

ALGIRDAS VACLOVAS VALIULIS



TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS





**MOKSLAS
VISIEMS**

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

ALGIRDAS VACLOVAS VALIULIS

VILNIUS | 2023

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 ši 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.

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

ISSN 2351-5368

ISBN 978-9986-08-096-1

© Lietuvos mokslų akademija, 2023

Turinys

Įvadas 9

1 SKYRIUS. ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS 13

Šaudymo lanko įsiveržimas 15 | Adatos
svarba 17 | Senųjų technologijų tyrimo metodai 20

2 SKYRIUS. BRANDUOLINĖ AUŠRA 23

2.1. Energijos gamyba branduolinėse jėgainėse 26

2.2. Branduolių šilumos reaktoriai 31

2.3. Radionuklidai medicinoje 35

2.4. Branduolinės katastrofos 37

2.5. Branduoliniai ginklai 43

2.6. Branduoliniai laivai 46

Lėktuvnešiai ir kovos laivai 48 | Civiliniai branduoliniai
laivai 49 | Ledlaužiai 50 | Branduoliniai povandeniniai laivai 53

3 SKYRIUS. CHEMIJOS PROVERŽIS 57

3.1. Polimerų antplūdis 57

3.2. Tekstilė 67

3.3. Tekstilės istorinės raidos kelias 69

3.4. Tekstilės ir aprangos simbiozė bei evoliucija	72
3.5. Tekstilės žaliavos	77
3.6. Pesticidai	79
3.7. Insekticido DDT (dichloro-difenil-trichloroetano) skrydis	83
3.8. Nuodingosios dujos ir toksinės medžiagos	90
3.9. Biologinis ginklas	93
4 SKYRIUS. GENETIŠKAI MODIFIKUOTI ORGANIZMAI	99
4.1. Genetinio modifikavimo technologijos	99
4.2. Modifikuoti augalai	102
4.3. Genetinio modifikavimo pavojai	105
4.4. Dirbtinė mėsa	108
Bioreaktoriai	115
Karkasai	117
5 SKYRIUS. ELEKTRONIKOS APSUPTIS	121
5.1. Autonominiai robotai	121
5.2. Dronų spiečiai	131
Spiečių proveržis ir kovos su jais galimybės	140
Dronų spiečių poveikis konvencinei karybai	145
Kovos su spiečiais priemonės	146
5.3. Išmaniosios dulkės	158
Išmaniųjų dulkių pritaikymas	160
Išmaniųjų dulkių pavojus ir rizikos	164
5.4. Mobiliojo telefono istorija	165
Teigiamas ir neigiamas mobiliųjų telefonų poveikis	168
5.5. Išmanieji būstai	172
5.6. Veido atpažinimas	177
5.7. Virtualioji (dirbtinė) tikrovė	185
Galimas virtualiosios tikrovės taikymas	187
5.8. Savavaldės transporto priemonės	192

5.9. Klastotės	199
5.10. Daiktų internetas	204
5.11. Trimatis (3D) spausdinimas	210
5.12. Saulės energetika	220
Plūdiriuojanti saulės energetika	229

Vietoj epilogo 232

Literatūra 251

ĮVADAS

Gamta žmogui nesuteikė natūralios apsaugos, tokios kaip pūkai, plunksnos ar kailis, arba kokios nors kriauklės, tinkančios apsisaugoti nuo oro ir kitų negandų. Stipriais nasrais taip pat neapdovanojo. Tūkstančius metų žmonėms išgyventi nuolat reikėjo maisto, aprangos ir būsto. Nuo pat pradžių žmogus egzistavo priešiškoje aplinkoje ir turėjo pasitelkti savo protą kovoje dėl išgyvenimo. 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. Daugelio technologijų pradžia skendi istoriniame rūke, nes jos pradėtos taikyti dar priešistoriniais laikais. Skaitytojas knygoje, iliustruotoje nuotraukomis ir schemomis, ras kiek supriešinamą kai kurių technologijų raidos paveikslą.

Technologijų įvairovė yra milžiniška, nes bet kokia tikslinga praktinė veikla gali būti vadinama technologija: sveikos gyvensenos technologija, vaistinio preparato gamybos technologija, bendravimo technologija, bandelių kepimo technologija – ir taip galima vardyti be pabaigos. 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 veiklą 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 – projektuojant

ir kuriant statinius, kelius, kanalus, ryšio linijas, įrenginius, technologines sistemas ir procesus. 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. Kur pažvelgsi, aplink mus visur 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, eikvoja 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 ją blogina (McClellan, J. E.; Dorn, H., 2006). 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 žmonių 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. Pasaulyje vykdoma daug tyrimų, pridengtų slaptumo skraiste. Sunku suvokti tų mokslininkų paskatas, nes jie žino, kad jų kuriama technologija ar priemonė gali būti mirtinai pavojinga daugybei žmonių ar net visai žmonijai. Taigi, ir jiems patiems taip pat. Įvairių pavojų žmogui ir gamtai gali kilti dėl natūralių ir technologinių priežasčių. Išskiriamos šios priežastys: 1) natūralios; 2) technologinių procesų gedimai arba netinkamas jų naudojimas; 3) netinkamas technologijos (medicinos, biologijos ar kt.) taikymas. Technologinių pavojų kyla dėl technologinių ar pramoninių sąlygų sudėtingumo, pavojingų procedūrų, infrastruktūros gedimų ar žmogaus veiklos. Technologinių pavojų pavyzdžiai yra pramoninė tarša, branduolinė spinduliuotė, toksiškos atliekos,

užtvankų gedimai, transporto avarijos, gamyklų sproginimai ar gaisrai, cheminių medžiagų išsiliejimas.

Cheminiai, biologiniai, radiologiniai ir branduoliniai pavojai priskiriami prie daugiapusių technologinių pavojų. *Cheminės grėsmės ar nelaimės* – tai netikėtas medžiagos, kuri gali būti kenksminga žmonėms, gyvūnams ar aplinkai, išsiskyrimas ar pasklidimas. Jos gali įvykti dėl technologinių avarijų, gamtos katastrofų, karinių konfliktų ar terorizmo. *Branduolinės grėsmės* – tai pavojai, susiję su atsitiktiniu arba tyčiniu potencialiai kenksmingų radioaktyviųjų medžiagų išmetimu, pavyzdžiui, iš atominių elektrinių, mokslinių tyrimų reaktorių ar panaudojus branduolinį ginklą. *Radiologinės grėsmės* – tai pavojai, susiję su kitais spinduliuotės šaltiniais, pavyzdžiui, radiografijos aparatais, pramonėje naudojamomis radioaktyviosiomis medžiagomis, pamestomis ar pavogtomis radioaktyviosiomis medžiagomis. *Biologinės grėsmės* – tai biologinių medžiagų, keliančių grėsmę žmonėms ir kitoms gyvoms būtybėms, pasklidimas, žmonių ir gyvūnų infekcinių ligų protrūkiai, įvairios epidemijos ir užkrėtimai. Užteršimas gali atsirasti dėl natūralaus (gamtinio) sukėlėjo poveikio, atsitiktinio mikroorganizmų prasiveržimo, pavyzdžiui, iš tyrimų laboratorijos, arba dėl tyčinių veiksmų. Prie ekstremalių grėsmių kelėjų priskiriami biocidai (cheminiai ar biologiniai mišiniai, skirti kenksmingiems organizmams, tokiems kaip virusai, bakterijos, pelėsiai, vabzdžiai, graužikai, paukščiai, plėšrūnai, kontroliuoti), patvarūs teratogenai (urano ir anglies kasyba, gumos gamyba), atsitiktinės katastrofos (suskystintųjų gamtinių dujų sproginimai, komercinės aviacijos katastrofos), pasaulinės grėsmės dėl pasklidusių medžiagų (CO₂, metano išsiskyrimas, ozono sluoksnio ardymas). Dažnai žmonėms pavojų kelia kitų žmonių neapdairumas ar neatsakingas elgesys – riedlentės, dviračiai, automobilių avarijos, neatsakingas vaistų (aspirino, sacharino ir kt.) vartojimas. Kai kurios grėsmės yra lokaliai arba vienpusės, kai kurios – daugiapusės. Daugiapusės grėsmės kelia branduolinis karas (radiacija), rekombinantinės DNR (genetinės medžiagos pasikeitimas tarp dviejų DNR molekulių) naudojimas, pesticidai.

Technologijos – jau tūkstančius metų neatsiejamas žmonijos palydovas. Kai prieš 74 tūkst. metų dabartinės Indonezijos teritorijoje išsiveržė Tobos ugnikalnis, sukėlęs ilgalaikį klimato atšalimą, arba vadinamąją vulkaninę žiemą, planetoje humanoidų skaičius susitraukė iki 10 000, kitaip tariant,

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

priartėjo prie išnykimo ribos. XXI a. viduryje žmonija išaugs iki beveik dešimties milijardų gyventojų. Didelė dalis žmonių vis dar gyvena nepriekliuje ir skurde, kartais net didesniame negu akmens amžiuje. Vis dėlto, technologijos lemia, kad didesnė dalis žmonių 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.

Senovės Romos mitologijoje dievas Janus vaizduojamas su dviem veidais – jauno ir seno, kurie žvelgia į priešingas puses (į ateitį ir atitinkamai į praeitį). Kasdienėje šiuolaikinėje kalboje tai frazeologinė išraiška, kurią dėl kokių nors priežasčių įprasta taikyti nenuoširdžiam, veidmainiškam žmogui, reiškiniui ar pasiekimui. Gilinantis į technologijų raidą taip pat galima išvelgti daug dvilypumų, nes kylančios technologijos spindesys dažnai juos užgožia ar jų nesureikšmina.

Ši knyga, anaipitol, neskirta kokioms nors studijoms. Ji tik supažindins skaitytoją su supančia aplinka, jos teigiamomis ir neigiamomis ar net žalingomis briaunomis, o aprašomų technologijų pasirinktis daugiausia susijusi su jų globaliu poveikiu visuomenei ir aplinkai.

1 SKYRIUS

ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS

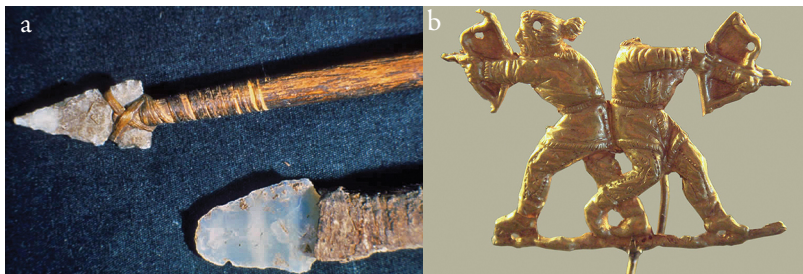
Ankstyvieji įrankiai ir technologijos padėjo žmonėms sukurti priemones, išskėlusias juos į konkurencijos su visomis kitomis gyvomis būtybėmis dėl išgyvenimo viršų (Pacey, A., 1991). Jau prieš 2,6–1,5 mln. metų greta beždžionių gyveno ir pirmieji žmonės. Dabartinės šimpanzės ar kiti primatai per milijonus metų, technologiniu požiūriu, nepažengė į priekį. Ir šiandien, kaip ir prieš kelis milijonus metų, skaldo akmenimis riešutus, virbais krapšto termitus, iš plačialapių augalų pasidaro skėčius ar naudojami lazda, norėdami pasiekti aukštai kabantį vaisių. Proto evoliucijos požiūriu, jie įstrigo savo primityvioje nišoje. Sudėtingesni įrankiai atsirado prieš 2,6 mln. metų, nors mokslininkai mano, kad hominidai įrankiais naudojami 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 daryti 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 neaglūdintas akmens gabalas, gautas sąmoningai daužant akmenis. Manoma, kad kirvis buvo ir pjovimo, smulkinimo ar kasimo įrankis, taip pat galėjo turėti ritualinę paskirtį. 1995 m. Slovėnijos urvuose (Divje Babe urve) aptiktas seniausias pasaulyje muzikos instrumentas. Tai 60 000 metų senumo neandertaliečių fleita. Ji pagaminta iš jauno urvinio lokio kairiojo šlaunikaulio ir turi keturias pradurtas skylutes. Artefaktas buvo rastas paleolitinio žemės sluoksnio viduryje, šalia neandertaliečių židinio liekanų, akmeninių ir kaulinių įrankių. Išsamūs tyrimai patvirtino, kad skylės kaule buvo padarytos rankomis. Šis atradimas patvirtina, kad jau neandertaliečiai buvo dviasiskai išsivysčiusios būtybės, pasižymėjusios rafinuota menine išraiška (1.1 pav.).

ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS



1.1 pav. 60 000 metų senumo neandertaliečių fleita (Divje Babe flute (Late Pleistocene flute).jpg. CC BY-SA 4.0)

Archeologų nuomone, *ietis* atsirado prieš 400 tūkst. metų. Šis įrankis tikriausiai buvo vienas seniausių technologinių pasiekimų, nes jį sugeba pasigaminti net kai kurios primatų rūšys. Senovinės medžioklinės ietys (akstys) buvo lengvos – sverdavo apie 0,3 kg, jų ilgis siekdavo iki maždaug 2 metrų (1.2 pav., a).



1.2 pav. a – akstis su akmeniniu antgaliu ir akmeninis peilis (Spear and knife (Mesa Verde National Park)-transparent.png. Viešo naudojimo);
b – skitų lankininkai (Scythians shooting with bows Kertch antique Panticapeum Ukrainian 4th century BCE.jpg. CC BY-SA 3.0)

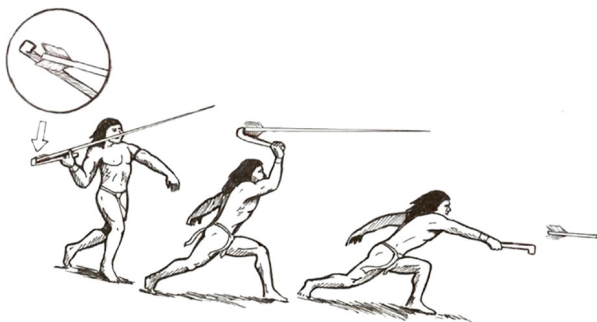
Pirmuosius peilius prieš daugiau nei 2 mln. metų naudojo dabar jau išnykusi *Homo erectus* žmonių rūšis. Vis dėlto, *akmeniniai peiliai* pasirodė maždaug akmens amžiaus viduryje, t. y. prieš 200–500 tūkst. metų. Peiliu galima laikyti ir akmens nuoskilą, kurios ilgis – apie du kartus didesnis už plotį, su dviem plokščiais lygiagrečiais šonais ir dviem pjaunančiomis briaunomis.

Svaidyklė atsirado maždaug prieš 64 000 metų. 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, nes nusitaikyti svaidykle neįmanoma, taikliam šūviui reikėdavo didelės patirties.

Šaudymo lanko įsiveržimas

Lankas ir *strėlės*, kaip ir svaidyklės, pasirodė viduriniojo ir vėlyvojo paleolito sandūroje maždaug prieš 64 000 metų (1.2 pav., b). 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. Kiekviena nauja technologija pasižymi didesnėmis ar mažesnėmis sąnaudomis ir teikiama nauda, nes naujos technologijos pritaikymo lygis priklauso nuo užduočių, kurioms ji gali būti naudojama ir kurioms ji geriausiai tinka, skaičiaus ir įvairovės. Šiuolaikiniu požiūriu, lanko ir strėlės technologija neabejotinai yra šuolis į priekį, palyginti su ieties metimo technologija (Lombard, M.; Phillipson, L., 2010). Paprasta ietis naudojama grobiui smeigti, o ietisvaidė dar turi atskirą kaulo, medžio arba dramblio kaulo gabalą, kuris veikia kaip svirtis, didinanti metimo galią ir greitį (1.3 pav.).

ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS



1.3 pav. Svaidomos ieties metimas (Nativo do Novo Mundo lançando flecha com o propulsor ou estólica.jpg. CC BY 3.0)

Lankų ir strėlių technologija turi nemažai technologinių pranašumų, palyginti su duriamomis ar svaidomomis ietimis. Strėlės yra ilgesnio nuotolio ginklai, o lankininkui reikia mažiau vietos. Norėdamas sėkmingai paleisti svaidomą ietį, medžiotojas turi stovėti didelėje atviroje erdvėje ir būti gerai matomas grobio. Lankininkas gali pasislėpti už krūmų ir šaudyti atsiklaupęs. Be to, medžiotojas turi tik vieną ietį, o lankininkas gali paleisti daug strėlių.

Naujų technologijų taikymas gali labai paveikti socialinę elgseną. Medžioklė ietimis gali būti sėkminga, jei ją vykdo didelė žmonių grupė, pavyzdžiui, nemaža šeima ar gentis. Priešingai, medžioti lanku ir strėlėmis gali vienas ar du individai (1.4 pav.) (Lombard, M.; Haidle, M. N., 2012).



1.4 pav. Lankas, pavaizduotas Pietų Afrikos bušmenų uolų mene (Hirst, K. K., 2019)

ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS

Adatos svarba

Net ir toks nedidelis dalykas kaip rankinio siuvimo *adata* suvaidino svarbų vaidmenį žmonijos istorijoje. Dešimtis tūkstančių metų žvėrių kailių apsiausiai 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. Manoma, kad žmogus pradėjo rengtis paleolito laikais – maždaug prieš 100 000–500 000 metų. Nuo XX a. aštuntojo dešimtmečio mokslininkai tyrinėjo Sibiro urvus Altajaus krašte, Rusijoje (1.5 pav.). Denisovo urve dažniausiai vyrauja nulinė temperatūra, todėl mokslininkai rado daug gerai išsilaikiusių ankstyvojo žmogaus fosilijų ir artefaktų. Vienas labiausiai stebinančių atradimų šioje primityvioje aplinkoje buvo iš mažo paukščio kaulo pagaminta siuvimo adata. Dar viena staigmena buvo tai, kad adatoje buvo tobulai suformuota akutė.

Linų siūlais siūti įvairios paskirties drabužiai iš kailių, odos ar net lapų padėdavo išlaikyti kūno vikrumą ir šilumą keliaujant ar medžiodant. Iš pradžių siuvimo adatos buvo daromos iš kaulo ar medžio. Archeologiniai tyrinėjimai rodo, kad adatos naudojamos jau tūkstančius metų. Rastos akmens amžiaus kaulinės adatos. Seniausia patvirtinta adata aptikta Prancūzijoje, jos amžius datuojamas 19–15 tūkst. m. pr. m. e.



1.5 pav. Denisovo urvas Altajaus krašte (<https://earlychurchhistory.org/fashion/very-ancient-sewing-needles/>)



1.6 pav. 2500 m. pr. m. e. pagamintos
bronzinės adatos

(<https://earlychurchhistory.org/fashion/very-ancient-sewing-needles/>)

Iš vario, sidabro ir bronzos pagamintos adatos buvo naudojamos senovės Egipte (1.6 pav.). Seniausia žinoma geležinė adata šiuo metu yra Vokietijoje ir datuojama III a. pr. m. e. Amerikos indėnai adatas gamindavo iš agavos lapų. Europiečiai adatos gamybos technologiją įsisavino iš arabų adatų gamintojų. Ši technologija XVII a. pasiekė Angliją. Rankų darbo adatos buvo naudojamos iki pramoninio amžiaus pradžios (Arafat, Y., 2018).

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. 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 (kitais tariant, siūlu virstančią tam tikrą baltyminę medžiagą) gamina šilkmedžių vikšrai, kurie aplink save susisuka kokoną. Vieną kokoną sudaro vientisas vidutiniškai 3 000 m ilgio siūlas. Pastaruoju metu plačiai naudojami dirbtiniai (sintetiniai) pluoštai ir 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

ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS

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 ylą smaigalyje gali būti skylutė siūlui įverti. Tokiomis ylomis ne tik paduriamos skylės, bet ir siuvama (daromi dygsniai).

Kada išmokta naudotis ugnimi ir ją kontroliuoti, tikslų žinių nėra. Dauguma archeologijos ekspertų mano, kad žmogus įvaldė ugnį mažiausia prieš 400 tūkst. metų, nors kai kurie duomenys rodo, kad pradžia galėjo būti prieš 1,5 mln. metų.

Per ilgą ankstyvųjų žmonių raidą sukurtas ir naudotas technologijas tiksliausia 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. Viena 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. Žinių apie darbus, kurie gali būti laikomi ankstyvųjų inžinerijos darbų pavyzdžiais, suteikia archeologija (1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Ankstyviausieji žmonijos technologinės raidos požymiai

Technologinė priemonė	Naudojimo pradžia, metai
Mechaniniai įrankiai, tokie kaip lankas ir svaidoma ietis	prieš 30 000 m.
Smeigiamųjų ir kertamųjų įrankių atsiradimas	prieš 50 000–100 000 m.
Kontroliuojamos ugnies naudojimo pėdsakai	prieš 300 000–500 000 m.
Seniausi žinomi akmeniniai gaminiai (akmeniniai įrankiai)	prieš 2–2,25 mln. m.
Seniausi žinomi ryškūs dvikojo vaikščiojimo požymiai	prieš 3–4 mln. m.

ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS

Per visą pleistoceno epochą, kuri iki holoceno tęsėsi maždaug tris milijonus metų, žmogaus veiklos pokyčių variklis buvo klimato kaita. Diskutuojant apie pirmąsias 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 eiliniai įrankiai, tokie kaip rankinio siuvimo adata, ankstyvoje žmonių istorijoje suvaidino didžiulį vaidmenį. Turėdamas apdarą pirmąsias 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 subarktinuose regionuose. Seniausių kaulinių adatų amžius siekia 61 000 metų, jos rastos viename Pietų Afrikos urve. Rusijoje rastų dramblio kaulo adatų amžius – apie 30 000 metų. Neolito metu klajoklinių 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). Ne visos kultūros perėmė neolito pasiekimus vienu metu. Artimuosiuose Rytuose neolito pradžia laikoma 9500 m. pr. m. e.

Senųjų technologijų tyrimo metodai

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 radioaktyviojo 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 įvertintas Nobelio premija.

2015 m. Biržų rajone penkių metrų gylyje rastas šiaurės elnio rago fragmentas. Atlikus radiokarboninį datavimą, paaiškėjo, kad tai kol kas vienintelis 12 tūkst. metų senumo Lietuvoje rastas žmogaus rankų darbo dirbiny. 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.

Olų piešinius galima laikyti kultūrinės technologijos išraiška. Europoje randami olių piešiniai sukurti prieš 14 000–21 000 metų. Indonezijos olose rastiems gyvūnų piešiniams yra 44 000 metų. Piešinių amžius nustatytas radiometriniu datavimo būdu. Uolienoje šalia piešinių esantis radioaktyvusis uranas lėtai skyla į torį. Išmatavus įvairių torio izotopų kieki nustatyta, kad ant piešinių susidaręs kalcitas pradėjo formuotis mažiausiai prieš 40 900–43 900 metų. 2018 m. Pietų Afrikos Respublikoje surastas dar senesnis olių piešinio fragmentas, padarytas net prieš 73 000 metų.

Kokios galingos mokslinių tyrimų technologijos, matyti iš naujausio pavyzdžio. 2022 m. Nobelio fiziologijos ir medicinos premija skirta švedui Svante'ui Pääbo už atradimus žmogaus evoliucijos srityje. Jam pavyko nustatyti DNR seką iš 40 000 metų senumo piršto kaulo gabalo, rasto Denisovo urve Altajaus kalnuose. Reikia suprasti, kad labai trapią DNR molekulę tūkstančius metų stipriai veikė aukšta temperatūra, dirvožemio rūgštingumas ir kitos atšiaurios sąlygos. Mikrobai, ir net fosilijas tvarkantys mokslininkai, gali jas užteršti savo DNR, todėl sunku atskirti, kuri palaikų genetinė informacija yra tikrai sena, o kurios šaltinis – modernus. Tyrėjai ištraukė mitochondrijų DNR (mtDNR) iš piršto kaulo ir palygino ją su mtDNR sekomis, paimtomis iš neandertaliečių, šiuolaikinių žmonių, ankstyvojo pleistoceno žmogaus, nykštukinės šimpanzės ir šimpanzės. Mokslininkai nustatė, kad mtDNR iš piršto kaulo mėginio skiriasi nuo šiuolaikinių žmonių mtDNR vidutiniškai 202 nukleotidais (molekulėmis, kurios sudaro DNR kodą), o nuo šimpanzių – vidutiniškai 1 462 nukleotidais. Filogenetinė analizė

ANKSTYVOSIOS TECHNOLOGIJOS

(metodas, rodantis, kaip genetiniai pokyčiai lemia skirtingų rūšių ar grupių evoliuciją) patvirtino, kad kai *Homo sapiens* išplito iš Afrikos, Eurazijoje jau gyveno dvi skirtingos homininių grupės (neandertaliečiai ir denisoviečiai). Lygindami skirtingų homininių rūšių genomus, mokslininkai apskaičiavo, kad šiuolaikiniai žmonės atsiskyrė nuo archajiškesnių hominidų maždaug prieš 550 000–760 000 metų, o neandertaliečiai ir denisoviečiai, vieni nuo kitų, prieš 380 000–470 000 metų. S. Pääbo atradimai padėjo išsiaiškinti, kad išnykusių mūsų giminaičių archajinės genų sekos daro įtaką ir dabartinių žmonių fiziologijai, nes jau seniausiais laikais, matyt, vyko tarprūšinis kryžminimas. Vienas tokių pavyzdžių – neandertaliečių genai – turi įtakos mūsų imuniniam atsakui į įvairių rūšių infekcijas, arba denisoviečių geno suteikiamas pranašumas išgyventi dideliame aukštyje, būdingas dabartiniams tibetiečiams.

Senosios technologijos vystėsi labai pamažu, joms paplisti reikėjo tūkstantmečių. Technologijos padėjo žmonėms išgyventi, nors jos prisidėjo ir prie to, kad buvo žudomi žvėrys, paukščiai ar žuvys. Jau nuo seniausių laikų technologiniai pasiekimai buvo naudojami ir kovose su kitomis gentimis dėl maisto ar teritorijų, kurios buvo šio maisto šaltinis. Taigi, jau nuo seniausių laikų atskirti, kada technologija neša gėrį, o kada blogį – buvo neįmanoma.

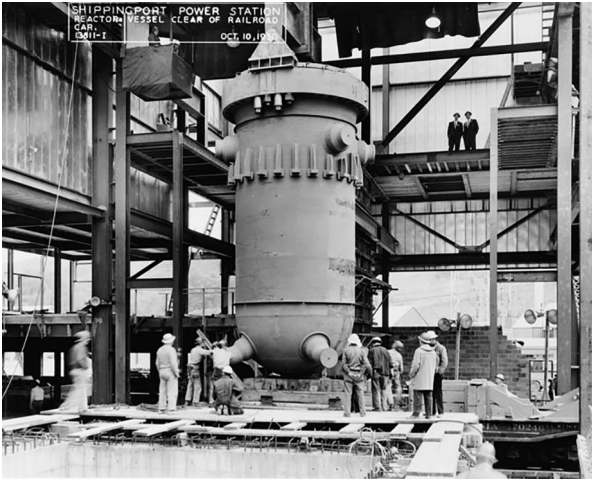
2 SKYRIUS

BRANDUOLINĖ AUŠRA

1901 m. Frederickas Soddy ir Ernestas Rutherfordas atrado, kad radioaktyvumas yra dalis proceso, kurio metu atomai keičiasi iš vienos rūšies į kitą ir vyksta didelis energijos išsiskyrimas. Atomine era laikomas istorijos laikotarpis, prasidėjęs po pirmojo branduolinio ginklo bandymo Naujojoje Meksikoje (JAV) 1945 metais. Nors *grandininės branduolinės reakcijos* buvo pradėtos tyrinėti 1933 m., o pirmoji dirbtinė branduolinė grandininė reakcija buvo išbandyta 1942-aisiais. Vis dėlto, tik Hirošimos ir Nagasakio bombardavimas buvo pirmasis plataus masto branduolinės technologijos panaudojimas, po kurio prasidėjo esminiai socialinio politinio mąstymo bei technologinės plėtros eigos pokyčiai. Kad branduolinė energija yra pasaulinė, utopinė ateities žmonijos poreikių tenkinimo technologija, nuo to laiko buvo visuotinė mantra, nors jau anglų radiochemikas F. Soddy (1921 m. Nobelio premijos laureatas) suprato, kad atominė energija gali būti panaudota baisiems naujiems ginklams kurti.

Branduolinės grandininės reakcijos koncepcija buvo iškelta 1933 m., netrukus po to, kai britų mokslininkas Jamesas Chadwickas atrado neutroną. Pirmą kartą branduolių dalijimąsi 1934 m. stebėjo italų fizikas Enrico Fermi. Jau po kelerių metų, 1938 m., vokiečių mokslininkai Otto Hahnas ir jo padėjėjas Fritzas Strassmannas atrado branduolio skilimą ir nustatė, kad 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. Pirmąją dirbtinę savaime išsilakančią grandininę branduolinę reakciją pavyko realizuoti 1942 m. italų (vėliau JAV) fizikui E. Fermi.

XX a. šeštajame dešimtmetyje atsirado branduolinio optimizmo jausmas, nes buvo tikima, kad visa elektros energija ateityje bus generuojama branduolinėse jėgainėse (2.1 pav.). Anglis ir nafta taps nereikalingomis iškasenomis, o branduolinė energija bus naudojama nuo maisto švitinimo, siekiant jį išsaugoti, iki branduolinės medicinos kūrimo. Buvo svajojama, kad su branduolinės



2.1 pav. Reaktoriaus statyba pirmojoje komercinėje JAV atominėje elektrinėje laivybos uoste (*Shippingport*) 1957 m. (https://en.wikipedia.org/wiki/Reactor_pressure_vessel#/media/File:Shippingport_LOC_135430pu.jpg)

energijos „įdarbinimu“ ateis taikos ir gausos amžius, o atominė energija bus reikalinga vandeniui gėlinti ištroškusiesiems, dykumoms drėkinti bei jose auginti javus ar kitas kultūras ir leis pradėti tarpžvaigždines keliones giliai į kosmosą (Sovacool, B. K., 2011). Atominis amžius būtų toks pat reikšmingas technologinės pažangos žingsnis, kaip pirmasis bronzos ar geležies lydymas arba pramonės revoliucijos pradžia. Tikėjimas buvo toks beribis, kad buvo prognozuojama, jog dėl milžiniškų atominių elektrinių plėtros jau artimiausioje ateityje elektra atpigs, o elektros skaitikliai bus nereikalingi, nes elektros energija bus „per pigi, kad būtų būtina ją skaičiuoti“. 1973 m. JAV atominės energijos komisija numatė, kad vien JAV iki XXI a. pradžios tūkstantis reaktorių gamins elektrą namams ir verslui. Tačiau po 1973 m. reaktorių statyba smarkiai sumažėjo, nes sumenko elektros poreikis, o statybos sąnaudos labai išaugo (Cooke, S., 2009).

Branduolinės energetikos raida jau nuo 1970-ųjų buvo prieštaringa. Perkaitusių, labai radioaktyvių medžiagų dujos galėjo išsiveržti į aplinką iš



2.2 pav. Trijų mylių salos atominė elektrinė (JAV), kurioje 1979 m. įvyko avarija (Three Mile Island (color)-2.jpg. Viešo naudojimo)

reaktoriaus pastato, branduolinės atliekos (panaudotas branduolinis kuras) turėjo būti reguliariai šalinamos iš reaktorių ir saugiai laikomos (iki milijono metų), kad neterštų aplinkos. Buvo diskutuojama apie branduolinių atliekų perdirbimą, susidariusio plutonio naudojimą ginklams. Bet kuriuo atveju dar lieka daug nepageidaujamų atliekų, kuriomis reikia pasirūpinti. XX a. aštuntojo dešimtmečio pabaigoje branduolinė energetika susidūrė su ekonominiais sunkumais ir plačiai paplitusiu visuomenės pasipriešinimu, prasidėjusiu po branduolinių avarių – 1979 m. Trijų mylių saloje JAV (2.2 pav.) ir Černobylio katastrofos 1986 metais. Taigi, per kiek daugiau negu 30 metų branduolinės energijos augimo dinamika netikėtai pasikeitė. Jokia kita energetikos technologija nebuvo taip greitai ir revoliucingai atsiradusi ir taip greitai pradėjusi nykti.

XXI a. „atominio amžiaus“ etiketė žmonėms dar kėlė nostalgijos jausmą. Šis terminas ir toliau vartojamas, kai kalbama apie epochą po Antrojo pasaulinio karo pabaigos, nes atominė energija bei branduoliniai ginklai ir toliau daro didelį poveikį pasaulio politikai. Branduolinės energetikos pramonė pagerino reaktorių saugą, pasiūlė naujus saugesnius reaktorių projektus, tačiau

nėra garantijos, kad reaktoriai bus tinkamai suprojektuoti, pastatyti ir eksploatuojami. Japonijos Fukušimos reaktorių projektuotojai nenumatė, kad žemės drebėjimo sukeltas cunamis išjungs atsargines reaktorių elektros maitinimo sistemas, kurios turėjo stabilizuoti reaktorių po žemės drebėjimo. Įmanomi ir katastrofiški teroristinių išpuolių scenarijai ar karo veiksmai branduolinių jėgainių teritorijose. Pirmą kartą karų istorijoje naudojamas branduolinis šantažas, kai Rusija, užpuolusi Ukrainą ir užėmusi Zaporizės ir Černobylio elektrines, kelia grėsmę jų veikimui ir apsaugai. Apskaičiuota, kad jei branduolinės energijos naudojimas nuo 2005 m. iki 2055 m. padidėtų tris kartus, tai per tą laikotarpį būtų galima tikėtis mažiausiai keturių rimtų branduolinių avarių.

2012 m., reaguodama į Fukušimos katastrofą, Japonija paskelbė, kad iki 2030 m. visiškai atsisakys branduolinės energijos. Vokietija planavo iki 2022 m. visiškai jos atsisakyti, tačiau 2021 m. jos dalis dar buvo 11,9 %. 2022 m. Rusijai įsiveržus į Ukrainą, Jungtinė Karalystė planuoja pastatyti iki 8 naujų reaktorių, kad sumažintų savo priklausomybę nuo dujų bei naftos ir tikisi, kad 25 % visos pagamintos energijos bus pagaminta branduolinėmis priemonėmis (How Much..., 2022).

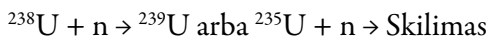
Vis dėlto, tyrimai rodo, kad branduolinė energetika yra pats saugiausias elektros energijos gamybos būdas. Su šia energetika susijusioje veikloje – 330 kartų mažiau mirčių nei naudojančioje akmens anglis, 250 kartų mažiau nei naudojančioje mazutą ir 38 kartus mažiau nei naudojančioje dujas energetikoje.

2.1. 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. Branduolinės elektrinės reaktoriuje skylantys urano atomai išskiria daug šilumos, kuri panaudojama garui gaminti. 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.

Skilimas gali būti savaiminis arba sukeltas neutronų. Lengviausiai skyla sunkiausių elementų branduoliai – urano, torio ir plutonio. Esant pakankamam urano izotopo ^{235}U kiekiui, gali prasidėti grandininė branduolinė reakcija. Neutronui pataikius į urano ^{235}U 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 ^{235}U atomus, kurie išskiria naujus neutronus, skaldančius vis didesnę atomų skaičių. ^{235}U skilimo metu išlėkę neutronai vadinami *greitaisiais neutronais*. Kad galėtų skaldyti kitus ^{235}U branduolius, jie turi būti sulėtinti, nes greitųjų neutronų branduoliai nepagauna. Greitieji neutronai, susidurdami su lėtiklio molekūlėmis, kaskart praranda dalį kinetinės energijos ir sulėtėja. Neutronams sulėtinti naudojamas grafitas ar sunkusis vanduo. Virtę *lėtaisiais neutronais* (šiluminiais) jie sąveikauja su ^{235}U branduoliais ir juos skaldo. Norint sumažinti greitojo neutrono pradinę 1 MeV energiją iki 0,025 eV, reikia apie 11^{10} susidūrimų.



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. Branduolinis reaktorius kurui gali naudoti natūralų uraną, kurio 1/139 dalį sudaro suskaldomas uranas ^{235}U , natūralaus urano ir suskaldomo urano mišinį (toks kuras vadinamas praturtintu kuru) ar plutonį ^{239}Pu . Kai natūralus uranas bombarduojamas šilumos, t. y. labai lėtais, neutronais, vyksta dvi reakcijos: viena yra branduolio suskaldymas, kita – neutrono prijungimas prie branduolio, kuris virsta uranu ^{239}U ir paskleidžia γ spinduliuotę. Šis naujas branduolys yra nepastovus – išmesdamas vieną elektroną jis virsta nauju elementu – neptūniu ^{239}Np . Neptūnis irgi nepastovus – išmesdamas taip pat vieną elektroną, virsta plutoniu ^{239}Pu , nauju elementu, kuris praktiškai yra pastovus.

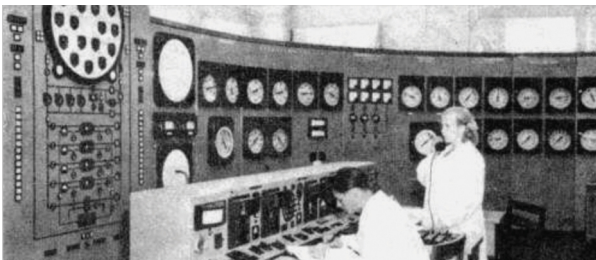
Reaktoriai klasifikuojami pagal branduolinio kuro pasiskirstymą reaktoriuje (homogeniniai, heterogeniniai), pagal lėtiklio medžiagą (grafitas, sunkusis ir įprastas vanduo, BeO, organiniai bifenilo ir terfenilo angliavandeniliai),

BRANDUOLINĖ AUŠRA

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, keraminis, skystas) ir pagal branduolinių reaktorių paskirtį (elektros energijos gamybai, transporto priemonių varomajai jėgai generuoti, vandens gėlinimui, pastatų šildymui, vandenilio gamybai, dauginimo reaktoriai, moksliniai tiriamieji). Pirmasis energiją gaminęs reaktorius buvo pastatytas Ouk Ridžyje (JAV) 1943 metais. Jo branduolį sudarė 7,25 m³ grafito blokų ir 1 248 kuro kanalai. Į kuro kanalus kasetėmis buvo sukrauta 35 tonos urano. Reaktorius buvo aušinamas oru. Reaktorius generavo 3 800 kW galią. Reaktoriaus apsauginės betoninės sienelės storis buvo 2,1 metro.

Sovietų Sąjungoje įvairiuose centruose taip pat buvo kuriamos naujos ir tobulinamos esamos branduolinių reaktorių konstrukcijos. 1954 m. Obninske (100 km į pietryčius nuo Maskvos) pradėjo veikti pirmoji pasaulyje branduolinė (aušinama vandeniu ir valdoma grafitu) elektros jėgainė (2.3 pav.). Jos projektinė galia buvo 5 MW. Iš esmės ji buvo panaši į plutonio gamybos reaktorius uždaruose kariniuose miestuose ir tarnavo kaip prototipas kitiems grafito kanalų tipo reaktoriams. Jėgainė gamino elektrą iki 1959 m., o iki 2000 m. dar buvo naudojama tyrimams ir izotopų gamybai.

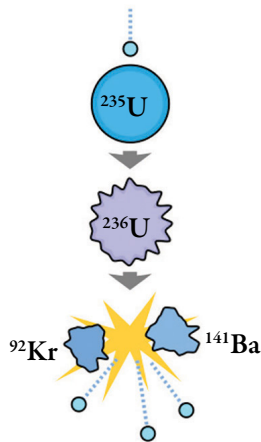
Šiandienėse branduolinėse jėgainėse elektra gaminama panašiai kaip ir šiluminėse elektrinėse. Reaktoriuje išsiskyrusi šiluma kaitina vandenį, vandens garai suka garo turbiną, o turbina – elektros generatorių.



2.3 pav. Obninsko branduolinės jėgainės valdymo pultas (<https://alchetron.com/Obninsk-Nuclear-Power-Plant#obninsk-nuclear-power-plant-ae3025fd-e7db-4cc2-9530-33e8c79a74e-resize-750.jpeg>)

Grandinine branduoline reakcija vadinama tokia branduolinės reakcijos rūšis, kai vienos reakcijos produktai, susidūrę su medžiaga, sukelia tolesnes reakcijas. Grandininės branduolinės reakcijos yra itin svarbios, nes jomis paremta 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*. Esant kritinei masei, susidaro pakankamai reakcijos produktų, galinčių inicijuoti tolesnes reakcijas. Jei energijos „išlaisvinimas“ greitai ir nekontroliuojamai auga, toks procesas virsta sprogitimu. Branduolio skilimo metu susidaro γ spinduliai, laisvieji neutronai ir kitos subatominės dalelės (2.4 pav.).

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. *Suslėgto vandens reaktoriuje* šiluma iš reaktoriaus pašalinama didelio slėgio vandeniu, tekančiu uždaru (pirmuoju) kontūru. Iš pirmojo kontūro pro šilumokaitį šiluma patenka į antrąjį vandens kontūrą. Antrajame kontūre vandens slėgis yra mažesnis, todėl vanduo jame gali užvirti, virsti garu ir sukurti 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 gaminančių generatorių. Praėjęs turbinos mentes garas kondensuojamas, o kondensatas grąžinamas pakartotiniam naudojimui. 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



2.4 pav. Priverstinis branduolinis dalijimasis. Neutroną „sugėręs“ ^{235}U atomas skyla į greitai lekiančius skilimo produktus (^{141}Ba ir ^{92}Kr) ir laisvuosius neutronus (Nuclear fission.svg.)

kontroliuojami. 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 teks 25–40 % reikalingos energijos, nors vienos šalys (Vokietija) stabdo branduolinių jėgainių plėtrą, o kitos (Suomija, Turkija, Iranas, Indija) stato naujas jėgaines.

Nesukūrus tinkamų *dauginimo reaktorių* energijai gaminti, branduolių *dalijimosi reaktoriai* vargu ar išspręs augančio energijos poreikio problemą. Tolesnėje perspektyvoje tikimasi sukurti branduolių šaljos reaktorius ir energijos gamybai naudoti vandenilio energetiką. Antroji branduolinės energetikos problema susijusi su radioaktyviųjų atliekų ir panaudoto branduolinio kuro saugojimu ar utilizavimu, nes radioaktyviosios atliekos išlieka tokiomis labai ilgą laiką ($>10^5$ metų) (2.5 pav.). Labiausiai pavojingiems radionuklidams (Ni, Co, Sr) izoliuoti ir saugoti kuriamos keramikos ir stiklo atliekų imobilizavimo technologijos. Ignalinos AES 2000 m. pradėta eksploatuoti pirmoji panaudoto branduolinio kuro saugykla, o 2017 m. pradėta eksploatuoti antroji saugykla. Pirmojoje saugykloje reaktoriuje panaudotam kurui saugoti naudojami CASTOR ir CONSTOR konteineriai. CASTOR konteinerio aukštis yra 4,3 m, skersmuo – 2,072 m, o svoris kartu su saugomu panaudotu branduoliniu kuru yra 71,84 tonos. Konteineriai CONSTOR yra 4,7 m aukščio, 2,3 m skersmens, o kiekvieno konteinerio svoris kartu su saugomu panaudotu branduoliniu kuru – 84,43 t. Antrojoje saugykloje panaudotas branduolinis kuras saugomas 4,5 m aukščio ir 2,6 m skersmens konteineriuose, kurių kiekvieno svoris kartu su pakrautu kuru yra 118 tonų. Saugykloje konteinerius planuojama laikyti iki 50 metų. Pasibaigus laikinojo saugojimo terminui visas panaudotas branduolinis kuras turės būti padėtas į *giluminį atliekyną*.



2.5 pav. Panaudoto branduolinio kuro saugykla Ignalinos branduolinėje jėgainėje (<http://www.vatesi.lt/index.php?id=594>)

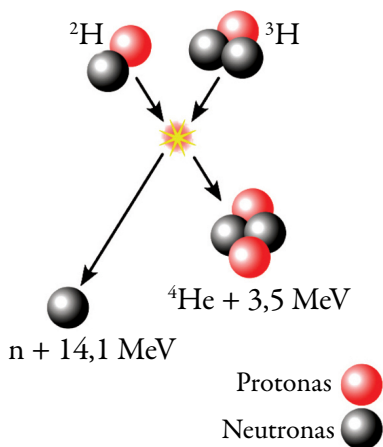
BRANDUOLINĖ AUŠRA

Giluminis atliekynas – tai žemės gelmėse kelių šimtų metrų gylyje įrengtas atliekynas, leidžiantis pakankamai ilgą laiką izoliuoti didelio aktyvumo atliekas ir taip apsaugoti žmones ir aplinką nuo žalingo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio. Giluminio atliekyno vietos parinkimo tyrimo programą numatoma įvykdyti iki 2047 metų. Preliminariai planuojama, kad giluminis atliekynas bus statomas 2058–2067 m., eksploatuojamas 2068–2074 m., uždaromas 2075–2079 metais.

2.2. Branduolių šąlajos reaktoriai

Gyventojų skaičius planetoje didėja, todėl iškastinio gamtinio kuro poreikis taip pat nuolat auga. Esami išteklių vis sunkiau tenkina augančius poreikius, todėl būtina ieškoti naujesnių ir tvaresnių energijos šaltinių. Energijos gamyba, pasitelkus branduolių šąlajos technologijas, gali tvariai, su mažu poveikiu aplinkai patenkinti didėjančią energijos paklausą. Branduolių šąlaja – 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 šąlajos reakcija* (2.6 pav.).

Kad įvyktų šąlajos reakcija, branduoliai turi suartėti iki tokio atstumo, kokiame veikia branduolinės jėgos, t. y. 2×10^{-15} m. Branduoliams suartėti



2.6 pav. Deuterio ir tričio (D-T) šąlajos schema (Deuterium-tritium fusion.svg.)

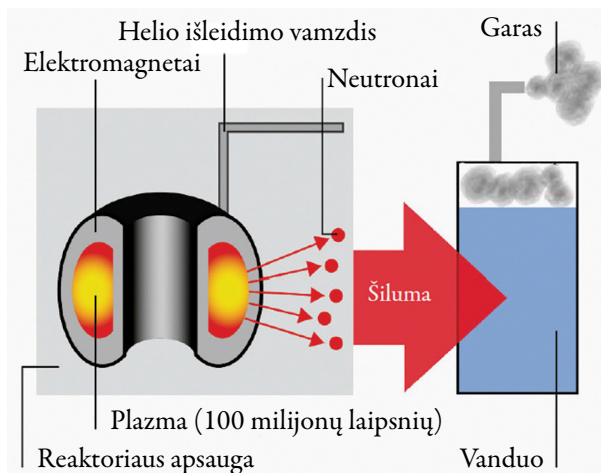
trukdo elektrostatinė stūmos jėga, todėl jiems būtina turėti labai didelę kinetinę energiją. Tokią energiją jie įgyja tik labai aukštoje temperatūroje, todėl branduolių sąlajos reakcijos dar vadinamos termobranduolinėmis reakcijomis.

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 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.

Viena didžiausių kontroliuojamos branduolių sąlajos vilčių yra milžiniškas ITER (Tarptautinis termobranduolinis eksperimentinis reaktorius), statomas Kadaraše, Pietryčių Prancūzijoje. 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 2007 m., o pirmoji plazma turėjo 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 m³ 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 jų yra ta, kad 14 MeV energijos neutronai, susidarę sąlajos reakcijose, pažeis medžiagas, iš kurių yra pastatytas reaktorius ir dalį reaktoriaus pavars radioaktyviu. Reaktorių sienos turi atlaikyti sąlajos metu išsiskiriančią šilumą ir apie 150 mln. °C temperatūrą. Esant tokiai aukštai temperatūrai, dalelės turi didelę kinetinę energiją, taigi, ir greitį. Vandenilio bombos sprogdimas irgi yra sąlajos procesas, tačiau nevaldomas. Kontroliuoti sąlajos reakcijos erdvę ir proceso eigą yra sudėtinga ir techniškai labai sunki užduotis. Fiziškai

neapribotoje erdvėje dalelės greitai išsisklaidys, su savimi nusinešdamos energiją, todėl plazmos temperatūra sumažės iki lygio, kai nebebus gaminama „grynoji“ energija. Efektyviai veikiančiame reaktoriuje šalajos zonos turėtų būti mažas, o dalelės jame turėtų išlikti gana ilgai. Šalajos reaktoriuose elektrinių krūvi turinčios dalelės yra valdomos magnetiniu lauku, todėl dar reikia sukurti superlaidžias medžiagas, kurios galėtų generuoti galingus magnetinius laukus, reikalingus stabiliai atomų šalajos reakcijai išlaikyti.

Reaktorius turi ir kietą apvaskalą, kuris apsaugo magnetus ir kitą įrangą nuo aukštos temperatūros, didelės energijos fotonų ir dalelių. Jis reikalingas ir beveik vakuuminei erdvei sukurti, kuri būtina plazmos egzistavimui. Konteinerio indas yra veikiamas didelės energijos dalelių – elektronų, jonų, fotonų, alfa dalelių ir neutronų srauto, jos nepaliamajamai bombarduoja ir gadina konstrukcijos medžiagų struktūrą. Reikalingos medžiagos, kurios ilgą laiką išlaiko neutronų bombardavimą ir plazmos spinduliuojamą, milijonus laipsnių siekiančią temperatūrą. Prasidėjus šalajai, aukštos energijos neutronai sklisis 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 atdavimo šaltinis (2.7 pav.). Susidariusios alfa dalelės idealiu atveju išsikvoss savo energiją plazmoje, dar ją pašildydamos. Greitųjų neutronų energija bus absorbuojama, virs šiluma ir



2.7 pav. Atomų šalajos reaktoriaus schema (Henley, P., 2011)

pateks į pirminį aušintuvą. Patekusi į aušintuvą šiluma garins vandenį, o garai suks elektros generatoriaus turbiną.

Centrinis ITER mazgas yra dviejų sienelių vakuuminis indas, kuriame susidariusią plazmą erdvėje laiko stiprūs magnetiniai laukai. Krūvį turinti ir magnetiniame lauke judanti dalelė negali iš jo ištrūkti – ji ima sukstis. Reaktoriaus laukas turi toro (riestainio) formą, todėl dalelės jame yra „uždarytos“. Sienelių paviršiuje yra aušinimo vandeniu kanalai. Tarpuose tarp gaubtų (kiautų) sienelių sumontuota įvairi technologinė armatūra. Ji pagaminta iš nerūdijančiojo plieno rūšių. Ši armatūra reikalinga neutronams lėtinti ir absorbuoti, saugoti pagrindinių konstrukcijos medžiagų struktūrą nuo neutronų bombardavimo ir, ličiui sąveikaujant su neutronais, gaminti sąlajos procesui reikalingą tritį. Tikimasi, kad neutronų sukeltas reaktoriaus medžiagų radioaktyvumas bus beveik perpus trumpesnis negu radioaktyviųjų medžiagų, susidariusių skilimo reaktoriuose, ir neviršys 100 metų. Vyksta moksliniai tyrimai, kaip suprojektuoti reaktorių apvalkalus ar sienas, kad jos būtų atsparios ilgalaikiam ir intensyviai neutronų bombardavimui. Kita svarbi problema – kyla pavojus, kad neutronų srautas gali sugadinti superlaidumo sąlygomis veikiančius magnetus.

Atomų sąlajos reaktorius kuria ir kitos šalys – JAV, Didžioji Britanija. 2022 m. gruodį Nacionalinė Lawrence'o Livermore'o laboratorija (LLNL) Kalifornijoje pranešė apie pasiektą svarbų proveržį *atomų branduolių sąlajos energetikoje*. Sąlajos eksperimento metu buvo pagaminta daugiau energijos, negu buvo panaudota sąlajos reakcijos sukėlimui. Pipirų grūdėlio dydžio kapsulė, kurioje įterptas nedidelis kiekis vandenilio (deuterio ir tričio atomų mišinys), buvo švitinama 192 galingų lazerių spinduliuote. Spinduliuotė įkaitino kapsulės turinį iki 100 mln. °C temperatūros (karščiau negu temperatūra Saulės centre) ir sukėlė spaudimą, 100 milijardų kartų didesnę nei Žemės atmosfera. Aukšta temperatūra ir slėgis privertė vandenilio atomus susilieti ir atlaisvinti sąlajos energiją. Ir nors eksperimento metu buvo gauta daugiau energijos, negu įnešė lazerio spinduliuotė, tačiau tai neprilygo energijos kiekiui, reikalingam lazeriams veikti. Deja, kol kas tos energijos reikėjo daug daugiau, nei sąlajos metu pagamintos energijos kiekis, o eksperimentas kainavo milijardus dolerių. Taigi, atomų branduolių sąlajos energetika nėra pigi. Eksperimento metu buvo pagaminta energijos, kurios pakaktų užvirtti maždaug 10–15 virdulių. Norint,

kad atomų branduolių sąlajos elektrinė veikta, tokių eksperimentų reikėtų atlikti kartą per sekundę, o šiuo metu tarp atskirų eksperimentų yra dienos.

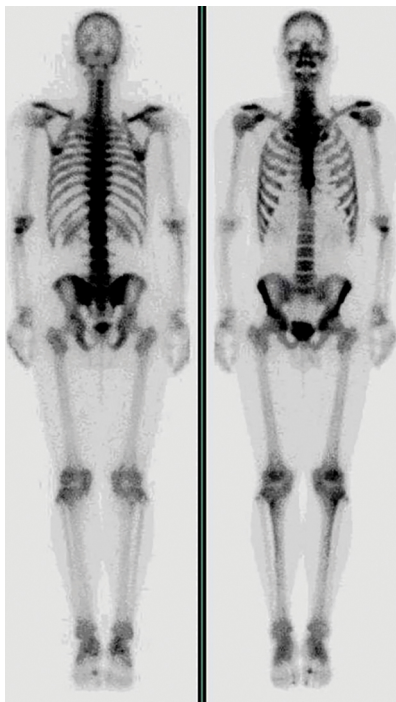
Sąlajos reaktorių šalininkai mano, kad susidarančių radioaktyviųjų atliekų kiekis turėtų būti šimtus kartų mažesnis, negu jų susidaro skilimo reaktoriuose, ir kad jame neturėtų atsirasti jokių ilgalaikių radioaktyviųjų atliekų. Dar labai svarbu, kad tokia reaktoriuje negali išsiplėsti grandininė reakcija. 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 reaktorių veiktų kelerius metus. Branduolio sąlajos reaktoriai nesukuria branduolinio ginklo gamybai reikalingų daliųjų medžiagų.

2.3. Radionuklidai medicinoje

Be neptūnio ir plutonio, atominė grandininė reakcija sukuria dar per 30 radioaktyvių branduolio skilimo produktų, tokių kaip baris, ksenonas, jodas ir kt. Gana greitai buvo nustatyta, kad radioaktyviųjų elementų spinduliuotė turi poveikį organizmui ir ši spinduliuotė buvo panaudota ligoms diagnozuoti bei gydyti. Atsirado *branduolinė medicina* ir *radiologija*. Pagrindinis skirtumas tarp branduolinės medicinos ir radiologijos yra tas, kad branduolinė medicina sukuria vaizdus, naudodama spinduliuotę iš kūno vidaus, o radiologija kuria vaizdus, taikydama kūnui išorinę spinduliuotę. Medicininei terapijai naudojami jodas-131, itris-90, samaris-153, stroncis-89, renis-88, cezis-137, kobaltas-60 ir kiti radioaktyvūs arba jonizuojančios spinduliuotės elementai.

Radionuklidų naudojimo medicinoje ištakos siekia XX a. antrojo dešimtmečio vidurį, kai Freiburge (Vokietijoje) buvo atlikti eksperimentai su žiurkėmis. Išvirkštus radionuklidų, šiuo žymekliu buvo sekami medžiagų apykaitos keliai. 1936 m. Berklyje (Kalifornija) leukemijai gydyti buvo panaudotas fosforas-32. Prancūzų fizikas Antoine'as Henris Becquerelis įvedė terminą „radioaktyvumas“. Branduolinė medicina sulaukė visuomenės pripažinimo, kai 1946 m. buvo paskelbtas skydliaukės hipertirozės (Graveso ligos) ir skydliaukės vėžio metastazių gydymas radioaktyviuoju jodu. Tarp daugelio radionuklidų, kurie buvo pradėti taikyti medicinos reikmėms, nė vienas nebuvo toks svarbus kaip technecio-99m atradimas (1937 m.) ir

taikymas. Ir šiandien technecis-99m yra labiausiai medicinoje naudojamas radionuklidas. Branduolinė medicina buvo pradėta plačiai taikyti XX a. šeštojo dešimtmečio pradžioje, kai išsiplėtė žinios apie radionuklidus, radioaktyvumo nustatymą ir tam tikrų radionuklidų naudojimą biocheminiams procesams sekti. Buvo sukurti metodai, kai naudojant ksenoną-133 vizualizuoti smegenų kraujotakos žemėlapiai (Lassen, N. A.; Ingvar, D. H., 1961). Kiek vėliau buvo sukurti metodai, galintys įvertinti vietinius smegenų veiklos sutrikimus ir gauti vaizdus, rodančius smegenų aktyvumą kalbėjimo, skaitymo, regos ar klausos suvokimo ir savarankiško judėjimo metu (Lassen, N. A. ir kt., 1978). Jau iki XX a. aštuntojo dešimtmečio daugumą kūno organų buvo galima



2.8 pav. Medicininis viso kūno kaulų
skenavimas
(NI bone scan2.jpg, CC BY 3.0)

vizualizuoti naudojant branduolinės medicinos procedūras. XX a. devintajame dešimtmetyje širdies ligoms diagnozuoti buvo kuriami įvairūs radiofarmaciniai preparatai. Fotonų emisijos kompiuterinė tomografija leido atlikti trimatę širdies rekonstrukciją ir sukurti branduolinės kardiologijos sritį. Šiandienos medicininei terapijai naudojami itris-90, jodas-131, liutecis-177, organų vizualizacijai (vaizdavimui) – fluoras-18, galis-67, kriptonas-81m, rubidis-82, azotas-13, indis-111, technecis-99m, talis-201 ir kiti radionuklidai (2.8 pav.).

Branduolinė medicina yra specializuota radiologijos sritis, kurioje organų funkcijoms ir struktūrai tirti naudojami labai nedideli radioaktyviųjų medžiagų arba radiofarmacinių preparatų kiekiai. Juos naudojant galima vizualizuoti organų ir audinių struktūrą bei funkcijas. Tyrimo metu naudojamas nedidelis radioaktyviosios



2.9 pav. Pacientui atliekama branduolinės medicinos procedūra
(<https://www.radiologyinfo.org/en/info/genuclear>)

medžiagos kiekis. Radioaktyvioji medžiaga, vadinama radionuklidu arba radioaktyviuoju žymekliu, absorbuojama kūno audinių. Po to, kai į organizmą įvestas radionuklidas susikaupia tiriamame kūno audinyje, iš tos audinio vietos sklinda spinduliuotė. Šią spinduliuotę aptinka radiacijos detektorius. Išmatuodamas organizme esančio radionuklido spinduliuotę branduolinio skenavimo metu, gydytojas gali įvertinti ir diagnozuoti įvairias ligas, tokias kaip vėžiniai susirgimai, infekcijos, hematomos, organų padidėjimas ar cistos. Sritys, kuriose radionuklidas susikaupia didesniais kiekiais, vadinamos „karštomis vietomis“. Sritys, kurios nesugeria radionuklido ir nuskaitymo vaizde atrodo mažiau ryškios, vadinamos „šaltomis dėmėmis“. Branduolinės medicinos skenavimas susideda iš trijų fazių: žymeklio (radionuklido) įvedimo, skenuoto vaizdo sukūrimo ir vaizdo interpretavimo. Laikas nuo žymeklio įvedimo iki vaizdų sukūrimo gali svyruoti nuo kelių akimirkų iki kelių dienų, nes laikas priklauso nuo tiriamo kūno audinio ir naudojamo žymeklio rūšies (2.9 pav.).

2.4. Branduolinės katastrofos

Branduolinės avarijos ar ginklai yra labai pavojingi. *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 (Byrne J.; Hoffman, S. M., 2020). Skirtingai nuo konvencinių ginklų, sprogimo metu išspinduliuojamas labai stiprus šviesos impulsas, karštis, oro banga, sprogimo garsas ir radiacinė apšvita yra mirtini branduolinio ginklo veiksniai. 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.

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. 1949 m. Sovietų Sąjunga išbandė savo pirmąjį branduolinį ginklą. 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.

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. km² 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, radioaktyviosiomis 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 reaktoriu. Trijų mylių salos ir Černobylio katastrofų skirtingas pasekmės lėmė tai, kad Černobylio atominės elektrinės reaktoriai neturėjo nuo aplinkos izoliuojančio gaubto. 1986 m. vykdant Černobylio atominės elektrinės 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 aktyviosios zonos link, 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 tris sekundes pasigirdo du sproginiai ir reaktorius buvo visiškai sunaikintas. Pirmąjį sproginimą sukėlė perkaitusioje reaktoriaus šerdyje susidariusios vandenilio dujos, antrasis galėjo būti branduolinis.

Tyrimais 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 vienetai) atlieka neutronų sugėrimo ir lėtinimo funkciją. Reaktorius buvo suprojektuotas taip, kad garinis reaktyvumo koeficientas būtų teigiamas, t. y. 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 nestabilių 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 aktyviają zoną, pastebimas teigiamas reaktyvumas vietoj 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 sproginimų juose negali įvykti. Kalbant apie daugumą reaktorių, turbūt tai yra tiesa. Vis dėlto, teoriškai RBMK tipo reaktoriuose tokia avarija galima. Deja, taip ir atsitiko. Po Černobylio avarijos maždaug 4 tūkst. žmonių žuvo ar mirė nuo vėžio ir kitų su radiacija susijusių ligų. 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. 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 Daiichi elektrinės sieną. Uztvindytoje teritorijoje vandens lygis viršijo net 15 m aukštį. Projektuojant jūros pakrantėje statomą Daiichi 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 šešis verdančio vandens reaktorius, kurių bendra galia siekia 4,7 GW. Reaktoriai apsaugoti gaubtais, todėl per avariją 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 trys 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 ir buvo sugriauti išoriniai pastatai (jų viduje esantys reaktorių apsauginiai statiniai išliko) (2.10 pav.) (Perrow, Ch., 2013).



2.10 pav. Vandenilio dujų sukeltas sprogimas (<https://zpasaulis.lt/po-fukusimos-avarijos-praejo-10-metu/>)



2.11 pav. Po avarijos Fukušimos Daiichi atominėje elektrinėje (<https://www.greenplanner.it/2016/03/07/disastro-nucleare-fukushima-effetti-dureranno-secoli/>)

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 atsilaisvintą talpą pumpavo avarijos metu susidariusį radioaktyvų vandenį (2.11 pav.).

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.

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.

2.5. Branduoliniai ginklai

Grėsmingiausias ginklas, sukurtas Antrojo pasaulinio karo metu, buvo *atominė bomba*. Amerikiečiai šį ginklą panaudojo 1945 m. bombarduodami Japonijos Hirošimos ir Nagasakio miestus. Nuo 1945 m. pasaulį slegia nuolatinė *branduolinio ginklo* grėsmė. Apytikriais vertinimais, XX a. trečiajame dešimtmetyje branduolinių sprogstamųjų užtaisų turi: NATO – 5 759 (JAV – 5 244, Prancūzija – 290, JK – 225), Rusija – 5 899, Kinija – 410, Pakistanas – 170, Indija – 164, Izraelis – 90, Šiaurės Korėja – 30. Pagrindiniai branduolinio sprogimo poveikio veiksniai yra sprogimo smūgio banga, galinga šviesos spinduliuotė, šilumos smūgis bei momentinė ir ilgalaikė radiacija. Sprogus 100 kilotonų galios branduoliniam užtaisui iki 1,8 km visiškai sunaikinami pastatai ar statiniai ir žmonės, elektromagnetinis impulsas kelių kilometrų spinduliu sugadina elektroniką, didelė radiacijos dozė, krintančios radioaktyvios nuolaužos ir dulkės suardo ląsteles ir sukelia spindulinę ligą, pastatai ir statiniai iš dalies apardomi iki 8 km nuotoliu nuo sprogimo epicentro.

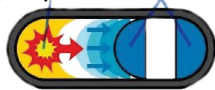
Branduolinis ginklas gali nužudyti ar sužaloti ne tik žmones, bet ir kitas gyvybės formas, sukelti ilgalaikes pasekmes visai biosferai, sunaikinti ar padaryti didelę žalą įvairiems statiniams, natūralioms gamtinėms struktūroms. Branduolinis ginklas naudoja branduolių dalijimosi (grandininės branduolinės reakcijos) ir jų sąlajos energiją. Abiejų sprogimų metu iš palyginti mažo medžiagos kiekio išsiskiria labai daug energijos.

Šiuolaikinis termobranduolinis ginklas, sveriantis šiek tiek daugiau negu 1 100 kg, gali sukelti sprogimą, prilygstantį 1,1 mln. tonų trotilo užtaiso sprogimui. Branduolinės bombos konstrukcija yra sudėtingesnė, nei gali atrodyti (2.12 pav.). Tam tikrame aukštyje (optimaliausias aukštis 600 m) detonuoja pagrindinis sprogstamasis užtaisas; bomboje esančios mažesnės ir didesnės 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

BRANDUOLINĖ AUŠRA

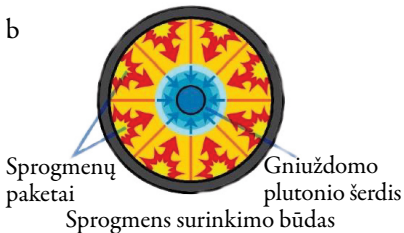
Įprasti cheminiai sprogmensys Subkritiniai urano-235 užtaisai

a



Šovinio surinkimo būdas

b



2.12 pav. Branduolių dalijimosi ir sąajos bombos veikimo schema
(Fission bomb assembly methods.svg.)

spinduliu nuo epicentro lydosi keramika, 2 000 m spinduliu nuo epicentro užsideda žmogaus drabužiai. 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 Hirošimos, o po trijų dienų – plutonio bombą „Fat Man“ ant Nagasakio (2.13 pav.).

Dėl tiesioginio poveikio iškart žuvo apie 100–200 tūkst. žmonių, po dvejų ar penkerių metų dar daugiau mirė nuo radiacinio apšvitinimo. 1949 m. Sovietų Sąjunga slapta atliko pirmąjį sėkmingą atominės bombos bandymą Semipalatinsko branduoliniame poligone Kazachstane (2.14 pav.). 1961 m. virš Naujosios Žemės salos Arkties vandenyne SSRS susprogdino



2.13 pav. Virš Nagasakio susprogdinta termobranduolinė bomba „Fat Man“
(Mk4_Fat_man_bomb.jpg.)

galingiausią žmonijos istorijoje pagamintą bombą. Matavimo prietaisai užfiksavo 56 megatonų galios bombos sproгимą. Bomba sprogo maždaug 4 km aukštyje. Sprogimo galia buvo 3,8 tūkst. karto didesnė nei Hirošimoje ir prilygo 50 mln. tonų trotilo užtaiso sproгимui. 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 laikotarpiu valstybės kūrė *taktinį branduolinį ginklą* (2.15 pav.). Taktinis branduolinis ginklas dažniausiai skirtas naudoti mūšio lauke situacijose, kai draugiškos pajėgos yra arti ir galbūt net ginčijamoje draugiškoje teritorijoje. Taktiniams branduoliniams ginklams priskiriamos gravitacinės bombos, trumpojo nuotolio raketos, artilerijos sviediniai, sausumos minos, giluminiai užtaisai ir torpedos su branduolinėmis galvutėmis. Karo metu tokiais sprogmėmis galima sugriauti priešų „siauro praėjimo zonas ar taškus“, pavyzdžiui,

tunelius, siauras kalnų perėjas ir ilgus viadukus. Taktinių branduolinių ginklų sukeliama žala paprastai yra mažesnė negu strateginių branduolinių ginklų. Vis dėlto, jų sprogstamoji galia yra kelis kartus didesnė negu ginklų, panaudotų bombarduojant Hirošimą ir Nagasakį. Kai kurie taktiniai



2.14 pav. 1949 m. sovietų susprogdintos atominės bombos „grybas“ (<https://time.graphics/event/974053>)



2.15 pav. Prancūzų taktinė branduolinė raketa „Plutonas“ (apie 1970 m.), galinti iššauti 120 km atstumu 15 kilotonų branduolinį užtaisą (Pluton 034.jpg, CC BY-SA 2.0 fr)

branduoliniai ginklai turi specifinių savybių, skirtų pagerinti jų charakteristikas mūšio lauke, pvz., kintamąją galią, leidžiančią įvairiais būdais keisti jų sprogstamąją galią įvairiose situacijose. Sustiprintos spinduliuotės ginklai (vadinamosios „neutroninės bombos“) skirti maksimaliai padidinti jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį ir mažinti sprogo bangos poveikį.

Branduolinį ginklą turinčios valstybės nuolat siekia tobulinti taktinius branduolinius ginklus, kad jie būtų lygiaverčiai strateginiams ginklams. Taktinių branduolinių ginklų yra labai įvairių. Jie apima priešlaivines ir sausumos sparnuotąsias ir balistines raketas, giluminius povandeninius užtaisus, laivų ir povandeninių laivų torpedas, artilerijos sviedinius, branduolines minas. Mažiausios taktinės branduolinės galvutės galia yra iki vieno kilotono trotilo (t. y. sprogo galia yra ne didesnė kaip tūkstančio tonų trotilo sprogo galia). Didžiausia gali būti iki 100 kilotonų. Ant Hirošimos numestos amerikiečių atominės bombos galia siekė 15 kilotonų. Tikrame kariniame konflikte taktiniai branduoliniai ginklai niekada nebuvo panaudoti.

2.6. Branduoliniai laivai

Dar 1869–1870 metais pasirodė Jules'io Verne'o romanas „20 000 mylių po vandeniu“, kuriame veiksmas vyksta išgalvotame povandeniniame laive. J. Verne'as nebuvo plaukiojimo po vandeniu idėjos autorius. Tais metais, kai jis rašė šį romaną, Prancūzijoje buvo pristatytas didžiausio XIX a. povandeninio laivo „Plongeur“ projektas. J. Verne'as niekada neabejojo, kad jo sugalvotas mašinas kada nors kas nors išras, ir istorija tai patvirtino. Laivo kapitono Nemo žodžiais, „Gamtoje yra galinga jėga, greita, paklusni, lengvai pritaikoma visiems poreikiams. Mano laive viskas ja paremta. Ji šviečia, šildo ir varo mašinas. Ši jėga – elektros energija.“ Knygos autorius dar nežinojo apie branduolinę energiją, tačiau dėl vieno dalyko jis buvo teisus – gamtoje egzistuoja tinkamas energijos šaltinis. Vėlesni mokslo pasiekimai parodė, kad tai yra atominė ar branduolinė energija. Jo išgalvotame laive viską darė elektra. Knygoje povandeniniam laivui vartyti įgula naudojo natrio akumuliatorius, o natrių imdavo iš jūros vandens. Knyga parodė vieną iš galimų povandeninių laivų technologijos kryptių. Šiandieninių *branduolinių laivų* sraigtus suka garo turbinos ar elektros varikliai, o reikalinga energija gaunama vykstant atomų branduolių skilimo reakcijoms.

Branduolinė varomoji jėga yra laivo ar povandeninio laivo varymas branduolinio reaktoriaus tiekiamu šiluma. Jėgainė šildo vandenį, kad gautų garą turbinai, naudojamai laivo sraigtui sukti per pavarų dėžę arba per elektros generatorių ir elektros variklį. Branduolinė varomoji jėga pirmiausia naudojama karinių jūrų pajėgų karo laivuose, tokiuose kaip branduoliniai povandeniniai laivai ir lėktuvnešiai, nors buvo pastatyti ir keli eksperimentiniai civiliniai branduoliniai laivai. Palyginti su nafta arba anglimi kūrenamais laivais, branduolinis variklis turi pranašumų, nes be degalų papildymo veikia labai ilgai. Visas kuras yra branduoliniame reaktoriuje, todėl neužima krovinių ar atsargų vietos. Laivuose nėra išmetamųjų degimo produktų kaminų ar degimui reikalingo oro įsiurbimo angų. Vis dėlto, mažos kuro sąnaudos balansuoja su didelėmis veiklos sąnaudomis ir investicijomis į infrastruktūrą, todėl beveik visi branduoliniai laivai yra kariniai.

Dauguma karinio jūrų laivyno branduolinių reaktorių yra suslėgto vandens tipo, išskyrus keletą bandymų naudoti skystu natriu aušinamus reaktorius. Rusijos, JAV ir Didžiosios Britanijos kariniai jūrų laivynai turi tiesioginį garo turbinos variklį, o Prancūzijos ir Kinijos laivai naudoja turbiną varančiąjai elektros energijai gaminti (turboelektrinė pavana).

Branduolinių laivų varomųjų įrenginių projektavimas, kūrimas ir gamyba prasidėjo Jungtinėse Amerikos Valstijose 1940 metais. Pirmasis karinio jūrų laivyno reaktoriaus prototipas buvo sukonstruotas ir išbandytas Nacionalinėje Aidaho reaktorių bandymų stotyje 1953 metais.

Kai kurie branduoliniai povandeniniai laivai turi vieną reaktorių, tačiau Rusijos povandeniniai laivai, taip pat „USS Triton“ klasės laivai, turi du. Dauguma amerikiečių lėktuvnešių yra varomi dviejų reaktorių, tačiau lėktuvnešis „USS Enterprise“ turėjo aštuonis reaktorius. Dauguma jūrinių reaktorių yra suslėgto vandens tipo, nors JAV ir Sovietų Sąjungos kariniai jūrų laivynai statė karo laivus, varomus reaktoriais, kuriuose skystas metalas naudotas kaip aušinamasis skystis.

Šiandien pasaulyje plaukioja daugiau nei 160 laivų, varomų per 200 branduolinių reaktorių. Dauguma jų yra povandeniniai laivai, tačiau nemažai yra ledlaužių ir lėktuvnešių. Šiuo metu JAV turi 83 branduolinius laivus: 72 povandeninius laivus, 10 lėktuvnešių ir vieną tyrimų laivą. Prancūzijos laivynas turi vieną lėktuvnešį („Charles de Gaulle“) ir 8 povandeninius laivus. Rusija turi

BRANDUOLINĖ AUŠRA

keturis „Kirov“ klasės kovinius kreiserius, nors tik vienas yra aktyvus, o kitų trijų eksploatacija nutraukta. Taip pat turi 29 povandeninius laivus bei „Kirov“ klasės komandinį laivą „SSV-33 Ural“. Povandeninių laivų turi ir Kinija (12), Jungtinė Karalystė (11), Indija (1). Laivo branduolinė jėgainė be degalų papildymo veikia dešimt ar daugiau metų, nors naujų lėktuvnešių reaktorius reikia papildyti kuru tik po 30–40 metų ir jie gali nuplaukti daugiau nei 1,5 mln. km. Vienintelis branduolinio povandeninio laivo buvimo jūroje trukmės ribojimas yra turimos maisto atsargos. Jei dyzelinu varomame lėktuvnešyje būtų naudojamas 200 000 arklio galių variklis, jo darbui per savaitę prireiktų daugiau kaip 5 mln. litrų dyzelinio kuro, o branduoliniam lėktuvnešiui – tik 4 kg sodrinto urano.

Lėktuvnešiai ir kovos laivai

Didžiausią *lėktuvnešių* statybos ir naudojimo patirtį turi JAV karinis jūrų laivynas (2.16 pav.). Lėktuvnešis „USS Enterprise“, eksploatuotas 1962–2012 m., buvo varomas net aštuonių reaktorių. Naujaisi JAV laivai yra šių klasių: „Nimitz“ (10 laivų, tonažas – 102 000 t, ilgis – 317 m, plotis – 40,8 m, grimzlė – 11,9 m, greitis – 56 km/h, įgula – 3 200 žmonių) ir „Gerald R. Ford“ (tonažas – apie 100 000 t, ilgis – 333 m, aukštis – 76 m, 25 deniai, greitis – 56 km/h).



2.16 pav. JAV „Nimitz“ klasės lėktuvnešis „Teodoras Ruzveltas“ (200125-N-LH674-1073 USS Theodore Roosevelt (CVN-71).jpg. Viešo naudojimo)

BRANDUOLINĖ AUŠRA

Sovietų Sąjungos ir Rusijos *karinis jūrų laivynas*, varomas branduoliniais varikliais, pasuko raketinių kreiserių kūrimo ir statybos keliu. Tai ne lėktuvnešiai ar amfibijos, o didžiausi ir sunkiausi antvandeniniai koviniai arba šturmo karo laivai, eksploatuojami pasaulyje. „Kirov“ klasės kreiseriai savo dydžiu nusileidžia tik dideliems lėktuvnešiams ir yra panašaus dydžio kaip Antrojo pasaulinio karo laikų mūšio laivai. Vakarų gynybos apžvalgininkai šios klasės laivus, dėl jų dydžio ir bendros išvaizdos, dažnai vadina mūšio kreiseriais. Šios klasės laivų tonažas – 28 000 t, ilgis – 252 m, grimzlė – 9,1 m, greitis – 59 km/h, veikimo diapazonas – iki 1 900 km, įgula – 710 žmonių.

