungiantis dvi jūras (senasis Sueco kanalas)
III a. pr. m. e.	Reljefinis žemėlapis Kinijoje; vandens ratas helenistinėse karalystėse
III–II a. pr. m. e.	Aukštakrosnės senovės Kinijoje
Po 205 m. pr. m. e.	Sausas dokas helenistiniame Egipte
II a. pr. m. e.	Keturkampės burės Romos prekybiniuose laivuose; geležies gamyba iš ketaus išanglinimo būdu; popieriaus gamyba iš medžio plaušo Kinijoje
I a. pr. m. e.	Arkiniai tiltai, arkinės užtvankos, vandens malūnai grūdams malti Romos imperijoje

Pirmasis mūsų eros tūkstantmetis

I a.	Daugiapakopės arkinės kontraforsinės užtvankos Romos imperijoje
I–II a.	Gravitacinės užtvankos Romos imperijoje
II a.	Seismometras Kinijoje; alkūninis velenas ir trikampės burės burlaivis Romos imperijoje
II–III a.	Arkinės gravitacinės užtvankos Romos imperijoje
III a.	Romėnų vandeniu varoma Hierapolio lentpjūvė (anksčiausiai žinoma mašina, turinti švaistiklį ir su juo sujungtą strypų mechanizmą)
IV a.	Vėjo malūnas, žvejybos ritė Senovės Kinijoje
IV–V a.	Ratiniai laivai (laivas juda varomas rato) Romos imperijoje
V a.	Arklio apynasris Kinijoje
V–VI a.	Smailiaarkis tiltas Romos imperijos Kapadokijos provincijoje
VI a.	Geokupolai (Sofijos soboras / Hagia Sophia) Konstantinopolyje, tualetinis popierius Kinijoje
VII a.	Banknotai; porcelianas Kinijoje
IX a.	Parakas Kinijoje; nulio skaitmuo senovės Indijoje
X a.	Ugnies ietis, iššaunanti liepsną ir šrapnelinį užtaisą; fejerverkai Kinijoje

Antrasis mūsų eros tūkstantmetis

1000 m.	Parako išradimas Kinijoje
1041 m.	Spaudos presas Kinijoje
1050 m.	Ispanai iš arabų perėmė dešimtainę skaičiavimo sistemą
1280 m.	Išrasti akinių stiklai
1350 m.	Kabantys tiltai Peru
1450 m.	Alfabetinis spausdinimas, Johanas Gutenbergas išrado surenkamas raides ir spausdinimo mašiną
1500 m.	Leonardo da Vinci išrado rutulinius guolius, skraidymo aparatus (helikopterį), pirmąjį mechaninį kalkuliatorių, vieną pirmųjų programuojamų robotų
1510 m.	Peteris Henleinas (Vokietija) sukūrė kišeninį laikrodį
1576 m.	Plieno šarvais apsaugotas karo laivas Japonijoje
1581 m.	Galilėjas Galilėjus (Italija) išrado švytuoklę
1603 m.	Galilėjas Galilėjus (Italija) išrado termometrą
1608 m.	Lęšių gamintojas Hansas Lippershey'is iš Olandijos Midelburgo miesto pirmą kartą pademonstravo teleskopą
1609 m.	Galilėjas Galilėjus (Italija) išrado mikroskopą
1614 m.	Johnas Napieris (Škotija) atrado logaritminį skaičiavimą
1642 m.	Blaise'as Pascalis (Prancūzija) sukonstravo skaičiavimo mašiną
1643 m.	Evangelista Torricellis (Italija) sukūrė atmosferos slėgio matavimo įtaisą – barometrą
1645 m.	Otto von Guericke'as (Vokietija) sukūrė vakuuminį siurblį
1650 m.	Kazimieras Simonavičius (Lietuva) Amsterdame išleido veikalą „Didysis artilerijos menas", išgarsėjusį visoje Europoje. Tai didžiausias senosios Lietuvos indėlis į bendrą Europos ir pasaulio kultūrą
1657 m.	Christiaanas Huygensas (Olandija) sukūrė švytuoklinį laikrodį

1679 m.	Prancūzų fizikas Denis Papenas sukonstravo greitpuodį
1683 m.	Antonie'is van Leeuwenhoekas (Olandija) atrado bakterijas ir mikroorganizmus
1687 m.	Klasikinės fizikos pradininkas Isaacas Newtonas išspausdino knygą „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", kurioje išdėstyti klasikinės mechanikos dėsniai padėjo pagrindus šiuolaikiniam mokslui
1698 m.	Britas Thomas Savery'is sukūrė pirmą komercinę garo mašiną
1671 m.	Gottfriedas Leibnizas (Vokietija) sukūrė labai mažų dydžių apskaičiavimo pagrindus (integralinis ir diferencialinis skaičiavimas)
1705 m.	Thomas Newcomenas (Anglija) užpatentavo stūmoklinę garo mašiną
1708 m.	Jethro Tullis (Anglija) išrado mechaninę grūdų sėjamąją
1710 m.	Rene Antoine'as de Reaumuras (Prancūzija) sukūrė termometrą, kurio aštuoniasdešimt padalų skalėje vandens užšalimo temperatūra buvo 0, o virimo – 80 laipsnių
1733 m.	Audiniams austi Anglijoje išrasta greitaeigė šaudyklė su šovos įtaisu
1742 m.	Benjaminas Franklinas (JAV) sukonstravo vieną pirmųjų energiją tausojančių cirkuliacinių krosnių, kurioje generuojama dvigubai daugiau šilumos nei įprastoje krosnyje (Franklino krosnis)
1752 m.	Benjaminas Franklinas (JAV) sukūrė žaibolaidį
1767 m.	Jamesas Hargreavesas (Anglija) sukonstravo verpimo mašiną
1769 m.	Jamesas Wattas (Anglija) sukonstravo garo mašiną
1774 m.	Josephas Priestly'is (Anglija) išskyrė deguonies dujas
1779 m.	Pirmieji garo varomi įrenginiai automatizavo audimo procesą
1781 m.	Williamas Herschelis (Vokietija) atrado Urano planetą

