

KLIMATO SLINKTYS IR VANGUS ATSAKAS



KLIMATO SLINKTYS IR VANGUS ATSAKAS

ALGIRDAS VACLOVAS VALIULIS

KLIMATO SLINKTYS IR VANGUS ATSAKAS

VILNIUS | 2024

Recenzentas akademikas Arūnas Bukantis
Redaktorė Aušra Gapsevičienė

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.

Bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos integralios bibliotekų informacinės sistemos (LIBIS) portale ibiblioteka.lt

ISSN 2351-5368
ISBN 978-9986-08-100-5
eISBN 978-9986-08-101-2

© Lietuvos mokslų akademija, 2024

Turinys

Ižanga.....	9
I SKYRIUS. Nerimą kelianti klimato kaita	13
1.1. Klimato kaitos siunčiami signalai	15
1.2. Įspėjantys klimato kaitos ženklai	23
Klimato „teisingumo“ problema.....	26
1.3. Kiek Žemė gali išmaitinti žmonių.....	29
1.4. Sprogstanti tundra	43
1.5. Smegduobių atradimas Sibire	44
1.6. Kaip pasaulinis atšilimas keičia amžinąjį įšalą.....	50
1.7. Megasmegduobės	52
1.8. Ledynų tirpsmas	54
Antarktidos ledynų tirpsmas.....	56
1.9. Jūrų ir vandenynų pagalbos šauksmas	62
1.10. Augančios sausrų, potvynių ir uraganų grėsmės	65
1.11. Blankstantis „žemės spindesys“	76

II SKYRIUS. Šiltnamio efektą skatinančių dujų emisijų šaltiniai		81
2.1.	Iš kur atsiranda šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos	83
2.2.	Ką reiškia efektyvus nulinės CO ₂ emisijos įsipareigojimas	100
	Ar tikrai galima iš oro surinkti CO ₂	106
	Socialinė anglies kaina	108
	Ar milijardinės investicijos gali padėti susidoroti su klimato kaita	110
2.3.	Kaip turtingieji skatina klimato kaitą	111
	Bandymai nustatyti gamtos vertę	113
2.4.	Anglies dioksido požiūriu neutralaus kuro gamyba	115
2.5.	Kaip mediena gali prisidėti prie baterijų gamybos	122
2.6.	Kodėl sunku atsisakyti iškastinio kuro	125
2.7.	Miškų naikinimas ir žemdirbystės plėtra	152
	Ar bus išgelbėti tropiniai miškai	152
2.8.	Klimato kaitai svarbaus maisto produkto gamybos plėtra	161
2.9.	Kada švarios energijos gamyba pasieks kritinį tašką	167
2.10.	Ar kultivuotos mėsos gamyba paveiks klimato kaitą	169
	Kultivuotos mėsos gamyba, proceso privalumai ir trūkumai	176
III SKYRIUS. Nedujinė aplinkos tarša		185
3.1.	Kas nutiktų, jei nustotume naudoti polimerines medžiagas	187
	Kas aplinkai geriau – stiklas ar plastikas	193

3.2.	Tekstilės gamybos ir atliekų tarša	195
	Kodėl tekstilę taip sunku perdirbti	195
	Ar regeneracinė vilna gali padaryti madą tvaresnę	202

IV SKYRIUS. Kovos su klimato kaita

	priemonės ir metodai	207
4.1.	Katastrofiškų klimato kaitos scenarijų tyrimai	209
	Grėsmės biojvairovei	212
4.2.	CO ₂ dujų kiekio atmosferoje mažinimas	214
4.3.	Ar beribė žalioji energetika pakeistų pasaulį	223
	Branduolinės sąlajos reakcijos tyrimų proveržis	228
4.4.	Šiaurės Afrikos proveržis saulės energetikos srityje	235
4.5.	Kaip švarus maisto gaminimas stabdo klimato kaitą	239
	Kaip suteikti „švarią“ elektrą 800 milijonų žmonių	241
4.6.	Ryžtingas ne dujų naudojimui	242
4.7.	Kaip litis gali sumažinti šiltnamio dujų emisiją	245
	Kur slūgso didžiausios ličio atsargos	252
	Ličio baterijos ir jų perdirbimas	257
	Kas gali pakeisti litį	259
	Kadmio telūrido fotovoltinės celės	260
	Tvaresnių medžiagų baterijoms paieška	262
4.8.	Kaip didžiausia pasaulyje ekonomika sprendžia išmetamų teršalų problemą	265
4.9.	Kaip gravitacinės (svarmenų) baterijos padeda spręsti energijos kaupimo problemas	268
4.10.	Kaip smėlis gali virsti švarios energijos kaupikliu	274
4.11.	Šilumos siurbLIAI šildo ir miestus, ir būstus	277

4.12.	Ar kasybos pabaiga sustabdys klimato kaitą.....	282
4.13.	Švari metalinių medžiagų ir cemento gamyba	290
	„Žaliojo“ plieno gamyba.....	290
	Perdirbto aliuminio svarba mažinant anglies emisiją ...	297
	„Žaliojo“ cemento gamyba	301
4.14.	Ar vandenilio energetika padės sumažinti CO ₂ emisiją.....	306
	Vandenilis iš vėjo energijos	309
	Vandeniliu varomos transporto priemonės.....	311
4.15.	Ekologiškas transportas.....	315
	Ekologiškas kelių transportas.....	315
	„Žaliasis“ geležinkelis.....	318
	Elektra varomi lėktuvai.....	323
	„Žalioji“ laivininkystė.....	330
4.16.	Regeneracinė žemdirbystė.....	333
4.17.	Plūduriuojančios saulės jėgainės.....	336
4.18.	Saulės baterijos – esminė priemonė mažinant CO ₂ emisiją ar atslenkanti ekologinė nelaimė	340
4.19.	Plūduriuojantys miestai.....	342
4.20.	Bangų judėjimo energija maitinamos plūduriuojančios gėlinimo mašinos	347
4.21.	Daugiau namų, statomų iš šiaudų	351
4.22.	Migracijos iššūkiai	353
	 Vietoj epilogo	361
	 Literatūra	373

ĮŽANGA

Jau kuris laikas tiek populiariojoje žiniasklaidoje, tiek moksliniuose tyrimų dokumentuose vyksta diskusijos apie katastrofiškų klimato pokyčių riziką. Mokslininkai pateikė daug įrodymų, kad dėl nuolatinių klimato pokyčių patiriama žala yra nelinijinė, o augant pasaulinei vidutinei temperatūrai, ji neproporcingai didėja. Manoma, kad jau per mažai liko laiko, kad susidariusią problemą būtų galima spręsti vien perėjimu prie nulinio anglies naudojimo kure ar anglies dioksido pašalinimo iš degimo ar kitų procesų. Priešingai, vis akivaizdžiau mažinamas iškastinio kuro, reikalingo energijos gamybai, naudojimas ne ribojant gamybą, o taupant elektros energiją. 2015 m. pasirašytas Paryžiaus susitarimas, kuriame sutarta iki 2050 m. apriboti vidutinį pasaulio temperatūros didėjimą iki $<2^{\circ}\text{C}$, tačiau ne visų mokslininkų, o ypač politikų, nuomonės sutampa.