Vienintelis Prancūzijos *branduolinis lėktuvnešis* „Charles de Gaulle“ pradėtas eksploatuoti 2001 m., o iki 2038 m. planuojama pastatyti ir antrąjį lėktuvnešį. Laivo tonažas – 42 500 t, ilgis – 261,5 m, grimzlė – 9,43 m, greitis – 50 km/h, 30–40 lėktuvų, laivą varo du suslėgto vandens reaktoriai. Laive yra 800 Prancūzijos laivyno specialiųjų pajėgų karių, aprūpintų maistu 45 dienoms.

Civiliniai branduoliniai laivai

Branduoliniais varikliais varomi civiliniai prekybiniai laivai nebuvo plėtojami. Buvo suprojektuoti ir pastatyti tik keli eksperimentiniai laivai. 1962 m. JAV buvo pastatytas branduoliniu varikliu varomas prekybinis laivas „NS Savannah“. Šis laivas pirmiausia buvo kaip civilinės branduolinės energijos demonstravimas, nes buvo per mažas ir brangus, kad galėtų ekonomiškai veikti kaip prekybinis laivas, kita vertus, dėl savo dizaino jis nebuvo nei efektyvus krovininis, nei perspektyvus keleivinis laimeris. Laivas buvo naudojamas 1962–1972 m. laikotarpiu. 1968 m. Vokietijoje pastatytas branduoliniu varikliu varomas „Otto Hahn“ krovininis laivas buvo ir tyrimų objektas. Per dešimt metų jis be jokių techninių nesklandumų nuplaukė apie 1 200 000 km, paskui buvo paverstas dyzeliniu laivu. Japoniškas branduoliniu varikliu varomas laivas „Mutsu“, baigtas statyti 1972 m., turėjo techninių problemų, nes jo reaktoriuje įvyko didelis radiacijos nuotėkis. Visi minėtieji laivai naudojo mažai prisodrintą uraną. Rusijos branduoliniu varikliu varomas prekybinis laivas „Sevmorput“ turėjo ledlaužio savybių, todėl nuo eksploatacijos pradžios

BRANDUOLINĖ AUŠRA

1988 m. sėkmingai plaukiojo Šiaurės jūrų kelyje. Nuo 2021 m. jis yra vienintelis eksploatuojamas prekybinis laivas, varomas branduoliniu varikliu.

Civiliniai branduoliniai laivai „kenčia“ nuo specializuotos infrastruktūros išlaidų. „Savannah“ tipo laivą eksploatuoti buvo brangu, nes tai buvo vienintelis laivas, kuriame dirbo specializuoti branduolinės energetikos kranto darbuotojai ir kuriame buvo speciali įranga. Didesnis laivynas galėtų paskirstyti fiksuotas išlaidas tarp daugiau eksploatuojamų laivų ir sumažinti veiklos sąnaudas.

Konstruktoriai ir inžinieriai siekia iširti praktinį mažų modulinį reaktorių pritaikymą jūroje ir sukurti koncepcinį tanklaivio dizainą, pagrįstą 70 MW galios reaktoriumi. Svarstoma apie mažą greitųjų neutronų reaktorių, kuriam aušinti būtų naudojamas eutektinio švinas ir bismutas. Toks reaktorius visa galia iki degalų papildymo galėtų veikti dešimt metų ir būtų eksploatuojamas 25 metus.

Branduoliniai varikliai civiliniams branduoliniams laivams vėl pradėti siūlyti dėl kilusios jūrų laivybos dekarbonizacijos bangos, nes įprasti laivai išmeta 3–4 % pasaulinio šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio.

Ledlaužiai

Branduolinė varomoji jėga, techniškai ir ekonomiškai, pasirodė tinkama branduolinių jėgainių varomiems sovietų, vėliau ir Rusijos, Arktyje plaukiojantiems ledlaužiams. *Branduolinius ledlaužius* konstravo ir statė Sovietų Sąjunga, vėliau ir Rusija, visų pirma siekdama padėti laivybai užšalusiuose Arkties vandens keliuose į šiaurę nuo Sibiro. Branduoliniai ledlaužiai yra daug galingesni nei dyzeliniais varikliais varomi ledlaužiai. Nors branduolinį variklį įrengti ir prižiūrėti brangu dėl labai didelio kuro poreikio, nuotolio apribojimų ir sunkumų papildant degalais, Arkties regione dyzeliniai laivai gali būti mažiau praktiški ir apskritai mažiau ekonomiškai, atliekant ledų laužymo užduotis. Branduoliniu kuru varomi laivai ilgus metus gali būti naudojami nepapildant degalais, o galingi laivų varikliai puikiai tinka ledui laužyti ir plaukioti ledu padengtose jūrose.

1959 m. pastatytas sovietinis ledlaužis „Lenin“ buvo pirmasis pasaulyje branduoline energija varomas antvandeninis laivas. Jis buvo eksploatuojamas

30 metų, nes 1970 m. jame buvo sumontuoti nauji reaktoriai. Ledlaužio sėkmė paskatino didesnių ledlaužių serijos statybą. 1975 m. buvo pradėti konstruoti 23 500 tonažo, šešių laivų „Arktika“ klasės ledlaužiai. Šie laivai turi du reaktorius ir naudojami giliuose Arkties vandenyse. Ledlaužis „Arktika“ buvo pirmasis antvandeninis laivas, 1977 m. rugpjūčio 17 d. pasiekęs Šiaurės ašigali. Žiemos metu ledo storis Šiaurės jūros kelyje svyruoja nuo 1,2 iki 2,0 metro. Ledas centrinėse Arkties vandenyno dalyse yra vidutiniškai 2,5 metro storio. Branduoliniai ledlaužiai gali prasiskverbti per šį ledą iki 19 km/h greičiu. Vandenyje be ledo didžiausias branduolinių ledlaužių greitis yra net 39 km/h.

Nuo 2021 m. Rusijoje eksploatuojami du naujo tipo ledlaužiai („Arktika“ ir „Sibir“), trečiasis („Ural“), ketvirtasis („Jakutija“) ir penktasis („Chukotka“) buvo nuleisti į vandenį „Baltijos“ laivų statykloje Sankt Peterburge, o šeštasis ir septintasis – planuojami statyti. Šių ledlaužių greitis atviruose vandenyse – 41 km/h ir 2,8–3,7 km/h, kai ledo storis 2,8 metro. Ledlaužio tonazas – 33 530 t, ilgis – 173,3 m, aukštis – 51,25 m, laivą varo du branduoliniai reaktoriai, kurie suka du turbogeneratorius. Nuo 2021 m. Rusija eksploatuoja dvylika civilinių branduolinių laivų. Vienuolika iš jų yra ledlaužiai, vienas – krovininis laivas su ledlaužio konstrukcijos priekine dalimi.

„Arktika“ klasės ledlaužiai turi dvigubą korpusą, kurio išorinis korpusas ledo laužymo vietose yra maždaug 48 mm, kitur – 25 mm storio. Tarp vidinio ir išorinio korpuso yra vandens balastas, kurį galima perkelti, kad būtų lengviau laužyti ledą. Ledus pralaužti taip pat padeda oro burbuliavimo sistema, kuri gali tiekti 24 m³/s oro iš purkštukų, esančių 9 m žemiau vandens paviršiaus. Kai kurių laivų korpusai yra padengti polimeru, siekiant sumažinti trintį. „Arktika“ klasės laivai gali pralaužti ledus, judėdami pirmyn arba atgal. Nors jie turi du reaktorius, paprastai tik vienas naudojamas energijai tiekti, o kitas palaikomas budėjimo režimu. „Arktika“ sukurta taip, kad galėtų pralaužti 2,8 metro storio lygų ledą judant nuolatiniu 2,8–3,7 km/h greičiu, kai dirbama visu pajėgumu giliame vandenyje esant projektinei grimzlei (2.17 pav.).

Sekliuose vandenyse, pvz., estuarijose ir upėse, naudojami seklios grimzlės „Taymyr“ klasės ledlaužiai buvo pastatyti Suomijoje, o vėliau Rusijoje juose buvo sumontuota vieno reaktoriaus branduolinė varomoji sistema. „Taymyr“ ir tos pačios klasės laivas „Vaygach“ buvo pastatytas Helsinkio



2.17 pav. „Arktika“ – pirmasis antvandeninis laivas (ledlaužis), 1977 m. pasiekęs Šiaurės ašigalį (Russian Nuclear Icebreaker Arktika.jpg. Viešo naudojimo)

naujojoje laivų statykloje „Wärtsilä“, Suomijoje. Branduoliniai reaktoriai buvo sumontuoti „Baltijos“ laivų statykloje Sovietų Sąjungoje po laivo atplukdymo iš Suomijos.

Kinijos planus patekti į Arkties vandenyno teatrą turėtų paskatinti milžiniško eksperimentinio branduolinio ledlaužio statyba. Atrodo, kad Kinija skuba pasivyti JAV dėl supervalstybės titulo konstruodama laivą, kuris netrukus gali būti didžiausias tokio tipo laivas pasaulyje. Planuojama statyti 152 metrų ilgio, 30 metrų pločio ir 30 000 tonažo ledlaužį. Jį varys branduolinė dviejų reaktorių jėgainė ir kol kas jis apibūdinamas kaip „eksperimentinė platforma“. Kadangi vieninteliai šalyje branduoliniai laivai yra povandeniniai laivai, tai būtų pirmasis Kinijos branduoliniu varikliu varomas antvandeninis laivas ir galbūt kariuomenės planuojamų statyti keturių branduolinių lėktuvnešių bandymų vieta. Eksperimentiniame laive bus du kompaktiški 25 MW galios reaktoriai, galintys varyti laivą 21,3 km/h greičiu. Jei pavyktų sukurti tokį laivą, Kinija galėtų konkuruoti su Rusija, kuri kol kas yra vienintelė branduolinių ledlaužių turinti valstybė (2.18 pav.). Kinijos dizaino ledlaužis būtų mažesnis negu šiuo metu Rusijoje statomi nauji 33 450 tonažo laivai.



2.18 pav. Kinijos eksperimentinis branduolinis ledlaužis (Gorey, C., 2019)

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 laivas „K-3 Leninsky Komsomol“ buvo pastatytas 1957–1958 metais. Jungtinės Karalystės pirmasis atominis povandeninis laivas „HMS Dreadnought“ pastatytas 1963-iaisiais. 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. Povandeniniai laivai gali būti aprūpinti branduoliniu kuru iki 30 eksploataavimo metų. Branduoliniai povandeniniai laivai gali veikti po vandeniu nuo trijų iki keturių mėnesių ir lengvai įveikti jūras ar vandenynus. Nors kai kurie įprasti povandeniniai laivai gali įveikti tokį pat atstumą, tačiau nė vienas neturi tokios ilgalaikės išvermės plaukdamas giliai po vandeniu. Branduolinis povandeninis



2.19 pav. Branduolinio reaktoriaus varomas „Akula“ klasės (Rusija) laivas yra didžiausias pasaulyje povandeninis laivas. Paniręs jis gali plaukti 50 km/h greičiu (Pike, J., 2000; Typhoon3.jpg. Creative Commons CC0 License)

laivas gali panirti į maždaug 300 m gylį. Tai palyginti nedidelis gylis, nes vidutinis pasaulio vandenynų gylis yra 3 790 metrų. Šiuolaikinio branduolinio povandeninio laivo plaukimo greitis po vandeniu yra 37–56 km/h (2.19 pav.).

Branduolinių povandeninių laivų eksploatavimo nutraukimas tapo pagrindine JAV ir Rusijos karinių jūrų pajėgų užduotimi. Pašalinusi kuro elementus iš reaktorių, JAV praktikuoja išmontuoti reaktorių sekcijas iš laivų ir užkasti jas sekloje žemėje kaip mažo aktyvumo atliekas. Rusijoje dauguma laivų arba sandarios reaktorių sekcijos paprastai lieka laikomi vandens paviršiuje, nors naujos Tolimosios Šiaurės saugyklos įrengiamos sausumoje ir turi betonines grindis. Rusija jau išardė 120 Šiaurės flotilės ir 75 Ramiojo vandenyno flotilės branduolinių povandeninių laivų. JAV savo ruožtu netinkamai pripažino 125 branduolinius povandeninius laivus.

Povandeninių branduolinių laivų statybos programa vykdoma mažai galvojant apie tai, kaip elgtis pasibaigus laivų eksploatavimo laikotarpiui. Kai šie povandeniniai laivai natūraliai nebetinkami naudoti, jie tampa pavojingi aplinkai. Panaudotas kuras iš povandeninių laivų ir išmontuoti reaktorių

skyriai kelia rimtą pavojų sveikatai ir aplinkai. Aštuntajame ir devintajame dešimtmečiais buvusi Sovietų Sąjunga dalyvavo plačioje povandeninių laivų statybos programoje, kurios metu buvo pastatyti 248 povandeniniai laivai. Bėgant metams valstybė patyrė 52 avarijas, susijusias su branduoliniais povandeniniais ar antvandeniniais laivais. Iki 1992 m. laivynas dažnai išmesdavo panaudotą kurą, išmontuotus reaktorių skyrius, mažo radioaktyvumo atliekas į Barenco jūrą. Sovietų Sąjunga pavertė Karos jūrą „radioaktyvaus šlamšto akvariumu“. Šio „akvariumo“ dugne – 17 000 radioaktyviųjų medžiagų konteinerių, 16 branduolinių reaktorių ir 5 neišardyti branduoliniai povandeniniai laivai. Vieno jų abu reaktoriai vis dar pilni kuro.

Naujosios Žemės salos apylinkėse karinis jūrų laivynas paskandino du povandeninius laivus, vieną su dviem įkrautais reaktoriais, kitą su reaktoriumi, kuriame buvo panaudotas kuras. Iš viso buvo sunaikinti (išmesti) trylika povandeninių reaktorių. Šešiuose iš jų – įvairus panaudoto branduolinio kuro kiekis. Dažniausiai įvairūs išmetimai buvo vykdomi, kai povandeninis laivas patirdavo reikšmingą gedimą arba kai jo kuro nebuvo galima saugiai perduoti į laikinąją saugyklą ir laukti tolesnio perdirbimo. Sovietų Sąjungoje panaudoto kuro tvarkymo procedūra apėmė kuro iškrovimą į priežiūrą atliekančius laivus, kurie vėliau turėjo jį gabenti į laikinąsias kuro saugyklas. Po aušinimo saugyklose, panaudotas kuras geležinkeliu transportuojamas į kuro perdirbimo gamyklą Urale. Iš reaktorių išleidžiamas visas aušinamasis skystis, reaktoriai uždaromi į konteinerius, tuomet perdirbami ar paruošiami ilgalaikiam saugojimui. Likę mechanizmai, užterštos reaktoriaus sekcijos ar kiti komponentai, per daugelį metų taip pat tapę radioaktyviais, išmontuojami iš povandeninio laivo ir iš abiejų galų užsandarinami bei laikomi vandenyje. Dalis branduolinių reaktorių buvo vėsunami ne vandeniui, o švino ir bismuto mišiniu, kuris reaktoriui sustojus tampa vientisu kietu metalo gabalu. Pastarųjų metų naujausiuose pranešimuose skelbiami duomenys rodo, kad radioaktyvumas nuosėdose, rastose aplink Kolas pusiasalio bazes per pastaruosius kelerius metus padidėjo aštuonis kartus. Karinio jūrų laivyno bazės apylinkėse rastas kobalto-60 kiekis prie Poliarno šiaurės laivyno karinės jūrų bazės padidėjo nuo 10 (bq/kg) iki 80 (bq/kg), taip pat padidėjo cezio-137 lygis įlankoje netoli Norvegijos. Rusijos šiaurės vakaruose, už 45 kilometrų nuo sienos su Norvegija esančio Kolas pusiasalio Andrejevos

įlankoje, saugoma 21 000 išseiktų urano kuro elementų iš povandeninių laivų ir ledlaužių. 1982 m. iš branduolinių atliekų saugyklos į Barenco jūrą ištekėjo 600 tūkst. tonų toksiško vandens, nes panaudotas kuras iš daugiau nei šimto atominių laivų buvo laikomas rūdijančiuose rezervuaruose tiesiog po atviru dangumi. Arkties vandenyne yra 18 tūkst. radioaktyvių objektų, tarp kurių – net 19 laivų ir 14 reaktorių. Nors Rusija planuoja pašalinti ar perdirbti šias radioaktyvias atliekas, tačiau, esant dabartiniam kuro gabenimo tempui, užtruks 30–40 metų, kad būtų perdirbtas visas panaudotas kuras. Rusijos šiaurinis laivynas ir toliau kasmet sukuria per 5 000 tonų kietųjų radioaktyviųjų atliekų, nepaisant to, kad nėra išsamaus plano, kaip jas pašalinti (Mellor, J., 1999).

Taikos metu nuskendo devyni branduoliniai povandeniniai laivai. Sovietų Sąjungos laivynas prarado penkis, Rusijos karinis jūrų laivynas – du, JAV karinis jūrų laivynas – taip pat du branduolinius povandeninius laivus. Branduolinio povandeninio laivo praradimas jūroje kelia pavojų vandens gyvūnams ir žmonėms, esantiems netoli kuro nuotėkio, tačiau tai nėra tokia didelė grėsmė, kokios būtų galima tikėtis, nes laive esanti branduolinė medžiaga yra gerai apsaugota, o vanduo yra geras spinduliuotės sugėriklis.

Šaltojo karo metu branduolinės valstybės sukaupe ginklų arsenalą, kurio pakaktų šimtams milijonų žmonių nužudyti. 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.

Branduolinė energetika žmonijai atnešė viltį turėti neišsemiamą elektros energijos šaltinį, branduolinė medicina išgelbėjo daugelio žmonių gyvybes, tačiau sukurti branduoliniai ginklai gali sunaikinti visą žmoniją. Taigi, ko daugiau žmonijai atnešė ši technologija – spindesio ar tamsiausių grimasų?

3 SKYRIUS

CHEMIJOS PROVERŽIS

3.1. Polimerų antplūdis

Gamtoje gausu *polimerų*, tarkim, celiuliozė – medžiaga, sudaranti augalų ląstelių sienelės – yra labai paplitęs natūralus polimeras. Per pastarąjį šimtmetį žmonės išmoko gaminti sintetinius polimerus, kartais naudodami natūralias medžiagas, tokias kaip celiuliozė, tačiau dažniau naudoja naftą ir kitas iškastinio kuro rūšis. *Sintetiniai polimerai* sudaryti iš ilgų atomų grandinių, išdėstytų pasikartojančia seka, kurios dažnai būna daug ilgesnės negu *gamtinių polimerų*. Būtent šių grandinių ilgis ir jų išdėstymas lemia, kad sintetiniai polimerai yra tvirtesni, lengvesni ir lankstesni. Dėl šių savybių sintetiniai polimerai ypač naudingi, o nuo tada, kai buvo išmokta juos kurti, jie tapo svarbia žmonijos gyvenimo dalimi: per pastaruosius 50 metų polimerai prisotino mus supantį pasaulį ir daug kur pakeitė žmonių gyvenimo būdą. Iš pradžių polimerai buvo priskiriami chemikų veiklos sričiai, tačiau vėliau, pradėjus kurti įvairius pluoštus, elastingus polimerus (elastomerus), vis daugiau uždavinių (gaminų projektavimo, gamybos, testavimo) sprendžia inžinerija. Pastarąjį šimtmetį, augant šiai inžinerinių medžiagų šeimai, pirmąją *plastikai*, toliau seka *pluoštai* ir *elastomerai*. Ekonominiu ir taikymo požiūriu, polimerinės medžiagos gali būti skirstomos į prekinės ir inžinerinės polimerinės medžiagas. Pirmajai grupei priskiriami polietilenas (PE), polipropilenas (PP), polivinilchloridas (PVC), antrajai – polikarbonatas (PC), polieterketonas (PEEK), poliimidai (PI) ir kt.

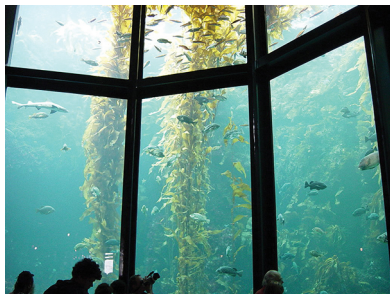
1862 m. anglų chemikas Alexanderis Parkesas išrado vieną pirmųjų polimerinių medžiagų. Medvilnės pluoštas arba medienos miltai buvo ištirpinti azoto ir sieros rūgštyse, o gautas celiuliozės nitratas buvo pavadintas *parkensinu*. Pirmąjį sintetinį polimerą 1869 m. sukūrė JAV išradėjas Johnas Wesley Hyattas. Sintetinės medžiagos paiešką įkvėpė vienos Niujorko firmos

pasiūlymas skirti 10 000 USD premiją kiekvienam, kuris pateiks medžiagą, galinčią pakeisti dramblio kaulą. Didėjant biliardo populiarumui buvo vis sunkiau gauti natūralaus dramblio kaulo, be to, visuomenė nepritarė tam, kad sportinio žaidimo aistra būtų tenkinama didėjančiu laukinių dramblių žudymu. Apdorodamas kamparu iš medvilnės pluošto gautą celiuliozę, išradėjas atrado pirmąjį termoplastą (modifikuotą natūralų polimerą), žinomą kaip *celiuloidas*, kurį buvo galima įvairiai formuoti ir imituoti natūralias medžiagas, tokias kaip vėžlio kiautas, ragas ar dramblio kaulas. Šis atradimas buvo išties revoliucinis, nes pirmą kartą žmogaus gamybos nevaržė gamtos išteklių. Naujų medžiagų kūrimas padėjo ne tik žmonėms, bet ir aplinkai. Reklamos celiuloidas buvo liaupsinamas kaip dramblių ir vėžlių gelbėtojas, priemonė, galinti apsaugoti gamtą nuo destruktivių žmogaus veiksmų, tenkinant savo poreikius. Apie 1897 m. Vokietijoje buvo gaminamas galalitas (gala = pienas, lithos = akmuo), kazeinui (pieno baltymui) reaguojant su formaldehidu (Elias, H. G., 1993). Medžiaga buvo naudojama smulkiems galanterijos dirbiniams.

Naujų medžiagų kūrimas taip pat padėjo išlaisvinti žmones nuo socialinių ir ekonominių suvaržymų, kuriuos sukelia gamtos išteklių stygius. Dėl nebrangios celiuloido gamybos technologijos, daugeliui materialinė gerovė tapo plačiau prieinama, bet dar niekas neįtarė, kad polimerų ar plastiko revoliucija tik prasidėjo.

1907 m. belgų ir amerikiečių chemikas Leo Baekelandas išrado *bakelitą* – pirmąjį visiškai sintetinį polimerą, nes jame nebuvo gamtoje aptinkamų molekulių. L. Baekelandas ieškojo sintetinio šelako, natūralaus elektros izoliatoriaus pakaitalo, būtino sparčiai augančiai JAV elektrotechnikos pramonei. Bakelitas buvo ne tik geras izoliatorius. Jis taip pat buvo patvarus, atsparus karščiui ir, skirtingai nei celiuloidas, idealiai tiko masinei gamybai. Rinkoje bakelitas buvo pristatomas kaip „tūkstančiams tikslų tinkanti medžiaga“, nes iš jo buvo galima išgauti bet kokios formos gaminį, o tai gamintojams atvėrė begalines galimybes. J. W. Hyatto ir L. Baekelando sėkmė paskatino didžiąsias chemijos įmones investuoti į naujų polimerų tyrimus ir netrukus nauji polimerai prisijungė prie celiuloido ir bakelito. 1926 m. britų mokslininkė E. C. Rossiter pagamino *aminoplastą*, kurio pagrindą sudaro formaldehidas ir karbamido bei tiokarbamido mišinys. Nesochiuosius poliesterius (UP) 1933 m. atrado amerikietis Carletonas Ellis, o rinkoje jie pasirodė apie 1942 metus.

3.1 pav. 10 metrų gylio Monterėjaus įlankos akvariumo 33 cm storio akriliniai langai (KelpAquarium.jpg, CC SA 1.0)

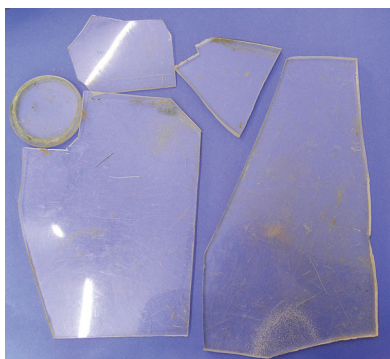


1835 m. apie vinilchlorido (VC) sukūrimą pirmieji pranešė danų chemikai J. Liebegas ir H. Regnaultas, tačiau šios medžiagos gebėjimas polimerizuotis tuo metu nebuvo iki galo žinomas. Pramoninė PVC gamyba, naudojant emulsijos ir suspensijos technologijas, buvo pradėta tik Antrojo pasaulinio karo pradžioje. Ūmus gumos trūkumas karo metu paspartino pokyčius, nes labai stigo elektros kabelių izoliacijos ir apvalkalų. Etileno aukšto slėgio polimerizacija buvo atsitiktinai atrasta 1933 metais. Polimerai akrilnitrilo, butadieno ir stireno pagrindu pirmą kartą buvo pristatyti XX a. ketvirtojo dešimtmečio pabaigoje (3.1 pav.).

Polimetilmetakrilatas (PMMA) pirmą kartą buvo pagamintas 1933 m. Jis buvo skirtas orlaivių stiklinimui ir įvairioms kitoms reikmėms, ypač ten, kur svarbus skaidrumas ir (arba) geras atsparumas oro sąlygoms (3.2 pav.).

Apie 1938 m. vokiečių mokslininkas Paulas Schlackas atrado poli(ε-kaprolaktamą), žinomą kaip *nailonas 6*. Šis polimeras buvo komercializuotas

3.2 pav. Per Antrąjį pasaulinį karą numušto vokiečių lėktuvo priekinio stiklo pleksiglaso (organinio stiklo) gabalai (Perspex pieces (AM 2007.10.2-2).jpg, CC BY 4.0)



jau 1939-aisiais. Fluoro polimerų kūrimas prasidėjo nuo politetrafluoretileno (PTFE) sintezės bendrovės „DuPont“ padalinyje 1938 metais.

Sočiuosius poliesterius pirmą kartą (1929 m.) tyrė bendrovės „DuPont“ chemikas Wallace'as Hume'as Carothersas. Sočiosios poliesterio dervos susidaro vykstant daugiabazių rūgščių ir poliolių reakcijai, o sukurta medžiaga pasižymi lankstumu ir kietumu. Šie polimerai daugiausia naudojami skardinių, valcuoto plieno, nelipnių indų dangai, automobilių dažams ir pan. Svarbiausias šios grupės polimeras yra polietileno tereftalatas (PET), pirmą kartą pagamintas 1955 m. ir naudojamas kaip plastikas, plėvelė ir pluoštas.

Pirminį atradimą, paskatinusį pasaulinį susidomėjimą visomis poliuretano klasės (PU) medžiagomis, padarė vokiečių mokslininkai Otto Bayeris ir jo bendradarbiai 1937 metais. Vėliau buvo nustatyta, kad PU yra naudingi gaminant įvairius plastikus (1961), elastomerus, putas, klijus, pluoštines medžiagas ir korozijai atsparias dangas.

Epoksidines dervas (EP) pirmą kartą 1934 m. susintetino nailono 6 išradėjas vokiečių mokslininkas P. Schlackas. Vinilo esterio dervos, kurios gali būti laikomos epoksidinės ir poliesterio dervos hibridu, buvo sukurtos XX a. septintajame dešimtmetyje.

Šeštojo dešimtmečio pradžioje P. Hoganas ir R. L. Bankas atrado, kad etilenas gali būti polimerizuotas 3–4 MPa slėgio ir 70–100 °C temperatūros sąlygomis, naudojant chromo oksido katalizatorių. Taip gaminamo didelio tankio polietileno (HDPE) gamyba buvo pradėta 1956 m., o 1957-aisiais pradėtas gaminti polipropilenas (PP).

Dar 1898 m. vokiečių mokslininkas A. Einhornas pranešė apie fosgeno reakcijoje su dvihidriais fenoliais susidarančius polikarbonatus (PC). Ši polimerų rūšis pradėta tirti 1958 m., o gamyba plačiu mastu pradėta Vokietijoje (1959) ir JAV (1960).

Poliimidinės (PI), daugiausia termoreaktyvios, dervos, buvo sukurtos 1953 m., o komercializuotos apie 1963 metus. Nors aromatinės poliimidinės dervos tinka naudoti iki 300 °C temperatūros net mėnesius ir atlaiko kelių minučių 500 °C temperatūros poveikį, jų naudojimas buvo ribotas.

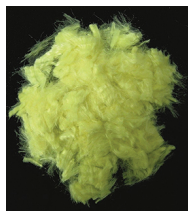
Antrasis pasaulinis karas Jungtinėse Valstijose smarkiai išplėtė polimerų pramonę, nes buvo suprata, kad pramonės pasiekimai gali būti tokie

CHEMIJOS PROVERŽIS

pat svarbūs siekiant pergalės kaip ir karinė sėkmė. Norint išsaugoti ribotus gamtos išteklius, alternatyvių sintetinių medžiagų gamyba tapo prioritetine. Dar 1935 m. buvo sukurtas nailonas. Jį išrado JAV chemikas W. H. Carothersas. Nailonas arba sintetinis šilkas karo metu buvo naudojamas parašiotams, virvėms, kūno liemenėms, šalmų įdėklams ir kt. gaminti. Polimerinė medžiaga *organinis stiklas*, dar vadintas pleksiglasu, pakeitė trapų orlaivių langų stiklą. Pasibaigus karui plastiko gamybos augimas nenutrūko, nes pokario laikotarpiu žmonės vėl buvo pasirengę išlaidauti ir noriai pirko gaminius, pagamintus iš polimerų. Antrojo pasaulinio karo metais JAV plastiko gamyba išaugo 300 procentų.

1965 m. bendrovėje „DuPont“ (JAV) buvo sukurtas *kevlaras* (3.3 pav.). Tai aromatinių angliavandenilių pagrindu sudarytas poliamidinis pluoštas (Tanner, D. ir kt., 1989).

Šio pluošto plaušai ištempiami iš išlydytos masės, o ne gaunami pynimo būdu, kaip kad gaminant kitus poliamidinius pluoštus. Susukto kevlaro pluošto tempiamasis stipris yra apie 3 620 MPa, o santykinis tankis – 1,44 g/cm³. Palyginimui – paprasto anglinio plieno vielos tempiamasis stipris yra apie 350 MPa, o tankis 7,8 g/cm³. Kevlaras gali būti naudojamas kriogeninėje temperatūroje (–196 °C), pasižymi mažu šilumos laidumu. Dėl unikalių savybių kevlaras plačiai naudojamas sporto inventoriaus gamyboje, karinėje pramonėje, aeronautikoje, t. y. srityse, kur reikalingas tvirtumas ir kuo mažesnis gaminio svoris (3.4 pav.).



3.3 pav. Kevlaro (aramido) pluoštas.

Pluošto siūlų skersmuo – apie 10 μm, nesilydo, suyra 500–550 °C temperatūroje (Aramid fiber2.jpg. CC BY-SA 3.0)



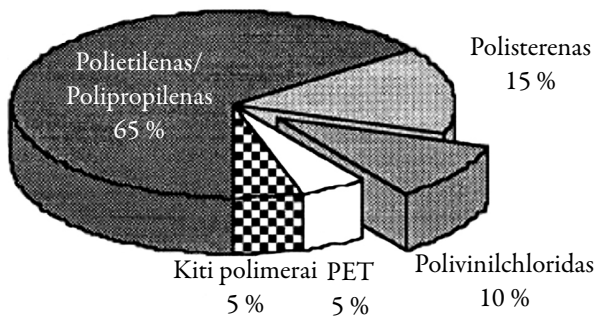
3.4 pav. Kevlaras labai dažnai naudojamas gaminant sportines baidares (Kevlar canoe algonquin.jpg. CC BY-SA 3.0)

CHEMIJOS PROVERŽIS

Iš kevlaro pluošto gaminamos šarvinės liemenės, šalmai, teniso raketės, juo armuojami optiniai kabeliai ir burlenčių burės bei pačios lentos, didelei temperatūrai atsparios ugniagesių uniformos. Aramidiniai pluoštai, kartu su anglies ir stiklo pluoštais, plačiai naudojami kompozicinėse medžiagose. Polimerinių medžiagų įvairovė yra milžiniška. Nespecialistui dažnai sumaištį kelia to paties produkto skirtingi pavadinimai skirtingose šalyse. Per istoriškai labai trumpą laikotarpį polimerai „metė iššūkį“ tradicinėms medžiagoms ir laimėjo, nes automobiliuose daug kur pakeitė plieną, pakuotėse – popierių ir stiklą, o balduose – medieną (Freinkel, S., 2011).

Spartus pasaulinis polimerų gamybos augimas prasidėjo tik XX a. šeštajame dešimtmetyje. Per praėjusius 65 metus metinė plastiko gamyba išaugo beveik 200 kartų iki 381 mln. tonų 2015 metais. Per kelis polimerų gamybos dešimtmečius buvo pagaminta per 7,8 mlrd. tonų plastiko, t. y. daugiau negu viena tona plastiko kiekvienam planetos gyventojui. Vis dėlto, polimerinių medžiagų sėkmės sukeltas optimizmas ilgai nesitęsė. Jau XX a. septintajame dešimtmetyje polimerinės šiukšlės pirmą kartą buvo pastebėtos vandenynuose. Polimerinės medžiagos pamažu tapo žodžiu, vartojamu apibūdinti tai, kas pigu, menka ar netikra. XX a. aštuntajame ir devintajame dešimtmečiais plastiko reputacija dar labiau sumenko, nes didėjo nerimas dėl taršos polimerinėmis atliekomis (3.5 pav.).

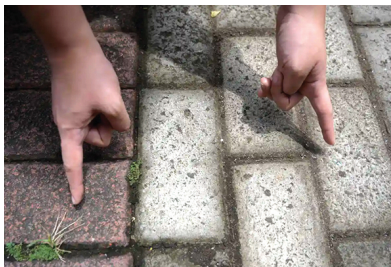
Daug polimerinių gaminių yra vienkartinio naudojimo, o aplinkoje jie išlieka beveik amžinai. Netgi smulkios polimerinių medžiagų atliekos, kai



3.5 pav. Įvairių polimerų procentinė dalis komunalinėse kietosiose atliekose (Braun, D.; Krämer, K., 2022)

CHEMIJOS PROVERŽIS

jų labai daug, kelia taršos problemų. Pavyzdžiui, cigarečių nuorūkos, kurių filtruose yra mažų plastiko pluoštų, yra labiausiai paplitusi plastiko atliekų rūšis, randama aplinkoje. Maisto pakuotės, plastikiniai buteliai, plastikinių butelių kamšteliai, plastikiniai pirkinų maišeliai, plastikiniai šiaudeliai ir maišikliai dažnai mėtosi pakelėse, miškuose ar parkuose (Feldman, D., 2008). Kaip problemos sprendimą polimerų pramonė pasiūlė tokių atliekų perdirbimą (3.6 pav.) arba naudojimą kitiems nei gaminyms buvo skirtas tikslams (3.7 pav.).



3.6 pav. Įprasta trinkelė (kairėje) ir trinkelė iš perdirbto plastiko atliekų (dešinėje) (<https://gempita.co/dua-pengusaha-milenial-olah-sampah-plastik-jadi-bahan-bangunan-konblok/>)

Vis dėlto, atliekų perdirbimas toli gražu nėra tobulas, o didelė dalis polimerinių gaminių vis tiek patenka į sąvartynus arba į aplinką. Didžiausias polimerinių gaminių atliekų problemos simbolis yra milžiniškas, net iš



3.7 pav. Plastikiniai buteliai yra tinkami daržovėms (salotoms, špinatams, mangoldams, burokams, ridikams ar morkoms) auginti (<https://aced.org/wp-content/uploads/2022/11/p3.jpg>)



3.8 pav. Jūrų gyvūnai dažnai nukenčia nuo tinklų ar virvių (Chatterjee, S.; Sharma, Sh., 2019)

kosmoso matomas vandenyno šiukšlių telkinys, plūduriuojantis Ramiajame vandenyne. Didžioji dalis polimerų, kurie patenka į vandenyną iš upių, yra iš šalių, kuriose gyventojai gauna mažas ir vidutines pajamas. Šiose šalyse dažniausiai būna daugiau netinkamai tvarkomų plastiko atliekų, o šalyse, kuriose gyventojai gauna dideles pajamas, atliekos tvarkomos daug efektyviau. Maždaug 20 % visų polimerų atliekų vandenyuose yra iš jūros (žvejybos tinklų, lynų) šaltinių (3.8 pav.), kiti 80 % gaunami iš žemynų (3.9 pav.).

Polimerinių gaminių „reputacija“ dar labiau sumenko dėl galimos grėsmės, kurią jie kelia žmonių sveikatai. Šios problemos susijusios su priedais, dedamais į plastikus (tokiais kaip bisfenolis A), ir cheminėmis medžiagomis (ftalatais). Pridėjus tokių priedų gaminiai tampa lankstesni, patvaresni ar skaidresni. Daugėja įrodymų, kad šios cheminės medžiagos išplaunamos iš polimerinių gaminių ir patenka į maistą, vandenį bei organizmą ir gali sutrikdyti endokrininę (arba hormoninę) sistemą. Tyrėjai nerimauja dėl šių cheminių medžiagų poveikio vaikams ir dėl to, kaip tolesnis jų kaupimasis kels grėsmę ateities kartoms.

Šiandien didžiausia grynojo plastiko naudotoja yra pakuočių pramonė, tačiau plastiko yra mūsų pastatuose, transporte, balduose, buitinėje technikoje, televizoriuose, kilimuose, drabužiuose ir daugybėje kitų kasdienių daiktų. Ligoninėse plastikas naudojamas pirštinių, vamzdelių, švirksčių, kraujo maišelių,



3.9 pav. Polimerinės atliekos labai teršia jūros ekosistemą (<https://www.thesized.com/human-waste-choking-life-caribbean-sea/>)

mėgintuvėlių ir kt. gamybai. Kad būtų užtikrinamas sterilumas, standartiniai daugkartiniai chirurginiai instrumentai, atliekant kai kurias operacijas, keičiami vienkartiniais. Po vienos operacijos ligoninėje susidaro šimtai plastiko atliekų. Nors kai kurie chirurgai mano, kad ligoninėse per daug naudojamas vienkartinis plastikas, šiuo metu daugelis plastikinių medicininių reikmenų yra būtini, nes be jų būtų prarandamos gyvybės. Gyvenant be plastiko taip pat reikėtų keisti ir rengimosi įpročius. 2018 m. 62 % visame pasaulyje pagamintų tekstilės pluoštų buvo sintetiniai, pagaminti iš naftos chemijos produktų. Taip pat greitai ėmė trūkti batų. Kol nebuvo plačiai paplitęs sintetinis plastikas, batai dažniausiai buvo gaminami iš odos. 2020 m. buvo pagaminta 20,5 mlrd. porų avalynės. Tačiau, kiekvienam planetos gyventojui pasiūti odinių batų yra tiesiog neįmanoma. Naftą ir dujas paverčiant plastiką, išsiskiria toksiškos dujos, kurios teršia orą ir veikia vietos bendruomenes. Be to, plastiko gamybos metu pridedama cheminių medžiagų, galinčių sutrikdyti endokrininę sistemą, kuri gamina hormonus, reguliuojančius augimą ir vystymąsi. Dvi labiausiai ištirtos endokrininę sistemą ardančios cheminės medžiagos yra *ftalatai*, naudojami plastikui minkštinti, taip pat – daugelyje kosmetikos gaminių, ir *bisfenolis A*, dažniausiai naudojamas gaminant skardinių pamušalus ir plastikui sukietinti.

Nepaisant augančio nepasitikėjimo, polimeriniai gaminiai išlieka labai svarbūs šiuolaikiniam gyvenimui. Jie prisidėjo prie to, kad buvo galima sukurti

kompiuterius, mobiliuosius telefonus ir daugumą šiuolaikinės medicinos pagalbos priemonių. Lengvas polimeras, pasižymintis geromis šilumos izoliacinėmis savybėmis, padeda sutaupyti daug iškastinio kuro, naudojamo šildymui. Be plastiko, daugelis daiktų, kuriuos laikome savaime suprantamu dalyku, gali būti daug kam nepasiekiami, išskyrus turtinguosius. Pakeitus natūralias medžiagas polimerinėmis, daugelis daiktų tapo pigesni, lengvesni, saugesni ir ilgaamžiškesni.

Vis dėlto, polimerų naudojimo ribojimas yra kaip dviašmenis kardas. Nors polimerinių pakuočių naudojimas dažnai yra labai svarbus aplinkosaugininkams, tačiau būtina pripažinti pakuočių vaidmenį užkertant kelią maisto švaistymui. Be maisto pakuočių, dažniausiai plastikinių, dar didesnis maisto kiekis patektų į atliekas, nes pakuočės saugo maistą nuo šviesos poveikio, temperatūros pokyčių, oro teršalų, bakterijų ir trunkymo transportavimo metu.

Akivaizdu, kad polimerai mūsų gyvenime užima ypatingą nišą, todėl mokslininkai siekia sukurti aplinkai nekenksmingas medžiagas, tokias kaip *bioplastikai*, kurie gaminami iš augalų, o ne iš iškastinio kuro, be to, siekiama, kad plastikai būtų biologiškai skaidūs. Biologiškai skaidūs polimerai yra speciali polimerų klasė, kuri, veikiant bakterijoms, suyra. Irimo produktai yra dujos (CO_2 , N_2), vanduo, biomasė ir neorganinės druskos.

Jau naudojami biologiniai plastikai, kurie turi daug tų pačių savybių kaip ir iš naftos chemijos produktų pagaminti plastikai. Pavyzdžiui, iš kukurūzų krakmolo pagaminta polipieno rūgštis naudojama šiaudeliams gaminti. Šiaudeliai, prieš baigiant gerti, išmirksta ir pradeda irti. Biologiniai plastikai gali būti gaminami iš valgomųjų augalų dalių, tokių kaip cukrus ar kukurūzai, arba iš augalinės medžiagos, kuri netinkama vartoti, pavyzdžiui, minkštimo, likusio susmulkinus cukranendres. Kai kurie (bet ne visi) biologiškai pagaminti plastikai yra biologiškai skaidūs arba kompostuojami. Juos vis tiek reikia kruopščiai apdoroti, dažnai pramoniniuose kompostavimo įrenginiuose. Net jei būtų sukurta infrastruktūra jiems kompostuoti, biologinės kilmės plastikai galbūt nebūtų geresni aplinkai, bent jau ne iš karto. Viename tyrime nustatyta, kad iškastinio kuro plastiką pakeičiant biologiškai skaidžiu, kasmet gali prireikti nuo 300 iki 1 650 mlrd. kubinių metrų vandens, o tai sudaro nuo 3 iki 18 % pasaulio vidutinio vandens suvartojimo. Kita vertus, bandyti palyginti biologinio plastiko ir įprasto plastiko poveikį aplinkai yra sudėtinga, ypač todėl, kad iškastinio kuro pagrindu pagaminti plastikai taip pat turi daug pranašumų. Plastiko

gamyba iš augalų nebūtinai išspręstų dėl medžiagos kylančias sveikatos problemas. Nors tyrimų šia tema nedaug, tikėtina, kad panašūs technologiniai priedai, naudojami įprastuose plastikuose, taip pat būtų naudojami ir biologiniuose plastikuose. Taip yra todėl, kad abiejų medžiagų naudojimui būtinos savybės turi būti panašios. Taigi, jei bioplastikas bus sumaišomas su maisto atliekomis ir kompostuojamas, visa, kas yra plastike, pateks į mūsų maisto sistemą.

Akivaizdu ir tai, kad vienos medžiagos pakeitimas kita neišspręs visų su plastiku susijusių problemų. Jau dabar stengiamasi išsiaiškinti, kurie plastikai yra nereikalingi, vengtini ir problemiški bei siekiama palaipsniui jų atsikvoti. Apsvarstę, ar daiktas tenkina esminį poreikį, pavyzdžiui, maisto, pastogės ar vaisto, ir ar medžiagos kiekio sumažinimas arba plastiko pakeitimas kažkuo kitu turės įtakos jo naudojimui, galime pradėti svarstyti, kokius plastikus galime naudoti, o be kurių galime apsieiti. Kai kuriais atvejais to padaryti šiandien dar negalime. Pavyzdžiui, kai kuriose vietovėse vienintelis saugus geriamasis vanduo yra plastikinėse pakuotėse. Problemą galima spręsti plėtojant geriamojo vandens gamybos, apdorojimo ir tiekimo infrastruktūrą, kuri pakeistų „supakuotą“ vandenį, tačiau tokios infrastruktūros kūrimas yra lėtas ir brangus procesas. Taigi, didžiausia problema, su kuria susiduriame, yra būtinybė iš naujo įvertinti savo daiktų ar produktų išmetimo kultūrą. Turėtume keisti ne tik daiktų naudojimo įpročius – nuo drabužių ir maisto iki telefonų ir skalbyklių, bet ir spontaniškus įpročius pirkti greitai, ką nors pigaus ir vienkartinio.

Pateikti samprotavimai rodo, kad nėra taip paprasta įvertinti, ko polimerai suteikia daugiau – naudos ar žalos, tačiau visi pripažįsta, kad plastikai, nors ir netobula, bet yra svarbi ir būtina mūsų ateities dalis.

3.2. Tekstilė

Tekstilė – bet koks siūlas, pluoštas ar verpalai, iš kurių galima pagaminti audinį arba drabužį. Terminas kilęs iš lotynų kalbos žodžio „textilis“, reiškiančio „austi“. Iš pradžių terminas buvo vartojamas tik austiems gaminiams apibūdinti, tačiau šiandien šiuo terminu nusakomi ir audiniai, pagaminti kitais metodais. Tekstilė gali būti: natūralaus pluošto (medvilnė, šilkas, vilna, linas), sintetinio pluošto (viskozė, nailonas, poliesteris), kai kurių neorganinių pluoštų (stiklo pluošto, asbesto pluošto, aukso siūlų).

Pirmieji drabužiai, dėvėti mažiausiai prieš 70 000 metų ir galbūt daug anksčiau, tikriausiai buvo pagaminti iš gyvūnų odos ir padėjo apsaugoti ankstyvuosius žmones nuo oro permainų ar stichijų. Kažkuriuo metu žmonės išmoko į tekstilę įpinti augalinių pluoštų. Labiausia tikėtina, kad pirmieji audiniai pradėti gaminti Azijoje. Seniausias užfiksuotas drabužių elementas yra lininė suknelė iš pirmosios Egipto dinastijos maždaug prieš 5 000 metų. Pirmieji drabužiai buvo pagaminti iš natūralių medžiagų: gyvūnų odos ir kailių, žolių ir lapų bei kaulų ir kriauklių. Drabužių dalys dažnai būdavo tik surišamos. Tačiau paprastos adatos, pagamintos iš gyvūnų kaulų, rodo, kad odiniai ir kailiniai drabužiai buvo siuvami mažiausiai prieš 30 000 metų. Iki pramonės revoliucijos tekstilės gaminiai buvo gaminami amatininkų ar ūkininkų šeimų namuose. Gamybą ribojo rankinio verpimo rato ir rankinių audimo staklių galimybės. Gamybai didinti kiekviename etape reikėjo vis daugiau rankų darbo.

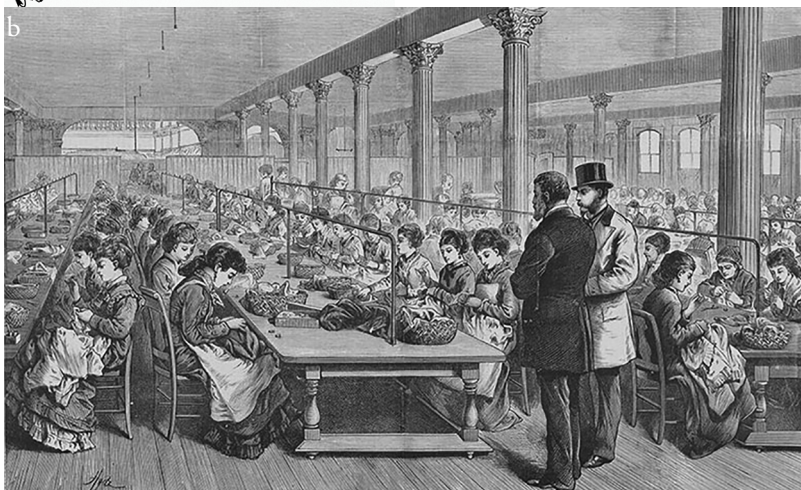
Pramonės revoliucija pakeitė ir tekstilės pramonę. Pirmą, atsirado naujas verpimo ir audimo darbų pasidalijimas. Anksčiau, kol dar nebuvo pramoninės gamybos, daug žmonių užsiimdavo verpimu ir audimu. Mašinos galėjo gaminti daug greičiau nei žmonės. Tiek pat produkcijos mašina pagamindavo per 10 minučių, kaip ir sparčiai dirbantis darbuotojas rankinėmis priemonėmis per visą dieną. Mašinoms pradėjus naudoti elektros energiją, tekstilės fabrikai galėjo būti statomi toliau nuo vandens ar vėjo malūnų, vietovėse, kuriose buvo daugiau gyventojų ar daugiau labiau išsimokslinusių žmonių. Pavyzdžiui, apie 1760 metus Mančesteryje veikė tik dvi ar trys gamyklos, tačiau 1835 m. Anglijoje ir Škotijoje buvo apie 1 000 medvilninės tekstilės gamyklų. Šios gamyklos greitai išstūmė amatininkus iš savo namų ir dirbtuvių, kur jie audė ir mezgė šimtmečiais. Tekstilės gamybos plėtrai didelę svarbą turėjo įrenginiai, padėję valyti sėklas iš medvilnės pluošto, todėl medvilnė tapo populiariu pluošto šaltiniu. Verpimo mašinomis buvo pagaminama daugiau siūlų be papildomų darbuotojų, todėl audinių gamyba sparčiai augo. Sukūrus spausdinimo presus padaugėjo spausdintų audinių, nes juos mašinomis buvo galima lengvai ir greitai tiražuoti daug sparčiau, negu tai galėjo daryti namudininkas rankiniu būdu ant drobės. *Spausdinimas* – tai pastos arba rašalo pavidalo spalvos užtepimas ant audinio paviršiaus pagal iš anksto nustatytą raštą. Tai galima apibūdinti kaip vietinio dažymo formą. Gaminiai buvo daug pigesni negu anksčiau, todėl juos parduoti buvo lengviau.

3.3. Tekstilės istorinės raidos kelias

Žmogus mokėjo verpti jau akmens amžiuje, o seniausias verpimo būdas – linų pluošto sukimas pirštais. V tūkstantmetyje pr. m. e. žmonės sugalvojo pirmąjį verpimo įrankį – verpstę (3.10 pav., a). Kinijoje (206 m. pr. m. e. – 25 m. e. m.) nežinomas išradėjas verpstę uždėjo ant ašies su varomuoju ratu, kuris buvo sukamas ranka. Taip atsirado *verpimo ratelis*. Į Europą verpimo rateliai atkeliavo tik XIII amžiuje. Čia jie taip pat buvo sukami ranka. Praėjus dar ketvirčiui amžiaus Anglijoje buvo sukonstruotas verpimo ratelis su kojos pamina. Ratelis iš pradžių buvo retas ir brangus daiktas, todėl dar XIX amžiuje ne visiems prieinamas. Lietuvoje medinė verpstė buvo pagrindinis verpimo įrankis iki XIX a. pradžios, nors tuo metu ją jau sparčiai ėmė stumti verpimo ratelis. Dažniausiai buvo verpiami vilnų, linų, kanapių pluoštai.



3.10 pav. a – verpstė ir suklys (Distaff (PSF).png. Viešo naudojimo); b – siuvykla Niujorke 1919 m. (<https://fashionhistory.fitnyc.edu/compartiment-couture-2/>)



CHEMIJOS PROVERŽIS

Didelio masto tekstilės gaminių gamyba pradėta 1700 m. pabaigoje ir pirmiausia įsitvirtino Didžiojoje Britanijoje, kur 1783 m. Richardas Arkwrightas išrado *medvilnės verpimo mašiną*. Nuo XVIII a. iki XIX a. sparčiai vystėsi naujos tekstilės pramonės technologijos ir metodai, o mašinų naudojimas leido eksponentiškai didinti tekstilės gaminių gamybą (Collier, A. M., 1975). Pramonės revoliucija prasidėjo Didžiojoje Britanijoje 1700 m. viduryje, o tekstilės gamyba buvo pirmasis didelis šios revoliucijos proveržis (3.10 pav., b). Lietuvoje verpimo manufaktūros pradėtos steigti XVIII amžiuje. XX a. antroje pusėje didelių verpimo ir audimo fabrikų pastatyta Vilniuje, Panevėžyje, Kaune, Alytuje, Marijampolėje.

Audimas – tai audinio gaminimas iš siūlų audimo staklėmis tam tikra tvarka supinant dvi statmenas siūlų sistemas – išilginę (metmenis) ir skersinę (ataudus). Audinio savybes, išvaizdą ir raštą lemia siūlų supynimo tvarka. Pagal norimą pynimą metmenys suveriami į nytis; jos audžiant tam tikra tvarka periodiškai kilnojamos ir sudaromos žiotys. Pro jas (šaudykle, vandens ar oro srautu, iešmais, sviedikliu ir kitais būdais) tiesiamas ataudų siūlas (3.11 pav.). Pakeltose nytyse suverti metmenys dengia tiesiamą ataudą, o nuleistose – yra po juo. Pratiestas ataudas muštuvuose įstatytu skietu primušamas prie išausto audinio priaudo. Tokias operacijas atlieka tiek rankinės, tiek mechaninės audimo staklės.

Nuo seno Lietuvoje austi balti ir spalvoti audiniai. II–IV a. kapinynuose randama kanapinių, lininių ir vilninių audinių, austų dvinytai bei trinytai, IX–XII a. – ir keturnytai, liekanų. Iš pradžių austa vertikaliomis,



3.11 pav. Šaudyklė (Bradford Industrial Museum 014.jpg, CC BY 3.0)

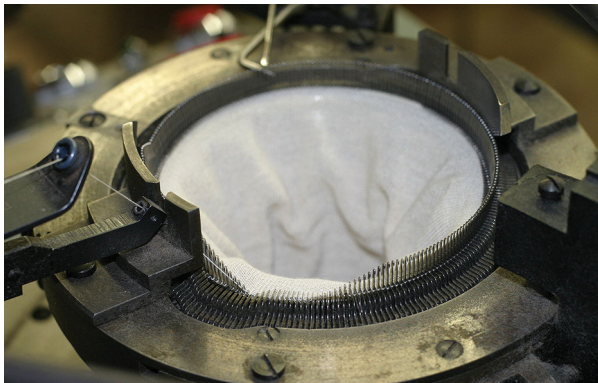


3.12 pav. Audimo praktika 193 m. (Aleksandro
Stulginskio universiteto muziejus)

nuo XIII a. – horizontaliosiomis staklėmis (3.12 pav.). XIX a. – XX a. viduryje austa pusės rėmo ar viso rėmo mechaninėmis audimo staklėmis. Gijos metmenims ir ataudams buvo ruošiamos taip: iš priverptų ričių siūlai nuvejami ant lanksčio, išbalintos ar nudažytos sruogos vytuvais pervejamos ant reketuko (krijelio), o nuo jo – ant judamųjų mestuvų (juos vietoj sieninių pradėta naudoti XIX a. pradžioje). Tada į stakles kabinamos nytytys ir į jas veriami metmenys. Suvėrus į nytytį, verinama į skietą. Baigus verti, skietas įstatomas į mintuvus, rišamos pakojos. Ataudams siūlai nuo vytuvų nuvejami į šeivas. Paskui šeivos dedamos į šaudyklę.

Tekstilės gaminiai gali būti ne tik austi, bet ir megzti. *Mezgimas* – tai audeklo gaminimas supinant vieną ar, kartais, kelis siūlus. Mezgant sudaroma daug kilpelių (ne viena), kurios būna suvertos ant vieno virbalio, vėliau mezgant perkeliama ant kito. Mezgimui rankomis naudojami įvairūs virbalai, o mezgimo pramonėje naudojamos mezgimo staklės (3.13 pav.).

Mezgimo mašina mezga dviem skirtingais būdais: metmenimis ir ataudais. Ataudinis mezgimas yra panašus į mezgimą rankomis, kai siūlės jungiamos viena su kita horizontaliai. Įvairios ataudinio mezgimo mašinos gali būti sukonfigūruotos taip, kad tekstilės gaminiai būtų gaminami iš vienos verpalų ritės arba iš kelių. Metmeniniame mezginyje yra daug siūlų, sujungtų vertikaliomis grandinėmis, zigzagais, kryžminant medvilninius



3.13 pav. Žiedinio mezgimo mašina (Rundstrickmaschine
Nadel scharf.jpg. CC BY-SA 3.0)

siūlus. Metmeniniai mezginiai mažiau tamposi negu ataudiniai ir yra atsparesni irimui.

3.4. Tekstilės ir aprangos simbiozė bei evoliucija

Pirmykščiai žmonės dengėsi drabužiais iš gyvūnų odos ir kailio. Jau seniausiais laikais buvo skirtingi požiūriai į jų naudojimą ir funkcijas, t. y. kam jie skirti – žmogaus figūrai apginti ar ją papuošti. Atsigręžiant į drabužių istoriją, iš pradžių svarbu suprasti, kad nors žodžiai „mada“, „drabužiai“ ar „kostiumas“ dažnai vartojami kaip sinonimai, šie terminai nėra identiški. *Mada* yra daugiau negu tik drabužis. Ji atspindi platesnę estetikos, meno ir dizaino tendencijų spektrą šiuolaikinėje visuomenėje. Paprasčiau tariant, mada yra socialinis procesas, kurio metu naujai pristatyti stiliai ar tendencijos tam tikru laiku visuomenėje tampa populiariesni ir gali būti priimtini platesnei įvairių šalių žmonių grupei.

Kostiumas reiškia drabužius, skirtus konkrečiam naudojimui – ar tai būtų ritualas, ar etninis, ar istorinis tam tikro laiko kontekstas. Norint suprasti šiuolaikinę madą, svarbu žinoti jos kilmę ir evoliucijos procesą. Mados ir kostiumų istorijos labai glaudžiai susijusios su visuomenėje skirtingu laiku vyraujančia socialine, kultūrine ir politine aplinka. *Drabužiai*

yra tai, kas dengia žmogaus kūną, o tai savo ruožtu priklauso nuo fizinių sąlygų, tokių kaip klimatas, geografinė sritis, turima žaliava, tekstilė ir kt. Drabužiai rodo socialinę reikšmę, pavyzdžiui, religinius įsitikinimus ir estetiką, siekį parodyti asmeninį statusą ar norą pademonstruoti skirtumą tarp visuomenės grupių.

Yra keletas nuomonių apie drabužių kilmę ir poreikį. Vieni mano, kad žmogus apdengė savo kūną tam, kad apsisaugotų nuo klimato ir gamtos kaprizų. Psichologai ir etnologai remiasi psichologinėmis priežastimis. Jie nurodo, pavyzdžiui, Biblijoje minimą figos lapą, kurį kaip kuklumo simbolį naudojo Adomas ir Ieva. Antropologai įžvelgia žmogaus norą pasipuošti, kad patiktų sau ir kitiems. Psichologai laikosi nuomonės, kad žmonėms patinka keisti savo išvaizdą, viena iš tokios modifikacijos rūšių – naudoti kūną dengiančius drabužius. Yra ir kitų būdų tai pasiekti, tarkim, įvairios šukuosenos, kūno puošmenos ir kt. Tokių pokyčių asmuo imasi, siekdamas tapti labiau priimtinas kitiems, palaikyti bendrystę ir ryšį su kitais tos pačios genties žmonėmis.

Primityvūs žmonės apraukdavo savo kūną gyvūno oda ir kailiu, ir taip išryškindavo atskiras kūno dalis. Įvairių dydžių, formų ir tekstūrų oda buvo naudojama skirtingoms funkcijoms – apginti arba papuošti žmogaus figūrą. Vėliau medžio žievės pluoštas buvo naudojamas apsisaugoti nuo klimato ekstremumų. Tačiau drabužiai yra ne tik naudingi – jie turi daug platesnę reikšmę. Ryšys tarp pirmykščių žmonių tikėjimo magija ir sėkmingos medžioklės matomas paleolito eros uolų piešiniuose. Net ir šandien kai kurios gentys, kurios paprastai gyvena nuogos, taip pat ypatingomis progomis dėvi drabužius.

Apie drabužių kilmę ir evoliuciją daugiausia žinoma iš archeologinių radinių, senovinių piešinių ir figūrėlių. Drabužių atsiradimo data nuolat kinta, nes archeologai suranda vis įvairesnių drabužių naudojimo faktų. Tyrėjai teigia, kad drabužiai galėjo atsirasti maždaug prieš 540 000 metų. Vienu požiūriu, drabužių kilmė galėjo sutapti su šiuolaikinių *Homo sapiens* migracija iš šilto Afrikos klimato į šiaurę. Kitų požiūriu, drabužiai atsirado dėl to, kad evoliucijos proceso metu žmonės prarado didžiąją dalį kūno plaukų. Stiprūs šiaurinių regionų šalčiai vertė juos gintis aplinkoje randamomis medžiagomis, todėl ankstyviausios drabužių formos galėjo būti

pagamintos iš gyvūnų odos ir kailio, taip pat iš žievės, lapų ir surištos, apie kūną apvyniotos žolės.

Bronzos ir geležies amžiais įrankiai, drabužiai ir kiti reikmenys keliavo prekybos maršrutais. Daroma prielaida, kad kailiai, akmenys ir kt. galėjo būti naudojami barteriniams mainams. Vyraujantis gyvūnų odų naudojimas daugiausia buvo reikalingas dėl šilumos poreikio. Odos gabalai buvo susiu-vami iš kaulo ar rago padarytomis adatomis, o vietoj siūlų buvo naudojami arklbio uodegos plaukai arba šiaurės elnių sausgyslės. Ankstyvojo amžiaus drabužių išliko labai nedaug, nes audiniai, pagaminti iš augalinio pluošto, pavyzdžiui, žolės, lino ir kt., yra neilgaamžiai.

Per ilgą drabužių kūrimo istoriją buvo svarbių aprangos raidos etapų. Pirmame etape iš pluošto ir siūlų buvo gaminami tekstiliniai veltiniai. Tai buvo primityvus veltinis ar demblis, pagamintas išmušant tam tikrų medžių minkštą vidinę žievę. Susuktas ir dažytas linų pluoštas buvo rastas priešisto-riniame urve Sakartvele. Paleolito (30 000–10 000 m. pr. m. e.) ir mezolito (10 000–4000 m. pr. m. e.) amžiais ilgi plaukai, žolių pynės ir gyvūnų saus-gyslės buvo naudojami ankstyvųjų ginklų ir kitų buities priemonių, naudotų medžiotojų-rinkėjų bendruomenėse, gamyboje. 1988 m. Rusijos olose rasta kaulinė adata, kurios amžius siekia 30 000 m. pr. m. e. Tai vienas seniausių drabužių kūrimo įrankių. Šios adatos buvo naudojamos drabužių, saugančių žmones nuo šalčio, siuvimui ir siuvinėjimui.

Neolito laikotarpiu (10 000 – 4500 m. pr. m. e.) išplito verpimas ir audimas iš augalinio karnienos pluošto, linų, medvilnės, šilko ir vilnos. Ankstyviausias austos vilnos audinys datuojamas maždaug 6500 m. pr. m. e. Seniausias medvilninis audinys buvo rastas senoviniame Mohendžo Daro mieste (Pakistanas), kuris egzistavo apie 2500 m. pr. m. e. Šilko tekstilė neolito amžiuje klestėjo Kinijoje ir Japonijoje.

Seniausią siuvimo mašiną 1790 m. išrado anglų išradėjas Tomas Sainas. Vėlesni išradėjai bandė sukurti geresnes siuvimo mašinas, tačiau šias technolo-gijų lenktynes 1851 m. laimėjo amerikietis išradėjas Isaakas Singeris. Jo sukurta siuvimo mašina dramatiškai pakeitė drabužių siuvimo būdą. Mechanizuotas ir iš dalies automatizuotas tekstilės audimas buvo vienas svarbiausių pramonės revoliucijos išradimų. Edmundas Cartwrightas 1784 m. suprojektavo pirmą-sias audimo stakles. XIX a. pabaigoje buvo sukurtos visiškai automatinės

(Nortrupo staklės) audimo staklės. Madingo dizaino, istoriškai vienetiniai drabužiai buvo kuriami ir gaminami pagal kūno matmenis ir išskirtinai skirti karališkiesiems asmenims. Vis dėlto, mados istorija prasidėjo tik tekstilės ir drabužių pramonės (XVIII ir XIX a.) revoliucijos laikotarpiu.

Yra kelios drabužių ir mados kilmės teorijos. Pagal *kuklumo teoriją* moters kuklumas reiškia tokią jos aprangą ir elgseną, kad būtų išvengta netinkamo elgesio, ypač patrauklaus seksualumo. Kuklumo teorijos sekėjai teigia, kad moralė priklauso nuo kuklumo. Kitaip tariant, kuklumas yra būdas įveikti gėdos jausmą, susijusį su kūno matomumu, ir dėl to ieškoti šios apsaugos po drabužiais (3.14 pav.).

Kiti mano, kad kuklumas yra ne instinktyvus, o išmokstamas. Sąvoka priklauso nuo įvairių kintamųjų, tokių kaip amžius, religija, kultūra, aktyvumas, socialinis statusas ir asmeninės nuostatos. Kuklumas, pavyzdžiui, kiek kūno ar odos gali būti atskleista arba paslėpta, skirtingose kultūrose gali būti suvokiamas skirtingai. Tai, kas vienoje bendruomenėje laikoma kuklumu, nebūtinai bus taip pat interpretuojama ir kitoje. Ankstyvieji piešiniai ir statulėlės įvairiose civilizacijose dažnai vaizduoja ir vyrus, ir moteris nuogais kūnais. Drabužiai atliko svarbią socialinio statuso rodymo funkciją. Pavyzdžiui, apdengto kūno apimtis galėjo rodyti socialinį statusą – laisvi piliečiai ar vergai arba Romos imperijos laikais ištekėjusios moterys vilkėjo ilgas sukneles, kurios visiškai dengė kūną (3.15 pav.). Kai kuriose civilizacijose veidų dengimas rodė statusą – vienos moterys privalėjo nešioti šydu, o kitoms to daryti nebuvo leista. Per Antrąjį pasaulinį karą buvo nustatytas drabužių santykis, pavyzdžiui, moteriškų universalių kostiumų sijonai buvo

3.14 pav. Egiptietiški drabužiai aptraukdavo apatinę kūno dalį ir nedengdavo viršutinių kūno dalių, daugiausia jie būdavo drapiruoti ir klostyti (Ancient Egyptian, Assyrian, and Persian costumes and decorations (1920) (14761789471).jpg. Viešo naudojimo)





3.15 pav. Romėnų civiliniai drabužiai buvo skirstomi į užsivelkamus per galvą ir apvyniojamus apie kūną (<https://www.pexels.com/photo/man-people-art-historical-11106057/>. Viešo naudojimo)

standartizuoti iki kelių. XX a. devintajame dešimtmetyje, atsirandant rūbų kostiumams, reikalavimai, kokius drabužius dėvėti darbo vietoje, taip pat suvaidino didelį vaidmenį.

Civilizacijos istorija rodo, kad egzistavo ne tik kuklūs, bet ir *netvarkingos aprangos stiliai*, siekiantys sužadinti seksualinį susidomėjimą ir instinktus. Artefaktai rodo, kad net prieš dėvint odinius ar augalinius drabužius, kūnas buvo išdažomas ir padengiamas spalvotomis plunksnomis. Toks elgesys galėjo būti išmoktas stebint spalvingą kai kurių paukščių rūšių elgseną, siekiant pritraukti kitos lyties dėmesį.

Pagal *puošybos teoriją* žmonės pradėjo puoštis net prieš pradėdami dėvėti drabužius. Manoma, kad noras puoštis yra natūralus ir instinktyvus jausmas, skatinamas noro jaustis gerai pačiam ir atrodyti patraukliam kitiems. Puošybos esmė yra pozityvi emocinė dėvinčiojo ir žiūrinčiojo reakcija. Puošybos teorija pabrėžia, kad puošimasis taip pat semiasi įkvėpimo iš gamtos ir ją imituoja. Puošybos dizainas apima spalvas, tekstūras ir įvairių medžiagų naudojimą. Mados dizaineriai nepritaria tradiciniam audinių kūrimei, perdirbimui ir masinei drabužių gamybai.

3.5. Tekstilės žaliavos

Tvariausios, ekologiškiausios ir tinkamiausios tekstilei yra ekologiškos kanapės, iš kurių galima gaminti bet ką – nuo maisto ir statybinių medžiagų iki kosmetikos ir audinių. Po jų seka ekologiška medvilnė, ekologiškas linas, perdirbti audiniai, liocelis (specialiuose tirpikliuose ištirpinta celiuliozė, iš kurios formuojamas pluoštas), ekonilas (medžiaga, pagaminta iš sąvartynų atliekų, tokių kaip pramoninis plastikas, audinių likučiai iš drabužių gamybos įmonių, senų kilimų), *Pinateks* (biologiškai nesuyranti medžiaga, pagaminta iš celiuliozės pluošto, išgaunamo iš ananasų lapų), *Qmonos* (voro šilko baltymas, augantis transgeniniame ožkos piene, iš kurio sausų miltelių, juos išspaudžiant per plonas tuščiavidures adatas, gaminami siūlai). Labiausiai žinomi natūralūs pluoštai yra medvilnė, linas, šilkas ir vilna. Natūralūs pluoštai turi daug pranašumų, nes jie užtikrina didesnę oro pralaidumą nei dirbtiniai arba sintetiniai pluoštai, dažnai gaminami nenaudojant stiprių cheminių medžiagų, yra biologiškai skaidūs, todėl laikomi tvaresniais.

Vienas mažiausiai tvarių audinių yra poliesteris, po jo seka akrilas, medvilnė (įprasta), viskozė, nailonas, ekologiška arba perdirbta medvilnė, ekologiškos kanapės, ekologiški linai. Taip pat šiuoiaikiniėje tekstilės pramonėje labai plačiai naudojami cheminiai pluoštai. Terminas „sintetinis pluoštas“ reiškia dirbtinį pluoštą, pagamintą iš natūraliai neaptinkamų medžiagų. Sintetiniai pluoštai gaminami gamyklose iš chemikalų ir perdirbami į pluoštus arba siūlus, kurie vėliau naudojami audimui arba mezgimui. Dauguma sintetinių pluoštų pasižymi geru elastingumu, audiniai iš sintetinių pluoštų mažai glamžosi. Iš sintetinių pluoštų pagaminti audiniai paprastai yra patvarūs, pigesni ir lengviau prieinami negu audiniai iš natūralaus pluošto. Dauguma sintetinių pluoštų nesuirdami gali pakelti dideles apkrovas. Viskožės ir acetato audiniai yra lengvi ir lygūs, patrauklios išvaizdos ir pasižymi geromis higieninėmis savybėmis. Poliamidinės medžiagos yra patvarios, atsparios dilimui, tačiau sugeria riebalus ir atstumia drėgmę, todėl yra nehygieniškos. Poliesteris taip pat yra labai paklausus, nes plačiai naudojamas drabužių gamybai. Kai kurie sintetiniai pluoštai labai aukštoje temperatūroje lengvai išsilydo ir net gali užsidegti, todėl dėvint sintetinio pluošto drabužius visada yra rizika nusidegti,

ypač virtuvėje. Antra vertus, skirtingai negu natūralaus pluošto drabužiai, jie nesugeria prakaito.

Medvilniniai audiniai gaminami iš medvilnės ir kitų pluoštų mišinio. Lino pluoštas yra mažiau elastingas nei medvilnė. Iš jo pagaminti audiniai yra grublėto paviršiaus, standesnės struktūros, juos pagaminti kainuoja brangiau. Gyvūninės kilmės tekstilėi naudojami šilkaverpių siūlai ir avių vilna.

Iš natūralių pluoštų pagamintos medžiagos paprastai yra brangesnės, nes sintetinį pluoštą pagaminti lengviau. Natūralūs pluoštai plaunant traukiasi, be to, jie yra ne tokie stiprūs. Kai audinyje natūralūs ir dirbtiniai pluoštai maišomi, medvilnė skalbimo metu susitraukia, o sintetika paprastai nesu-sitraukia. Vis dėlto, kuo daugiau natūralaus pluošto audinyje, tuo odai toks audinys bus tinkamesnis. Verpalų verpimo metu susukami keli skirtingi pluoštai, derinant skirtingus pluoštus, jų ilgius, skersmenis ar spalvas.

Tekstilė, drabužiai, mados lydi žmoniją tūkstančius metų, tačiau pasta-ruoju metu daugėja smerkiančiųjų beatodairišką šios žmonių veiklos plėtrą. Taigi, kur tekstilės raida peržengė raudonąsias linijas?

Kaip rodo skaičiavimai, vieniems medvilniniams marškinėliams paga-minti prireikia 2 700 litrų gėlo vandens – tiek per pustučių metų išgeria vienas žmogus, o kur dar žemė medvilnei ir kitiems pluoštiniais augalams auginti. Dėl dažiklių ir apdailos medžiagų, naudojamų gaminant tekstilę, užteršiama apie 20 % viso pasaulio švaraus vandens. Skalbiant sintetinius drabužius, į aplinką išleidžiama 35 % pirminių mikroplastikų. Per vieną poliesterio drabužių skalbimą gali būti išplauta apie 700 000 mikroplas-tiko dalelių ar plaušelių, kurie gana greitai gali atsidurti maisto grandinėje. Plaunant sintetiką, į vandenyną per metus išleidžiama apie 0,5 mln. tonų mikropluoštų. Tekstilės pramonei tenka 10 % visame pasaulyje išmetamo anglies dioksido, arba 654 kg CO₂ vienam žmogui per metus. Tai daugiau negu jo išmeta aviacijos ir jūrų laivybos sektoriai kartu sudėjus.

Ypač daug susirūpinimo kelia sintetiniai pluoštai, kurių kiekis audiniuose vis didėja. Sintetiniai pluoštai nesugeria vandens ar prakaito, tirpsta ir lengvai dega, o užsidegę susitraukia į karoliukus, kurie prilimpa prie odos, taip pat tokie pluoštai yra biologiškai neskaidūs.

Visame pasaulyje perdirbama mažiau nei 1 % drabužių, nes stokojama tam tinkamų technologijų. Kiekvienas europietis kasmet sunaudoja beveik

26 kg ir išmeta apie 1 kg tekstilės gaminių. Panaudoti drabužiai dažniausiai (87 %) sudeginami arba išvežami į sąvartynus. Krintant drabužių kainoms drabužiai nešiojami trumpiau, žmonės atsikrato nebereikalingų rūbų, kurie dažniausiai ne kam nors atiduodami, bet išmetami.

Tekstilės (madosi!) pramonėje tiesiogiai ir netiesiogiai visame pasaulyje dirba milijonai žmonių. Ši pramonė šiuo metu išmeta 10 % viso pasaulio anglies dvideginio, o 2050 m. CO₂ išmetimai pasieks 25 % pasaulio CO₂ išmetimų. Reikia nepamiršti prie jų dar pridėti drabužių atliekų taršą, ypač kai kalbame apie greitąją madą. Kita vertus, daugumą žemos kokybės medžiagų dažnai gamina šalys, naudojančios anglies ir dujų energetiką ar žaliavas. Šias blogybes galima sumažinti gana paprastomis priemonėmis: reikia pirkti kokybiškus drabužius, galima pirkti jau dėvėtus kokybiškus drabužius, taip pat juos galima ir išsinuomoti.

Tekstilės gamybai sunaudojama daug vandens. Apskaičiuota, kad viso pasaulio tekstilės ir aprangos pramonė 2015 m. sunaudojo 79 mlrd. kubinių metrų vandens, kai visos ES ekonomikos poreikis 2017 m. siekė 266 mlrd. kubinių metrų. Plėtojant medvilnės auginimą Vidurinės Azijos regione, dėl irigacinių sistemų plėtros Amudarjos ir Syrdarjos upės nebesiekia Aralo jūros – ji, kartu ir visa jos fauna, sunyko.