1785 m.	Edmundas Cartwrightas (Anglija) išrado mechanines audimo stakles
1787 m.	Vokietijoje išrasta plokščiaspaudės grafikos technika – litografinė spauda
1783 m.	Broliai Montgolfier (Prancūzija) išrado karšto oro balioną
1785 m.	Johnas Fitchas (JAV) sukonstravo garlaivį
1798 m.	Edwardas Jenneris (Anglija) išrado skiepus
1799 m.	Humphrey'is Davy'is (Anglija) atrado diazoto oksido dujas (N_2O), sukeliančias malonius pojūčius ir gerinančias nuotaiką
1800 m.	Sukurtos pirmos praktiniam taikymui tinkamos baterijos
1804 m.	Richardas Trevithickas (Anglija) sukonstravo pirmą garinį lokomotyvą
1814 m.	George'as Stephensonas (Anglija) sukonstravo garinį geležinkelio lokomotyvą
1816 m.	Humphrey'is Davy'is (Anglija) sukūrė kalnakasių lempą, saugiai šviečiančią sprogių dujų (metano) aplinkoje. Chemikas Josephas Nicephore'as Niepce'as (Prancūzija), naudodamas sidabro chloridą, sukūrė fotografijos negatyvą
1816 m.	Rene Laennecas (Prancūzija) sukūrė stetoskopą – medicininį prietaisą vidaus organų sukeliamiems garsams klausyti
1820 m.	Prancūzų išradėjas Charlesas Xavier Thomas de Colmar sukūrė masiškai gaminamą aritmometrą – aritmetikos veiksmus mechaniškai atliekantį prietaisą
1821 m.	Michaelis Faraday'us (Anglija) sukūrė pirmą elektrinį motorą
1822 m.	Charlesas Babbage'as (Anglija), anglų matematikas ir išradėjas, suprojektavo skirtumų mašiną, kurią galima laikyti pirmuoju šiuolaikinių kompiuterių prototipu
1823 m.	Williamas Sturgeonas (Anglija) sukūrė eletromagnetą

1824 m.	Josephas Aspdinas (Anglija) išrado portlandcementį – cheminę hidraulinę rišamąją medžiagą iš klinkerio, gipso ir aktyvių hidraulinių užpildų
1831 m.	Justus von Liebigas (Vokietija) atrado chloroformą – bespalvį savito kvapo skystį, naudojamą ligonių narkozei prieš operacijas. Michaelis Faraday'us (Anglija) atrado elektromagnetinę indukciją ir sukūrė elektrinį motorą – pirmą prietaisą, naudojantį elektros srovę materialiam daiktui judinti
1834 m.	Louis Braille'is (Prancūzija) sukūrė Brailio rašto abėcėlę
1834 m.	Jacobas Perkinsas (JAV) išrado šaldytuvą
1834 m.	JAV sukurtas pirmas javų nuėmimo kombainas
1835 m.	Samuelis Morsė (JAV) sukūrė Morzės abėcėlę. Samuelis Koltas (JAV) sukūrė šešių kulkų būgninį revolverį
1838 m.	Charlesas Wheatstone'as (Anglija) ir Samuelis Morsė (JAV) sukonstravo telegrafo aparatą (Lietuvoje pirmoji telegrama iš Vilniaus į Peterburgą išsiųsta 1859 m.). Louis Daguerre'as (Prancūzija) sukūrė praktinį fotografijos būdą – dagerotipiją
1839 m.	Josephas Nicephore'as Niepce'as (Prancūzija) užpatentavo fotografijos būdą
1839 m.	Charlesas Goodyearas (JAV) išrado gumos vulkanizavimo procesą
1842 m.	Crawfordas Longas (JAV) anestezijai panaudojo eterį
1843 m.	Charlesas Thurberis (JAV) užpatentavo rašomąją mašinėlę
1846 m.	Eliasas Howe'as (JAV) sukūrė siuvimo mašiną. Richardas M. Hoe (JAV) sukūrė rotacinę spausdinimo mašiną
1849 m.	Josephas Monier (Prancūzija) išrado gelžbetonį
1859 m.	Charlesas Darwinas (Anglija) paskelbė įžymųjį veikalą „Rūšių atsiradimas". Etienne'as Lenoiras (Belgija) pademonstravo pirmą sėkmingą vidaus degimo variklį

1861 m.	Jamesas Clarkas Maxwellas (Škotija) pademonstravo spalvotos fotografijos būdą
1862 m.	Richardas J. Gatlingas (JAV) išrado pirmą efektyvų greitašaudį ginklą. Narcís Monturiolis i Estarriolis (Ispanija) sukonstravo vidaus degimo variklio varomą povandeninį laivą
1866 m.	Alfredas Nobelis (Švedija) sukūrė dinamitą. Charlesas Martinas Hallas (JAV) ir Paulis Heroult (Prancūzija) savarankiškai surado būdą, kaip elektrolizės būdu iš Al_2O_3 išgauti aliuminį
1869 m.	Dimitrijus Mendelejevas (Rusija) sukūrė periodinę cheminių elementų lentelę
1873 m.	Christopheris Sholesas (JAV) sukūrė QWERTY klaviatūrą, kuri buvo naudojama „Remington“ firmos spausdinimo mašinėlėse. Jamesas Clarkas Maxwellas (Škotija) sukūrė dėsnius, tiksliai apibūdinančius elektros ir magnetinio laukų veikimą bei sąveiką, elektromagnetinių bangų prigimtį. Josephas Gliddenas (JAV) sukūrė populiarią spygliuotos vielos rūšį
1876 m.	Gottliebas Wilhelmas Daimleris (Vokietija) sukūrė benzinu varomą vidaus degimo variklį su karbiuratoriumi
1877 m.	Thomas Alva Edisonas (JAV) sukūrė prietaisą, skirtą garsui įrašyti ir atkurti. Emile'is Berlineris (JAV) sukūrė mikrofoną – akustinį elektrinį įtaisą, keičiantį garso virpesių energiją garsinio dažnio elektros srove
1878 m.	Williamas Crookes'as (Anglija) sukūrė katodinių spindulių vamzdį – elektros vakuuminį prietaisą, kurio fosforescuojančiame ekrane vaizdą kuria elektronų pluoštelis. Thomas Alva Edisonas (JAV) sukūrė kaitinamąją elektros lemputę
1883 m.	Čikagoje pastatytas pirmasis 10-ties aukštų dangoraižis. Hiramas Stevensas Maximas (Anglija) sukonstravo automatinį kulkosvaidį