Per daugiau kaip 4 milijardus metų žemėje buvo daugybė karštų ir šaltų periodų, milžiniškų apledėjimų ir ištisus žemynus alinančių kaitrų. Gyvoji gamta ar padarai nedarė jokios antropogeninės įtakos klimato kaitai. Priešingai, vykstant nepalankiems gyvajai gamtai pokyčiams, ji sunykdavo, o prisitaikiusi prie naujų aplinkos sąlygų vėl atgimdavo. Taigi, nuomonė, kad gamtos pokyčiams daugiau svarbos

turi nuo žmogaus veiklos nepriklausantys, lėti, galbūt net Saulės sistemos mastu vykstantys procesai ar veiksniai, turi daug šalininkų. Teorijų apie žmogaus veiklos įtaką klimato pokyčiams sekėjai irgi turi savo argumentų, kurie remiasi kasdieniais stebėjimais ir kuriamomis ateities prognozėmis (Moriarty, Honnery, 2021). Šiose prognozėse svarbią vietą užima eksponentinis žmonių populiacijos augimas, netvarus resursų naudojimas ir vis augantis vartojimas.

Elektros gamyba, šiluma ir transportas yra pagrindiniai taršos šaltiniai, bendra jų tarša sudaro apie 73 % išmetamų teršalų. Dėl miškų naikinimo ir kitos žemės paskirties veiklos išsiskiria daug CO₂ ir metano. Didžiausias antropogeninio metano išmetimo šaltinis yra žemės ūkis (~10 %), toliau seka iškastinių kurą (dujas, anglį) naudojanti pramonė. Didžiausias žemės ūkio metano šaltinis yra gyvuliai ir iš dalies dėl trąšų bei žemdirbystės – dirvožemiai. Kurias teorijas bepalaikytume, nekreipti dėmesio į gamtos siunčiamus signalus būtų neatsakinga.

Naujausi tyrimai rodo, kad iškastinio kuro emisijos artina grėsmę pagrindinei klimato ribai greičiau, nei manyta anksčiau. Po precedento neturincio karščio, kai 2023 m. liepa buvo karščiausias mėnuo pasaulyje, manoma, kad 2023 m. temperatūra beveik 1,5 °C viršys priešindustrinį lygį (nuo 1850 m.), kai pasaulis pirmą kartą pradėjo intensyviai naudoti anglis, naftą ir dujas. Pagrindinis veiksnys yra rekordinės vidutinės anglies dioksido emisijos per pastaruosius trejus metus. Nors tai gali būti tik vienkartinis atvejis, mokslininkai nerimauja, kad netrukus pasaulis išskirs pakankamai šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir tokia temperatūra išsilaikys ilgą laiką.

2015 m. pasirašytame Paryžiaus klimato susitarime politikos lyderiai įsipareigojo išlaikyti pasaulinės temperatūros kilimą „gerokai žemiau“ 2 °C ir dėti visas pastangas, kad šis pakilimas šiame amžiuje neviršytų 1,5 °C.

Siekdami išsiaiškinti, per kiek laiko pasaulis pasieks šį gąsdinantį rodiklį, mokslininkai apskaičiavo, kiek anglies gali būti išmetama,

kol ši svarbi riba bus peržengta. Prognozuojama, kad išmetant 500 mlrd. t anglies yra 50 % tikimybė, kad atšilimas bus mažesnis nei 1,5 °C. Kadangi dabartinis metinis išmetamų teršalų lygis yra apie 40 mlrd. t, tai slenkstis bus peržengtas iki kito dešimtmečio vidurio. Naujausia analizė rodo, kad tai gali įvykti daug anksčiau.

Tyrėjai išanalizavo kitų veiksnių, turinčių įtakos atšilimui, vaidmenį. Vienos svarbiausių yra suodžių dalelės, vadinamieji aerozoliai, kurie daugiausia susidaro deginant iškastinį kurą. Jie labai prisideda prie oro taršos, tačiau kartu pasižymi netikėtu poveikiu klimatui, nes padeda vėsinti atmosferą, atspindėdami saulės šviesą atgal į kosmosą. Visgi valant nešvarų miestų orą ir ribojant orą teršiančio iškastinio kuro naudojimą, aerozolių kiekis atmosferoje mažėja ir planetos vidutinė temperatūra kyla greičiau. Tyrėjai teigia, kad aerozoliai pašalina 100 mlrd. t anglies dioksido emisijų, todėl bendras likęs „biudžetas“ sumažėja iki 250 mlrd. tonų. Pasak mokslininkų, jei pasaulyje siekiama neviršyti 1,5 °C temperatūros kilimo, CO₂ emisija turėtų tapti nulinė iki 2034 m., o ne iki 2050 m., kaip šiuo metu tikimasi. Išlaikydami dabartinį išmetamų teršalų kiekį, maždaug po šešerių metų greičiausiai viršysime šį pagrindinį Paryžiaus susitarimo atskaitos tašką.

Knygoje atskirų šalių pavyzdžiais bandoma parodyti, kokie yra tie nerimą keliantys ženklai ir kokios vangios ar nesavalaikės yra taikomos priemonės. Pateikiamos žinios labai plačios, todėl neišvengta paviršutiniškumo. Toks autoriaus pasirinkimas yra sąmoningas – platesnis požiūris gilumo sąskaita. Antra vertus, knygoje pateikiama daug skaičių ir įvairių duomenų, kurie greitai kinta. Nauji tyrimai atskleidžia iki šiol nepastebėtus ar tinkamai neįvertintus reiškinius, todėl į šią knygą reikia žiūrėti tik kaip į tam tikro laikmečio realijų atspindį, o ne į paskutinės tiesos, nuomonės ar supančios aplinkos vertinimo pretenziją.