3.6. Pesticidai

Pesticidai gali būti tiek biologinės kilmės, tiek sintetinės cheminės medžiagos. Dar 2500 m. pr. m. e. žmonės naudojo pesticidus tam, kad apsaugotų savo pasėlius. Pirmieji žinomi pesticidai buvo paprasčiausi *sieros milteliai*, naudoti šumerų (Mesopotamija) prieš 4 500 metų. Pesticidų evoliucija skirstoma į penkias atskiras fazes: ankstyvasis kenkėjų valdymas (iki 1000-ųjų metų), augalinių, gyvūninių arba mineralinių darinių naudojimas (1000–1850), neorganinių produktų ir šalutinių pramonės produktų naudojimas (1850–1940), sintetinių organinių junginių naudojimas (1940–1970), mažesnės rizikos sintetinių organinių junginių naudojimas (nuo 1970 m. iki dabar). Veiksmingų, saugių žmonėms ir nekenksmingų aplinkai pesticidų kūrimas ir gamyba buvo iššūkis norint išmaitinti augančią planetos žmonių ir kitų gyvūnų populiaciją. Kita vertus, buvo svarbu sukurti pesticidus, kurie keltų

mažesnę riziką natūraliems augalų priešams ir naudingiems organizmams. Iki XV amžiaus kovai su pasėlių kenkėjais buvo naudojamos įvairios toksiškos medžiagos (arsenas, gyvsidabris, švinas). XVII a. kaip insekticidas buvo naudojamas iš tabako lapų išgautas *nikotino sulfatas*. XIX a. buvo pradėti naudoti dar du natūralūs pesticidai – *piretras*, gaunamas iš chrizantemų, ir *rotenonas*, gaunamas iš tropinių daržovių šaknų. Rotenono turintys augalai buvo naudojami lapus ėdantiems vikšrams naikinti ir jau šimtmečius tie patys augalai buvo naudojami žuvims nuodyti. Iki XX a. šeštojo dešimtmečio vyravo arseno pagrindu pagaminti pesticidai, tačiau 1975 m. juos pakeitė *organiniai fosfatai* ir *karbamatai*. Manoma, kad „pesticidų era“ prasidėjo 1940–1950 metais, nes 1940-aisiais buvo pradėti gaminti dideli sintetinių pesticidų kiekiai. Sparčiai vystomi augalinės kilmės „botaniniai“ pesticidai. Tai *piretroidai*, *rotenoidai*, *nikotinoidai* ir ketvirtoji grupė, apimanti *strichniną* ir *scilirozidą*. 2010 m. buvo paskelbta apie naujos klasės fungicidų, vadinamų *paldoksinais*, sukūrimą. Jų pagrindas – natūraliai augalų išskiriamos apsauginės cheminės medžiagos, vadinamos *fitoaleksiniais*, kurias vėliau grybeliai detoksikuoja savo išskiriamais fermentais. Manoma, kad paldoksinai yra saugesnė ir ekologiškesnė augalų apsaugos priemonė.

Labiausiai parduodamas pesticidas pasaulyje yra *chlorpirifosas*, kuris naudojamas kukurūzams, sojų pupelėms, brokoliams, obuoliams, golfo aikštynuose ir kitoje aplinkoje. *Glifosatas* naudojamas auginant genetiškai modifikuotus augalus ir kaip „sausiklis“, pagreitinantis grūdinių kultūrų (kviečių, avižų, miežių, valgomųjų pupelių ir keleto kitų kultūrų derliaus) brandą. Glifosatu laukai purškiami maždaug prieš dvi savaites iki derliaus nuėmimo.

Pesticidai naudojami kenksmingais laikomiems organizmams naikinti, pavyzdžiui, uodams, kurie gali perduoti mirtinas ligas, tokias kaip geltonoji karštinė ir maliarija. Jais naikinami įvairūs gyviai (bitės, vapsvos ar skruzdėlės), galintys žmogui sukelti alergines reakcijas. Pesticidai gali užkirsti kelią ligoms, kurias sukelia supelijęs maistas arba sugedę maisto produktai. Parduotuvėse ir maisto saugyklose jie padeda suvaldyti graužikus ir vabzdžius, kurie užkrečia ar užteršia maistą arba grūdus. Herbicidai gali būti naudojami pakelės piktžolėms ir krūmynams naikinti. Jie taip pat gali sunaikinti kenkiančias aplinkai invazines piktžoles. Tvenkiniuose ir ežeruose herbicidai padeda kontroliuoti dumblių ir kitų vandens augalų plitimą, nes šie

augalai gali sukelti nemalonų vandens kvapą ar trukdyti žvejybai. Insekticidai gali apsaugoti gyvūnus nuo ligų, kurias sukelia įvairūs parazitai, pavyzdžiui, blusos. Įvairūs nekontroliuojami kenkėjai (termitai, pelėšiai) gali pažeisti medines pastatų konstrukcijas. Tyrimai rodo, kad pinigai, žemės ūkyje išleisti pesticidams, padeda sutaupyti keturis kartus daugiau lėšų dėl sumažėjusio vabzdžių ir piktžolių padarytos žalos, padidėjusio javų derliaus ar atsirandančių galimybių auginti įvairius augalus ištisis metus.

Nuo tada, kai atsirado sintetiniai organiniai pesticidai, naujų pesticidų kūrimo strategijoje buvo nubrėžtos trys gairės: 1) pesticidų, kurie būtų veiksmingi naudojant ypač mažas dozes, kūrimas, 2) pesticidų, kurie lengvai skaidosi ir kurių likučių kiekis aplinkoje yra mažas ir 3) selektyvių toksiškų agrocheminių medžiagų kūrimas. 1930–1950 m. veikliosios medžiagos kiekis naudojamas ploto vienetai buvo nuo 1 iki 10 kg/ha. Šiuo metu pesticidų veiksmingumas yra padidėjęs tiek, kad pakanka 10 g (ar mažiau)/ha. Per pastarąjį dešimtmetį buvo sukurta daug (per 105) įvairių rūšių *cheminių pesticidų* (fungicidų, insekticidų, nematocidų, akaricidų, herbicidų), taip pat ir *biopesticidų*. Iš jų 43 fungicidai, 34 insekticidai / akaricidai, 6 nematocidai, 22 herbicidai. Tokia didelė pesticidų gausa dažnai neleidžia tikslingai pasirinkti, ypač kai naujų produktų pristatymą lydi agresyvus reklaminis triukšmas. Dauguma naujų pesticidų yra saugūs žmonėms ir nekenksmingi aplinkai. Nors per pastarąjį dešimtmetį buvo aktyviai atliekami naujų pesticidų, pagrįstų genomo informacija bei chemine biologija, tyrimai, praktiškai jokių naujų produktų nebuvo sukurta.

Vis dėlto, intensyvus pesticidų naudojimas visada kelia tam tikrą riziką ir didelį aplinkosaugininkų susirūpinimą. Daugiau nei 98 % purškiamų insekticidų ir 95 % herbicidų nepasiekia tikslinės rūšies ir paskirties vietos, o patenka į orą, vandenį, dirvožemį ir pažeidžia naudingus gyvūnus ar augalus. Pesticidai yra viena iš vandens taršos priežasčių, kai kurie pesticidai yra patvarūs organiniai teršalai ir prisideda prie dirvožemio, gėlių žiedadulkių ar nektaro taršos. Pesticidų naudojimas gali neigiamai paveikti kaimynystėje esančius žemės ūkio plotus, nes patys kenkėjai migruoja į kaimynystėje esančius augalus, kuriems nenaudojami pesticidai. Pesticidų naudojimas prisideda prie apdulkintojų mažėjimo ir mažina biologinę įvairovę, naikina paukščių buveines ir kelia grėsmę nykstančioms rūšims. Ilgainiui kenkėjai pamažu

susikuria atsparumą pesticidui, todėl reikia naujo pesticido ar didesnės pesticido dozės, o tai neišvengiamai didina aplinkos taršą.

Pesticidų likučių gali likti ant maisto produktų arba maistinių augalų. Maisto kokybės kontrolės institucijos dažnai nustato didžiausius leistinus šių likučių kiekius maisto produktuose. Dažnai neleidžiama nuimti pasėlių ar naudoti gyvulininkystės produktų, jei jie neseniai buvo apdoroti pesticidais. Daugeliui šių cheminių likučių, ypač chloruotų pesticidų dariniams, būdinga *bioakumuliacija*, t. y. geba kauptis iki žalingo lygio organizme ir aplinkoje, o patvarios cheminės medžiagos gali pasiekti žmogų per maisto grandines ar produktus, pradedant mėsa, paukštiena ir žuvimi, baigiant augaliniais aliejais, riešutais ir įvairiais vaisiais bei daržovėmis.

Pesticidai dažniausiai klasifikuojami pagal paskirtį: herbicidai – kovai su piktžolėmis, fungicidai – kovai su grybais ir grybeliais, zoocidai – kovai su gyvūnais (daugiausia šiltakraujais), insekticidai – kovai su vabzdžiais, akaricidai – kovai su erkėmis, moliuskicidai – kovai su moliuskais, nematocidai – kovai su nematodais, rodenticidai – kovai su graužikais, baktericidai – kovai su bakterijomis, virucidai – kovai su virusais. 1940-aisiais gamintojai dideliais kiekiais pradėjo gaminti *syntheticus pesticides* ir jų naudojimas plačiai paplito. Pesticidų naudojimas nuo 1950 m. išaugo 50 kartų ir dabar kasmet sunaudojama per 2,3 mln. tonų pramoninių pesticidų. Bendroje pasaulinėje pesticidų naudojimo statistikoje herbicidai sudaro 40 %, toliau seka insekticidai (17 %) ir fungicidai (10 %). 75 % visų pesticidų pasaulyje naudojami išsivysčiusiose šalyse, tačiau besivystančiose šalyse jų sunaudojimas taip pat nepaliaujamai didėja. Pasaulio sveikatos organizacija apskaičiavo, kad trys milijonai žemės ūkio darbuotojų besivystančiame pasaulyje kasmet sunkiai apsinuodija pesticidais ir net 25 milijonai darbuotojų kasmet gali lengvai apsinuodyti pesticidais. Kenksmingiausi pesticidai yra atrazinas, flupiradifuronas, heksachlorbenzenas, glifosatas, metomilas ir rotenonas. Jie kelia ypatingą pavojų, nes pasižymi bioakumuliacija, patvarumu vandenyje ir dirvožemyje, toksiškumu vandens organizmams ir apdulkintojams (bitėms). Dažnai naudojami pesticidai, tokie kaip organofosfatai ir karbamatai, gali sukelti raumenų mėšlungį, galvos svaigimą ir pykinimą. Kūdikiai taip pat gali nukentėti, kai motinos yra veikiančios pesticidų neštumo metu, todėl jiems gali padidėti vystymosi sutrikimų rizika. Po daugybės tyrimų rastos pesticidų sąsajos su vėžiu, Alzheimerio liga,

raidos sutrikimais, pasireiškiančiais dėmesio išlaikymo sunkumais ir per dideliu aktyvumu ir net apsigimimais. Pesticidai taip pat gali pakenkti nervų sistemai, reprodukcinei sistemai ir endokrininei sistemai. Pastarąjį dešimtmetį daugiausia pesticidų naudoja Kinija (1 763 000 t), Jungtinės Valstijos (407 779 t), Brazilija (377 176 t), Argentina (196 009 t).

Per pastarąjį dešimtmetį sukurti cheminiai pesticidai vaidino svarbų vaidmenį pasėlių apsaugai. Tikimasi, kad jie vaidins tokį vaidmenį ir ateityje. Vis dėlto matyti, kad pastaraisiais metais keičiasi pasaulinė pesticidų kūrimo tendencija, nes palaipsniui pereinama nuo cheminių prie biologinių pesticidų. Biopesticidai populiarėja kaip mažesnio poveikio aplinkai alternatyva įprastiems sintetiniams pesticidams. Nereikia pamiršti, kad pesticidams yra ir kitų alternatyvų, tokių kaip auginimo metodų pasirinkimas, biologinė kenkėjų kontrolė, genų inžinerija, vabzdžių veisimosi trukdymo metodų taikymas. Auginimo metodų pasirinkimas apima daugiaraščių augalų auginimą, sėjomainą, pasėlių sodinimą tose vietose, kur negyvena juos pažeidžiantys kenkėjai, sodinimo laiką pagal tai, kada kenkėjai bus mažiausiai paveikūs, ir augalų, kurie pritraukia kenkėjus nuo saugomų pasėlių, naudojimą. Dar viena pesticidų naudojimo alternatyva yra kitų, su kenkėjais kovojančių organizmų paskleidimas. Šie organizmai gali būti natūralūs grobuonys arba kenkėjų parazitai. Taip pat gali būti naudojami biologiniai pesticidai, kurių pagrindą sudaro entomopatogeniniai grybai, bakterijos ir virusai, sukeliantys kenkėjų ligas. Šie metodai tampa vis populiare sni ir dažnai yra saugesni nei tradiciniai cheminiai pesticidai.

3.7. Insekticido DDT (dichloro-difenil-trichloroetano) skrydis

Organinis insekticidas *dichloro-difenil-trichloroetanas*, dažniausiai žinomas kaip DDT, pasirodė 1942 m. per Antrąjį pasaulinį karą. Tuo metu, dėl susidariusių aplinkybių, jis buvo pripažintas šiuolaikinio mokslo stebuklu ir tikru žmonijos gelbėtoju. 1943 m. Antrasis pasaulinis karas įžengė į paskutinįjį etapą. Italijos antifašistinis judėjimas nuvertė diktatorių Benito 'ą Mussolinį. Sąjungininkų pajėgos išsilaipino Neapolyje. Jų puolimas buvo sėkmingas ir Neapolis buvo išlaisvintas. Bausdama už sukilimą prieš okupacines vokiečių pajėgas, besitraukianti vokiečių kariuomenė suniokojo Neapolio vandens ir kanalizacijos sistemą. Miestas, kuriame gyveno daugiau nei du milijonai

CHEMIJOS PROVERŽIS

žmonių, liko be sanitarijai būtinų priemonių ir jau lapkričio mėnesį Neapolį užklupo šiltinės epidemija. Nuo utėlių pernešamos ligos mirdavo vienas iš keturių užsikrėtusiųjų. Mirusiųjų buvo tiek daug, kad šimtai kūnų buvo tiesiog metami į gatvę, kraunami į vežimus ir vežami į laidojimo vietas. Sąjungininkų pajėgų vadas generolas Dwightas Davidas Eisenhoweris susisiekė su Vašingtonu ir desperatiškai paprašė padėti suvaldyti nelaimę. Šiltinė karų metu buvo žinomas civilių gyventojų žudikas ir JAV armijos mokslinių tyrimų ir plėtros biuras tokiai įvykių eigai buvo pasirengęs, nes karo Ramiojo vandenyno fronte JAV kariuomenė dėl maliarijos prarado daugiau vyrų negu mūšiuose nuo japonų kariuomenės. Jau 1942 m. biuras sužinojo apie Šveicarijos mokslininko Paulo Müllerio atradimą. Mokslininkas ieškojo insekticido, skirto kovoti su audinių kailių kandimis. Jis į indą įpurškė nedidelį kiekį DDT preparato ir pastebėjo, kad jis naikina muses. Biuro ekspertai greitai suprato DDT svarbą. Su chemijos bendrove „DuPont“ buvo sudarytos sutartys naująjį insekticidą gaminti dideliais kiekiais. Pesticidas, padėjęs įveikti maliariją Ramiajame vandenyne, dabar buvo panaudotas šiltinės epidemijai Neapolyje kontroliuoti. Aplink miestą buvo įrengtos DDT miltelių purškimo stotys ir jau 1944 m. vasarį epidemija buvo suvaldyta (3.16 pav.) (Davis, K. S., 1971).



3.16 pav. Britų kareivis išlaisvintus Vokietijoje kalinius purškia DDT
(<https://www.nytimes.com/2019/10/17/science/nazi-ddt-malaria.html>)



3.17 pav. JAV kareiviai būdavo apipurškiami DDT milteliais (DDT WWII soldier.jpg, Viešo naudojimo)

Sėkmė buvo tokia akivaizdi, kad Sąjungininkų vyriausioji vadovybė pareiškė: „Nuo šiol DDT bus nuolatinis kariuomenės palydovas kovojant su maliarija, šiltine, dizenterija ir vidurių šiltine“ (3.17 pav.) (Typhus in Naples, 2014).

Antrojo pasaulinio karo pabaigoje Didžiosios Britanijos ministras pirmininkas Winstonas Churchillis pažymėjo, kad eksperimentai su DDT milteliais parodė nuostabius rezultatus ir britų pajėgos juos plačiai naudos Birmoje, Indijoje ir kituose Ramiojo vandenyno karinių veiksmų teatruose. Už sukurtą insekticidą Paulis Mülleris 1948 m. gavo Nobelio fiziologijos ir medicinos premiją. DDT 1874 m. pirmą kartą susintetino austrų chemikas Othmaras Zeidleris. Preparato insekticidinės savybės buvo aprašytos vokiečių mokslininko Wolfgango von Leutholdo patente 1934 metais. Tačiau praktiškai DDT insekticidinės savybės buvo aptiktos tik 1939-aisiais. DDT yra bespalvė, labai hidrofobiška, kristališka kietoji medžiaga, skleidžianti silpną cheminį kvapą. DDT vandenyje beveik netirpsta, tačiau pasižymi geru tirpumu daugumoje organinių tirpiklių. Dėl „riebalus mėgstančios“ prigimties jis linkęs kauptis vabzdžių, laukinių gyvūnų ir žmonių riebaliniuose audiniuose. DDT yra geriausiai žinomas iš kelių chloro turinčių pesticidų, naudotų XX a. ketvirtajame ir šeštajame dešimtmečiais. 1945 m. DDT

CHEMIJOS PROVERŽIS

buvo siūlomas ūkininkams kaip žemės ūkio insekticidas ir suvaidino svarbų vaidmenį naikinant maliariją Europoje ir Šiaurės Amerikoje. Visa tai sukėlė ekonominę paskatą stumti DDT į rinką ir parduoti jį valstybėms, ūkininkams ir asmenims, siekiant padidinti maisto gamybą ir kontroliuoti epideminius susirgimus. 1955 m. Pasaulio sveikatos organizacija (PSO) pradėjo maliarijos išnaikinimo programą šalyse, kuriose maliarijos paplitimo lygis buvo mažas arba vidutinis. Uodų kontrolei, greitai diagnozei ir gydymui buvo pasitelkta DDT. 2009 m. maliarijos kontrolei buvo pagaminta 3 314 tonų DDT. Indija yra vienintelė šalis, vis dar gaminanti DDT ir yra didžiausia jo naudotoja. Kinija DDT gamybą nutraukė 2007 metais.

DDT plačiausiai naudotas žemės ūkyje 1950–1980 m. laikotarpiu. Kasmet visame pasaulyje buvo išbarstoma daugiau kaip 40 000 tonų insekticido. Apskaičiuota, kad nuo 1940-ųjų pasaulyje iš viso buvo pagaminta 1,8 mln. tonų DDT. Vien JAV jį gamino per 15 bendrovių. Daugiausia DDT buvo pagaminta 1963 m. – net 82 000 tonų. Bene didžiausią pavojų kėlė platus DDT naudojimas žemės ūkyje (3.18 pav.). Insekticidas gali sutrikdyti natūralią gamtinę pusiausvyrą, nes DDT žudo daugybę naudingų vabzdžių, sukelia žuvų, paukščių ir kitos laukinės faunos žūtį, nes jie dažnai maitinasi nuo DDT



3.18 pav. DDT purškimas iš lėktuvo (1955. Ford tri-motor spraying DDT. Viešo naudojimo)

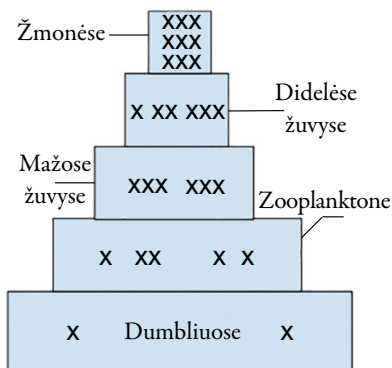
CHEMIJOS PROVERŽIS

kritusiais vabzdžiais arba tiesiogiai nuryja nuodų. Vabzdžiuose DDT paveikia neuronų kanalus, o tai sukelia spazmus ir vabzdžio žūtį. Dvi trečiosios pagaminto pesticido kiekio dar veikia gyvąjį pasaulį, nors daugelyje šalių jis uždraustas jau prieš du dešimtmečius. Per atmosferą ir sausumos vandenį pasauliniame vandenyne jo susikauptė apie 40 procentų pagaminto kiekio – beveik 600 tūkst. tonų. Gana daug jo aptikta Grenlandijos ir Antarktidos leduose, pingvinų ir šiaurės elnių mėsoje.

Tuo pat metu, kai DDT buvo pripažintas „pasaulio rytojumi“, vis plačiau plito susirūpinimas dėl DDT gebos naikinti nekenksmingus ir naudingus vabzdžius (ypač apdulkintojus), paukščius, žuvis ir pagaliau žmones (3.19 pav.).

Kaip minėta pirmiau, 1955 m. PSO pradėjo maliarijos naikinimo programą šalyse, kuriose buvo mažas arba vidutinis užsikrėtimo lygis. Maliarija išlieka pagrindine visuomenės sveikatos problema daugelyje šalių. 2015 m. visame pasaulyje buvo 214 milijonų maliarijos atvejų, mirė 438 000 žmonių. Net 90 % mirčių teko Afrikai. Siekiant sumažinti maliarijos plitimą daugiausia kliautasi vykdoma uodų kontrole naudojant DDT, greita diagnoze bei gydymu. Vis dėlto, šios programos įvykdyti nepavyko, nes didėjo uodų ir kitų parazitų tolerancija DDT. Atogrąžų regionuose dėl nenutrūkstamo uodų gyvenimo ciklo ir prastos infrastruktūros DDT buvo dar mažiau veiksmingas. Afrikoje į pietus nuo Sacharos ši programa dėl minėtų sunkumų iš viso nebuvo taikoma.

1962 m. JAV biologė Rachelė Carson išleido knygą „Tylusis pavaris“, kurioje buvo aprašyta neribojamo DDT purškimo sukelta žala



3.19 pav. Toksinų kaupimasis maisto grandinėje. X žymi DDT koncentraciją, milijoninėmis dalimis susikaupiančią organizmo audiniuose ir riebaluose (dumbluose 0,04 ppm, žmonėse 13,55 ppm). Plėšrūnai toksinų kaupia daugiau negu jų aukos (The build up of toxins in a food chain.svg. CC BY-SA 3.0)

gamtai, iki galo nesupratus jo poveikio ekologijai ir žmogaus sveikatai. Ji išsamiai parodė, kaip DDT keliauja maisto grandinėse, kaip žūsta paukščiai, lesdami toksinų turinčius sliekus, kaip DDT pasmerkia ankstyvai mirčiai erelio jauniklius, kaip dvesia laišos, nes DDT upių sraunumose sunaikino vabzdžius, kuriais jos minta, kaip apipurkštose DDT pelkėse nuo traukulių gaišta krabai. Ši knyga tapo viena iš žymių publikacijų, davusių pradžią aplinkosauginiams judėjimams pasaulyje. Svarbu pažymėti, kad chemijos pramonė surengė agresyvią propagandos kampaniją, siekdama kontroliuoti, kad šios mokslinės išvados nevirstų viešąja nuomone.

Tyrimai su gyvūnais parodė, kad DDT yra toksiška, galimai kancerogeninė medžiaga. Stebint žmonių, turėjusių kontaktų su DDT, populiaciją, nustatyta, kad DDT sukelia kasos, kepenų, krūties vėžį. Taip pat manoma, kad DDT gali prisidėti prie kitų vėžio rūšių atsiradimo. Potencialus DDT poveikio žmonėms mechanizmas siejamas su endokrininės sistemos suardymu, diabetu, neurologinėmis problemomis, astma bei kitais susirgimais.

Ironiška, kad pagrindinis veiksnys drausti naudoti DDT Jungtinėse Amerikos Valstijose buvo baltagalvio erelio (nacionalinio JAV paukščio) ir didžiojo sakalo populiacijos atkūrimas po beveik visiško jų išnykimo. Paukščiai, misdami daug DDT toksino turinčiais graužikais ar vabzdžiais, organizme sukaučia daug šios medžiagos. Mokslininkai nustatė, kad DDT kiekis paukščių kiaušinio lukštuose yra padidėjęs, pats lukštas suplonėjęs, o sunkūs paukščiai perėdami sutraiško plonalukštį kiaušinį. Taigi, sprendimą uždrausti DDT naudojimą labiau lėmė ne siekis valdyti maliarijos ar šiltinės protrūkius, o siekis atkurti nacionalinio paukščio populiaciją.

Draudimas Amerikoje ir kitose turtingose šalyse, visų pirma dėl ekonominių priežasčių, pavertė neturtingų šalių žemės ūkio sektorius būti aktyviais DDT priešininkais. Pavyzdžiui, Zimbabvės tabako gaminių patekimas į Jungtinių Valstijų rinką buvo užblokuotas, nes siuntose rasta DDT pėdsakų. Dėl šios priežasties Zimbabvės tabako ūkininkai tapo kovos su DDT lobistais.

DDT gamyba, prekyba ir naudojimas Lietuvoje buvo uždrausti 1996 metais. Priklausomai nuo sąlygų, DDT skilimo pusperiodis vandens telkinio dugno nuosėdose siekia iki 30 metų, tačiau yra duomenų, kad skilimo pusperiodis vandens aplinkoje gali siekti ir iki 150 metų. Uždraudus DDT, jo koncentracija Baltijos jūros aplinkoje reikšmingai sumažėjo. 1991-aisiais

Baltijos jūros vandenyje (Lietuvos dalyje) DDT koncentracija atskirose tirtose vietose siekė 4,0–15,4 ng/L (1 nanogramas yra viena milijardinė gramo dalis, ng/L = 1 000 ppt arba 10^{-9} kg/m³), o 2010–2019 metais DDT ir jo metabolitų jau nebuvo aptikta.

DDT nebuvo įtrauktas į juodąjį sąrašą visame pasaulyje nes, kaip teigiama, išgelbėjo milijonus gyvybių. Labiausiai paplitęs argumentas, palaukiantis pesticidą, – jis gali būti naudojamas kovojant su maliarija Afrikos šalyse, naikinant uodų populiacijas, kurios platina infekcinę ligą. DDT yra vienas iš 12 pesticidų, kuriuos PSO rekomenduoja naudoti tik patalpoms purkšti. Paradoksas, kad nedideliais kiekiais purškiamas namų viduje (vienintelis būdas, kurį šiandien siūlo naudoti PSO) DDT greičiausia nėra kenksmingas žmonėms ar aplinkai, nes galimą DDT žalą gerokai nusveria tai, kad jis gali išgelbėti vaikų gyvybes. PSO paskelbė remianti DDT naudojimą patalpose, tose Afrikos šalyse, kuriose maliarija tebėra pagrindinė sveikatos problema, nurodydama, kad pesticido nauda yra didesnė už pavojų sveikatai ir aplinkai. Ar naudoti DDT, ar ne, sprendžia atskiros šalys. Jo naudojimas tebėra toks pat prieštaringas, kaip ir prieš dešimtmečius. Logika lyg sako, kad tai, kas žudo kenkėjus ar piktžoles, negali būti sveika žmogui. Organinių junginių klasės pesticidai nuo 1945 m. išsaugojo septynis milijonus žmonių gyvybių, užkirsdami kelią tokioms ligoms kaip maliarija, buboninis maras, tripanosomozė ir vidurių šiltinė, tačiau organochloridai kaupiasi žemėje, vandenyje ir organizme, medžiaga sunkiai pašalinama ir lėtai yra (DDT suyra tik per 70 metų). Vis dėlto, mūsų sudėtingame ir persipynusių interesų pasaulyje, net ir nustačius pesticido žalą, ją dar reikia moksliskai įrodyti, paskui ir teisiškai pagrįsti. Reikia labai didelių pasekmių aplinkai ir žmonių sveikatai, kad nepaisant verslo interesų, šis pesticidas apskritai būtų uždraustas (Sonnenberg, J., 2015). Deja, prie tokios pat labai blogos reputacijos šiuo metu sparčiai artėja kitas insekticidas. Tai *glifosatas*, labiau žinomas komerciniu pavadinimu „Roundup“. DDT kūrimo, gamybos ir naudojimo raida atskleidė sudėtingus žmonijos santykius su gamtos mokslais. 1940–1950 m. visuomenės sveikatos pareigūnai tiesiogine to žodžio prasme purškė ant piliečių minios DDT iš žarnų. Kiek DDT padėjo sumažinti maliarijos protrūkių, vyksta diskusijos, tačiau ir šiandien jis vis dar naudojamas pasaulyje kaip vertinga kovos su ligomis priemonė. DDT neabejotinai daro niokojantį

poveikį aplinkai ir sveikatai, todėl daugelį metų stengiamasi jį pažaboti, net sumenkinant ar ignoruojant DDT naudą (Kinkela, D., 2011).

Ne tik naudojant pesticidus, bet ir juos gaminant galimos didelės nelaimės. 1984 m. pesticidų gamykloje Bopale (Indijoje) įvyko viena didžiausių pasaulio istorijoje pramonės katastrofų. Tankiai gyvenamoje vietovėje daugiau kaip pusė milijono žmonių buvo paveikti pažeme pasklidusių metilizocianato (MIC) dujų. *Metilizocianatas* – neįtikėtinais toksiškas junginys, paprastai naudojamas gaminant pesticidus. Oficialiais duomenimis, iš karto mirė 2 259 žmonės. 2006 m. Indijos Vyriausybės pareiškime teigta, kad nuotėkis sukėlė 558 125 sužalojimus, įskaitant 38 478 laikinus dalinius sužalojimus ir maždaug 3 900 sunkių ir tokių sužalojimų, dėl kurių žmonės visam laikui tapo neįgalūs. Kitais skaičiavimais, per dvi savaites mirė 8 000 žmonių, o dar 8 000 ar daugiau mirė nuo dujų sukeltų ligų. Įmonėje buvo trys požeminės 68 000 litrų MIC skysčio talpyklos. Per 45–60 minučių iš rezervuaro į atmosferą pateko apie 30 tonų MIC. Be MIC, dujų debesyje taip pat buvo chloroformo, dichlorometano, vandenilio chlorido, metilamino, dimetilamino, trimetilamino ir anglies dioksido, kuris buvo rezervuare arba susidarė talpykloje dėl MIC, chloroformo ir vandens reakcijos.

Kaip ir kalbant apie daugelį kitų mokslo laimėjimų, DDT ir jį supančios nuostatos nėra nei objektyvios, nei be priekaištų. Jos tiesiog atspindi nuomones, vienu ar kitu istoriniu laikotarpiu dariusias įtaką visuomenei, o ne absoliučią tiesą.

3.8. Nuodingosios dujos ir toksinės medžiagos

Cheminis ginklas – vienas pražūtingiausių išradimų žmonijos istorijoje. Toksinių medžiagų kaip ginklo naudojimas turi tūkstantmetę istoriją. Jau senovėje medžiojant 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, nuodingosios medžiagos, skirtos kovoti su išorės ar vidaus priešais, naudojamos iki dabartinių laikų.

Viduramžiais, išradus paraką, buvo sukurti nauji nuodingųjų medžiagų perkėlimo į priešininko aplinką būdai (toksiškėmis 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), 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 medžiagos 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 antrasis 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 populiariausias ir efektyviausias dujos buvo vokiečių sukurtas ipritas. Tokio ginklo panaudojimą lėmė 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 prie mobilių karo veiksmų. 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, chlorkpikrinas, vandenilio cianidas, o karo pabaigoje – ir garstyčių dujos ar kiti dirginantys aerosoliai. 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 visuomenė, 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 sukaupusios 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 sukaupe 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, 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 yra apie 15 mg/m³/min., t. y. maždaug tris kartus didesnis nei 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“, „Novičiok“) ir naujus, ketvirtosios kartos, cheminių ginklų projektus, t. y. 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 sukaupe 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 Konvencija dėl cheminio ginklo kūrimo, gamybos, kaupimo ir panaudojimo uždraudimo bei jo sunaikinimo. Konvenciją pasirašiusios šalys paskelbė 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.

3.9. Biologinis ginklas

Biologinis karas yra biologinių toksinų arba infekcinių gyvūnų, tokių kaip bakterijos, virusai, vabzdžiai ir grybeliai, naudojimas siekiant nužudyti,



3.20 pav. Septiceminio maro sukelta kojos nekrozė (PlagueTypes. jpg. Viešo naudojimo)

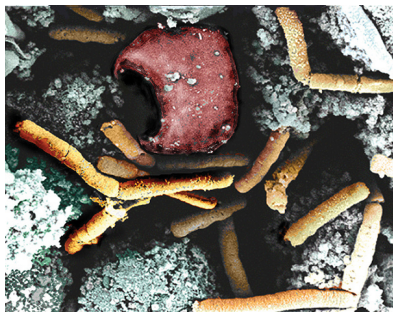
pakenkti žmonėms, gyvūnams ar augalams arba padaryti juos neveiksnius karo metu. *Biologiniai ginklai* yra gyvi organizmai arba besidauginantys subjektai (t. y. virusai, kurie ne visuotinai laikomi „gyvaisiais“). Entomologinis (vabzdžių) karas yra biologinio karo porūšis. Biologinis ginklas yra masinio 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, mikrobu ir virusų

genetinė medžiaga. Nors biologinės ir cheminės medžiagos tiesiogine prasme nėra ginklai, jos gali pridaryti daug žalos (Types of Bioweapons, 2015).

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 katalpultomis 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 (3.20 pav.). Šiaurės Amerikoje britai užkrėtė indėnus raupais ir per kelis mėnesius sukėlė raupų epidemiją. Biologinio ginklo sąvoka susiformavo per Pirmąjį pasaulinį karą.

Vokiečiai planavo užkrėsti *juodligę* kariuomenės maisto šaltinį – galvijus, ar sukelti choleros epidemiją Italijoje. Juodligė yra bakterijų rūšis, vadinama *Bacillus anthracis* (3.21 pav.). Įkvėpus, virškinant ar patekus ant odos, šios bakterijos gali užkrėsti. Manoma, kad mirštamumas nuo juodligės siekia iki 95 %, nors per 2001 m. rugsėjo–spalio mėn. juodligės priepuolius mirtinumas buvo 50 %. Per 2–4 dienas nuo poveikio pradžios aukoms pasireiškia į gripą panašūs simptomai (karščiavimas, šaltkrėtis, prakaitavimas, negalavimas, neproduktyvus kosulys ir diskomfortas krūtinėje). Sergantys gyvuliai, išskirdami juodligės lazdeles su išmatomis ir šlapimu, užkrečia dirvožemį ir žolę, taip užkrėsdami kitus besiganančius žolėdžius. Laukuose, kuriuose užkasti nuo juodligės kritę gyvuliai, šios sporos išsilaiko iki kelių dešimtmėčių. Tačiau juodligė nėra užkrečiama, o jei ji greitai gydoma, sergantysis

gali pasveikti. Juodligę galima gana lengvai kontroliuoti ir ji neplinta kontaktuojant tarp žmonių, todėl ja naudojasi žmonės, bandantys kam nors grasinti. Juodligės ir kitus biologinius ginklus ypač sparčiai gamino Japonija, JAV, Sovietų Sąjunga, Vokietija ir Didžioji Britanija.



3.21 pav. Lazdelės formos juodligės bacilos (geltonos) ir eritrocitas (raudonasis) (Anthrax color enhanced micrograph.jpg. Viešo naudojimo)

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 užsikrėtė ir patys. Britai juodligės sporų bombą išbandė su avimis Grinjardo įlankoje (Škotija) ir ši sala 45 metus tapo negyvenama.

Raupų simptomai paprastai pasireiškia per 10–12 dienų nedideliu karščiavimu ir negalavimu. Po šių pirmųjų požymių atsiranda didelis karščiavimas, išsekimas ir įvairūs pažeidimai. Mirštamumas nuo raupų siekia iki 30 %. Raupai yra užkrečiami, todėl raupais sergančiais pacientais besirūpinantiems žmonėms reikia specialių apsaugos priemonių. Tikėtina, kad biologinis ginklas, kuriame yra raupų, atsiras, nes liga yra labai užkrečiama. Didelė tikimybė, kad liga ilgainiui sugrįš pas žmones, kurie ir sukūrė šį ginklą.

Tuliaremija – ūminė bakterinė infekcija. Tuliaremijos židinių randama daugelyje šiaurinio pusrutulio šalių. Kartu su maru, cholera, antraksu ir kitomis infekcijomis tuliaremija yra klasifikuojama kaip ypač pavojingas susirgimas. Tuliaremijos lazdelė – labai stiprus mikroorganizmas. Jis išlieka gyvybingas vandenyje esant 4 °C temperatūrai, o bakterijos miršta, kai yra tik aukšta temperatūra ir naudojamos dezinfekavimo priemonės. Žmogaus jautrumas tuliaremijai labai didelis, nes liga suserga beveik 100 % užsikrėtusiųjų. Susirgus tuliaremija paprastai kūno temperatūra pakyla iki 38–40 laipsnių, ji sukelia intoksikaciją, silpnumo pojūtį, raumenų ir galvos skausmus. Karščiavimas gali trukti savaitę, dvi ar net tris mėnesius. Tuliaremijos

bakterijos gali plisti įvairiais būdais, įskaitant aerolinių bakterijų įkvėpimą, per nariuotakojų (erkės ar blusos) įkandimus. Bet kurioje vietovėje, kurioje yra erkių, gali kilti pavojus užsikrėsti šiomis bakterijomis. Šios bakterijos gali būti panaudotos biologiniame ginkle. Tinkamai gydant, mirštamumas yra mažesnis negu 2 %, tačiau biologinio ginklo panaudojimo atveju daugelis jokio gydymo negaus ir mirštamumas gali siekti iki 60 %.

Ebolos hemoraginė karštligė – sunki, dažnai mirtina liga, kurią sukelia Ebolos virusas. Ji labiausiai paplitusi Afrikoje. Nuo šios ligos miršta 50–90 % užsikrėtusiųjų (3.22 pav.). Ji plinta per kraują ir kūno skysčius, neplinta per aplinkos daiktus, neužterštus krauju ar kūno skysčiais. Ebola turi keletą simptomų, kurie panašūs į gripo simptomus, bet taip pat sukelia vidinį kraujavimą. Nėra žinomų Ebolos gydymo būdų. Kadangi Ebolos virusas plinta per kūno skysčius, karo metu ligoninėms kiltų didžiulė rizika pernešti ligą per netinkamai išplautą patalynę.

Karpažolinių šeimos žolinis augalas ricinmedis natūraliai auga Viduržemio jūros regiono rytuose, Indijoje, Rytų Afrikoje. Iš ricinmedžio sėklų (pupelių) išgaunamas *ricinas* yra nuodas (3.23 pav.). Šios pupelės auginamos visame pasaulyje ricinų aliejui gaminti, tačiau nuodai yra šalutinis aliejaus gamybos produktas. Šią medžiagą galima naudoti kaip biologinį ginklą, nes žmogui nužudyti reikia tik kelių ricinos grūdelių. Ricinas gali prasiskverbti per maistą, vandenį ir net orą, todėl šis nuodas gali plisti įvairiais būdais. Nuodai neleidžia būtiniems baltymams patekti į žmogaus organizmo ląsteles, todėl jos miršta. Susirgimo simptomai gali pasireikšti praėjus



3.22 pav. Ebolos viruso virionas (Ebola virus virion.jpg. Viešo naudojimo)



3.23 pav. Ricinmedžio sėklos (pupelės)
(Castor beans1.jpg, CC BY-SA 3.0)

keturioms valandoms po sąlyčio ir jų intensyvumas priklauso nuo to, ar nuodai buvo įkvėpti, ar nuryti. Vaistų ligai išgydyti nėra, tačiau išgyvenamumas padidėja, jei organizmas gali kuo greičiau atsikratyti nuodų (plauti kūną, jei nuodų pateko ant odos, priverstinai vėmti, jei jis buvo nurytas). Ricinas yra labai pavojingas, nes gali būti perduodamas įvairiais būdais. Pavyzdžiui, jei tiekiamas vanduo būtų užkrėstas, rizikuotų kiekvienas, kuris gėrė vandenį. Didmiesčiuose liga grėstų milijonams žmonių.

Botulizmas – itin reta liga. Ją sukelia bakterija, gaminanti nervų sistemą pažeidžiantį toksiną, dėl kurio žmogų gali paralyžiuoti. Natūraliai užsikrečiama valgant užterštą maistą arba nurijus aerozolinių sporų. Šios ligos simptomai yra raumenų silpnumas, neiški kalba, dvigubas matymas ir net galūnių paralyžius. Botulizmą galima gydyti uždedant pacientui respiratorių ir skiriant antitoksinų. Ligoniu pasveikti gali prireikti mėnesių. Aerozolinės sporos, pavyzdžiui viešajame transporte, gali sukelti pavojų daugeliui atsitiktinių žmonių.

Yra ir daugiau pavojingų ligų sukėlėjų, kurie gali būti panaudoti kaip biologiniai ginklai: *koksieliozė, pasiutligė, ŽIV, hantavirusai, geltonasis drugys* ir kiti (Oldstone, M., 2010). Po Antrojo pasaulinio karo buvo sukurta mažiausiai 10 skirtingų biologinių medžiagų – bakterijų, virusų ir mikrobus, skirtų žmonėms bei svarbioms žemės ūkio kultūroms apkrėsti. SSRS ir JAV sukaupe didžiulius juodligės bakterijų kiekius bei sukūrė šio ginklo paskleidimo priemones – bombas ir išpurškiamus aerozolius, kuriuos gali gabenti lėktuvai ar raketos.

Biologinis ginklas yra labai klasingas – ore kybantys bakterijų ar virusų debesėliai yra beveik nematomi ir bekvapiai. Paskleistas ore kaip mikrometro dydžio dalelių aerolis jis tampa masinio naikinimo ginklu. Mažyčiai lašeliai sklendžia ore didelį atstumą, o įkvėpti giliai į plaučius sukelia pavojingas sisteminės 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 mirtingus mikrobus. Nors yra sukurta įvairių biologinio ginklo detektorių, jų efektyvumas ir užkrato nustatymo sparta yra nepakankami.

Tarptautinę Konvenciją dėl bakteriologinių ir toksinių ginklų kūrimo, gamybos ir saugojimo uždraudimo bei jų sunaikinimo 1972 m. pasirašė 160 valstybių, tačiau 34 valstybės šios konvencijos dar nepasirašė. 1975 m. įsigaliojusi konvencija faktiškai uždraudė kurti, kausti ir naudoti biologinį ir cheminį ginklą. Deja, ji nedraudė plėtoti mokslinius tyrimus. Ekspertai mano, kad tokie tyrimai vykdomi ir toliau. Sovietų Sąjunga tęsė labai slaptas šio ginklo kūrimo programas iki pat 1990-ųjų. 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 atominė bomba. Pasigaminti biologinį ginklą gali net ekonomiškai silpnos valstybės – tam nereikia brangios įrangos ir infrastruktūros, pigesnė ir žaliava.

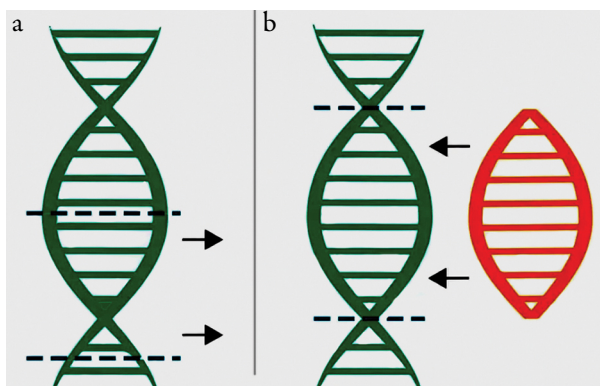
Mokslo pasaulyje vis daugiau nerimo kelia modernioji biotechnologija. Neseniai buvo paskelbtas choleros DNR kodas, baigiama išaiškinti kitų mikroorganizmų, tarp jų sukeliančių juodligę, marą, dizenteriją, vidurių šiltinę, genomus. Šie tyrimai, be abejo, bus pritaikyti praktiniams gydymo tikslams, tačiau ar nebus šiais rezultatais pasinaudota kuriant naujos kartos siaubingos naikinančios galios biologinį ginklą? Jau dabar yra galimybė kurti genetiškai naujas biologines medžiagas ir naujomis savybėmis pasižyminčius biologinius ginklus.

4 SKYRIUS

GENETIŠKAI MODIFIKUOTI ORGANIZMAI

4.1. Genetinio modifikavimo technologijos

Genetiškai modifikuotas organizmas – tai toks organizmas, kurio genome yra atsiradęs bent vienas naujas genas, nesantis gamtinėse tos rūšies organizmų formose. Paprastai genetiškai modifikuotais organizmais vadinami transgeniniai organizmai, į kuriuos, naudojant genų inžinerijos technologijas, perkelti kitos rūšies natūralūs ar modifikuoti genai. Žmonės dažnai neskiria genų redagavimo technologijų nuo genetinio modifikavimo (4.1 pav.). Genetinis modifikavimas apima genų įterpimą į DNR iš skirtingų augalų ar net gyvūnų rūšių. Taip sukuriamos naujos veislės, kurios negali būti išaugintos kryžminant.

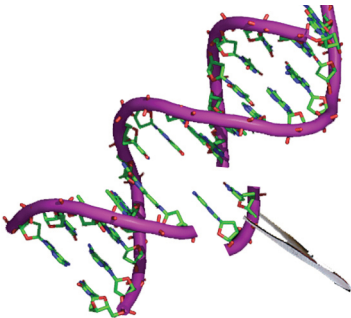


4.1 pav. a – genų redagavimas – tai nedidelės DNR dalies įterpimas arba pašalinimas; b – genetinis modifikavimas – tai nedidelės DNR dalies iš kito augalo ar gyvūno įterpimas (Ghosh, P., 2023)

GENETIŠKAI MODIFIKUOTI ORGANIZMAI

Žmonės tūkstančius metų keitė rūšių genomus taikant dirbtinę atranką, o pastaruosiu metu – *mutagenezę* (organizmo paveldimų pakitimų arba mutacijų atsiradimo procesą). Genų inžinerija, kaip tiesioginis žmonių manipuliavimas DNR, nesusijęs su veisimu ir mutacijomis, egzistuoja tik nuo XX a. aštuntojo dešimtmečio. 1978 m. paskelbta apie genetiškai modifikuoto žmogaus insulino gamybą (Goeddel, D. V. ir kt., 1979). Pirmieji genetiškai modifikuotų augalų lauko bandymai buvo atlikti Prancūzijoje ir Jungtinėse Valstijose 1986-aisiais, kur buvo sukurti tabako augalai, atsparūs herbicidams (James, C.; Kratiger, A. F, 1996). 1992 m. virusams atsparų tabaką pristatė Kinija, o 1994 m. Europos Sąjunga patvirtino tabaką, sukurtą taip, kad jis būtų atsparus herbicidui bromoksinilui (Mackenzie, D., 1994). Tai buvo pirmasis genetiškai modifikuotas augalas, parduodamas Europoje. 2010 m. J. Craig Venterio instituto (JAV) mokslininkai paskelbė, kad sukūrė pirmąjį sintetinį bakterijos genomą ir įdėjo jį į ląstelę, kurioje nėra DNR. Susidariusi bakterija (pavadinta *Synthia*) buvo pirmoji pasaulyje sintetinė gyvybės forma (Gibson, D. G. ir kt., 2010).

Skiriamos trys pagrindinės genetiškai modifikuotų organizmų klasės: genetiškai modifikuoti (rekombinantiniai) mikroorganizmai, genetiškai modifikuoti (transgeniniai) gyvūnai ir genetiškai modifikuoti (transgeniniai) augalai (Blakemore, E., 2015). *Genetiškai modifikuoti mikroorganizmai* yra bakterijos, mielės ar grybai, į kuriuos įterptas svetimas genas. Toks genas, prijungtas prie mikroorganizmo reguliacinių DNR sekvų, yra veiklus ir genetiškai modifikuoti mikroorganizmai gamina šio geno koduojamą rekombinantinį baltymą (4.2 pav.).



4.2 pav. DNR dalies, pašalinamos pincetu, schema (Genetic engineering logo.png. CC BY-SA 3.0)

GENETIŠKAI MODIFIKUOTI ORGANIZMAI

Genetinio modifikavimo technologijos yra sudėtingos. Pirmiausia reikia apsispręsti, kokią savybę siekiama išgauti. Pavyzdžiui, jeigu reikia sukurti augalą, kurio nevalgo tam tikri vabzdžiai, parenkamas vabzdžius atbaidantis bakterijų produkuotas toksinas, kurio sintezę koduoja genas. Šis genas atskiriamas nuo bakterijos, pernešamas ant augalo, be to, tai daroma taip, kad jis veiktų žaliuose augalo dalyse, o ne šaknyse.

Genų „įsiuvinimas“ vyksta keliais etapais. DNR, kuri turi pasirinktąjį geną, yra atskiriama nuo bakterijos, augalo, gyvūnų ląstelės ir sukarpoma į mažesnius fragmentus. Dominantis genas atskirtuose DNR fragmentuose yra „pagaunamas“ ir perkeliamas į bakterijos arba mielių ląstelę, kuri naudojama dominančių genų dauginimui. Taip sukuriama didelis skaičius genų kopijų. Vieno geno kopija yra įkeliama į augalo arba gyvūno reprodukcinės ląstelės vieną chromosomą. Tolesnis ląstelės augimas ar dalijimasis vyksta jau dalyvaujant implantuotam genui.

Transgeniniai gyvūnai gaunami ankstyviausioje organizmo raidos stadijoje naudojant embrionines kamienines ląsteles, į kurias įterpti reikalingi genai. Transgeninių gyvūnų kūrimo tikslai yra įvairūs. Kuriami naujomis savybėmis pasižymintys naminiai gyvuliai, pvz., avys, kurių pieno liaukos gamina medicinai reikalingus baltymus, arba karvės, kurių pienas papildytas žmogaus motinos pienui būdingais baltymais (laktoferinu, lizocimu), paukščiai, kurių dėslumas yra padidinamas, arba žuvis, atsparios ligoms, ir kita. Genetiškai modifikuoti mikroorganizmai ir mielės taip pat yra naudojamos degtinės ir alaus fermentacijai.

Siekiant nustatyti atskirų genų funkcijas organizme kuriami genetiškai modifikuoti organizmai su pašalintais tam tikrais genais arba papildomi naujais genais ir kaupiama informacija apie tam tikro geno praradimo ar atsiradimo padarinius. Pirmasis genetinės inžinerijos objektas buvo žmogaus žarnyno lazdelė *Escherichia coli*, į kurią buvo įterpta svetima DNR. Nuo to laiko genetinė inžinerija pradėjo sparčiai vystytis. Sukurti skirtingi organizmai – virusai, mikroorganizmai, augalai ir gyvūnai, pasižymintys įvairiomis naujomis savybėmis ir naudojami medicinoje, kuriant maisto produktus bei kitose gyvenimo srityse. Maisto produktų gamyboje naudojamos pienuarūgštės bakterijos, mielės, fermentiniai preparatai, naujus baltymus turintis pienas, genetiškai modifikuoti grūdiniai augalai, aliejiniai augalai ir kt.

1973 m. JAV sukurta pirmoji genetiškai modifikuota bakterija, o XX a. pabaigoje pradėti kurti transgeniniai gyvūnai (daugiausia pelės, triušiai, kiaulės). Jie naudojami kaip infekcinių ligų modeliai ir skirti naujiems vaistams tirti ar gydymo metodams kurti. 1982 m. JAV pristatė pirmus genetiškai išrastus vaistus – žmogaus insulino formą, kurią sukūrė bakterija. Nuo 1985 m. kriminalistikoje naudojamas žmogaus unikalios DNR sekos arba genetinių „pirštų atspaudų“ metodas. Šis būdas taikomas siekiant nepaneigiamai įrodyti kažkieno kaltę ar išteisinti klaidingai sulaikytus įtariamuosius.

Transgeniniai augalai kuriami siekiant pagerinti jų technologines ir maistines savybes (baltymų, riebalų, vitaminų ir kitų vertingųjų medžiagų). Nauji genai į augalo ląstelę gali būti įterpiami mechaninėmis priemonėmis arba naudojant natūralius būdus. XX a. pabaigoje sukurta dešimtys tūkstančių naujų genetiškai modifikuotų augalų veislių. Šie augalai atsparūs herbicidams (turi herbicidus skaidančius fermentus koduojančių genų), vabzdžiams (turi bakterijos *Bacillus turingiensis* (*Bt*) geną), šalnomams (turi iš šaltavandenių žuvų išskirtą geną), kiti yra papildyti vitaminais (pvz., karotinoidus gaminantys geltonieji ryžiai), polinesočiųjų riebalų rūgštimis (aliejiniai augalai). Pirmasis genetiškai modifikuotas augalas buvo sukurtas JAV 1986 metais.

4.2. Modifikuoti augalai

Genetiškai modifikuotų organizmų sąvoka vartojama kalbant tik apie genetiškai modifikuotas maistines kultūras ar iš jų pagamintus maisto produktus. Genetiškai modifikuotas reiškia pasikeitimą tarp genų, juos sujungiant nenatūraliu būdu. Esant natūraliam procesui, žiedadulkės iš vienos rūšies augalo perkeliama į kitos, panašios rūšies augalą su nauja genetinė informacija. Taip genas atsinaujina. Tačiau jeigu genai perkeliama į kitą augalą dirbtinai, tai nėra natūralus procesas ir todėl vadinamas genetiškai modifikuotu. Techniniai augalai mutuoja skirtingai. Chemiškai jie nėra vadinami genetiškai modifikuotais. Toks augalas turi vieną arba daugiau genų, sujungtų tarpusavyje ne klasikiniu, bet dirbtiniu būdu. Netgi visiškai negiminingų rūšių genai tokiu būdu gali būti sujungiami su kita rūšimi. Taigi, išvedami nauji augalai, kurie yra atsparūs herbicidams ar kenkėjams. Kai

kurie genetiškai modifikuoti augalai yra tik dekoratyviniai. Jie modifikuojami siekiant pakeisti gėlių spalvą, kvapą ar formą. Pirmieji genetiškai modifikuoti dekoratyviniai augalai turėjo pakitusią spalvą (4.3 pav.).



4.3 pav. Išvestos veislės 'Blue Moon' violetinė stambiažiedė rožė (Blue Rose APPLAUSE.jpg, CC0)

Genetiškai modifikuoti (GM) maisto produktai turi nemažai pranašumų (Regoli, N., 2018). Jie gali būti atsparesni vabzdžiams ir kitiems kenkėjams. Į pasėlius dedama toksiškų bakterijų (tačiau saugių žmonėms), kad jos atbaidytų

vabzdžius, ir taip sumažinamas augalams naudojamų pesticidų kiekis bei pavojingų pesticidų poveikis. Naudojant GM technologijas pasėliai gali būti pakeisti taip, kad atlaikytų ekstremalias oro sąlygas ir orų svyravimus. Tai reiškia, kad geros kokybės ir pakankamas derlius bus net ir esant blogoms ar atšiaurioms oro sąlygoms. Biotechnologija padeda išvesti naujas didelio derlingumo augalų kultūras, kurios būtų atsparios vabzdžiams ir virusams arba tolerantiškos herbicidams. Taip pat įmanoma išrasti pagerintos maistinės vertės maisto produktus, pavyzdžiui, pomidorus su padidintu vitaminų kiekiu arba žemės riešutus su sumažintu alergenu kiekiu.

Pasaulyje vis daugiau žemių panaudojama būstui, o ne maisto gamybai, todėl ūkininkai skatinami auginti pasėlius vietose, kurios nebuvo tinkamos augalų auginimui, ir auginti augalus, kurie gali atlaikyti didelį druskos kiekį dirvožemyje ar ilgus sausras laikotarpius. Be to, genetiškai modifikuoti gyvūnai ir augalai gali tapti atsparesni netikėtų ligų protrūkiams. GM maisto produktai buvo sukurti naudojant genų inžineriją, t. y. technologiją, užtikrinančią pasėlių atsparumą greitiems gamtiniams pažeidimams.

Genetiškai modifikuotų gyvūnų ir pasėlių augimui dažnai reikia mažiau laiko, įrankių ir cheminių medžiagų, todėl tai gali padėti sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, dirvožemio eroziją ir aplinkos taršą, pagerinti vandens ir oro kokybę. Genetiškai modifikuoti pasėliai atsparesni kenkėjams. Įrodyta, kad genetiškai modifikuotiems augalams nereikia pesticidų,

GENETIŠKAI MODIFIKUOTI ORGANIZMAI

kad jie būtų atsparesni įvairių rūšių vabzdžiams ar kenkėjams, galintiems juos sunaikinti. Ši savybė padeda ūkininkams užauginti gausesnį derlių.

Kai kurie genetiškai modifikuoto maisto produktai sukurti taip, kad turėtų daugiau vitaminų ar mineralų, t. y. būtų maistingesni. Pavyzdžiui, ryžiai, papildyti vitaminu A, gali padėti sumažinti tokių maistinių medžiagų trūkumą visame pasaulyje (Smyth, S. J., 2020). Auksiniai ryžiai yra labiausiai žinomas genetiškai modifikuotas augalas, kuriuo siekiama padidinti maistinių medžiagų vertę. Jis skirtas auginti ir vartoti vietovėse, kuriose trūksta vitamino A (4.4 pav.). Mokslininkai sukūrė naujos rūšies pomidorus, kurie auga sūriame dirvožemyje. Kitas geras augalų genų inžinerijos atradimas yra geno, atsakingo už kofeiną kavos pupelėse, pašalinimas, sukuriant kavos pupelės be kofeino. Kuriamos naujos pasėlių rūšys, skirtos auginti ekstremaliame klimato, pavyzdžiui, sausoje ar šaltoje aplinkoje. Mokliškai sutariama, kad šiuo metu maistas, pagamintas iš genetiškai modifikuotų augalų, nekelia didesnio pavojaus žmonių sveikatai nei įprastas maistas, bet kiekvieną genetiškai modifikuotą maistą prieš naudojant reikia iširti. Vis dėlto, visuomenė daug rečiau nei mokslininkai mano, kad GM maistas yra saugus. Teisinis GM maisto produktų reguliavimo statusas įvairiose šalyse skiriasi, kai kurios šalys juos draudžia arba riboja, kai kurios leidžia taikydamos labai skirtingus reguliavimo lygius. Dėl didesnio genetiškai modifikuotų augalų derlingumo ir mažesnių sąnaudų



4.4 pav. Baltieji ryžiai ir genetiškai modifikuoti auksiniai ryžiai (Golden Rice.jpg. CC BY 2.0)

mažėja maisto produktų kainos. Kadangi skurdesnių šalių žmonės daugiau nei pusę savo pajamų išleidžia vien maistui, tai prisidėtų prie skurdo mažinimo.

Norint pamaitinti visus pasaulio gyventojus, kurių skaičius nuolat auga, reikia didinti ariamos žemės plotus. Daugelyje šalių tai daroma kertant miškus. Naudojant derlingesnius genetiškai modifikuotus gyvūnus ir pasėlius, miškų kirtimo mastą galima žymiai sumažinti, o tai ne tik sumažintų anglies dioksido kiekį atmosferoje, bet ir sulėtintų visuotinį atšilimą. Mokslininkai apskaičiavo, kad genetiškai modifikuoti augalai sumažino šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją daugiau nei 10 milijonų tonų, o tai prilygsta kelių milijonų automobilių pašalinimui kasmet.

2016 m. 18 milijonų ūkininkų 26 šalyse augino 185 mln. ha genetiškai modifikuotų kultūrų. Net 40 % pasaulyje auginamų minėtų kultūrų ploto tenka JAV. Pasaulyje vyrauja keturios pagrindinės genetiškai modifikuotos kultūros: soja, kukurūzai (atsparūs vabzdžiams), medvilnė ir rapsai, nors auginami ir baklažanai, bulvės, cukriniai runkeliai, liucerna, moliūgai, papajos, pomidorai, saldieji pipirai ir kai kurie kiti augalai. Europoje genetiškai modifikuotus kukurūzus augina Ispanija, Čekija, Portugalija ir Slovakija. Lietuva nuosekliai laikosi nuostatos drausti genetiškai modifikuotų organizmų auginimą savo teritorijoje, tačiau ar ateityje ilgai atsilauks, neaišku. ES importuoja nemažai genetiškai modifikuotų pašarų, nes gyvuliams šerti reikia daugiau kaip 36 mln. tonų sojų pupelių per metus. ES užaugina tik 1,4 mln. tonų sojų pupelių. Jos genetiškai nemodifikuotos, nes auginti genetiškai modifikuotas sojas (tolerantiškos herbicidui glifosatui) ES neleidžiama. 2013 m. ES importavo 18,5 mln. tonų sojų miltų ir 13,5 mln. tonų sojų pupelių: tai sudaro per 60 % augalinių baltymų poreikio. 90 % sojų pupelių įvežama iš trečiųjų šalių (Brazilijos, Argentinos, Paragvajaus, JAV), kuriose genetiškai modifikuotų sojų auginimo plotas sudaro maždaug 90 % viso sojų pasėlių ploto. JAV maždaug 70–85 % maisto produktų sudėtyje yra medžiagų, gautų iš genetiškai modifikuotų organizmų.

4.3. Genetinio modifikavimo pavojai

Genetiškai modifikuoti organizmai (GMO) ir genetiškai modifikuotas maistas turi nemažai pranašumų, tačiau ar tame sąrašė nesislepia ir trūkumai,

gal net grėsmės? Moksliniai tyrimai patvirtino, kad genetiškai modifikuotas maistas žmonėms gali sukelti didelę alergijos pavojų. Atliekant genetinę modifikaciją dažnai pridedami arba sumaišomi baltymai, kurių nebuvo įprastuose gyvūnuose ar augaluose, todėl tai gali sukelti alergines reakcijas organizme. Nors daugelis ekspertų teigia, kad genetiškai modifikuoti maisto produktai yra saugūs aplinkai, iš tikrųjų juose yra medžiagų, kurių saugumas nėra įrodytas (Morgan, S., 2009). Dar blogiau – dažniausiai šių medžiagų keliamas pavojus slepiamas nuo visuomenės.

Didelis galimas šios technologijos trūkumas tas, kad kai kurie organizmai ekosistemoje gali būti pažeisti, o tai savo ruožtu gali lemti mažesnę biologinės įvairovės lygį. Kai pašalinamas tam tikras kenkėjas, darantis žalą pasėliams, taip pat iš maisto grandinės pašalinamas tam tikros rūšies maisto šaltinis. Kita vertus, genetiškai modifikuoti pasėliai gali būti toksiški kai kuriems organizmams, todėl gali sumažėti jų skaičius arba jie gali net išnykti.

Moksliniais tyrimais įrodyta, kad GMO maiste yra medžiagų, galinčių sukelti ligas ir net mirtį. Pavyzdžiui, tokiu maistu maitinamos pelės ir drugeliai negali išgyventi. Nors iki šiol nėra įrodymų, kad valgant genetiškai modifikuotą maistą padidės rizika susirgti vėžiu, šie maisto produktai buvo naudojami tik palyginti trumpą laiką, todėl negalime tvirtai teigti, kad nebus ilgalaikio poveikio sveikatai. Jau pastebėta, kad genetiškai modifikuotų maisto produktų skonis, palyginti su įprastais rinkoje parduodamais maisto produktais, yra nenatūralus. Tai gali būti dėl į GMO sudėtį pridėtų medžiagų.

Žemdirbiai nerimauja dėl kryžminio apdulkinimo, kuris kelia problemų. Kryžminis apdulkinimas dažnai vyksta dideliame plote, todėl GMO genai gali būti perduoti ekologiškų, tradicinių augalų ar pasėlių palikuoniams. Tokiu atveju būtų sunku atskirti, kurie pasėlių laukai yra ekologiški, o kurie ne. Neaišku, kokią poveikį genetinė tarša turės juos supančioms laukinėms veislėms. Tačiau genetiškai pakeistų, vėjo nešiojamų augalų žiedadulkių pasklidimas gali turėti didelį poveikį ekosistemai, nors dar reikia atlikti ilgalaikius tokio poveikio tyrimus.

Egzistuoja rizika, kad modifikuoto organizmo genai gali ištrūkti į aplinką. Yra įtarimų, kad pandemiją sukėlęs COVID-19 virusas 2020 m. kažkaip „pabėgo“ iš Uhano (Kinija) mokslinių tyrimų laboratorijos. Genai iš komercinių augalų, atsparių herbicidams, gali patekti į laukinių piktžolių

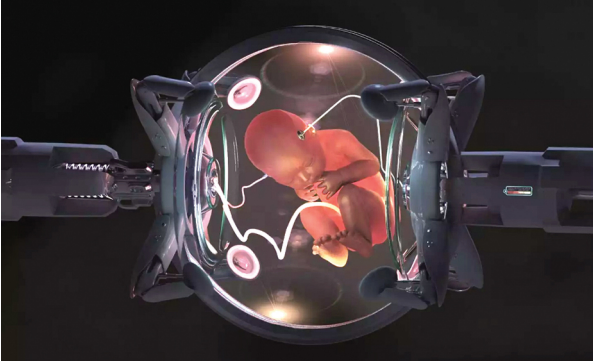
populiaciją ir taip sukurti superpiktžoles, kurių išnaikinti bus neįmanoma. Dėl genetiškai pasikeitusios augmenijos ir gyvūnų jie gali tapti superorganizmais ir nukonkuruoti natūralius augalus, gyvūnus bei priversti juos išnykti.

Kai kurie genetiškai modifikuoti maisto produktai turi antibiotinių savybių ir yra atsparūs virusams ar ligoms. Valgant modifikuotą maistą, šie antibiotikai pereina į valgančiojo organizmą ir padaro tikruosius antibiotinius vaistus mažiau veiksmingus.

Kai kurios šalys gali naudoti maisto produktų genų inžineriją kaip labai galingą ginklą prieš savo kaimynus ar priešus, nes šie produktai gali sukelti kenksmingas ligas ir nužudyti daugybę žmonių pasaulyje. Atsižvelgiant į tai, kad modifikavimui naudojami virusai ir bakterijos, baiminamasi, kad taip anksčiau ar vėliau tikrai nutiks.

Genetiškai modifikuoto maisto pateikimas į rinką gali būti brangus ir ilgas procesas. Daug naujų augalų genų inžinerijos technologijų ir produktų yra patentuota, bet patentų pažeidimai kelia didelį susirūpinimą žemės ūkio versle. Vienas iš būdų kovoti su galimu patentų pažeidimu yra „savižudybės geno“ įvedimas į genetiškai modifikuotus gyvūnus ir augalus, kurie būtų gyvybingi tik vieną vegetacijos sezoną ir išaugintų sterilias sėklas, kurios nedygtų, todėl ūkininkai turėtų kasmet pirkti šviežias sėklas. Tačiau tai būtų finansiškai pražūtinga besivystančioms šalims, kurios negali sau leisti to daryti ir tradiciškai atideda dalį savo derliaus kitam auginimo sezonui. Nuo pat pradžių GM technologijas kuriantys mokslininkai buvo kaltinami, kad jie „žaidžia Dievą“ (Dabrock, P., 2009). Kadangi dabar įmanoma genetiškai modifikuoti žmones, kyla etinių rūpesčių, kiek ši technologija gali būti toliau plėtojama, ir ar apskritai ją reikėtų naudoti (4.5 pav.) (Sparrow, R.; Cohen, G., 2015).

Daug diskusijų kyla bandant apibrėžti, kur yra riba tarp gydymo ir žmogaus tobulinimo ir ar modifikacijos turėtų būti paveldimos. Jau keliami klausimų dėl modifikuotų gyvybės formų patentavimo ar intelektinės nuosavybės teisių naudojimo. Svarstoma, ar genetinės modifikacijos nauda nėra perdėta (Dan, Ch., 2016; Donnellan, C., 2004). Genetiškai modifikuotas maistas gali potencialiai išspręsti daugybę bado ir prastos mitybos problemų pasaulyje, taip pat padėti apsaugoti ir išsaugoti aplinką didinant derlių ir mažinant priklausomybę nuo cheminių pesticidų ir herbicidų. Tačiau svarbu elgtis atsargiai, kad



4.5 pav. Bauginančios fantazijos (Sparrow, R.; Cohen, G., 2015)

būtų išvengta nepalankių pasekmių aplinkai ir sveikatai, nes genų inžinerijos technologija yra labai galinga. Šiandien mažai kas abejoja genų inžinerijos galiybėmis. Mokslininkai, ekspertai atlieka išsamius bandymų rizikos vertinimus, kol įsitikina, kad šie produktai saugūs žmonių sveikatai.

Genetiškai modifikuoti maisto produktai yra vieni labiausiai tiriamų produktų pasaulyje. Manoma, kad jie gali turėti tiesioginį poveikį žmonių sveikatai: vartojant genetiškai modifikuotus maisto produktus atsiranda įvairių alerginių reakcijų ir tikėtina, kad bakterijos, gyvenančios žmogaus žarnyne, gali įgyti atsparumą antibiotikams. Tiriama ir analizuojama produktų sudėtis, juose esančių alergenų ir toksinų kiekiai. Atliekami ilgalaikiai stebėjimai, kaip žmogaus organizmas pasisavina tokį maistą ir kt. Naujų genetiškai modifikuotų augalų veislių įteisinimo ir patvirtinimo procedūros vykdomos ne vienus metus. Tačiau niekas negali užtikrinti, kad naudojant genetiškai modifikuotus maisto produktus išvengiama bet kokių neigiamų pasekmių bei įtakos sveikatai. Mokslininkai taip pat neneigia, kad genų technologija, kaip ir kiekviena nauja technologija, gali sukelti riziką žmogaus sveikatai.

4.4. Dirbtinė mėsa

Žmonija nuo pat pirmųjų *Homo sapiens* pasirodymo vartojo augalinį maistą ir įvairių sumedžiotų gyvūnų ir žuvų mėsą. Vėliau, prijaukinus gyvulius ir

domestifikavus paukščius, medžioklės reikšmė sumažėjo, tačiau gyvūnų žudymas maistui ar aukojimas dievams tęsėsi tūkstantmečius. Pasak Biblijos, Dievas, norėdamas išbandyti Abraomo tikėjimą, liepė jam paaukoti sūnų Izaoką. Tačiau, kai Abromas jau buvo bežudęs savo sūnų, angelas jį sustabdė. Istoriniai šaltiniai rodo, kad buvo valgoma ne tik galvijų ar žvėrių mėsa – kai kuriose tautose klestėjo ir kanibalizmas, kai nugalėti priešai buvo suvalgomi. Žmonija savo techninėmis priemonėmis jau pasiekė kitas Saulės sistemos planetas, tačiau gyvūnų žudymo konvejeris rieda kaip riedėjęs. XXI a. viduryje Žemėje gyvens daugiau nei devyni milijardai žmonių ir mokslininkai jau ne vienus metus tvirtina, kad dabartiniais metodais jų išmaitinti nepavyks. Galvijų auginimas – labai daug išteklių naudojanti ir planetos ekosistemą labai apsunkinanti veikla. Gyvulių auginimas, transportavimas, skerdimas, aprūpinimas pašarais labai veikia ekologiją. Skaičiuojama, kad vienam galvijui išlaikyti per dieną reikia apie 100 litrų vandens, taip pat jų reikmėms išnaudojami trys ketvirtadaliai planetos dirbamos žemės. Užsiimant gyvulininkyste reikia 33 % dirbamos žemės gyvulių pašarui ir 26 % ganykloms. Be to, naminių galvijų auginimui tenka apie 14,5–18 % visų antropogeninės kilmės šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir 37 % metano emisijų. Šie taršos kiekiai yra didesni nei pasaulyje transporto išmetamų teršalų kiekis (Steinfeld, H. ir kt., 2006). Siekiant patenkinti mėsos poreikį pasaulyje kasmet paskerdžiami maždaug 56 mlrd. gyvūnų. Apskaičiuota, kad kasmet plotas, 6,4 karto didesnis nei Lietuva, naudojamas sausam naminių gyvūnėlių ėdalui (katėms ir šunims) gaminti, ką jau kalbėti apie šlapią ėdalą. Vien kačių ir šunų ėdalo gamyba sukelia iki 30 % mėsos gamybos poveikio aplinkai.

Apskaičiuota, kad daugiausia šiltnamio efektą sukeliančių dujų, įskaitant metaną, išsiskiria auginant jautieną. Ėrienos auginimo emisija yra 50 % mažesnė negu jautienos. Galvijai gamina daugiau metano nei naminiai paukščiai. Išmatuoti ir palyginti skirtingų maisto produktų poveikį aplinkai nėra paprasta, nes reikia vertinti ne tik auginimo proceso, bet ir perdirbimo, pakavimo bei transportavimo išmetamus teršalus. Šalyse, kuriose klimatas tinka žolei auginti, karvės nelabai priklauso nuo grūdų ir kitų pašarų, todėl jų auginimas palieka mažesnę anglies pėdsaką. Kita vertus, jautienos gamyba yra pagrindinė miškų naikinimo priežastis atogrąžų miškuose (tokiuose kaip Amazonija), ir tai didina tos pasaulio dalies jautienos poveikį aplinkai. Gali

atrodyti, kad jautienos keitimas kiauliena yra geras pasirinkimas, tačiau auginti žirnius būtų dar geriau, nes būtų išmetama 90 % mažiau teršalų. Augalinės kilmės baltymai paprastai išskiria daug mažiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų nei mėsos ir pieno produktų gamyba. Norint išmaitinti gyventojus, kurių skaičius nuolat auga, daug veiksmingiau naudoti žemę augalams, kuriuos žmonės gali vartoti tiesiogiai, o tose pasaulio dalyse, kuriose naudojama daug mėsos ir pieno produktų, būtų galima pereiti prie daugiau augalinio maisto.

Šiandienėje maisto pramonėje mėsos žaliava daug kur keičiama įvairių augalų žaliava. Iš augalinės kilmės žaliavų pagaminta mėsa jau daug plačiau naudojama ir Lietuvoje – tokių produktų tikrai yra nemažai. Terminas *dirbtinė mėsa* pradėtas vartoti 2000 m. pradžioje. Tai buvo maistas, pagamintas iš tam tikrų augalų, kurių skonis po transformacijos tampa labai panašus į tradicinės mėsos. Pirmieji dirbtinės mėsos pavyzdžiai buvo pagaminti iš sojų pupelių, kitų rūšių ankštinių augalų, kviečių ar grybų. Soja buvo vienas pirmųjų produktų, tačiau naudojami ir žirniai, kanapių baltymai. Mėsos pakaitalų gamyboje galima pritaikyti daug kitų medžiagų, kurios turi daug baltymų.

Vis dėlto, šiandien šis terminas reiškia mėsą, pagamintą taikant naują procesą, kai mėsa ruošama iš tikrų gyvū gyvūnų mėsos kamieninių ląstelių. Kiti dažniausiai vartojami šios technologijos pavadinimai yra „laboratorijoje užauginta mėsa“, „sintetinė mėsa“, „švari mėsa“, „kultivuota mėsa“, „mėsa *in vitro*“. Proceso metu naudojant biopsiją paimama gyvūno raumens ląstelė ir sujungiama su baltymais, kurie padeda ląstelei augti ir daugintis. Pradinės ląstelės gali būti ir embriono kamieninės arba palydovinės ląstelės. Ląstelė turėtų augti „vietoje“, kurioje veiktų dirbtinis kraujo apytakos ratas. Tokiu būdu ląstelei būtų teikiamas deguonis ir maisto medžiagos bei šalinamos atliekos.

Laboratorijoje užaugintos mėsos gamybos procesas prasideda nuo gyvulio, paukščio ar karvės raumens audinio, iš kurio gaunamos kamieninės ląstelės. Normaliame organizme jos paprastai kontroliuoja potrauminę audinių regeneraciją. Mėsos augintojai paima kamienines gyvūnų (jaučių, vištų, kiaulių) ląsteles, jas augina ir specializuoja į raumenų, riebalų ir net kraujagyslių ląsteles. Vėliau iš jų auginami mėsos audiniai. Laboratorijoje ląstelės sudedamos į maistingųjų medžiagų ir augimui būtinų cheminių junginių tirpalą ir per kelias savaites išauga daugiau nei milijonas kamieninių ląstelių. Iš pradžių maitinimui

maistingomis medžiagomis buvo naudojama fetalinė (embrioninė) plazma, kuri gaunama iš veršelių vaisių kraujo. Dabar pagrindiniai „laboratorinės“ mėsos gamintojai bando ir kitas alternatyvias ląstelių auginimo terpes. Gauta medžiaga išdėliojama tūkstančiuose *Petri* lėkštelių, kur ląstelės „susiklijuoja“ į nedideles – maždaug centimetro ilgio ir kelių milimetrų storio – raumens audinio juosteles. Galutinis produktas gali būti gaminamas įvairiais būdais, įskaitant ir 3D spausdinimą, kuris gali gaminiui suteikti ir tą pažįstamą mėsos tekstūrą. Gamybos procesuose išlieka brangaus galvijų vaisiaus serumo (šalutinis gyvūninis produktas, sukuriantis optimalias augimo sąlygas) naudojimas kultūrinėje terpėje, nes jis stimuliuoja kamieninių ląstelių augimą.

Dirbtinė arba laboratorijoje užauginta mėsa pirmą kartą pasirodė 1971-aisiais, kai mokslininkai išaugino jūrų kiaulytės lygųjų raumenį. 2001 m. mokslininkai pagamino kalakutieną, o 2002-aisiais sukūrė ir dirbtinę žuvies mėsą – karoso filė. Pirmasis istorijoje mėsainis su kotletu iš dirbtinės mėsos buvo pristatytas 2013 m. Londone.

2016 m. viena JAV bendrovė pristatė pirmąjį laboratorijoje užaugintos mėsos gaminį, o dar vėliau – analogišku būdu gautą antieną ir vištieną. Kadangi laboratorijoje mėsa auginama kaip daugybė raumenų skaidulų, ją yra paprasčiausia perdirbti į faršą. Būtent todėl pirmieji tokios mėsos produktai buvo kotletai ir mėsos kukuliai.

Laboratorinė mėsa atrodo neįtikėtina ekologiška. Produktams iš mėgintuvėlio reikia 7–45 % mažiau elektros energijos, nei tokiam pat kiekiui kiaulienos, avienos ar jautienos gauti tradiciniais būdais. Perėjimas prie dirbtinės mėsos šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas potencialiai gali sumažinti 78–96 %, žemės naudojimą 99 %, o vandens sunaudojimą – 82–96 %.