1885 m.	Gottliebas Daimleris ir Augustas Wilhelmas Maybachas (Vokietija) išrado vidaus degimo variklio ciklą ir pirmąjį benzininį kaitinamą variklį, kuriame mišiniui uždegti buvo naudojamas į cilindrą įstatytas įkaitintas vamzdelis. Karlas Friedrichas Benzas (Vokietija) sukonstravo vidaus degimo variklio varomą automobilį
1888 m.	Heinrichas Hertzas (Vokietija) pirmasis išgavo elektromagnetines bangas. Paryžiuje pastatytas Eifelio bokštas
1891 m.	Whitcombas L. Judsonas (JAV) sukūrė užtrauktuką
1893 m.	Nikola Tesla (Austrijos-Vengrijos imperija) pademonstravo radijo ryšio principus. Rudolfas Dieselis (Vokietija) išrado dyzelinį vidaus degimo variklį
1895 m.	Guglielmo Marconis (Italija) sukonstravo pirmą radijo bangų principu veikiantį aparatą. Auguste'as Marie Louis ir Louis Jeanas Lumière (Prancūzija) išrado kinematografą. Wilhelmas Röntgenas (Vokietija) atrado X spindulius
1896 m.	Sukurtos spaudos mašinos, spaudos formos rinkimui naudojančios rinkimo klaviatūrą. Užpatentuota pirmoji indaplovė. Antoine'as Henri Becquerelis (Prancūzija) atrado radioaktyvumą
1898 m.	Jamesas Dewaras (Anglija) suskystino vandenilį. Vandenilis buvo atšaldytas iki –205 °C veikiant 18 MPa slėgiui
1900 m.	Maxas Planckas (Vokietija) sukūrė kvantinės teorijos pagrindus. Ferdinandas Adolfas Heinrichas Augustas Grafas von Zeppelinas (Vokietija) sukūrė pirmą standųjį dirižablį. Benjaminas Holtas (JAV) sukūrė vikšrinio traktoriaus koncepciją
1901 m.	Hubertas Boothas (Anglija) sukūrė elektrinį dulkių siurblį. Kingas Campas Gillette'as (JAV) pirmasis užpatentavo skutimosi peiliukus. Guglielmo Marconis (Italija) panaudojo radijo bangas SOS signalui perduoti Morzės kodu

1903 m.	Broliai Wilburas Wrightas ir Orville'as Wrightas (JAV), savo gamybos sklandytuve įrengę 12 kW vidaus degimo stūmoklinį variklį, nuskrido 260 m ir išsilaikė ore 59 sekundes
1905 m.	Albertas Einsteinas (Vokietija) sukūrė reliatyvumo teoriją
1907 m.	Paulio Cornu (Prancūzija) sukurtas sraigtasparnis pirmą kartą su žmogumi pakilo į orą – maždaug 2 m aukštį. Lee de Forestas (JAV) išrado trijų elektrodų elektroninę lempą, kuri veikia kaip radijo signalų stiprintuvas-generatorius. Leo Baekelandas (JAV) sukūrė sintetinį plastiką – bakelitą
1911 m.	Ernestas Rutherfordas (Anglija) pasiūlė branduolinio atomo modelio idėją
1919 m.	Jamesas Fieldsas Smathersas (JAV) sukūrė pirmą elektrinę spausdinimo mašinėlę
1923 m.	Lee de Forestas (JAV) sukūrė garsinį kiną ir radijo lempą – triodą. Vladimiras Zvorykinas (Rusija) išrado ikonoskopo kamerą ir kineskopo vamzdį, kurie naudojami televizoriuje
1924 m.	Johnas Logie Bairdas (Škotija) sukūrė pirmą elektromechaninę televizijos sistemą, kuri panaudota reguliariai laidai
1926 m.	Robertas Goddardas (JAV) paleido pirmą skystuoju kuru varomą raketą. Erikas Rotheimas (Norvegija) išrado aerozolinį balionėlį ir purkštuką
1927 m.	Philo T. Farnsworthas (JAV) sukūrė pirmą visiškai elektroninę televizijos sistemą
1928 m.	Alexanderis Flemingas (Škotija) išrado antibiotikus ir peniciliną. Jacobas Schickas (JAV) užpatentavo pirmą elektrinį skustuvą
1937 m.	Frankas Whittle'as (Anglija) ir Hansas von Ohainas Alanas (Vokietija) sukūrė reaktyvinį variklį. Alanas Turingas (Anglija) sukūrė teorinius skaičiavimo mašinų pagrindus