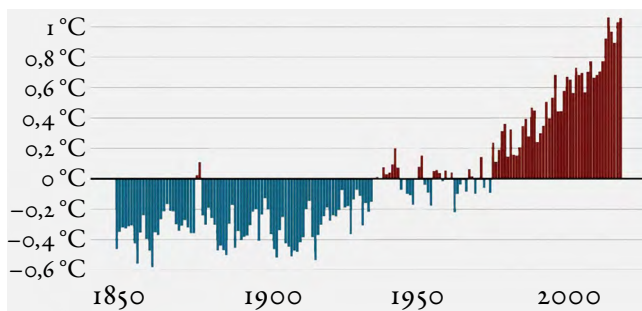
I SKYRIUS

NERIMAŲ KELIANTI KLIMATO KAITA

1.1. Klimato kaitos siunčiami signalai

Vietovės klimato pobūdį nusako daugelio metų orų stebėjimas vienoje vietoje. Klimato kaita yra tų vidutinių sąlygų pasikeitimas. Dabar stebimą sparčią klimato kaitą sukelia žmonės, naudojantys naftą, dujas ir anglis savo namams ir buičiai, gamykloms ir transportui. Deginamas iškastinis kuras išskiria šiltnamio efektą sukeliančias dujas – daugiausia CO₂. Šios dujos atmosferoje sulaiko Saulės šilumą ir pakelia planetos temperatūrą (1.1 pav.). Pasaulis dabar apie 1,1 °C šiltesnis nei XIX a., o CO₂ kiekis atmosferoje išaugo 50 %. Ekspertai mano, kad nors pastaraisiais metais vyko intensyvus visuomenės švietimas, kova už aplinkos kitimo stabdymą nepavyko ir šis mūsų šiuo metu jau pralaimėtas. Jų nuomone, pagrindinis dėmesys turėtų būti skiriamas neišvengiamų pasaulinių aplinkos pokyčių švelninimui.

Mokslininkų teigimu, norint išvengti blogiausių klimato kaitos pasekmių, temperatūros kilimas turi sulėtėti ir iki 2100 m. visuotinį atšilimą reikia išlaikyti iki 1,5 °C. Stebėjimai ir skaičiavimai rodo, kad nesiimant ribojančių veiksmų, planeta iki to laiko vis tiek gali sušilti daugiau nei 2 °C, kitais skaičiavimais, iki amžiaus pabaigos pasaulis priartės prie 2,4 °C atšilimo. Jei nieko nebus daroma, globalinis atšilimas ateityje gali viršyti 4 °C, ir tai sukels niokojančias karščio bangas, milijonai žmonių dėl kylančio jūros lygio neteks būsto, negrįžtamai išnyks daug augalų ir gyvūnų rūšių.



1.1 pav. Pasaulio vidutinės temperatūros kaita 1850–2020 m.
(<https://www.bbc.com/news/science-environment-24021772>)

Ką reikš daugiau kaip $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ padidėjusi temperatūra? Šis skaičius nėra tiesioginis pasaulio temperatūros matas, tai rodiklis, rodantis, kiek Žemė sušilo arba atvėso, palyginti su ilgalaikiu pasauliniu vidurkiu. Pasiekus slenkstį, pasaulis bus $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ šiltesnis negu XIX a. antroje pusėje, kai dėl industrializacijos pradėjo didėti deginamo iškastinio kuro emisijos. Šios ribos peržengimas net vienerius metus yra nerimą keliantis ženklas, rodantis, kad atšilimas vis greitėja. Dešimtmetį ar du kasmet viršijant $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, atšilimas turėtų daug didesnę poveikį, pavyzdžiui, būtų ilgesnės karščio bangos, intensyvesnės audros ir gaisrai. Visgi nubrėžto lygio peržengimas per keletą ateinančių metų dar nereikštų, kad Paryžiaus susitarimo riba buvo pažeista. Mokslininkai teigia, kad dar yra laiko apriboti visuotinį atšilimą smarkiai sumažinant išmetamų teršalų kiekį. Dešimtmečius buvo tikima, kad pavojingas pasaulio sušilimo slenkstis yra maždaug $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, tačiau 2018 m. šis vertinimas buvo gerokai pakoreguotas ir dabar tvirtinama, kad $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ viršijimas pasauliui būtų praeiškiantis. Tyrėjai pabrėžia, kad temperatūra turi išlikti $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ arba aukštesnė 20 metų, ir tik tada būtų galima teigti, kad Paryžiaus susitarimo slenkstis yra negrįžtamai peržengtas. Visgi skambinama pavojaus varpais, nes daug ženklų rodo, kad $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ viršysime vis dažniau.

Ekstremalūs oro reiškiniai, keliantys grėsmę gyvybei ir išgyvenimui, jau dabar intensyvėja visame pasaulyje. Dėl klimato kaitos žmonės patiria dramatiškas ekstremalaus oro ir karščio bangas, naikinančius potvynius ir miškų gaisrus. Deginamo iškastinio kuro emisijos sulaiko šilumą atmosferoje jau nuo pat pramoninės eros pradžios. Netolygiai pasiskirstydama pasaulyje ši šiluma kai kuriuose regionuose sukelia ekstremalias oro sąlygas. Jei pasaulinė šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija nebus sumažinta, šios grėsmės tik didės. Kai kuriuose Europos dalyse 2022 m. vasarą temperatūra viršijo 40 °C, dėl to sutriko transportas, pasireiškė vandens trūkumas. Yra keli būdai, kaip klimato kaita paveikia orą. Pirmiausia tai aukštesnė temperatūra ir ilgiau trunkančios karščio bangos. Per pastaruosius 50 metų karščio periodai pailgėjo daugiau nei dvigubai. Karščio bangas gali pailginti ir sustiprinti kitas oro reiškiny – karščio kupolas. Viena teorija teigia, kad dėl aukštesnės temperatūros Arktuje reaktyvinis oro srautas sulėtėja, todėl padidėja šilumos kupolų atsiradimo tikimybė. Aukšto slėgio zonoje žemyn stumiamas karštas oras įstringa vietoje, todėl temperatūra pakyla didelėje teritorijoje ar net visame žemyne.

Kiti mokslininkai tvirtina, kad yra du pagrindiniai elementai, labai svarbūs pasauliniam atšilimui. Pirmasis yra didelis žmogaus veiklos nuolat išmetamo CO₂ kiekis, kuris, nepaisant kritimo COVID-19 pandemijos metu, vis dar didėja. Antrasis – tikėtinas El Niño, oro reiškinių, turinčio pasaulinių pasekmių, pasirodymas. Pastaruosius trejus metus pasaulį veikė La Niña oro cirkuliacija, kuri tam tikru mastu pristabdė klimato atšilimą. Tačiau šiluma, kurią El Niño atneš į Ramiojo vandenyno paviršių, ateinančiais metais greičiausiai padidins pasaulinę temperatūrą iki naujų aukštumų.