2013 m. pagamintas mėsainis buvo ne tik pirmasis, bet ir brangiausias produktas. 0,5 kg tokios mėsos kainavo per 1,2 mln. USD. Vos per porą metų tokio kotleto mėsainiui gamyba atpigo iki 11,5 USD. Vis dėlto, tai dar labai brangu, nes JAV svaras (0,45 kg) vištienos ar jautienos filė kainuoja kiek daugiau nei 3 USD. Laboratorinės mėsos gamybos sagoje, be ekologinio, akivaizdus ir etinis aspektas – juk kiekvienas kepsnys ar rūkytos lašišos kąsnelis reiškia gyvūnų mirtį. Laboratorijoje užauginta mėsa „švari“, nes joje nėra patogenų, gyvenančių naminiuose gyvuliuose ir jų aplinkoje, taip pat antibiotikų, kuriais jie kasdien šeriami.

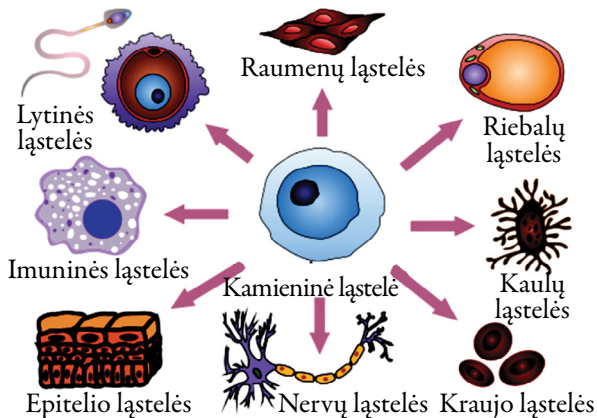
Audinių inžinerija, pagrįsta dirbtinės mėsos gamyba, labai priklauso nuo didelio masto ląstelių auginimo technologijų, kurios gali užtikrinti didelį ląstelių kiekį, leidžiantį gaminti mėsą. Didelio masto ląstelių gamybos sistemomis taip pat siekiama pagaminti kuo daugiau ląstelių naudojant mažiausiai reikiamų išteklių. Minimalus apdorojimas ir trumpas auginimo laikotarpis pakankamam surinktų ląstelių skaičiui taip pat paprastai laikomi veiksmingos ląstelių masės gamybos veiksniais. Mėsos ląstelių auginimui naudojami įvairūs metodai ir bioreaktoriai (Merten, O. W., 2015). Kiekviena technologija turi savų pranašumų, tačiau bendrai šios platformos suteikia ląstelėms prisirišimo paviršiaus plotą ir kartu užtikrina lygiagrečius dujų ir maistinių medžiagų mainus.

Kol kas mėsinės struktūros gavimas iš raumenų ląstelių yra veiksmingiausias būdas gaminti dirbtinę mėsą. Vis dėlto, įprastai auginami ląstelės lėkštelėje, kad susidarytų į audinį panaši struktūra, yra labai sudėtinga. Kad ląstelės suformuotų tinkamą struktūrą, naudojami *karkasai* arba *pastoliai*, nes jie suteikia fizinę atramą raumenų ląstelėms prisitvirtinti (Ben-Arye, T.; Levenberg, S., 2019). Ląstelių augimas labai priklauso nuo augimo nišos, o pastoliai ir sukuria tinkamą nišą ląstelėms augti. Kaip pastolių medžiaga, imituojanti ląstelių nišą, dažnai naudojamas hidrogelis. Hidrogelis yra vandenyje netirpių polimero grandinių tinklas, kurio tarpai užpildyti vandeniu, o polimerai gali būti natūralūs ar sintetiniai. Dėl didelio vandens kiekio (99 % hidrogelio masės) hidrogeliai pasižymi ir stangrumu bei lankstumu, o tai būdinga ir biologiniams audiniams. Hidrogelis, paverstas į porėtą struktūrą, imituoja tarpląstelinę matricą, suteikia ląstelėms prisitvirtinimo pagrindą ir pralaidumą, būtiną vandens, dujų ir maistinių medžiagų mainams. Tokius 3D pastolius galima panaudoti tiesiog pasėjant ląsteles ant paruoštos struktūros arba įmaišant jas į biorašalą ir 3D spausdinimo ląstelių kapsuliuotą mišinį, kad susidarytų ląstelėmis pakrauti pastoliai. Audinių inžinerijai naudojamos kelių tipų bazinės medžiagos. Kaip hidrogelis naudojami kolagenas, fibrinas ir alginatatas, tačiau norint, kad geliai būtų labiau biologiškai panašūs į tikrus audinius, naudojami biorašalai. Biorašaluose, palyginti su įprastais hidrogeliais, yra daugiau specifinių ląstelių augimo veiksnių (įskaitant augimo veiksnius, lipnius baltymus). Manoma, kad jie labiau tinka audinių inžinerijai (Kim, W. ir kt., 2020). Taip pat galima naudoti augalų audinius, skirtus 3D celiuliozės

karkasams. Augaliniai audiniai yra lengvai gaunami ir ekonomiškai. Raumenų ląstelių auginimas ant neląstelių augalų karkasų skatina augimą, dauginimąsi ir diferenciaciją dėl natūralaus augalų celiuliozės modelio ir užtikrina augančių ląstelių sulygiavimą (Cheng, Y. W. ir kt., 2020).

Galutinis dirbtinės mėsos tikslas yra gaminti valgomus mėsos produktus tiesiogiai neįtraukiant gyvūnų. Todėl geriausias pasirinkimas gali būti kamieninės ląstelės, nes jos gali transformuotis į kitų tipų ląsteles, esančias organizme. Kamieninės ląstelės – tai nediferencijuotos ląstelės, kurios gali tapti daugybe arba visomis reikiamomis specializuotomis ląstelių rūšimis. Šis procesas, vadinamoji *ląstelių diferenciacija*, ir yra atsakingas už visų gyvūno kūno ląstelių vystymąsi. Tai reiškia, kad kamieninės ląstelės gali diferencijuotis į raumenų ląsteles, riebalų ląsteles, kaulų ląsteles, kraujo ląsteles, nervų ląsteles, epitelio ląsteles, imunines ląsteles, lytines ląsteles ir kt. (4.6 pav.).

Svarbios kamieninių ląstelių savybės yra dalijimosi kartų skaičius, proliferacinė (dalijimosi į dvi dukterines ląsteles) geba, sukibimas, serumo nepriklausomumas, lengva diferenciacija, per kurią ląstelės įgyja morfologinių bei fiziologinių skirtumų ir virsmą į audinį. Manoma, kad kamieninių ląstelių dalijimasis yra asimetriškas: viena dukterinė ląstelė lieka kamieninė



4.6 pav. Kamieninės ląstelės gali diferencijuotis į įvairias specializuotas ląsteles (Stem cell differentiation.svg, CC BY-SA 4.0)

(motininės ląstelės determinacijos stadijos), kita – toliau diferencijuojasi. Tačiau natūralus įvairių savybių buvimas gali skirtis, priklausomai nuo ląstelių rūšių ir kilmės. Todėl auginimas *in vitro* turi būti sureguliuotas taip, kad atitiktų tikslus konkrečios ląstelių linijos poreikius. Ląstelių linijas galima paimti iš pirminio šaltinio, t. y. per gyvūno biopsiją, taikant vietinę nejautrą.

Kadangi raumeninis audinys yra sudėtinga struktūra, sudaryta iš kelių skirtingų ląstelių tipų (raumenų, riebalų, mioglobino ir kt.), reikėtų sukurti kelių tipų ląstelių 3D struktūros formavimo metodą. Naudojant audinių inžinerijos technologiją arba biospausdinimo sistemą, raumenų ląstelės ir įvairūs pagalbinių ląstelių tipai gali būti auginami ant to paties 3D karkaso, kad susidarytų sudėtingi audiniai, imituojantys skeleto raumenų struktūrą *in vivo*. Neseniai 3D inžinerijos karkasai buvo naudojami galvijų palydovinėms ląstelėms, kurios buvo išplatintos ant 3D karkasų, panardinant jas į miogeninę augimo terpę. Galvijų lygiųjų raumenų ir endotelio ląstelės yra diferencijuotai auginamos ant karkasų, kad susidarytų ląstelių pagrindu pagaminti mėsos produktai, kurie pagal skelbiamą informaciją yra tinkami vartoti kaip maisto produktai (Ben-Arye, T. ir kt., 2020).

Galvijų kamieninės ląstelės ir indukuotos pluripotentinės kamieninės (iPS) ląstelės gali būti laikomos auginamos mėsos šaltiniais. Miogeninės palydovinės ląstelės ir riebalinės kamieninės ląstelės dauginamos auginant *in vitro* ir gaminamos taip, kad būtų panašios į mėsos struktūrą. Indukuotos pluripotentinės kamieninės (iPS) ląstelės gali diferencijuotis į keletą skirtingų ląstelių tipų, apimančių raumenų audinį, kurie kartu su daugeliu kitų ląstelių tipų galėtų būti naudojami trimatėms (3D) struktūroms gaminti, naudojant audinių inžinerijos arba biospausdinimo technologijas.

Esminė auginimo *in vitro* dalis yra auginimo ar fiziologinė terpė. Jos užduotis – tiekti makromolekules, maistines medžiagas ir kitus augimui ir ląstelių dauginimuisi svarbius dalykus. Tradiciškai tai yra galvijų embrionų serumas (angl. *Foetal Bovine Serum*, FBS), kuris išgaunamas iš galvijų embrionų kraujo. Jo gamyba yra neetiška ir iškreipia siekį neišnaudoti gyvūnų. Tai pats brangiausias auginamos mėsos terpės komponentas, be to, jo cheminė sudėtis labai priklauso nuo gyvūno, todėl cheminiu požiūriu jo negalima vienodai kiekybiškai įvertinti. Medžiagos, reikalingos audiniams vystytis, daugiausia tiekiamos per gyvūno kraują, ir joks kitas žinomas skystis

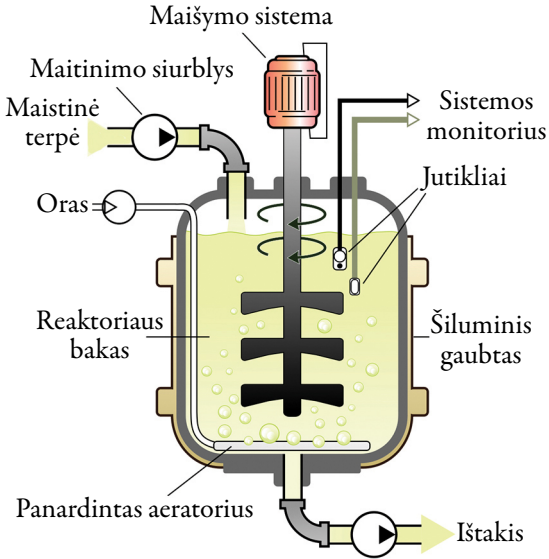
negali tenkinti visų šių funkcijų. Ideali terpė turėtų būti chemiškai kiekybiškai įvertinama, lengvai prieinama, pigi ir nepriklausanti nuo gyvūnų. Labiausiai tikėtina, kad ji bus gauta iš augalų, nes tai galės sumažinti infekcinių ligų sukėlėjų perdavimo galimybę, tačiau kai kuriems vartotojams tokia terpė gali sukelti alerginių reakcijų. Siekiant išvengti bet kokių gyvūninės kilmės produktų naudojimo, pagrindinėms auginimo terpės sudedamosioms dalims gaminti buvo pasiūlyta naudoti ne galvijų ar arklių vaisiaus serumą, o fotosintetinius dumblius ir melsvadumblius (Haagsman, H. P. ir kt., 2009).

Reaktoriuje ląstelių linijos panardinamos į auginimo terpę, kur ir prasideda jų dauginimasis. Auginimo terpės paprastai sudaromos iš baziųjų terpių, kurios aprūpina ląsteles reikalingais angliavandeniais, riebalais, baltymais ir druskomis. Kai ląstelė paima pakankamą kiekį šių medžiagų, ji dalijasi ir jos populiacija didėja eksponentiškai. Augimo terpė gali būti papildyta priedais, pavyzdžiui, serumais, kurie terpei suteikia papildomų, ląstelių augimui svarbių baltymų arba steroidų (Datar, I., 2010).

Ląstelių gebėjimas įsisavinti maistines medžiagas ir daugintis iš dalies priklauso nuo jų aplinkos pH. Kai prasideda diferenciacija, raumenų skaidulos pradeda gaminti pieno rūgštį. Kadangi pieno rūgštis kaupiasi terpėje, aplinka vis labiau rūgštėja ir nukrenta žemiau optimalios pH. Todėl auginimo terpė turi būti dažnai atnaujinama.

Bioreaktoriai

Dirbtinė mėsa paprastai auginama *bioreaktoriuose* (4.7 pav.). Kad ląstelės galėtų augti ir specializuotis, į bioreaktorių vidų dedami karkasai. Bioreaktoriai yra dideli įrenginiai, kuriuose ląsteles veikia daugybė veiksnių, būtinų *prolifracijai* (ląstelių populiacijos augimui dalijimosi būdu) arba *diferenciacijai* (procesai, per kuriuos ląstelės įgyja morfologinių ir fiziologinių skirtumų ir susidaro galutinės ląstelės, iš kurių formuojasi įvairūs organai arba audiniai). Bioreaktoriaus temperatūra priklauso nuo auginamų ląstelių rūšies. Jei tai yra žinduolių ląstelės, temperatūra turi būti iki 37 °C, o jei vabzdžių ląstelės – jos gali augti kambario temperatūroje. Daugumoje bioreaktorių palaikoma 5 % anglies dioksido koncentracija (Collignon, M. L.; Williams, A., 2020).



4.7 pav. Dirbtinės mėsos auginimo bioreaktoriaus schema (Bioreactor principle.svg, CC BY-SA 3.0)

Plačiausiai naudojami *maišomieji bioreaktoriai*. Darbaratis didina terpės srautą ir taip homogenizuoja auginimo terpę, o difuzorius palengvina deguonies patektį į terpę. *Fiksuoto sluoksnio bioreaktoriai* dažniausiai naudojami prilipioms kultūroms. Juose yra juostelių pluoštai, kurie sudedami taip, kad sudarytų sluoksnį, prie kurio gali prisitvirtinti ląstelės ir per kurį cirkuliuoja aeruota auginimo terpė. *Oro transportavimo bioreaktoriuose* auginimo terpė aeruojama naudojant oro burbuliukus, kurie vėliau išsisklaido ir pasklinda tarp ląstelių. Nuolatiniam auginimui tinkamiausi *perfuziniai bioreaktoriai*. Jie nuolat sausina pieno rūgštimi prisotintą terpę, kurioje jau nėra maistingų medžiagų, ir papildo ją šviežia terpe.

Bendras iššūkis bioreaktoriams ir karkasams yra sistemos, leidžiančios visoms ląstelėms patekti į auginimo terpę ir kartu optimizuoti ląstelių augimui būtinus erdvinius reikalavimus, įgyvendinimas. Kad būtų palaikomas augimas, ląstelių proliferacijos fazėje, prieš įdedant pastolius, ląstelės turi būti pritvirtintos prie paviršiaus. Taigi, ląstelės turi būti auginamos tik vienos

ląstelės storio monosluoksniuose, todėl reikia didelio paviršiaus ploto. Tai praktikoje kelia didelių iššūkių. Kartais tokiose sistemose gali būti mikronešiklių – mažų sferinių stiklo arba kitos suderinamos medžiagos rutuliukų, paskleistų auginimo terpėje. Ląstelės prilimpa prie šių mikronešiklių, kaip ir prie bioreaktoriaus šonų, todėl padidėja paviršiaus plotas.

Ląstelių diferenciacijos fazėje ląstelės gali būti pasėtos ant karkasų, todėl nereikia naudoti mikronešiklių. Tačiau tokiais atvejais dėl didelio ląstelių tankio ant karkasų ir dėl to, kad ne visos ląstelės turi sąsają su auginimo terpe, jos žūva ir mėsoje susidaro nekrozės židiniai. Kai raumenys auginami *in vivo*, šios problemos išvengiama, nes tarpląstelinė matrica per kraujagysles tiekia maistines medžiagas į raumenis.

Karkasai

Auginamas raumenų audinys vystosi augimo terpėje, o galutinis produktas suformuojamas trimatėje struktūroje. Iš pradžių ląstelės turi būti pasėtos į *karkasus*. Karkasai iš esmės yra formos, skirtos ląstelėms organizuoti į didesnę struktūrą. Karkasai turi pasižymėti poringumu, biocheminėmis savybėmis, kristališkumu, degraduojamumu, valgomumu, skysčių ir dujų transportuojamumu. Praktika rodo, kad yra nedaug medžiagų, kurioms būdingos visos šios savybės, todėl tenka maišyti skirtingas, viena kitą papildančių savybių turinčias medžiagas.

Ląstelių augimui didelę svarbą turi karkasų poringumas. Poros yra nedidelės angos karkasų paviršiuje. Jos padeda išsklaidyti dujas ir maistines medžiagas į vidinius, prie karkaso paviršių prilipusių ląstelių sluoksnius ir neleidžia susidaryti „nekrozės židiniams“. Nekrozė – tai reiškinys, kai ląstelės, kurios tiesiogiai nesiliečia su auginimo terpe, miršta dėl maistinių medžiagų stygiaus (Campuzano, S.; Pelling A. E., 2019).

Augalų, iš kurių gaminami karkasai, kraujagysliniame audinyje yra organų, atsakingų už vidinį skysčių transportavimą. Šie organai taip pat gali padėti keistis dujomis ir maistinėmis medžiagomis. Dėl degradacijos tam tikros medžiagos suyra į junginius, kurie yra naudingi ląstelėms. Degradacija leidžia lengvai nuimti karkasus nuo gatavo produkto, paliekant tik ląstelinį audinį, taip padidinant jo panašumą į *in vivo* mėsą.

Karkasų biocheminės savybės turi sukurti cheminius signalus, skatinančius ląstelių diferenciaciją. Jei karkasų negalima nuimti nuo išaugintų audinių, jie patys turi būti pagaminti iš valgomų maistingų sudedamųjų dalių (ingredientų). Karkasams tinkamų medžiagų įvairovė yra labai didelė: gamybai naudojama celiuliozė, chitinas, kolagenai, grybiena, nanomedžiagos. Celiuliozė yra gausiausias polimeras gamtoje ir sudaro augalų lapų išorinius skeletus. Dėl gausumo jos kaina yra palyginti maža. Ji taip pat yra universali ir pasižymi biologiniu suderinamumu. Per kryžminius ryšius (kovalentiniai ryšiai tarp atskirų polimerų grandinių) augalo audinio mechaninės savybės gali būti pakeistos taip, kad jos būtų labiau panašios į raumeninį audinį.

Alternatyva augalinei celiuliozei yra bakterinė celiuliozė, kuri paprastai yra grynesnė už augalinę celiuliozę, nes joje nėra teršalų, tokių kaip ligninas ir hemiceliuliozė. Bakterinė celiuliozė turi daugiau vandenilio jungčių tarp polimerų gijų, todėl pasižymi didesniu kristališkumu. Joje taip pat yra mažesnės mikrofibrilės, kurios leidžia išlaikyti daugiau drėgmės ir turėti mažesnes poras.

Chitinas yra antras pagal gausumą gamtoje esantis polimeras. Jis randamas vėžiagyvių ir grybų egzoskeletuose. Kadangi gaminant ląstelinę mėsą siekiama atsisakyti priklausomybės nuo gyvūnų, iš grybų gautas chitinas kelia didžiausią susidomėjimą. Chitine pakeitus tam tikras aminorūgščių grupes gaunamas chitozanas. Jis turi antibakterinių savybių, ypač pasižymi baktericidiniu poveikiu bakterijoms, tokioms kaip *E. coli*.

Kolagenas yra baltymų šeima, sudaranti pirminę žmogaus jungiamojo audinio struktūrą. Paprastai jis gaunamas iš galvijų, kiaulių ir pelių, gaminamas kaip akytasis hidrogelis, kompozitai ir substratai, turintys topografinių ženklų ir biocheminių savybių. Grybiena yra plonų šakotų gijų rezginy, iš kurio dygsta grybai (grybų šaknys). Ji naudojama kietosios būsenos fermentacijos grybų audiniui auginti ant grybienos karkasų. Nanomedžiagos pasižymi unikaliomis savybėmis ir taip pat naudojamos karkasų gamybai. Iš kokosų gaunamos maistinės skaidulos pasižymi biologiniu suderinamumu, dideliu poringumu, yra biologiškai skaidžios.

Pasaulyje gyvulių mėsa sudaro net ketvirtadalį visų su maistu gaunamų baltymų. Mėsa „iš mėgintuvėlio“ dabar nagrinėjama kaip kryptis išspręsti iš karto tris svarbias žmonijos problemas – pamaitinti alkstančius,

sumažinti stresą gamtai ir kartu nenaudoti smurto prieš gyvūnus. Nors dirbtinės mėsos gamybos sistemoms reikia mažiau žemės nei tradicinėms gyvulininkystės sistemoms, dirbtinės mėsos gamybos sistemai reikia mažiausiai keturis kartus daugiau energijos nei tradicinei gyvulininkystei. Dirbtinei mėsai reikia 18–25 GJ/t tiesioginės energijos, o tradicinei mėsai pagaminti – 4,5 GJ/t tiesioginės energijos (Tuomisto, H. L.; Teixeira de Mattos, M. J., 2011). Antra vertus, karvės, kiaulės ir vištos – tiesiog neefektyvus augalinių baltymų vertimo gyvūniniais būdas, nes prarandame daugybę maisto vien todėl, kad sumaitiname jį gyvuliams, kaip tarpininkams. Kol kas dar nelabai aišku, ar dirbtinės mėsos sintetinimui iš tiesų reikia daug mažiau gamtos išteklių nei gyvūnų auginimui maistui.

Dirbtinės mėsos technologijos sulaukė didelio dėmesio, nes daugelis mano, kad ši technologija galėtų papildyti arba iš dalies pakeisti įprastą gyvulininkystę, nors tradicinė gyvulininkystės sistema pasaulyje yra viena svarbiausių žemės ūkio dalių. Dirbtinės mėsos auginimui, palyginti su tradicine gyvulininkystės sistema, reikia mažiau žemės, pašarinių grūdų, vandens ir energijos. Be to, dirbtinės mėsos auginimo sistemos konversijos į valgomąją mėsą koeficientas gali būti didesnis nei tradicinės gyvulininkystės sistemos, kuriai būdingas konversijos koeficientas yra 5–25 % (Tuomisto, H. L.; Teixeira de Mattos, M. J., 2011). Labai svarbu, ar vartotojas priims dirbtinę mėsą, nes jo reakcija gali būti ir priešiška (Laestadius, L. I., 2015). 2020 m. visame pasaulyje veikė 32 dirbtinės mėsos gamybos įmonės, daugiausia dėmesio skiriančios dirbtinei jautienai (25 %), paukštienai (22 %), kiaulienai (19 %), jūrų gėrybėms (19 %) ir kitų rūšių gyvūnų mėsai (15 %) (Choudhury, D. ir kt., 2020).

Jau dabar vyksta diskusijos, kad didesnis dirbtinės mėsos vartojimas gali sukelti tam tikrų neigiamų pasekmių, nes sumažėjęs užimtumas gyvulininkystėje turės didelį poveikį žemės ūkio sektoriui. Dėl sumažėjusio trąšų ir vaistų vartojimo chemijos ir farmacijos įmonės taip pat gali pajusti finansinį poveikį ir būti nesuinteresuotos remti šias technologijas.

Dirbtinės mėsos vartojimą gali stabdyti ir religiniai įsitikinimai. Pagal islamo mitybos praktiką jokių prieštaravimų valgyti šios rūšies dirbtinę mėsą, kol laštelės nėra paimitos iš kiaulių, šunų, vilkų, hienu, kačių, varlių, erelių

ir kitų islamo draudžiamų gyvūnų, nėra. Induizmas paprastai nepripažįsta jautienos kepsnių ir mėsainių vartojimo. Žydų rabinai nesutaria, ar dirbtinė mėsa yra košerinė. Dauguma autoritetų sutinka, kad jei pirminės ląstelės buvo paimtos iš religiniu būdu paskersto gyvūno, iš jo išauginta mėsa bus košerinė ir bus priimtina pagal žydų įstatymus ir praktiką. Katalikybė draudžia valgyti mėsą tam tikromis metų dienomis (gavėnia, adventas), nors ir neišsako nuomonės, ar laboratorijose auginama mėsa yra draudžiama, kaip tai atsitinka su mėsa.

Mokslo pažangos sustabdyti negalima. Biologinė būtybė – žmogus – siekia paveržti iš gamtos gyvybės kūrybos pradmenis. Sudėtingi moksliniai tyrimai vyksta daugelyje krypčių ir mokslo sričių (reakcijų kinetikos, medžiagų apykaitos ir transportavimo, fiziologinės terpės sandaros, karkasų medžiagų ir konstrukcijos, biospausdinimo ir kt.). Vis dėlto, dirbtinės mėsos kūrimas – tai brovimasis į kol kas nesuterštą arba „dieviškos“ kūrybos erdvę. Istorinė patirtis rodo, kad kiekvienos kūrybos pradžią supa nežinios brūzgynai ir klystkeliai, o juose visada slepiasi nelabasis. Ar tikrai šios technologijos išgelbės žmoniją nuo bado šmėklos, o gal tik sukurs naujus, dar neįsivaizduojamus pavojus? Atsakymo į tokius nuogaštavimus kol kas dar nėra.

5 SKYRIUS

ELEKTRONIKOS APSUPTIS

Nors pastaraisiais dešimtmečiais sukurta daugybė naujų technologijų, elektronika grįstų technologijų skaičius lenkia visas sritis: išmanieji telefonai, išmanieji automobiliai, išmanieji termostatai, išmanieji durų skambučiai, išmaniosios spynos, išmanieji šaldytuvai, planšetiniai kompiuteriai, išmanieji laikrodžiai, išmaniosios apyrankės, išmanieji raktų pakabukai, išmanieji akiniai ir daugelis kitų. Visas jas net sunku išvardyti. Išmaniosios technologijos pakeitė žmonių supratimą ir požiūrį į verslą, bendradarbiavimą ar bendravimą, jos naudojamos švietimui, pramogoms, rinkodarai, prekybai, apsipirkimui internetu, sveikatos informacijai gauti ir daugeliui kitų tikslų.

5.1. Autonominiai robotai

Robotas apibrėžiamas kaip „perprogramuojamas daugiafunkcis manipulatorius, skirtas medžiagoms, detalėms, įrankiams ar specializuotiems įrenginiams vykdyti įvairias užprogramuotas funkcijas ir atlikti visokias užduotis“, arba „robotas yra kelių laisvės laipsnių elektromechaninis įrenginys, programuojamas įvairioms užduotims atlikti“ (History of Industrial Robots, 2012). Nors tam tikrame kontekste robotai gali būti vadinami mašinomis, tačiau jie skiriasi nuo mašinų, nes yra už jas sudėtingesni ir protingesni. Graikų matematikui Archytui iš Tarentumo (435/410–360/350 pr. m. e.) pavyko sukurti mechaninį paukštį, kuris veikė varomas garo. Taigi, vienas pirmųjų bandymų sukurti robotus datuojamas IV amžiuje prieš mūsų erą. Žodį „robotas“ 1920 m. vienoje iš savo pjesių pirmą kartą pavartojo čekų rašytojas Karelas Čapekas. Jį kildino iš žodžio „robota“, kuris reiškė „darbuotojas, tarnas ar pagalbininkas“. Įdomu, kad JAV rašytojas fantastas, mokslo populiarintojas Isaacas Asimovas dar 1942-aisiais suformulavo tris robototeknikos dėsnius: 1) robotas negali

padaryti žalos žmogui; 2) robotas privalo paklusti žmogaus nurodymams, jei jie nesikerta su pirmuoju dėsniumi; 3) robotas privalo ginti savo egzistavimą, jei tai nesikerta su pirmiaisiais dviem dėsniais. Skaitant šias taisykles, dabar atrodo akivaizdu, kad žmogus nekontroliuoja robotų. Pavyzdžiui, pirmasis ir antrasis dėsniai prieštarauja vienas kitam, nes robotai jau ne kartą pažeidė šias taisykles. Jau dabar kuriami robotai žudikai (jie taip ir vadinami), aprūpinti mirtiniais ginklais, ir kaip jiems tada liepti nežudyti? Ar tai įmanoma? Kalbant apie trečiąjį dėsnį, kuris teigia, kad robotas turi apsaugoti bet kokia kaina, netiesiogiai pasakoma, kad roboto egzistavimas tuo metu pakeičia žmogaus egzistavimą.

Pirmosios robotizuotos mašinos buvo išrastos kaip pramoga žiūrovams. Dar 1495 m. Leonardo 'as da Vincis sukūrė savo pirmąjį mechaninį įrenginį, kuris atrodė kaip judantis šarvuotas riteris. Pirmojo pasaulinio karo metu ir jam pasibaigus daugelis išradėjų kūrė mažas, nuotoliniu būdu valdomas vikšrines transporto priemones, skirtas sprogstamajam užtaisui gabenti. Per Antrąjį pasaulinį karą vokiečių naudotas „Galijotas“ turėjo 60 kg sprogmenų. Įrenginys buvo valdomas nuotoliu 650 metrų ilgio trigubu kabeliu, pritvirtintu prie įrenginio galo (5.1 pav.). Kabelis buvo naudojamas tiek valdyti, tiek galiai perduoti elektra varomai versijai.

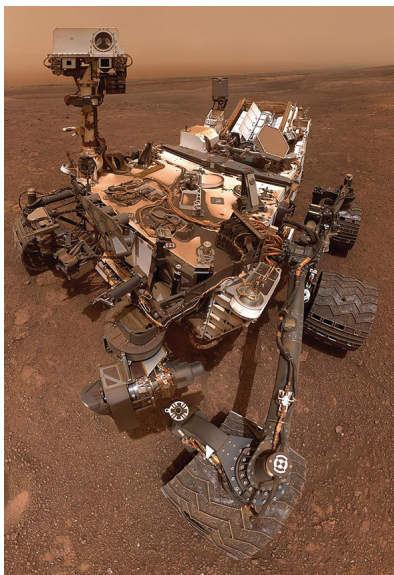


5.1 pav. Antrojo pasaulinio karo metu vokiečių naudota naikinimo mašina „Galijotas“ (SdKfz302elektr.jpg, CC BY-SA 3)

Laikui bėgant robotai tapo vis išmoningesni ir pamažu keitė žmones įvairiose gyvenimo srityse. Per pastaruosius kelis dešimtmečius pasaulis daugelyje veiklos sričių panaudojo šį žmogaus išradimą, kuris šiandien vadinamas „robotais“. Robotai gali atlikti užduotis, kurios yra pavojingos žmogui, dirbti žmonėms kenksmingoje aplinkoje. Jie taip pat gali atlikti monotoniškas, dažnai pasikartojančias užduotis, taip pigiai pakeisdami žmogaus rankų darbą. Dauguma automobilius gaminančių įmonių („Honda“, „Mercedes“, „Volkswagen“ ir kitos) pritaikė robotus gamybos linijose. Mokslininkai suskirstė robotus į kelias klases, tačiau kiekviena klasė dar yra suskirstyta pagal savo funkciją ir pritaikymą. Robotika apima įvairias sritis ir yra taikoma gynyboje, medicinoje, žemės ūkyje, automobiliuose, aeronautikoje ir kt. Roboto tipas priklauso nuo naudojimo paskirties, funkcijų, aplinkos, vietos nustatymo sistemos turėjimo ir pan. (Kiru, M. U., 2016). Skiriami šie pagrindiniai robotų tipai: stacionarūs robotai, ratiniai robotai, kojiniai robotai, važiukliniai robotai, debesijos robotai ir nanorobotai.

Stacionarūs robotai nejuda ir nekeičia padėties veikimo metu. Jų daugiausia yra pramoninėje gamyboje, nors butyje naudojama skalbyklė ar indaplovė irgi yra stacionarūs robotai. *Ratiniai robotai* (vienračiai, dviračiai robotai, kariniai robotai ir pan.) keičia savo padėtį ar juda iš vienos vietos į kitą ratais. Kai kalbama apie judėjimą, sudėtingiausiais robotais laikomi *kojiniai robotai*. Jie dažnai turi kojas ir rankas, kurios palaiko jų judėjimą arba padeda atsikelti nugriuvus. Labiausiai paplitę yra *robotai humanoidai, kariniai ir buitiniai robotai* (All Types Of Robots, 2016). Didžiausių robotų grupę sudaro *važiukliniai robotai*. Jie turi varomąsias (judėjimo) grandis, gali judėti bet kokioje aplinkoje (uolėtoje vietovėje, dykumoje, vandenyje ar net kitose beorėse planetose). Tokių robotų pavyzdžiai – NASA (JAV) naudojami kosminiai robotai („Mars Pathfinder“, „Spirit“, „Opportunity“, „Curiosity“, mėnuleigiai „Lunochod“ (TSRS) ir „Yutu 2“ (Kinija) (5.2 pav.). Šiai robotų grupei priskiriami dronai, povandeniniai robotai, bombų aptikimo ir nukenksminimo robotai.

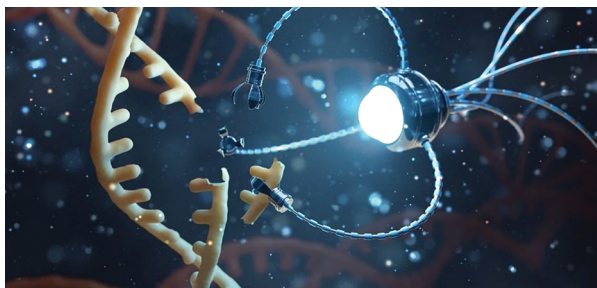
Debesijos robotika yra robotikos sritis, kuria bandoma pasitelkti debesijos technologijas, tokias kaip debesų kompiuterija, debesų saugykla. Prisijungę prie debesijos, robotai gali pasinaudoti galingsniais skaičiavimo,



5.2 pav. Marsaeigio „Curiosity“ daryta nuotrauka (PIA22960-MarsCuriosityRover-SelfPortrait-RockHall-VeraRubinRidge-20190115.jpg. Viešo naudojimo)

saugojimo ir ryšio ištekliais, esančiais šiuolaikiniame duomenų centre debesyje, kuris gali apdoroti įvairių robotų ar kitų mašinų, išmaniųjų objektų ir kt. pateikiamą informaciją ir ja dalytis. Užduotis robotams galima perduoti nuotoliniu būdu per tinklus. Naudojantis debesių technologijomis galima sukurti lengvesnius, pigesnius, išmanesnius robotus. Išmaniosios „smegenys“ susideda iš duomenų centro, žinių bazės, užduočių planavimo, mokymosi, informacijos apdorojimo, aplinkos ir komunikacijos palaikymo ir kt. Šios kategorijos robotai gali bendrauti net tarpusavyje, keistis informacija ir priimti kolektyvinį sprendimą. Nemažai tyrimų parodė, kad jie gali pažeisti nurodymus ir veikti savarankiškai, be žmogaus įsikišimo.

Nanorobotas yra mažas įrenginys, skirtas konkrečiai užduočiai atlikti nanomasto matmenų erdvėje (Kumar, S. ir kt., 2018; Rouse, M., 2007). Šių prietaisų dydis yra nuo 0,1 iki 10 μm . Prietaisą sudaro nanomatmenų dydžio komponentai. Šiandien nanorobotai gali būti naudojami chirurginėms procedūroms, kurių atlikti negali gydytojai, nes nepasiekia reikiamos vietos, pvz., vėžiniams susirgimams ar arteriosklerozei gydyti (5.3 pav.). Monašo universiteto (Australija) mokslininkai pristatė įrenginį, turintį pakankamai galingą variklį, kad, įleistas į kraujotakos sistemą, galėtų įveikti kraujo srovės pasipriešinimą ir plauktų į tas organizmo vietas, kurias galėtų pažeisti kiti medicininiai instrumentai. Pjoelektra varomas „povandeninio laivo“ variklis suka mažiau nei milimetro ilgio „sraigatą“ – labai greitai besisukančią „uodegėlę“, nusižiūrėtą iš *E. coli* bakterijos žiuželio.



5.3 pav. Nanorobotas iškerpa DNR segmentą (<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5274>)

Miniatiūrinė vaizdo kamera į monitorius transliuoja pažeistų audinių vaizdą. Įrenginys galėtų į reikiamas organizmo vietas pristatyti vaistus ar paimti ląstelių pavyzdžius, kurie padėtų nustatyti vėžį ir kitas ligas. Tel Avivo (Izraelis) universiteto ląstelių tyrimo ir imunologijos specialistai sukūrė „povandeniniu laivu“ pavadintą nanorobotą. Po injekcijos įleistas į žmogaus kraujotakos sistemą, jis keliauja kraujagyslėmis ir ieško tam tikro tipo ląstelių, kad galėtų jas „atakuoti“ savo gabenamais vaistais.

Robotas humanoidas yra vienas naujausių, sudėtingiausių ir labiausiai tyrinėjamų objektų robotikos srityje, apimančioje ir dirbtinį intelektą. Ši sritis per pastaruosius kelerius metus sulaukė didelio dėmesio ir kritikos visame pasaulyje. Robotai humanoidai yra tokie robotai, kurių bendra išvaizda (galva, liemuo, kojos, rankos), veiksmai ir elgesys yra panašūs į žmogaus (Ličina, S.; Schewe, Ch., 2009). Pirmasis robotas humanoidas buvo pristatytas pasaulinėje parodoje Niujorke 1939 metais (5.4 pav.). 2,1 m aukščio, 120,2 kg svorio robotas humanoidas galėjo vaikščioti, pasakyti apie 700 žodžių, rūkyti cigaretes, pūsti balionus ir judinti galvą bei rankas.

Pastaraisiais metais robotų humanoidų kūrimo srityje matomi didžiuliai pokyčiai. Tokie robotai kuriami taip, kad mąstyti ir elgtis kaip žmonės, galėtų veikti savarankiškai, be jokio žmogaus įsikišimo, kad galėtų prisitaikyti tiek prie žmogaus, tiek prie technologinės įrangos aplinkos. Jie jau naudojami buityje, biuruose ar įmonėse. Žmonės geba nekęsti, mylėti ar



5.4 pav. Robotas humanoidas Elektro, pristatytas pasaulinėje parodoje Niujorke 1939-aisiais (Senator John Heinz History Center - IMG 7802.jpg. Viešo naudojimo)

jausti kitas emocijas, o jų veikiami, priklausomai nuo to, kaip su jais bendrauja kiti žmonės, gali keisti jų valią ar tikslus. Jei robotas gali mąstyti pats, vadinasi, jam nereikia, kad kas nors jam išsakytų ar neleistų ko nors daryti. Roboto humanoido intelektualumas iš esmės priklauso nuo jo turimų jutiklių. Šie jutikliai gali reaguoti į šviesą, slėgį, kvapą, chemines medžiagas, garsus ir kitus dirgiklius. Robotai paprastai turi ratus, vaikščioja kojomis arba juda naudojant įvairius kitus kinematinus įtaisus. Dažnai robotas turi rankas, kurios padeda jam atlikti daugumą veiksmų. Robotams reikia tam tikro juos maitinančio energijos šaltinio. Kai kurie robotai naudoja saulės energiją, kiti turi įkraunamas baterijas. Robotas turi būti aprūpintas aktuatoriais, t. y. proceso

valdymo įrangos kontrolės mechanizmais, reaguojančiais į pneumatinius, hidraulinius ar elektroninius signalus. Vis dėlto, svarbiausias komponentas, dėl kurio robotas yra visiškai funkcionalus ir išmanus, yra dirbtinis intelektas, dar žinomas kaip dirbtinė neuroninė sistema. Neuronų sistema robotuose yra panaši į žmogaus nervų sistemą. Ji padeda jiems priimti bei išsiųsti milijonus įvesties ir išvesties duomenų. Daugeliu atvejų roboto intelektą lemia algoritmo sudėtingumas.

Autonominiai robotai – tai protingos mašinos, galinčios pačios atlikti užduotis realiame pasaulyje, be aiškios žmogaus kontrolės (Fahimi, F., 2009). Autonominis robotas daugeliu atvejų turi galimybę gauti informaciją apie artimiausią aplinką, naudodamasis savo dirbtine sąmone. Jie užprogramuoti taip, kad gali apsibrėžti savo veiksmus ir, apsvaustę visas

galimybes bei prisitaikę prie bet kokių aplinkos pokyčių (ir palankių, ir nepalankių), priimti sprendimus. Autonominiai robotai naudojami kariuomenėje (ginklai), ligoninėse (operacijoms ir procedūroms), pramoninėje gamyboje (intensyvioms operacijoms – suvirinimui, surinkimui, dažymui). Be to, autonominiai robotai turi savarankiško mokymosi gebėjimų, kurie jiems padeda atskirti objektus ir imtis reikiamų veiksmų. Chirurgijoje naudojami robotai turi didžiulių pranašumų, tokių kaip darbo paprastumas, tikslumas ir pan., tačiau didėja ir komplikacijų bei prastų rezultatų rizika. Yra žinomas atvejis, kai išoperuoto organo robotas nepašalina iš operuotos vietos. Tik kitą dieną gydytojai pastebėjo šią klaidą ir ištaisė. Suprantama, tai buvo ne roboto, o programuotojų klaida.

Tik ar viskas taip puiku robotų plėtojimo srityje ir ar naujosios technologijos nekelia grėsmių? Viena vertus, jos yra nepaprastai naudingos, nes galėsime daugiau laiko skirti sau, savo pomėgiams ar kūrybai, daugiau laiko praleisti lovoje ir pan. Kita vertus, jos įsiskverbia į asmeninį privatumą, ir to niekaip negalima sustabdyti. Kaip yra pasakęs Christianas Lousas Lange'as: „Technologijos yra naudingas tarnas, bet pavojingas šeimininkas.“ Pavyzdžiui, filmuose matomi robotai, kovojantys mūsų lauke, yra puikus roboto efektyvumo pavyzdys, tačiau, nors dar sunku suvokti, tai greitai nebebus fikcija. Kovai skirti autonominiai robotai kuriami mažiausiai penkiose šalyse. Kodai, duomenys ir komandos, pvz., „nužudyti“, yra šių robotų lustuose. Ką daryti, jei jų informacinė sistema bus nulaužta, technologija pavogta, o informacija panaudota blogiems tikslams?

Be jokios abejonės, robotai prisidėjo prie žmonijos pažangos nuo pat jų išradimo iki šių dienų. Turime pripažinti, kad kai kurie gerai užprogramuoti robotai išgelbėjo nemažai žmonių gyvybių. Šiandien didžiausios pasaulio automobilių bendrovės labai priklauso nuo robotizuotos gamybos, o darbuotojai yra apsaugoti nuo bet kokių profesinių pavojų. Tačiau pastaraisiais metais vis dažniau atkreipiamas dėmesys, kad robotų plėtra darosi pražūtinga ir kelia grėsmę žmonių saugumui. Iš pradžių robotų idėja buvo padėti žmogui atlikti įvairias veiklas, tačiau vėliau ši kryptis ėmė keistis. Atsirado posakis: „Pirma, jūs turite žmones be mašinų, tada jūs turite žmones su mašinomis ir galiausiai turite mašinas be žmonių.“ Visai puiki mintis plėtoti pramoninius robotus, kurie gali sumažinti pavojų žmonėms,

padidinti veiklos produktyvumą ir pelną, tačiau neprotinga kurti ir gaminti tai, kas kelia grėsmę net jo kūrėjo egzistavimui. Ekspertai prognozuoja, kad per ateinančius dvidešimt metų robotų ginklų, kurie taip pat žinomi kaip robotai žudikai, naudojimas visiškai įsitvirtins. Kita vertus, visiškai autonominių robotų taikymas ir diegimas iškėlė rimtų etinių, teisinių ir techninių problemų. Gerai užprogramuotas robotas, kad galėtų atlikti tam tikrus veiksmus, turi sugebėti numanyti veiksmų prasmę iš žmogaus veido, žvilgsnio, laikysenos, gestų ir pan. (Sparrow, R., 2007). Vis dėlto, karo metu robotai visiškai neprisiima atsakomybės. Taigi, kyla klausimas, kas yra atsakingas už nusikaltimus, padarytus dėl robotų netinkamų veiksmų: ar dalinio vadas, ar programuotojas, ar robotai? Kelių pasaulinių pramonės šakų pajamos iš tikrųjų labai padidėjo, kai šios pradėjo diegti robotus savo gamybos grandinėse. 2013 m. Pietų Korėjos įmonėse kiekvienam 10 000 gamybos darbuotojų teko 437 pramoniniai robotai (Marshall, P., 2016). Žvelgiant į problemą iš finansinės pusės, roboto kūrimas iš tikrųjų reikalauja didelių investicijų, nors prognozė, kad robotai pakeis žmogų, pamažu tampa realybe.

Socialinių klausimų kyla dėl robotų humanoidų paskirties. Jie naudojami kaip asmeniniai asistentai, bendruomenės darbuotojai, pristatymo į namus agentai, vietinio pervežimo pagalbininkai ir pan. Taip pat jie geba mokytis, jausti, reikšti emocijas ir troškimus, tačiau ekspertai mano, kad turint visas šias dirbtines savybes kyla daug neregėtų iššūkių, kurie gali sukelti nemažai sunkumų, tokių kaip: 1) bendruomenė apima daugybę žmonių ir objektų, vieni žmonės ateina, kiti išeina; dėl šios priežasties daugumai robotų sunku atpažinti nepažįstamus žmones; 2) robotui sunku atskirti kenksmingus ar pavojų keliančius objektus nuo nekenksmingų, pvz., jei robotas naudojamas policijoje, jam labai sunku atskirti pavojingą žmogų nuo žmogaus, judančio su lazda. Be to, robotai negali aptikti kūno kalbos aspektų, pvz., gestų, žvilgsnio, veido emocijų ir kt. Yra duomenų, kad mokslininkai pradėjo kurti robotus, galinčius pakeisti mirusius artimuosius ir taip sumažinti netekties skausmą ir įtampą. Šio tipo robotai skirti mylėti aplinkinius žmones, moka reikšti emocijas, verkia, reaguoja į pyktį, gali prarasti kantrybę ir net pakenkti. Prognozės rodo, kad anksčiau ar vėliau bus sukurti robotai, kurie teiks sekso paslaugas, turės jausmų

ir troškimų kaip moterys ir vyrai, o su jais komunikavę asmenys gali niekada nesužinoti, kad jie iš tikrųjų bendravo su robotais.

Robotikoje vis grėsmingesnį pavidalą įgaunančios technologijos dar vadinamos *robotais žudikais*. Šio tipo robotai naudojami karo veiksmams atlikti arba kaip gynybos sistemos elementas (5.5 pav.). Jie gali savarankiškai, be žmogaus įsikišimo, pasirinkti taikinius ar objektus. Jau



5.5 pav. Roboto, rankoje laikančio granatą, atvaizdas (https://stock.adobe.com/bg/search?k=killer+robots&asset_id=277526729)

yra robotizuotos sistemos, galinčios automatiškai atpažinti ir atakuoti artėjančias raketas, lėktuvus ir kt. Dabar šios sistemos sparčiai populiarėja, nes JK, JAV, Kinija, Izraelis, Rusija ir kitos šalys yra nemažai pažengusios šioje srityje.

Pasaulyje jau prasidėjo kampanija, skirta sustabdyti robotų žudikų kūrimą ir naudojimą. Apie 44 šalys pasirašė dokumentus, nepritariančius tokių projektų tęstinumui. Štai keletas priežasčių, pagrindžiančių tokių požiūrį. Pirmiausia – sąžinės nebuvimas. Įsivaizdavimas, kad mašinos turės sąmonę, yra tik svajonė, kuri niekada neišsipildys. Ginkluoto konflikto metu, apsisprendžiant dėl gyvybės ir mirties, reikia gebėti jausti užuojautą ir turėti intenciją. Žmonės, nors irgi klysta, bent jau gali turėti šias savybes, o robotai tikrai jų neturi. Sunku prognozuoti, kokios bus pasekmės, kai žmonėms persekioti karo zonoje bus paleista mašina be sąmonės ir sąžinės.

Negalima atmesti ir robotizuotos sistemos gedimo bei įsakymo nesuvokimo. Yra daug priežasčių, dėl kurių mašina gali sugesti, viena jų – blogas kodavimas. 2007 m. spalį pusiau automatizuotas robotas sugedo ir per vieną atvejį, kurį vadiname „draugiška ugnimi“, žuvo karys, dar 14 karių buvo sužeisti. Kito panašaus įvykio metu vadas įsakė robotui pradėti atakuoti namą, kuriame, kaip skelbta, buvo sukilėlių bazė. Robotas, aprūpintas infraraudonųjų spindulių skaitytuvais, jutikliais, galintis aptikti judėjimą per sienas, nustatė, kad namuose yra vaikų, todėl atakos nepradėjo (Lin, P.

ir kt., 2008). Taigi, kyla klausimas, kaip būtų susiklosčiusi ši situacija, jei vaikai būtų buvę pavojingai ginkluoti?

Reikia atkreipti dėmesį į du svarbius aspektus:

– *pažeidžiamumo galimybės* – įsilaužėliai gali pakeisti robotų neuroninės schemos ypatybes ir taip priversti robotą nepaisyti pradinės jo misijos;

– *nuotolinio valdymo grandies pažeidžiamumą* – jeigu robotas yra tiesiogiai prijungtas prie pasaulinio tinklo arba interneto, tai reiškia, kad jį galima valdyti nuotoliniu būdu ir galbūt įsilaužti į jo valdymo sistemą. Toks robotas gali būti naudojamas kaip tarpininkas (zombis), norint pradėti didesnę ataką prieš kitus žmones.

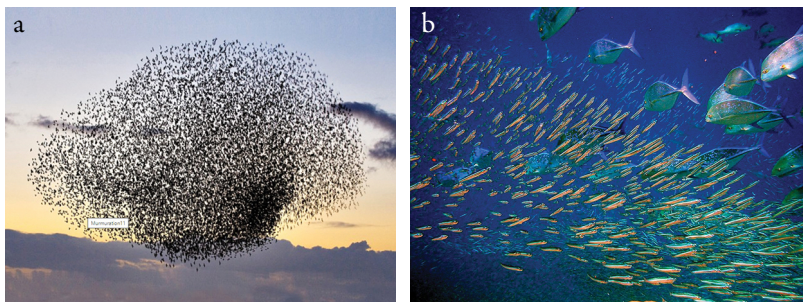
Kenkėjiška programinė įranga yra bet kokia programa, kuri tyčia kenkia kompiuteriui. Be to, naudojant debesijos technologijas, robotai gali būti užpulti per mechanizmą, žinomą kaip botnetas (Hu, G. ir kt., 2012). Botnetas yra prie interneto prijungtų įrenginių rinkinys, kurį gali sudaryti asmeniniai kompiuteriai, serveriai, mobilieji ir daiktų interneto įrenginiai, kurie yra užkrėsti ir valdomi įprasto tipo kenkėjiškų programų, dažnai jų savininkui apie jas nežinant. Užkrėstus įrenginius nuotoliu dažnai valdo kibernetiniai nusikaltėliai, tačiau kenkėjiškos operacijos lieka paslėptos nuo vartotojo. Botneto ataka – kai kompiuterių, vadinamų zombiais, rinkinys (užkrėstas kenkėjiška programa) leidžia užpuolikui nuotoliniu būdu priversti kompiuterį daryti ką nors netinkamo, pavyzdžiui, surengti ataką. Taigi, jei mašinos yra sujungtos į vieną tinklą, didelė tikimybė, kad jos galės keistis informacija, kuri gali padėti koordinuoti ataką prieš bet ką.

Robotai humanoidai ir autonominiai robotai pasaulyje gerai žinomi ne tik dėl jų pasiektos pažangos, intelekto, automatizavimo lygmens. Kol kas, tam tikra prasme, daugiausia žalos robotų plėtrai padarė fantastikos rašytojai ir filmų kūrėjai, nes jų kūrinuose labai daug dėmesio skiriama robotams žudikams. Savo kūriniais jie pridarė daugiau žalos nei naudos, todėl girdima vis daugiau nerimo balsų, siekiančių, kad šie robotai būtų uždrausti. Vis daugiau žmonių mano, kad plėtojant šią technologiją būtina išsamiau ištirti robotų kūrimo ir naudojimo visose žmogaus gyvenimo srityse (sveikatos, žemės ūkio ir socialiniuose institutuose, karinėse operacijose ir kt.) iššūkius, rizikas, problemas ir trūkumus. Kuriant ir diegiant robotus reikėtų

apsvarstyti pasekmes, kurias jie gali sukelti apskritai: nedarbą, nusikaltamumo didėjimą, mirtinus nelaimingus atsitikimus ir kitas pavojingas situacijas.

5.2. Dronų spiečiai

Dažnas danguje yra stebėjęs, ypač rudeniop, paukščių spiečius (5.6 pav.). Šie spiečiai keičia savo formą, judėjimo kryptį ar judėjimo pagreitį, be matomos priežasties atsiranda ir išsisklaido. Panašūs, tik žuvų, spiečiai stebimi vandenynuose ar jūrose. Mokslininkai ar gamtos stebėtojai bandė įminti šio keisto reiškinių priežastis ir yra pasiūlę įvairių hipotezių. Pavyzdžiui, vabzdžiai ar paukščiai, susibūrę kartu, tiria aplinką, orientuojasi vietovėje, tiesiog išvengdami kliūčių, o tada grįžta į savo lizdus. Bičių spiečius nukeliauja ne daugiau kaip 100 m nuo avilio, paukščių spiečius – kelis kilometrus. 1989 m. Kalifornijos universiteto mokslininkai Gerardo'as Benis ir Jingas Wangas pirmą kartą pavartojo terminą „spiečio intelektas“, žymintį spiečių robotikos pradžia. Šis terminas apibūdina dronų, kurie „bendruoja“ tarpusavyje ir atlieka užduotis kaip vienas darnus vienetas, spiečių. Vis dėlto, šie stebėjimai buvo daugiau gamtos įvairovės pažinimas, bet realios, taikomosios reikšmės jie neturėjo. Tačiau kai atsirado dronai, šiuo reiškiniu susidomėjo kariškiai.



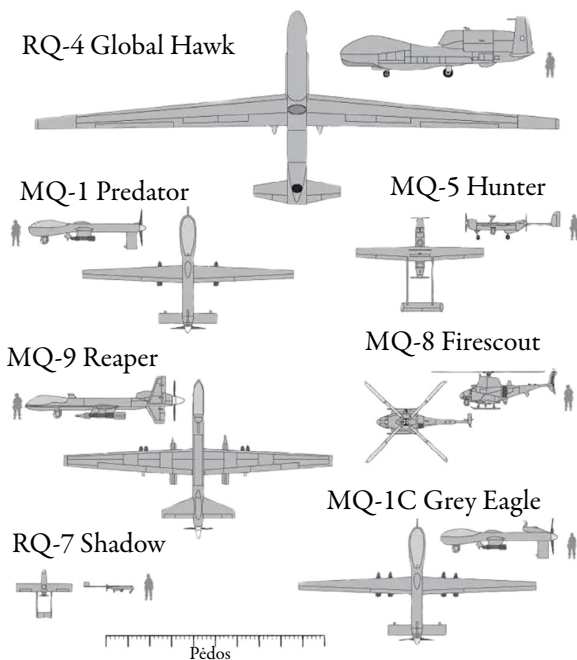
5.6 pav. a – biologinės saviorganizacijos pavyzdys: paukščių spiečiai (<https://globalguerrillas.typepad.com/globalguerrillas/2012/03/drones-and-operational-maneuverability.html>); b – ančiuvių spiečiai (Moofushi Kandu fish.jpg. CC BY-SA 2.5)

Pagal technines charakteristikas *dronai* skirstomi į kelias klases. 1 klasės (iki 150 kg) dronai gali veikti nepertraukiamai iki kelių valandų, skristi iki 80 km atstumu, išvystyti iki 100 km/h greitį ir pakelti iki 5 kg svorį. Tokie dronai paleidžiami ranka, nuo pneumatinės bėgelių sistemos, gali pakilti vertikaliai, gali nešti nedidelį kiekį sprogstamosios medžiagos. Iš esmės jie yra skirti žvalgybinėms užduotims atlikti. 2 klasės (150–600 kg) dronai gali išbūti ore iki 10 val., pasiekti 100–200 km atstumą, pakelti iki 70 kg svorį ir išvystyti iki 200 km/h greitį. Tokie dronai būna aprūpinti elektrooptiniais ir infraraudonųjų spindulių jutikliais, gali būti apginkluoti valdomomis „žemė-oras“ raketomis ir kt. 3 klasės (nuo 600 kg) dronas gali išbūti ore parą ar ilgiau, pakelti iki kelių šimtų kilogramų krovinį, pasiekti 300 km/h greitį ir nusukti kelių tūkstančių kilometrų nuotolį (5.7 pav.). Dauguma jų turi platų ginkluotės spektrą, o dalis tokių dronų skirti žvalgybos užduotims atlikti (Hollings, A., 2020; Sanders, A. W., 2017).

Įprastai karinių dronų pilotai dirba kompiuteriais tamsiuose kambariuose. *Dronų spiečiaus* pilotas savo dronus valdo pasitelkęs virtualiosios realybės akinius. Jis gali matyti tai, ką mato kiekvienas spiečiaus dronas. O kaip „bendrauja“ dronų spiečiai? Dideliam spiečiui susisiekti reikalinga ryšio sistema, kuri greitai keičiasi ir optimizuoja ryšį „daugelis su daugeliu“. Tokia sistema – tai dinaminis belaidis tinklas, paprastai žinomas kaip *belaidžio tinklo tinklas*. Spiečius galima laikyti tam tikru kvaziorganizmu, kuris, siekdamas konkretaus tikslo, gali prisitaikyti prie aplinkos pokyčių ar keisti savo elgseną (Hamann, H.; Schmickl, T., 2012). Dronų spiečius veikia autonomiškai, kad vienam operatoriui nereikėtų pačiam valdyti kelių dronų realiu laiku.

Decentralizuotoje sistemoje kiekvienas dronas „bendrauja“ su artimiausiu kaimynu tinklo stiliumi, kuris yra greitesnis, nes perduodama mažiau duomenų ir sukuriama dinamiškesnė veikla. Tai panašu į judėjimą minioje: kreipiamas dėmesys į artimiausius kaimynus, o ne į kiekvieną minioje esantį asmenį. Jūs nebūtinai matote kliūtis iš anksto, bet kai jų atsiranda, jūsų „artumo jutikliai“ liepia judėti ta kryptimi, kuri leidžia išvengti susidūrimo su kliūtimi ir aplinkiniais žmonėmis, o jie, savo ruožtu, daro tą patį. Toks elgsenų leidžia asmenims prisijungti prie minios arba ją palikti, nedarant didelės įtakos bendram srautui. Tai iš pažiūros paprasta užduotis žmonėms, tačiau sistemos kompiuteriai, veikiantys kaip dronų smegenys, turi

ELEKTRONIKOS APSUPTIS



5.7 pav. JAV kariniai dronai (2022 m., mastelis pateiktas pėdomis) (<https://www.sandboxx.us/blog/americas-military-drones-are-probably-a-lot-bigger-than-you-think/>)

atlikti šimtus skaičiavimų per sekundę. Šis ribojantis veiksnys kelia nemažų iššūkių, kai reikia apskaičiuoti, kiek dronų gali saugiai skristi vienu metu. Kokios yra spėčiaus savarankiško veikimo taisyklės? Keletas jų:

- išsirikiavimas ir judėjimas tą pačią kryptimi kaip ir kaimynai;
- sanglauda, t. y. siekis būti arti kaimynų;
- atstumo išlaikymas, t. y. vengimas susidurti su kaimynais.

Technologijų pažanga paprastai būna eksponentinė, todėl tai, kas šiandien atrodo sunku ar neįmanoma, bus elementaru netolimoje ateityje. Dažnai frazė „dronų spiečius“ reiškia, kad vienu metu naudojami keli dronai. Tačiau tikrame dronų būryje dronai „bendrauja“ ir „bendradarbiauja“, priimdami

kolektyvinius sprendimus, kur skristi ir ką daryti. Militarizuotame dronų būryje, vietoj 10 ar 100 skirtingų bepiločių orlaivių, spiečius sudaro vieną integruotą ginklų sistemą, kuriai vadovauja dirbtinis intelektas. Gerai, kad dar nėra jokių požymių, kad spiečius būtų priėmęs savarankiškus sprendimus, ką veikti, ką pulti ar žudyti.

Karinės pajėgos kuria, bando ir dalijasi kovos su spiečių technologijomis patirtimi. Veiksmingos kovos su dronais sistemos turi būti nebrangios, greitai įkraunamos ir galinčios vienu metu pasiekti kelis taikinius. Tokios sistemos turėtų būti įdiegtos didelės rizikos objektuose, pavyzdžiui, oro uostuose, ypatingos svarbos infrastruktūros objektuose ir vietose, kuriose būna valstybių vadovų. Realybė tokia, kad beveik jokios dabartinės kovos su dronais sistemos nėra skirtos operacijoms su dronų spiečiais. Dronų spiečius kelia pavojų, panašų į tradicinių masinio naikinimo ginklų pavojų. Padidėjęs dronų spiečiaus savarankiškumas leidžia valstybėms vienu metu naudoti daug daugiau dronų. JAV kariuomenės Gynybos pažangių tyrimų projektų agentūra (DARPA) patvirtino, kad žmogus gali telepatiškai valdyti visą dronų spiečių, naudodamas vieną į smegenis implantuotą mikroschemą. *Bepiločių orlaivių spiečiams* išaugus į *superspiečius* (1 000 ar net šimtai tūkstančių bepiločių orlaivių), joks žmogus negalės turėti reikšmingos kontrolės. Dronų spiečių karinė vertė kyla ir dėl sudėtingumo, ir dėl lankstumo. Būsiami spiečiai galės būti įvairaus dydžio, aprūpinti įvairiais keičiamais jutikliais ar ginklais. Spiečius taip pat gali turėti prisitaikančių savybių, tokių kaip savęs išgydymas, kai spiečius modifikuojasi, kad prisitaikytų prie kai kurių narių praradimo arba savęs sunaikinimo, siekiant įvykdyti vienos krypties misijas. Dronų spiečius taip pat greičiausia bus vis labiau integruotas į tam tikros formos dronų *motininį spiečių*. 2015 m. JAV karinio jūrų laivyno laboratorija išskraidino penkiasdešimt autonominių bepiločių skraidyklių. Jos buvo paleistos dviem spiečiais po dvidešimt penkis bepiločius orlaivius. Dronai patys priimdavo ribotus sprendimus, naudodamiesi sąsajomis, ir jiems prireikdavo tik dviejų žmonių. 2016 m. JAV išbandė trisdešimt vieno drono būrį, kuris buvo paleistas per keturiasdešimt sekundžių, ir ėmė vykdyti spiečiaus užduotis. Oro pajėgos intensyviai kuria *mikrodronų spiečius*. Mikrodronai yra palyginti pigūs, gana maži, todėl juos sunku aptikti. Didelis bepiločių orlaivių spiečius užgožia prieš radarą ir oro gynybą, nes vienu metu erdvėje atsiranda per

daug taikinių. Planuojama paleisti iki 1 000 mikrodroneų (15 cm dydžio) spiečius. Didelis pranašumas, kad bepiločių orlaivių spiečius kelia nedidelę riziką personalui ir karinius sprendimus priimantiems asmenims, o karinės organizacijos patiria nedideles išlaidas. Priklausomai nuo dronų spiečiaus dydžio, padaliniai beveik akimirksniu gali gauti nuolatinę ir nepertraukiamą informaciją apie priešininką bei jo taikinius ir juos sunaikinti. Jūroje žmonių nevaldomi *laivų spiečiai* gali toliau aptikti priešininko laivus, juos sekti ar atakuoti, sumažinti priešininko gebėjimą judėti ir manevruoti nepastebimai.

Bepiločių orlaivių spiečius kelia mirtiną pavojų visur, nes toks spiečius gali akimirksniu nužudyti bet ką, kas juda sausumoje, ore ar jūroje, užkirsti kelią priešininko judėjimui ir manevrams, paralyžiuoti jo sistemų veikimą. Dronų spiečiai turi ir pažeidžiamų pusių. Juos galima paveikti naudojant elektroninio trukdymo priemones, elektromagnetinius impulsus (jie gali sunaikinti lėktuvnešiuose, automobiliuose, ryšių sistemose, mobiliuosiuose telefonuose esančią elektroniką), taip pat lazerių spinduliuote, elektromagnetiniais ginklais, išmaniosiomis kulkomis, kibernetinėmis atakomis. Dėl elektroninių ryšių ir prieigos taškų kiekio, bepiločių orlaivių spiečius gali būti jautresnis kibernetinėms atakoms nei pavieniai dronai.

Autonominiai bepiločių orlaivių spiečiai artimiausiu metu vis dažniau pakeis tradicinius žmonių karinius dalinius. Ši realybė jau prasidėjo. Lauke dronų spiečius greičiausia ribos (kaip ir bet kurį karinį vienetą per visą istoriją) logistika. Šiuo atveju tai būtų dronų papildymas energija (mažiau – amunicija). Autonominiai dronų būriai veiks savarankiškai nuo mėnesių iki metų. Vadinasi, jie naudos energiją taupantį manevravimą, galės „užmigti“ ir vėl suaktyvėti, papildyti energija naudodami saulės ar vėjo energiją.

Dronų spiečius turi daug pranašumų, tačiau dronai susilpnėja ir gali būti neutralizuojami, kai susiduria su ginklu, kuris yra toks pat stiprus, greitas ir efektyvus. Vis dėlto, bet kokie dronų spiečių pranašumai yra tik laikini, žmonės ir sistemos ilgainiui prisitaiko. Visuomenė, net ir labiausiai įtemptoje, nepažįstamoje ir sudėtingiausioje aplinkoje, gali prisitaikyti ir „išnaudoti“ naujumą bei naujovės keliamus pažinimo iššūkius.

Nors spiečių technologijos daugiausia plinta skraidančių aparatų terpėje, jau galima pamatyti ir antžeminių transporto priemonių būrius. Robotų valdomų antžeminių transporto priemonių būriai taip pat yra integruojami

į karines operacijas. *Antžeminiai spiečiai* gali stebėti ir atakuoti „kiekvieną mūšio lauko centimetrą“, yra organizuota, savarankiška ir bendradarbiaujanti sistema. Be to, robotams ir žmonių nevaldomų antžeminių transporto priemonių spiečiams nereikia miego ar maisto, jų neblaško ir neriboja šališkumas, emocijos, patirtis ir fiziniai apribojimai. Žmonių nevaldomos antžeminės transporto priemonės ir robotika sparčiai tobulėja, todėl antžeminių spiečių naudojimas tikriausiai sparčiai plėsis.

Oro erdvė kol kas yra svarbiausia sritis, kurioje veikia bepiločių orlaivių spiečiai, tačiau *jūrų dronų spiečių* plėtra jau mažina šį atotrūkį. Panašiai kaip oro erdvėje, jūrų dronų spiečiai gali būti pritaikomi laivyno ir uosto gynybai, nuolatiniam stebėjimui virš vandens ir po juo, minų aptikimui. Žmonių nevaldomos jūrų transporto priemonės gali sąveikauti viena su kita, atskirti draugiškas ir priešų pajėgas. Tokius aparatus sunku aptikti, jie gali greitai priartėti ir taip sukelti precedento neturintį psichologinį šoką kariams ir civiliams.

Robotų ir dronų spiečių kūrėjai, kad geriau suprastume natūralių spiečių pranašumus ir silpnąsias vietas, naudoja biomimetiką. Mechaninių dronų spiečių pranašumai yra daug žadantys, tačiau (kaip skruzdėlių, širšių, žmonių, skraidančių dronų) šie spiečiai turi ir nemažai pažeidžiamų vietų.

Sekant spaudą gali susidaryti įspūdis, kad naudojant dronų spiečius karą galima laimėti pigiai ir lengvai, nes palyginti su pilotuojamomis transporto priemonėmis dronų spiečius yra nebrangus ir mažiau rizikingas karinėms organizacijoms ir personalui. Tačiau įsilaužėliai taip pat gali pasinaudoti dronų spiečiu, o tam tikri ginklai gali tokius spiečius sunaikinti. Nereikia pamiršti, kad dronų spiečių naudojimą dar riboja teisiniai, etiniai ir kultūriniai veiksniai.

Ar be karybos dronų spiečiai dar kam nors tinka? Apskritai, visuomenėje jaučiamas nepasitikėjimas purškimu iš oro. Žmonės prisimena purškimus ir trėšimus iš pilotuojamų orlaivių, kai šie skrisdavo kelių šimtų metrų aukštyje. Purškiant iš tokio aukščio atsiranda didelis purškiamų medžiagų lašelių dreifas, patiriami dideli purškiamų medžiagų nuostoliai, apipurškiamos teritorijos, į kurias neturi patekti cheminės medžiagos ar trąšos. Šiuolaikinis *dronas purkštuvus* skrenda apie trijų metrų aukštyje, 7–8 m/s greičiu, virš purkštukų įrengti rotorai ir propeleriai užtikrina, kad išpurkšti lašeliai būtų nukreipiami žemyn, į augalo lapiją ir nepasklistų tolyn į aplinką (5.8 pav.). Atliekami bandymai purkšti dronų spiečiais,



5.8 pav. Pasėlių purškimas dronų spiečiumi
(<https://medium.com/@clobotics/new-ways-autonomous-drones-are-saving-lives-and-infrastructure-515b2c4bd96e>)

kai vienas operatorius valdo daugiau nei vieną bepilotį orlaivį vienu metu. Vienas dronas per valandą gali nupurkšti apie 12 hektarų, o valdant kartu, tarkim, tris dronus, nupurškiamas plotas trigubėja. Nuo skėrių spiečių antplūdžių pasaulyje kenčia net 23 valstybės (Kenija, Etiopija, Uganda, Somalis, Eritrėja, Indija, Pakistanas, Iranas, Saudo Arabija ir kitos šalys). Kai kurios šalys (pavyzdžiui, Pakistanas), kuriose yra didelis skėrių spiečių pavojus, jau dabar pasėliams purkšti naudoja dronų spiečius.

Stichinių nelaimių, tokių kaip žemės drebėjimai ir potvyniai, metu būrys dronų galės ieškoti išgyvenusiųjų ir nukreipti juos saugiu keliu, taip pat pristatyti skubiosios pagalbos reikmenis spąstuose įstrigusiems žmonėms. Šiuo metodu taip pat galima sekti žmogų, kuris juda tokioje pačioje aplinkoje. Jei vienas bepilotis orlaivis pames iš akių taikinį, kiti jį suras ir nuves reikiama kryptimi. Šiuo metu dronų spiečiai programuojami pagal du scenarijus: „vabzdžiai“ arba „paukščiai“. Pirmuoju variantu dronai juda trumpais trūktelejimai, o tai reikalauja mažesnės skaičiavimo galios, antruoju – skrydis suprogramuotas ilgesniems ir sklantesniems maršrutams. Mokslininkai linkę pasirinkti antrąjį kelią, nes tobulėjant technologijoms „paukščių“ programavimas tampa prieinamesnis. Kitaip nei pavieniai dronai, tokia sistema gali judėti visiškai autonomiškai, todėl jos karinį potencialą sunku paneigti.

Pažangiąsias technologijas plėtojančios šalys kuria sistemas, gebančias užprogramuoti koordinuotą kelių šimtų ar tūkstančio dronų ataką vienu metu. Kiekvienas bepilotis orlaivis turi savo jutiklį ir skirtingą globalios padėties nustatymo sistemos (GPS) valdomą paskirties tašką, registruoja cheminę, meteorologinę ar kitą informaciją, gali mokslininkams pateikti platesnį vaizdą apie tai, kas vyksta uraganų ir viesulų epicentruose ar jų veikiamose teritorijose. Technologijos vystosi labai sparčiai, tad užmerkti akių jau nebegalima.

Dronų spiečius gali būti naudojamas artimoms vietovėms išžvalgyti. Pavyzdžiui, dronai gali skraidyti tarp pastatų ir įsitikinti, kad vietovė yra saugi ar bent jau tinkama konkrečiai misijai vykdyti. Dronų spiečius gali įvertinti ir patirtą žalą ar infrastruktūros pažeidimus. Jie gali įskristi ir į pastatų vidų. Inžinieriai dronų spiečiaus sistemai suteikė balso atpažinimo funkciją. Pilotas gali „bendrauti“ su savo dronais ir jiems duoti komandas. Kol kas tai yra neįtikėtina. 130 dronų spiečius karyboje yra tarsi iš fantastikos srities. Tai, kad visus šiuos dronus galės valdyti vienas žmogus – dar keisčiau. O tuo, kad tam bus naudojamos balso komandos ir virtualiosios realybės akiniai, apskritai sunku patikėti. Dideli dronai, aprūpinti galin-gesniais varikliais ir mikroprocesoriais, gali atlikti gana sudėtingas užduotis pagal juose nustatytą programą, tačiau mikrodronų būrys, kurių vienija bendra misija, gali apdoroti nurodytą plotą daug greičiau nei vienas didelis dronas (5.9 pav.).



5.9 pav. Dronų spiečius (Pawar, G. B., 2020)

Vienas žmogus negali vienu metu valdyti dešimties ar didesnio bepiločių orlaivių būrio, tačiau jei šią užduotį pavyks perkelti į algoritmus, tokios autonominės sistemos greičiausia bus panaudotos ir karo veiksmuose. Šiuo metu dronų spiečių pritaikymas vis dar yra ribotas.

Dronų spiečiai sparčiai tobulėja ir komercinėje srityje. Vienoje Prancūzijos parodoje keturi dronai ieškojo dviejų „blogiečių“, nešiojančių automatinius ginklus. Naudodami elektrooptines kameras, dronai automatiškai atpažino ieškomuosius ir perdavė duomenis apie jų buvimo vietą į vadavietę, o ieškomieji, dėl dronų skridimo aukščio, nežinojo, kad buvo pastebėti. Kituose bandymuose Prancūzijos saugumo tarnybos panaudojo bepiločių orlaivių spiečius, aprūpintus radiologiniais jutikliais, kad aptiktų „teroristus“ su „nešvariomis“ bombomis 8 000 žmonių minioje.

Kaip ir kiekviena nauja technologija, spiečiumi veikiantys įrenginiai gali kelti grėsmių. Viena tokių – grėsmė privatumui. Be tinkamo teisinio reguliavimo naudojami dronai, aprūpinti veido atpažinimo programine įranga, infraraudonųjų spindulių technologija, garsą registruojančiais ar įrašančiais įtaisais, galintys stebėti asmeninius pokalbius, be jokių abejonių, gali kelti privatumo teisių pažeidimo pavojų. Tarpusavyje sujungti dronų spiečiai leistų masiškai sekti transporto priemones ir žmones ne tik lokaliai, bet ir didelėse teritorijose.

Žmonėms svarbu, ar atsiradusi nauja technologija veikia aplinką. Ir jei veikia, kaip? Atrodo, kad spiečiai didelių problemų neturėtų kelti, tačiau dronų spiečiai gali didinti triukšmo taršą, sukelti diskomfortą ir rimtesnį poveikį žmonių, gyvenančių netoli oro koridorių, sveikatai, taip pat daryti neigiamą vizualinį poveikį miesto aplinkai.

Pasaulyje dronų spiečių plitimas kelia nestabilumo riziką. Ginkluotus, visiškai savarankiškus bepiločių orlaivių spiečius reikėtų priskirti prie masinio naikinimo ginklų dėl jų galimos žalos dydžio ir negebėjimo atskirti karinių ir civilinių taikinių. Jau XXI a. antrajame dešimtmetyje vykusiuose kariniuose konfliktuose dronai ar net jų spiečiai pradėti naudoti labai plačiai. Spiečius sustiprina rizikas, nes naudojant daugiau dronų ir sudėtingesnę taktiką galima lengviau įveikti esamą kokios nors teritorijos priešraketinę arba priešlėktuvinę apsaugą ar gynybą. „Savižudžiai“ dronai skraidina apie 50 kg sprogmenų ir gali užpulti bei sunaikinti elektros energijos tiekimo, komunikacijos ar ryšių sistemas, įvairius kitus karinius ar civilinius objektus (5.10 pav.). Kovinėms



5.10 pav. Irano gamybos „savižudžiai“ dronai „Shahed-136“: masė – 200 kg, kovinės galvutės svoris – 30–50 kg, veikimo diapazonas – 1 800–2 500 km, maksimalus greitis – apie 185 km/h (Shahed136lm.png. CC BY-SA 4.0)

operacijoms naudojami net labai paprasti dronai, skraidinantys tik 3 kg sprogmenų. Jų greitis – 72 km/h, skrydžio aukštis – 400 m, o skrydžio nuotolis – 50 km.