1938 m.	Laszlo Biro (Vengrija) sukūrė rašymo priemonę – šratinuką
1942 m.	Enrico Fermio (JAV) vadovaujama mokslininkų grupė sukūrė pirmą branduolių dalijimosi reaktorių
1943 m.	Alanas Turingas (Anglija) karo metu vadovavo darbo grupei, iššifravusiai vokiečių karo laivyno naudotą Enigmos kodą. Jacques'as-Yves'as Cousteau ir Emile'is Gagnanas (Prancūzija) išrado akvalangą
1944 m.	Inžinierių grupė, vadovaujama Wernherio von Brauno (Vokietija), sukūrė skystuoju kuru varomas raketas, kurios galėjo nugabenti kovinį užtaisą 320 km
1945 m.	Naujosios Meksikos valstijoje (JAV) detonuota pirmoji atominė bomba
1946 m.	Percy'is Spenceris (JAV) sukūrė mikrobangų krosnelę. JAV buvo sukurta elektroninė skaičiavimo mašina ENIAC
1948 m.	„Bell Laboratories" (JAV) sukūrė tranzistorių – puslaidininkinį įtaisą, naudojamą elektroniniams signalams sustiprinti ar nukreipti
1951 m.	Vadovaujant Walteriui Zinnui (JAV) sukurtas dauginimo reaktorius, kuriuo gaminama branduolinė energija ir branduolinis kuras. Johnas Mauchly'is ir Johnas Presperas Eckertas (JAV) sukūrė universalų automatinį kompiuterį (UNIVAC)
1956 m.	Basilis Hirschowitzius, C. Wilburas Petersas ir Lawrence'as E. Curtiss (JAV) sukūrė šviesolaidinį gastroskopą. Alexanderis M. Poniatoffas (JAV) sukūrė į kasetes vaizdus įrašantį magnetinį įrenginį
1957 m.	Sovietų Sąjunga paleido dirbtinius Žemės palydovus „Sputnik I" ir „Sputnik II". IBM (JAV) išsiuntė vartotojams pirmas programinės kalbos „Fortran" kopijas

1958 m.	Jackas Kilby'is ir Robertas Noyce'as (JAV) sukūrė pirmuosius integrinius grandynus (lustus). Charlesas H. Townesas, Arthuras L. Schawlosas (JAV), Nikolajus Basovas ir Aleksanderis Prokorovas (SSRS) sukūrė teorinius lazerio spinduliuotės pagrindus ir veikimo principus
1959 m.	Chesteris Carlsonas ir Otto Komei (JAV) sukūrė pirmą kserografinį kopijuoklį
1960 m.	Theodore'as Haroldas Maimanas (JAV) pirmasis sukūrė lazerį, kurio aktyviajai terpei panaudotas sintetinis aliuminio oksido kristalas (rubinas) su chromo priemaišomis
1961 m.	Jurijus Gagarinas (SSRS) pirmasis pakilo į kosmosą. Alanas Shepardas (JAV) atliko pirmą suborbitinį skrydį. Davidas Paulis Greggas (JAV) sukūrė optinį diską informacijai skaitmenine forma įrašyti ir saugoti
1963 m.	Douglasas Engelbartas (JAV) sukonstravo kompiuterio pelę. Firma „Phillips Electronics" (Olandija) sukūrė analoginę laikmeną garsiniams įrašams saugoti (audiokasetę), sudarytą iš dėžutės, ričių, juostos sukimo ir prispaudimo mechanizmo bei magnetinės juostelės
1967 m.	Instaliuojamas pirmasis grynųjų pinigų išdavimo automatas (Anglija). Pirmą bankomatą Lietuvoje 1995 m. įrengė SEB Vilniaus bankas. Andries van Damas ir Tedas Nelsonas (JAV) sukūrė hiperteksto sąvoką – dokumento, sudaryto iš tekstų ir piešinių ir turinčio nuorodas į kitus dokumentus ar literatūros šaltinius
1968 m.	„Telefunken" kompanija (Vokietija) pristatė savo sukurtą kompiuterinę pelę. Ralphas H. Baeris (JAV) sukūrė pirmą kompiuterinių žaidimų konsolę
1969 m.	Neilas Armstrongas ir Buzzas Aldrinas (JAV) pirmieji išsilaipino Mėnulyje

1971 m.	Ray'us Tomlinsonas (JAV) sukūrė elektroninį paštą. Jamesas Fergasonas (JAV) sukūrė skystųjų kristalų monitorių. „Sharp" korporacija (Japonija) sukūrė kišeninį skaičiuoklį. IBM (JAV) sukūrė kompaktinį diskelį. Sukurtas pirmasis komercinis „Intel" (JAV) mikroprocesorius
1976 m.	Kosminis aparatas „Viking-1" (JAV) pirmą kartą nusileido kitoje Saulės sistemos planetoje – Marse
1981 m.	Pirmasis kosminės šaudyklės skrydis, ją pilotavo Johnas Youngas (JAV)
1986 m.	Kosminės šaudyklės „Challenger" (JAV) katastrofa, kurios metu žuvo visa įgula. Černobilio branduolinės elektrinės (Ukraina) katastrofa
1991 m.	Irvingas Weissmanas (JAV) atrado žmogaus organizmo kamienines ląsteles
1992 m.	Internetas atvertas komerciniam naudojimui
1993 m.	„Intel" korporacija (JAV) pristatė „Pentium" procesorių. Europos branduolinių tyrimų organizacija (CERN) pasauliui padovanojo WWW technologiją
1994 m.	Pradėjo veikti 24 palydovus turinti JAV Globali padėties nustatymo sistema (GPS)
1995 m.	„Microsoft" korporacija (JAV) pristatė „Intel PK" šeimai pritaikytą „Windows 95" operacinę sistemą
1996 m.	Kompanija „Sun Microsystems" (JAV) pristatė „Java" programavimo kalbą. Pirmą kartą kompiuteris nugalėjo šachmatų pasaulio čempioną Garį Kasparovą. Pirmą kartą implantuota visiškai dirbtinė širdis (Taivanis)
1997 m.	Prasidėjo tinklaraščių (blogų) era
1998 m.	Kompanija „Google" (JAV) sukūrė Internetinės paieškos sistemą.
1999 m.	Identifikuotos smegenų kamieninės ląstelės, kurios įauga į nervų ląsteles