Indija ir Pakistanas 2022 m. jau susidūrė su penkiomis karščio bangomis iš eilės, o Pakistano Džakobabado mieste gegužės mėnesį

buvo užregistruoti 49°C . Esant tokiai temperatūrai žmogaus kūnas negali pakankamai atvėsti. Dėl visuotinio atšilimo Džakobabadas minimas kaip viena labiausiai pažeidžiamų vietų pasaulyje, nes skirtumas tarp $1,5^{\circ}\text{C}$ ir 2°C čia gali lemti žmogaus gyvybę ar mirtį. Didėjant atšilimui, kai kurie regionai gali tapti netinkami gyventi, nes dirbama žemė virsta dykuma. Šiuo metu Rytų Afrikos laukia penktas mažesnių liūčių sezonas, dėl kurio apie 22 mln. žmonių kyla didelio bado grėsmė.

2022 metų pradžioje Indijos, Pakistano ir Bangladešo regione buvo didžiulė sausra, o 2022 m. vasarą Pakistaną tvindė beveik nuolatinis musoninis lietus ir potvyniai. Tų metų pavasarį Mozambiką siaubė audros ir tropiniai ciklonai, palietę tūkstančius šeimų. Su sausromis ir potvyniais dažnai susiduria ir Afrikos Sahelio regionas. Afrikos Kyšulyje dėl katastrofiškos sausros bendruomenės atsidūrė ant bado slenksčio. Čia trūksta maisto, prastėja gyvenimo sąlygos, vyksta žmonių migracija. 2006–2010 m. Siriją niokojo didelė sausra – apie 1,5 mln. kaimų gyventojų turėjo palikti namus ir persikraustyti į perpildytus miestus. Tokio masto persikėlimo pasekmės buvo niokojančios. Per aštuonerius metus miestų gyventojų skaičius padidėjo 50 %, sunyko 800 tūkst. valstiečių ūkių, o grūdų kaina pakilo 27 %. Suprastėjus gyvenimo sąlygoms, augo masinis nepasitenkinimas, kuris tapo viena iš pilietinio karo priežasčių. Somalyje, Sudane, Afganistane ir Jemene dėl klimato kaitos padarinių gilėja ir maisto trūkumo problema.

Argentinai, Urugvajui, Paragvajui ir Brazilijai 2022 m. sausio mėnesį smogė istorinė karščio banga – daugelyje vietovių buvo pranešta apie karščiausią dieną. Tą patį mėnesį Vakarų Australijoje pasiekta $50,7^{\circ}\text{C}$ – aukščiausia kada nors patikimai užfiksuota Pietų pusrutulyje temperatūra. Šiaurės Ameriką taip pat užklupo ilgos karščio bangos. Vakarų Kanadoje temperatūra pasiekė $49,6^{\circ}\text{C}$, ankstesnį rekordą pagerindama beveik 5°C . Hondūre (Centrinė Amerika)

dažnėja niokojantys uraganai ir kiti ekstremalūs reiškiniai. Be klimato kaitos tokios intensyvios karščio bangos būtų beveik neįmanomos.

Kai karščio bangos tampa intensyvesnės ir ilgesnės, gali paūmėti ir sausros. Tarp karščio bangų iškrenta mažiau lietaus, todėl žemės drėgmė ir vandens atsargos greičiau išsenka, žemei reikia mažiau laiko įkaisti, o įkaitusi žemė sušildo aukščiau esantį orą ir sukelia intensyvesnį karštį. Ūkininkavimo vandens paklausa dar labiau apsunkina vandens tiekimą ir didina vandens trūkumą.

Ekstremalios temperatūros taip pat gali padidinti gaisrų pavojų. Gaisrai gali kilti natūraliai, be tiesioginio žmogaus dalyvavimo, nes dėl klimato kaitos sukulto ekstremalaus ir ilgalaikio karščio ciklo iš žemės ir augalijos išgaruoja vis daugiau drėgmės. Tokiomis sausomis sąlygomis kilę gaisrai gali plisti neįtikėtinu greičiu. Dėl kritulių trūkumo ir nesezoninės šilumos 2022 m. Šiaurės pusrutulio miškų gaisrų sezonas kai kuriose vietovėse prasidėjo anksti. Dideli gaisrai kilo Prancūzijoje, Ispanijoje, Portugalijoje, Graikijoje, Kroatijoje, Kanadoje ir Albanijoje. Tūkstančiai gyventojų buvo evakuoti, o keli šimtai žuvo. Pastaraisiais dešimtmečiais dideli gaisrai labai padažnėjo. Vakarų Amerikoje, palyginti su XX a. 8-uoju dešimtmečiu, didesni nei 40 km² ploto gaisrai dabar yra septynis kartus dažnesni. 2022 m. vasarą Prancūzijoje ir Vokietijoje išdegė maždaug septynis kartus didesni plotai, palyginti su vidurkiu. Aukštesnė temperatūra taip pat reiškia, kad anksčiau įšalusi žemė atitirps (Sibire, Aliaskoje) ir į atmosferą išsiskirs šimtmečius sulaikytos šiltnamio efektą sukeliančios dujos.

Įprasto oro ciklo metu vandens garai ore virsta lašeliais ir susidaro lietūs. Tačiau kuo šilčiau, tuo atmosferoje garų yra daugiau. Dėl to būna gausesnis kritulių kiekis, kartais per trumpesnę laiką ir mažesniame plote. 2022 m. potvyniai užklupo Ispaniją ir dalį Rytų Australijos. Vos per šešias dienas Brisbene iškrito beveik 80 % metinių kritulių, o Sidnėjuje per kiek daugiau nei tris mėnesius iškrito daugiau nei vidutinis metinis kritulių kiekis. Orai visame pasaulyje

visada bus labai įvairūs, tačiau dėl klimato kaitos šie skirtumai tampa dar ekstremalesni. Susiduriame su iššūkiu ne tik riboti tolesnį žmonių poveikį atmosferai, bet ir prisitaikyti prie kraštutinumų. Kai kuriuose regionuose smarkūs krituliai sukėlė istorinius potvynius (Kinijoje, Pakistane, Nigerijoje), niokojančius pasėlius, gyvenvietes, pražudančius žmones ir gyvūniją. 2022 m. užsitęsusios smarkios musoninės liūtys didelėje Pakistano dalyje nusinešė daugiau nei 1 700 gyvybių. Nuošliaužos ir staigūs potvyniai nušlavė namus, kelius ir tiltus. Daugelyje kaimų žmonės buvo atkirsti nuo bet kokios pagalbos. Nuo potvynių nukentėjo daugiau nei 33 mln. žmonių. Jie beveik neturėjo švaraus geriamojo vandens, jų derlius buvo sunaikintas, pradėjo trūkti maisto, grėsė badas. Manoma, kad nuo klimato kaitos labiausiai nukentės besivystančiose šalyse gyvenantys žmonės, nes jie turi mažiau išteklių prisitaikyti prie klimato kaitos. Be to, šių šalių žmonės yra nusivylę, mat jų šalys išmeta mažiausiai šiltnamio efektą sukeliančių dujų, o patiria didžiausias klimato kitimo grėsmes.