Manoma, kad ateityje bus labai daug bepiločių orlaivių, tačiau jie rems pilotuojamus orlaivius, o ne juos pakeis. Teroristams bepiločių orlaivių spiečiai taip pat atrodys patrauklūs, nes jais lengviau įveikti antžeminę gynybą ir vykdyti atakas prieš svarbius infrastruktūros objektus. Įsigiję bepiločių orlaivių spiečių teroristai galėtų įvykdyti chemines, biologines, radiologines, o gal net ir branduolines atakas. Valstybių saugumo tarnyboms reikia itin atidžiai stebėti ir sekti, kada teroristai siekia įsigyti bepiločių orlaivių spiečių (dideli bepiločių orlaivių pirkimai, dronų valdymo sistemų kūrimas ar modifikavimas). Be abejo, bepiločių orlaivių spiečiais susigundys ir narkotikų prekeiviai, nes net ir vienas mikrodronas gali pernešti per valstybių sienas nemažai narkotikų, o jų spiečius – dar daugiau. Aptikti ir numušti tokias mažas skraidykles ne tik sunku, bet ir brangu.

Spiečių proveržis ir kovos su jais galimybės

Pirmą kartą dronai buvo sukurti JAV ir Jungtinėje Karalystėje per Pirmąjį pasaulinį karą, nors nė viena šalis per karą jų nenaudojo. JAV naudojo

bepiločius orlaivius žvalgybos ir stebėjimo misijoms per Vietnamo karą (1955–1975) ir dažnai – ne tik stebėjimui, bet ir vykdant smūgius Irake (2003–2011) bei Afganistane (2001–2021). Dabar dronai kuriami ir naudojami daugiau nei 100 šalių. Daugiausia dronų gaminanti įmonė yra privati Kinijos įmonė DJI. 2021 m. DJI pagamino 54 % visų komercinių dronų pasaulyje.

Pavieniai bepiločiai orlaiviai jau kelis dešimtmečius naudojami mūšio lauke. 1973 m. Izraelis pradėjo naudoti nepilotuojamus orlaivių įrenginius (angl. *unmanned aerial vehicle*, UAV) stebėjimui realiuoju laiku, elektroniniam karui ir kaip jauką prieš aviacijai. XX a. devintojo dešimtmečio pabaigoje Iranas, Irano ir Irako kare, naudojo bepiločius orlaivius. 2019 m. dronai buvo panaudoti atakuoti naftos perdirkimo įrenginius Saudo Arabijoje. Per antpuolį įmonėje kilo dideli gaisrai, įrenginiai buvo uždaryti remontuoti, Saudo Arabijos naftos gavyba sumažėjo maždaug per pusę, o tai sudarė apie 5 % pasaulinės naftos gavybos ir destabilizavo pasaulines finansų rinkas. Dronų naudojimas parodė, kad tikslinga kurti ir naudoti pigias (1 000–3 000 Eur) skraidykles, kad būtų sunaikinta milijoninės eurų vertės priešininko turima ar naudojama įranga (energetinės infrastruktūros objektai, kuro ar ginklų sandėliai ir kita). Dažnai, vartojant terminą „dronų spiečius“, turima omenyje daug vienu metu naudojamų dronų. 2021 m. gegužę per konfliktą su Palestinos kovotojų grupuote „Hamas“ Izraelio gynybos pajėgos tapo pirmąja kariuomene, kovoje panaudojusia dronų spiečių. Tai išties buvo tikras dronų spiečius, nes dronai „bendravo“ ir „bendradarbiavo“ priimdami kolektyvinius sprendimus.

Spiečius – tai daugybės dronų, kurie palaiko ryšį vieni su kitais ir informuoja savo operatorių apie mūšio lauko įvykius, sistema. Dronų spiečiuje centrinis kompiuteris seka kiekvieną droną ir vadovauja spiečiaus narių bendram judėjimui. Dronų judesiai detalioje skrydžių valdymo versijoje apskaičiuoti taip, kad skrydžio trajektorijos būtų atskirtos ir neįvyktų susidūrimų. Atskiri dronai nedalyvauja priimant sprendimus. Karo specialistų tyrimai rodo, kad atakuojančių bepiločių orlaivių spiečius yra apie 50 % mažiau pažeidžiamas ir dėl priešininko gynybos apie 50 % patiria mažiau nuostolių. Gamtoje spiečius paprastai sudaro vienos rūšies gyvūnai, o aviacinių dronų spiečiuje gali būti skirtingos, kartu veikiančios skraidyklės. Vienos jų būna aprūpintos specialiais jutikliais, kitos skirtos į spąstus įvilinti, dar

kitos gali atakuoti kokį nors objektą arba atlikti ryšio tarp skraidyklių funkciją. Dabartiniai kariniai spiečiai apima dešimtis ar šimtus bepiločių orlaivių, tačiau gamtoje matome, kad būna daug didesnių spiečių, kuriuos gali sudaryti tūkstančiai ar dešimtys tūkstančių vienetų. Tokie spiečiai turėtų proporcingai didesnę naikinamąją galią. Nors dabartinės taisyklės reikalauja, kad kovinius bepiločius lėktuvus prižiūrėtų žmogus, tačiau spiečiuje veikiančių bepiločių orlaivių autonomiškumas reiškia, kad kai kuriems tai gali tapti neprivaloma priemone. Ginkluoti elektroninėmis sekimo radarų trikdymo priemonėmis, bombomis ir raketomis, bepiločiai orlaiviai leistų dronų spiečiui vykdant ataką panaudoti ginklų derinį, o neginkluoti dronai gali rinkti informaciją iš mūšio lauko ir informuoti ginkluotus dronus, kur tikslingiausia smogti.

2018 m. 13 bepiločių orlaivių bandė užpulti Rusijos Chmeimimo oro bazę Sirijos Latakijos provincijoje. Šie atakai skirti orlaiviai buvo surinkti šiaurės vakarų Sirijoje, o jų pasiekiamas nuotolis buvo iki 70 km. Manoma, kad virš Viduržemio jūros skridęs JAV karinio jūrų laivyno orlaivis perėmė dronų valdymą ir pradėjo ieškoti neapsaugotų zonų, per kurias dronai galėtų prasiskverbti, t. y. spiečius, susidūręs su Rusijos elektroninėmis gynybos priemonėmis, perėjo prie rankinio valdymo. Nors karinio jūrų laivyno „Poseidon“ klasės orlaiviai gali susisiekti su bepiločiais orlaiviais, viešai nebuvo įrodyta, kad orlaivis galėjo vadovauti dronų spiečiaus skrydžiui. JAV Gynybos departamentas planuoja pademonstruoti, kaip galima paleisti ir susigrąžinti bepiločių orlaivių spiečius iš transporto lėktuvo C-130 (Bridley, R.; Pasto, S., 2022).

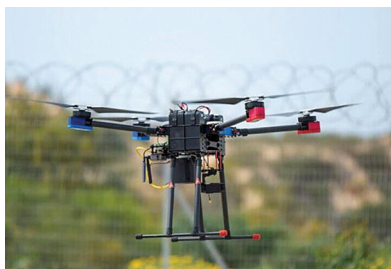
Visame pasaulyje kariuomenėse didėja atakos dronų spiečių skaičius. Turkija tapo pirmąja šalimi, panaudojusia dronus konvenciniame mūšio lauke didelėje, koordinuotoje atakoje Sirijoje. Jie buvo naudojami prieš pozicijoms atakuoti, sausumos pajėgų priedangai ir artilerijos žvalgybai. Indijos armija pirmą kartą pradėjo diegti dronų spiečių sistemas, galinčias vykdyti stebėjimo, žvalgybos ir atakos misijas, skraidinti šaudmenis ir bepiločiais orlaiviais gabenti krovinius dideliame aukštyje. Taip pat spiečiai atsparūs atšiaurioms oro sąlygoms, gali skristi 100 km/h greičiu ir smogti į taikinį iš karto daugybe dronų. Armėnija per 2020 m. karinį konfliktą patyrė daug nuostolių nuo azerbaidžaniečių bepiločių orlaivių atakų, nes Turkija perdavė Azerbaidžanui 144 karinius dronus. Vertindama susidariusią situaciją, Armėnija paskelbė apie naują iniciatyvą kurti atakos dronų spiečius.

Kilus įtampai su Kinija, Taivanas demonstruoja kovinius dronus, skirtus prieš radarams ar kitiems nepilotuojamiems koviniams orlaiviams naikinti. Dešimtys vienkartinį bepiločių orlaivių gabenami sunkvežimiu, o skrenda varomi propeleriniu varikliu. Daugybę dronų spiečių programų turi JAV ir Kinija. Su dronų spiečiais dirba Rusija, Indija, JK, Turkija. 2021 m. Izraelis bepiločių orlaivių spiečiams sukūrė dronus „Legion-X“, skirtus taikiniams netvarkingai užstatylose vietose nustatyti ir naikinti (5.11 pav.).

Dronus ar jų spiečius naudoja ir Šiaurės Korėja. 2022 m. ji per sieną su Pietų Korėja išsiuntė penkis dronus. Vienas pasiekė net Seulą, o paskui visi penki dronai grįžo į Šiaurę. Penkių valandų persekiojimo operacijoje dalyvavo naikintuvai ir atakos sraigtasparniai. Vienas persekiojimo lėktuvas („KT-1 Woongbi“) sudužo, nors ekipažas išgyveno. Buvo pripažinta, kad galimybė sustabdyti mažesnius šnipinėjančius dronus yra „ribota“.

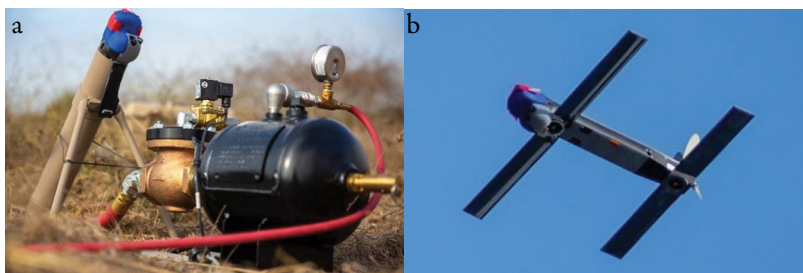
Jei bendrovės pradės pardavinėti nebrangius karinius arba komercinius dronus, kuriuos gali naudoti trečiosios šalys, pasaulinis dronų poveikis gali būti reikšmingas. Pavyzdžiui, turkiškas dronas „Bayraktar TB2“, galintis nešti keturias MAM raketas (lazeriu ir (arba) GPS/INS valdomų bombų šeima), buvo naudojamas Libijoje, Sirijoje ir Azerbaidžane, o vėliau, konflikto su Rusija metu, parduodamas Ukrainai po 5 mln. dolerių už vienetą. Vien 2022 m. TB2 dronai sunaikino per 750 sausumos transporto priemonių (įskaitant tankus), orlaivių ir artilerijos sistemų.

„Savižudžiai“ dronai yra nepilotuojami orlaiviai, aprūpinti sprogmenimis, dėl kurių dronas detonuoja susidūręs su kitu objektu. Ukrainos ir Rusijos konfliktas rodo, kad abi pusės naudoja „savižudžius“ bepiločius orlaivius. Rusija naudoja savo gamybos dronus „Zala KUB“, kurių skrydžio



5.11 pav. Rikiuote skrendantis Izraelio karinis dronas (Gross, J. A., 2021)

greitis – 80–130 km/h, gali išbūti ore 30 minučių ir pataikyti į taikinius maždaug 40 km atstumu. Dronai turi iki 3 kg masės kovinę galvutę, todėl yra pavojingi nešarvuotiems taikiniams. Rusija turi nuo 1 500 iki 2 000 orinio stebėjimo dronų, bet palyginti nedaug atakuojančių bepiločių orlaivių, galinčių tiksliai smogti taikiniams giliai prieš teritorijoje. Rusijos naudojami Irano gamybos dronai yra neaukšto technologinio lygio, nes juos valdo civilinė, lengvai stringanti GPS sistema. Ukraina naudoja daugiau kaip 500 amerikiečių gamybos „savižudžių“ dronų „Switchblade“. Dronus „Switchblade 300“ gali valdyti operatorius, esantis už 10 km, jie sveria 2,5 kg (todėl juos lengva transportuoti sausumos kariams), gali išbūti ore 15 minučių, greitis – 101 km/h (kruizinis) ir 160 km/h (atakos). Dronas yra veiksmingas prieš pėstininkus ir lengvas karines transporto priemones. „Switchblade 600“ veikimo diapazonas siekia 40 km, jis sveria 54,5 kg, gali išbūti ore 40 minučių, greitis – 113 km/h (kruizinis) ir 185 km/h (atakos). Dronas gali sunaikinti stipriai šarvuotas transporto priemones (5.12 pav.). Abu „Switchblade“ variantai gali būti paruošti paleisti per kelias minutes kaip suslėgtu oru iššaukiamas sviedinys. 2023 m. JAV planuoja perduoti Ukrainai per 1 000 nepilotuojamų dronų „Phoenix Ghost“. Dronas gali skraidyti iki šešių valandų ir žvalgyti teritorijas. Skrydžio nuotolis yra iki 40 km. Jis veiksmingas prieš vidutinius šarvuotus antžeminius taikinius, jame yra infraraudonųjų spindulių jutikliai, skirti dirbti naktį. Techninėmis charakteristikomis dronas panašus į „Switchblade“ klasės dronus.



5.12 pav. a – „Switchblade 300“ paleidimo blokas (dronui iš vamzdžio išstumti naudojamas suslėgtas oras) (Switchblade 300 unit.jpg, Viešo naudojimo); b – „Switchblade 300“ skrydžio metu (Switchblade 300 in flight (200902-M-EU630-1102) (cropped).jpg, Viešo naudojimo)

Dronų spiečių poveikis konvencinei karybai

Spiečius – tai daugybė vienu metu naudojamų dronų, kurie palaiko ryšį vieni su kitais ir informuoja savo operatorių apie mūšio lauko pokyčius. Spiečių gali sudaryti vienas ar keli dronų tipai.

Spiečių sistemos suteikia galimybių tiesiogiai pritaikyti dronus karinės žvalgybos ir stebėjimo misijoms. Kalbant apie nejudančius ir judančius taikinius, spiečiai gali būti išdėstyti taip, kad stebėtų ir taikinį, ir taikinio periferiją, įtariamo priešo junginį ieškant transporto priemonių srauto, judančio į vietą arba iš jos. Spiečiaus dronai gali vienu metu fiksuoti įvairių taškų nuotraukas, taip sumažindami vieno drono misijos laiką. Tai leidžia stebėti veiklos pokyčius, kai spiečius gali greitai ir periodiškai užfiksuoti plačiai paplitusio ploto vaizdą.

Bepiločių orlaivių spiečius taip pat turi reikšmės remiant saugumo ir gynybos misijas. 2020 m. JAV oro pajėgos atliko modeliavimą, siekdamos iširti, kaip nebrangūs kariniai spiečiai gali apginti Taivaną ir JAV bazines Japonijoje nuo Kinijos armijos atakų. Spiečius teoriškai gali valdyti dirbtinis intelektas, todėl karo vadai gali sutelkti dėmesį į kitas kylančias problemas ar jų pokyčius. Dronai gali iš dalies neutralizuoti priešą pranašumą ore, suklaidinti, kad būtų sunkiau aptikti radarus, taip pat apsaugoti laivyną ar sausumos pajėgas.

Įrodyta, kad spiečiai yra labai veiksmingi atliekant puolimą. 2020 m. Kalnų Karabacho kare Armėnijos pajėgos sustabdė Azerbaidžanas, nepaisant to, kad Armėnija turėjo modernesnę įrangą ir daugiau karių. Pagrindinė to priežastis, kad azerbaidžaniečių pajėgos panaudojo daug bepiločių atakos orlaivių, kurie sunaikino beveik 250 šarvuočių ir 40 oro gynybos sistemų. Vėliau, kai spiečius smarkiai apgadino Armėnijos sausumos ir oro gynybos pajėgas, azerbaidžaniečių pajėgos pradėjo mechanizuotas pėstininkų operacijas. Spiečiai sunaikino daug karinių priemonių, susilpnino Armėnijos galimybes kariauti žemėje ir ore bei suteikė azerbaidžaniečiams galimybę smogti lemiamą smūgį.

Vis daugiau šalių kuria savo dronų modelius. Tai ypač pasakytina apie Kiniją, Prancūziją, Indiją, Jungtinę Karalystę ir Turkiją. Kalbant apie civilinių dronų rinką, Kinija ir Prancūzija pagal pasaulinius pardavimus jau lenkia Jungtines Amerikos Valstijas.

Kovos su spiečiais priemonės

Kai vis daugiau šalių pradeda naudoti dronų spiečius, reikia ieškoti būdų, kaip nuo jų apsiginti. Yra surasta nemažai sėkmingų gynybos priemonių – tai mikrobangų ir lazerių spinduliuotė, elektroninio trukdymo sistemos, objektų statyba po žeme ir kova su spiečiais pasitelkiant kitus dronus.

Kai naudojami *kulkosvaidžiai* ir *oro gynybos sistemos* – tiek kartu, tiek atskirai – patiriama nesėkmių. Kulkosvaidžių šaudymą riboja šaudymo kampas, be to, esant didesniai atstumui ir ribotam matomumui, pvz., naktį ir esant nepalankiam orui, jie praranda tikslumą. Oro gynybos sistemos negali nustatyti taikinių, skrendančių mažame aukštyje, nes jos skirtos dideliame aukštyje skriejančioms priešo raketoms naikinti.

Skirtingai nuo kulkosvaidžių ir oro gynybos sistemų, *radijo dažnio (RF) energijos perdavimas* mikrobangų spektre duoda gerų gynybos rezultatų. Vis dėlto, radijo dažnio technologijos tik pradeda vystytis ir neturtingesnėms šalims jos kainuoja per brangiai.

Taip pat naudojamos ir *lazerių technologijos*. Didelės galios lazeriai gali įkaltinti taikinius, kol komponentas ar aparatas sugenda. Suporuotos su sekimo radaru, lazerinės sistemos gali smogti į taikinius labai tiksliai ir stipriai. Tačiau rūkas, debesys ar dūmai gali išsklaidyti lazerio spinduliuotės energiją, o atspindintys paviršiai susilpninti ir nukreipti lazerio energiją toliau nuo taikinio. Todėl lazerių naudojimas greičiausia bus nepatikimas tokiomis oro sąlygomis arba prasto matomumo vietose. Kita vertus, dronai gali būti padengti lazerio spinduliuotę atspindinčia danga, kuri leidžia apsaugoti savo spiečių.

Tradiciskesnis būdas kovoti su spiečiais yra *dronų trukdymo sistemos*, kurios trikdo radijo dažnius, operatorių naudojamus dronams valdyti. Tai gali būti ypač veiksminga prieš žemos kokybės dronus. Tinkamai parinkti trikdžiai sutrikdo drono skrydžio trajektoriją, todėl dronai nuklysta arba sudūžta. Ukraina naudoja lenkų gamybos dronų trikdymo įrenginius, tačiau jų veikimo nuotolis siekia tik 10 kilometrų.

Pasyvus apsisaugojimo nuo dronų spiečių atakų būdas – įrengti potencialiai svarbius objektus ir ginklų sistemas po žeme. Tradiciškai svarbūs įrenginiai ir ginklai slepiami nuošaliuose vietose, kur jų negalima stebėti ar pasiekti. Tačiau, nors kai vis daugiau naudojama oro erdvės stebėjimo

priemonių, mažiau tikėtina, kad objektas bus identifikuotas, jei jis yra po žeme. Vis dėlto, statybai po žeme reikia daug laiko ir finansinių išteklių.

Papildomas būdas kovoti su priešininko spiečiais yra naudoti *gynybinius dronus*. Bepiločiai orlaiviai gali sunaikinti kai kuriuos besiveržiančius dronus, o besiveržiančiam spiečiui pasiūlo daugiau taikinių, kurie gali sutrikdyti spiečiaus misiją ir pristabdyti jo puolimą. Nors yra daugybė kovos su dronų spiečiais būdų, tačiau visi jie turi reikšmingų trūkumų. Tobulėjant bepiločių orlaivių galimybėms, taip pat augs dronų spiečių skaičius. Greičiausia vis daugiau valstybių svarstys galimybę savo kariniame arsenale naudoti dronų spiečių.

Dronų spiečius vienu metu gali veikti keliose srityse, įskaitant įvairių tipų ginklų skraidinimą ir įvairios paskirties jutiklių naudojimą. Norint valdyti šią sudėtingą sistemą, reikia turėti skirtingų tipų dronų rūšių tipologijas. Naudingiausia tipologija, kai dronai skirstomi į kategorijas dronų būryje pagal jų vaidmenį spiečiuje. Be to, dronų spiečius gali turėti skirtingus dronų tipų derinius, atsižvelgiant į misiją. Pavyzdžiui, povandeninių dronų spiečius, skirtas povandeninių laivų paieškoms, atrodo visiškai kitaip nei oro spiečius, slopinantis priešo oro gynybą. Kad bepiločių orlaivių spiečius būtų lankstus, jame būna atakos, jutiklių, ryšio, jauko ir motininių laivų dronai.

Atakos dronai turi ginklų ar sprogmenų, skirtų smūgiuoti į priešo taikinius. Tai gali būti bet koks ginklų rinkinys – šaunamieji ginklai, bombos, raketos, elektroninės atakos priemonės, cheminiai ginklai, cheminio ginklo dezinfekavimo priemonės ir kita. Naudingojo krovinio dydį ir rūšį, žinoma, ribos drono dydis. Įvairių tipų atakos dronai gali būti naudojami kombinuotų ginklų taktikai. Vienas dronas gali gabenti prieštankinę raketą, kiti – bombas ar šaunamuosius ginklus.

Jutikliniai dronai fiksuoja informaciją apie aplinką. Ši informacija gali būti naudojama spiečiui nustatant taikinius ir išvengiant priešininko keliamų grėsmių. Surinkta informacija gali būti dalijamasi su platesniu dronų spiečiumi, siekiant pakeisti judėjimo kryptį, vykdyti atakas arba priimti paprastus spiečiaus elgesiui svarbius sprendimus. Įprasti jutikliai yra elektrooptiniai, infraraudonieji ir LIDAR (įrenginiai atmosferos užterštumui tirti) tipo šviesos aptikimo ir nuotolio nustatymo jutikliai. Taip pat gali būti naudojami specializuoti cheminių, biologinių ar radiologinių medžiagų jutikliai.

Dronai su skirtingais jutiklių tipais gali plačiau pasklisti po teritoriją, rinkti žvalgybos informaciją, identifikuoti taikinius arba stebėti galimas priešininko atakas. Kai dronas nustato dominantę objektą, jis gali pasidalyti informacija su platesniu spiečiumi, galbūt pritraukti daugiau jutiklius turinčių dronų, kad galėtų ieškoti panašių ar svarbių objektų.

Kare labai svarbus veiksnys yra *dronų spiečių pažeidžiamumas*. Pagrindinė dronų spiečiaus savybė yra susisiekimas tarp dronų. Taigi, šio ryšio trikdymas ar manipuliavimas yra akivaizdus būdas sutrikdyti visą dronų būrį ar juo manipuluoti. Elektroninė ataka gali būti nukreipta į ryšį tarp dronų arba į signalus tarp bet kurios antžeminės valdymo stoties ir dronų.

Ryšio dronai padeda užtikrinti, kad dronų spiečius išliktų vientisas. Dronai gali tarnauti kaip perdavimo mazgai ryšiams iš išorinių šaltinių, suteikti alternatyvų komunikacijai tarp spiečių, stiprinti ryšio signalą priešo trukdymo atveju arba pateikti avarinio atsitraukimo nurodymus neužblokuotais dažniais.

Spiečius atakos metu gali prarasti kelis dronus, tačiau, jei jų pateks į puolamą erdvę pakankamai, vis tiek galima laimėti palyginti mažomis sąnaudomis. *Jaukų* arba *apgaulės dronai* gali apsaugoti vertingesnius dronus nepatiriant didesnių išlaidų, nes jiems nereikia jokių integruotų ginklų, jutiklių ar kitų naudingų krovinių. Žinoma, dronus-jaukus galima padaryti įmantresnius. Jie gali būti sukurti taip, kad gynėjai patikėtų, jog jie iš tikrųjų yra pilotuojami orlaiviai. Pavyzdžiui, per 1973 m. karą Izraelis naudojo bepiločius orlaivius, siekdamas apgauti Egipto oro gynybą, kad jie įjungtų radarus ir šaudytų į netikrus taikinius. Tai ne tik iššvaistė Egipto amuniciją, bet ir padėjo Izraeliui nustatyti Egipto gynybos vietas.

Motininiai dronai padeda nugabenti dronų būrį į mūšio lauką ir iš jo, taip pat gali padėti įkrauti, perginkluoti ar atlikti bendrą priežiūrą. Kadangi jie turi būti daug didesni nei visi juose esantys dronai (ir dėl to jiems reikia žymiai daugiau galios), motininiai dronai taip pat gali palaikyti platesnį būrio ryšį ir integraciją. Kai kuriais atvejais viename motininio laivo drone yra kitas motininis dronas. Pastaruoju metu karo specialistai eksperimentuoja, koks atakos, jutiklio, ryšio, jauko ir motininio laivo dronų derinys yra veiksmingiausias įvairiomis aplinkybėmis. Remdamasis surinkta žvalgybos informacija apie galimas grėsmes, vadas gali keisti dronų skaičių ir tipą, kad

pasirengtų galimai elektroninei atakai, arba pridėti konkrečių tipų atakos dronų, skirtų, pavyzdžiui, tankams ar pėstininkų junginiams.

Dronai nebėra vien tik mokslinėje fantastikoje ir nuotykių romanuose aprašomi orlaiviai. Civiliniam naudojimui skirtų bepiločių orlaivių universalumas, paskirties įvairovė ir prieinamumas lėmė nuolat augantį populiarumą tarp vartotojų.

Bepiločius orlaivius iš pradžių kūrė kariškiai kariniams tikslams. Bepiločių orlaivių pritaikymas labai platus – nuo įvairių užduočių, panašių kaip civilinių bepiločių orlaivių (pvz., stebėjimas ir žvalgyba, tačiau nukreipiant į karinius ar žvalgybos taikinius), iki kovos su nepilotuojamais koviniais orlaiviais. Dabar bepiločius orlaivius kariniais tikslais gali naudoti ne tik teisėtos ginkluotosios pajėgos, bet ir teroristai ar kiti nevalstybiniai veikėjai. Pigesnių, lengviau ir greičiau pagaminamų bepiločių orlaivių paplitimas ne tik pakeičia stebėjimo ar žvalgybos būdus, bet ir suteikia naujų būdų įbauginti galimus priešininkus ar sukelti jiems problemų. Be to, šis pigių nepilotuojamų padalinių paplitimas akivaizdžiai padidina konfliktų riziką visame pasaulyje. Iš tiesų, dronai gali būti nesavarankiški (reikia nuolatinio žmogaus piloto valdymo) arba visiškai autonominiai (užprogramuoti vykdyti savo misiją be jokio tolesnio žmogaus įsikišimo, kai tik paleidžiami).

Ateityje gynyba nuo dronų turi tapti bet kokios visavertės, ilgalaikės karinės dinamikos dalimi. Taigi, ginkluotosios pajėgos turės prisitaikyti prie šios naujos realybės. Pakeitimai, reikalingi atsakant į nepilotuojamas grėsmes, nėra vien conceptualūs – jie turės virsti veiklos pokyčiais. Šie pokyčiai turi vykti ne tik konvencinių pajėgų, besiginančių nuo bepiločių orlaivių (ypač sausumoje ir jūroje), ir bepiločių orlaivių dislokuojančių pajėgų, besiruošiančių kovoti su bepiločiais orlaiviais, lygiu, bet ir vadovavimo bei strateginio karinio personalo lygmeniu.

Per XXI a. pirmuosius du dešimtmečius technologijų proveržis igavo drastišką pagreitį. Šis proveržis prisidėjo prie daugybės sričių plėtos: biologijos mokslų (biotechnologija, genų inžinerija, įskaitant genomo redagavimą, pažinimo mokslas ir kt.), kompiuterių mokslų ir informacinių technologijų (didieji duomenys, dirbtinis intelektas, socialinė žiniasklaida ir socialinė inžinerija, daiktų internetas, kvantinis mokslas, kompiuterija ir kt.), taip pat inžinerijos (techninės įrangos plėtra, robotika, nanotechnologijos, naujos medžiagų

technologijos, kibernetinės sistemos, belaidės technologijos, alternatyvaus kuro ir energijos sistemos, autonominės transporto priemonės ir kt.). Mokslo pažangos poveikis visuomenei yra toks reikšmingas, kad kai kurie autoriai dabartinių laikotarpių laiko ketvirtąją pramonės revoliucija. Iš tiesų, dronai yra įvairių technologijų „lydinys“, pradedant dirbtinio intelekto ir baigiant medžiagų (įskaitant 3D spausdinimą) bei energetikos mokslų plėtra. Jie įkūnija naujų technologijų konvergenciją bei sąląją. Jau turimos arba artimiausiu metu galinčios atsirasti naujovės gali būti pritaikytos dronams (Guitton, M. J., 2021):

– *išmanioji elektronika*. Elektroninių sistemų, įskaitant jutiklius, aparatinę ir programinę įrangą, pažanga tiesiogiai didina dronų patikimumą, ji yra bepiločių orlaivių širdis ir šerdis;

– *ryšys, sujungiamumas ir sąveikumas*. Bepiločiams orlaiviams „bendravimas“ yra labai svarbus norint palaikyti ryšį su savo pilotais arba leisti nuo GPS priklausomą arba nuo GPS nepriklausomą navigaciją. Bepiločiai orlaiviai gali būti prijungti prie įrenginių, tokių pat įprastų kaip ir mobilieji telefonai. Tačiau šis bepiločių orlaivių ryšys ir sąveika su kitomis sistemomis yra kaip dviašmenis kardas, nes jis gali leisti priešui prasiskverbti į įslaptintas sistemas;

– *realaus laiko geolokalizacijos technologijos*. GPS ir kitos palydovinės technologijos nepaprastai padidino navigacijos galimybes. Atsiradus multimodalinėms ir kombinuotoms geolokalizacijos technologijoms dronai tampa vis atsparesni trukdymo bandymams;

– *energetikos mokslas*. Baterijų inžinerijos pažanga (tiek mažinant dydį, tiek didinant talpą) tiesiogiai veikia bepiločių orlaivių autonomiją, didina jų skrydžio nuotolį ir galimybes;

– *medžiagų mokslas*. Kuriant lengvesnes ir atsparesnes medžiagas, mažėja bepiločių orlaivių svoris, didėja jų ilgaamžiškumas ir galimas naudingasis krūvis. 3D spausdinimas palengvina didelio kiekio dronų gamybą ir mažina jos sąnaudas;

– *kovos galvūčių technologijos*. Ginklų kūrimo pažanga leido sukurti mažas kovines galvutes, kurios yra daug pavojingesnės nei ankstesniosios. Kaip ir pilotuojami orlaiviai, dronai gali gabenti raketas. Dronai gali veikti kaip platforma autonominėms kovinėms galvutėms priartinti prie puolamų objektų daug arčiau nei įprastas orlaivis, nepriartinant piloto prie grėsmingos zonos;

– *dirbtinis intelektas*. Palaikomas patobulintų jutiklių dirbtinis intelektas leis dronams tapti visiškai autonomiškais įrenginiais.

Dronų gamyba nebėra iššūkis, o įgyti reikiamų žinių dronams gaminti šiais laikais yra paprasta. Technologijų, tokių kaip 3D spausdinimas, atsiradimas panaikino daugybę gamybos problemų, o dronų gamyba taip pat ne išimtis.

Iš įvairių bepiločių orlaivių savybių kelios jų turi didelę reikšmę būsimoms karinėms reikmėms. Tai ypač pasakytina apie jų mažą dydį ir didelį manevringumą, nedideles gamybos sąnaudas, galimybę vienam operatoriui vienu metu valdyti kelis dronus ir galimybę bepiločiams orlaiviams būti pusiau autonominiams ar net visiškai autonominiams.

Biologinių sistemų mėgdžiojimas, taip pat žinomas kaip biomimikrija, buvo pagrindinis dronų kūrimo veiksnys. Nuo drono formos iki jutiklių sistemų ir elgsenos skrydžio metu drono technologija buvo labai įkvėpta gamtos – dažniausiai vabzdžių ir paukščių. Įdomu tai, kad „spiečių“ sąvoka buvo numatyta kaip vienas svarbiausių iššūkių, su kuriais ateityje turės susidurti karinė strategija. Dronų spiečius būtų gana geras skėrių spiečių apraiškos pavyzdys. Tokio tipo mechaninį spiečių būtų taip pat sunku atremti, kaip ir jo biologinį atitikmenį.

Dronų spiečių veikimas realiuose mūšio laukuose priklauso mažiausiai nuo trijų veiksnių: dronų spiečiaus dislokavimo, jų savarankiškumo lygio ir koordinavimo laipsnio. Greitai dislokuoti daugybę bepiločių orlaivių galima nesunkiai, naudojant vos kelių sunkvežimių ar panašių, konteinerius gabenančių, transporto priemonių parką. Masinis bepiločių orlaivių dislokavimas nekelia didesnių problemų, tačiau sėkmingam jų valdymui kovinėje situacijoje gali prireikti didelių logistinių išteklių. Iš tiesų, dronų, kuriuos gali valdyti vienas operatorius, skaičius yra ribotas. Pagrindinis parametras norint įveikti šį apribojimą yra padidinti dronų autonomijos laipsnį. Visiškai autonominiams dronams net nereikia palaikyti ryšio su savo operatoriumi – taip sumažėja jų ryšio ir elektroninių sistemų užstrigimo rizika. Nors visiškai įmanoma dislokuoti daugybę autonominių dronų, bepiločių orlaivių koordinavimas būryje kelia kitų problemų. Tačiau norint koordinuoti daug spiečių prireiktų didelės skaičiavimo galios, kuri netrukus gali būti pasiekta naudojant dirbtinį intelektą. Kaip optimizuoti žmogaus ir spiečiaus ryšį bei palaikyti spiečiaus navigacijos kontrolę – pagrindiniai bepiločių orlaivių spiečių eksploatavimo kariniame kontekste klausimai.

Nors šiuo metu dronų spiečių veikiančiuose mūsų laukuose dar nėra daug, jie jau yra realybė, su kuria karinė strategija turės susidurti artimiausioje ateityje.

Tam tikru mastu pasyvią apsaugą nuo dronų gali užtikrinti fizinės infrastruktūros projektavimo ir statybos būdas arba jų vieta. Iš tiesų, dronai yra orlaiviai. Kaip ir bet kokio oro puolimo atveju, drono taikinyi turi būti pasiekiamas iš viršaus, kad būtų pataikyta. Požeminius objektus ir stipriai ekranuotus taikinius sunkiau sunaikinti tokio tipo kovinėmis galvutėmis, kurias gali neštis dronas. Pagal šiuolaikinius Žemės vaizdus iš kosmoso Žemėje praktiškai nėra nė vienos vietos, kurią būtų galima iš tikrųjų laikyti „nutolusia“. Dėl palydovinių vaizdų šiais laikais utopiška manyti, kad galimas struktūrinis taikinyi gali likti nelokaluotas arba kad karinių dalinių judėjimas gali likti nepastebėtas. Kaip nepilotuojamos transporto priemonės, dronai labai priklauso nuo geolokalizacijos sistemų, kad galėtų patekti iš paleidimo bazės į tikslą. Taigi, dronai yra pažeidžiami technologijų, kurios blogina GPS signalų tikslumą, ypač GPS klaidinimo ir GPS trukdymo. Dronai gali naudoti įvairius kitus jutiklių metodus, kad galėtų naršyti aplinkoje, kurioje neleidžiama naudoti GPS, pradedant vizualiniu režimu, infraraudonaisiais spinduliais, radaru, sonaru (povandeniniams dronams), elektroniniu / elektromagnetiniu aptikimu, baigiant bet kurio iš šių metodų deriniu.

Aptikti droną yra gana sudėtinga užduotis. Dėl mažo daugumos UAV dydžio dronų radarai nesiskiria nuo paukščio. Be to, kai kurie bepiločiai orlaiviai turi dangą, skirtą radaro signalui mažinti. Todėl pasikliauti vien radaru nėra perspektyvus pasirinkimas. Reikia kurti alternatyvius metodus, kaip aptikti artėjančius dronus. Belaidis arba palydovinis ryšys gali būti išjungtas artėjant prie taikinio, jei dronas persijungia į alternatyvius valdymo režimus – ypač tai pasakytina apie visiškai autonominius dronus, kuriems nereikia palaikyti ryšio su savo operatoriumi. Vizualinis atpažinimas gali būti naudojamas dronams identifikuoti. Tačiau atpažinti modelį gana sudėtinga, nes dronai paprastai juda dideliu greičiu (Drones and Operational Maneuverability, 2012).

Manevrus ore atliekančius dronus galima sekti pagal jų skleidžiamą triukšmą. Šiuo metu kuriami įvairūs garso apdorojimo metodai dronų lokalizacijos problemai išspręsti. Tačiau kelios svarbios problemos riboja akustinio drono aptikimą realiose situacijose, nes dronai paprastai juda ir jų sukuriamas

triukšmas yra dinamiškas. Be to, dronų generuojamas triukšmas paprastai turi labai žemą signalo ir triukšmo santykį. Kitaip tariant, aptikti dronus triukšmingoje aplinkoje yra gana sunku.

Dronai, kad ir kokie yra modernūs įrenginiai, turi ir trūkumų, todėl gali būti sukurtos atsakomosios priemonės jų atakoms atremti. Kad būtų užtikrintas maksimalus kovos su dronais efektyvumas, optimalios kovos su dronais strategijos turėtų derinti kelis metodus (5.1 lentelė).

5.1 lentelė. Atsakomosios priemonės prieš dronus ir jų apribojimai

Atsakomoji priemonė	Poveikis taikiniui	Ribojimai
Tiesioginė ugnis	Naikinimas	Taikinių dydis, skaičius, matomumas
Medžioklės dronai	Naikinimas	Taikinių skaičius, matomumas, „įgimtos“ dronų silpnybės, diegimo laikas
Raketos	Naikinimas	Kaina
Lazeriniai ginklai	Naikinimas	Atmosferos sąlygos, dūmų uždangos, tikslinė drono paviršių danga
Mikrobangų ginklai	Elektronikos sugadinimas	Elektronikos pažeidimas
Elektroninis trukdymas	Elektronikos išjungimas, kontrolės perėmimas	Elektronikos pažeidimas
Gynyba nuo dronų spiečiaus	Individualūs sunaikinimai, spiečių sutrikdymas ar sunaikinimas	Tikslaus atsako trikdymai, diegimo laikas

Tiesioginė ugnis paprastai yra pagrindinis atsakas į dronų atakas. Pažymėtina, kad tiesioginę ugnį gali vykdyti šauliai arba automatinės priešlėktuvinės gynybos sistemos. Tačiau šis sprendimas turi keletą apribojimų. Pirma, dronai gali būti palyginti maži, o taikinio dydis gali būti iššūkis šaudant. Antra, tiesioginę ugnį gali trukdyti matomumo stoka (dėl dienos ar nakties ciklo, kliūčių matymo linijoje ar atmosferos sąlygų). Trečia, tiesioginę ugnį lengvai įveikia dronų spiečiaus ataka.

Besiginantieji gali naudoti dronus (*medžioklės dronai*), kurie pultų prieš dronus. Tokiose situacijose gynėjai, valdydami savo dronus, turi keletą didelių pranašumų. Kadangi besiginantys dronai paprastai veikia labai arti paleidimo taško, autonomija nekelia problemų – priešingai nei atakuojantys dronai, kurie, prieš pasiekdami tikslą, turi įveikti didesnę atstumą. Be to, nors besiginantis bepilotis orlaivis gali būti naudojamas kaip skraidanti šaudymo platforma (jei turi atitinkamą ginkluotę), jis taip pat gali būti naudojamas „susinaikinimo režimu“, siekiant sunaikinti atakuojančius dronus tiesioginio susidūrimo būdu. Droną galima valdyti vizualiai iš tiesioginio matymo linijos maždaug 245 m atstumu. Šis atstumas priklauso nuo žmogaus padėties ir gebėjimų, o ne nuo drono tipo.

Bepilotiems orlaiviams naikinti gali būti naudojamos *raketos* ir kitos *autonominės kovinės galvutės*. Raketos yra pakankamai greitos ir tikslios, kad sunaikintų bet kokią drono tipo skraidyklę. Tačiau tai tiesiogine prasme panašu į plaktuko naudojimą musei nužudyti. Nors teoriškai įmanoma, autonominių raketų naudojimas dronams naikinti nėra ekonomišką sprendimas. Ir nors dronai vis pinga, raketų gamybos išlaidos išlieka didelės. Tai, kad autonominės raketos yra vienkartiniai ginklai, taip pat prisideda prie to, kad šis sprendimas yra per brangus, jog būtų realiai pritaikomas dideliu mastu.

Lazeriniai ginklai yra kryptingos energijos ginklai, pagrįsti lazerine spinduliuote, t. y. sistemomis, nuosekliai sklaidžiančiomis elektromagnetinės spinduliuotės sustiprintą šviesą siauro pluošto pavidalu. Pasiekęs tikslą, lazerio spindulys perduos taikiniui didelį energijos kiekį, todėl taikiny s užsidegs ar bus kitaip sugadintas. Lazeriniai ginklai puikiai tinka mažiems judantiems taikiniams, tokiems kaip dronai, naikinti. Vis dėlto, lazeriniai ginklai yra labai jautrūs atmosferos sąlygoms ir dūmų uždangoms. Be to, lazerio poveikis gali labai susilpnėti, jei šviesa atsispindi nuo taikinio. Dronai, padengti abliatyvinėmis medžiagomis arba veidrodžiais, gali veiksmingai kovoti su dauguma lazerinių ginklų arba bent jau žymiai mažinti jų efektyvumą.

Dronų veikimas priklauso nuo daugelio įmontuotų sistemų, jutiklių ir autonominių apdorojimo sistemų darbo. Sunaikinti elektroniką prilygsta drono išjungimui. *Mikrobanginiai ginklai* būtent tam ir skirti. Kaip ir lazeriniai ginklai, mikrobanginiai ginklai yra kryptingos energijos ginklai.

Nors kai kurie lazeriniai ginklai jau veikia, tačiau mikrobanginiai ginklai šiuo metu dažniausiai yra tik eksperimentiniai.

Užuot bandžius sunaikinti drono elektronines sistemas, naudojant, pavyzdžiui, mikrobanginius ginklus, kita kovos su dronu strategija – pasinaudoti šiomis sistemomis ir joms būdingu ryšiu (*elektroninis trukdymas*). Net ir patys autonomiškiausi dronai navigacijos tikslams turi pasitelkti išorines sistemas, pavyzdžiui, GPS signalus. Taigi, dronai tarpusavyje yra sujungti belaidžiu ryšiu (*Wi-Fi*), GPS ryšiu ar radijo bangomis. Per kiekvieną iš šių ryšio kanalų galima patekti į vidines dronų valdymo sistemas. Dronai yra jautrūs GPS klaidinimui, GPS atakoms, trikdžiams, dronams kenkėjiskoms programoms ir belaidžio ryšio atakoms. Atakos prieš bepiločio orlaivio elektronines sistemas ar funkcijas gali turėti įvairių tikslų: a) pateikti klaidingą informaciją bepiločio orlaivio navigacinėms sistemoms, sukelti drono „aklumą“ ir dezorientaciją, dėl ko dronas gali būti nukreiptas kitu maršrutu arba sukelti jo avariją; b) įsilaužti į drono sistemas ir sugadinti aparatinę / programinę įrangą arba gauti informacijos ar duomenų; c) perimti drono valdymą. Užgrobimas atliekamas atjungiant droną nuo pradinio valdiklio ir pakeičiant šį ryšį. Pažymėtina, kad drono užgrobimas gali būti atliktas naudojant kitą droną kaip platformą. Užgrobiamas bepilotis orlaivis perims netoliese esančių dronų valdymą, skrisdamas tarp jų, taip sukurdamas „pavergtą“ dronų parką. Galima įdiegti kibernetinio saugumo ir programine įranga pagrįstus metodus, kad būtų sunkiau įsilaužti į dronų sistemas (naudoti šifravimą bibliotekos failams apsaugoti ir įrankius (obfuskatorius) programos saugumui didinti, tikrinti GPS delsą ir antrinius duomenis, taikyti *Wi-Fi* ir atvirų prieigų apsaugą, gerinti radijo ryšio saugumą).

Vis dėlto, nė vieno iš pirmiau minėtų metodų nepakanka, kad būtų galima susidoroti su dronų spiečių vykdomais išpuoliais, net jei turėtume daug dronų, paruoštų pakilti užpuolimo atveju ir atremti ataką. Nekoordinuoti, autonominiai ar pusiau autonominiai dronai akivaizdžiai praleistų kai kuriuos taikinius arba sugautų seserinius dronus (t. y. dronus, priklausančius tam pačiam būriui), paleidus į juos „draugišką ugnį“. Padidėjus potencialių taikinių skaičiui, didelės puolančių bepiločių orlaivių spiečiaus dalies sunaikinimo tikimybė būtų gana didelė, o tai sukeltų puolančio spiečiaus sutrikimą. Tiesioginės ugnies efektyvumas gerokai padidėtų, jei besiginančiam spiečiui jau iš pradžių pavyktų drastiškai sumažinti atakuojančių dronų skaičių.

Kovos su bepiločiais orlaiviais personalas turi turėti reikiamų techninių žinių, susijusių ne tik su bepiločiais orlaiviais, bet ir su specifine kovos su dronais įranga, kuri nėra įprasta reguliariajai kariuomenei (pvz., lazeriniai ginklai ar mikrobangų sistemos).

Viena pagrindinių dronų savybių yra labai didelis jų mobilumas. Dėl mažo dydžio ir autonomijos dronai gali greitai ir giliai įsiskverbti į priešakines linijas prieš juos aptinkant. Norint neutralizuoti priešininko dronus, *antidronų įrenginiai* taip pat turi būti itin mobilūs. Dronai puikiai tinka visų tipų mūšio laukuose, įskaitant didelio tankio miesto zonas.

Dronams taip pat būdinga, kad juose masiškai montuojami įvairūs jutikliai. Kovos su bepiločiais įrenginiais priemonės turėtų taip pat greitai judėti, ir tai daryti nepastebimai. Kadangi bepiločiai orlaiviai paprastai yra iš dalies autonomiški, norint valdyti bepiločius orlaivius reikia bent tam tikro lygio žinių apie priešų gynybos sistemą. Skaitmeninėje eroje nematomumas žengia dar vieną žingsnį toliau: kovos su dronais padalinių komandos nariai turėtų išlikti atsargūs, naudodamiesi virtualiosiomis erdvėmis, kad neviešintų pokalbių arba neskelbtų dalykų, kurie priešininkui galėtų teikti tiesioginę ar netiesioginę informaciją.

Bepiločių orlaivių operatoriai arba kariai, kuriems konkrečiai pavesta gintis nuo bepiločių orlaivių, greičiausia susidurtų su situacijomis dėl galimos žalos pašaliniam asmeniui (šiuo atveju kariams ar civiliams, kurios jie turėjo apsaugoti nuo dronų atakos) padarymo. Galiausiai, mūšio kontekste, kuriame dronai vaidins pagrindinį vaidmenį, kovos su dronais padaliniai patys gali greitai tapti prioritetiniu taikiniu, taip sukeldami daugiau streso jų nariams, todėl karinėms pajėgoms teks įgyvendinti psichikos sveikatos stebėsenos programas ir teikti kariams psichologinę bei psichomedicininę pagalbą.

Didėjant užduočių spektrui – nuo stebėjimo ir žvalgybos iki kovos, veikimo tiek miesto, tiek ne miesto aplinkoje, didėjant prieinamumui, bepiločių orlaivių buvimas operatyvinėse zonose artimiausiu metu tik plės. Strategijų kūrėjai turės pripažinti, kad kova su bepiločiais orlaiviais grįsta ne tik technologijomis, reikia ir jas prižiūrinčių ar valdančių žmonių. Todėl sprendimų teks ieškoti pasitelkiant ne vien technologijas, bet ir žmogiškuosius išteklius. Tai, kas vyko pastaruosius dešimtmečius, yra tik ledkalnio viršūnė. Esame technologijų sukeltų didžiulių visuomenės pokyčių aušroje.

Technologijos smarkiai pakeis karo eigą. Dirbtinis intelektas ir kovinė robotika netrukus neišvengiamai apsigyvens mūšio laukuose.

Pastaraisiais metais dronams ir dronų spiečiams valdyti pradėtas naudoti „Starlink“ palydovų tinklas. „Starlink“ internetas geriausiai tinka gyvenantiems kaimo ar atokiose vietovėse, kuriose nėra fiksuotojo interneto ryšio galimybių, pvz., telefoninio (DSL), kabelinio ar šviesolaidinio. „Starlink“ yra palydovinio interneto sistema, teikianti palydovinio interneto prieigą 48 šalyse (2022 m. duomenimis). Bendrovė planuoja nuo 2023 m. teikti ir mobiliųjų telefonų ryšio paslaugas pasauliniu mastu. „Starlink“ palydovai pradėti leisti 2019-aisiais. 2022 m. „Starlink“ tinklą sudarė daugiau kaip 3 300 mažų palydovų žemoje orbitoje, kurie palaiko ryšį su antžeminiams siųstuvais-imtuvais. Iš viso planuojama paleisti beveik 12 000 palydovų, vėliau jų skaičius gali būti padidintas iki 42 000. 2022 m. JAV išdavė leidimą „SpaceX“ paleisti 7 500 palydovų trijose žemose orbitose: 525, 530 ir 535 km aukštyje. Atskiri palydovai turės skirtingas funkcijas: duomenų perdavimo, mūšio valdymo, raketų sekimo, ginklų nutaikymo, navigacijos, atgrasymo bei ryšio tarp Žemės ir palydovo palaikymo. Palydovų masė, priklausomai nuo versijos, svyruoja nuo 227 iki 1 250 kg. Nuo 2022 m. „Starlink“ palydovai Ukrainoje pradėjo teikti interneto paslaugas, kurios buvo nutrauktos per 2022 m. Rusijos invaziją. Ukrainoje įrengta daugiau nei 20 000 „Starlink“ terminalų. Nuo 2022 m. „Starlink“ buvo svarbiausia artilerijos ugnies koordinavimo sistemos sudedamoji dalis. „Starlink“ buvo sumanyta kaip civilinė programa, tačiau Ukrainos kariuomenė ją gali panaudoti bepiločiams orlaiviams valdyti ir padėti jiems smogti Rusijos tankams bei pozicijoms. „Starlink“ karinė reikšmė ypač svarbi ten, kur silpna infrastruktūra ir nėra interneto ryšio. Bepiločių orlaivių atakos vykdomos naktį, nes orlaivių, kuriuose įrengtos šiluminės kameros, beveik neįmanoma pamatyti tamsoje. Rusijai bandant sunaikinti Ukrainos infrastruktūrą (elektros energijos tiekimą, internetą), ateityje „Starlink“ ryšys bus dar svarbesnis. Žinoma, tai taip pat reiškia, kad „Starlink“ priėmimo antenos yra pastebimos ir Rusijos kariuomenė į jas taikysis. Be tikslinių atakų, Rusija taip pat bando naudoti elektroninius trikdfžius ir taip blokuoti prieigą prie interneto iš kosmoso.

Greičiausia, staigus dronų spiečių naudojimo karo tikslams augimas yra tam tikra šios technologijos nesėkmė. Pasaulyje vyksta daug didelių gamtos

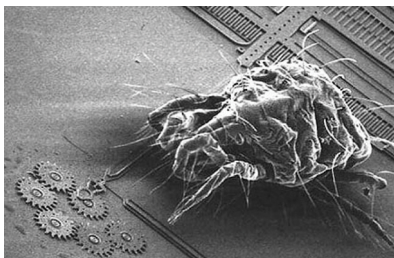
nelaimių, kurios paveikia dideles teritorijas. Dronų spiečiai galėtų greitai ir tiksliai parodyti įvairius sugriovimus, į bėdą patekusius žmones, gelbėtojams geriausius prieigos kelius. Plintant elektroninei prekybai, dronai galėtų nuskraidinti į tolimesnes ar sunkiau pasiekiamas vietas pašto siuntas, maisto produktus, nedidelių matmenų pramonines prekes ar net vaistus. Gal ateityje taip ir bus, kai žmonės pasveiks nuo karo keliamų įtampų, kai kūryba ir protas bus nukreipti ne kitiems žmonėms žudyti, o jiems padėti.

5.3. Išmaniosios dulkės

Išmaniosios dulkės yra daugelio mažų mikroelektromechaninių sistemų (MEMS) (jutiklių, robotų ar kitų prietaisų), galinčių aptikti arba reaguoti, pavyzdžiui, į šviesą, temperatūrą, vibraciją, magnetinį lauką, chemines medžiagas, toksinus ir kita, visuma. MEMS sudaro bet koks mechaninių (svirčių, spyruoklių, membranų ir kt.) ir elektrinių (rezistorių, kondensatorių, induktorių ir kt.) komponentų derinys, skirtas veikti kaip jutikliai ar pavaros.

Paprastai šios mikrosistemos valdomos kompiuterių tinkle belaidžiu ryšiu ir perduoda registruojamus duomenis į didesnes kompiuterių sistemas. Išmaniųjų dulkių įrenginių dydis matuojamas keliais milimetrais. Kol kas jie lengvai pažeidžiami veikiant išorinei elektromagnetinei spinduliutei ar net sunaikinami mikrobangine spinduliuote. Išmaniųjų dulkių koncepcijos atsirado JAV 1990 m. viduryje, atlikus tyrimus dėl galimo technologijos pritaikymo kariniams tikslams. Išmaniųjų dulkių kūrimo pradininku laikomas JAV Berklio universiteto elektrotechnikos profesorius Krisas Pisteris. Jis įsivaizdavo pasaulį, kuriame visur esantys jutikliai galėtų išmatuoti viską, ką tik galima matuoti, ir iš pradžių orientavosi į orų stebėjimą. 1997 m. buvo pateiktas siūlymas sukurti belaidžius jutiklių mazgus, kurių tūris būtų vienas kubinis milimetras, t. y. tūris mažesnis negu ryžio grūdas (5.13 pav.). 2001 m. pradėti aptarinėti įvairūs būdai, kaip išmaniųjų dulkių jutiklius sumažinti iki mikrometrinio dydžio (20 μm – 1 mm). 2022 m. buvo pristatyti maži, lengvi, programuojami, be baterijų veikiantys belaidžiai jutikliai, kuriuos galima išsklaidyti vėjyje (Iyer, V. ir kt., 2022). Tokių mažų prietaisų kūrimą paskatino stebėjimai, kaip kiaušpienių sėklos sausomis, vėjuotomis ir šiltomis sąlygomis gali nukeliauti net kilometrą. Išmaniosios dulkės gali surinkti duomenis iš

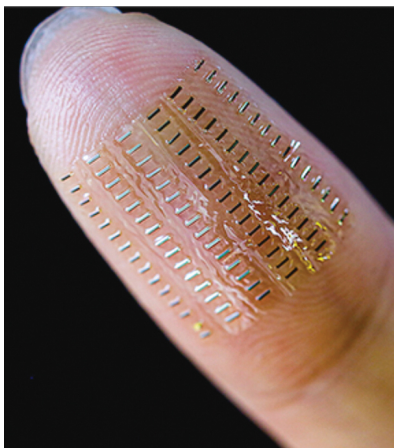
jutiklių (apie pagreitį, slėgį, drėgmę, garsą ir kita), apdoroti užregistruotus duomenis, išsaugoti duomenis atmintyje, be laidžių būdu perduoti duomenis į didesnes kompiuterių sistemas. Ateities vizijoje išmaniosios dulkės – tai į išmaniųjų nedidelių jutiklių trilijoninį tinklą sujungta sistema, nuolat galinti jausti, ragauti, užuosti, matyti ir girdėti, kas vyksta juos supančioje aplinkoje, bendrauti tarpusavyje ir keistis informacija.



5.13 pav. 1 mm dydžio erkė, artėjanti prie mikroskopinės pavaros grandinės (<https://www.nanowerk.com/smartdust.php>)

Ateityje, tobulėjant gamybos technologijoms, sistemų dydis dar labiau mažės ir pasieks nanoelektromechaninių sistemų (NEMS) dydį. Didžiulis pranašumas tas, kad šie įrenginiai veikia be žmogaus įsikišimo, nes yra iš anksto užprogramuoti ir, nepaisant mažo dydžio, turi savo maitinimo šaltinį. Išmaniųjų sistemų dulkių elementams maitinti kuriamos ilgaaamžės baterijos. Remiantis 3D technologijomis pagaminti silicio diodai (Vaezi, M. ir kt., 2013) apšvitinami radioaktyvaus tričio skilimo elektronais. Konversijos naudingumas siekia 10 %. Kubo formos elemento dydis prasideda nuo 2,5 μm . Toks 25 μW galios ir 3–5 V elementas turėtų generuoti elektros srovę 20–30 metų.

Išmaniųjų dulkių sistemos elementų ryšiui su baziniu kompiuteriu gali būti naudojama optinė komunikacija. Optinei komunikacijai dažniausiai pasitelkiamas aktyviai valdomas lazerinis diodas, kuris siunčia kolimuotą lazerio spindulį į bazinę stotį. Kolimuotas šviesos spindulys – tai lazerio spindulys, sklindantis vienalytėje terpėje (pvz., ore), esant mažai pluošto sklaidai (divergencijai), todėl pluošto spindulys nepasikeičia dideliu sklaidimo atstumu. Iš esmės kiekviena išmanioji dulkė susideda iš keturių įrenginių: jutiklių, grandinių, ryšio ir maitinimo šaltinio. Grandinės (mikrovaldiklis) skirtos sąsajai su jutikliais ir duomenims apdoroti bei saugoti. Idealiu atveju komunikaciją sudaro siųstuvas ir 3D antena, kuri užtikrina vienodą spinduliavimą visomis kryptimis, taip „sužadindama“ nejautrų ryšį. Išmaniųjų dulkių maitinimo šaltinis, priklausomai nuo



5.14 pav. Kiekvieno iš 90 vamzdinių superkondensatorių, esančių ant piršto, darbinė įtampa siekia iki 1,6 V (<https://www.nanowerk.com/smartdust.php>)

veikimo srities, gali būti saulės elementas arba tam tikra plona-sluoksnė baterija ar superkondensatorius. Vis mažesni energijos kaupikliai submilimetrų diapazone net mažesniems mikroelektronikos komponentams yra didelis techninis iššūkis. Vienas svarbių iššūkių, su kuriuo susidūrė tyrėjai, yra energijos stygius mažame dulės tūryje ir sunkumai integruojant maitinimo sistemas į tokius įrenginius. Kol kas dėl nepakankamos baterijų galios sistemos turi pasikliauti galia, gaunama iš išorinių šaltinių (šiluminių, vibracinių, šviesos, radijo bangų). Nepaisant to, tyrėjams pavyksta nuolat mažinti jų dydį,

kaip rodo šis nanosuperkondensatoriaus pavyzdys – jis yra dulės dydžio, bet jo darbinė įtampa siekia AAA baterijos įtampos dydį (5.14 pav.). Sukūrus saulės energija varomas išmaniąsias dulkes, atsivers galimybės šias kompaktiškas integruotas sistemas gaminti dideliu mastu, be to, sumažės šių sistemų kaina.

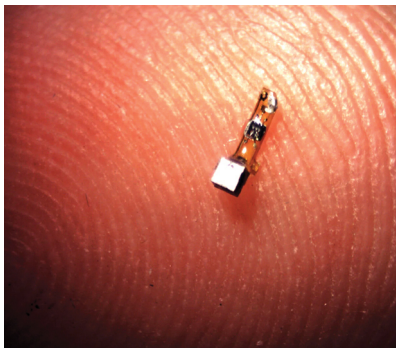
Išmaniųjų dulkių pritaikymas

Išmanieji dulkių tinklai yra į tinklą sujungtos ateities vizija, kai išmanusis trilijonų mažų jutiklių tinklas nuolat jaučia, ragauja, užuodžia, mato ir girdi, kas vyksta juos supančioje aplinkoje. Pavyzdžiui, išmanieji namai – tai vieta, kurioje nuotoliniu būdu stebima ir valdoma būsto prieiga, apsaugos sistemos, apšvietimas, būsto klimatas, pramogų sistemos, išmanieji virtuvės prietaisai. Visa tai integruota taip, kad būtų lengva naudotis ir būtų pašalinti varginantys įprasti darbai. Neįmanoma nuodugnai aprašyti daugybės išmaniųjų dulkių taikymo būdų, todėl tenka apsiriboti tik kai kuriomis

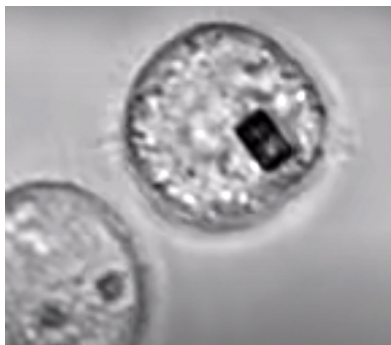
pritaikymo sritimis. Daug vilčių dedama į išmaniųjų dulkių naudojimą medicinoje. Tyrėjai sukūrė saugų, milimetro mastelio belaidį įrenginį (pakankamai mažą, kad jį būtų galima implantuoti į atskirus nervus), galintį aptikti ir registruoti giliai kūne esančių nervų ir raumenų elektrinį aktyvumą.

Belaidžiai implantuojami jutikliai šiuo metu yra apie 3 milimetrų ilgio (5.15 pav.). Mokslininkai stengiasi sumažinti jutiklius iki mikrometrinio dydžio, t. y. maždaug iki

žmogaus plauko skersmens. Šiuos įrenginius tyrėjai vadina *nervinėmis dulkelėmis*. Nervinės dulkės gali būti implantuojamos į kūną arba suleidžiamos per tyrimą ultragarsu, o sudėtingesnėms problemoms spręsti gali būti sumontuoti *jutiklių lustai*. Kiekvienas nervinis dulkinis jutiklis susideda tik iš trijų pagrindinių dalių: elektrodų nerviniams signalams matuoti, tranzistoriaus signalui stiprinti ir pjezoelektrinio kristalo, kuris atlieka dvejopą paskirtį: 1) mechaninę – išoriškai generuojamų ultragarso bangų galią paversti elektros energija, ir 2) perduodamąją – užfiksuotos nervų veiklos perdavimą. Nervinės dulkės galės nuskaityti ir stimuliuoti smegenų ląsteles, sukurs naujos kartos smegenų ir mašinų sąsajas, kurios galės valdyti protezus, egzoskeletus, robotus, taip pat „elektrocheminius preparatus“, skirtus smegenų ir kūno sutrikimams gydyti. Kiekvieną nervinių dulkių dalelę sudaro standartinės CMOS grandinės. CMOS grandinė yra kompiuterio mikroschema, kuri praranda saugomus nustatymus, kai kompiuteris yra išjungtas, tačiau CMOS baterija nuolat naudojama lusto veiklai palaikyti. Kai kompiuteris paleidžiamas, bazinė įvesties / išvesties sistema (BIOS) ištraukia informaciją iš CMOS lusto, t. y. jutiklių, matuojančių netoliese esančių neuronų elektrinį aktyvumą, perduodamą informaciją. Jutiklio pjezoelektrinė medžiaga itin aukšto dažnio garso bangas paverčia elektriniais signalais ir atvirkščiai. Mokslininkai jau įrodė, kad net į atskiras ląsteles galima įterpti kompiuterio lustus (5.16 pav.), kuriamos



5.15 pav. Belaidis implantuojamas jutiklis ant piršto galiuko (Holler, M., 2020)



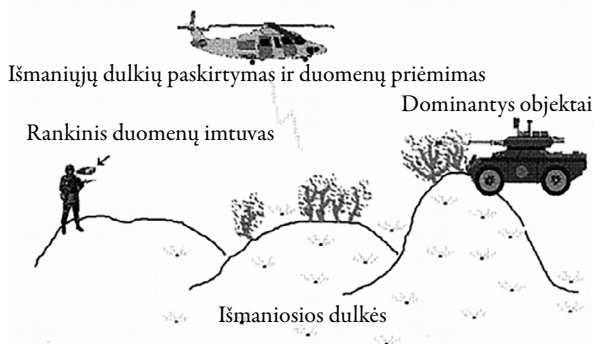
5.16 pav. Į ląstelę įterptas kompiuterio lustas (<https://www.nanowerk.com/smartdust.php>)

implantuojamos neuroninių dulkių sistemos, galinčios teikti informaciją apie smegenų funkcionalumą.

Nenuostabu, kad išmaniųjų dulkių kūrimą pirmiausia paskatino ir finansavo kariuomenė (5.17 pav.). Jos padeda pasiekti atokias ar sunkiai prieinamas vietas, gali nustatyti nuodingų dujų ar kenksmingų medžiagų buvimą ir padėti imtis reikiamų veiksmų. Iš sraigtasparnio tūkstančiai mūšio lauko jutiklių paskleidžiami kelių kvadratinų kilometrų plote. Jie seka transporto priemonių judėjimą (valandas / dienas), praneša informaciją sraigtasparniui ar užklausejui, turinčiam rankinį imtuvą.

Tyrėjai sukūrė veikiančius apie 100 μm (maždaug druskos grūdelio dydžio) kelių lęšių objektyvus, kurie gali sukurti autonominių regėjimą (5.18 pav.). Objektyvai pasižymi ypač aukšta optine kokybe, nes skiriamoji geba yra iki 500 linijų porų viename milimetre.

Tyrėjai sukūrė veikiančius apie 100 μm (maždaug druskos grūdelio dydžio) kelių lęšių objektyvus, kurie gali sukurti autonominių regėjimą (5.18 pav.). Objektyvai pasižymi ypač aukšta optine kokybe, nes skiriamoji geba yra iki 500 linijų porų viename milimetre.



5.17 pav. Mūšio lauke paskleistų išmaniųjų dulkių jutiklių tinklo schema (juodi taškai – sraigtasparnio paskleisti autonomiški jutikliai) (<https://www.nanowerk.com/smartdust.php>)

Pradėta daug projektų, nagrinėjančių galimą išmaniųjų dulkių pritaikymą. Žemės ūkyje svarbu nuolatinis pasėlių mitybos poreikių stebėjimas, laistymas, tręšimas ir kenkėjų kontrolė, dirvožemio būklė (pH, užkrėstumas mikrotais, vaisingumas ir kita, augalo augimui būtina informacija).

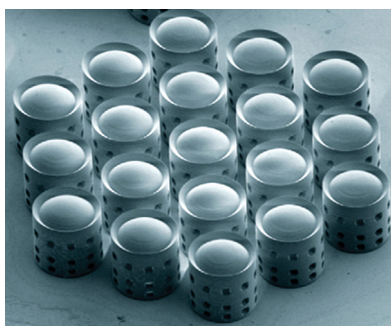
Galimas platus panaudojimas miesto infrastruktūroje: pastatų, kelių, tiltų, tunelių, vandens ir kanalizacijos vamzdžių, elektros ir telekomunikacijų tinklų stebėjimas taps išmaniojo miesto koncepcijos dalimi. Jau statybos metu išmaniosios dulkės gali būti įterptos į betoną ir teikti informaciją apie atsirandančius įtempius ar deformacijas.

Išmaniosios dulkės gali būti plačiai pritaikytos įvairių atsargų kontrolei ir valdymui. Ant kiekvieno objekto (produkto pakuotės, padėklo, sunkvežimio) pridėjus miniatiūrinius jutiklius, kiekvienas sistemos objektas galėtų „suskalbėti“ su kitais sistemos komponentais, stebėti ar rodyti greitai gendančių produktų (mėsos, pieno produktų) kokybę (temperatūrą, drėgmę). Būtų galima sekti produkto kelią nuo gamyklos iki mažmeninės prekybos lentynų ir užtikrinti griežtą atsargų kontrolę.

Daugeliu atvejų vartotojams padėtų buitinės elektronikos stebėjimas (smūgių, vibracijos, temperatūros), gedimų analizė ir diagnostika. Pavyzdžiui, stebint guolių vibraciją, galima aptikti vibracijos dažnio pokyčius, rodančius neišvengiamą gedimą. Tiksliai ir laiku įvertinus mašinų būklę, simptomų pobūdį ar korozijos poveikį, galima išvengti ankstyvo sistemos gedimo.

Išmaniosios dulkės gali labai padėti aplinkos cheminiam ir biologiniam vandens, oro, dirvožemio monitoringui, sveikos ir saugios aplinkos kūrimui.

5.18 pav. Lęšių išdėstymas skenuojančiame elektroniniame mikroskope. Lęšių sistemos skersmuo – 120 μm , aukštis – 128 μm (Gissibl, T. ir kt., 2016)



Pavyzdžiui, plazmoninės išmaniosios dulkės gali nustatyti vietines chemines reakcijas.

Transportuojant greitai gendančias prekes, reikia nuolat stebėti temperatūrą, drėgmę, aeraciją, o transportuojant gyvūnus – jų gabenimo sąlygas (temperatūrą, orą ir drėgmę).

Šios technologijos gali būti pritaikomos ir kosmoso tyrimuose, nes naudojant jas galimas nuolatinis seismologinis Saulės sistemos planetų ir jų palydovų, mūsų planetos orų stebėjimas. Mokslininkai kuria visiškai naujo tipo kosminį teleskopą su apertūra, pagaminta iš išmaniųjų dulkių dalelių spiečių ir valdomą lazerio spinduliuote. Taip bandoma sujungti kosminę optiką, išmaniąsias dulkes ir autonominių robotų sistemas.

Išmaniųjų dulkių pavojus ir rizikos

Platus išmaniųjų dulkių naudojimas gali būti ne tik naudingas, bet ir sukelti nemažai pavojų.

- Kai tik išmaniųjų dulkių įrenginiai sumažės iki nanodydžio matmenų, jų rizika atitiks nanodalelių rizikos profilį apskritai. Galimas pavojus sveikatai siejamas su išmaniųjų dulkių įkvėpimu ar jų nurijimu. Antra vertus, atsitiktinai įkvėpus ar nurijus išmaniąją dulkę, priklausomai nuo dulkėje esančio jutiklio, koks nors nutolęs operatorius netikėtai galės sekti jūsų temperatūrą, judėjimo greitį, pagreitį, kryptį ar kokius nors kitus parametrus. Blogiau, jeigu kas nors tokia dulke jus „pavaišins“ sąmoningai ir be atodairos įsiterps į jūsų privačią erdvę.

- Labai padidės grėsmė privatumui. Išmanieji dulkių įrenginiai taps tokie maži, kad jų plika akimi nebus galima pastebėti, todėl juos aptikti bus itin sunku. Jie gali būti užprogramuoti taip, kad įrašytų viską, ką gali aptikti jų jutikliai. Žinoma, galbūt ironiška, bet žmonės patys pradėjo savanoriškai nešiotis įrenginius, kurie gali būtent tai daryti. Tikriausiai nežinosite, kas renka duomenis, kur jie patenka, ką su jais daro, ypač kai išmaniosios dulkės patenka į netinkamas rankas.

- Jei kurioje nors srityje bus panaudota milijardai išmaniųjų dulkių įrenginių ir jei nesate informuotas apie jų buvimą, prireikus bus sunku juos aptikti, identifikuoti ar nuskaityti jų perduodamą informaciją. Nesąžiningi asmenys, įmonės ar net valdžios institucijos gali panaudoti renkamą informaciją ir

daryti jums žalą. Kita vertus, valdžios institucijoms būtų sudėtinga kontroliuoti tokius informacijos srautus, net jeigu to ir labai reikėtų.

- Išmaniosios dulksės iš esmės yra vienkartinio naudojimo įrenginiai. Šie įrenginiai dažniausiai yra biologiškai neskaidūs, todėl jie gali užteršti vietas, kuriose jie naudojami (dirvožemį, vandenį ar net orą).

- Išmaniųjų dulkių tinklų sukuriamos informacijos saugumas irgi kelia daug rūpesčių, ir ne vien tik dėl galimo asmens privatumo pažeidimų. Trečiosios šalys ar asmenys gali įsilaužti, o tinklo sukaupta informacija gali būti naudojama neteisėtai tikslais. Galbūt tai vien teisiniai klausimai, bet ji juos būtina atsižvelgti dėl keliamos rizikos.

- Išmaniųjų dulkių įrenginių naudojimą labai lems kaina. Kaip ir bet kurios naujos technologijos atveju, išmaniosios dulkių sistemos naudoja daug elementų (palydovai, ryšio priemonės ir kita), todėl įdiegimas yra brangus. Kol tokios išlaidos nesumažės, daugumai, tačiau, deja, ne visiems, tai bus nepasiekiamą technologija.

Šiuo metu daugelis išmaniųjų dulkių programų vis dar yra koncepcijos stadijoje. Nors technologijos sparčiai žengia į priekį, tačiau dar reikia išspręsti nemažai problemų, kol pamatysime, kaip jos paveiks visuomenę. Yra manančiųjų, kad šios technologijos gali pakenkti ekonomikai ir visam mus supančiam pasauliui. Turbūt, kol kas svarbiau atkreipti dėmesį į augimo trajektoriją ir dinamiką, nes tai nebėra mokslinės fantastikos sritis. Išmaniųjų dulkių įrenginių geba išsamiai rinkti informaciją apie bet kokią aplinką – tai tarsi milijonus ar milijardus kartų padauginta daiktų interneto technologija. Dar nežinome, kada šios technologijos bus plačiai taikomos, bet tikrai žinome, kad klausimas yra „kada“, o ne „ar tai įvyks“.

5.4. Mobiliojo telefono istorija

Šiuolaikinio, ypač jauno, žmogaus gyvenime mobilusis telefonas užima svarbią vietą, nes labai palengvina gyvenimą. Naudodami išmanųjį telefoną galime skambinti, rašyti žinutes, apsipirkti, užsisakyti taksi ar maisto produktų, bilietus į koncertą ar skrydį ir dar daug kitų paslaugų. *Mobilusis telefonas* yra daugiafunkcis įrenginys, todėl vis daugiau žmonių tampa nuo jo labai priklausomi. Mobilieji telefonai yra vienas didžiausių mūsų laikų

išradimų, nes jokia kita technologija nepakeitė mūsų sąsajų su pasauliu, kaip tai padarė mobilusis telefonas. Jau ankstyvosiose radijo inžinerijos stadijose buvo galvojama apie rankinį mobilųjį radijo telefoną. 1917 m. suomių išradėjas Ericas Tigerstedtas patentavo „kišeninio dydžio sulankstomą telefoną su labai plonu anglies mikrofonu“. Ankstyvieji mobiliųjų telefonų pirmtakai apėmė analoginį radijo ryšį iš laivų ir traukinių. Nešiojamieji telefono įrenginiai pradėti kurti po Antrojo pasaulinio karo. Pirmieji mobilieji telefonai buvo skirti tik bendrauti balsu arba paprastosioms tekstinėms žinutėms siųsti. Šiuolaikinis mobilusis telefonas suteikia galimybę naudotis internetu, jame jau būna įdiegta arba galima pačiam įsidiegti daug įvairių programų ir naudotis kitomis labai svarbiomis ar naudingomis funkcijomis. Išmanusis telefonas paveikė beveik visas žmogaus gyvenimo sritis. Ryškiausios sritys, kuriose išmaniųjų telefonų poveikis akivaizdus, yra švietimas, verslas, sveikata ir socialinis gyvenimas. Dar daugiau, mobiliosios technologijos smarkiai pakeitė kultūrinės normas ir individualų žmonių elgesį. Mobiliojo ryšio priemonių kūrimo raida visą laiką buvo glaudžiai susijusi su elektronikos elementų miniatiūrizacija.

Nors mobiliojo ryšio priemonių kūrimo raida istoriškai yra trumpa, tačiau joje galima išskirti svarbius riboženklis. Pirmą kartą sėkminga mobiliojo ryšio paslauga buvo pasiūlyta Vokietijoje 1926 m. pirmosios klasės geležinkelio keleiviams, važiuojantiems traukiniu maršrutu Berlynas–Hamburgas. Pirmieji mobilieji skambučiai 1946 m. buvo atlikti automobilio radijo telefonu Čikagoje. Dėl nedidelio naudojamų radijo dažnių skaičiaus paslauga greitai pasiekė naudojimo ribą, antra vertus, ji buvo skirta ne plačiajai visuomenei, bet daugiausia specialiosioms tarnyboms. 1956 m. Švedijoje pristatyta pirmoji automatizuota mobiliojo telefono sistema, skirta privačioms transporto priemonėms. Automobilyje sumontuotas įrenginys svėrė 40 kg. Iš viso ši sistema tarp Stokholmo ir Geteborgo turėjo 125 abonentus. 1969 m. Danijos, Švedijos, Norvegijos ir Suomijos inžinieriai įkūrė Šiaurės šalių mobiliojo telefono grupę, kurios tikslas buvo sukurti visuomenei prieinamą mobiliojo ryšio telefonų sistemą. 1973 m. „Motorola“ ryšių sistemų padalinys pirmą kartą viešai pristatė mobilųjį telefoną, kuris svėrė jau tik 1,1 kg.

1982 m. vienuolikos Europos šalių atstovai Stokholme priėmė Šiaurės šalių bendradarbiavimo modelį ir padėjo tarptautinio mobiliojo ryšio

standarto pamatus (5.19 pav.). 1987 m. patvirtintos globalaus mobiliųjų telefonų ryšio (GSM) standarto techninės specifikacijos. Informacijos perdavimo sparta priklauso nuo taikomos technologijos ir skaičiui, esančiam prieš G ženklą didėjant, perdavimo sparta auga. 2G atsirado norint pakeisti 1G, nes XX a. dešimtojo dešimtmečio pradžioje reikėjo analoginį signalą perjungti į skaitmeninį. Pavyzdžiui, esant 1G duomenų perdavimo technologijai, duomenų perdavimo sparta yra 2,4 kb/s, esant 2G – 64 kb/s, esant 3G – 144 kb/s–2 Mb/s, o esant 4G – 100 Mb/s–1 Gb/s. 5G duomenų perdavimo technologija žada būti iki 10 kartų greitesnė nei 4G.