2000 m.	Iššifruota žmogaus chromosomų rinkinyje esančių DNR nukleotidų seka ir 20–25 tūkst. genų visuma. „Intel“ (JAV) pradėjo naudoti mikroschemas, leidžiančias procesoriui dirbti 1 GHz sparta. Barenco jūroje sprogo ir nuskendo Rusijos branduolinis povandeninis laivas „Kursk“
2001 m.	JAV pasirodė skaitmeninis palydovinis radijo imtuvas. Jimmy'is Walesas ir Larry'is Sangeris (JAV) sukūrė didžiausią pasaulyje interaktyvią, laisvą interneto enciklopediją „Vikipedija“
2003 m.	Pirmas žinduolio klonavimas (avis Doli, Škotija)
2004 m.	Pradėjo funkcionuoti socialinis tinklapis „Facebook“
2005 m.	„YouTube“ pradėjo vaizdo įrašų saugojimą ir atkūrimą
2006 m.	Pradėjo funkcionuoti socialinis tinklapis „Twitter“
2008 m.	Barselonoje (Ispanija) transplantuotas pirmasis žmogaus organas, išaugintas iš žmogaus kamieninių ląstelių
2010 m.	Andre Geimas ir Konstantinas Novoselovas Mančesterio universitete (Anglija) sukūrė dvidimensinę medžiagą – grafeną
2011 m.	Dėl žemės drebėjimo ir cunamio smūgio įvyko Fukušimos atominės elektrinės (Japonija) katastrofa
2012 m.	Nustatytos pirmosios atskiro organizmo (žmogaus) genomų sekos (JAV)

III priedas. **Naujos technologijos**

Nauja technologija	**Kūrimo ar taikymo būklė**	**Taikymas**
Elektronika		
Spintronika – technologija, kurioje naudojami elektrono sukimosi apie savo ašį ir jo elektros krūvio veiksniai	Darbiniai prototipai	Duomenų saugojimas. Informacijos užšifravimas ir jos siuntimas ne įtampos pokyčiais, o elektronų sukiniais, t. y. kompaktiškesniais lustais, naudojančiais kur kas mažiau energijos
Elektroninė nosis	Tyrimai, komercializavimas	Padeda aptikti sugedusį maistą, pavojingas kovines chemines medžiagas, onkologinius susirgimus
Termoelektrinis efektas	Prototipų gamyba	Įprastos šilumos perdavimo sistemos, šilumokaičiai, termoelektriniai elementai. Elektros grandinių aušinimas, mikroaktuatoriai, maži termoelektriniai generatoriai
Lanksčioji elektronika	Tyrimai, prototipų gamyba	Lankstomi elektronikos prietaisai, tokie kaip lankstomas išmanusis telefonas. Lengvi lankstieji saulės elementai, kuriuos galima suvynioti ir išvynioti paleidžiant kosminius aparatus

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
Atminties įrenginių, vadinamųjų memristorių, kūrimas	Prototipų gamyba	Naudojant memristorius, 15 nm technologinį procesą ir ketursluoksnį atminties lustų dizainą, kvadratiniame centimetre pasiektas 12 GB įrašymo tankis. Taikymas: elektronikos prietaisai, analoginė elektronika, dirbtinis intelektas. Mažesni, spartesni, mažiau elektros energijos naudojantys įtaisai
Energetika		
Skraidančios vėjo turbinos	Tyrimų stadija	Elektros energijos gamyba, mažinamas iškastinio kuro naudojimas
Dirbtinė fotosintezė	Tyrimai, eksperimentinis taikymas	Iškastinis kuras arba „archyvuojanti“ fotosintezė. Natūralios fotosintezės gerinimas, saulės spinduliuotės ir vandens konversija į vandenilį, vandenilio ir anglies dioksido konversija į angliavandenius (karbohidratus)
Biokuras	Sklaidos stadija	Iškastinio kuro rūšys. Energijos kaupimas, jos naudojimas transporte
Koncentruotos saulės energijos elektrinės	Augančios rinkos Kalifornijoje, Ispanijoje, Šiaurės Afrikoje	Elektros energijos gamyba
Branduolių sąlajos jėgainės	Vyksta eksperimentai, tikimasi, kad atsiras po 50–60 metų	Mažinamas iškastinio kuro naudojimas, atsinaujinanti energetika, eksperimentinių plazmos fizikos tyrimų rezultatus siekiama panaudoti elektros ar šilumos generavimui branduolių sąlajos jėgainėse
Ličio-oro baterijos	Tyrimų ir eksperimentų stadija	Energijos kaupimo būdai. Naudojama nešiojamuose kompiuteriuose, telefonuose, elektromobiliuose, energijos kaupimas elektros energijos perdavimo sistemose

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
Nanovielinės ličio jonų baterijos	Eksperimentai, prototipų gamyba	Energijos kaupimo priemonės. Naudojama nešiojamuose kompiuteriuose, telefonuose, elektromobiliuose, energijos kaupimas elektros energijos perdavimo sistemose
Energijos gavyba iš branduolinio skilimo reakcijų naudojant išlydytas torio druskas	Tyrimai pradėti 1960 m. ir vykdomi toliau	Elektros energijos ir šilumos gamyba, mažinamas iškastinio kuro naudojimas, uranu paremtos branduolinės technologijos pakeitimas į naudojančią torį; torio reaktoriaus veiklos produktų negalima efektyviai paversti ginkluotei tinkamu plutoniu, torio skilimo atliekos mažiau toksiškos
Belaidis energijos perdavimas	Prototipų kūrimas, sklaida, nedidelio nuotolio energijos perdavimo priemonių gamyba	Maitinimo laidai, kištukai, baterijos. Belaidis mobiliųjų telefonų, kompiuterių, elektromobilių baterijų pakrovimas
Energijos surinkimas	Eksperimentinių įrenginių kūrimas	Baterijos. Nuolat veikiantys energijos šaltiniai mobiliesiems telefonams, plačiai naudojami prietaisai ar įtaisai
Gamyba		
3D spausdinimas	Komercinė gamyba	Vienetiniai gaminiai, ribota masinių gaminių, kuriems trūksta plataus pritaikymo, gamyba. Spartus plastikinių objektų ir daugialypės paskirties gaminių prototipų, daug greičiau pritaikomų individualiems vartotojams, kūrimas ir gamyba
Molekulinis rinkiklis	Hipotetinė stadija, eksperimentavimas	3D spausdinimas, tradiciniai gamybos metodai ir įrankiai