Planetos vandenynams ir jų buveinėms taip pat gresia pavojus, nes net 10–15 % jūrų gyvūnijos rūšių gresia išnykimas. Šiltesniame pasaulyje sausumos gyvūnams taip pat bus sunkiau rasti maisto ir vandens. Pavyzdžiui, baltieji lokiai gali išnykti, nes intensyviai tirpsta ledas, nuo kurio jie priklauso, o drambliai sunkiai suras jiems būtino 150–300 litrų vandens per dieną. Manoma, kad jei nebus imtasi veiksmų, šiame amžiuje gali būti prarasta mažiausiai 550 rūšių gyvūnų.

Greitai šylantys pasaulio vandenynai taip pat kelia nerimą mokslininkams. Pasaulio jūrų paviršius pasiekė naują rekordinę temperatūrą. Dar niekada jūros nebuvo taip stipriai, taip greitai sušilusios. Mokslininkai iki galo nesupranta, kodėl taip atsitiko, tačiau jie neriama, kad kartu su kitais oro reiškiniais pasaulio temperatūra kitų metų pabaigoje gali pasiekti naują lygį. Šiltesni vandenynai gali pražudyti jūrų gyvybę, sukelti ekstremalesnius orus ir pakelti jūrų lygį. Šiltesnė jūra mažiau efektyviai sugeria planetą šildančias šiltnamio

efektą sukeliančias dujas. Per pastaruosius 15 metų Žemė sukaupė beveik tiek pat šilumos, kiek per ankstesnius 45 metus, o didžioji dalis papildomos energijos patenka į vandenynus. 2023 m. kovo mėnesį jūros paviršiaus temperatūra prie rytinės Šiaurės Amerikos pakrantės buvo net 13,8 °C aukštesnė negu 1981–2011 m. (McGrath, Poynting, 2023).

Pastebėta, kad veiksny, galintis turėti įtakos į vandenynus patenkančios šilumos lygiui, yra laivybos taršos mažinimas. 2020 m. Tarptautinė jūrų organizacija priėmė reglamentą, kuriuo siekiama sumažinti sieros kiekį laivuose deginamame kure. Tai turėjo greitą poveikį ir sumažino į atmosferą išmetamų aerozolių dalelių kiekį, tačiau orą teršiantys aerozoliai taip pat padeda atspindėti šilumą atgal į erdvę – juos pašalinus į vandenį galėjo patekti daugiau šilumos. Vidutinė pasaulio jūrų paviršiaus temperatūra pakilo maždaug 0,9 °C, palyginti su ikipramoniniu laikotarpiu, o vien per pastaruosius 40 metų pakilo 0,6 °C. Tai mažiau negu oro temperatūros padidėjimas sausumoje, kuris nuo ikipramoninių laikų pakilo daugiau nei 1,5 °C. Taip yra todėl, kad vandeniui šildyti reikia daug daugiau energijos negu žemei. Net ir šis, atrodytų, nedidelis padidėjimas turi reikšmingų pasekmių. Dažnesnės ir intensyvesnės jūros karščio bangos lemia masinį jūros gyvūnų rūšių nykimą. Aukštesnė temperatūra ypač kenkia koraliniams rifams. Dėl sušilusio viršutinio vandenyno paviršiaus uraganai ir ciklonai tampa intensyvesni ir ilgiau trunkantys. Šiltesni vandenys užima daugiau vietos (dėl terminio vandens plėtimosi) ir labai spartina Grenlandijos ir Antarktidos ledynų tirpimą. Tai didina pasaulinę jūrų lygį ir pakrančių potvynių riziką. Vandenynai sugeria apie ketvirtadalį šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Šiltesni vandenys CO₂ geba sugerti mažiau. Jei vandenynai ateityje sugers mažiau CO₂, atmosferoje jo kaupsis daugiau – tai dar labiau šildys orą ir vandenynus. Himalajuose esantys ledynai tirpsta 10 kartų greičiau,

nei vidutiniškai tirpo per pastaruosius šimtmečius. Tai yra žmogaus sukeltos klimato kaitos rezultatas. Pakistanas, Nepalas ir Indija per kelis šimtus metų prarado 40 % savo ledynų. Kitas svarbus veiksnys, keliantis nerimą mokslininkams, yra reiškinių, žinomo kaip El Niño, pietinis svyravimas. El Niño greičiausiai sutrikdys oro sąlygas visame pasaulyje, susilpnins musonus, dėl to kils daugiau gaisrų grėsmių Australijoje.

Vienas iš didžiausių susirūpinimą keliančių veiksnių yra borealinių miškų, esančių šiaurinėse Rusijos, Kanados ir Aliaskos dalyse, nykimas. Nors medžių kirtimas ar deginimas šiuose regionuose retai sukelia nuolatinį miškų nykimą, 2021 m. sunaikintų medžių skaičius, palyginti su 2020 m., išaugo 30 % ir pasiekė aukščiausią iki šiol užfiksuotą lygį. Klimato kaita laikoma pagrindine medžių nykimo šiose vietovėse priežastimi, nes karštesnės ir sausesnės sąlygos sukelia daugiau miškų gaisrų, nulemia didesnę vabzdžių keliamą žalą. Vien Rusija nuo 2001 m. prarado daugiau nei 6,5 mln. hektarų borealinių miškų.