1992 m. Jungtinėje Karalystėje buvo išsiųsta pirmoji pasaulyje SMS žinutė. 1999 m. pristatyti telefonai „BlackBerry“, garsėjantys ypač paprasta el. pašto paslauga: vartotojai galėjo skaityti el. laiškus ir atsakyti į juos iš bet kurios vietos. 2000 m. parduotuvių lentynas užkariavo „Nokia 3310“, o pirmasis komerciškai prieinamas telefonas su kamera „Sharp J-SH04“ pristatytas 2000 m. Japonijoje. Europoje pirmasis telefonas su fotoaparatu „Nokia 6750“ pasirodė tik 2002-aisiais. 2003 m. visame pasaulyje pradėtas taikyti 3G standartas atvėrė mobiliojo interneto amžių ir kelią išmaniesiems telefonams atsirasti. Viena pirmųjų šalių Pietų Azijoje, pradėjusių teikti 3G paslaugas, buvo Nepalas. Šia paslauga galėjo naudotis ir kopiantieji į Everestą. 2007 m. debiutavo „iPhone“. „Nokia“ jo pasirodymą iš pradžių vertino skeptiškai. 2008 m. pasirodė pirmasis telefonas „Android“, tiesa, jam buvo dar labai toli iki šiandien naudojamų aukščiausios klasės „Android“ išmaniųjų telefonų. 2009 m. mobiliesiems telefonams bendrovė „Huawei“ (Kinija) panaudojo 4G technologijas ir pasiekė 150 Mb/s perdavimų spartą, o bendrovė „WhatsApp“ (JAV) sukūrė technologiją, leidžiančią vartotojams priimti telefono skambučius internetu. 2010 m. savo pirmąjį išmanųjį telefoną „Galaxy S“ pristatė bendrovė „Samsung“ (Pietų Korėja). 2016 m. Japonijos bendrovė pristatė programą „Pokemon Go“. Šis virtualios realybės žaidimas naudoja išmaniojo telefono kamerą. 2017 m. atgijo



5.19 pav. Pirmasis komercinis rankinis mobilusis telefonas, 1983 m. (DynaTAC8000X. jpg. CC BY-SA 3.0)

„Nokia“. Naujojo telefono „Nokia 3310“ versijoje buvo interneto naršyklė, spalvingas ekranas ir net kamera. Pirmoji šalis, 2019 m. balandį pradėjusi naudoti 5G ryšį, buvo Pietų Korėja. Prognozuojama, kad iki 2025 m. pabaigos 5G internetu naudosis iki 65 % pasaulio gyventojų. 2020 m. pasirodė pirmasis 5G išmanusis telefonas „Samsung Galaxy S20“. 5G ryšio pirmajame etape duomenų perdavimo sparta sieks 1–3 Gb/s, vėliau ji pakils iki 10 ar 20 Gb/s. 6G yra šeštosios kartos standartas, kuris šiuo metu dar kuriamas. 6G tinklai tikriausiai bus plačiajuosčiai koriniai tinklai, kuriuose aptarnavimo sritys bus suskirstytos į mažas geografines sritis, vadinamas ląstelėmis. 2022 m. Kinijos mokslininkų grupė pasiekė pasaulio rekordą – 206,25 Gb/s duomenų perdavimo spartą.

Mobiliosios technologijos buvo sparčiausiai plintanti ryšio technologija. Įdomu, kad fiksuotojo ryšio telefonui prireikė net 45 metų, kad JAV namų ūkiuose šių technologinių priemonių padidėtų nuo 5 % iki 50 %. Mobiliesiems telefonams tam prireikė septynerių, o išmaniesiems telefonams – tik ketverių metų. Profesionalios dviejų lęšių kameros dabar tampa aukščiausios klasės išmaniųjų telefonų standartu, o patys telefonai – vis patvaresni, pasižymi išpūdinga hidroizoliacija ir tvirtais ekranais. Išmanusis telefonas paveikė įvairias žmogaus gyvenimo sritis: verslą, švietimą, sveikatos sistemą ir socialinį gyvenimą. Šiandien greičiausia vienas iš trijų moksleivių turi mobilųjį telefoną, tad ateityje tikėtina, kad telefonai su fotoaparatu ir balso įrašymo įrenginiais bus ir mokymosi bei mokymo priemonė. Buvo bandymų po telefono ekranu įmontuoti asmenukų kamerą, bet iki šiol telefono ekrane vis dar pasitaiko trikdžių. Tačiau ateityje telefonų gamintojai galės visiškai paslėpti priekinę kamerą ir vartotojai galės naudotis visiškai „švarių“ ekranu.

Teigiamas ir neigiamas mobiliųjų telefonų poveikis

Šiandien beveik kiekvienas žmogus turi mobilųjį telefoną. Jis užima svarbią vietą žmogaus gyvenime, nes labai jį palengvina. Išmaniuoju telefonu galima ne tik skambinti, rašyti žinutes, bet ir apsipirkti, užsisakyti taksi, maisto, bilietus į koncertą ar lėktuvą ir kt. Mobilieji telefonai tapo neatsiejama mūsų gyvenimo dalimi. Pirmieji mobilieji telefonai buvo skirti tik bendrauti balsu arba

paprastu tekstu (trumpųjų žinučių paslauga – SMS), tačiau išmanieji telefonai gali pasiūlyti daug daugiau. Įprastas mobilusis telefonas turi sąsają su internetu, įvairias programas ir kitas labai naudingas bei kasdieniui veiklai svarbias funkcijas. Mobilieji telefonai yra didžiausias mūsų laikų išradimas, nes jokia kita technologija taip nepakeitė individo bendravimo su pasauliu.

Galima išskirti svarbiausius teigiamus mobiliojo telefono akcentus. Vienas pagrindinių mobiliųjų telefonų pranašumų yra tai, kad jie padeda žmonėms palaikyti universalų tarpusavio ryšį. Tarpusavyje galima bendrauti su bet kuo, bet kada ir bet kur: balsu, siunčiant žinutes, vaizdus ar pranešimus. Mobiliajame telefone galima užsirašyti svarbius įvykius, saugoti dokumentus, siųsti atmintines ir el. laiškus, stebėti ir kontroliuoti įvairius gyvenimo įvykius. Mobilusis telefonas labai palengvina kasdinių darbų atlikimą. Naudojant mobiliąsias programas galima sumokėti už komunalines paslaugas ar automobilio stovėjimą, surasti, kur būtų galima pasistatyti automobilį mieste, užsisakyti viešbučio kambarį ar maisto produktų iš parduotuvės. Programėlė „Google Maps“ padeda lengvai rasti bet kurią vietą ar keliauti į nežinomas vietas be rizikos pasiklysti. Nesunku rasti restoranus, parduotuves, degalines, prekybos centrus, ligonines, vietą nakvynei ir kt. Kritinėse situacijose mobilieji telefonai padeda gauti pagalbą, galima atsekti pasiklydusio žmogaus vietą. Telefonas ypač praverčia atsitikus didelio masto ekstremaliajai situacijai ar stichinei nelaimėi, nes padeda atsekti įkalintų ar sužeistų žmonių buvimo vietą. Mobilieji telefonai padeda mokytis ir ugdyti įgūdžius, pavyzdžiui, šokti, dainuoti, gaminti maistą, padeda rengti pristatymus, atlikti užduotis ir pan. Įvairios programėlės taip pat gali padėti išmokti, kaip naudoti kokią nors programinę įrangą, galima atsisiųsti į savo telefoną knygu, pateikti paraišką darbui, stažuotei ar pasiruošti pirmajam pokalbiui ir kt. Mobiliosios technologijos keičia ir mūsų kultūrą. Vis dažniau būna nepatogu, kai telefonas suskamba koncerte ar sporto renginyje, per vakarienę su šeima ir draugais ar net per pamaldas bažnyčioje. Mobilusis telefonas pakeitė mūsų požiūrį į daugelį dalykų. Jei žmonės vėluoja į susitikimą, jie gali apie tai pranešti kitiems savo mobiliaisiais telefonais. Nebereikia susitarti, kada ir kur susitikti. Žmonės gali tiesiog paskambinti vieni kitiems ir pasakyti, kur jie šiuo metu yra. Mobiliosios technologijos paveikė ir ekonomiką. Telefonas paskatino prekybą, nes pirkti ir parduoti tapo daug patogiau. Visos žmonės, tiek didelės, tiek mažos, naudojasi mobiliojo telefono ryšiu.

Vis dėlto, ar šis nuostabus mokslo ir technologijų pasiekimas turi tik spindesį ir nekelia jokių grėsmių? Mokslininkai nustatė, kad per dažnas telefono naudojimas sukelia stresą, nerimą, depresiją, miego sutrikimus ir santykių problemas. Tyrimai taip pat parodė, kad jauni žmonės patiria abstinencijos simptomus, kai trumpam atsitraukia nuo telefono, todėl yra ypač pavojingi vaikams ir paaugliams, nes vis daugiau jaunų žmonių tampa nuo jo labai priklausomi. Kai kurie studentai tiek daug naudojami mobiliaisiais telefonais, kad pradeda apleisti studijas, nes didžiąją laiko dalį jie praleidžia socialinių tinklų svetainėse, bendraudami su draugais, žiūrėdami filmus, klausydami dainų ir užsiimdami kita mažai naudinga veikla. Ilgesnis naudojimas mobiliaisiais telefonais nenaudingas sveikatai, nes ne tik blogina regėjimą, bet gali sukelti ir miego bei klausos sutrikimus. Didelis mobiliųjų telefonų trūkumas yra tai, kad vaikas gali pasiekti netinkamą turinį, nes internete yra daug smurtinių žaidimų ir filmų, neigiamai veikiančių vaikų protą. Mobilieji telefonai blaško vaikų dėmesį klasėje, vairuotojus kelyje, „atjungia“ mus nuo socialinio pasaulio (5.20 pav.). Žinoma, neigiamų padarinių galima išvengti, jei mobilusis telefonas naudojamas atsargiai ir saikingai.

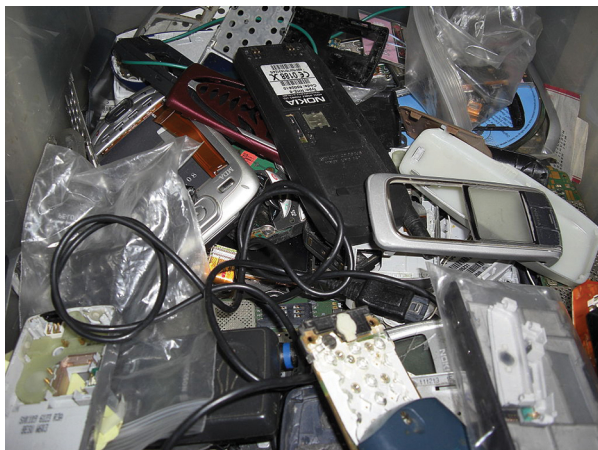
Kai mobilusis telefonas įjungtas, jo geografinę vietą galima lengvai nustatyti (nesvarbu, ar jis tuo metu naudojamas, ar ne) *multilateracijos metodu*. Taikant šį



5.20 pav. Vairuotojas važiuodamas naudojami mobiliuoju telefonu (Hand held phone in car.jpg. CC BY-SA 3.0)

metodą galima apskaičiuoti laiko, per kurį signalas nukeliauja iš mobiliojo telefono į kelis artimiausius mobiliojo ryšio bokštus, skirtumus. Mobiliojo telefono naudotojo judėjimą gali stebėti jo paslaugų teikėjas, prireikus ir teisėsaugos ar kitos institucijos. Pavyzdžiui, Kinija naudoja šią technologiją Pekino miesto gyventojų važiavimui į darbą ir iš jo sekti. JK, JAV bei kitų valstybių teisėsaugos ir žvalgybos tarnybos stebėjimo operacijoms atlikti taip pat naudoja mobiliuosius telefonus. Šiems tikslams pasitelkiama technologija, leidžianti nuotoliniu būdu aktyvuoti mobiliųjų telefonų mikrofonus ir klausytis pokalbių, vykstančių šalia telefono. Deja, ir įsilaužėliai, tik žinodami telefono numerį, gali sekti telefono buvimo vietą, skaityti žinutes ir įrašyti skambučius.

Žmonės kasmet įsigyja šimtus milijonų mobiliųjų telefonų. Vidutinis vartotojas keičia savo mobilųjį telefoną kas 11–18 mėnesių, o išmesti telefonai atsiduria elektroninių atliekų sąvartynuose (5.21 pav.). Nors tyrimai rodo, kad apie 40–50 % mobiliųjų telefonų poveikio aplinkai atsiranda ne juos išmetant į atliekas, o gaminant jų spausdintines plokštes ir integruotus grandynus, joks mobilusis telefonas neturi atsidurti šiukšliadėžėje, nes dauguma jų (80 %) yra perdirbami. Perdirbant atgaunamas mobiliojo



5.21 pav. Mobilųjų telefonų laužas: seni nebe naudojami mobilieji telefonai ir sugedę mobilieji telefonai (Handy schrott mobile phone scrap.jpg. CC BY-SA 3.0)

telefono jutiklinio ekrano stiklas, telefono korpuse naudojamas aliuminis, nedideli kiekiai aukso, sidabro, paladžio, platinos ir vario. Kiekviename mobiliajame telefone yra 0,034 gramo aukso. Kadangi auksas nerūdija, jis naudojamas plokščių integrinių grandynų jungtys. Kaip ir daugelyje kitų elektronikos gaminių ir SIM kortelėje yra aukso, tačiau tokiais nedideliais kiekiais, kad norint pasidaryti mažytį 1 gramo pakabuką, reikia kelių šimtų tūkstančių SIM kortelių. Pasenusiems arba sugedusiems telefonams perdirbti yra sukurti robotizuoti išardymo ir rūšiavimo įrenginiai.

5.5. Išmanieji būstai

Pasaulyje *išmaniųjų būstų ar namų* vis daugėja. Tokie namai suteikia galimybių ne tik spręsti gyvenimiškas problemas, bet ir padeda taupyti, yra ekologiški ir neatsiejami nuo atsinaujinančių energijos šaltinių. Išmanusis namas tiesiog sujungia namų sistemas, t. y. procesus, kuriuos anksčiau žmonės turėjo valdyti rankiniu būdu, o dabar jie valdomi automatiškai. Tai apima šildymą, apšvietimą, vėdinimą, apsaugą ir net muziką namuose. Juose vis daugiau stebėjimo kamerų, lempučių, televizorių, išmaniųjų garsiakalbių, šaldytuvų, specialių valdiklių, būvio jutiklių, pirštų atspaudų skaitiklių ar net išmaniųjų durų spynų. Telefonu valdoma lemputė, kavavirė, skalbyklė – yra išmanieji daiktai, tačiau jie savaime nepaverčia paties būsto išmaniu. Iš tiesų, būstas išmaniu tampa tik tuomet, kai yra vienas centrinis taškas, kuris valdo ir sujungia išmanius prietaisus ir namo sistemas – šildymą, apšvietimą ir pan. (Casini, M., 2022). Išmanusis būstas, be abejo, palengvina gyvenimą, tačiau suteikdami savo namams akis ir ausis taip pat leidžiame mus stebėti ir girdėti. Tai reiškia, kad visi, turintys prieigą prie šių įrenginių (techniškai tik mes, bet dažnai taip nėra), gali mus stebėti ir girdėti (5.22 pav.).

Ar nebūtų puiku, jeigu kiekviename kambaryje būtų tinkama temperatūra? Išmanioji šildymo sistema apskaičiuoja, koks yra patalpos šildymo poreikis, o kai esate išvykę ilgam laikui, užtikrina minimalią patalpų temperatūrą tam, kad dėl žemos temperatūros nebūtų pažeista šildymo sistema. Sistema taip pat „žino“, kada namuose jūsų nėra. Ši informacija padeda užtikrinti tinkamą temperatūrą kiekvienoje patalpoje. Kai tik įmanoma,



5.22 pav. Išmanieji namai palengvina gyvenimą, bet taip pat leidžia jus stebėti ir girdėti (Wan, Ch., 2021)

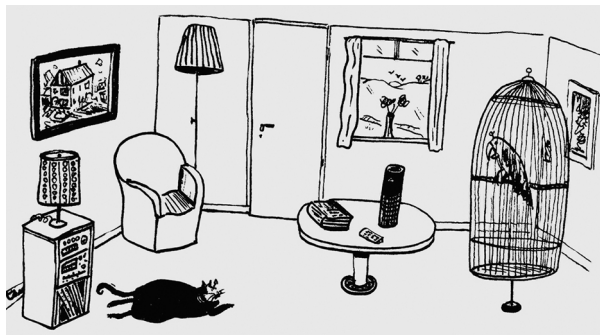
išmaniųjų namų sistema siekia naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius (hidroterminę, saulės energiją). Kai namuose nieko nėra, sistema persijungia į ekonominio šildymo arba vėsinimo režimą. Šildymo programa „žino“, kiek laiko užtrunka prišildyti ar atvėsinti patalpą. Patalpa bus pradeda šildyti anksčiau tam, kad pasirinktu laiku patalpos temperatūra būtų tokia, kokios ir norėjote.

Nelaimės atveju (atsiradus vandens nutekėjimui, esant gaisro pavojui ar kam nors įsilaužus) informuos blyksinčios šviesos. Vakare sumigus vaikams, vietoj įprasto durų skambučio apie svečią prie durų praneš sublyksintys šviestuvai. Jei svečias nuspaudė durų skambučio mygtuką, skambučio melodija gali pasigirsti visuose namuose. Jeigu vaikai jau sumigo, jų kambariuose skambutis nebus girdimas. Automatinis apšvietimo pritemdymas ne tik nevargina akių, bet ir padeda virtualiai transformuoti erdvę. Grįžus iš darbo apšvietimas gali būti ryškus ir praplečiantis erdvę, vakare prie televizoriaus jis gali būti ramus ir švelnus. Jeigu palikote namus ilgesniam laikui, galima sukurti buvimo patalpoje imitaciją. Buvimo namuose imitacijos programa įjunginės šviesas patalpose, lyg ten būtų žmonių. Kai patalpa niekas nesinaudoja, apšvietimas po kurio laiko bus išjungtas automatiškai. Šviesos pačios įsijungs, vos kam nors įžengus į patalpą, tačiau bus atsižvelgta ir į jau

esantį, natūralų patalpos apšvietimą. Šviesos bus įjungtos tik tuo atveju, jei patalpoje bus nepakankamai šviesos. Užulaidos, žaliuzės, ritininės užulaidos gali būti valdomos automatiškai. Kai kambaryje per karšta – žaliuzės automatiškai prisivers, neleidamos kambariui perkaisti. Jus švelniai gali pažadinti šviesa, o ne garsas. Dar prieš suskambant žadintuvui, kambaryje lėtai ims ryškėti šviesa ir bus galima pabusti lėtai, be streso. Paliekant namus ir įjungus režimą „Nieko nėra namuose“, automatiškai pradės veikti apsaugos sistema, bus išjungtos šviesos. Atsiradus ugnies židiniui ar vandens užliejimo pavojui, įspėjamas ne tik savininkas, bet ir saugos tarnyba. Vandens užliejimo pavojaus atveju vandens tiekimas nutraukiamas automatiškai. Viską valdantis centras leidžia iki smulkmenų palengvinti gyventojų buitį. Vienas tokių pavyzdžių – kai skalbyklė baigia ciklą, miegamajame ar kambaryje, kuriame tuo metu yra žmonių, sublyksi šviesos ar per garso sistemas pasigirsta pranešimas apie pasibaigusį skalbimą. Tokia prietaisų integracija į namų sistemas užtikrina, kad name būtų ne tik pavienių išmaniųjų daiktų, bet jie dar ir tarpusavyje sąveikautų kurdami bendrą išmaniojo namo sistemą.

Labai svarbi namo prieigos kontrolė. Ši sistema suderinama su daugybe skirtingų vartų variklių, elektrinių spynų, pirštų atspaudų skaitytuvų ir kitų prieigos barjerų. Atvykus namo, namų durys atsirakins, o įėjus į namus arba nuėjus miegoti, durys užsirakins automatiškai. Kiekvienam vartotojui gali būti suteiktos individualios prieigos teisės. Pavyzdžiui, namų tvarkytoja gali atvykti tik pirmadienį nuo 9 iki 12 val. ir pan. Nuspaudus durų skambutį, per vaizdo domofoną galima matyti svečią ir su juo pasikalbėti, be to, net ir nebūnant namuose, galima jam atrakinti duris.

Dauguma stebėjimo kamerų šiais laikais yra prijungtos prie interneto ir pasiekiamos iš jo. Galite pasitikėti gamintojų teiginiais, kad kamera yra saugi, tačiau niekada negalite būti tikri, kad išvengsite įsilaužimo. Jeigu iš tiesų norite visiško privatumo, kamerą geriausia išjungti rankiniu būdu. Vienas plačiausiai naudojamų išmaniųjų įrenginių yra išmaniosios lempos. Į jas taip pat galima įsilaužti, todėl kyla pavojus namų kompiuterių tinklams. Be abejo, perkant patikimų gamintojų gaminius rizikuojama mažiau, tačiau būtina nuolat atnaujinti programinę įrangą. „Echo“ ir „Home“ tipo įrenginiai yra daugumos išmaniųjų namų smegenys. Jie visada klauso, gali rinkti balso įrašus ir, balso savininkui nežinant, juos panaudoti (5.23 pav.).



5.23 pav. Nuotolinis paliepiamas „Atšaukite kačių maistą ir padvigubinkite paukščių sėklų užsakymą“ (<https://twitter.com/mikestokoe/status/893502081457414148>)

Taigi, visi prie interneto prijungti įrenginiai: nešiojamieji stebėjimo prietaisai, išmanieji televizoriai, balsu valdomi įvairūs pagalbininkai, programėlėmis valdomos spynos ir šviestuvai, šildymo reguliatoriai žada patogumo utopiją – pasaulį, kuriame nereikia keltis iš lovos norint įjungti ar išjungti apšvietimą, arba kuistis rankinės dugne ieškant namų raktų. Tačiau kai šie įrenginiai, dar žinomi kaip *daiktų internetas*, vis labiau plinta, įvairūs smurtautojai juos naudoja kaip stebėjimo ir priekabiavimo įrankius. Dažnai įvairūs priekabiautojai mėgsta sekti savo partnerius, jiems svarbu žinoti, ką asmuo veikė, kur buvo. Tai daryti tapo daug lengviau nei bet kada anksčiau, nes iš esmės *išmanieji įrenginiai* yra prijungti prie debesijos interneto tinklo. Reikia įvertinti informaciją, kurią surenka turimi išmanieji įrenginiai, pavyzdžiui, išmanusis termostatas. Jis bet kam gali pranešti apie: 1) tai, kad esate toli nuo savo namų, 2) laiką, kada būnate darbe ar namuose, 3) laiką, kada tikriausiai atostogaujate, 4) tai, kuris iš jūsų kambarių yra dažniausiai naudojamas ir nenaudojamas. Jei tokia informacija patenka į netinkamas rankas, būtina pagalvoti apie rizikas. Užpuolikai, iš anksto suplanavę, gali lengvai įsilaužti į butą, namą ar įmonę, todėl vagystės rizika ir nuostoliai gali būti labai dideli.

Daiktų internetas sukūrė labai didelį įrenginių tinklą, kuris padidino galimas rizikas. Pasaulyje yra daugiau nei trys milijardai mobiliųjų vartotojų

ir beveik aštuoni milijardai daiktų interneto įrenginių. Sunku įsivaizduoti, kokios būtų rizikos, jei šis didžiulis tinklas būtų pažeistas arba į jį būtų įsilaužta. Kalbant apie išmaniuosius namus, tos grėsmės būtų išties rimtos. Pavyzdžiui, vartotojas, įjungiantis savo išmanųjį šviestuvą, perduoda informaciją apie savo buvimą namuose, apie laiką, kada išeina ar grįžta ir pan. Potencialus įsilaužėlis gali ne tik prieiti prie asmeninės ir kitos svarbios informacijos, bet ir patekti į namų tinklą. Tai gali pakenkti tiek vartotojų, tiek įmonių saugumo lygiui. Tarkim, įsivaizduokite didelio masto namų saugumo stebėjimą. Užpuolikiui įsilaužus į įrenginį, jis gali pakeisti duomenis ir taip prieiti prie visų jūsų duomenų. Labai svarbu niekada nenuvertinti su daiktų interneto įrenginiais susijusios rizikos.

Daiktų internetas neabejotinai kelia daugiau pavojų negu tik technologines rizikas. Daiktų internetas turi įtakos daugeliui teisinių dokumentų, susijusių su duomenų apsauga, atsakomybe už gaminius, duomenų suverenumu ir kt., nes kai yra labai daug duomenų, sunku nustatyti, kuriuos įstatymus galima taikyti ginčo atveju. Pavyzdžiui, jei automobilis be vairuotojo pateko į avariją, kas yra atsakingas? Gamintojas, savininkas ar keleivis, važiuojantis automobiliu? Tai viena pagrindinių bet kurio daiktų interneto projekto rizikų. Be abejo, tų rizikų sudėtingumas išauga, kai kalbama apie įmonės lygio daiktų interneto projektus.

Įmonėms labai svarbu atkreipti dėmesį į atminties bloko (buferio) perpildymą, t. y. kai programa bando įrašyti per daug duomenų į fiksuotą atminties bloką. Buferio perpildymas yra vienas pagrindinių įsilaužėlių, kurie siekia išnaudoti bet kurią daiktų interneto sistemą, taikinių. Įsilaužėliai gali prieiti prie daug konfidencialios informacijos ar net perimti daiktų interneto įrenginių valdymą. Dėl tokių atakų žiniatinklis gauna didžiulį informacijos srautą ir serveris negali su juo susidoroti. Kadangi daiktų internetas turi daugybę nešiojamųjų įrenginių ir didžiulį jutiklių tinklą, tokios atakos gali rimtai pakenkti bendrovei ar organizacijai, nes atsiranda elektromagnetinis trukdymas, neleidžiantis susisiekti su informacijos naudotojais ar keistis informacija, o dėl didelio siunčiamo srauto serveris negali reaguoti efektyviai ir greitai. Kol kas daiktų internetas dar tik pradeda vystytis, tačiau manoma, kad jis augs eksponentiškai. Bet kuris asmuo, susijęs su daiktų interneto projektais, turėtų apsvarstyti šias rizikas.

5.6. Veido atpažinimas

Vienas didžiausių su informacinėmis technologijomis susijusių iššūkių – suprasti, kaip žmonės atpažįsta vienas kito veidą ir sukurti automatizuotas bei patikimas veidų atpažinimo sistemas. Šis iššūkis yra biometrijos, autentifikavimo mokslo pagrindas, nes sistema padeda vienu metu įvertinti žmonių fizinę ar išorinę išvaizdą ir (arba) elgesio ar fiziologinius bruožus. Fiziniai ir elgesio bruožai nebūtinai yra nepriklausomi. Veidas, į kurį žiūrime, yra fizinių savybių ir emocinių išraiškų derinys. Problemų, susijusių su veido atpažinimu, sprendimas turi didelį mokslinį poveikį, nes žmonių atpažinimas yra pirminis, tačiau svarbus žingsnis kuriant protingas mašinas, galinčias veikti žmonių aplinkoje.

Kadaiše mokslinės fantastikos tema laikytas *biometrinis veido atpažinimas* greitai tapo neatsiejama kasdienio žmonių gyvenimo dalimi. Teisės saugoje, sienų kontrolėje, mažmeninėje prekyboje, bankininkystėje, mobiliųjų technologijų, finansų ir kt. srityse plačiai naudojamos veido atpažinimo technologijos. Šios krypties technologinė pažanga per pastaruosius 60 metų labai palengvino įvairių sričių veiklą. Pirmieji veido atpažinimo pradininkai buvo amerikiečiai Woodrow Wilsonas Bledsoe, Helen Chan Wolf ir Charlesas Bissonas. Jie 1964 ir 1965 metais pradėjo darbus, skirtus žmogaus veidui kompiuteriu atpažinti. Projektą finansavo neįvardyta žvalgybos agentūra, todėl apie jos didžiąją veiklos dalį niekada nebuvo paskelbta. Vėliau paaiškėjo, kad iš pradžių jų darbas buvo susijęs su įvairių „orientyrų“ ant veido (pvz., akių centrų, burnos ir kt.) žymėjimu rankiniu būdu. Atstumai tarp orientyrų buvo automatiškai matematiškai apskaičiuojami ir, siekiant nustatyti tapatybę, vaizdai buvo lyginami tarpusavyje. Aštuntajame dešimtmetyje į automatizuoto atpažinimo technologiją buvo įtrauktas jau 21 specifinis subjektų žymeklis, įskaitant plaukų spalvą, lūpų storį ir kita. Nors buvo pasiekiamas vis didesnis tikslumas, matavimus vis tiek reikėjo apskaičiuoti rankiniu būdu, todėl darbo buvo nemažai.

1988 m. veidui atpažinti pradėta taikyti tiesinė algebra. Naujoji sistema parodė, kad norint tiksliai užkoduoti normalizuotą veido vaizdą reikia mažiau nei šimto verčių. 1991 m. atrasta, kaip paveiksle ar vaizde atpažinti veidus. Tai buvo reikšmingas proveržis, kuris atvėrė kelį būsimai veido atpažinimo technologijos raidai.

1990–2000 m., siekiant skatinti komercinę veido atpažinimo rinką, JAV buvo įdiegta veido atpažinimo (FERRET) programa. Tai buvo JAV Vyriausybės remiamas projektas, kuriuo buvo siekiama sukurti didelę automatinę veido atpažinimo sistemą, skirtą žvalgybai, saugumui ir teisės saugai. Programa pradėta 1993-aisiais. Projekto metu buvo sukurta veido vaizdų duomenų bazė, kurioje buvo 2 413 nejudančių veido atvaizdų, vaizduojančių 856 žmones. Buvo tikimasi, kad didelė veido atpažinimo vaizdų duomenų bazė padės sukurti veiksmingesnę veido atpažinimo technologiją.

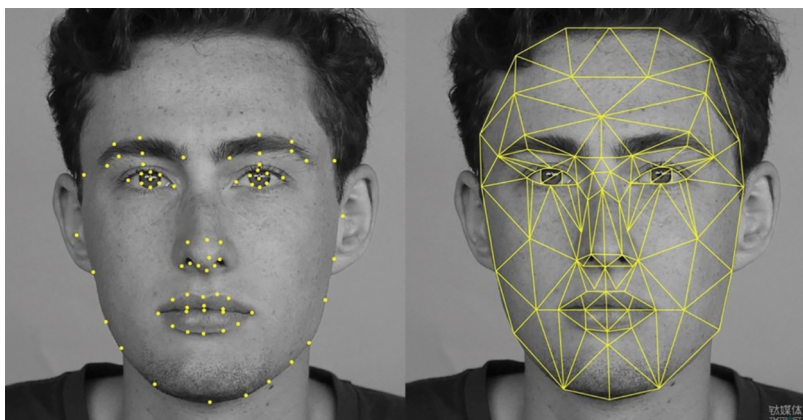
2000-ųjų pradžioje JAV Nacionalinis standartų ir technologijų institutas pradėjo pardavinėti veido atpažinimo testus ir prototipų technologijas, siekiant nustatyti geriausius veido atpažinimo technologijos diegimo būdus.

2006 m. pradėtas naujas veido atpažinimo etapas, naudojant naujausius veido atpažinimo algoritmus. Atliekant bandymus buvo naudojami didelės raiškos veido vaizdai, 3D veido nuskaitymai ir rainelės vaizdai. Rezultatai parodė, kad naujieji algoritmai buvo 10 kartų tikslesni nei 2002 m. naudoti veido atpažinimo algoritmai ir 100 kartų tikslesni nei naudoti 1995-aisiais. Veido atpažinimo technologijų pažanga per pastarąjį dešimtmetį buvo akivaizdi.

Veido atpažinimo technologijos pradėtos diegti dar 2010 metais, kai „Facebook“ pradėjo naudoti veido atpažinimo funkciją (Wechsler, H., 2009). Ši funkcija padėjo atpažinti žmones, kurių veidai gali būti matomi nuotraukose ir kurias „Facebook“ vartotojai nuolat atnaujina. Tačiau ši funkcija žiniasklaidoje sukėlė daugybę prieštaravimų, nes atsirado nemažai su privatumu susijusių problemų. Kiekvieną dieną įkeliama ir pažymima daugiau kaip 350 milijonų nuotraukų naudojant veido atpažinimo funkciją. Veido atpažinimo technologija sparčiai tobulėjo. 2017 metai žymi dar vieną svarbų įvykį, padedantį integruoti veido atpažinimą į mūsų kasdienį gyvenimą, – vartotojams buvo pristatyti pirmieji „iPhone“, turintys veido atpažinimo funkciją. Biometriniai duomenys vaidina vis svarbesnį vaidmenį įvairiose srityse: pasienio kontrolėje, oro linijose, oro uostuose, transporto organizavime, stadionuose, koncertuose ar konferencijose. Naujosios technologijos gali atpažinti veidą, akies raineles, balsą, pirštų ir delno atspaudus, atlikti ausų akustinį autentifikavimą. Įdiegtos dirbtinio intelekto ir duomenų analizės priemonės padeda geriau suvokti situaciją ir palengvina būtinus veiksmus realiuoju laiku.

Veido atpažinimas dažnai gali būti labai svarbūs biometriniai duomenys, nes vaizdus galima nufotografuoti neliečiant identifikuojamo asmens ar su juo nebendraudžiant, o vaizdai įrašomi ir tikrinami pagal esamas duomenų bazines. Naujosios technologijos gali apdoroti ir analizuoti kelis fotoaparato srautus ir tūkstančius veidų per minutę. Tinkamai naudojama veido atpažinimo technologija gali labai pakeisti mūsų gyvenimą, subalansuoti saugumą ir privatumą. Remiantis 2020 m. atliktais tyrimais, veido atpažinimo sistemos idealiomis sąlygomis pasižymi ypač dideliu tikslumu ir siekia 99,97 % atpažinimo tikslumo lygį (Gates, K. A., 2011).

Veido atpažinimo programinė įranga patvirtina asmens tapatybę aptikusi veidą, atlikusi veido analizę ir konvertavusi vaizdą į skaitmeną bei nustačiusi veido atvaizdo atitikmenį. Pirmiausia, fotoaparato užfiksuota veido nuotrauka yra analizuojama. Programinė įranga apdoroja aptikto veido orientyrus, tokius kaip tarpą tarp akių, atstumą nuo kaktos iki smakro, nosies galiuką ir pan. Šie orientyrai laikomi mazginiais taškais, o veidas turi maždaug 80 mazgų taškų (5.24 pav.). Analizės duomenys konvertuojami į asmens veido bruožais pagrįstą skaitmeninės informacijos rinkinį. Šis skaitmeninis kodas vadinamas *nuskaityto veido atvaizdu*, o kiekvienas asmuo turi unikalų veido atvaizdą. Paskutinis žingsnis yra rasti veido atvaizdo atitikmenį. Skaitmeninis kodas lyginamas su duomenų



5.24 pav. Veido atpažinimas (<https://rapidapi.com/blog/top-facial-recognition-api/>)

bazėje esančiais veidais. Duomenų bazėje užregistruoto veido padėtis, dydis ir mastelis koreguojami, kad atitiktų analizuojamą veidą. Tai padeda, kai naudotojo veidas juda ar pasikeičia išraiška. Naudodamasi šiais duomenimis, programinė įranga tiksliai patvirtina asmens tapatybę.

Dėl veido atpažinimo technologijos žmonių nuomonės labai išsiskiria. Jei tikėtume viskuo, ką galima rasti žiniasklaidoje, atrodytų, kad veido atpažinimo technologijomis visuotinai nepasitikima. Kaip ir dauguma technologijų, veido atpažinimas turi ir šalininkų, ir priešininkų. Daugiausia nepasitikėjimo kelia baimė, kad veido atpažinimo technologija pažeidžia asmeninį privatumą, kad įsilaužėliai gali tiesiog įsibrauti į duomenų bazę, pavogti jūsų tapatybę ir jūs niekada jos nebeatgausite. Tai tiesiog netiesa. Veido atpažinimo ir kitos biometrinės technologijos yra vieni saugiausių būdų, galinčių patvirtinti, kad esate toks, koks sakote esąs. Daug saugiau nei tradicinis slaptažodis ir daug mažesnė tikimybė, kad bus pavogta tapatybė. Taip pat negalite prarasti biometrinių rodiklių – jūsų veidas, pirštų atspaudai ir rainelės „visada yra su jumis“, todėl daugeliui žmonių jie yra praktiškesni nei slaptažodžiai.

Vis dėlto, kaip veido atpažinimas keičia pasaulį, kuriame gyvename? Pagrindinės sritys, kuriose diegiamos veido atpažinimo technologijos, yra kelionės, mažmeninė prekyba ir visuomenės saugumas. Aviacijos sektoriaus saugumui didinti naudojamos veido atpažinimo technologijos turėjo pagerinti aviacijos saugumo pareigūnų įgūdžius ir patirtį, buvo siekiama pašalinti akivaizdžias žmogiškąsias silpnynes ir paspartinti keleivių bei bagažo patikrinimo procesą. Sveikatos priežiūra yra vienas sektorių, kuriame svarbu taikyti veido atpažinimo priemones, nes jos pagerina bendrus saugos standartus, sumažina identifikavimo klaidas, pagelbsti žmonėms ligoninėse ir gydytojų kabinetuose.

Veido atpažinimo technologijos principas gali būti pritaikomas „objektams atpažinti“, norint nustatyti ne vietoje esančius dalykus, pvz., iš šiukšlių dėžės išbirusias šiukšles ar aplaužytą autobusų stotelę, ir įspėti atitinkamą agentūrą, kad reikia imtis veiksmų. Išmanusis telefonas yra dažniausiai naudojamas asmeninis įrenginys, kuriame yra veido atpažinimo funkcija. Vis daugiau išmaniųjų telefonų turėtojų naudoja šią funkciją telefonui atrakinti, taip pat mokėjimams ir kitoms aukščiausios klasės užduotims autentifikuoti. Tikimasi, kad iki 2024 m. veido atpažinimo sprendimai bus prieinami

1,3 milijardo įrenginių. Namų apsaugos sistemos taip pat pereina prie veido atpažinimo technologijos: padeda identifikuoti į jūsų namus atvykusius žmones, atidaro jiems vartus ar įėjimo duris, padeda aptikti galimus įsibrovėlius, kai esate toli nuo namų, ir taip pagerina objekto saugumą. Veido atpažinimas neabejotinai keičia pasaulį, kuriame gyvename, o šis pasaulis, dėl veido atpažinimo naudojimo, taip pat keičiasi. Didelį postūmį šiai technologijai davė COVID-19 pandemija, nes ji prisidėjo prie to, kad sumažėjo tiesioginis klientų ir medicinos darbuotojų kontaktas. Veido atpažinimo ir kitos biometrinės technologijos padėjo patvirtinti, kad žmonės tikrai yra tie, kas sakosi esą, padėjo geriau valdyti koronaviruso plitimą, nes sumažino sąlyčio taškų skaičių klinikinėje aplinkoje. Daugelis žmonių šiandien dėvi kaukes tiek patalpose, tiek lauke, o tai kelia daugybę iššūkių veido atpažinimo programinei įrangai, nes dabar matoma tik dalis veido. Kai asmuo dėvi kaukę, sistema, kad patikrintų subjekto tapatybę, sutelkia dėmesį į matomas veido dalis, pvz., akis ir aplinkines sritis. Norėdami naudotis šia sistema, vartotojai iš anksto turi registruoti savo veido nuotrauką. Tapatybės patvirtinimas trunka mažiau nei vieną sekundę, o tikslumas didesnis nei 99,9 %. COVID-19 pandemija paveikė ir kai kurias kitas žmonių veiklos sritis, todėl žmonės turėjo daug greičiau prisitaikyti ir pereiti prie naujų technologijų naudojimo. Viena labiausiai paveiktų veiklos sričių buvo įvairūs renginiai (ir vietiniai, ir pasauliniai), nes dėl įvairių apribojimų, socialinio atstumo, privalomų kaukių ir kitų saugos priemonių organizatoriai turėjo pergaltoti renginių valdymo strategijas. Daugelis renginių buvo vykdomi virtualiai, tačiau pasauliui pradėjus atsiverti, atsinaujinus tarptautinėms kelionėms, renginių organizatoriai imasi veido atpažinimo funkcijos kaip valdymo būdo, kai reikalinga prieiga prie renginio, registracijos, renginio saugumo valdymo.

Dar viena pramonės šaka, kuri nemažai investuoja į veido atpažinimo technologijas, yra automobilių pramonė. Dėl automobilių vagysčių prarandami milijardai. Akivaizdu, kad reikia naujos, patikimos saugos priemonės, kuri užtikrintų ramybę automobilių savininkams net tada, kai jų nėra šalia automobilio. Veido atpažinimas jau dabar padeda užtikrinti papildomą saugumą ir sumažinti vagysčių skaičių, nes, vairuotojui prisijungus prie sistemos, ši jį „prisimena“. Kiekvieną kartą, kai vairuotojas įsėda į transporto priemonę, sistema jį „atpažįsta“ ir suteikia prieigą prie iš anksto nustatytų

funkcijų, tokių kaip leidimas užvesti automobilį. Jei į automobilį patenka pašaliniai asmenys, sistema apie tai gali pranešti savininkui arba blokuoti automobilio užvedimą. Tai padeda išvengti vagysčių. 2018 m. pristatyta pirmoji pasaulyje pirštų atspaudų sistema, kuri užrakina automobilio duris ir užveda variklį. Dar viena veido atpažinimo funkcija yra vairuotojo būsenos įspėjimo sistema pagal akies rainelės atpažinimą. Ši sistema perspėja, kai vairuotojas nesusikoncentruoja į vairavimą. Veido atpažinimo technologija identifikuoja vairuotojus pagal veido bruožus, pvz., akis, nosį, burną ir ausis. Be to, sistema analizuoja vyzdžio ir veido judesius, juos derina su vairavimo informacija (automobilio greičiu, vairavimo kryptimi), nustato nukrypimus nuo eismo juostos ir įsibrovimo riziką į kitas eismo juostas. Sistema, pastebėjusi neatsargius vairuotojo veiksmus, įspėjamosiomis lemputėmis, aliarmo garsais ar vibracija atkreipia vairuotojo dėmesį. Yra tūkstančiai naudojimo atvejų, kai tinkamai įdiegus ir gavus programinę įrangą naudojančių žmonių sutikimą, veido atpažinimas padeda sukurti saugesnę aplinką tiek kelionėse, tiek namuose. Nors pasitaiko pavienių atvejų, kai veido atpažinimas naudojamas netinkamai, kelia grėsmę mūsų asmeniniam privatumui, reikia nepamiršti daugybės veido atpažinimo technologijų teikiamų pranašumų.

Veido atpažinimas plačiai naudojamas mažmeninės prekybos sektoriuje, siekiant paspartinti sukčiavimo ir vagysčių tyrimus bei apdoroti vaizdo įrašus iš kelių šaltinių, ar siekiant nustatyti dominančius asmenis. Be to, ši technologija naudojama lojalumo programose dalyvaujantiems klientams identifiкуoti ir suasmenintoms paslaugoms teikti, taip pat paspartinti apmokėjimo parduotuvėje procesą.

Žaidimų sektoriuje veido atpažinimas dažniausiai naudojamas probleminiams lošėjams aptikti realiuoju laiku, kad jie būtų identifiкуoti kuo greičiau ir nespėtų padaryti žalos.

Sporto varžybose ar stadionuose vykstančiuose renginiuose veidų atpažinimas taikomas bilietų pardavimui stebėti, įeinančiųjų į renginį patikroms, siekiant aptikti susirūpinimą keliančius asmenis. Nustačius tvarkos pažeidėjus, apsaugos darbuotojai įspėjami automatinėmis įspėjimo priemonėmis.

Veido atpažinimo tyrimai prasidėjo tik prieš šešis dešimtmečius, tačiau veido atpažinimo svarba pripažįstama plačiai, jos pranašumai aktyviai reklamuoja suinteresuotosios organizacijos. Vis dėlto, ar tikrai šios naujosios

technologijos tiktai spindi? Visuomenėje dėl veido atpažinimo jau seniai kyla įvairių diskusijų ir nesutarimų. Šalininkai teigia, kad ši technologija yra veiksminga priemonė sugauti blogiukus ir patikrinti, kas, kaip sakome, esame patys. Policijos, privačių seklių, specialiųjų tarnybų, įvairių kitų vyriausybinių institucijų rankose veido atpažinimo technologija kelia grėsmę asmens privatumui, saviraiškos laisvei, informacijos saugumui ir socialiniam teisingumui. Veido vaizdo duomenys yra ypatingieji duomenys, nes yra unikalūs ir gali būti susieti su daugeliu kitų asmeniui svarbių duomenų. Kiekvieno asmens veidas yra unikalus identifikatorius, kurio negalima „palikti namuose“ arba pakeisti kaip pavogto slaptažodžio. Jei duomenys bus pažeisti, atsiras daug didesnė asmens tapatybės vagystės rizika, nes biometrinių duomenų negalima pakeisti ar atsisakyti. Technologijos priešininkai nurodo nemažai veido atpažinimo technologijų trūkumų: i) kelia grėsmę privatumui; ii) pažeidžia asmens teises ir laisvę; iii) galimas asmens duomenų pažeidžiamumas; iv) atsiranda galimybė sukčiauti ar kitaip piktnaudžiauti; v) klaidos gali įklampinti nekaltus žmones; vi) technologijomis galima manipuluoti; vii) informuoto sutikimo ir skaidrumo stoka; viii) galimybė naudoti masiniam sekimui; ix) neefektyvi teisinė pagalba; x) įsilaužėliai gali pavogti asmens duomenis; xi) technologija vis dar nauja ir nebrandi. 2020 m. buvo įsilaužta į Kinijos Vyriausybės veido atpažinimo paslaugą ir per suklastotas mokesčių sąskaitas faktūras pavogti milijonai dolerių. Įsilaužėliai manipuliavo maskavimosi ir apsimitinėjimo priemonėmis, asmens duomenimis ir juodojoje rinkoje įsigytais didelės raiškos nuotraukomis. Nors daugelis mano, kad naudojantis veido atpažinimo technologijomis gali būti saugiau patekti į verslo vietas ar registruotis į įvairius renginius, apsaugoti nuo sukčiavimo bankomatuose ar prisijungiant prie interneto paskyrų, priešininkai mano, kad šie pranašumai yra neverti privatumo rizikos, taip pat jie nepasitiki sistemomis ar jas valdančiais žmonėmis. Baiminamasi, kad technologija bus sąmoningai naudojama šališkai ir pažeidžiant teises. Pavyzdžiui, skeptikai baiminasi, kad vyriausybės gali taikyti veido atpažinimo funkciją kaip masinio mažumų ar disidentų grupių stebėjimo priemonę. Net ir demokratinėse valstybėse nesibodima naudoti šių technologijų stebint valdančiųjų priešininkus, o totalitarinėse valstybėse šios technologijos naudojamos beatodairiškai.

Viena privati JAV veido atpažinimo bendrovė turi 30 mlrd. vaizdų, nukopijuotų iš tokių platformų kaip „Facebook“ ir naudojamų be asmenų leidimo. Ši įmonė atliko beveik milijoną JAV policijos paieškų. Bendrovei Europoje ir Australijoje ne kartą buvo skirtos milijoninės baudos už privatumo pažeidimus. Sistema leidžia teisės saugos pareigūnui įkelti veido nuotrauką ir surasti atitikmenis milijardų surinktų vaizdų duomenų bazėje. Policija patvirtino, kad šią programinę įrangą naudoja aiškinantis visų rūšių nusikaltimus – nuo žmogžudysčių iki vagysčių iš parduotuvių. Kritikai teigia, kad beveik nėra įstatymų, kuriais būtų reglamentuojamas policijos atliekamo veido atpažinimo naudojimas. Nors yra dokumentais pagrįstų atvejų, kai policija supainiojo tapatybę pasitelkdama veido atpažinimą, tačiau tyrimai rodo, kad atpažinimo tikslumas yra beveik 100 %. Yra nuomonių, kad kai privati įmonė internete be žmonių sutikimo naudoja jų veido atvaizdus, kyla didžiulė piliečių laisvių ir pilietinių teisių problema, todėl tokią privačią veiklą reikėtų drausti.

Veido atpažinimo technologijos pasitelkiamos ne tik asmens veidui aptikti, bet ir veidui ar išraiškai pakeisti. Aptikti asmens veido pakaitalus sunku. Nors, kai padirbinėjimo algoritmas sukuria pakeistą veido išraišką, naujas vaizdas ne visada atitinka žmogaus galvos geometriją, apšvietimo sąlygas ar atstumą iki fotoaparato. Padirbinėjimo procesas palieka skaitmeninius pėdsakus, leidžiančius tyrėjams aptikti padirbtus vaizdo įrašus.

Šiandien visi jutikliniai telefonai turi veido atpažinimo funkciją. Labai didelį nerimą kelia vaizdo stebėjimo kameros, kurias diegia beveik visos organizacijos, mažmeninės prekybos parduotuvės ir net kai kurie piktavaliai asmenys. Tokios slaptos kameros gali būti įrengtos net miegamajame ar vonios kambaryje. Įvairios slaptas kameras naudojančios organizacijos ne tik užkerta kelią vagystėms ir apiplėšimams, bet ir saugo asmenų veido bruožus savo duomenų bazėse. Tokie vaizdai ar duomenys vėliau gali būti panaudoti be asmens žinios ir ne visada jų naudojimas gali būti asmeniui palankus ar padidinti jo saugumą. Nors veido atpažinimas yra puiki funkcija, reikia nepamiršti svarbiausio dalyko – tikrasis veido atpažinimas yra vis dėlto daugiau neigiamas technologijų poslinkis! Skepticizmas, mokslinio metodo šerdis, reikalingas tam, kad iš fantastikos būtų galima atskirti faktus apie tai, ką iš tikrųjų gali padaryti veido atpažinimo technologijos ir koku mastu.

5.7. Virtualioji (dirbtinė) tikrovė

Virtualioji tikrovė (VT) – kompiuteriu sugeneruota trimatė aplinka, su kuria vartotojas sąveikauja naudodamas specialiąją techninę įrangą (5.25 pav.). Virtualiojoje tikrovėje realaus pasaulio vaizdas yra nematomas, t. y. aplinka sudaryta tik iš kompiuterio realiuoju laiku sugeneruotos grafikos, teksto, garso ar kitų virtualių dirgiklių. Vienas pagrindinių VT tikslų yra pabrėžti specifines fizinio pasaulio ypatybes ar savybes, geriau jas suprasti ir gauti išvalgas, kurias galima pritaikyti realiame pasaulyje. Virtualiosios tikrovės technologijos naudojamos žaidimams ir pramogoms, medicinoje, švietime, versle, archeologijoje, architektūroje, astronomijoje.

Pirmosios virtualiosios tikrovės užuomazgos aptinkamos jau 1838-aisiais, kai Didžiosios Britanijos fizikas Charlesas Wheatstone³ as aprašė gylio ir trimatės struktūros suvokimą. Šis suvokimas padėjo jam sukurti ankstyvąjį stereoskopą. 1901 m. L. Frankas Baumas pirmą kartą paminėjo idėją apie elektroninį ekraną / akinius, kurie perkelia duomenis į realų gyvenimą. XX a. aštuntajame ir devintajame dešimtmečiais Kanados mokslininkas Steve'as Mannas suformulavo tarpininkaujančios realybės koncepciją, naudodamas kameras, procesorius ir ekranų sistemas. 1962 m.



5.25 pav. Nusileidimo parašitu simuliacija, pasitelkiant virtualiosios realybės akinius (VR-Helm.jpg. Viešo naudojimo)

kino prodiuseris, režisierius Mortonas Heiligas sukūrė vaizdo, garso, vibracijos ir kvapo simulatorių, t. y. pirmąją VT mašiną „Sensorama“. 1968 m. amerikiečių informatikas Ivanas Saderlandas Harvardo universitete sukūrė pirmuosius virtualiosios tikrovės akinius, pavadintus „Damoklo kardas“ (*The Sword of Damocles*). Šie akiniai buvo nepatogūs, per sunkūs ir prikabinami prie lubų. 1980 m. Kanados mokslininkas S. Mannas išrado pirmąją nešiojamąją kompiuterinio matymo sistemą su tekstu ir grafikos priemonėmis. 1992 m. JAV išradėjas Louisas Rosenbergas Jungtinių Valstijų oro pajėgų tyrimų laboratorijoje sukūrė vieną pirmųjų veikiančių virtualiosios tikrovės sistemų – *Virtual Fixtures*. 1995 m. Sai Ravela ir kiti tyrėjai Masačusetso universitete pristatė regėjimu pagrįstą monokuliarines kameras naudojančią sistemą, kuri leido stebėti objektus įvairiose projekcijose. 2000 m. JAV Rokvelo tarptautinis mokslo centras pademonstravo nešiojamas virtualiosios tikrovės sistemas, priimančias analoginį vaizdą ir 3D garsą belaidžiais radijo dažnio kanalais. 2012 m. pristatyta interaktyvi VT žaidimų platforma *Lytshot*, kurioje žaidimų duomenims gauti naudojami išmanieji akiniai. 2019 m. „Microsoft“ pristatė *HoloLens 2* virtualiosios tikrovės sistemą, kurioje buvo atlikti reikšmingi regėjimo lauko ir ergonomikos patobulinimai (5.26 pav.).



5.26 pav. Darbas virtualios sąsajos aplinkos stotyje (THE VIEW (Virtual Reality).jpg. Viešo naudojimo)

Galimas virtualiosios tikrovės taikymas

Virtualiosios tikrovės taikymo sritys gali būti labai įvairios – nuo žaidimų ar pramogų iki medicinos, edukacijos ir verslo (Boas, Y. A. G. V., 2013). Kaip dažniausiai būna, naująja technologija pirmiausia susidomėjo kariškiai. Ankstyvojo virtualiosios tikrovės pritaikymo pavyzdys buvo teleskopų operatoriams sukurta sistema, padedanti identifikuoti palydovus ir nustatyti bei kataloguoti potencialiai pavojingas kosmines šiukšles (Abernathy, M. ir kt., 1993). Nuo 2003 m. JAV kariuomenė VT sistemą integravo siekiant padėti operatoriams aptikti žmones ar lankytinas vietas. Sistema sujungė fiksuotą geografinę informaciją (gatvių pavadinimus, lankytinas vietas, oro uostus ir geležinkelius) su tiesioginiu vaizdo įrašu iš kameros sistemos. Sistema realiuoju laiku rodo draugo / priešo / vietos žymeklius, susietus su tiesioginiu vaizdo įrašu, todėl operatorius gali geriau suvokti situaciją. Mūšyje VT gali tarnauti kaip tinklo ryšio sistema, kuri realiuoju laiku pateikia naudingus mūšio lauko duomenis į kario akinius. Žvelgiant iš kario pusės, žmonės ir įvairūs objektai gali būti pažymėti specialiais indikatoriais, įspėjanciais apie galimus pavojus. Virtualieji žemėlapiai ir 360° vaizdo kameros vaizdai taip pat gali būti pateikiami, kad padėtų kariui naviguoti ir matyti mūšio lauko perspektyvą (Cameron, Ch., 2010). Dar viena virtualiosios tikrovės sistema naudojama JAV armijos nepilotuojamose oro sistemose. Virtualioji tikrovė gali būti veiksminga priemonė, leidžianti nustatyti amunicijos saugyklas, atstumus tarp jų, vizualizuojant rizikos zonas (Slyusar, V., 2019). Remiantis suvokimo ir motorikos tyrimais eksperimentinėje psichologijoje, mokslininkai, naudodami virtualiosios tikrovės sukurtas skrydžio trajektorijas danguje, moko studentus, kaip nutupdyti lėktuvą, naudojant skrydžio treniruoklį. Šiuo metodu mokomi studentai parengiami greičiau, negu naudojant vien tik įprastą treniruoklį. Virtualiosios tikrovės sistema gali padidinti navigacijos įrenginių efektyvumą. Informacija gali būti rodoma ant automobilio priekinio stiklo, nurodant kelionės kryptis, orą, reljefą, lankytinas vietas, kelio sąlygas, eismo informaciją, taip pat perspėjimus apie galimus pavojus kelyje. Jūrų laivuose virtualioji tikrovė leidžia laivavedžiams nuolat gauti ir stebėti informaciją apie laivo kursą, greitį judant uostuose ar atliekant kitas užduotis. NASA naudojo hibridinę sintetinio matymo sistemą, kuri buvo naudinga esant ribotam matomumui. Pavyzdžiui, kai vaizdo

kameros langas apšalo, astronautai galėjo pasikliauti virtualiosios tikrovės vaizdais, kurie užtikrino geresnę erdvėlaivio navigaciją skrydžio bandymų metu 1998–2002 m. (Delgado, F. ir kt., 1999). Šiandien VT sistemos naudojamos avarinių situacijų valdymo, paieškos ir gelbėjimo operacijose. Pavyzdžiui, paieškos orlaivis ieško pasiklydusio keliautojo raižytoje kalnų vietovėje. Virtualiosios tikrovės sistemos suteikia oro operatoriams geografinę informaciją apie miško kelių ar vietovės pavadinimus, juos susiejus su kameros vaizdo įrašu. Nustačius vietą, operatorius gali efektyviau nukreipti gelbėtojus į žygeivių buvimo vietą, nes geografinė padėtis ir orientyrai jau yra aiškiai pažymėti.

Virtualioji tikrovė pasitelkiama vykdant archeologinius tyrimus. Ji padeda archeologams iš išlikusių struktūrų suformuoti galimas vietovių konfigūracijas, sukurti kraštovaizdžių, griuvėsių, pastatų ar net senovės žmonių modelius. Vartotojai gali matyti 3D panoraminius vaizdus skirtinguose kasinėjimo etapuose ir tirti kasinėjimo rezultatus neišeidami iš namų.

Architektams virtualioji tikrovė taip pat gali padėti vizualizuoti pastatų projektus. Kompiuteriu sukurti pastato vaizdai gali būti uždėti ant realios vietovės vaizdo prieš statant fizinį pastatą. Vartotojai, apžiūrintys pastato išorę, gali žvelgti ir per sienas, apžiūrėti vidaus objektus ir jų išdėstymą. Sistema gali būti panaudota atliekant miesto planavimą ir objektų projektavimą (5.27 pav.).



5.27 pav. Rankomis nupiešta moderni vila su baseinu ir kompiuteriu sukurtas pastato vaizdas (<https://www.istockphoto.com/photo/hand-sketching-a-designer-villa-with-pool-gm1063723682-284386753?phrase=Design%20Professional%20Photos>)

Pramoninėje gamyboje virtualiosios tikrovės technologijos leidžia efektyviai atlikti mašinos apžiūrą, nes suteikia operatoriams tiesioginę prieigą prie mašinos apžiūros istorijos. Vis daugiau virtualiosios tikrovės pritaikymo atvejų susiję su gaminio gyvavimo ciklo aspektais, pradedant gaminio projektavimu ir naujo produkto pristatymu, baigiant gamyba, aptarnavimu, priežiūra ir medžiagų tvarkymu. Virtualūs vadovai padeda gamintojams prisitaikyti prie greitai kintančių gaminių dizaino, nes skaitmeninės instrukcijos lengviau redaguojamos ir platinamos. Didelės mašinos ar įrenginiai yra sudėtingi, tačiau pasitelkiant virtualiąją tikrovę operatoriai į įrenginį gali žvelgti tarsi su rentgeno spinduliu ir tuoj pat pašalinti atsiradusią problemą. Tai padidina ir operatoriaus saugumą, nes operatorius būna toliau nuo pavojingos darbo zonos. Dėl virtualiosios tikrovės operatoriai gali jaustis saugesni, dirbdami šalia didelių pramoninių mašinų, nes operatoriams suteikiama papildoma informacija apie mašinos būseną, saugos funkcijas, pavojingas darbo vietas zonas (5.28 pav.). Virtualioji tikrovė leidžia pramoniniams dizaineriams susipažinti su gaminio dizainu ir veikimu dar prieš jį pagaminant. Dizaineriai gali palyginti skaitmeninius maketus su fiziniais maketais ir nustatyti jų neatitikimus (Verlinden, J. C.; Horvath, I., 2010).

Viena pirmųjų virtualiosios tikrovės taikymo sričių buvo sveikatos priežiūra, siekiant palengvinti chirurginių procedūrų planavimą, praktiką ir



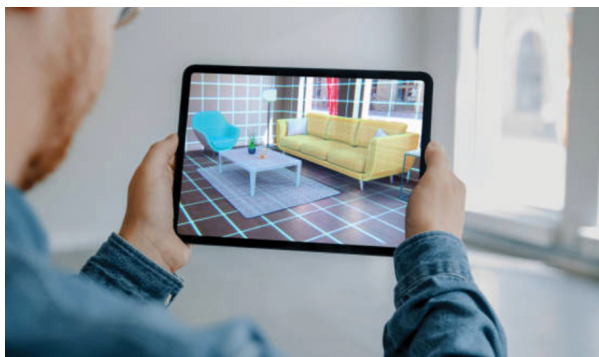
5.28 pav. Pramoniniai robotai ir technologinis fonas (<https://www.istockphoto.com/photo/robotic-arms-technology-background-gm1339547170-419862853?phrase=robotics>)

mokymą (Mountney, P. ir kt., 2009). Pavyzdžiui, tai gali būti virtualus rentgeno vaizdas, pagrįstas ankstesne tomografija arba ultragarso ir konfokolinių mikroskopinių zondu vaizdais realiuoju laiku, auglio padėties vizualizavimas naudojantis endoskopo vaizdo įrašu ir kita.

Virtualiosios tikrovės technologiją taip pat naudoja ir baldų gamintojai. Jie siūlo programėles, kurios leidžia vartotojams prieš ką nors įsigyjant peržiūrėti planuojamus pirkti produktus, įvertinti, kaip jie atrodys namuose (5.29 pav.).

Turistai ir ekskursijų organizatoriai gali pasitelkti virtualiąją tikrovę norėdami pasiekti realiojo laiko informacinį ekraną apie vietą, jos ypatumus ar funkcijas, istorinius įvykius ir ankstesnių lankytojų pateiktus komentarus ar turinį. Virtualiosios tikrovės programos, susietos su geografinėmis vietovėmis ar objektais, pateikia informaciją garsu (Kourouthanassis, P. ir kt., 2014).

Švietimo įstaigose virtualioji tikrovė naudojama papildyti standartinę mokymo programą. Virtualiosios tikrovės technologijos padeda besimokantiems ištraukti į autentišką tyrinėjimą realiame pasaulyje, o virtualūs objektai, tokie kaip tekstai, vaizdo įrašai ir paveikslėliai, yra papildomi



5.29 pav. Naudojant skaitmeninį planšetinį kompiuterį su VT interjero dizaino programine įranga galima išsirinkti norimus namų baldus (<https://www.territory-influence.com/wp-content/uploads/2022/03/Website-BP-Illustration-21.jpg>)

elementai, padedantys besimokantiesiems tirti realaus pasaulio aplinką. Kompiuterinis istorinių įvykių modeliavimas leidžia studentams tyrinėti ir sužinoti kiekvienos reikšmingos įvykio vietos srities detales. Anatomiją studijuojantys studentai gali vizualizuoti skirtingas žmogaus kūno sistemas. Anatominių struktūrų mokymosi įrankio naudojimas praplečia besimokančiojo žinias ir suteikia vidinės naudos, nes leidžia labiau įsitraukti į nagrinėjamą temą.

Virtualioji tikrovė taip pat yra būdas tėvams ir mokytojams pasiekti šiuolaikinio ugdymo tikslus, kurie galėtų apimti labiau individualizuotą ir lankstesnę mokymąsi, glaudesnę ryšį tarp to, kas mokoma mokykloje ir realaus pasaulio, bei padėti mokiniams labiau įsitraukti į savarankišką mokymąsi. Popierinės mokslo knygų iliustracijos gali atgyti kaip vaizdo įrašas, nereikalaujant, kad vaikas naršytų žiniatinklyje.

Virtualioji tikrovė gali padėti plėtoti vizualųjį meną muziejuose, nes muziejų lankytojai savo telefonų ekranuose turi galimybę įvairiais aspektais peržiūrėti galerijų meno kūrinius. Virtualiosios tikrovės technologija padėjo sukurti akių sekimo technologiją, kuri neįgaliojo akių judesius ekrane paverčia piešiniais.

Virtualioji tikrovė gali būti naudojama muzikos kūrimo, kūrinių derinimo, valdymo ir vizualizavimo etapuose. Buvo pasiūlytas naujas muzikos instrumentas, leidžiantis naujokams groti elektronines muzikos kompozicijas, interaktyviai miksuojant ir moduluojant jų elementus, manipuluojant paprastais fiziniais objektais.

Labai entuziastingai virtualiosios tikrovės technologiją priėmė žaidimų pramonė. Buvo sukurta daugybė žaidimų, kurie leido vaizdo žaidimų mėgėjams išbandyti skaitmeninius žaidimus realioje aplinkoje ir patirti naujų įspūdžių.

Skirtingai nei daugelis naujų technologijų virtualiosios tikrovės technologijos, gal todėl, kad jos virtualios, žmonėms didelių grėsmių nekelia. Vis dėlto, mokslininkai atkreipia dėmesį į kai kurias kylančias grėsmes. Didžiausia šios technologijos grėsmė susijusi su asmens privatumu. Virtualiosios tikrovės sistemos renka virtualiosios realybės akiniuose integruotos kameros informaciją apie vartotojo judesius, balsą, garsą ir kita. Dažnai tokie duomenys registruojami siekiant atpažinti sveikatos sutrikimus. Ši informacija gali būti renkama net ir tada, kai pats vartotojas to nežino, o surinkti duomenys gali

būti nutekinti arba parduodami trečiosioms šalims. Baiminamasi, kad ateityje, populiarėjant socialiniam bendravimui virtualiojoje aplinkoje, didės asmeninės informacijos dalijimosi ar nutekinimo rizika.

Kompiuteriu sukurti vaizdai pagerina ar pagražina realaus pasaulio objektus. Daugeliui žmonių patinka virtualiosios tikrovės akiniai, nes jie leidžia pamatyti pasaulį, kokio jie dar niekada nematė. Antra vertus, virtualioji tikrovė kai kuriems žmonėms sukelia į jūrligę panašius simptomus: pykinimą, galvos svaigimą, dezorientaciją. Tokius simptomus paaiškina jutiminio konflikto teorija, kuri teigia, kad tokius pojūčius sukelia regos ir vestibuliarinių pojūčių nesuderinimas. Pavyzdžiui, kai vartotojas virtualiojoje aplinkoje vaikšto, jo akys smegenims siunčia signalus apie judėjimą, bet virtualiojoje realybėje žmogaus kūnas iš tiesų nejuda. Priklausomai nuo to, kiek laiko vartotojas praleidžia virtualiojoje erdvėje, šie laikini pojūčiai stiprėja. Nors ir negalime visiškai ignoruoti neigiamo šių technologijų poveikio, vis dėlto, turėtume būti atsargūs (Overby, S., 2019).

5.8. Savavaldės transporto priemonės

Kalbėdami apie automobilius, neišvengiamai turime galvoti ir apie transporto bei mobilumo ateitį, prie kurios prisideda *savavaldžių automobilių* atsiradimas. Automatizuotų vairavimo sistemų bandymai atliekami nuo 1920 m., tačiau tikri kelio bandymai prasidėjo tik XX a. šeštąjį dešimtmetį. Pirmąjį pusiau automatizuotą automobilį 1977 m. sukūrė Japonijos specialistai. Bandomajam automobiliui buvo reikalinga specialiai pažymėta gatvė, o automobilį valdė dvi kameros ir analoginis kompiuteris. Kūrimo riboženkliais galima laikyti 1985 m. pademonstruotą judėjimo greitį dviejų juostų kelyje (31 km/h), kelio kliūčių išvengimą (1986) ir važiavimą bekele dienos ir nakties metu (1987) (Nuro Set to Be..., 2020). 1995 m. automobilis „NavLab 5“ (JAV) atliko pirmąją autonominę kelionę nuo Pitsbergo (Pensilvanija) iki San Diego (Kalifornija), t. y. nuo rytinės JAV pakrantės iki vakarinės. Iš 4 585 km kelio, 4 501 km (98,2 %) automobilis važiavo autonomiškai, vidutiniškai 102,7 km/h greičiu. 2017 m. Kalifornijoje pristatytas visiškai autonomiškas savavaldis automobilis „Waymo“ (5.30 pav.). Jutikliai suteikia 360 laipsnių matymo lauką, o trumpojo nuotolio lazeriai aptinka objektus, esančius šalia



5.30 pav. Savavaldis automobilis „Waymo“, važinėjantis Kalifornijos gatvėmis, 2017 m. (Waymo self-driving car front view.gk.jpg. CC BY-SA 4.0)

transporto priemonės ar esančius iki 300 m atstumu. Automobilio radaras naudojamas norint matyti aplinkines transporto priemones ir sekti judančius objektus. Savavaldėms transporto priemonėms važiuojant viešaisiais keliais ar gatvėmis, reikalaujama, kad žmogus stebėtų, ar automobilis veikia tinkamai ir prireikus perimtų valdymą. 2022 m. „Waymo“ paskelbė pradėsianti taksi be vairuotojo paslaugas San Fransiske, Kalifornijoje.

Šiuolaikinė automatizuota transporto priemonė turi palaikyti automobilį eismo juostoje, valdyti jo greitį ir avarinį stabdymą. Minėtos funkcijos laikomos tik pagalbos vairuotojui technologijomis, nes automobiliui vis vien dar reikalingas vairuojantis žmogus. Visiškai automatizuotos transporto priemonės važiuoja savarankiškai, jose vairuotojo nėra. Kai kuriose naujose transporto priemonėse yra papildomų funkcijų, tokių kaip „Full-Self Driving“ arba „Drive Pilot“. Jos gali klaidinti, nes vairuotojas gali manyti, kad jo dalyvavimo valdant automobilį nereikia, tačiau iš tikrųjų vairuotojas turi ir toliau atlikti vairavimo funkciją (Leggett, Th., 2018). Šių sąvokų painiojimas gali lemti nelaimingus atsitikimus, tarkim, vieno incidento metu autopilotas dėl ryškiai apšviesto dangaus nepastebėjo baltos vilkiko priekabos šono ir nespėjo sustabdyti automobilio (5.31 pav.).



5.31 pav. Automobilio, naudojusio „Tesla“ autopiloto valdymo programą, avarija (<https://www.bbc.com/news/business-44159581>)

Kai kurie gamintojai daugiausia dėmesio skiria *autonominiams sunkvežimiams* ir *furgonams*. Sunkvežimių automatizavimas yra svarbus dėl šių labai sunkių transporto priemonių saugos aspektų ir dėl galimybės taupyti degalus. Jau kuriami autonominiai furgonai, skirti prekybininkams internetu. Tyrimai rodo, kad prekių paskirstymas makrolygiu (mieste) ir mikrolygiu (paskutinės mylios pristatymas) galėtų būti efektyvesnis naudojant autonomines transporto priemones, nes, atsižvelgiant į krovinio dydį, yra galimybių naudoti mažesnes transporto priemones.

Kinija 2015-aisiais vienoje iš provincijų greitkelyje paleido pirmąjį *automatinį viešąjį autobusą* ir pagamino per 100 automatizuotų, 14 keleivių vietų *mikroautobusų*. Nuo 2018 m. Kinijoje teikiamos komercinės automatizuotų transporto priemonių paslaugos. Naujoji Zelandija planuoja naudoti automatizuotas transporto priemones viešojo transporto eisme. Belgijos, Prancūzijos, Italijos ir Jungtinės Karalystės miestai planuoja eksploatuoti automatizuotų automobilių transporto sistemas, o Vokietija, Nyderlandai ir Ispanija leido atlikti viešus automatizuotų transporto priemonių eismo bandymus.

Įvairios apklausos rodo, kad žmonių požiūris į savavaldžius automobilius labai skiriasi. 2011 m. JAV ir JK surengtoje apklausoje 49 % respondentų teigė, kad jie norėtų naudotis automobiliu be vairuotojo. 2012 m. Vokietijoje atlikta apklausa parodė, kad palankiai šiuos automobilius vertino 22 % respondentų,

skeptiškai – 44 %, priešiški – 24 % ir 10 % apklaustųjų buvo neapsisprendę (Dannenberger, N., 2017). Apklausos rodo, kad Brazilijos, Indijos ir Kinijos respondentai labiausiai nori pasitikėti automatizuotomis technologijomis. 2015 m. Nyderlanduose atliktas 109 šalių žmonių nuomonės apie automatizuotą vairavimą tyrimas. 22 % buvo nusistatę prieš visiškai automatizuotas vairavimo sistemas, dalis buvo susirūpinę dėl galimo įsilaužimo į programinę įrangą, teisinių problemų ir saugumo. Įdomu, kad respondentai iš labiau išsivysčiusių šalių (pagal mažesnę eismo įvykių statistiką, aukštesnį išsilavinimą ir didesnes pajamas) labiau nerimavo, kad jų transporto priemonė gali perduoti kitiems jų duomenis. Apklausos parodė, kad 37 % apklaustųjų automobilių savininkų „neabejotinai“ arba „tikriausiai“ domisi automatizuoto automobilio įsigijimu. Apklausos rodo, kad apie 69 % žmonių mano, jog visiškai automatizuotas vairavimas iki 2050 m. pasieks 50 % rinkos dalies (Kyriakidis ir kt., 2015). 2016 m. JAV atliktos apklausos duomenimis, 66 % respondentų mano, kad autonominiai automobiliai tikriausiai yra protingesni už vidutinį vairuotoją, tačiau tik 13 % apklaustųjų nemato šio naujo tipo automobilių pranašumų. 2019 m. JAV atliktas tyrimas parodė, kad vairuotojai mažiau pritaria aukštam transporto priemonės autonomijos lygiui ir kad žymiai mažiau žmonių ketina naudoti labai autonomiškas transporto priemones (Hewitt, Ch. ir kt., 2019). Vertinant apklausas, matomas žmonių susirūpinimas dėl naujosios technologijos. Pasaulyje kasmet eismo įvykiuose žūsta šimtai tūkstančių žmonių. Priežasčių daug: nuo kelių kokybės iki vairuotojų elgesio kultūros (vairavimas apsvaigus nuo alkoholio ar narkotikų, greičio ribojimų nepaisymas, naudojimas mobiliosiomis ryšio priemonėmis vairuojant ir kita). 2014 m. Europos Komisijos duomenimis, 2012 m. ES keliuose žuvo daugiau kaip 28 tūkst. žmonių, o dar keturis kartus daugiau žmonių buvo sužeisti ir visam laikui tapo neįgalūs. JAV duomenys rodo, kad automobilių avarijos 2012 m. nusinešė 34 080 žmonių gyvybių ir bent 90 % atvejų šias netektis lėmė vairuotojo klaidos. Nepaisant šių skaičių, į kol kas retas savavaldžių automobilių avarijas visuomenė žiūri labai įtariai ir atsargiai.

Nereikia užmiršti, kad šiandien savavaldės transporto priemonės naudojamos įvairiose srityse ir vietose: žemės ūkyje, sandėliuose, prekių perkrovimo teritorijose ir pan. Traktorius be vairuotojo yra autonominė žemės ūkio transporto priemonė, kuri atlieka žemės dirbimą, pasėlių purškimą ir kitus žemės

ūkio darbus. Traktoriai „dirba“ be žmogaus pačiame traktoriuje. Kaip ir kitos autonominės transporto priemonės jis savarankiškai stebi savo padėtį, nustato greitį ir, vykdydamas užduotį, išvengia kliūčių – žmonių, gyvūnų ar kokių nors lauko objektų (Hest, D., 2012). Traktoriaus be vairuotojo idėja atsirado dar 1940 m., tačiau tik XX a. pirmaisiais dešimtmečiais ši koncepcija tapo realybe. Dirbdami be vairuotojo, traktoriai naudoja GPS ir kitas belaidžio ryšio technologijas, arba, prireikus, nuotoliniu būdu yra stebimi prižiūrėtojo, koreguojančio traktoriaus judėjimą ar atliekamą funkciją (5.32 pav.).

Ant traktoriaus sumontuotas jutiklių kompleksas, signaliniai žibintai, vaizdo kameros. Vaizdo kameros stebi aplinką ir registruojamus duomenis perduoda į pagrindinę valdymo sistemą. *Visiškai autonominiai traktoriai* gali tiksliai įdirbti žemę ir pasėti sėklas, o tai lemia didesnę derlių. Daugelis užduočių yra automatizuotos, todėl atsiranda papildomų pranašumų, tokių kaip efektyvesnis trąšų paskirstymas, mažesnės kuro ir gamybos sąnaudos. Vairuojant žmogui, dėl nuovargio, išsiblaškymo ar kokios nors kitos veiklos (pavyzdžiui, žinučių rašymo darbo metu), padaroma žmogiškų klaidų. Visiškai autonominis traktorius stebi aplinką lazeriniais jutikliais ir naudodamas dirbtinio intelekto programas išvengia žmogui būdingų klaidų, nuovargio ar išsiblaškymo. Ateityje šios technologijos leis padidinti darbo efektyvumą dirbant žemę,



5.32 pav. Savarankiškai dirbantys traktoriai purškia vynuogynų plantacijas (Autonomous compact tractors in a Texas vineyard, Nov 2012.jpg, CC BY-SA 3.0)

sodinant, purškiant ar nuimant derlių. 2020 m. Čiuvašijoje (Rusija) sukurtas traktorius „Uralets 224“ (5.33 pav.). Robotizuotas ratinis traktorius gali važiuoti nelygiu reljefu ir vykdyti įvairią žemės ūkio veiklą.