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
Medžiagų mokslas		
Kietojo kūno fotonų spinduoliai, dar vadinami kvantiniais taškais	Tyrimai, eksperimentavimas, prototipų gamyba	LCD, LED, kvantiniai-taškiniai lazeriai, programuojamos medžiagos monitoriams, labai greitiems monitoriams ir išoriniams kietiesiems diskams, optinis spartusis duomenų perdavimas, lazerinis skalpelis
Aerogeliai	Hipotetinė stadija, eksperimentavimas, nedidelė sklaida	Tradiciniai ir geresnių savybių sandarikliai, skaidrūs sandarikliai, naftos vamzdynų žarnos, medžiagos labai aukštai ir labai žemai temperatūrai, medžiagos kosminiams aparatams
Elektrai laidūs polimerai	Tyrimai, eksperimentavimas, prototipų gamyba	Lengvesni ir pigesni laidininkai, antistatinės medžiagos, organiniai saulės elementai
Femtotechnologijos, pikotechnologijos	Hipotetinė stadija	Branduolinė energetika, naujos medžiagos, branduoliniai ginklai
Grafenas	Hipotetinė stadija, eksperimentavimas, nedidelė sklaida	Silicio pagrindo integrinės grandinės, didelių dažnių srityje veikiantys tranzistoriai, vandenilio saugojimas kuro celėse, didelio stiprio, bet mažo svorio gaminiai, ligų diagnozės jutikliai
Aukštatemperatūris superlaidumas	Mobiliųjų telefonų bazinių stočių imtuvo kriogeninės dalies radijo dažnio ir mikrobangų filtro sistemos. Hipotetinės studijos ir eksperimentai aukštoje temperatūroje	Vario viela, puslaidininkės integrinės grandinės; be energijos nuostolių dirbantys laidininkai ir didelės talpos akumuliatoriai, betrinčiai guoliai, magnetinė levitacija, elektromobiliai

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
Aukštatemperatūris supertakumas	Supertakių skysčių giroskopai jau naudojami, tačiau jie dirba tik labai žemoje temperatūroje	Mechaninis giroskopas, labai tikslūs sunkio matavimo prietaisai, manevravimo ir navigacijos prietaisai
Metamedžiagos	Hipotetinė stadija, eksperimentavimas, nedidelė sklaida	Tradicinė optika, mikroskopai, filmavimo kameros, maskuojančios medžiagos, maskuojantys prietaisai
Programuojamų savybių medžiagos	Hipotetinė stadija, eksperimentavimas	Dangos, katalizės medžiagos. Bendra nanorobotikos ir kompiuterijos mokslų veikla kuriant atskirus nanometrinius kompiuterius, galinčius sąveikauti tarpusavyje ir formuoti apčiuopiamus 3D objektus, su kuriais galėtų bendrauti vartotojas. Sintetinė biologija
Nanomedžiagos: anglies nanovamzdeliai	Hipotetinė stadija, eksperimentavimas, nedidelė sklaida, naudojimo pradmenys	Konstrukcinis plienas, aliuminio lydiniai. Stipresnės ir lengvesnės medžiagos. Hipotetinis kosminis keltuvas
Daugiafunkcinės struktūros	Hipotetinė stadija, eksperimentai, prototipų kūrimas ir gamyba, nedidelė komercija	Kompozitinės medžiagos. Sveikatos savistebėsena, savaime atsikuriančios medžiagos
Robotika		
Nepilotuojama ar autonominė oro ar povandeninė transporto priemonė	Tyrimai ir nedidelė prototipų sklaida	Karinė žvalgyba, okeanografija, komercinė oro žvalgyba, gaisro židinių fiksavimas, kelių eismo priežiūra, kova su piratavimu, gelbėjimo transporto priemonės
Spietinė robotika	Hipotetinė stadija, eksperimentinė stadija	Paskirstytas skaičiavimas, autonominis projektavimas, montavimas kosminėje erdvėje

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
Techniniai egzoskeletai (ant kūno dedami įtaisai, kurie sustiprina žmogaus (ar kito organizmo) atraminę ir judėjimo funkciją)	Tyrimai, prototipų kūrimas ir gamyba, komercializacija	Elektriniai vežimėliai, krautuvai. Sutrikusioms organizmo funkcijoms atkurti, esant raumenų ligoms; pagyvenusių žmonių ir neįgaliųjų priežiūra; karyba
Molekulinė nanotechnologija, nanorobotika	Hipotetinė stadija, eksperimentinė stadija	Produktų ir detalių gamyba, mažmeninis platinimas
Transportas		
Beorės padangos	Tyrimai, prototipų kūrimas ir gamyba	Orinių padangų pakaitalas, saugesnės ratų padangos
Alkubero variklis	Bandymas sukurti iškreiptą erdvėlaikį laboratorinių tyrimų metu	Kirmgrauža (hipertunelis) – hipotetinė erdvėlaikio savybė, tam tikras trumpesnio kelio „tunelis“ per erdvę ir laiką. Būdas keliauti tarp žvaigždžių apeinant šviesos greičio barjerą. Tarpžvaigždiniai tyrimai ir kosminės erdvės kolonizavimas
Alternatyvių kuro rūšių varikliai	Komercializacija, nedidelės spartos sklaida	Vidaus degimo varikliai, elektriniai varikliai, vandenilinio kuro varikliai, suspausto oro varikliai. Mažesnė oro tarša, mažesnis naftos produktų naudojimas
Lankstūs sparnai (aktyvusis aeroelastinis sparnas, adaptyvus sparnas), sklandaus skrydžio valdikliai	Eksperimentinė stadija, prototipų kūrimas	Skrydžio valdymo sistemos: eleronai, oro nukreipikliai, užsparniai, aukščio vairai elevonai, atvartos, flaperonai; orlaivių, laivų valdymas
Skraidantys automobiliai	Prototipų kūrimas ir komercializacijos pradžia	Efektyvesnis kelių transportas