Tyrėjams vis dar neaiški klimato kaitos pradžia ir mastas. Klimato kaita, jei pasaulinės temperatūros kilimo nepavyks išlaikyti ties 1,5 °C padidėjimo riba, pasaulyje turės skirtingą poveikį:

- Europa, ypač jos šiaurinės teritorijos, bus pažeidžiama ekstremalių kritulių sukeltų potvynių, nuo gegužės iki rugsėjo mėn. greičiausiai padaugės kritulių;
- Australijoje galimos didžiulės karščio bangos ir miškų gaisrai;
- kylant jūrų lygiui, salų šalys Ramiojo vandenyno regione gali išnykti;
- Artimųjų Rytų šalys patirs ekstremalias karščio bangas ir sausras protrūkius;
- daugelyje Afrikos šalių greičiausiai vyraus sausra ir trūks maisto;
- JAV vakaruose tikėtinos sausras, o kituose rajonuose intensyvės audros;

- Arktyje atšilimas bus didesnis negu daugelyje regionų, o per ateinančias penkias šiaurinio pusrutulio žiemas temperatūros anomalija turėtų būti tris kartus didesnė negu pasaulinė.

Šalys sutaria, kad su klimato kaita galima kovoti tik bendradarbiaujant ir įsipareigojant siekti, kad pasaulinis atšilimas nevirsytų 1,5 °C ribos. Daugelis šalių įsipareigojo iki 2050 m. pasiekti „grynąjį nulį“. Tai reiškia kiek įmanoma sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, o likusią emisiją subalansuoti sugeriant iš atmosferos atitinkamą kiekį šių dujų. Ekspertai mano, kad tai vis dar įmanoma pasiekti, tačiau esminių pakeitimų reikia jau dabar. Mokslininkų teigimu, kai kurie net nedideli pokyčiai gyvenime gali apriboti žmonių poveikį klimatui:

- gyventi be automobilio arba naudotis elektromobiliu;
- mažiau skraidyti;
- mažinti mėsos ir pieno produktų vartojimą;
- gerinti būsto šiluminę izoliaciją;
- mažinti namų energijos sunaudojimą;
- pirkti energiją taupančius įrenginius (keisti taupesnėmis skalbimo mašinas, šaldytuvus, apšvietimo priemones);
- dujinio šildymo sistemą pakeisti šilumos siurbliu.

1.2. Įspėjantys klimato kaitos ženklai

Klimato kaita šiandien nėra tik straipsnių pavadinimai spaudoje. Pasaulyje milijonams gyventojų tenka palikti savo namus dėl geriamojo vandens stygiaus, išsausėjusios dirbamos žemės, užklupusių potvynių ar kitų stichinių nelaimių. Prognozuojama, kad jei nebus imtasi pakankamų veiksmų, iki XXI a. pabaigos savo gyvenamąją vietą dėl besikeičiančio klimato bus priversti palikti maždaug 3 mlrd. planetos gyventojų. Vien 2021 m. 137 šalyse ir teritorijose dėl

ekstremalių orų sąlygų buvo perkelti daugiau nei 23 mln. žmonių. Lietuva yra palyginti saugiame pasaulio regione, tačiau tirpstant ledynams Baltijos jūros lygis prie Lietuvos krantų gali pakilti iki vieno metro. Tai yra daug, nes tai sukels problemų Klaipėdai ir visam Nemuno deltos regionui. Taigi stichinės nelaimės kai kuriuose planetos regionuose jau veikia ar paveikė milijonus žmonių. Temperatūros kilimas ne tik skatina mirtinus potvynius ir sausras. Daugelis klimato kaitos padarinių yra keisti, o kai kurie pražūtingi. Pasaulis didelis ir margas. Knygoje siekiama apžvelgti atskirus planetos regionus, juose kylančius didžiausius iššūkius ir galimas problemų sprendimo kryptis.

Kasmetinėse Jungtinių Tautų Organizacijos klimato kaitos konferencijose priimami pagrindiniai sprendimai dėl pasaulinių klimato tikslų. Pirmoji konferencija buvo surengta 1995 m. Berlyne, o per 21-ąją viršūnių susitikimą, įvykusį 2015 m. Paryžiuje, šalys susitarė apriboti atšilimą iki 1,5 °C, palyginti su ikipramoninio (iki 1750 m.) laikotarpio temperatūra. Paryžiaus susitarimu beveik visos pasaulio valstybės pirmą kartą parėmė bendrą strategiją, skirtą sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, kuri, mokslininkų nuomone, sukelia visuotinį atšilimą. Sutartį 2015 m. parėmė 194 šalys. Sutartis įsigaliojo 2016 m., kai ją 2016 m. birželio mėn. 22 d. pasirašė 175 šalys. Nutarta siekti apriboti pasaulinės temperatūros kilimą ir išlaikyti jį „gerokai žemiau“ 2,0 °C, palyginti su ikipramoniniu laikotarpiu. Ikipramoninis laikotarpis – tai laikotarpis, kai visuomenės dar nebuvo pritaikiusios pramoninių technologijų ir praktikos ir daugiausia rėmėsi žemės ūkiu ir fiziniu darbu. Apskritai šiuo terminu apibūdinamas XVIII a. pabaigos ir XIX a. pradžios laikotarpis.

Susitarimu siekiama 2050–2100 m. apriboti žmogaus veiklos nulemtą šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą iki tokio lygio, kurį natūraliai galėtų absorbuoti medžiai, dirvožemis ir vandenynai. Tokia pusiausvyra yra vadinama „grynuoju nuliu“. Kiekviena šalis

turi nustatyti savo išmetamų teršalų mažinimo tikslus, kurie peržiūrimi kas penkerius metus. Ekspertai apskaičiavo, kad iki 2030 m. pasaulis turėtų išmesti tik 25–30 Gt CO₂ per metus, kai šiuo metu jis išmeta 36,3 Gt CO₂ per metus. Turtingesnės šalys turėtų padėti skurdesnėms tautoms suteikdamos finansavimą, ir tai leistų joms prisitaikyti prie klimato kaitos ir pereiti prie atsinaujinančios energetikos plėtros.

Tai buvo pirmas privalomas vykdyti klimato kaitos susitarimas tarp šalių. 2022 m. 27-oji konferencija vyko Šarm el Šeiche, Egipte. Joje dalyvavo delegatai iš beveik 200 šalių. Valstybių lyderiai derėjosi ir priėmė svarbius sprendimus dėl žmonijos veiklos sukeltų klimato problemų. Išsivysčiusios šalys daugiausia prisideda prie anglies dvideginio emisijų, tačiau besivystančias šalis labiausiai paveikia ekstremalūs orų reiškiniai, kuriuos skatina klimato kaita, ir joms, kad prisitaikytų prie klimato kaitos, gali tekti mokėti šimtus milijardų eurų ar dolerių per metus. Pirmą kartą konferencijos darbotvarkėje atsirado nuostolių ir žalos finansavimas, dar vadinamas klimato kaitos kompensacijomis. Nuostoliai ir žala reiškia neišvengiamą socialinį ir finansinį poveikį, su kuriuo šalys jau susiduria dėl klimato kaitos.