Savavaldžius traktorius kuria daugelis šalių. „John Deere“ bendrovė (JAV) 2022 m. paskelbė apie *autonominių elektrinių traktorių* gamybą (5.34 pav.). Traktorius „Sesam 2“ turi 1 000 kWh bateriją ir gali veikti visiškai autonomiškai. Dizelinis variklis jame pakeistas 130 kWh akumuliatoriumi ir dviem elektros varikliais, kurie kartu išvysto 300 kW (400 AG) galią.

Atrodytų, kad savavaldės transporto priemonės bus sveikintina žmonijos palaima, tačiau vis atsiranda kokių nors prieštaravimų, nesupratimų ar įvairių su tokiomis transporto priemonėmis susijusių problemų. Savavaldė transporto priemonė – tai tokia transporto priemonė, kurią visiškai valdo ir vairuoja dirbtinis intelektas be jokios žmogaus pagalbos. Kad savarankiškai važiuojanti transporto priemonė veiktų saugiai ir tinkamai, ji turi būti techniškai labai tvarkinga. Tokia transporto priemonė gali turėti tiek kompiuterio, tiek fizinių defektų. Be to, valdant pavojingomis oro sąlygomis (stiprus lietus, rūkas, plikledis ar sniegas) gali kilti nemažai įprastų kelyje pasitaikančių problemų. Tai gali pakenkti savavaldės transporto priemonės jutikliams. Žmogaus valdomas automobilis gali būti gana prastos būklės, tačiau vairuotojas vis tiek galės saugiau vairuoti transporto priemonę. Savavaldžiame automobilyje visi jutikliai turi veikti, jie negali būti užblokuoti purvo, blogai sureguliuoti



5.33 pav. Autonominis traktorius „Uralets 224“ (Unmanned tractor „Uralets-224“ during the „Armiya 2020“ exhibition (side view).jpg. CC BY-SA 4.0)



5.34 pav. Autonominis elektrinis traktorius (<https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/video-john-deere-shows-autonomous-electric-tractor/>)

ar būti kitaip netinkami, priešingu atveju transporto priemonė turėtų automatiškai neleisti važiuoti. Tarkime, maži vaikai mėgsta žaisti kieme, tačiau kartais išbėga į gatvę. Reikia tikėtis, kad savavaldžio automobilio dirbtinis intelektas bus pakankamai geras, kad aptiktų mažus vaikus, kai šie netikėtai iššoka į gatvę. Patys vaikai galbūt bijos, kad įprasto automobilio vairuotojas jų nematys arba nesustos, todėl bus atsargesni, tačiau pastebėję savarankiškai važiuojantį automobilį jie bus labiau įsidrąsinę ir mažiau atsargūs, nes manys, kad dirbtinio intelekto vairavimo sistemos visada gali laiku juos aptikti ir sustoti.

Savavaldžiams automobiliams būna sunku įvertinti pėsčiųjų, dviratininkų ir gyvūnų ketinimus, todėl įvairūs kliūčių elgesio modeliai turi būti užprogramuoti vairavimo algoritme. Eismo dalyviams – žmonėms – taip pat tenka iššūkis įvertinti autonominių transporto priemonių ketinimus, nes nėra vairuotojo, su kuriuo galima užmegzti akių kontaktą ar pasikeisti rankos signalais. Yra siūloma transporto priemonės išorėje sumontuoti LED ženklus, pranešančius apie ketinimus, pvz., „dabar važiuoju, nevažiuokite“ arba „laukiu, kol pravažiuosite“ ir pan. (Lim, H. S. M.; Taeihagh, A., 2019). 2018 m. JAV žuvo pirmasis pėsčiasis, susidūręs su savavaldžiu automobiliu. Pėsčiasis kirto gatvę ne perėjoje, o apie 120 m nuo jos. Kai kurie ekspertai teigia, kad jeigu būtų vairavęs žmogus, mirtinos avarijos būtų buvę galima išvengti. 2017-aisiais savavaldis keleivinis autobusas (kuriame buvo keleivių) susidūrė su sunkvežimiu. Nustatyta, kad dėl avarijos kaltas sunkvežimis, nes jis įvažiavo į stovintį autobusą. Tačiau autobusas nenaudojo jokių apsaugos priemonių, tokių kaip žibintų mirksėjimas ar garso signalas. Tokijo olimpinėse ir parolimpinėse žaidynėse 2021 m. buvo pasitelktos savavaldės transporto priemonės. Viena transporto priemonė susidūrė su regos negalią turinčiu pėsčiuoju, kertančiu pėsčiųjų perėją (Statement Regarding..., 2021), todėl žaidynių organizatoriams teko skubiai koreguoti šios transporto priemonės naudojimo taisykles.

Savavaldis automobilis turi daug jutiklių, įskaitant vaizdo kameras, radarą, lidarą, termovizinius, ultragarsinius ir kitokius prietaisus. Tikėtina, kad jutikliai gali įrašyti viską, kas vyksta, pavyzdžiui, kai automobilis stovi priešais kaimyno namą: galima šiek tiek „pašnipinėti“ kaimyną, pavyzdžiui, sužinoti, kada jis pareina ar išeina iš namų.

Įprastas automobilis iš stovėjimo vietos pajuda ne daugiau kaip kelis kartus per dieną – tai kelionė į biurą, važiavimas į maisto prekių parduotuvę,

kelionė nuvežti ar pasiimti vaikų į mokyklą ar darželį. Toks automobilis nenaudojamas apie 95 % ar daugiau laiko. Trumpai tariant, tai yra apgailėtina, menkas, brangus turto naudojimas. Turint savavaldį automobilį, tikėtina, kils noras, kad jis būtų kuo daugiau naudojamas. Autonominių automobilių atveju automobilis bus pasiekiamas visą parą septynias dienas per savaitę. Tai reiškia, kad savavaldis automobilis, galėdamas veikti visą parą (pavyzdžiui, atlikdamas pavėžėjimo paslaugą), gali uždirbti savininkui nemažus pinigus.

Nors automatizuotos vairavimo sistemos turi didelį potencialą pagerinti kelių transporto saugumą ir efektyvumą, susiduriama su nemažai išbandymų ir sunkumų, susijusių su visuomenės suvokimu ir priėmimu, teisinės atsakomybės problemomis ir sistemų saugumu bei kontrole. Kol kas visuomenėje vyrauja kelios nuomonės dėl savavaldžių transporto priemonių: dalis žmonių pritaria automatizuoto vairavimo idėjai, tačiau dauguma žmonių nenorėtų prarasti vairavimo malonumo. Savavaldžių automobilių įsigalėjimas pranašauja geriausius, o gal ir blogiausius laikus, atsižvelgiant į tai, kaip bus naudojamos ir diegiamos naujausios pažangios dirbtinio intelekto technologijos.

5.9. Klastotės

Išmanusis (gilusis) klastojimas yra mašininė sintetinės medijos technologija, naudojama tekstui ir vaizdo įrašams generuoti ar jais manipuluoti. Neįgudusiai akiai jie gali pasirodyti gana realistiškai ir turėti reikšmingų pasekmių kultūrai, geopolitikai ir saugumui. Netikro turinio kūrimo veiksmas nėra naujas, tačiau dabartinės klastotės naudoja mašininio mokymosi ir dirbtinio intelekto technologijas, ir, manipuluodamos jomis, sukuria apgaulingą vaizdo ir garso turinį (Kietzmann, J. ir kt., 2020). Dirbtinis intelektas ir mašininis mokymasis yra koja kojon žengiantys fenomenai. Mašininis mokymasis yra viena iš dirbtinio intelekto atšakų, apmokančių tam tikrus algoritmus, naudojantis dideliais duomenų kiekiais, atlikti specifines užduotis. Tai – ne paprasti duomenys, o savotiškos instrukcijos, kuriose atsispindi su minėtomis užduotimis susijusi patirtis. Išsirinkus tam tikrą algoritmą, labiausiai atitinkantį sprendžiamą problemą, jam yra perduodami dideli kiekiai informacijos. Pagal šias instrukcijas, algoritmas pradeda mokytis atlikti daug panašių vienos srities užduočių, o įsivainus informaciją, jis įgyja savotišką nuojautą, kaip vykdyti šias užduotis (Fletcher, J., 2018).

Manipuliuojamas nuotraukomis buvo sukurtas XIX a. ir netrukus buvo pritaikytas kino filmams (5.35 pav.). XX a. technologijos nuolat tobulėjo, o atsiradus skaitmeniniams vaizdo įrašams, jos tobulėjo dar sparčiau (5.36 pav.).

Giliojo klastojimo technologiją mokslininkai sukūrė apie 1990-uosius metus, o vėliau šias technologijas vystė interneto vartotojai (Harwell, D., 2019). Atliekant akademinis išmaniųjų klastočių tyrimus, kuriami klastočių kūrimo ir atpažinimo metodai, nagrinėjamos socialinės, etinės ir estetiškos klastočių pasekmės. Kalbant apie vaizdo klastojimą, į lietuvių kalbą angliškas terminas „deepfake“ verčiamas įvairiai: veiksmo pavadinimas galėtų būti išmanusis vaizdo klastojimas, sintetinis vaizdo klastojimas, sintetinė vaizdo sankaita, sintetinė vaizdakaita; atitinkamai rezultatas būtų išmanioji vaizdo klastotė, sintetinė vaizdo klastotė. Išmaniosios vaizdo klastotės, arba vadinamosios giliosios klastotės, sulaukė didelio dėmesio, nes jos gali būti naudojamos kuriant vaikų seksualinio išnaudojimo klastotes, įžymybių pornografinius vaizdo įrašus, netikras naujienas, apgaulę, patyčias ir finansinį sukčiavimą. Nors išmaniosios klastotės paprastai suvokiamos kaip pagrindinė susirūpinimą kelianti



5.35 pav. Sudėtinis trijų originalių Belgijos nuotraukų iš Pirmojo pasaulinio karo fotomontažas (Episode after Battle of Zonnebeke 1918 Hurley.jpg, CC BY-SA 3.0)



5.36 pav. 16 nuotraukų, apdorotų skaitmeniniu būdu, fotomontažas (Photomontage (Forggensee Panorama) -2.jpg. CC BY-SA 3.0)

technologinė plėtra, mažiau žinoma apie vadinamąsias sekliąsias klastotes (angl. *Shallowfake*) (Arnold, 2020). *Sekliosios klastotės*, priešingai negu giliosios, manipuliuoja medijos turiniu nenaudodamos mašininio mokymosi technologijos ir algoritminių sistemų. Vietoj jų sekliosios klastotės naudoja paprastą vaizdo redagavimo programinę įrangą, kuri padeda keisti esamos medijos turinį.

Šiandien yra dirbtinio intelekto sistemų, galinčių parašyti netikrų naujienų straipsnį tik iš antraštės. Tokios sistemos geba kurti labiau tikėtinus straipsnius nei tai daro realūs žmonės. Programos sukuria labai įtikinamas gerų naujienų straipsnių ir grožinės literatūros kūrinių „teksto klastotes“. Kai netikri straipsniai reklamuojami ir teikiami kaip tikri, tai gali turėti rimtų padarinių asmenims, įmonėms ir vyriausybėms.

Išmaniosios klastotės gali būti naudojamos siekiant šantažuoti ar melagingai apkaltinti. Kadangi klastotės negali būti patikimai atskirtos nuo tikrų faktų, tikrojo šantažo aukos gali teigti, kad šmeižikiška informacija yra padirbta, todėl ją galima paneigti. Naudojant grafikos apdorojimo įrangą galima sukurti didžiulį šantažo turinį bet kokiam skaičiui subjektų (Tayler, K. M.; Harris, L. A., 2021).

2017 m. internete pasirodė giliojo klastojimo pornografija, o nuo 2019 m. daugelyje internetinių filmų galima išvysti pornografijos su įžymybėmis, kurių atvaizdai paprastai naudojami be jų sutikimo. Klastotės gali būti pasitelkiamos šantažuojant išrinktus pareigūnus arba gerai žinomus politikus,

turinčius prieigą prie įslaptintos informacijos, siekiant sumenkinti jų įvaizdį, šnipinėti ar daryti įtaką. 2020 m. per JAV prezidento rinkimų kampaniją pasirodė daugybė klastočių, skelbiančių, kad Joe Bidenas yra neįgalus – užmiega per interviu, nusišneka ar klaidingai kalba. 2020 m. „Facebook“ paskelbė padirbtą Belgijos ministrės pirmininkės vaizdo įrašą, kuriame reklamuojamas galimas ryšys tarp miškų naikinimo ir COVID-19. Daugelis „Facebook“ vartotojų pamanė, kad vaizdo įrašas yra tikras. Per 24 val. jis sulaukė daugiau nei 100 000 peržiūrų ir daugybės komentarų (Holubowicz, G., 2020). Išmaniojo klastojimo kūriniai plačiai naudojami satyroje arba parodijuojant įžymybes ir politikus. 2020 m. atsirado internetinis memas. Jame naudojamos giliosios klastotės, skirtos sukurti vaizdo įrašus, kuriuose suklastoti žmonės atlieka muzikinius kūrinius. Išmanusis klastojimas pradėtas naudoti ir populiariose socialinės žiniasklaidos platformose. Vartotojai gali pakeisti savo veidus filmų ir televizijos laidų personažų veidais. Giliojo klastojimo fotografijos gali būti naudojamos kuriant neegzistuojančius žmones, kurie yra aktyvūs tiek internete, tiek tradicinėje žiniasklaidoje (Chesney, R.; Citron, D. K., 2018). *Garso klastotės* jau buvo taikomos kaip socialinės inžinerijos sukčiavimo dalis, siekiant klaidinti žmones, manančius, kad jie gauna nurodymus iš patikimo asmens (Statt, N., 2019). Giliojo klastojimo kūriniai gali būti panaudoti šmeižtui, apsimitinėjimui ir dezinformacijai skleisti. Kyla pavojus, kad žmonija gali nebegebėti nustatyti, ar medijos turinys atitinka tiesą, ar tai yra klastotė. Klastojimo technologijų problema nėra vien techninė, nes ją galima spręsti tik pasitikint informacijos šaltiniais ir žurnalistų garbės kodeksu. Dėl sparčios dirbtinio intelekto ir kompiuterinės grafikos pažangos labai greitai tikrų vaizdo įrašų nebeatskirsime nuo padirbtos klastotės. Išmaniosios klastotės jau šiandien yra visuomenės rūpestis, nes jos neišvengiamai išsivystys tiek, kad jas bus galima generuoti automatiškai, o jas kuriantis asmuo galės paskleisti milijonus padirbtų vaizdo įrašų (Bode, L. ir kt., 2021).

Dažnai klastotės yra skirtos vienam asmeniui arba jo santykiams su kitais, tikintis sukurti pasakojimą, kuris paveiktų visuomenės nuomonę ar įsitikinimus. Tai daroma naudojant balsą, manipuluojant garsu, sukuriant netikrus telefono skambučius ar pokalbius (Bateman, J., 2020). 2020 m. buvo pristatyta metodika, kaip panaudoti šviesos atspindžius vaizduojamų žmonių akyse, kad būtų galima pastebėti galias klastotes, net nenaudojant dirbtinio

intelekto įrankių (Kishore, A., 2019). Dar kiti naudoja blokų grandinės technologiją, kad patikrintų žiniasklaidos šaltinį. Pasitelkiant šią technologiją, būtų patvirtinti tik vaizdo įrašai iš patikimų šaltinių, o tai sumažintų galimai žalingos padirbtos žiniasklaidos plitimą. Siekiant kovoti su išmaniosiomis klastotėmis, buvo pasiūlyta skaitmeniniu būdu pasirašyti visus vaizdo įrašus ir vaizdus, padarytus fotoaparatais ir vaizdo kameromis ar išmaniaisiais telefonais. Tai leidžia atsekti kiekvienos nuotraukos ar vaizdo įrašo kūrėją. Vienas labai paprastas būdas atskleisti, ar atsiųstas vaizdas yra tikras – paprašyti siuntėjo pajudėti ar pasisukti šonu. Kalbant apie vaizdo įrašų padirbinėjimus, šiuo metu jie yra geros „dirbtinės kokybės“ (5.37 pav.).

Geriausias žmonių ginklas, norint nustatyti, ar vaizdo įrašas yra tikras – ne tik mokėti atpažinti klastotes, bet ir gebėti pripažinti tą nemalonų jausmą, kad tai, ką matome, ne visada yra tikra. Paprastai tariant, sėkmingas netikrų sugeneruotų klastočių aptikimas yra pagrįstas gebėjimu atpažinti pasikartojančius modelius, sukurtus naudojant algoritmus. Dauguma išmaniųjų klastočių sukuriamos kompiuteriniam algoritmui parodant daug to asmens vaizdų. Kompiuteris, naudodamas tai, ką matė, sugeneruoja naujus veido vaizdus. Jeigu asmens balsas yra susintetinamas, taip pat gali atrodyti, kad tai ne klastotė, o realiai kalbantis žmogus. Vaizdo įrašė, kuriame užfiksuotas tikras žmogus, matyti, kaip jo veido elementai juda erdviškai (3D), tačiau



5.37 pav. Tikras (kairėje) ir suklastotas (dešinėje) vaizdas (<https://www.zee5.com/articles/all-you-need-to-know-about-deepfakes-and-why-they-are-dangerous>)

giliųjų klastočių algoritmai dar negali sukurti veidų 3D formatu. Vietoj jų algoritmai sukuria įprastą dvimatį veido vaizdą, o tada bando pasukti, pakeisti dydį ir iškraipyti vaizdą taip, kad jis atitiktų kryptį, į kurią asmuo turi žiūrėti.

Žmonėms kyla pagrįstų klausimų, susijusių su klastotėmis, pavyzdžiui, kaip suderinti žodžio laisvės apsaugą, meninės išraiškos laisvę ir tinkamą technologijų naudojimą? Kokių mastu (ir kokių būdu) socialinės žiniasklaidos platformos ir vartotojai turėtų būti atsakingi už kenkėjiško, suklastoto turinio sklaidą ir poveikį? Kiek brandžios yra reguliuojančių institucijų pastangos sukurti automatizuotus giluminių klastočių aptikimo įrankius?

Bet kuriuo atveju giliosios klastotės ir mūsų gebėjimas užtikrinti, kad jos nebūtų panaudotos piktavališkai, yra tema, kurią verta aptarinėti, kol technologija dar nepažengė iki tokio lygio, kai išleisto džino jau nebus galima įvilioni atgal į butelį.

Kaip ir kitos technologijos, klastotės nesustabdomai skverbiasi į daugelio žmonių gyvenimą. Klastočių kūrimą galima vertinti ir teigiamai, ir neigiamai, nes ne visada jos atneša žalą žmonėms, tačiau neįvertinti jų keliamo pavojaus taip pat negalima.

5.10. Daiktų internetas

Daiktų internetas (DI) techninėje literatūroje ir populariojoje žiniasklaidoje apibrėžiamas įvairiai. Kiekvienas apibrėžimas atspindi skirtingą požiūrį ir skirtingus interesus. Nors nėra universalus daiktų interneto apibrėžimo, šie skirtingi apibrėžimai išryškina bendrus daiktų interneto bruožus ir gali padėti suprasti jo stipriausias ir silpnąsias puses, kartu suteikiant geresnį supratimą apie didžiulį daiktų interneto poveikį mūsų gyvenimui. Be to, reikėtų pažymėti, kad apibrėžti daiktų internetą sunku dėl daugelio priežasčių. Viena jų, kad daiktų internetas turi daugybę taikomųjų programų – nuo tiekimo grandinių stebėjimo iki traukinių sustabdymo ir namų apšvietimo, o tai apima visus ekonominius ir socialinius kasdienio gyvenimo aspektus ir keičia žmonių sąveiką su juos supančiu pasauliu. Kita priežastis – daiktų internetas apima programinę ir aparatinę įrangą, įvairius protokolus ir standartus, įrenginius ir tinklus, saugyklas, analizę, automatizavimą ir daugybę kitų temų, tokių kaip dirbtinis intelektas, dideli duomenų masyvai ar menama realybė, todėl suprasti

patį daiktų internetą dar sunkiau. Nuo 1999 m. spaudoje galima rasti net 139 daiktų interneto apibrėžimus (Lapenna, S., 2022). Pagal vieną apibrėžimą, daiktų internetas yra „fizinį objektų arba „daiktų“ tinklas, integruotas su elektronika, programine įranga, jutikliais, pavaromis ir jungtimi, kad objektai galėtų keistis duomenimis su gamintoju, operatoriumi ir (arba) kitais prijungtais įrenginiais“ (Gillis, A. S., 2021). Pagal kitą apibrėžimą – tai „dinamiška pasaulinio tinklo infrastruktūra su savaiminio konfigūravimo galimybėmis, pagrįsta standartiniais ir sąveikiais ryšio protokolais, kur fiziniai ir virtualūs „daiktai“ turi tapatybes, fizinius požymius, virtualias asmenybes bei išmaniąsias sąsajas ir yra sklandžiai integruoti į informacinį tinklą“ (Wortmann, F.; Flüchter, K., 2015). Tikimasi, kad daiktų internete „daiktai“ taps aktyviais verslo, informacijos ir socialinių procesų dalyviais, kur jie galės sąveikauti ir bendrauti tarpusavyje bei su aplinka, keisis duomenimis ir informacija apie supančią aplinką, reaguos į „realaus / fizinio pasaulio“ įvykius ir darys jiems įtaką. Visa tai vyks žmogui įsikišant tiesiogiai arba be jo įsikišimo.

Daiktų internetas per pastaruosius kelerius metus sparčiai augo, o prognozės rodo, kad ateityje jis augs dar sparčiau. Tai gali atrodyti šiek tiek perdėta, bet vargu ar būna dienų, kai nesusiduriame su daiktų internetu. Kai išgirstate terminą „daiktų internetas“, kokia pirma mintis šauna, kas tai yra? Atsitiktinai paklaustas praeivis turbūt atsakys, kad tai internetinė kokių nors prekių paieška, užsakymas ir pirkimas.

Trumpai tariant, daiktų internetas veikia taip: i) įrenginiai turi aparatinę įrangą, pvz., jutiklius, kurie renka duomenis; ii) jutiklių surinkti duomenys bendrinami per debesiją ir integruojami naudojantis programine įranga; iii) programinė įranga analizuoja ir perduoda duomenis vartotojams.

Daiktų internetas yra bet kurio įrenginio (turinčio įjungti / išjungti jungiklį) prijungimo prie interneto ir kitų prijungtų įrenginių koncepcija. Daiktų internetas apima nepaprastai daug įvairių formų ir dydžių objektų – nuo savavaldžių automobilių, kurių sudėtingi jutikliai aptinka jų kelyje esančius objektus, iki išmaniųjų mikrobangų krosnelių, kurios automatiškai reikiamu laiku pašildo maistą, ar nešiojamųjų kūno stebėjimo prietaisų, kurie matuoja širdies ritmą ar tą dieną nueitų žingsnių skaičių ir pagal tą informaciją pasiūlo asmeniui tinkamiausius fizinių pratimų planus (5.38 pav.).



5.38 pav. Daiktų internetas – antrosios skaitmeninės revoliucijos preliudas
(<https://greencloudvps.com/what-is-the-internet-of-things-iot.php>)

Daiktų internetas tapo žinomas dėl įvairių jutiklių, įterptųjų ir belaidžių sistemų, automatikos, realiojo laiko analizės, valdymo sistemų ir mašininio mokymosi kūrimo bei sujungimo. Daiktų internetas veikia per įrenginius ir objektus su integruotais jutikliais, kurie prisijungia prie interneto ir dalijasi duomenimis su platforma. Ši analizuoja informaciją ir dalijasi ja su programomis, skirtomis konkrečioms poreikiams tenkinti. Svarbu, kad daiktų interneto platformos nustato, kurie duomenys yra naudotini, o kuriuos galima atmesti, aptinka tinkamiausius modelius, teikia rekomendacijas ir nustato problemas, dažnai dar prieš joms atsirandant. Taip valdomi procesai tampa efektyvesniais, nes dažnai leidžia automatizuoti pasikartojančias, daug laiko reikalaujančias arba pavojingas užduotis. Pavyzdžiui, jei vairuojate ir pamatote užsidegusią variklio gedimo lempuotę, prie daiktų interneto prijungtas automobilis gali pasitikrinti jutiklį, susisiekti su transporto priemonės gamintojais, o gamintojas gali pasiūlyti susitikimą dėl gedimo ištaisymo arba pagelbėti, kad reikiamos atsarginės dalys būtų paruoštos prieš atvykstant į remonto dirbtuvę.

Daiktų internetas gali paspartinti naujovių diegimą, o rinkdamas duomenis apie klientų elgesį suteikia įmonėms prieigą prie pažangios gaunamos informacijos analizės. Pavyzdžiui, transporto priemonės garantijos informaciją galima susieti su DI surinktais duomenimis, numatyti priežiūros patikras ir taip gerinti klientų aptarnavimą bei ugdyti jų lojalumą.

Nuolatinis skaitmeninės ir fizinės infrastruktūros stebėjimas gali optimizuoti našumą, pagerinti efektyvumą ir padidinti saugumą. Daiktų interneto technologijos gali būti diegiamos į klientą orientuotu būdu. Pavyzdžiui, siekiant išvengti trūkumo, būtini populiarūs produktai gali būti iš anksto ar greitai papildyti atsargomis.

Daiktų interneto įrenginiai būna įvairių tipų – skirti naudoti buityje, pramoniniuose procesuose, gamyboje ir kt. Prie daiktų interneto visame pasaulyje yra prisijungę milijardai skirtingų įrenginių. Visus juos išvardyti neįmanoma, tačiau tam tikrą paveikslą rodo jų skirstymas į grupes: sveikatos stebėjimo ir biometrinių duomenų, namų apsaugos sistemos, belaidis atsargų stebėjimas ir logistikos sekimas, prijungta buitinė technika, autonominė žemės ūkio technika, išmaniosios gamyklos įranga, kibernetinio saugumo sistemos, spartusis belaidis internetas ir kt. Dabar, kai kasdienius daiktus – virtuvės prietaisus, automobilius, kondicionierius ar kūdikių priežiūros monitorius – galime prijungti prie interneto per įterptuosius įrenginius, atsirado galimybė sklandžiai bendrauti žmonėms, daiktams ir procesams. Naudojant debesų kompiuteriją, didelius duomenų masyvus, analizę, pigius kompiuterius ir mobiliąsias technologijas, fiziniai objektai gali dalytis informacija ir rinkti duomenis, žmogui įsikišant tik labai nedaug. Skaitmeninės sistemos gali stebėti, įrašyti ir koreguoti kiekvieną sąveiką tarp tarpusavyje sujungtų objektų. Per pastaruosius kelerius metus daiktų internetas tapo viena svarbiausių XXI amžiaus technologijų, nes dėl jo fizinis pasaulis susitinka su skaitmeniniu pasauliu ir tarpusavyje bendradarbiauja (Bhatt, Ch. ir kt., 2016).

Bet koks įrenginys, kuris valdomas programiniu kodu, bet kada gali būti sąlyginai lengvai perprogramuojamas, jam gali būti suteiktas naujas funkcionalumas. Tarkime, jeigu turime išmanųjį šaldytuvą, kuris moka savarankiškai užsisakyti kokių nors prekių iš interneto ir taip gali palengvinti kasdienę buitį, arba turime išmanųjį namą, galintį kontroliuoti temperatūrą, palaikyti

mikroklimatą – atsiranda taupymas, ekonominė nauda ir patogumas. Vėlgi, geležinkeliai daugelyje pasaulio šalių pereina prie skaitmeninio valdymo, nes tada gali atsisakyti darbininkų, darbuotojų, kurie, pvz., iešmus turi prižiūrėti fiziškai. Iš esmės daiktų internetas apibrėžia ekosistemą, kurioje automatizuojantis verslui, infrastruktūrai, pastatams, medicinai ir kitoms sritims, praktiškai bet kur galima įdėti jutiklių ar valdiklių, arba jau įsigyti jais aprūpintą įrangą. Viso to nauda – paprastesnis ir lengvesnis gyvenimas, efektyvesnis ir sklandesnis verslas. Pavyzdžiui, išmaniosios stebėjimo kameros padeda geriau užtikrinti namų saugumą – jas galima aktyvuoti nuotoliniu būdu ir peržiūrėti jų fiksuojamus vaizdus, kad ir kur būtumėte. Išmaniosios vaizdo stebėjimo sistemos, vandens nuotėkio, dūmų detektoriai, išmanieji jungikliai ir kištukiniai lizdai, išmanieji laikrodžiai, net robotai siurbliai – tai tik keletas pavyzdžių, kurie sulaukia vis didesnio žmonių susidomėjimo ir noro juos turėti.

O kaip dėl saugumo? Iš esmės daiktų interneto diegimą sudaro dvi dalys. Pirmoji – fizinis prijungto įrenginio tvarkymas ir jo veikimo priežiūra, antroji – sistemos nuo kibernetinio įsilaužimo. Dėl ryšio ir priegos prie verslo tinklų daiktų interneto sistemos yra ypač pažeidžiamos kibernetinių atakų. Kai prie interneto prijungti keli įrenginiai, kiekvienas iš jų tampa įėjimo tašku, per kurį užpuolikai gali pasiekti tinklą ir atskleisti konfidencialius duomenis. Natūralu, kad su daiktų interneto plėtra ir į namus patenka daugiau įrenginių, galinčių rinkti duomenis apie kiekvieną mūsų gyvenimo aspektą, todėl saugumas ir privatumas yra svarbūs klausimai (Drew, H., 2015).

Vienas pagrindinių daiktų interneto trūkumų – privatumo praradimas, nes dauguma „protingų“ įrenginių, pavyzdžiui išmanieji televizoriai, turi vaizdo kameras. Taigi, teoriškai nėra garantijos, kad niekas jūsų nestebi, nefilmuoja, kai jūs, pavyzdžiui, žiūrite televizorių. Tarkime, išmanusis laikrodis – tai įrenginys, kuris taip pat yra daiktų interneto dalis. Jis stebi jūsų pulso, kitus sveikatos parametrus, o tada jau kyla klausimas, kaip tie duomenys yra panaudojami. Niekas negali užtikrinti, kad gamintojas jų nepanaudoja kokiems nors saviems tikslams, niekam neperduos jų ar pan. Jeigu esate paprastas žmogus, padažnėjus pulsui bus rodoma tekstinė tam tikrų vaistų reklama, o jeigu esate prezidentas, įtakingas verslininkas ar kitas svarbus žmogus ir kitos šalies žvalgyba dar nustato, kad esate silpnos sveikatos, – tokia informacija gali būti panaudota priešiškais tikslais.

Kadangi daiktai yra prijungti prie interneto, o internetas yra globalus, prie jo gali jungtis bet kas. Todėl atsiranda galimybė pažeisti, užvaldyti jūsų įrenginį ir taip net sukelti kokių nors pasekmių jūsų sveikatai, verslui ar politinei karjerai. Internete rašoma, kad vienas programišius skrydžio metu sugebėjo prisijungti prie lėktuvo multimedijos sistemos (pvz., kai rodomi filmukai, filmai ar pan.) ir, kadangi lėktuvo valdymo ir multimedijos sistemos nebuvo atskirtos viena nuo kitos, jis iš savo nešiojamojo kompiuterio sugebėjo sumažinti vieno iš variklių galingumą. Ir pasaulyje, ir Lietuvoje vis dažniau girdime apie įvairiausių įsilaužimus į įmonių sistemas per išmaniuosius įrenginius. Pavyzdžiui, į kazino finansines sistemas programišiai įsilaužė pasinaudodami patalpose esančiu išmaniuoju akvariumo termometru. Jeigu turite telefoną ir bijote, kad jus miegančius, kai nesate apsirengę, gali nufilmuoti, tiesiog fiziškai užklajuokite kamerą. Tas pats pasakytina apie televizorių ar nešiojamųjų kompiuterių kameras. Reikėtų gerai apsvarstyti, ar jums tikrai reikia išmaniojo laikrodžio. Jeigu ko nors neturite, jūs ir nesate pažeidžiamas. Diodinės lemputės gali būti prijungtos prie jūsų namų belaidžio tinklo (*Wi-Fi* ryšio technologija leidžia realizuoti duomenų perdavimo tinklus panaudojant plačiajuostį radijo ryšį) ir per programėlę galite valdyti spalvą, apšvietumą ir t. t. Galbūt į jūsų kompiuterį įsilaužti yra sunku, o į lemputę, kadangi ten bus slaptažodis pagal nutylėjimą, įsilaužti bus paprasta. Toliau galbūt bus galima nuo tos lemputės pereiti ir prie kitos įrangos – išmaniojo siurblio, išmaniojo televizoriaus, t. y. visko, kas jūsų aplinkoje yra išmanu.

Kuriant daiktų interneto technologinę įrangą, yra daug būdų, kaip galime sukurti saugesnį tinklą. Yra kelios svarbios sritys, į kurias daiktų interneto įrangos kūrėjai sutelkia dėmesį. Daiktų internetas vis dar nauja, gana nesubrendusi technologija, todėl labai svarbu, planuojant kurti savo daiktų interneto infrastruktūrą, arba pasinaudoti turimais duomenimis, arba atlikti savus tyrimus. Daugelis bendrovių, siekdamos kuo greičiau išleisti naujus produktus, nekreipia dėmesio į ilgalaikę strategiją. Senų įrenginių atnaujinimas dažnai nėra finansiškai tikslingas, todėl galiausiai milijonai nesaugių kompiuterių ir mobiliųjų įrenginių tiesiog išmetami. Nemažai sumaišties gali kilti dėl mažesnių ir pigesnių daiktų interneto įrenginių, kurių atsisakyti ar juos išmesti yra dar paprasčiau. Kadangi daiktų internetas nesusijęs su

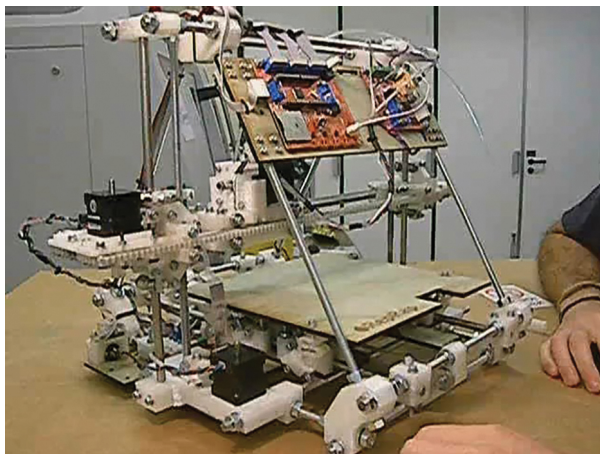
tradiciniais prijungtais įrenginiais, dažnai nepaisoma prieigos kontrolės ir įrenginio autentifikavimo. Niekas nenori pažeisti vartotojo patirties, tačiau apdoravimo galios trūkumas taip pat yra dažna problema. Sakoma: „Pažink savo priešą, jam to nežinant“. Kovoiant už daiktų interneto saugumą, svarbu iširti galimas grėsmes ir užpuolikus. Siekiant sumažinti duomenų praradimo riziką, būtina kuo geriau saugoti daiktų interneto įrenginiuose naudojamus asmeninius duomenis, tinkamai apsaugoti šių duomenų perdavimą ir pan. Vis dėlto tikėtina, kad saugumo pažeidimų bus, kad ir kaip gerai pasiruoštume. Jei pažeidimas įvyksta, reikia būti pasirėngusiam apsaugoti kuo daugiau duomenų, o pažeistus duomenis paversti nenaudingais, nesunaikinant sukurtos daiktų interneto infrastruktūros (Dey, N. ir kt., 2018).

Tarp daiktų interneto įrenginių prie tinklo yra prijungti bendrosios paskirties kompiuteriai, į kuriuos nusikaltėliai gali įsilaužti. Todėl gali kilti problemų, nesusijusių su daiktų interneto saugumu. Net jei fiziniai įrenginiai yra užrakinti ir imamasi pagrindinių daiktų interneto saugumo priemonių, sistemos išlieka pažeidžiamos. Daiktų internetas sukuria begalę duomenų srautų, o galimybės panaudoti tuos duomenis yra begalinės. Tačiau tai sukelia ir problemų. Tiesą sakant, nevalia pamiršti ar ignoruoti trijų pagrindinių daiktų interneto iššūkių: niekaip neribojamo duomenų rinkimo, galimo netikėto duomenų panaudojimo ir padidėjusios saugumo rizikos. Žinoma, šių problemų galima išvengti. Siekdami saugumo, galime padidinti privatumą, sumažinti daiktų interneto įrenginių renkamų duomenų kiekį ir padidinti proceso skaidrumą. Be to, vartotojai, atsisakę galimybės rinkti duomenis, visada gali jaustis saugiau. Taigi, daiktų interneto įrenginių nesaugumas iš dalies priklauso ir nuo gamintojų, kurie nesugeba pristatyti kokybiškų produktų, ir nuo vartotojų, kurie nesinaudoja turimomis saugos galimybėmis.

5.11. Trimatis (3D) spausdinimas

Kadaise žmonės gamyboje pradėjo naudoti garo variklius, vėliau masiškai naudoti elektrą, o dar vėliau išrado konvejerinę gamybą. Kad patenkintų augančius vartotojų poreikius, kiekviename iš šių etapų gamybos kultūra padarė staigų šuolį. Šiuo metu veiksny, suteikiantis naują impulsą pažangai

ir keičiantis patį gamybos suvokimą, yra skaitmeninių technologijų, tokių kaip trimatis (3D) modeliavimas, 3D skenavimas, 3D spausdinimas ir robotika, plėtra. *3D spausdinimas* arba *adityvioji (pridėtinė) gamyba* – trimačio, vientiso, praktiškai bet kokios formos objekto gaminimo procesas iš skaitmeninio modelio. Terminas „adityvi gamyba“ apibrėžia technologijas, kurias taikant kuriami objektai, naudojant nuoseklus sluoksniavimo techniką. Tuo 3D spausdinimas skiriasi nuo tradicinių apdorojimo technikų, kuriomis medžiagos dažniausiai apdorojamos pjovimo (atėmimo) būdu. Tradicinis apdirbimas buvo atimamasis: tekinimas, frezavimas, grėžimas, šlifavimas, drožimas. 3D spausdintuvai yra pramoninio roboto rūšis, kuri pagal kompiuterio komandas sugeba atlikti tam tikras funkcijas. 3D spausdinimo technologija atsirado XX a. 9-ajame dešimtmetyje, tačiau tik XXI a. 2-ajame dešimtmetyje tokie spausdintuvai pradėti plačiai naudoti pramoninėje gamyboje (Excell, J.; Nathan, S., 2010). Daugelyje šaltinių 3D spausdinimo technologijos išradėju laikomas Japonijos mokslininkas Hideo Kodama, kuris 1980 m. sukūrė modernų fotopolimerinį spausdintuvą. Tuo pat metu kitoje vandenyno pusėje amerikietis Chuckas Hullas nusprendė sujungti UV technologiją ir sluoksniais kloti ploną plastiką. Po kelių mėnesių eksperimentavimo jam pavyko atspausdinti pirmąjį gaminį – dubenėlį. 1984 m. Ch. Hullas pateikė patentinę paraišką pavadinimu „Aparatas trimačiams objektams kurti naudojant stereolitografiją“. Vėliau jis įkūrė savo įmonę ir 1988 m. išleido pirmąjį komercinį 3D spausdintuvą. Maždaug tuo pačiu metu atsirado kitas 3D spausdinimo būdas – *selektyvus lazerinis sukepinimas* (SLS). Spausdinimo metu lazerio spinduliuote milteliai (vietoj dervos) paverčiami kieta medžiaga. Šią naują įgyvendino Joe Beemanas ir Carlas Deckardas (JAV). Apie 1988 m. atsirado dar vienas paprastesnis ir pigesnis 3D spausdinimo būdas – *lydyto nusėdimo modeliavimas* (FDM), kurio autorius yra aeronautikos inžinierius Scottas Crumpas (JAV). Po sėkmingų eksperimentų gimė FDM 3D spausdinimo idėja naudoti *polimerinių gijų sluoksnio nusodinimo* technologiją. XX a. 10-ajame dešimtmetyje kuriami 3D spausdinimo įrenginiai buvo didelių gabaritų ir brangūs. Jų kaina galėjo viršyti šimtus tūkstančių dolerių, o juos naudoti gamyboje galėjo tik didelės korporacijos, automobilių bei kosmoso pramonės įmonės. 3D spausdintuvų prieinamumo lūžis įvyko po 20 metų, kai 2005 m. buvo



5.39 pav. Spausdintuvas „RepRap 2.0“ (Mendel)
(RepRap 'Mendel'.jpg, CC BY-SA 3.0)

sukurti greito prototipų kūrimo (RepRap) įrenginiai (5.39 pav.). Šio etapo metu buvo sukurta biospausdinimo technologija. Thomas Bolandas (JAV) užpatentavo rašalinio spausdinimo metodo naudojimą gyvoms ląstelėms spausdinti ir suteikė daug vilčių ateityje spausdinti žmogaus organus.

Technologija, kuri dar prieš 30 metų buvo prieinama tik didelėms įmonėms, dabar prieinama masiniam vartotojui. Naudojant fotopolimerinius 3D spausdintuvus šiandien galima spausdinti labai tikslus ir sudėtingus gaminius. 3D spausdinimas tapo standartinė priemone odontologijoje, juvelyrikoje, ortopedijoje. Kitose pramonės šakose diegimas dar tik įsibėgėja, nes galimybės yra begalinės – nuo namų statybos iki neurochirurgijos, nuo šokolado iki metalo gaminių marginimo. Viena pagrindinių šio metodo naudojimo augimo varomųjų jėgų bus didėjanti produktų, kuriuos galima individualizuoti naudojant 3D spausdinimo technologiją, paklausa. Be to, tikimasi, kad gamybos rinkos augimą lems didėjanti naujų medžiagų paklausa.

Manoma, kad pridedamoji gamyba bus vienas pramonės 4.0 variklių. Nors ši gamyba taip pat reikalauja didelių kokybinių ir kiekybinių pokyčių, pirmiausia ją reikia integruoti į visiškai automatizuotą gamybą. Didelės

aviacijos, automobilių, gynybos, prietaisų gamybos, medicinos, švietimo ir kitos įmonės jau įvertino 3D spausdinimo naudą ir aktyviai integruoja šią technologiją į savo veiklą. Adityvinės technologijos patrauklios tuo, kad žymiai sumažina logistikos operacijų laiką.

Tikimasi, kad per ateinančius dvidešimt metų skaitmeninė gamyba pakeis kai kurias masinės gamybos rūšis, ypač tas, kurių galutinės gamybos sąnaudos yra aukštos. Ateities gamyba neturės didelio įrangos asortimento. Bus gaminama iš lanksčių gamybos elementų. Sistemos bus pritaikytos konkrečiam užsakymui vykdyti, perprogramuojant, keičiant gamybos modulius, įrangą, įrankius, medžiagas, nukreipiant logistikos srautus. Tokie gamybos centrai bus statomi techninio ir technologinio klonavimo būdu šalia pagrindinių produktų vartojimo vietų.

Adityvus spausdinimas naudoja virtualius modelius ir supjausto juos į skaitmeninius pjūvius tam, kad mašina galėtų juos naudoti kaip spausdinimo gaires. Standartinė duomenų sąveika tarp kompiuteriu sukurto dizaino programinės įrangos (CAD) ir pačios mašinos yra STL rinkmenos formatas (STL yra akronimas, reiškiantis stereolitografiją). Lengvai suprantamas STL failo formato apibrėžimas paaiškina tai kaip trimačio objekto trikampį vaizdą. Tarkime, jei CAD brėžinys rodo lygias apskritimų linijas, tai STL brėžinys rodo šio apskritimo paviršių kaip sujungtų trikampių seką. Kai vyksta spausdinimo procesas, mašina „skaito“ informaciją iš STL rinkmenos ir kloja nuoseklius skysčio, miltelių ar kitos medžiagos sluoksnius. Šie sluoksniai, atitinkantys virtualius skersinius pjūvius iš CAD modelio, tarpusavyje yra sujungiami arba sulydomi. Taip palaipsniui sukuriami galutinė gaminio forma. 3D spausdinimo būdu praktiškai galima sukurti bet kokios formos gaminį. Gaminimas gali užtrukti nuo kelių valandų iki kelių dienų, priklausomai nuo modelio sudėtingumo ir gaminimo metodo.

Gaminant labai daug polimerinių gaminių tradiciniais būdais (pavyzdžiui, injekciniu liejimu), gamyba yra greitesnė ir pigesnė, tačiau adityvioji gamyba yra labiau prisitaikanti ir pasiteisinanti, kai gaminama nedaug gaminių ar detalių. Kita vertus, renkantis kai kuriuos adityvaus spausdinimo būdus skirtingoms konstrukcijos dalims gali būti naudojamos įvairios medžiagos, įvairios spalvos ir jų deriniai.

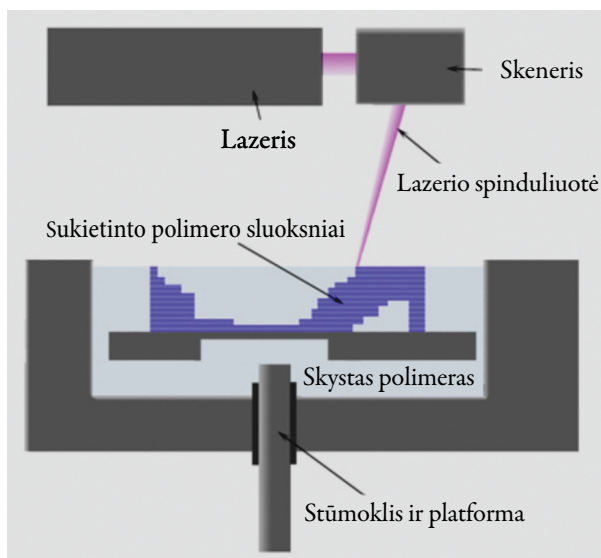
5.2 lentelė. 3D spausdinimo būdai

Tipas	Technologija
Ekstruzinis	Lydyto nusėdimo modeliavimas (FDM).
Miltelių sluoksnio 3D spausdinimas purkštuko galvute	Gipso 3D spausdinimas (PP) (gipso gaminiam).
Laidinis	Elektronų pluošto laisvos formos gamyba (EBF ³) (bet kokio metalo lydiniam).
Granuliuotas	Tiesioginis metalo lydymas lazerio spinduliuote (DMLS) (bet kokiems lydiniam).
	Lydymas elektronų spinduliuote (EBM) (tik lydiniam).
	Selektyvus lydymas lazeriu (SLM) (titano, kobalto, chromo lydiniam, nerūdijančiam plienui, aliuminiui).
	Selektyvus šiluminis kietinimas (SHS) (termoplastiniams polimerams).
Laminuotas	Selektyvus kietinimas lazerio spinduliuote (SLS) (termoplastiniams polimerams, metalų milteliams, keramikos milteliams).
	Laminuotų objektų gamyba (LOM) (popieriui, metalo folijai, plastiko plėvelei).
Polimerizuotas šviesa	Stereolitografija (SLA) (fotopolimerams). Skaitmeninis apdorojimas šviesa (DLP) (polimerams).

Nuo XX a. 8-ojo dešimtmečio buvo išrasta keletas skirtingų 3D spausdinimo procesų. Kai kurie spausdintuvai, kurdami sluoksnius, ištirpdina arba suminkština medžiagas (selektyvus lydymas lazeriu), vykdo tiesioginį metalo kietinimą lazerio spinduliuote (DMLS) ar selektyvų kietinimą lazerio spinduliuote (SLS), tuo metu kiti apdoroja skystas medžiagas naudodami stereolitografiją (SLA) (5.2 lentelė). Lydyto nusėdimo modeliavimą XX a. 9-ajame dešimtmetyje išrado bendrovės „Stratasys“ (JAV) įkūrėjas S. Scottas Crumpas. Lydyto nusėdimo modeliavimo metu maketas ar jo dalis yra gaminami atskiriant mažus medžiagos rutuliukus, kurie staigiai sukietėja,

suformuodami sluoksni. Suvyniota į ritę termoplastinė ar metalinė viela yra išvyniojama ir paduodama į purkštuko galvutę. Purkštuko galvutė kaitina vielą ir išjungia ar vėl įjungia jos padavimą. Kitas 3D spausdinimo metodas yra selektyvus granuliuotų medžiagų sluoksnio kietinimas. Kad objektas taptų vientisos masės, reikalingas selektyvus kietinimas lazerio spinduliuote (SLS) arba tiesioginis metalo kietinimas lazerio spinduliuote. Selektvų kietinimą lazerio spinduliuote 9-ojo dešimtmečio viduryje išrado ir patentavo Carlos Deckardas ir Josephas Beatmanas (JAV). Lydymo elektronų spinduliuote metodas naudojamas gaminant gaminius iš reaktyvių metalų, pavyzdžiui, titano lydinių. Elektronų spinduliuotei vakuume lydant metalo miltelius, sluoksnis po sluoksnio auginamas gaminy. Stereolitografiją 1986 m. sukūrė Charlesas W. Hullas (JAV). Fotopolimerizacija pirmiausia yra naudojama stereolitografijoje (SLA) norint iš skysčio pagaminti kietąjį kūną (5.40 pav.).

Medicinoje bioninių protezų, individualių įtvarų ir ortozės gamyba yra tik nedidelė 3D technologijų taikymo dalis. Naujosios 3D technologijos



5.40 pav. Stereolitografijos aparatas (Stereolithography apparatus.jpg. CC BY-SA 3.0)

naudojamos odontologijoje, veido žandikaulių chirurgijoje, ortodontijoje (netaisyklingo sąkandžio korekcija). Tačiau labiausiai laukiamas 3D spausdinimo pritaikymas, žinoma, yra *biospausdinimas*. Tikimasi kad, biospausdinimas netrukus leis atkurti pažeistus ar prarastus audinius ir organus. Viena perspektyviausių biospausdinimo krypčių yra 3D būdu atspausdinta oda. Tikimasi, kad po kelerių metų bus galima atlikti procedūrą tiesiai ant pažeistos žmogaus odos vietos. Sudėtingesni organai, tokie kaip inkstai ar kepenys, iki šiol buvo spausdinami tik kaip prototipai arba persodinami pelėms, o ne žmonėms. 2013 m. kinų mokslininkai pradėjo spausdinti ausis, kepenis ir inkstus iš gyvo audinio. Jiems pavyko sėkmingai atspausdinti žmonių organus naudojant specialius 3D biospausdintuvus, kurie naudoja gyvas, o ne polimerines ląsteles. Belgijoje mokslininkai sėkmingai atspausdino naują žandikaulį 83-ųjų metų moteriai. Moteris dabar gali kramtyti, kalbėti ir normaliai kvėpuoti (Shedlock, M., 2013). Biospausdintuvų programinė įranga taip pat yra kūrimo studijose: norint ją tobulinti, reikia apdoroti daug medicininių, klinikinių ir statistinių duomenų. Manoma, kad per ateinančius 10–20 metų bus gaminami kokybiškai funkcionuojantys spausdinti organai (Quigley, J. T., 2013).

Šiandien 3D spausdinimo savikaina ir 3D spausdintuvų kaina jau sumažėjo iki tokio lygio, kad galima galvoti ir apie pramoninę gamybą. Kalbant apie „generatyvaus dizaino – priedų technologijų“ tandemą galimybės, jos yra tokio lygio, kurį kai kurie analitikai vadina tik dar viena pramonės revoliucija ir kuri neabejotinai turės įtakos 3D spausdinimo pramonės ateičiai.

Nauja 3D spausdinimo kryptis yra *generatyvusis dizainas*. Tai iš esmės nauja projektavimo technologija. Ji pagrįsta nepriklausomai, dizaineriui nedalyvaujant, sugeneruotais 3D modeliais. Šioje sistemoje „žmogus-mašina“ kūrybinės funkcijos perkeliama į kompiuterį. Priežastis, kodėl pradėta naudoti ši sistema, yra skaičiavimo ir 3D spausdinimo spartos augimas.

Pridedamoji gamyba naudojama ne tik inžinerijoje ar medicinoje, bet ir netikėtose srityse, tokiose kaip baudžiamoji teisė. Buvo užregistruotas atvejis, kai 3D spausdinimu buvo gauta mirusio vyro piršto kopija. 3D spausdinimas sugebėjo atkurti mirusiojo ranką ir sėkmingai atkartoti asmens pirštą pagal ant telefono likusį piršto atspaudą.

Miniatiūrizavimas yra dar viena 3D spausdinimo kryptis. Neseniai pristatyta technologija, leidžianti gaminti gaminius, kurių nuokrypiai siekia

iki dviejų mikrometrų. Taip galima spausdinti mažo dydžio, didelio detalumo gaminius, esant minimaliems matmenų nuokrypiams.

Nuo 2010-ųjų pradėta dirbti su 3D spausdintomis programomis mažos arba nulinės gravitacijos aplinkose. NASA ruošiasi į kosmosą paleisti 3D spausdintuvą. 2013 m. atlikti sėkmingi raketų dalių, pagamintų naudojant šią technologiją, bandymai. Raketos variklio inžektoriai (čiurkšliniai siurbliai) išlaikė 3 316 °C temperatūrą ir ekstremalų slėgį, o savybėmis nenusileido tradiciniais būdais pagamintiems elementams.

Namų statybos 3D spausdintuvu srityje įgyvendinti vos keli projektai. Du namai yra pastatyti Dubajuje. Vienas iš šių pastatų yra didžiausias pasaulyje 3D spausdinimo būdu pastatytas statinys (5.41 pav.). Jo aukštis – 9,5 m, plotas – 64 m². Jo elementai buvo atspausdinti per 17 dienų, o pats pastatas surinktas per 48 valandas. Bahreine 3D spausdinimas buvo panaudotas kuriant unikalias koralo formos struktūras, kurios skatina koralų polipus apsigyventi ir atgaminti apgadintus rifus. Šios struktūros yra daug natūresnės formos negu prieš tai dirbtiniams rifams atkurti naudotos betoninės konstrukcijos, nes jų pH yra neutralus ir nebūdingas betonui (Pardo, N., 2013).



5.41 pav. Didžiausias 3D spausdintas statinys pasaulyje: jį statant prireikė vos trijų darbuotojų (Meisenzahl, M., 2019)

Šiuolaikiniai 3D spausdintuvai gali spausdinti didesnės molekulinės masės ir klampumo medžiagas, todėl gaminiai būna tvirtesni. Ateities 3D spausdinimo technologijos gali būti naudojamos fosilijoms atkurti paleontologijoje, antikiniams ir istoriniams artefaktams atkurti archeologijoje, kaulams ir kūno dalims atkurti teismo patologijoje, suniokotiems įrodymams atkurti tiriant nusikaltimus. 3D nuskaitymo technologijų naudojimas leidžia replikuoti tikrus objektus nenaudojant liejimo technikos, kuri daugeliu atvejų yra brangesnė, sudėtingesnė arba per daug invaziška ypač brangiems ir subtiliems kultūros objektams gaminti, kur tiesioginis kontaktas su modeliavimo medžiagomis gali pakenkti originaliam paviršiui.

Tradicinė gamyba dažnai sukuria daug atliekų ir yra nešvari. Daugeliu atžvilgių naudojant 3D spausdinimą susidaro mažiau atliekų ir taip paliekamas mažesnis dėl gamybos išmetamo CO₂ pėdsakas Žemėje. Taikant 3D technologijas sunaudojama mažiau medžiagų, gaminiai ilgiau veikia, būna mažiau transportavimo išlaidų ir neparduotų produktų. Teoriškai tai puiku, tačiau tyrimai rodo, kad patys 3D spausdintuvai ne visada efektyvūs ir ekologiški. Rašalinis 3D spausdintuvas tikslingai išekvoja tik 40–45 % rašalo. Jei nedirbantis spausdintuvas neatjungtas nuo maitinimo tinklo, jis sunaudoja daug elektros energijos. Žmonės mėgsta buitinius patogumus. 3D spausdintuvai tampa mažesni ir prieinamesni, todėl gyventojai savo namuose gali spausdinti nestandartinius, bet kokio dydžio, formos ar spalvos papuošalus, namų apyvokos daiktus, žaislus ir įrankius. Jie taip pat galės spausdinti atsargines dalis tiesiog namuose, o ne užsakyti ir laukti, kol jos bus atsiųstos. Besivystančios šalys dažnai yra visiškai atsijungusios nuo pasaulinių tiekimo grandinių net ir kalbant apie paprasčiausius produktus, tačiau naudojant 3D spausdinimą atsiranda galimybė juos įtraukti į šias grandines. Kitas būdas, kuriuo 3D spausdinimas gali padėti besivystančioms šalims, yra bendradarbiavimas su 3D spausdinimo tyrėjais. Pavyzdžiui, daugeliui besivystančių šalių labai reikia galūnių protezų, tačiau jos neturi galimybės naudotis technologijomis, kurių reikia norint juos pasigaminti patiems (5.42 pav., a).

3D spausdinimo ateities atrodo nedrumsčia kokie nors pavojai ar technologijos naudojimo grėsmės. Vis dėlto, tam tikrų pavojų išvelgiama. Vienas tokių yra susijęs su dirbančiųjų sveikata. 3D spausdintuvuose naudojamos įvairios medžiagos – nuo termoplastikų iki metalo miltelių ar betono. Dažniausia 3D

spausdinimo procesuose naudojama žaliava yra polimerinis siūlas, kurį kaitinimo elementas suskystina, o vėliau skysta medžiaga purškama per antgalį. Ilgalaikis kai kurių medžiagų dūmų poveikis gali būti pavojingas. 3D spausdintuvuose būna ir 1×10^{-9} m dydžio nanodalelių. Jos yra biologinių molekulių matmenų dydžio, todėl jas gyvos sistemos gali iš karto absorbuoti. Šios dalelės pasiekia kraują, kepenis ir širdį. Garuojančios organinių medžiagų molekulės dirgina akis, nosį ir gerklę, gali sukelti pykinimą ir organų pažeidimus.

2012-aisiais JAV programuotojų grupė atskleidė planus sukurti veikiantį plastikinį ginklą, kurį atkurtų bet kas, turintis 3D spausdintuvą (Poeter, D., 2012). Programuotojai sumodeliavo 3D spausdintuvu spausdinamą AR-15 tipo šautuvo uokšą (gebantį atlaikyti daugiau nei 650 šūvių) ir 30 šūvių atlaikančią M16 karabino dėtuę. Šiuo metu 3D būdu spausdintos sudedamosios dalys sudaro 80–90 % ginklo (5.42 pav., b). Pagrindiniai metaliniai komponentai, tokie kaip vamzdis, paprastai yra gaminami tradiciniais būdais, be to, ginklams vis tiek reikia įprastais būdais gaminamų šovinių. Vis dėlto, metalinių detalių spausdinimas 3D būdu per ateinančią dešimtmetį gali tapti įperkamu, todėl savadarbiai ginklai būtų patvaresni ir patikimesni. Jei 3D spausdinti ginklai bus panaudoti atakoje, kurioje žūsta daug žmonių, tai savo ruožtu siųs žinią, kad „3D spausdinti ginklai yra patikimi ir veiksmingi“.

Atrodo, kad trimačio spausdinimo galimybių pažanga, laisva 3D spausdintuvų skaitmeninių dokumentų apie ginklų komponentus prieiga ir sunkumai reguliuojant keitimąsi failais gali kelti riziką visuomenės saugumui. Siūlomi įstatymai, draudžiantys 3D spausdintus ginklus, gali pristabdyti, bet ne visiškai užkirsti kelią jų gamybai. Skaitmeninių failų sklaidos kontrolė



5.42 pav. a – ažiūrinis, 3D būdu atspausdintas protezas iš titano (Bar, Š.);
b – automatinis ginklas, eksponuotas Europolo konferencijoje (Vallance, Ch., 2022)

internete yra itin sudėtinga, taip pat kaip yra sudėtinga kontroliuoti nelegalios muzikos ar programinės įrangos sklaidą. 3D spausdinimo šalininkai teigia, kad bet kokios įstatyminės reglamentacijos būtų bergždzias reikalas. Kita vertus, 3D spausdintuvai pasitelkiami spalvingiems ir tikroviškiems vaizdams kurti. Naudojant šią technologiją galima per trumpesnę laiką ant popieriaus atspausdinti daug naudingų, pageidaujamų piešinių, brėžinių ar kitų dokumentų. Ar gali 3D spausdinimas kelti realią grėsmę visuomenei? Yra nuomonių, kad 3D spausdinimas gali iš esmės pakeisti pasaulio ir vietos ekonomiką bei paveikti tarptautinį saugumą, gali smarkiai sutrikdyti vyraujančią valstybės santvarką ir tarptautinę tvarką.

Vystantis 3D spausdinimo technologijai, ateityje bus vienaip ar kitaip daroma įtaka visoms pagrindinėms pramonės šakoms ir pakeistas gyvenimo bei darbo būdas. Daugiau ar mažiau, 3D spausdinimo pramonė yra pasirengusi pakeisti beveik kiekvieną veiklos sektorių ir pradėti kitą pramonės revoliuciją. Kol kas tai atrodo neįtikėtina. Masinė gamyba yra didžiausias 3D spausdinimo technologijų iššūkis. Išplėtojus 3D spausdinimo technologijas dideliu mastu, spausdintuvai visiškai transformuos tradicinę gamybą daugelyje pramonės šakų, tokių kaip maisto, automobilių, žaislų, ar net karinę pramonę. Čia peršasi analogija su elektromobilių plėtra. Išaugus elektromobilių parkui apmirs ar sunyks vidaus degimo variklių projektavimo, gamybos, remonto bendrovės ir tokio pasikeitimo pasekmės visuomenėje bus ilgalaikės ir skausmingos. Niekas negalėjo nuspėti spausdinimo mašinų 1450-aisiais, garo variklio 1750-aisiais, ar tranzistoriaus 1950-aisiais likimo. Ir dabar neįmanoma numatyti ilgalaikės 3D spausdinimo įtakos ir pasekmių. Technologija jau čia ir yra tikėtina, kad ji sujauks kiekvieną sritį, į kurią įžengs.

3D spausdinimas yra labai daug žadanti, mažai grėsmių kelianti technologija, galinti pakeisti daugelio daiktų ar objektų kūrimo būdą. Technologijos turi labai didelių perspektyvų įvairiose pramonės ir žmogaus gyvenimo srityse pakeisti sunkų žmonių darbą ir užtikrinti pigesnius kokybiškus gaminius.

5.12. Saulės energetika

Ekspertai teigia, kad spartus pasaulio energetikos sistemos transformacijos greitis yra panašus į greitį, kuriuo automobiliai XX a. pradžioje pakeitė

arklius. Siekiant stabilizuoti CO₂ kiekį atmosferoje iki amžiaus vidurio pasauliui reikės apie 20 TW elektros energijos. Paprasčiausias scenarijus, kaip to pasiekti, yra fotovoltiniai ir kiti atsinaujinantys energijos šaltiniai – elektrai gaminti, vandenilis – transportui, iškastinis kuras – gyvenamųjų ir pramoninių patalpų šildymui (Upadhyaya, H. M. ir kt., 2011). Kristalinis silicis yra dažniausia saulės elementams gaminti naudojama medžiaga, nes jis pasižymi aukštu konversijos koeficientu ir pigiu gamybos procesu. Maždaug 80 % visame pasaulyje pagaminamų saulės elementų gamyboje naudojamas vienkristalis ar polikristalinis silicis (Aulich, H. A. ir kt., 2010).

Saulės energetikoje yra išskiriamos dvi skirtingos technologijos. *Saulės kolektoriai* naudojami šiluminės energijos gamybai, o *saulės elementai (fotovoltiniai moduliai)* – elektros energijos gamybai. Šiluminė energija, pagaminta saulės kolektoriuose, gali būti panaudota šildymui, karštam vandeniui ruošti, baseinams šildyti, technologiniams procesams (pavyzdžiui, metalams lydinti) ar kitiems šiluminės energijos poreikiams. Saulės fotovoltiniuose moduliuose gaminama tik elektros energija. Lietuvoje iki 2030 m. šildymo sektoriuje *atsinaujančių energijos šaltinių* sugeneruota energija turėtų sudaryti 90 % visos sunaudojamos energijos. Elektros gamybos sektoriuje Lietuva yra įsipareigojusi iki 2050 m. 100 % patenkinti savo elektros energijos reikmes iš atsinaujančių energetinių išteklių (apie 18 TWh). Bendrasis jėgainių galingumas turėtų išaugti iki 2–2,5 TW. Teravatvalandė yra lygi milijardui įprastesnių kilovatvalandžių, kuriomis matuojame elektros sąnaudas namuose. Taigi, skaičius gali atrodyti išties didelis. Kita vertus, jei elektros gamybai galėtume panaudoti visą energiją, kurią žemė gauna iš saulės, tokį energijos kiekį pagamintume greičiau nei per valandą. Vos viena valanda darbo norint patenkinti visų metų žmonijos elektros energijos poreikius? Skamba fantastiškai, bet tokia milžiniška yra saulės galia. Šiame kontekste saulės energetika tampa prioritetine sritimi – planuojama, kad saulės energija iš viso sudarys apie 20 % bendrosios elektros energijos gamybos apimties (taigi, saulės jėgainių galingumas išsaug bemaž iki 45 GW). Saulės teikiama šviesa ir šiluma yra panaudojama kaip alternatyvus energijos šaltinis, tačiau šiuolaikinės technologijos dar nėra pritaikytos efektyviai panaudoti šią energiją. 2004 m. tik 0,04 % pasaulio elektros energijos pagaminta iš saulės energijos. Apskaičiuota, kad teorinis metinis pasaulio saulės energijos potencialas

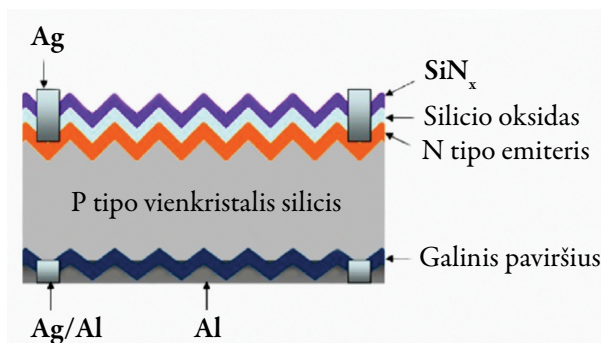
sudaro 900 000 000 TWh ir yra apie 60 kartų didesnis už teorinį metinį pasaulio vėjo energijos potencialą, apie 2 200 kartų didesnis už teorinį metinį geoterminės energijos potencialą, apie 4 500 kartų – už biomasės ir apie 36 000 kartų – už hidroenergijos teorinius metinius pasaulio potencialus.

Kaip sparčiai vystėsi ši technologija, matyti iš pagrindinių saulės elementų kūrimo riboženklių. XIX a. buvo pastebėta, kad saulės spinduliuotei apšvietus tam tikras medžiagas, sukuriama elektros srovė. Šis reiškinys buvo pavadintas fotoelektriniu efektu, o atradimas padėjo pagrindą saulės elementams. 1839 m. Edmondas Becquerelis pirmasis stebėjo fotovoltinį efektą šviesos veikiamame elektrode. Apšvietus į elektrai laidų tirpalą pamerktus ir sidabro chloridu arba sidabro bromidu padengtus platinos elektrodus, juose buvo sukuriama įtampa ir srovė. 1873 m. anglų elektros inžinierius Willoughby Smithas nustatė, kad selenas pasižymi fotolaidumu. 1883 m. amerikiečių išradėjas Charlesas Frittsas, naudodamas seleną ant plono aukso sluoksnio, sukūrė saulės elementą, kurio konversijos naudingumas buvo mažesnis nei 1 %. 1918 m. Janas Czochralskis sukūrė metodą, skirtą pavieniams metalo kristalams auginti. Po kelių dešimtmečių šis metodas pritaikytas vienkristaliui siliciui gaminti. 1932 m. atrastas kadmio selenido (CdSe) fotovoltinis efektas. 1954 m. bendrovė „Bell Labs“ (JAV) paskelbė apie silicio saulės elemento išradimą, kurio konversijos naudingumas siekė maždaug 6 %. 1959 m. sukurtas 10 % konversijos naudingumo komercinis saulės elementas, o 1960 m. jo konversijos naudingumas pasiekė 14 %. 1970 m. sukurti pirmieji efektyvūs GaAs heterostruktūros saulės elementai. 1978 m. pasirodė pirmieji saulės energija varomi skaičiuotuvai. 1985 m. sukurti 20 % konversijos naudingumo silicio elementai, o 1994 m. sukurtas GaInP/GaAs elementas, kuris tapo pirmuoju saulės elementu, viršijančiu 30 % konversijos naudingumą. 2006 m. įveiktas 40 % konversijos naudingumo barjeras. 2016 m. kadmio telūrido saulės elementai 22,1 % saulės šviesos energijos pavertė elektra, o 2018 m. galio arsenido (GaAs) saulės elementai pasiekė 29,1 % konversijos naudingumo rekordą. Perovskito saulės elementų efektyvumas padidėjo nuo 3,8 % (2009) iki 25,2 % (2020), naudojant vienos jungties architektūrą, o silicio pagrindo tandeminiuose elementuose – iki 29,1 %. 2021 m. paleista pirmoji pramoninė komercinė perovskito saulės kolektorių gamybos linija, naudojanti 3D spausdinimo technologiją. 2022 m.

pranešta apie pusiau permatomų saulės elementų (kurių dydis prilygsta pastato langams) sukūrimą. Saulės elementų regimas skaidris siekia 79 %.

Pirmieji komerciniai saulės elementai buvo pagaminti iš silicio. Antrosios kartos, arba plonasluoksnių saulės elementai yra įvairių puslaidininkių – to paties silicio, kadmio telūrido, vario, indžio ir galio selenido bei kitų – pagrindu gaminami labai ploni fotovoltiniai sluoksniai (5.43 pav.). Trečiajai saulės elementų kartai priskiriami įvairūs junginiai: nuo sudėtingų organinių molekulių iki perovskito struktūros medžiagų (tikrasis mineralinis perovskitas susideda iš kalcio, titano ir deguonies CaTiO_3 formoje). Naudojant skirtingas medžiagas, kai kuriuos saulės elementus lengviau pagaminti, kitiems reikia mažiau retų cheminių elementų, tretieji gali būti skaidrūs ir lankstūs arba gali pasiekti ir labai didelį efektyvumą.

Teoriniai skaičiavimai rodo, kad saulės elementai galėtų pasiekti 70 % ribinį naudingumo koeficientą. Deja, technologinis gamybos procesas šį rodiklį sumažina iki 50 %. Tačiau šis skaičius yra visai realus – tad artimiausiais dešimtmečiais saulės elementų naudingumo koeficientas gali svyruoti būtent ties šiuo rodikliu. Pastaraisiais metais kelios mokslininkų grupės pranešdavo apie rekordinio efektyvumo saulės elementus, kurių naudingumo koeficientas viršydavo 40 %, tačiau tokie rezultatai buvo pasiekti laboratorijos sąlygomis. Deja, šiandien rinkoje galima išigyti saulės elementų tik su 8–20 % naudingumo koeficientu. Nors nė vienas energijos šaltinis



5.43 pav. Vienkristalio silicio saulės elemento struktūrinė schema (Lavaa, A., 2021)

nėra tobulas, saulės energetika yra žinoma kaip saugiausias energijos šaltinis. Pasauliui aprūpinti elektros energija reikėtų saulės elektrinės, kuri užimtų 300–600 km² plotą, arba padengtų apie 1,2 % Sacharos dykumos. Vis dėlto, atšiauri dykumų aplinka turi įtakos saulės baterijų efektyvumui. Ant saulės kolektorių besikaupiančios dulkės ir smėlis pažeidžia jų funkcionalumą. Be to, kai temperatūra dieną yra labai aukšta, o naktį žema, svyravimai sukelia greitus bet kokių saulės kolektorių medžiagų struktūros ir savybių pokyčius.

Atsižvelgiant į saulės kolektorių gamybos metu susidarantį CO₂ kiekį, saulės baterijos per pirmuosius eksploatavimo metus išskiria apie 50 g CO₂ vienai kilovatvalandei. Tai yra maždaug 20 kartų mažiau nei CO₂ išmetimai naudojant anglį deginančias elektros jėgaines. Daugelį saulės baterijų komponentų galima perdirdbti. Stiklas sudaro didžiąją dalį saulės baterijų masės (apie 75 %), o stiklo perdirdbimas jau yra nusistovėjusi pramonės rūšis. Kitos lengvai perdirdbamos medžiagos yra aliuminio rėmas, varinė viela ir polimerinė jungiamoji dėžutė. Vienkristalės (monokristalinės) plokštės turi aukščiausią saulės baterijų konversijos naudingumą, kuris siekia daugiau nei 20 %. Tai reiškia, kad 20 % gaunamos saulės šviesos paverčiama elektros energija. Polikristalinės plokštės patenka į vidutinį diapazoną ir pasiekia apie 15–17 % konversijos naudingumą. Paprastai, kad būtų išlaikytas efektyvumas, saulės baterijų paviršių rekomenduojama valyti kas 6–12 mėnesių.

Metinis saulės energijos panaudojimas 2020 m. pradžioje buvo apie 30 GW, o 2025–2030 m. laikotarpiu išaugs iki 60 GW. Panašūs saulės energijos naudojimo augimo tempai bus ir po 2030 metų. Saulės jėgaines veikia palyginti tyliai. Vidutinis triukšmas 3 m atstumu nuo keitiklio svyruoja nuo 48 iki 72 decibelų, o 45–50 m nuotolyje triukšmas neviršija leistino lygio. Be minimalaus inverterio (įtampos keitiklio, reikalingo nuolatinės srovės elektros energiją konvertuoti į kintamosios srovės elektros energiją) dūzgimo ir retkarčiais pasigirstančio vėjo gūsių triukšmo, saulės baterijų sistema paprastai veikia tyliai net naktį. Saulės kolektorių veikimui nereikia tiesioginių saulės spindulių. Nors didžiausias efektyvumas pasiekiamas šviečiant saulei, elektra vis tiek gaminama debesuotomis dienomis ir žiemą. Kita vertus, naktį negalima gaminti elektros, tačiau šią problemą padeda spręsti elektros energijos kaupimo sistema. Kai aplinkos temperatūra pakyla virš didžiausios rekomenduojamos temperatūros, saulės baterijų našumas mažėja. Tyrimai parodė,

kad plokštės pradeda prarasti efektyvumą, pasiekusios maždaug 25 °C temperatūrą. Nors saulės baterijos skleidžia elektromagnetinę spinduliuotę, ji yra gana maža ir nepavojinga.

Fotovoltiniuose elementuose yra silicio sluoksnių, kurie saulės spinduliuotę paverčia nuolatinės srovės elektra. Norint pagaminti saulės kolektorių, silicio sluoksniai yra įterpiami tarp dviejų plokščių, dažnai pagamintų iš etilenvinilacetato kopolimero, kuris gaminamas iš naftos chemijos produkto – etileno. Kai yra saulės energijos, saulės baterijų sistema veikia be akumulatoriaus. Kai nėra pakankamai saulės energijos, neturintis baterijos saulės energijos keitiklis jungiasi prie bendro maitinimo tinklo elektros.

Kaip ir bet koks įrankis, naudojamos saulės baterijos susidėvi. Nors nėra judančių dalių, cheminės medžiagos laikui bėgant sensta, degraduoja ir gali sugesti. Be to, saulės baterijas gali sugadinti audros ar vėjo blaškomos nuolaužos. Dažniausiai pasitaikantys saulės baterijų pažeidimo būdai: šakos, lapai, nuolaužos gali subraižyti saulės baterijų paviršių ir sumažinti gamamos energijos kiekį. Jį taip pat gali sumažinti krušos, audros, blogas oras, prasiskverbiantis vanduo. Nors saulės kolektoriai yra sandarūs (kaip ir buto langai), tačiau gali atsirasti įtrūkių ir vanduo gali prasiskverbti į saulės baterijos vidų. Žaibas taip pat gali padaryti niokojančią žalą saulės kolektoriams, lemti prastovas ir išlaidas keičiant pažeistas dalis.

Vis plačiau diegiama *hibridinė saulės energetikos sistema*, kuri yra prijungta prie tinklo su akumulatoriaus saugykla. Joje yra specialus „išmanusis“ keitiklis, galintis perduoti nuolatinės srovės (DC) energiją į pastato baterijas ir iš jų, o prireikus nukreipti pastato aprūpinimo elektra sistemą prie išorinio kintamosios srovės (AC) maitinimo tinklo.