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
„Maglev“ traukiniai, vakuuminiai traukiniai	Tyrimai, prototipų kūrimas ir komercializacija	Didelio greičio traukinių varikliai
Hipergarsiniai „scramjet“ orlaiviai	Tyrimai, prototipų kūrimas	Viršgarsinių reaktyvinių lėktuvų variklis; greitis 6–24 machų
Sulės burė	2010 m. kosminis aparatas IKAROS kosminiame skrydyje pirmą kartą panaudojo saulės burės sukuriamą varomąją jėgą	Variklis tolimoms kosminėms kelionėms
„Hyperloop“ greitojo transporto sistema	Tyrimai, prototipų kūrimas	Transporto sistema, paremta traukinio ar kapsulės judėjimu vakuuminiu vamzdžiu ant magnetinės pagalvės. Galėtų pasiekti 1 200 km/val. greitį
Branduolinė kėlimo į kosmosą patranka	Hipotetinė stadija	Labai pigi įvairių krovinių kėlimo į orbitą priemonė
Karyba		
Skraidanti lazerinė kovinė sistema	Moksliniai tyrimai ir bandymai	Lazerinės sistemos, veikiančios nuo skrendančios platformos. Gynyba, taktinių balistinių raketų sekimas ir naikinimas
Kryptingos energijos ginklai	Tyrimai, kai kurių prototipų gamyba	Karyba. Lazerinės ginkluotės sistemos
Elektromagnetiniai ginklai	Tyrimai, prototipų kūrimas	Ginklų rūšys: bėginis masės greitintuvas, arba „Rail-Gun“ pabūklas, magnetinis linijinis greitintuvas, arba „coil-gun“ pabūklas
Įelektrintų dalelių spindulio ginklas	Tyrimai, prototipų kūrimas	Karyba (strateginė gynybos iniciatyva)
Branduolinės sintezės ginklai	Hipotetinė sritis	Karyba

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
Nematomumo technologijos	Tyrimai, prototipų kūrimas	Maskavimas. Elektroninės atsakomosios priemonės (nematomi „stealth“ orlaiviai, radarų spinduliuotę sugeriančios medžiagos)
Kitos sritys		
Ribotos ekologinės sistemos	Tyrimai, prototipinių sistemų kūrimas ir demonstravimas	Žemės ūkis, kosmoso kolonizavimas
Genetiškai modifikuoti maisto produktai	Tyrimai, produktų kūrimas ir komercializacija	Žemės ūkis
Mėsos inkubatoriai	Tyrimai, prototipinių sistemų kūrimas	Sintetinių mėsos produktų kūrimas ir gamyba
Žmonių ir gyvūnų implantai ir protezai	Tyrimai su gyvūnais (pvz., smegenų implantai), klinikiniai implantai (pvz., insulino pompos implantas žmogaus organizme)	Įvairios medicinos sritys. Smegenų implantai, akies tinklainės implantas, kaulų, dantų, kraujagyslių ir kt. protezai
Genetinė inžinerija	Tyrimai, produktų kūrimas ir komercializacija	Gyvulininkystė, augalininkystė. Genetinių defektų šalinimas, genetiškai modifikuotų maisto produktų kūrimas, galvijų ar javų modifikavimas ar naujų rūšių kūrimas
Gydymas kamieninėmis ląstelėmis	Tyrimai, eksperimentavimas	Įvairios terapijos, daugelio susirgimų ar sužeidimų gydymas
Biologinių audinių inžinerija	Tyrimai, nedidelės spartos sklaida	Biologinių organų auginimas ar klonavimas
Dirbtinis protas	Tyrimai	Neurologinių ligų gydymas, dirbtinis intelektas
Mašininis vertimas	Nedidelės spartos sklaida	Kalbos vertimas srityse, kuriose kalba yra formalizuota

Nauja technologija	Kūrimo ar taikymo būklė	Taikymas
Mašininė rega, objekto atpažinimas, vaizdo apdorojimas	Tyrimai, prototipų kūrimas, komercializacija	Biometriniai duomenys, valdymo procesai (pvz., savaeigis automobilis, automatiškai valdoma judanti mašina), automatinis įvykių aptikimas ir atpažinimas
Optiniai skaičiavimo įrenginiai	Hipotetiniai būdai, eksperimentinė paieška. Sukurti kai kurie integrinių grandinių elementai ar mazgai	Elektroniniai prietaisai, integrinės grandinės, mažesni, spartesni, mažiau energijos naudojantys skaičiavimo įrenginiai
Kvantinė kompiuterija	Hipotetinė stadija, eksperimentavimas, komercializacija	Atomtronika, elektroninis skaičiavimas, optinis skaičiavimas, kvantinis laikrodis. Didesnė skaičiavimo sparta
Kalbos atpažinimas	Tyrimai, įrenginių kūrimas ir komercializacija	Mechaniniai kalbos garsų įvedimo įrenginiai
Anglies dvideginio mažinimas atmosferoje	Tyrimai ir technologijų kūrimas	Iškastinio kuro keitimas kuro rūšimis, degimo metu neišskiriančiomis anglies dvideginio dujų. Naujų kuro rūšių gamyba, šiltnamio efekto mažinimas ir klimato kaitos stabdymas
Nematomumo apsiaustas	Hipotetinė stadija. Tyrimai. Tam tikromis aplinkybėmis sėkmingas mažų objektų slėpimas	Maskavimas. Daiktą apgobus nematomumo apsiaustu, nematomas tampa ir objektas, ir pats apsiaustas. Priežastis – atspindėtas šviesos intensyvumas prilygsta nuo veidrodžio atspindėtai šviesai