Remiantis dabartiniais šalių įsipareigojimais, naujausioje JT išmetamų teršalų vertinimo ataskaitoje teigiama, kad iki XXI a. pabaigos Žemės rutulys sušils nuo 2,4 iki 2,6 °C, o tai gerokai viršija Paryžiaus konferencijos tikslą – 1,5 °C. 2009 m. išsivysčiusios šalys pažadėjo 100 mlrd. žemės ūkio sistemų ir energetikos sistemų pokyčiams.

2022 m. prasidėjus Rusijos karui prieš Ukrainą, Rusija nutraukė dujų tiekimą Europai. Vietoj dujų dešimtys šalių kuriai pradėjo naudoti anglį. Nuo pat invazijos pradžios Europos Sąjungos šalys stato ar plečia suskystintų dujų terminalus, įrenginius tanklaiviams, gabenantiems šias dujas. Naujieji terminalai iki 2030 m. gali padvigubinti gamtinių dujų emisiją.

Klimato „teisingumo“ problema

Kasmet vis daugiau sužinome apie žmogaus daromą poveikį klimatui ir matome vis daugiau padarinių. Tie padariniai – nuo karščio bangų ir potvynių iki jūros lygio kilimo ir ledynų tirpsmo. 2019 m. niokojantys ciklonai nusiaubė Mozambiką – vieną skurdžiausių pasaulio šalių. Žuvo šimtai žmonių, o dar milijonams prireikė humanitarinės pagalbos. Didelės sausros Madagaskare visiškai sunaikino maisto šaltinius ir žmonėms teko valgyti skėrius ir kaktusų lapus. Tokie katastrofiški įvykiai paveikia milijonus žmonių visame pasaulyje, kurie mažai prisidėjo prie pasaulinių išmetamų teršalų. Ne paslaptis, kad kai kurios skurdžiausios ir mažiausiai anglies dvideginio išmetančios pasaulio šalys labiausiai kenčia nuo klimato kaitos, todėl vis dažniau girdimas terminas „klimato teisingumas“. Kylant planetos temperatūrai, kova už klimato kaitos sustabdymą daugeliui yra gyvybės ir mirties klausimas. Tačiau kaip kaita turėtų būti sustabdyta, kas turėtų imtis kokių nors veiksmų, dar nenuspręsta. „Klimato teisingumas“ daugeliui žmonių reiškia daug dalykų, tačiau jo esmė yra pripažinimas, kad tie, kuriems klimato kaita daro neproporcingai didelį poveikį, dažniausiai nėra už tai labiausiai atsakingi. Klimato teisingumo šalininkų pasiūlytais klimato sprendimais siekiama spręsti ilgalaikes sisteminės neteisybes. Akivaizdu, kad pasaulinės teršalų emisijas reikia sumažinti, kad būtų išvengta pavojingo klimato kaitos lygio. Tačiau daugeliui klimato teisingumo pagrindas yra būtinybė nustatyti, kas turi mažinti išmetamų teršalų kiekį, atsižvelgiant į istorines ir dabartines aplinkybes. Pavyzdžiui, Mozambike išmetama tik 0,09 % viso pasaulyje išmetamų teršalų kiekio, tačiau jis yra tarp daugelio pažeidžiamų šalių, kurios patirs didžiausią klimato kaitos poveikį. Tik vargu ar galima tikėtis, kad taršios šalys dėl to smarkiai sumažins savo išmetamų teršalų kiekį.

Jau daugelį metų kalbama apie klimato kaitos pavojų, tačiau skiriama mažai dėmesio veiksmingam šios problemos sprendimui, todėl mokslininkai parengė planą, galintį padėti žmonėms išvengti blogiausių kylančios temperatūros padarinių. Pagal šį planą, norint išlaikyti žemesnį negu $1,5^{\circ}\text{C}$ temperatūros padidėjimą, iki 2025 m. išmetamų teršalų kiekis turėtų pasiekti aukščiausią tašką ir iki šio dešimtmečio pabaigos sumažėti 43 %. Veiksmingiausias būdas tai pasiekti yra gaminti energiją iš tvarių šaltinių, tokių kaip vėjas ir saulė. Vėjo ir saulės energetikos technologijų sąnaudos nuo 2010 m. per dešimtmetį sumažėjo maždaug 85 %. Taigi siekiant planetos temperatūros pokyčių reikėtų atsisakyti anglies visam laikui. Prieš keletą metų klimato kaitos technologiniai sprendimai buvo laikomi ekscentrikų pramanais, nes buvo svarstomi labai keisti siūlymai – nuo medžiagų purškimo į atmosferą, kad atvėsintų Žemę, iki Saulės spinduliuotės blokavimo kosminiais skydais. Klimato krizei atstojant, mokslininkai buvo priversti dar kartą pažvelgti į technologijų vaidmenį ribojant ir mažinant CO_2 kiekį atmosferoje. Mokslininkų teigimu, neįmanoma palaikyti žemą temperatūrą nepašalinus CO_2 dujų iš atmosferos, nesvarbu, ar tai darys medžiai, ar oro filtravimo mašinos.

Paklausos pažabojimas yra lyg „slaptas ginklas“. Šiandien daugiausia dėmesio skiriama pastogei, mobilumui ir mitybai. Visa tai apima daugybę sričių, įskaitant maisto švaistymą ar tai, kaip kuriamie miestus ir kaip didiname CO_2 dujomis neteršiančio transporto priemonių kiekį. Apribojimai vartojimo sektoriuje gali iki 2050 m. sumažinti išmetamų teršalų kiekį 40–70 %.