Saulės kolektorių savininkams kartais kelia nerimą, kad laikui bėgant kolektoriai pagelsta. Išlaikyti saulės kolektorių atsparumą ultravioletinei spinduliuotei (UV) padeda etileno vinilo acetato (EVA) danga. Ilgainiui, dėl ilgalaikio UV poveikio, EVA spalva pradeda keistis, todėl ji tampa geltona arba ruda. Daug kur žmonės dar nusiteikę prieš saulės fermas. Jie nerimauja, kad į žemę pateks cheminių medžiagų, arba kad saulės baterijų gamyba kenkia aplinkai. Šie argumentai yra neteisingi, nes saulės baterijos pagamintos iš aliuminio, stiklo ir smėlio, kurie nepatenka į elektrinei naudojamą žemę. Saulės baterijos padeda kovoti su visuotiniu atšilimu, nes gaminamos elektros

energiją mažina deginamo ir šiltnamio efektą sukeliančio iškastinio kuro naudojimą. Saulės baterijos veikia daugiau nei 25 metus. Jos yra nepaprastai patikimos, o jų ilgaamžiškumas nuolat didėja. Tyrimai rodo, kad saulės baterijų gedimo procentas yra tik 0,05 %.

Saulės elementų arba fotovoltinė elektra per trumą laiką tapo prioritetine elektros energijos vystymo kryptimi. Namas yra klasikinis pasyvaus saulės baterijų naudojimo pavyzdys, jungiantis saulės šviesos, šildymo ir vėdinimo sistemas į integruotą saulės energijos naudojimo paketą. Aktyvi saulės energijos įranga, tokia kaip siurbliai, ventiliatoriai ir reguliuojamieji langai, gali papildyti pasyvų dizainą ir pagerinti sistemos veikimo naudingumą.

Saulės energija varomų automobilių kūrimas buvo inžinerinis tikslas nuo XX a. devintojo dešimtmečio (5.44 pav.). Kai kuriose transporto priemonėse saulės baterijos naudojamos pagalbinei energijai, pavyzdžiui, oro kondicionavimui – taip sumažinamos degalų sąnaudos.

2016 m. Žemės rutulį apskriejo šveicarų inžinierių sukurtas, vien fotovoltine elektra varomas orlaivis „Solar Impulse 2“ (5.45 pav.).

1958 m. į kosminę erdvę pakilo pirmasis palydovas („Vanguard 1“, JAV), aprūpinamas saulės energija. Saulės baterijos turi turėti didelį paviršiaus plotą, kuris būtų nukreiptas į Saulę, kai erdvėlaivis juda. Didesnis atviras paviršiaus plotas reiškia, kad daugiau saulės šviesos energijos galima paversti elektros energija. Kadangi erdvėlaiviai turi būti maži, tai riboja pagaminamos galios kiekį. Iki pat 1990-ųjų pradžios kosmose naudojamos saulės baterijos

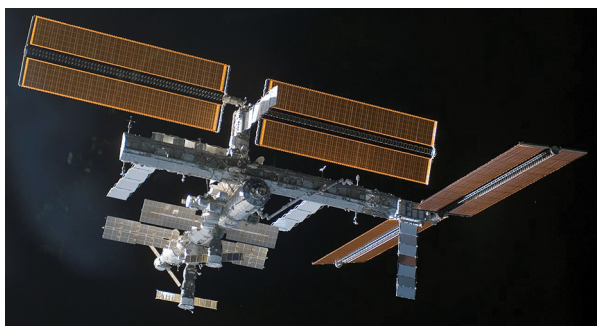


5.44 pav. 2013 m. saulės energija varomų automobilių lenktynių „Pasaulio saulės iššūkis“ Australijoje nugalėtojas (Nuna 7.jpg. CC BY-SA 3.0)



5.45 pav. Pirmasis saulės energija varomas orlaivis „Solar Impulse 2“, 2016 m. užbaigęs skrydį aplink pasaulį (Solar Impulse S12 pilote Bertrand Piccard Payerne November 2014.jpg, CC BY-SA 4.0)

daugiausia naudojo kristalinio silicio saulės elementus. Nuo 1990 m. pr. juos pakeitė galio arsenido saulės elementai, nes jie yra efektyvesni ir lėčiau degra-duoja veikiant kosminei spinduliuotei. 1998 m. pradėta statyti Tarptautinė kosminė stotis, kuri skrieja 400 kilometrų aukštyje ir saulės elementų baterijos energija aprūpina visas stoties sistemas. 262 400 saulės elementų baterijos užima apie 2 500 m² plotą (5.46 pav.).



5.46 pav. Saulės baterijos Tarptautinėje kosminėje stotyje (STS-115 ISS after undocking.jpg, Viešo naudojimo)

Saulės energetika ir jos atšaka, saulės elementais konvertuojama į elektros energiją šviesos spinduliuotė, šiuo metu išgyvena bumą. Daugybė publikacijų, mokslinių tyrimų ir valstybių priimamų sprendimų šiai technologijai žada šviesią ateitį. Ar po šia spindesio skraiste nesislepia kokios nors tamsesnės ar kol kas neįvertintos dėmės arba grėsmės? Atsakant į šį klausimą, pirmiausia reikėtų pažvelgti į didžiausias saulės energetikos problemas ir trūkumus. Viena didžiausių problemų, kylančių dėl saulės energetikos technologijos, yra ta, kad energija gaminama tik saulei šviečiant. Norint naudoti saulės baterijas kaip pagrindinį elektros energijos šaltinį, reikalingos energijos kaupimo sistemos arba jungtis su aukštos įtampos nuolatinės srovės elektros linijomis. Tai reiškia, kad naktimis ir debesuotomis dienomis gamyba gali sulėtėti ar net nutrūkti. Kol kas plėtrą stabdo saulės modulių efektyvumo problemos ir didelės pradinės kapitalo išlaidos. Nors pati saulės energija yra nemokama, saulės energijos rinkimo, konvertavimo ir saugojimo išlaidos iš pradžių gali būti didelės. Saulės kolektorių gamybai naudojamos medžiagos gali sukelti aplinkos taršą, saulės energetikos parkams reikia daug vietos. Yra nuomonių, kad saulės energetika nėra tvari.

Pagrindiniai argumentai prieš saulės baterijas yra tokie, kad joms išgauti, gaminti ir transportuoti reikia daugiau energijos ir iškastinio kuro deginimo įrangos, nei sutaupoma. Dar viena problema atsiranda dėl to, kad saulės energetika dažnai pagamina daugiausia energijos tada, kai jos paklausa yra maža. Kitas argumentas – gamybos procese naudojamos toksiškos cheminės medžiagos, kurios daro daugiau žalos nei naudos. Gaminant plokštes, reikia šarminių cheminių medžiagų, tokių kaip natrio hidroksidas ir vandenilio fluorido rūgštis, o gamybos procese susidaro atliekų, išsiskiria šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Pasaulio fotoelektros pajėgumai auga rekordiniu tempu, taip pat didėja ir saulės baterijų, kurių eksploatavimo laikas baigėsi, atliekų našta. Daugelis šių, jau nefunkcionalių, plokščių išmetamos į sąvartynus, nors juose lieka vertingų elementų, tokių kaip silicis, sidabras ir varis. Montuojant saulės baterijas ant stogų, stiprus vėjas jas gali nuplėšti nuo jų laikiklių arba laikiklius nuo stogo ar žemės. Gyvenimas šalia saulės energijos ūkio gali turėti tam tikrų trūkumų, įskaitant sumažėjusį dirbamos žemės plotą, suprastėjusį aplinkos vaizdą ir galimas saulės baterijų elektromagnetines bangas. Kai tūkstančiai saulės

baterijų įrengiama neužstatylose natūraliose vietose, jos išstumia laukinę gamtą ir sunaikina jų buveines.

Plūduriuojanti saulės energetika

Pasauliniu mastu saulės fotovoltinės energijos gamybos pajėgumai per pastarąjį XXI a. dešimtmetį išaugo beveik 12 kartų – nuo 72 GW 2011 m. iki 843 GW 2021 metais. *Plūduriuojančių saulės energijos* technologijų plėtra yra viena naujausių pastarųjų metų saulės fotovoltinės energijos plėtros tendencijų. Nuo Brazilijos Amazonės iki Japonijos plūduriuojančios saulės baterijos visame pasaulyje – ši technologija išgyvena tikrą bumą. Dabar ji sudaro 3,6 % pasaulinės elektros energijos gamybos (5.47 pav.). Prognozuojama, kad per ateinantį dešimtmetį ši technologijos rinka augs 43 % per metus. Plūduriuojančios saulės fotovoltinės energijos gamybos įrenginiais padengus tik 10 % visų pasaulio žmogaus sukurtų rezervuarų, įdiegta galia būtų 20 teravatų (TW), t. y. 20 kartų daugiau nei pasaulinė saulės fotovoltinė galia šiandien (Gerretsen, I., 2022).

Plūduriuojantys saulės energijos įrenginiai turi išskirtinį pranašumą, nes jie neužima vertingos žemės ploto. Vis dėlto, dėl techninių ir finansinių suvaržymų, šiuo metu mažiau nei 1 % pasaulio saulės energijos įrenginių



5.47 pav. Dėl riboto ploto arba labai brangios žemės kai kurios šalys daug investuoja į plūduriuojančius saulės energijos ūkius (<https://www.bbc.com/future/article/20221116-the-floating-solar-panels-that-track-the-sun>)

yra plūduriuojantys. Priežasčių yra įvairių – sūrus vanduo sukelia koroziją, saulės elementų ar plokščių išdėstymas kampu plūduriuojančioje platformoje yra sudėtingas ir brangus, o įrenginiai ant gėlo vandens telkinių susiduria su pasipriešinimu, nes konkuruojama su kitomis veiklomis, tokiomis kaip maudymasis, plaukiojimas valtimis ar žvejyba.

Plūduriuojančios platformos padeda spręsti ir kitą, įprastą saulės energetiką kamuojančią problemą – neefektyvumą, kai saulės baterijos įkaista per daug. Saulės baterijos gamina elektros energiją naudodamos saulės šviesos spindulius, o ne jos šilumą. Tačiau kai jos per daug įkaista, jų naudingumas mažėja. Taip yra todėl, kad šiluma paveikia plokštės elektronus, kurie saulės energiją verčia elektra, o tai savo ruožtu mažina generuojamą įtampą ir elektros kiekį. Saulės fotovoltiniai elementai paprastai didžiausiu naudingumu veikia 15–35 °C temperatūros intervale, tačiau jie gali įkaisti ir iki 65 °C, o tai gerokai veikia elemento naudingumą. Plūduriuojančios saulės energijos gamybos platformos artumas prie vandens sukuria papildomą vėsinimą ir didina plokščių veikimo naudingumą. Susidarantis aušinimas net iki 15 % padidina elektros energijos gamybą.

Yra ir kitų būdų, kaip padidinti saulės baterijų energijos gamybą – pavyzdžiui, nuolat kreipti jas taip, kad jos sektų saulės kelią danguje, panašiai kaip elgiausi saulėgrąžos, kurios dienos metu seka saulę iš rytų į vakarus. Plokštės lėtai pasukamos kas kelias valandas dviem ašimis, naudojant mechaninį, geoerdvinį ir šviesos jutiklius. Dar vienas saulės elektrinių platformų, esančių ant vandens, trūkumas yra jų įrengimo sunkumai. Saulės sekimo sistemos paprastai yra pritvirtintos prie žemės poliais, o juda tik platforma su saulės baterijų moduliais. Siekiant užtikrinti stabilumą ant vandens, platformoje būna sumontuoti sraigčiai ir varikliai. Palyginti su įprastomis sistemomis, plokštės, kurios seka saulę, gali padidinti energijos gamybą net 35 %, o pridėjus plokščių aušinimo efektą elektros gamyba gali padidėti ir iki 40 %.

Vietos plūduriuojančioms platformoms turi būti parenkamos atsargiai, kad potvyniai, audros, švartavimo ir inkaravimo sistemos nesugadintų plokščių. Žinoma, saulės sekimo sistemos neturės didelės reikšmės vietovėse, esančiose netoli pusiaujo, kur plokštės yra įrengiamos beveik horizontaliai ir didžiąją dienos dalį yra nukreiptos į saulę.

Sekimo technologijos susiejimas su plūduriuojančiu fotovoltiniu elektros gamybos įrenginiu padidina elektros gamybą, tačiau nauda neapsiriboja tuo, nes plaukiojanti saulės energijos gamybos sistema padeda sumažinti vandens garavimą, vėsina vandenį ir užkerta kelią toksiškų dumblių žydėjimo plitimui.

Dėl platesnio plūduriuojančios saulės energijos naudojimo gali atsirasti ir ekologinių trūkumų. Plūduriuojančios saulės baterijos gali paveikti stratifikaciją, t. y. vertikalų vandens sluoksnių pasiskirstymą pagal fizines savybes. Padidėjus stratifikacijai apatiniame sluoksnyje gali pritrūkti deguonies, gali susidaryti nepageidaujama maistinių medžiagų koncentracija ir nugaišti žuvis.

Kol kas pagrindinės kliūtys, stabdančios tokių įrenginių diegimą pasauliniu mastu, yra didelė medžiagų (plieno, polimerų), reikalingų plokščių statybai, kaina ir sudėtingas montavimas.

Per pastarąjį dešimtmetį plūduriuojančios saulės energetikos pajėgumai labai išaugo – nuo 70 MWp 2015 m. iki 1 300 MWp 2020 m. Augimo dinamika rodo, kad plūduriuojančios saulės energetikos ateitis yra šviesi, o pasaulinė rinka per ateinančius aštuonerius metus turėtų išaugti net penktadaliu.

VIETOJ EPILOGO

Technologijos lydi žmoniją nuo pat jos sąmoningos veiklos pradžios. Gamta žmogui nesuteikė natūralios apsaugos, tokios kaip plunksnos ar plaukai, ar kokios nors kriauklės, tinkančios apsisaugoti nuo oro ir kitų negandų. Tūkstančius metų žmonėms išgyventi nuolat reikėjo maisto, aprangos ir būsto. Maždaug prieš 72 000 m. pr. m. e. Sumatros saloje (Indonezija) išsiveržė Tobos ugnikalnis. Manoma, kad tai buvo didžiausias ugnikalnio išsiveržimas per pastaruosius 100 000 metų. Sprogimo debesis pakilo į atmosferą iki 47 km aukščio. Didžiulė teritorija visoje Azijoje buvo padengta 3–10 cm storio dulkių sluoksniu. Pelenai apdengė vandens šaltinius ir kaip cementas prisiklijavo prie augmenijos. Pelenų buvo aptikta net Rytų Afrikoje, apie 7 300 km į vakarus nuo išsiveržimo epicentro. Dabar mes kalbame apie klimato šiltėjimą, žmogaus veiklos sukeltą šiltnamio efektą, o Tobos ugnikalnio katastrofa pasaulyje sukėlė vulkaninę žiemą, kuri truko dešimtmečius. Dėl pasikeitusio klimato žmonių populiacija beveik išnyko, nes įvairiais skaičiavimais, planetoje išliko tik apie 10 000 žmonių. Mažiausiai paveikta pasaulio dalis buvo Afrika, kur genetinė įvairovė išlieka didelė ir iki šiol.

Prabėgus tiems 74 000 metų, įvyko žmonių populiacijos sproginimas ir žmonės kolonizavo beveik visą planetą, darydami įtaką net atokiausiems planetos kampeliams. Šiandien kiekvienas ežeras, miškas, kalnagūbris ar kanjonas yra paliesti žmogaus veiklos. 2018 m. plastikinis maišelis buvo rastas 10 898 m vandenyno gelmėse, o žmogaus sukurtos „amžinos“ polimerinės atliekos jau išbarstytos Everesto kalno šlaituose.

Tuo pačiu metu žmonija, pasitelkdama technologijas, išmoko skaidyti atomus, nusiųsti į kosminę erdvę sudėtingą įrangą, stebėti tolimose galaktikose besiformuojančias planetas. 2022 m. duomenimis, pasaulyje gyvena 8 mlrd. žmonių, t. y. 800 000 kartų daugiau, negu buvo humanoidų, išgyvenusių Tobos katastrofą. Mokslininkų skaičiavimu, idealus mūsų rūšies būtybių skaičius planetoje būtų nuo 1,5 iki 2 mlrd. žmonių.

Vienas pirmųjų perteklinio gyventojų skaičiaus paminėjimų istoriniuose įrašuose mus pasiekia iš Mesopotamijos XVII a. pr. m. e. Šumerų epe dievas Enlilis nusprendžia paleisti negandas (marą, badą, sausrą), kurios reguliariai, kas 1 200 metų, sumažintų žmonių skaičių (5.48 pav.). Apskaičiuota, kad maždaug tuo metu, kai buvo parašytas šis epas, pasaulio gyventojų skaičius siekė nuo 27 iki 50 milijonų.



5.48 pav. Sėdinčio soste šumerų dievo Enlilio skulpturėlė (God Enlil, seated, from Nippur, Iraq, 1800-1600 BCE. Iraq Museum. jpg. CC BY-SA 4.0)

Per kitą naująjį tūkstantmetį gyventojų didėjimas, atrodo, nebuvo aktuali tema, kol senovės Graikijoje vėl pradėta mąstyti apie šią problemą. Atėnuose gyvenęs graikų filosofas Platonas (tikrasis vardas Aristoklas, 422–347 m. pr. m. e.) tikėjo griežta valstybės valdoma gyventojų kontrole ir manė, kad idealiame mieste turi būti ne daugiau kaip 5 040 piliečių (5.49 pav.). Jo nuomone, gyventojų pertekliaus problemą galima spręsti steigiant kolonijas Juodosios jūros pakrantėse, Mažajoje Azijoje, Egėjo jūros salose ir mažinant vartojimą. Taigi, Platonas pradėjo diskusiją (kuri vis dar vyksta ir šiandien): ar problema yra žmonių populiacijos dydis, ar jos naudojami ištekliai?



5.49 pav. Platonas Rafaelio freskoje, Atėnų akademija (Sanzio 01 Plato Aristotle.jpg. Viešo naudojimo)



5.50 pav. Senovės teologas Kvintas Septimijus Florentas Tertulianas (Tertullian.jpg. Viešo naudojimo)

Po Platono prirėkė daugiau nei penkių šimtmečių, kol vėl paaštrėjo pasaulinis žmonių populiacijos augimo mastas. Senovės krikščionių teologas Kvintas Septimijus Florentas Tertulijonas, gyvenęs romėnų mieste Kartaginoje, manė, kad žmonės planetai tapo našta: „<...> nes gamta mūsų nebegali išlaikyti“ (5.50 pav.). Jis dėstė savo mintis 200 m. mūsų eros metais, kai bendras žmonių skaičius siekė 190–256 milijonus. Per ateinančius 1 500 metų pasaulio žmonių skaičius išaugo daugiau nei tris kartus. Galiausiai šis rūpestis virto panika.

1798 m. anglų dvasininkas Thomas Malthusas priėjo prie logiškos išvados: visi žmonės turi valgyti, ir visi mėgsta seksą. Jo nuomone, šie paprasti faktai galiausiai lems tai, kad žmonijos poreikiai viršys planetos atsargas (5.51 pav.). Tuo metu, kai buvo paskelbta T. Malthuso teorija, planetoje gyveno 800 mln. žmonių.

Žmonių populiacija kurį laiką greičiausia toliau augo, nepaisant bet kokių galimų pastangų ją sumažinti. 1980 m. Kinija įvedė prieštarigai vertinamą vieno vaiko politiką, kuri buvo plačiai vertinama kaip invazinis gyventojų seksualinių ir reprodukcinų teisių pažeidimas, tačiau 2020 m. šis ribojimas buvo atšauktas. Apskaičiavimai skiriasi, bet tikimasi, kad „žmonių piką“ pasieksime maždaug 2070 ar 2080 metais. Tada planetoje



5.51 pav. Thomas Malthus 1834 m.
(Thomas Robert Malthus Wellcome
L0069037 -crop.jpg. CC BY 4.0)

bus nuo 9,4 iki 10,4 mlrd. žmonių (Bricker, D.; Ibbitson, J., 2019). Šiandien 38 % Žemės paviršiaus naudojama maistui ar kitiems žmonėms skirtiems produktams auginti. Pagal svorį žmonės sudaro 32 % sausumos stuburinių, o laukiniai gyvūnai sudaro tik 1 % visų gyvūnų. Per tris dešimtmečius (1970–2020 m.) laukinės gamtos populiacija sumažėjo dviem trečdaliais, o pasaulio žmonių populiacija išaugo daugiau nei dvigubai.

Palydoviniai vaizdai rodo, kad daugelyje šalių, kiek akys užmato, plyti dirbamos žemės plotai, nusėti keliais ir pastatų eilėmis. Kai kurie krašto-vaizdžiai per kelis dešimtmečius dėl inžinerinių darbų ar miškų kirtimo taip pasikeitė, kad juos vos galima atpažinti. Beveik visos aplinkos problemos, su kuriomis šiuo metu susiduriama, – nuo klimato kaitos iki biologinės įvairovės nykimo, vandens stygiaus ir žemėvaldos konfliktų – sietinos su sparčiu žmonių skaičiaus augimu per pastaruosius kelis šimtmečius. Kita vertus, daugelis aplinkosaugininkų mano, kad šiandien daugiausia aplinkos problemų kyla dėl vartojimo, o ne dėl per didelio gyventojų skaičiaus (Sciubba, J. D., 2022).

Pasaulio gyventojai Žemėje pasiskirstę labai nevienodai (5.3 lentelė), todėl klimato kaitos poveikis tirščiau apgyvendintose vietovėse juntamas labiau. Pavyzdžiui, vienos tankiausiai apgyvendintų valstybių – Bangladešo – plotas

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

yra 2,27 karto didesnis nei Lietuvos, tačiau gyventojų tankis jame didesnis net 23,8 karto, t. y. visoje valstybėje beveik prilygsta vidutiniam gyventojų skaičiui Vilniaus mieste. Atskirai paėmus gyventojų tankumo dydį, nelabai matysime realios situacijos, nes toks dydis atspindi tik vidutinę vertę. Jame neatsižvelgiama į geografines sąlygas, pvz., negyvenamas sritis – dykumas, kalnus. Vidutinis pasaulio gyventojų tankis yra 44,7 žm./km². Šalis, kurių gyventojų tankumas per 100 žm./km², galima vadinti tankiais, o mažiau nei 20 žm./km² – retai gyvenamomis (Lietuvos gyventojų tankis – 48 žm./km², Vilniaus – 1 354 žm./km²).

5.3 lentelė. Tankiausiai ir rečiausiai apgyventos valstybės

Tankiausiai apgyvendintos šalys	Gyventojų skaičius km ²
Makao (Kinija)	21 185
Monakas	15 290
Singapūras	8 415
Malta	1 314
Bangladešas	1 199
Rečiausiai apgyvendintos šalys	
Rusija	8,69
Kanada	3,89
Australija	2,99
Mongolija	1,95

Viename 2014 m. tyrime nustatyta, kad net ir kilus mirtinai pandemijai, katastrofiškam pasauliniam karui arba drakoniškai vieno vaiko politikai, įgyvendinamai kiekvienoje planetos šalyje, iki 2100 m. planetos gyventojų skaičius vis tiek išaugs iki 10 milijardų. Netgi įvykus tokio masto nelaimėi (gamtinei katastrofai, pasauliniam karui, pandemijai), kai per kelerius metus žūtų du milijardai žmonių, vis vien iki 2100 m. žmonių skaičius planetoje išaugtų iki 8,5 milijardo. Informacinėje erdvėje vis dažniau pasirodo publikacijų, nagrinėjančių milijardinės žmonių žūties scenarijus, žmonės pamažu pratinami prie tokios slinkties neišvengiamumo.

Kalbant apie technologijų grimasas, reikia pabrėžti apdairų rizikos valdymą, kuris susijęs su blogu ir blogiausiu scenarijų vertinimu. Tvirtai žinoma, kad technologijos daro įtaką klimato kaitai, nes gaminant technologines priemones ir technologijoms ar įrenginiams reikalingas žaliavas, neišvengiamai išskiriama šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Kita vertus, tokie galimi klimato kaitos ateities scenarijai dar menkai suprantami. Kyla įvairių klausimų:

- ar antropogeninė klimato kaita gali sukelti pasaulinį visuomenės žlugimą ar net galutinį žmogaus išnykimą;
- koks yra klimato kaitos potencialas, galintis paskatinti masinį išnykimą;
- kokie yra mechanizmai, galintys sukelti masinį žmonių mirtingumą ir sergamumą;
- koks yra žmonių visuomenės pažeidžiamumas dėl klimato sukeltų rizikos pakopų, pavyzdžiui, dėl konfliktų, politinio nestabilumo ir sisteminės finansinės rizikos;
- kaip šiuos gausius įrodymus, kartu su kitais pasauliniais pavojais, galima sujungti į „integruotą katastrofų vertinimą“?

Net ir neatsižvelgiant į blogiausius klimato kaitos atvejus, dabartinė raidos trajektorija rodo, kad iki 2100 m. pasaulio temperatūra pakils nuo 2,1 °C iki 3,9 °C. Jei visi iki 2030 metų prišimti nacionaliniai įsipareigojimai bus visiškai įgyvendinti, tai 2100 m. tikimasi 2,4 °C atšilimo. Įvykdžius visus ilgalaikius įsipareigojimus ir tikslus, temperatūra gali padidėti mažiau, tik iki 2,1 °C. Netgi šios optimistinės prielaidos krypta prie pavojingų Žemės sistemos raidos trajektorijų. Temperatūrų, viršijančių ikiindustrines vertes daugiau nei 2 °C, Žemės paviršiuje nebuvo nuo pat pleistoceno epochos (arba daugiau nei prieš 2,6 mln. metų).

Akademiniai tyrimai įspėja, kad atšilimas daugiau kaip 5 °C gali būti „katastrofiškas“, o daugiau nei 6 °C – „neginčijama pasaulinė katastrofa“. Žinoma, kad kylant temperatūrai didėja pavojus sveikatai, auga maisto kainų šoko tikimybė. Net 50–75 % pasaulio gyventojų iki amžiaus pabaišos dėl didelio karščio ir drėgmės gali susidurti su gyvybei pavojingomis klimato sąlygomis. Keturiuose didžiausiuose kukurūzų auginimo regionuose (sudaro 87 % kukurūzų produkcijos) tikimybė, kad produkcijos

nuostoliai bus didesni nei 10 %, padidėja nuo 7 % per metus, kai temperatūra pakyla 2 °C, iki 86 %, kai temperatūra pakyla iki 4 °C (Kemp, L. ir kt., 2022).

Yra daug galimų klimato kaitos sukeltų sergamumo ir mirtingumo veiksnių, tačiau svarbiausiais klimato kaitos veiksniais, greičiausia, bus nepakankama mityba ir badas, ekstremalūs oro reiškiniai, konfliktai ir pernešėjų platinamos ligos. Juos dar labiau padidins mirtingumo augimas dėl oro taršos ir jūros lygio kilimas (Butler, C. D., 2018).

Visuomenės rizikos veiksniai gali apimti konfliktus, ligas, politinius pokyčius ir ekonomines krizes (5.4 lentelė). Klimato kaita neabejotinai turi sudėtingą ryšį su konfliktais, ypač tose srityse, kuriose jau yra buvę etninių konfliktų (5.52 pav.). Klimato kaita gali turėti įtakos infekcinių ligų atsiradimui ir plitimui. Kaip ir COVID-19 atveju, epidemijos gali sukelti pakopinį poveikį įvairioms visuomenės grandims. Ekologinio streso ir stichinių nelaimių poveikis yra glaudžiai susijęs su visuomenės kultūrinio „sandarumo“ (taisyklių griežtumu, tradicijų laikymusi, bausmių griežtumu ir kt.) veiksniais.

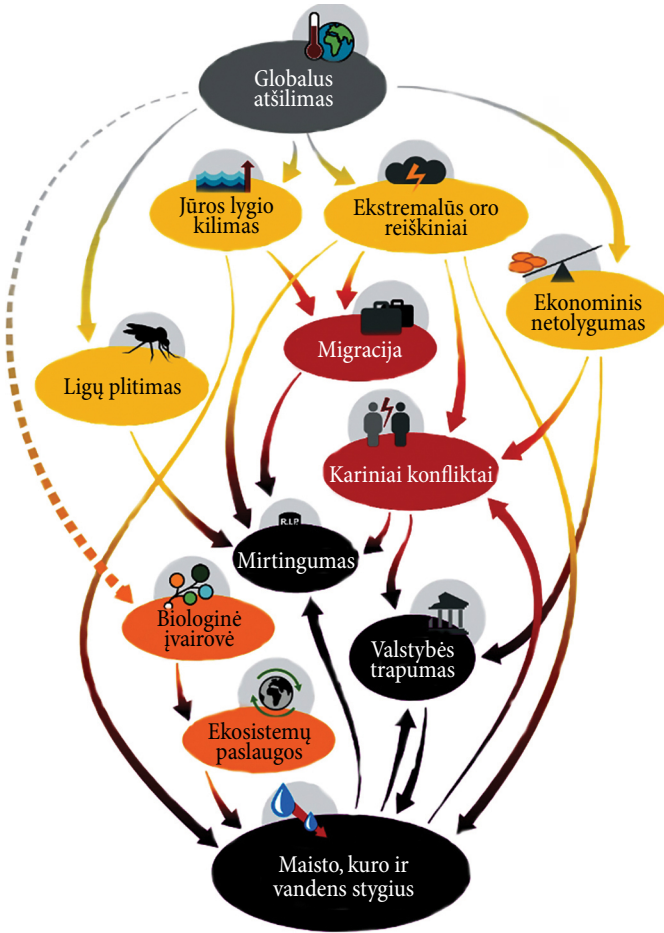
5.4 lentelė. Pagrindinių rizikų terminų apibrėžtys

Terminas	Apibrėžtis
Latentinė rizika	Rizika, kuri neveikia esant vienai sąlygai, bet tampa aktyvi esant kelioms sąlygoms.
Rizikos kaskada	Rizikos grandinės, atsirandančios, kai neįgiamas poveikis sukelia susietų pavojų rinkinį.
Sisteminė rizika	Galimi individualūs sutrikimai arba gedimai, kurie gali virsti visos sistemos gedimu.
Ekstremalūs klimato pokyčiai	Vidutinė pasaulinė paviršiaus temperatūra iki 2100 m. pakils 3 °C ar daugiau, palyginti su ikipramoniniu laikotarpiu.
Išnykimo rizika	Žmogaus išnykimo tikimybė per tam tikrą laikotarpį.
Išnykimo grėsmė	Įtikėtinas ir reikšmingas bendro išnykimo rizikos veiksnys.
Visuomenės pažeidžiamumas	Dėl visuomenės pažeidžiamumo, rizikos pakopų ir netinkamų reakcijų mažesnė žala gali virsti pasauline katastrofine arba išnykimo rizika.

5.4 lentelė. (Tęsinys)

Terminas	Apibrėžtis
Visuomenės žlugimas	Reikšmingas socialinis politinis susiskaldymas ir (arba) valstybės žlugimas kartu su santykinai greitu, ilgalaikiu ir dideliu kapitalo nuostoliu ir sistemų tapatumu. Tai gali sukelti didelio masto mirtingumo ir sergamumo padidėjimą.
Pasaulinės katastrofos rizika	Tikimybė, kad per tam tikrą laikotarpį (metus ar dešimtmečius) bus prarasta 25 % pasaulio gyventojų ir smarkiai sutriks svarbiausios pasaulinės sistemos (pvz., maisto gamyba).
Pasaulinė katastrofos grėsmė	Įtikėtinas ir reikšmingas pasaulinės katastrofos rizikos veiksnys; galimybė, kad klimato kaita gali tapti pasauline katastrofiška grėsme, kuri gali būti vadinama „katastrofiška klimato kaita“.
Visuotinė sunaikinimo rizika	Tikimybė, kad per tam tikrą laikotarpį (metus ar dešimtmečius) bus prarasta 10 % (ar daugiau) pasaulio gyventojų ir smarkiai sutriks svarbiausios pasaulinės sistemos (pvz., atsiras maisto stygius).
Pasaulinė nykimo grėsmė	Įtikėtinas ir reikšmingas pasaulinio nykimo rizikos veiksnys.
Žaidimo pabaigos teritorija	Pasaulinio atšilimo ir visuomenės pažeidžiamumo lygiai, kurie laikomi pakankamai tikėtinais, kad klimato kaita keltų išnykimo grėsmę.
Blogiausias atšilimo atvejis	Aukščiausias empiriškai ir teoriškai tikėtinas visuotinio atšilimo lygis.

Įvairiais istoriniais etapais technologijos gelbėjo žmoniją nuo nepriteklių, pandemijų ir ligų, tačiau dėl maisto, vandens, gamtinių išteklių besivaržančios žmonių grupės kūrė vis baisesnius žmonių naikinimo ar žudymo ginklus. Knygoje aprašytos technologijos – tai žvilgsnis į praeitį. Kas kuriama ir kas vyksta po paslapčių skraiste už uždarytų durų, galima tik spėlioti.



5.52 pav. Priežastinis pasaulinio klimato blogėjimas arba priežastinių ryšių diagrama

Čia *valstybės trapumas* reiškia silpną valdymą, ribotus administracinius gebėjimus, lėtines humanitarines krizes, nuolatinę socialinę įtampą, dažnus smurto arba ginkluoto konflikto proveržius, o *ekosistemų paslaugos* reiškia, kad augalai valo orą ir filtruoja vandenį, bakterijos skaido atliekas, bitės apdulkina gėles, medžių šaknys stabdo dirvos eroziją. Ištinė linija žymi sustiprintą grįžtamąjį ryšį, o punktyrinė linija žymi slopinamą grįžtamąjį ryšį (Kemp, L. ir kt., 2022).

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Vertinant įvairių, senesnių ir naujausių, technologijų naudą ir grėsmes, galima pateikti labai subjektyvią, palyginamąją įžvalgą, nes technologijos kūrėjai daugiau dėmesio skiria technologijos spindesiui, o kritikai – atsirandančioms ar keliamoms grėsmėms (5.5 lentelė). Skaitytojas, remdamasis savo patirtimi ir įžvalgomis, gali pats sudaryti *Technologijos naudos* ir *Technologijos grėsmės* sąvadą. Jeigu *Technologijos naudos* / *Technologijos grėsmės* požiūriu technologinės naujovės santykis yra 50 % / 50 %, – tokios technologijos turėtų kelti nerimą.

5.5 lentelė. Technologijų nauda ir grėsmės (10 balų – didžiausia nauda ar grėsmė)

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Ankstyvosios technologijos	9,5	Drabužiai, maisto medžioklė, žemdirbystė, būsto, šventyklų, laidojimo pastatų ir hidrotechninių statinių statyba.	0,5	Galimybė užpulti kaimynus ir užvaldyti jų turimus išteklius.
Energijos gamyba branduolinio skilimo įgainėse	8	Palyginti pigi elektros energijos ir šilumos gamyba, nežymi aplinkos tarša.	2	Ilgaamžės radioaktyviosios atliekos, nesaugi gamyba (dėl žmogiškų klaidų, technogeninių katastrofų).
Branduolių sąlajos reaktoriai	9	Nėra branduolinio sprogo pavojaus, palyginti pigi elektros energijos ir šilumos gamyba, nežymi aplinkos tarša.	1	Nedidelis ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų kiekis, brangi statyba.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Radionuklidai medicinoje	9,5	Naudojama medicininei terapijai, gydymui radioaktyviaisiais nuklidais. Branduolinė medicina sukuria vaizdus naudodama spinduliuotę iš kūno vidaus, o radiologija kuria vaizdus, taikydama kūnui išorinę spinduliuotę.	0,5	Dirbant su radioaktyviosiomis medžiagomis reikia laikytis griežtų saugumo taisyklių, kapsulės su radioaktyviaisiais nuklidais gali būti pamestos, išmestos ar pavogtos.
Branduoliniai ginklai	0	Žmonių grupė, turinti šių ginklų, laiko juos gėriu, o žmonės, kuriems grasinama šiais ginklais, laiko juos blogiu.	10	Milžiniški sugriovimai, didžiulių teritorijų radioaktyvioji tarša, egzistencinis pavojus gyvybei.
Branduoliniai laivai	5	Atominiai ledlaužiai, skirti darbui Arkties ar Antarkties sąlygomis.	5	Povandeniniai karo laivai, radioaktyviųjų atliekų pavojai laivams baigus eksploataciją.
Pesticidai	5	Herbicidai, fungicidai, zoocidai, insekticidai, akaricidai, moliuskicidai, nematocidai, rodenticidai, baktericidai, virucidai skirti veikti tam tikroms gyvosios gamtos formoms, dažniausiai jas sunaikinant.	5	Gali sukelti vėžį, Alzheimerio ligą, apsigimimus, pažeisti nervų ir endokrininę sistemas, užteršti orą, vandenį.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
DDT (dichloro-difenil-trichloroetanas)	5	Veiksminga priemonė įveikiant kai kurias pandemijas (maliariją, buboninį marą, tripanosomozę, vidurių šiltinę), priemonė dideliems derliams gauti.	5	Gali sukelti kasos, kepenų, krūties vėžį, kelia didžiulę grėsmę gamtai ar gamtinės ekosistemos gyviam.
Nuodingosios medžiagos	0	Medžiagos kelia tik grėsmes.	10	Nervus paralyžiuojančios, troškinančios, odą žeidžiančios, bendrojo veikimo nuodingosios medžiagos yra ginklas, naudojamas kovojant su išorės ar vidaus priešais, nuo seniausių iki dabartinių laikų.
Polimerinės medžiagos	8	Pakeitus natūralias medžiagas polimerinėmis, daugelis daiktų tapo pigesni, lengvesni, saugesni ir ilgaamžiškesni. 2018 m. 62 % visame pasaulyje pagamintų tekstilės pluoštų buvo sintetiniai, pagaminti iš naftos chemijos produktų.	2	Menkai tvarkomos atliekos teršia aplinką, kenkia gyvūnams, per maisto grandines ir vandenį patenka į žmogaus organizmą ir yra kenksmingos sveikatai. Naftą ir dujas paverčiant plastiką, išsiskiria toksiškos dujos, kurios teršia orą.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Natūrali ir dirbtinė tekstilė	9	Būtybei be kailio – žmogui – visais laikais buvo būtina apsisaugoti nuo gamtos poveikio, t. y. nešioti drabužius. Tekstilės pramonėje tiesiogiai ir netiesiogiai visame pasaulyje dirba milijonai žmonių.	1	Natūralios ir sintetinės tekstilės mišinių audinius sunku atskirti ir panaudoti pakartotinai. Dėl medvilnės laukų plėtros Vidurinėje Azijoje, irigacinėse sistemose ir smėlynuose pradingo upės, sunyko tų upių maitinama Aralo jūra. Plaunant sintetiką, į vandenynus per metus išleidžiama apie 0,5 mln. tonų mikropluoštų. Pasaulyje perdirbama mažiau nei 1 % drabužių.
Modifikuoti augalai	6	Transgeniniai augalai, pasižymintys geresnėmis technologinėmis ir maistinėmis savybėmis.	4	Modifikuoto organizmo genai gali ištrūkti į aplinką. Kai kurie genetiškai modifikuoti maisto produktai turi antibiotinių savybių ir yra atsparūs virusams ar ligoms. Valgant modifikuotą maistą, šie antibiotikai pereina į valgančiojo organizmą ir padaro tikruosius antibiotinius vaistus mažiau veiksmingus.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Genetinio modifikavimo nauda ir pavojai	6	Naudojamas bakterijų sukurtas žmogaus insulinas. Augalai atsparūs herbicidams, vabzdžiams, šalnomams, kiti yra papildyti vitaminais, polinesočiųjų riebalų rūgščių kiekiu. Maisto produktų gamyboje naudojamos pienarūgštės bakterijos, mielės, fermentiniai preparatai, naujų baltymų turintis pienas.	4	Kaip labai galingas ginklas šie produktai gali pasaulyje nužudyti daugybę žmonių. Modifikavimui naudojami virusai ir bakterijos, todėl baiminamasi, kad anksčiau ar vėliau galimi nutekėjimai iš laboratorijų. Genetiškai modifikuojant žmones, kyla etinių rūpesčių, kiek ši technologija turėtų toli nueiti, ar apskritai ją reikėtų naudoti.
Dirbtinė mėsa	8	Nereikia žudyti gyvūnų, maža šiltnamio dujų emisija.	2	Brangi technologija, grėsmė kai kurioms žemės ūkio kryptims.
Autonominiai robotai	6	Robotai gali atlikti užduotis, kurios yra pavojingos žmogui, dirbti žmonėms kenksmingoje aplinkoje, atlikti monotoniškas, dažnai pasikartojančias užduotis ir taip pakeisti žmogaus rankų darbą. Naudojami gynyboje, medicinoje, žemės ūkyje, automobiliuose, aeronautikoje ir kt. Nanorobotai gali būti naudojami chirurginėms procedūroms.	4	Nemažai tyrimų rodo, kad robotai gali pažeisti nurodymus ir veikti savarankiškai, be žmogaus įsikišimo. Per ateinančius 20 metų robotų-ginklų naudojimas visiškai įsitvirtins. Manymas, kad mašinos turės sąmonę, yra tik svajonė, kuri niekada neišsipildys.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Dronų spiečiai	4	Vienas dronas per valandą gali nupurkšti apie 12 hektarų, o kartu valdant, pavyzdžiui, tris dronus, nupurškiamas plotas trigubėja. Stichinių nelaimių (žemės drebėjimai, potvyniai) metu būrys dronų galės ieškoti išgyvenusiųjų ir nukreipti juos saugiu keliu, pristatyti skubios pagalbos reikmenis spąstuose įstrigusiems žmonėms.	6	Bepiločių orlaivių spiečius kelia mirtiną pavojų visur, nes toks spiečius gali akimirksniu nužudyti bet ką, kas juda sausumoje, ore ar jūroje, užkirsti kelią priešininko judėjimui ir manevrams, paralyžiuoti jo sistemų veikimą. Viena iš grėsmių yra grėsmė žmogaus privatumui.
Išmaniosios dulklės	8	Žemės ūkyje svarbu nuolatinis pasėlių mitybos poreikių, laistymo, tręšimo, kenkėjų, dirvožemio būklės, pastatų, kelių, tiltų, tunelių, vandens ir kanalizacijos vamzdžių, elektros ir telekomunikacijų tinklų stebėjimas. Įvairių atsargų kontrolė ir valdymas, transportuojant svarbus greitai gendančių prekių ir gyvūnų (temperatūros, drėgmės, aeracijos) stebėjimas.	2	Galimas pavojus sveikatai siejamas su išmaniųjų dulkių įkvėpimu ar jų nurijimu. Grėsmė privatumui, nes jas sunku aptikti, identifikuoti ar nuskaityti jų perduodamą informaciją.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Mobilusis telefonas	8	<p>Mobilieji telefonai yra didžiausias mūsų laikų išradimas, nes jokia kita technologija taip nepakeitė individo sąveikos su pasauliu. Tarpusavyje galima bendrauti su bet kuo, bet kada ir bet kur: balsu, siunčiant žinutes, vaizdus ar pranešimus, galima užsirašyti svarbius įvykius, saugoti dokumentus, siųsti atmintines ir el. laiškus, stebėti ir kontroliuoti įvairius gyvenimo įvykius ir kt.</p>	2	<p>Per dažnas telefono naudojimas sukelia stresą, nerimą, depresiją, miego sutrikimus ir santykių problemas, abstinencijos simptomus, ypač pavojingas vaikams ir paaugliams, nes vis daugiau žmonių tampa nuo jo priklausomi. Mobiliojo telefono naudotojo judėjimą galima stebėti, sekti nuotoliniu būdu, klausytis pokalbių, vykstančių šalia telefono.</p>
Išmanieji būstai	8	<p>Išmanusis būstas sujungia namų sistemas, t. y. procesus, kuriuos anksčiau žmonės turėjo valdyti rankiniu būdu, o dabar jie valdomi automatiškai.</p>	2	<p>Visi, turintys prieigą prie šių įrenginių, gali mus stebėti ir girdėti, priėti prie asmeninės informacijos, patekti į namų tinklą bei pasiekti daug kitos informacijos.</p>

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Veido atpažinimas	6	Veido atpažinimo problemos sprendimas turi didelį mokslinį poveikį, nes žmonių atpažinimas yra pirmasis, tačiau svarbus žingsnis kuriant protingas mašinas, kurios gali veikti žmonių aplinkoje. Teisėsauga, sienų kontrolė, mažmeninė prekyba, mobiliosios technologijos, bankininkystė, finansai ir kita – sparti veido atpažinimo technologijos pažanga labai palengvino įvairių sričių veiklą.	4	Veido atpažinimo technologijų trūkumai: i) kelia grėsmę privatumui; ii) pažeidžia asmens teises ir laisvę; iii) galimas asmens duomenų pažeidžiamumas; iv) galimybė sukčiauti ar kitaip piktnaudžiauti; v) klaidos gali įklampinti nekaltus žmones; vi) informuoto sutikimo ir skaidrumo stoka; vii) galimybė naudoti masiniam sekimui; viii) įsilaužėliai gali pavogti asmens duomenis.
Virtualioji (dirbtinė) tikrovė	9	Virtualioji tikrovė gali būti daug kur pritaikoma – nuo žaidimų ar pramogų iki medicinos, edukacijos ir verslo. Skirtingai nuo daugelio naujų technologijų virtualiosios tikrovės technologijos, gal dėl to, kad jos virtualios, žmonėms didelių grėsmių nekelia.	1	Grėsmė asmens privatumui. Virtualiosios tikrovės sistemos renka virtualiosios realybės akinuose integruotos kameros informaciją apie vartotojo judesius, balsą, garsą ir kita net tada, kai pats vartotojas to nežino, o šie duomenys gali būti nutekinti arba parduodami trečiosioms šalims.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
Savavaldės transporto priemonės	8	Savarankiškai važiuojantys automobiliai, traktoriai ar kitos transporto priemonės, kuriose dirbtinis intelektas visiškai valdo transporto priemonę be jokios žmogaus pagalbos, laikomos savavaldėmis transporto priemonėmis.	2	Stiprus lietus, rūkas, plikledis ar sniegas gali pakenkti savavaldės transporto priemonės jutikliams. Savarankiškai važiuojantiems automobiliams kyla sunkumų įvertinti pėsčiųjų, dviratinių ir gyvūnų ketinimus.
Klastotės	5	Gilusi (išmanusi) klastojimas yra mašininė sintetinės medijos technologija, naudojama tekstui ir vaizdo įrašams generuoti ar jais manipuluoti.	5	Giliosios (išmaniosios) klastotės gali būti naudojamos siekiant šantažuoti ar melagingai apkaltinti pareigūnus arba politikus, įvaizdžio pažeminimo, šnipinėjimo ar įtakos tikslais. Klastočių kūrimą galima vertinti ir teigiamai, ir neigiamai, tačiau reikia įvertinti ir jų keliamą pavojų.
Daiktų internetas	7	Visi prie interneto prijungti įrenginiai, dar žinomi kaip daiktų internetas, vis labiau plinta, nes sukuria patogumo utopiją.	3	Pasaulyje yra daugiau kaip trys milijardai mobiliųjų vartotojų ir beveik aštuoni milijardai daiktų interneto įrenginių. Kiltų daug rizikų, jei šis tinklas būtų pakeistas arba į jį būtų įsilaužta.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Technologija	Technologijos nauda		Technologijos grėsmės	
	Nauda balais	Naudos sritys	Pavojai balais	Pavojų sritys
3D spausdinimas	9	Galimybė gaminti produktus iš polimerų, metalų, betono. Labai plati gaminių paletė, beveik nėra jokių taršių atliekų.	1	Galimybė pasigaminti ginklus. Lėtas gamybos procesas.
Saulės energetika	9,5	Netaršios „žaliosios“ šiluminės ir elektros energijos gamyba.	0,5	Atliekų sancaupos įrenginiams baigus eksploataciją.

Mokslininkai piešia įvairius ateities scenarijus, kuriuose technologijos įvardijamos kaip svarbiausias žmonių gyvenimo ir veiklos įvykius lemiantis veiksnys. Kas laimės – technologijų spindesys ar jų grimasos, vis dėlto priklausys nuo žmonių sprendimų, o ne nuo pačių technologijų.

Literatūra

- Abernathy, M.; Houchard, J.; Puccetti, M.; Lambert, J. 1993. Debris Correlation Using the Rockwell WorldView System. *Proceedings of 1993 Space Surveillance Workshop*. Prieiga per internetą: https://www.academia.edu/34679504/Augmented_Reality_A_Review_of_Applications
- All Types of Robots. 2016. *Robot Park*. Prieiga per internetą: <http://www.robotpark.com/All-Types-Of-Robots>
- Arafat, Y. 2018. The Sewing Needle History! *Steemit*. Prieiga per internetą: <https://steemit.com/interesting/@yeasir.arafat/the-sewing-needle-history>
- Arnold. 2020. What Is the Difference between a Deepfake and Shallowfake? Prieiga per internetą: <https://deepfakenow.com/what-is-the-difference-between-a-deepfake-and-shallowfake/>
- Aulich, H. A.; Schulze, F. W.; Anspach, O. 2010. Large Scale Crystallisation and Wafer Production – The Way to 2020, in: *25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition/5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Valencia, Spain, 1066–1072 p.
- Bar, Š. 30 Times People Used 3D Printers and Created Brilliant Stuff. *Art, Product Design*. Prieiga per internetą: https://www.boredpanda.com/cool-3d-printed-objects/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic
- Bateman, J. 2020. *Deepfakes and Synthetic Media in the Financial System*: 1–2 p. Summary. Prieiga per internetą: https://www.jstor.org/stable/resrep25783.6#metadata_info_tab_contents
- Ben-Arye, T.; Levenberg, S. 2019. Tissue Engineering for Clean Meat Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3: 46. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>
- Ben-Arye, T.; Shandalov, Y.; Ben-Shaul, S.; Landau, S.; Zagury, Y.; Ianovici, I.; Lavon, N.; Levenberg, S. 2020. Textured Soy Protein Scaffolds Enable the Generation of Three-dimensional Bovine Skeletal Muscle Tissue for Cell-based Meat. *Nature Food* 1: 210–220 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0046-5>
- Bhatt, Ch.; Dey, N.; Ashour, A. S. 2016. *Internet of Things and Big Data Technologies in Next Generation Healthcare*. Springer International Publishing AG.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Blakemore, E. 2015. The First GMO Is 8,000 Years Old. *Smithsonian Magazine*. Prieiga per internetą: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/first-gmo-8000-years-old-180955199/>
- Boas, Y. A. G. V. 2013. Overview of Virtual Reality Technologies. Prieiga per internetą: https://static1.squarespace.com/static/537bd8c9e4b0c89881877356/t/5383bc16e4b0bc0d91a758a6/1401142294892/yavb1g12_25879847_finalpaper.pdf
- Bode, L.; Lees, D.; Golding, D. 2021. The Digital Face and Deepfakes on Screen. *Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies* 27(4): 849–854 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1177/13548565211034044>
- Braun, D.; Krämer, K. 2022. Benefits of Recycling. Prieiga per internetą: <https://www.benefits-of-recycling.com/pvc/d-braun-and-k-krmer.html>
- Bricker, D.; Ibbitson, J. 2019. *Empty Planet: The Shock of Global Population Decline*. Crown, 304 p.
- Bridley, R.; Pasto, S. 2022. Military Drone Swarms and the Options to Combat Them. *Small Wars Journal*. Prieiga per internetą: <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/military-drone-swarms-and-options-combat-them>
- Butler, C. D. 2018. Climate Change, Health and Existential Risks to Civilization: A Comprehensive Review (1989–2013). *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(10): 2266. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/10/2266>
- Byrne J.; Hoffman, S. M. 2020. *Governing the Atom: The Politics of Risk*. New York: Routledge, 312 p.
- Cameron, Ch. 2010. Military-Grade Augmented Reality Could Redefine Modern Warfare. *ReadWriteWeb*. Prieiga per internetą: <https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/external/readwriteweb/2010/06/11/11readwriteweb-military-grade-augmented-reality-could-rede-44598.html>
- Campuzano, S.; Pelling, A. E. 2019. Scaffolds for 3D Cell Culture and Cellular Agriculture Applications Derived from Non-animal Sources. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Vol. 3. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00038>
- Casini, M. 2022. *Construction 4.0. Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry*. Woodhead Publishing, 525–581 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821797-9.00008-8>

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Chatterjee, S.; Sharma, Sh. 2019. Microplastics in our Oceans and Marine Health. *Reinventing Plastics*, Special Issue 19, 54–61 p. Prieiga per internetą: <https://journals.openedition.org/factsreports/5257>
- Cheng, Y. W.; Shiwarski, D. J.; Ball, R. L.; Whitehead, K. A.; Feinberg, A. W. 2020. Engineering Aligned Skeletal Muscle Tissue Using Decellularized Plant-derived Scaffolds. *ACS Biomaterials Science & Engineering* 6: 3046–3054 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.0c00058>
- Chesney, R.; Citron, D. K. 2018. Deep Fakes: A Looming Challenge for Privacy, Democracy, and National Security. *SSRN Electronic Journal*.
- Choudhury, D.; Tseng, T. W.; Swartz, E. 2020. The Business of Cultured Meat. *Trends in Biotechnology* 38(6): 573–577 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.02.012>
- Collier, A. M. 1975. *A Handbook of Textiles*. Elsevier, 264 p. ISBN 978-0-08-018057-1.
- Collignon, M. L.; Williams, A. 2020. What Are the Different Types of Bioreactors? *Biotech Blog*. Prieiga per internetą: <https://www.pall.com/en/biotech/blog/types-of-bioreactor.html>
- Cooke, S. 2009. *In Mortal Hands: A Cautionary History of the Nuclear Age*. USA: Bloomsbury, 512 p.
- Dabrock, P. 2009. Playing God? Synthetic Biology as a Theological and Ethical Challenge. *Systems and Synthetic Biology* 3: 47–54 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s11693-009-9028-5>
- Dan, Ch. 2016. GMOs Are Safe, but Don't Always Deliver on Promises, Top Scientists Say. *National Public Radio*. Prieiga per internetą: <https://www.npr.org/sections/thesalt/2016/05/17/478415310/top-scientists-say-gmos-are-safe-but-dont-always-deliver-on-promises?t=1661155817666>
- Dannenberger, N. 2017. Die Deutschen und ihr Auto – Können wir loslassen? *Die Debatte*. Prieiga per internetą: <https://www.die-debatte.org/autonomes-fahren-akzeptanz/>
- Datar, I.; Betti, M. 2010. Possibilities for an in Vitro Meat Production System. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 11(1): 13–22 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.007>
- Davis, K. S. 1971. The Deadly Dust: The Unhappy History of DDT. *American Heritage* 22(2). Prieiga per internetą: <https://www.americanheritage.com/deadly-dust-unhappy-history-ddt>

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Delgado, F. J.; Abernathy, M. F.; White, J.; Lowrey, W. H. 1999. Real-time 3-D Flight Guidance with Terrain for the X-38. *Proceedings of the SPIE* 3691: 149–156 p.
- Dey, N.; Hassanien, A. E.; Bhatt, Ch.; Ashour, A. S.; Satapathy, S. Ch. 2018. *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence*. Springer Cham, 549 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60435-0>
- Donnellan, C. (ed.) 2004. *Genetic Modification*. Cambridge: Independence, 48 p.
- Drew, H. 2015. The Trouble with the Internet of Things. *London Datastore. Greater London Authority*. Prieiga per internetą: <https://data.london.gov.uk/blog/the-trouble-with-the-internet-of-things/>
- Drones and Operational Maneuverability. 2012. *Global Guerrillas*. Prieiga per internetą: <https://globalguerrillas.typepad.com/globalguerrillas/2012/03/drones-and-operational-maneuverability.html>
- Elias, H. G. 1993. *An Introduction to Plastics*, Weinheim: VCH, 350 p.
- Excell, J.; Nathan, S. 2010. The Rise of Additive Manufacturing. The Engineer. *Scientific Research. An Academic Publisher*. Prieiga per internetą: <http://www.theengineer.co.uk/in-depth/the-big-story/the-rise-of-additive-manufacturing/1002560.article>
- Fahimi, F. 2009. *Autonomous Robots. Modelling, Path Planning, and Control*. New York: Springer, 340 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09538-7>
- Feldman, D. 2008. Polymer History. *Designed Monomers and Polymers* 11(1): 1–15 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1163/156855508X292383>
- Fletcher, J. 2018. Deepfakes, Artificial Intelligence, and Some Kind of Dystopia: The New Faces of Online Post-fact Performance. *Theatre Journal* 70(4): 455–471 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1353/TJ.2018.0097>
- Freinkel, S. 2011. *Plastics: A Toxic Love Story*. Mariner Books, 336 p.
- Gates, K. A. 2011. *Our Biometric Future: Facial Recognition Technology and the Culture of Surveillance*, in: *Critical Cultural Communication* 2. NYU Press, 274 p. ISBN-13 978-0814732106
- Gerretsen, I. 2022. The Floating Solar Panels that Track the Sun. *BBC/Future Planet*. Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/future/article/20221116-the-floating-solar-panels-that-track-the-sun>
- Ghosh, P. 2023. What Is Gene-edited Food and Is It Safe to Eat? Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/news/science-environment-64559210>

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Gibson, D. G.; Glass, J. I.; Lartigue, C.; Noskov, V. N.; Chuang, R. Y.; Algire, M. A. ir kt. 2010. Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. *Science* 329(5987): 52–56.

Gillis, A. S. 2021. What Is the Internet of Things (IoT)? *TechTarget Network*. Prieiga per internetą: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>

Gissibl, T.; Thiele, S.; Herkommer, A.; Giessen, H. 2016. Two-photon Direct Laser Writing of Ultracompact Multi-lens Objectives. *Nature Photonics* 10: 554–560 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1038/NPHOTON.2016.121>

Goeddel, D. V.; Kleid, D. G.; Bolivar, F.; Heyneker, H. L.; Yansura, D. G.; Crea, R.; Hirose, T.; Kraszewski, A.; Itakura, K.; Riggs, A. D. 1979. Expression in *Escherichia coli* of Chemically Synthesized Genes for Human Insulin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 76(1): 106–110. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1073/pnas.76.1.106>

Gorey, C. 2019. China to Build Gigantic, Experimental Nuclear Icebreaker to Enter Arctic Arena. *Siliconrepublic*. Prieiga per internetą: <https://www.siliconrepublic.com/machines/gigantic-experimental-nuclear-icebreaker-china>

Gross, J. A. 2021. In Apparent World First, IDF Deployed Drone Swarms in Gaza Fighting. *The Times of Israel*. Prieiga per internetą: <https://www.timesofisrael.com/in-apparent-world-first-idf-deployed-drone-swarms-in-gaza-fighting/>

Guittou, M. J. 2021. Fighting the Locusts: Implementing Military Countermeasures Against Drones and Drone Swarms. *Scandinavian Journal of Military Studies* 4(1): 26–36 p. Prieiga per internetą: <https://sjms.nu/articles/10.31374/sjms.53/>

Haagsman, H. P.; Hellingwerf, K. J.; Roelen, B. A. J. 2009. *Production of Animal Proteins by Cell Systems*. Universiteit Utrecht: Faculty of Veterinary Medicine, 13–14 p.

Hamann, H.; Schmickl, Th. 2012. Modelling the Swarm: Analysing Biological and Engineered Swarm Systems. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems* 18(1): 1–12 p.

Harwell, D. 2019. Top AI Researchers Race to Detect ‘Deepfake’ Cideos: ‘We Are Outgunned’. *The Washington Post*. Prieiga per internetą: <https://www.washingtonpost.com/technology/2019/06/12/top-ai-researchers-race-detect-deepfake-videos-we-are-outgunned/>

Henley, P. 2011. Iter: The World’s Most Expensive Scientific Gamble? Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/news/science-environment-16170550>

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Hest, D. 2012. New Driverless Tractor, Grain Cart Systems Coming this Year. *Farm Industry News*. Prieiga per internetą: <https://www.farmprogress.com/technology/new-driverless-tractor-grain-cart-systems-coming-this-year>
- Hewitt, Ch.; Politis, I.; Amanatidis, Th.; Sarkar, A. 2019. Assessing Public Perception of Self-driving Cars: The Autonomous Vehicle Acceptance Model. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1145/3301275.3302268>
- Hirst, K. K. 2019. Bow and Arrow Hunting. *ThoughtCo*. Prieiga per internetą: <https://www.thoughtco.com/bow-and-arrow-hunting-history-4135970>
- History of Industrial Robots. 2012. *International Federation of Robotics*. Prieiga per internetą: https://web.archive.org/web/20121224213437/http://www.ifr.org/uploads/media/History_of_Industrial_Robots_online_brochure_by_IFR_2012.pdf
- Hollings, A. 2020. America's Military Drones Are Probably a Lot Bigger than You Think. *Sandboxx*. Prieiga per internetą: <https://www.sandboxx.us/blog/americas-military-drones-are-probably-a-lot-bigger-than-you-think/>
- Holubowicz, G. 2020. Extinction Rebellion s'empare des deepfakes. *Journalism.Design* (in French). Prieiga per internetą: <https://journalism.design/les-deepfakes/extinction-rebellion-sempare-des-deepfakes/>
- How Much Nuclear Power Does the UK use and is it Safe? 2022. *BBC News*. Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/news/business-59212992>
- Hu, G.; Tay, W. P.; Wen, Y. 2012. Cloud Robotics: Architecture, Challenges and Applications. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1109/MNET.2012.6201212>
- Iyer, V.; Gaensbauer, H.; Daniel, Th. L.; Gollakota, Sh. 2022. Wind Dispersal of Battery-free Wireless Devices. *Nature* 603(7901): 427–433 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04363-9>. Epub 2022 Mar 16
- James, C.; Kratiger, A. F. 1996. *Global Review of the Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants: 1986 to 1995 (PDF)*. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 44 p. Prieiga per internetą: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/01/download/isaaa-brief-01-1996.pdf>
- Kemp, L.; Xu, Ch.; Depledge, J.; Lenton, T. M. 2022. Climate Endgame: Exploring Catastrophic Climate Change Scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 119(34). Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Kietzmann, J.; Lee, L. W.; McCarthy, I. P.; Kietzmann, T. C. 2020. Deepfakes: Trick or Treat? *Business Horizons*. 63(2): 135–146 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.11.006>
- Kim, W.; Lee, H.; Lee J.; Atala A.; Yoo J. J.; Lee, S. J.; Kim, G. H. 2020. Efficient Myotube Formation in 3D Bioprinted Tissue Construct by Biochemical and Topographical Cues. *Biomaterials* 230: 119632. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.119632>
- Kinkela, D. 2011. *DDT & The American Century: Global Health, Environmental Politics, and the Pesticide that Changed the World*. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 272 p.
- Kiru, M. U. 2016. A Critical Review of the Challenges, Threats, and Drawbacks of Humanoid and Autonomous Robots. *International Journal of Technology & Engineering* 4(3): 135–150 p.
- Kishore, A. 2019. What Is a Deepfake and How Are They Made? Prieiga per internetą: <https://web.archive.org/web/20191108161241/> <https://www.online-tech-tips.com/computer-tips/what-is-a-deepfake-and-how-are-they-made/>
- Kourouthanassis, P.; Boletsis, C.; Bardaki, C.; Chasanidou, D. 2015. Tourists Responses to Mobile Augmented Reality Travel Guides: The Role of Emotions on Adoption Behavior. *Pervasive and Mobile Computing* 18: 71–78 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.08.009>
- Kumar, S.; Nasim, B. P.; Abraham, E. 2018. Nanorobots a Future Device for Diagnosis and Treatment. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutics*.
- Kyriakidis, M.; Happee, R.; Winter, J. C. F. 2015. Public Opinion on Automated Driving: Results of an International Questionnaire among 5000 Respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 32: 127–140 p.
- Laestadius, L. I. 2015. Public Perceptions of the Ethics of *In-vitro* Meat: Determining an Appropriate Course of Action. *Journal of Agric Environ Ethics*. 28: 991–1009 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s10806-015-9573-8>
- Lapenna, S. 2022. What is Internet of Things (IoT)? 139+1 Definitions since 1999. *Real Technologies*. Prieiga per internetą: <https://www.rtsrl.eu/blog/what-is-internet-of-things-iot/>
- Lassen, N. A.; Ingvar, D. H. 1961. Quantitative Determination of Regional Cerebral Blood-flow in Man. *The Lancet* 278(7206): 806–807 p. Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(61\)91092-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(61)91092-3)

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Lassen, N. A.; Ingvar, D. H.; Skinhøj, E. 1978. Brain Function and Blood Flow. *Scientific American* 239(4): 62–71 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1078-62>
- Lavaa, A. 2021. Everything You Need to Know about Monocrystalline Solar Panel. Prieiga per internetą: <https://www.linquip.com/blog/what-is-a-monocrystalline-solar-panel/>
- Leggett, Th. 2018. Who Is to Blame for ‘Self-driving Car’ Deaths? *BBC News*. Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/news/business-44159581>
- Ličina, S.; Schewe, Ch. 2009. Humanoid Robots. Prieiga per internetą: <https://tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2008ws/seminar/ra/PDF/humanoid-robots.pdf>
- Lim, H. S. M; Taeihagh, A. 2019. Algorithmic Decision-making in AVs: Understanding Ethical and Technical Concerns for Smart Cities. *Sustainability* 11(20): 5791. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/su11205791>
- Lin, P.; Bekey, G.; Abney, K. 2008. Autonomous Military Robotics: Risk, Ethics, and Design. *Prepared For: US Department of Navy, Office of Naval Research, version 1.0.9*. Prieiga per internetą: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA534697.pdf>
- Liu, Ch. P.; Chang, M. W.; Chuang, Ch. L. 2014. Effect of Rapid Thermal Oxidation on Structure and Photoelectronic Properties of Silicon Oxide in Monocrystalline Silicon Solar Cells. *Current Applied Physics* 14(5): 653–658 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.cap.2014.02.017>
- Lombard, M.; Phillipson, L. 2010. Indications of Bow and Stone-tipped Arrow Use 64,000 Years Ago in KwaZulu-Natal, South Africa. *Antiquity* 84(325): 635–648 p.
- Lombard, M.; Haidle, M. N. 2012. Thinking a Bow-and-arrow Set: Cognitive Implications of Middle Stone Age Bow and Stone-tipped Arrow Technology. *Cambridge Archaeological Journal* 22(2): 237–264 p.
- Mackenzie, D. 1994. Transgenic Tobacco is European First. *New Scientist*. Prieiga per internetą: <https://www.newscientist.com/article/mg14219301-100-transgenic-tobacco-is-european-first/>
- Marshall, P. 2016. Robotics and the Economy. Should Workers Fear Increasing Automation? *CQ Researcher*. Prieiga per internetą: <https://library.cqpress.com/cqresearcher/document.php?id=cqresrre2015092500>
- McClellan, J. E.; Dorn, H. 2006. *Science and Technology in World History: An Introduction*. Johns Hopkins University Press, 496 p. ISBN 978-0-8018-8360-6.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Meisenzahl, M. 2019. This Building in Dubai Is the Largest 3D-printed Structure in the World – and it Took Just 3 Workers and a Printer to Build it. *Insider*. Prieiga per internetą: <https://www.businessinsider.com/dubai-largest-3d-printed-building-apis-cor-photos-2019-12>
- Mellor, J. 1999. Radioactive Waste and Russia's Northern Fleet: Sinking the Principles of International Environmental Law. *Denver Journal of International Law & Policy* 28(1). Prieiga per internetą: <https://digitalcommons.du.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1509&context=djilp>
- Merten, O. W. 2015. Advances in Cell Culture: Anchorage Dependence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370(1661): 20140040. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0040>
- Morgan, S. 2009. *Superfoods: Genetic Modification of Foods*. Heinemann Library, 64 p.
- Mountney, P.; Giannarou, S.; Elson, D.; Yang, G. Z. 2009. Optical Biopsy Mapping for Minimally Invasive Cancer Screening. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2009*. Prieiga per internetą: https://doi.org/10.1007/978-3-642-04268-3_60
- Nuro Set to Be California's First Driverless Delivery Service. 2020. *BBC News*. Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/news/technology-55438969>
- Oldstone, M. 2010. *Viruses, Plagues, and History: Past, Present and Future*. Oxford University Press, 383 p.
- Overby, S. 2019. Augmented Reality (AR) vs. Virtual Reality (VR): What's the Difference? *The Enterprisers Project*. Prieiga per internetą: <https://enterpriseproject.com/article/2019/10/ar-vs-vr-whats-difference>
- Pacey, A. 1991. *Technology in World Civilization: A Thousand-Year History*. The MIT Press, 250 p.
- Pardo, N. 2013. Underwater City: 3D Printed Reef Restores Bahrain's Marine Life. Product Lifecycle Stories. Prieiga per internetą: <https://www.forbes.com/sites/ptc/2013/10/21/3d-printed-reef-restores-marine-life-in-the-persian-gulf-3/?sh=7a27a7354f83>
- Pawar, G. B. 2020. Drone Swarm Technology and its Impact on Future Warfare. *The Daily Guardian*. Prieiga per internetą: <https://theguardian.com/drone-swarm-technology-and-its-impact-on-future-warfare/>

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

- Perrow, Ch. 2013. Nuclear Denial: From Hiroshima to Fukushima. *Bulletin of the Atomic Scientists* 69(5): 56–67 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1177/0096340213501369>
- Pike, J. 2000. 941 Typhoon – Russian and Soviet Nuclear Forces. Prieiga per internetą: <https://nuke.fas.org/guide/russia/slbm/941.htm>
- Poeter, D. 2012. Could a 'Printable Gun' Change the World? *PC Magazine*. Prieiga per internetą: <https://www.pcmag.com/archive/could-a-printable-gun-change-the-world-301934>
- Regoli, N. 2018. 27 Big Advantages and Disadvantages of Genetically Modified Foods. *Connectus*. Prieiga per internetą: <https://connectusfund.org/27-big-advantages-and-disadvantages-of-genetically-modified-foods>
- Rouse, M. 2007. Nano Robot. Prieiga per internetą: <http://www.easybib.com/mla-format/website-citation>
- Sanders, A. W. 2017. *Drone Swarms*. A Monograph. Prieiga per internetą: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1039921>
- Sciubba, J. D. 2022. *8 Billion and Counting: How Sex, Death, and Migration Shape Our World*. W. W. Norton & Company, 304 p.
- Shedlock, M. 2013. 3D-printing Spare Human Parts; Ears and Jaws Already, Livers Coming up; Need an Organ? Just Print it. *MISH'S Global Economic Trend Analysis*. Prieiga per internetą: <http://globoeconomicanalysis.blogspot.com/2013/08/3d-printing-spare-human-parts-ears-and.html>
- Slyusar, V. 2019. Augmented Reality in the Interests of ESMRM and Munitions Safety. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/334573271_Augmented_reality_in_the_interests_of_ESMRM_and_munitions_safety
- Smith, C. W.; Cotton, J. T. 1999. *Cotton: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley and Sons. Technology & Industrial Arts, 863 p. ISBN 0-471-18045-9.
- Smyth, S. J. 2020. The Human Health Benefits from GM Crops. *Plant Biotechnology Journal* 18(4): 887–888 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1111/pbi.13261>
- Sonnenberg, J. 2015. Shoot to Kill: Control and Controversy in the History of DDT Science. *Stanford Journal of Public Health*. Prieiga per internetą: <https://web.stanford.edu/group/sjph/cgi-bin/sjphsite/shoot-to-kill-control-and-controversy-in-the-history-of-ddt-science/>
- Sovacooll, B. K. 2011. *Contesting the Future of Nuclear Power: A Critical Global Assessment of Atomic Energy*. World Scientific Publishing Company, 296 p.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Sparrow, R.; Cohen, G. 2015. Genetically Engineering Humans: A Step too Far? *The Pharmaceutical Journal*. Prieiga per internetą: <https://pharmaceutical-journal.com/article/opinion/genetically-engineering-humans-a-step-too-far>

Sparrow, R. 2007, Killer Robots. *Journal of Applied Philosophy* 24(1): 62–77 p.

Stan, L. S. Z.; Anil, K. J. (ed.), 2005. *Handbook of Face Recognition*. Springer Science & Business Media, 408 p. ISBN 9780387405957.

Statt, N. 2019. Thieves Are Now Using AI Deepfakes to Trick Companies into Sending them Money. *The Verge*. Prieiga per internetą: <https://www.theverge.com/2019/9/5/20851248/deepfakes-ai-fake-audio-phone-calls-thieves-trick-companies-stealing-money>

Statement Regarding a Collision between a Pedestrian and a Toyota e-Palette Vehicle at the Tokyo 2020 Olympic and Paralympic Athletes' Village. 2021. Announcement. *Toyota Times*. Prieiga per internetą: <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/35952477.html>

Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; De Haan, C. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Prieiga per internetą: <https://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm>

Tanner, D.; Fitzgerald, J. A.; Phillips, B. R. 1989. The Kevlar Story – an Advanced Materials Case Study. *Angewandte Chemie International Edition in English* 28(5): 649–654 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1002/anie.198906491>

Taylor, K. M.; Harris L. A. 2021. Report on Deep Fakes and National Security. *Congressional Research Service*, 1 p. Prieiga per internetą: <https://news.usni.org/2022/06/08/report-on-deep-fakes-and-national-security>

Tuomisto, H. L.; Teixeira de Mattos, M. J. 2011. Environmental Impacts of Cultured Meat Production. *Environmental Science & Technology* 45(14): 6117–6123 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1021/es200130u>

Types of Bioweapons. 2015. *The Middlebury Site Network*. Prieiga per internetą: <https://sites.middlebury.edu/bioweapons/types-of-bioweapons/>

Typhus in Naples. 2014. *Life* 28 (1944): 35. Prieiga per internetą: https://books.google.lt/books?id=U1QEAAAAMBAJ&redir_esc=y

Upadhyaya, H. M.; Razykov, T. M.; Ferekides, C. S.; Morel, D.; Stefanakos, E.; Ullal, H. S. 2011. Solar Photovoltaic Electricity: Current Status and Future Prospects. *Solar Energy* 85(8): 1580–1608 p.

TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Vaezi, M.; Seitz, H.; Yang, Sh. 2013. A Review on 3D Micro-additive Manufacturing Technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 67: 1721–1754 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4605-2>

Vallance, Ch. 2022. 3D Printed Guns: Warnings over Growing Threat of 3D Firearms. *BBC News*. Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/news/technology-63495123>

Verlinden, J. C.; Horvath, I. 2010. The Enablers for Interactive Augmented Prototyping. *International Journal of Product Development* 11(1/2): 62–88 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1504/IJPD.2010.032990>

Quigley, J. T. 2013. Chinese Scientists Are 3D Printing Ears and Livers – With Living Tissue. Tech Biz. *The Diplomat*. Prieiga per internetą: <https://thediplomat.com/2013/08/chinese-scientists-are-3d-printing-ears-and-livers-with-living-tissue/>

Wan, Ch. 2021. The Helpful Future of Smart Home Automation Is Sooner than You Think. *Ambiq*. Prieiga per internetą: <https://ambiq.com/blog/the-helpful-future-of-smart-home-automation-is-sooner-than-you-think/>

Wechsler, H. 2009. *Reliable Face Recognition Methods: System Design, Implementation and Evaluation*. Springer Science & Business Media, 329 p. ISBN 9780387384641.

Wortmann, F., Flüchter K. 2015. Internet of Things. Technology and Value Added. *Business & Information Systems Engineering* 57(3): 221–224 p. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>

Algirdas Vaclovas Valiulis
TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS

Vilnius: LĮ „Kriventa“, 2023, 264 p.

ISSN 2351-5368

ISBN 978-9986-08-096-1

Redagavo Sandra Tamulionienė
Maketavo Regina Kunigėlienė

Išleido LĮ „Kriventa“
V. Pietario g. 5-3, 03122 Vilnius
kriventa@kriventa.lt
www.kriventa.lt

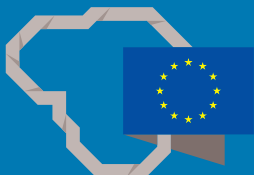
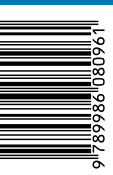
Tiražas 300 egz.



„TECHNOLOGIJŲ SPINDESYS IR GRIMASOS“ – dvidešimt devintoji Lietuvos mokslų akademijos iniciatyva leidžiamos mokslo populiarinimo serijos MOKSLAS VISIEMS knyga.

Knygos autorius prof. habil. dr. ALGIRDAS VACLOVAS VALIULIS – mechanikos inžinierius, medžiagotyrininkas, Lietuvos mokslų akademijos narys emeritas, Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VILNIUS TECH) profesorius emeritas.

Žmonės nuo pat seniausiųjų laikų, kai atsirado *Homo sapiens*, sukūrė begalę įrankių, medžiagų ir technologijų. Knyga skirta pažvelgti į sukurtų technologijų atnešamą gėrį ir į jų tamsiąją, dažnai nematomą pusę. Daugelyje visuomenių technologijos padėjo ar padeda gerinti ekonomikos būklę, tačiau nemažai technologinių procesų didina aplinkos taršą, eikvoja gamtinius išteklius, daro didelę žalą gamtai ir dažnai kenkia pačiam kūrėjui. Gilinantis į technologijų raidą galima išvelgti daug dvilypumų, nes kylančios technologijos spindesys dažnai juos užgožia ar jų nesureikšmina. Ši knyga, anaipol, neskirta kokioms nors studijoms, o aprašomų technologijų pasirinktis daugiausia susijusi su jų globaliu poveikiu visuomenei ir aplinkai. Knyga gali būti naudinga įvairių socialinių grupių žmonėms, besidomintiems technologijų kūrimu ir norintiems matyti ne tik technologijų spindesį, bet ir jų keliamas grėsmes.



Kuriame
Lietuvos ateitį

2014–2020 metų
Europos Sąjungos
fondų investicijų
veiksmų programa