Nauja technologija	**Kūrimo ar taikymo būklė**	**Taikymas**
Magnetinis levitavimas (sklandymas)	Tyrimai, įrenginių kūrimas ir komercializacija („Maglev traukiniai“)	Važiuoklės, padangos, įprastinės transporto priemonės. Aukštatemperatūris superlaidumas, kriogeniškumas, žemų temperatūrų šaldikliai, superlaidumo magnetai ir konstrukcijos, tikslioji gamyba, „Maglev“ traukiniai, „Maglev“ principais pagrįstos kosminių aparatų paleidimo sistemos
Magnetinis šaldymas	Jau naudojami laboratoriniuose įrenginiuose, kai reikia pasiekti žemesnę negu 10 K temperatūrą	Šaldymo įrenginiai, kuriems nereikalingas kompresorius ir kurie pasižymi efektyvesniu energetiniu veikimu. Gali būti naudojami šaldytuvuose, oro kondicionavimo įrenginiuose, kosminiuose aparatuose
Magnetoreologiniai skysčiai	Tiriami ir kuriami	Smūgių energijos sugėrikliai, magnetoreologiniai sunkiųjų mašinų slopintuvai (amortizatoriai), seisminių smūgių slopintuvai, neperšaunamų liemenių skystieji kulkų energijos slopintuvai, elektroreologiniai skysčiai

IV priedas. **Svarbiausios medžiagų mokslo ir inžinerijos veiklos kryptys siekiant visuomenės plėtros strateginių tikslų**

Svarbiausios veiksmų kryptys	**Esamos situacijos įvertinimas ir ateities planai**
Medžiagų projektavimas	Vienas iš šiuolaikinių medžiagų mokslo ir inžinerijos prioritetų yra medžiagų pritaikymas – pradedant jų chemine sudėtimi, sudedamosiomis dalimis ir mikrostruktūra. Tam tikrais atvejais naudojamas kompiuterinis modeliavimas, kuriuo tikimasi pagerinti medžiagų savybes, jų prognozę iki gamybos. Einant šia kryptimi sumažėtų išlaidos ir laikas, reikalingas šiems tyrimams ir jų įgyvendinimui
Kompiuterizuotas medžiagų kūrimas	Kompiuterinis modeliavimas netrukus taps nepakeičiama medžiagų mokslo ir inžinerijos priemone. Kompiuterizuotas medžiagų kūrimas padeda apibūdinti medžiagų chemines ir fizines savybes tiek jų dimensijos, tiek laiko požiūriais
Modernios analitinės priemonės	Naujų inžinerinių medžiagų kūrimas, o ateityje ir naujų reiškinių atradimas skatina kurti ir taikyti naujus, efektyvesnius mokslinių tyrimų metodus, leidžiančius nagrinėti medžiagas atominės sandaros lygmeniu. Šiems tikslams gali būti pasitelkta aukštos skiriamosios gebos elektroninė mikroskopija, skenuojanti mikroskopija, atominės jėgos mikroskopija, absorbuojamosios spinduliuotės matavimu pagrįsti metodai, taip pat greito vizualizavimo įvairių tipų spektroskopija su galingesniais kompiuteriais

Svarbiausios veiksmų kryptys	Esamos situacijos įvertinimas ir ateities planai
Sintezė ir apdorojimas	Svarbiu ateities gamybos ir perdirbimo tikslu yra tiesiogiai iš atomų ar dalelių struktūrų suprojektuotos inžinerinės medžiagos. Šių procesų tikslumas ir kontrolė turėtų būti tokie patys kaip dabartinės puslaidininkių medžiagų gamybos. Tai galėtų būti, pavyzdžiui, medžiagų cheminė konversija iš paprastų pirmtakų, greitas keraminių ir metalinių komponentų prototipų kūrimas naudojant sukepinimą mikrobangomis, plonų medžiagos dangų nusodinimą iš dujų fazių (CVD, PVD), kompozitinių medžiagų infiltraciją į naująsias technologijas ir kt.
Nanomedžiagos	Viena iš pagrindinių medžiagų kūrimo pažangos krypčių yra geba projektuoti, sintetinti ir kontroliuoti nanometrinio mastelio specialios paskirties medžiagas (10^{-9} m), kurios pasižymėtų optimaliomis savybėmis visose pagrindinėse inžinerinių medžiagų grupėse ir mažintų medžiagų laužo ir atliekų kiekį. Pavyzdžiui, viena patraukliausių anglies nanovamzdelių savybių yra mechaninis stiprumas (jie yra iki 100 kartų tvirtesni nei plienas) ir geras jų laidumas tiek šilumai, tiek elektrai. Jau sukurtos technologijos, gebančios supinti nanovamzdelių gijas, kurias galima pritaikyti komercinės paskirties gaminiuose
Išmaniosios medžiagos	Išmaniosios medžiagos, skirtingai nuo kitų medžiagų, projektuojamos taip, kad reaguotų į išorinius dirgiklius ir prisitaikydamos prie aplinkos sąlygų gerintų savo savybes. Visi šioje srityje vykdomi tyrimai ir darbai laikomi itin progresyviais
Biomimetinės (pamėgdžiojimo) medžiagos	Plečiantis supratimui apie gyvų organizmų vidinę organizaciją, biomimetikų kūrimas ir taikymas tampa sparčiai besivystančia medžiagų inžinerijos sritimi. Kuriant naujas medžiagas kopijuojami biologiniai procesai, kurių metu sukuriamos organinės ar neorganinės medžiagos

Algirdas Vaclovas Valiulis. Medžiagų ir technologijų istorinė raida
Vilnius: Kriventa, 2021, 742 p.

ISBN 978-609-462-159-8
eISBN 978-609-462-158-1

Redaktorius Aušra Gapsevičienė
Knygos dizaino autorius Miglė Datkūnaitė
Maketavo Regina Kunigėlienė

Išleido leidybos įmonė „Kriventa“
V. Pietario g. 5-3, 03122 Vilnius
Tel. / faks. (8 5) 265 0629
kriventa@kriventa.lt
www.kriventa.lt

Tiražas 1 000 egz.

742