Kova su klimato kaita dažnai yra vangi dėl didelių sąnaudų. Visgi teigiama, kad dar per daug pinigų tenka iškastiniam kurui, o ne švariui energetikai. Manoma, kad jei vyriausybės subsidijos iškastiniam kurui būtų panaikintos, tai iki 2030 m. išmetamų teršalų kiekis sumažėtų iki 10 %. Nors siekiama išsiaiškinti, kaip teisingai paskirstyti išmetamų teršalų mažinimą tarp šalių, diskusijos dėl to, kas ir kokių

veiksmų turėtų imtis, yra sudėtingos, nes teisingesniai veiksmų paskirstymui turtingesnės šalys dažnai nepritaria. O juk akivaizdu, kad tie, kurie daugiau prisidėjo prie šios problemos, turi priimti didesnę atsakomybę. Yra daug kitų tarptautinio klimato teisingumo aspektų, kurie susipina su atskirų šalių siekiu sumažinti išmetamų teršalų kiekį. Vienas iš tokių aspektų yra lėšos. Daugelis skurdesnių šalių neturėjo galimybės sukaupti turtų degindamos didžiulius kiekius iškastinio kuro, tačiau dabar jų prašoma to kuro atsisakyti. Susirūpinimą kelia, kad šios išlaidos daugiausia skirtos išmetamų teršalų kiekio mažinimui, o ne pagalbai žmonėms prisitaikyti prie klimato kaitos. Kadangi klimato kaita jau daro didelę įtaką žmonėms visame pasaulyje, finansinė parama, skirta padėti žmonėms prisitaikyti prie šių padarinių, yra dar viena diskusijos apie teisingumą dalis. Tačiau net jei daugiau lėšų būtų skirta klimato kaitos pažeidžiamoms šalims, tarp šalių yra ir kitų giliai įsišaknijusių finansinių nelygybių. Daugelis neturtingų šalių yra įsisukusios į sparčiai didėjančių skolų ratą, o tai gali smarkiai paveikti jų gebą veikti klimato kaitos srityje ir apsaugoti nuo jos poveikio. Apskaičiuota, kad mažesnes pajamas gaunančios šalys išleidžia penkis kartus daugiau pinigų užsienio skoloms padengti nei kovai su klimato kaita. Kai kuriose šalyse skolų grąžinimas sudaro daugiau nei pusę bendrojo vidaus produkto (BVP), ir tai tiesiogiai susiję su šių šalių geba reaguoti į klimato krizę. Dažnai skurdžiose šalyse išteklių gavyba yra pigi ir tai toliau skurdina šias šalis, kurios jau šiandien susiduria su klimato kaitos keliamais pavojais ir nelaimėmis. Kai kurios šalys mano, kad skolų panaikinimas ir kitos skolų lengvatos yra dar vienas esminis klimato kaitos teisingumo įgyvendinimo aspektas.

Tyrėjai pabrėžia didžiulį turtingesnių žmonių poveikį planetai. Turtingiausi pasaulio žmonės per daug pinigų išleidžia mobilumui, įskaitant skraidymą privačiais lėktuvais. Turtingieji neproporcingai

prisideda prie didesnio išmetamų teršalų kiekio, tačiau jie turi ir didelį potencialą mažinti tą kiekį, kartu išlaikant aukštą gerovės ir gyvenimo lygį. Šiandien 10 % namų ūkių, kurie, skaičiuojant vienam gyventojui, išmeta daugiausiai šiltnamio efektą sukeliančių dujų, tenka iki 45 % visų namų ūkių išmetamų dujų!

1.3. Kiek Žemė gali išmaitinti žmonių

Manoma, kad 2022-ųjų pabaigoje žmonių skaičius Žemėje pasieks aštuonis milijardus (Hasell, Roser, 2023). Kyla prieštaringas klausimas: ar mūsų jau ne per daug?

Maždaug prieš 74 tūkst. metų Sumatros saloje, Indonezijoje, pabudo miegantis milžinas. Tobos superugnikalnio išsiveržimas, kaip manoma, buvo didžiausias toks įvykis per pastaruosius 100 tūkst. metų. Sprogimas į atmosferą išmetė 9,5 kvadrilijono kilogramų pelenų, kurių debesys pakilo į apie 47 km aukštį. Didžiulė Azijos teritorija buvo padengta minkštų 3–10 cm storio dulkių sluoksniu. Dulkės ir pelenai padengė vandens šaltinius ir kaip cementas prilipo prie augmenijos. Šios nuosėdos buvo aptiktos net Rytų Afrikoje, už 7 300 km į vakarus nuo išsiveržimo vietos. Kai kurių mokslininkų nuomone, šis išsiveržimas nubloškė pasaulį į vulkaninę žiemą, trukusią dešimtmečius, dėl to beveik išnyko daugelis gyvūnų rūšių. Ieškodami žmogaus gilios praeities šaknų 1993 m. mokslininkai tyrinėjo žmogaus genomą ir pastebėjo, kad, žmonijai drastiškai sumažėjus, visos vėlesnės kartos už Afrikos ribų buvo glaudžiau susiję. Tyrimai atskleidė, kad šioje nestabilioje epochoje, egzistavusioje prieš 50 000–100 000 metų, bendras žmonių skaičius planetoje galėjo siekti tik 10 000. Mažiausiai paveikta pasaulio dalis buvo Afrika, kurioje iki šiol išlieka didelė genetinė žmonių įvairovė. Šiame žemyne tarp tam tikrų žmonių grupių yra didesni genetiniai skirtumai nei

tarp afrikiečių ir europiečių. Išsiveržusio Tobos ugnikalnio padariniai rodo, kad kartais ištisų pasaulio regionų gyventojams iškildavo didžiulis pavojus.

Prabėgo 74 000 metų ir kažkada beplaukių beždžionių rūšys patyrė populiacijos sprogimą, kolonizuodamos beveik visas planetos buveines ir darydamos įtaką net atokiausiems kampeliams. Gilioje praeityje, prieš milijonus metų, mūsų protėviai, pradedant *Homo habilis* akmeniniais įrankiais, o vėliau *Homo erectus* rankiniais kirviais ir ugnimi, galėjo efektyviau medžioti gyvūnus, pasigaminti maistą iš augalų, apdoroti medieną ir kaulus. Maisto terminis apdorojimas jį suminkštino, ir nors vystėsi mažesni dantys, daugiau vietos atsirado smegenims. Nuoseklūs procesai leido sukurti įvairius įrankius (kirvius, grandiklius, strėlių antgalius), formavo protą, ugdė kalbą ir logiką. Ugnis, akmuo, kaulas ir medis padėjo išsiveržti iš ekologinės nišos, kuri riboja visų kitų rūšių žemės gyvūnų paplitimą ir skaičių. Pasikeitusi aplinka, intensyvi medžioklė, kitų genčių konkurencija privertė žmones pasklisti po visą planetą.

2018 m. 10 898 m gylyje Ramiojo vandenyno Marianos tranšėjos dugne mokslininkai rado plastikinį maišelį. Beveik kiekvienas ežeras, miškas ir kanjonas patyrė žmogaus veiklos prisilietimą. Antra vertus, didžiulis individų skaičius ir jų išsiringumas leido žmonijai pasiekti aukštumų, apie kurias nė viena gyva būtybė negalėjo svajoti – suskaidyti atomus, nusiųsti sudėtingą įrangą beveik 1,6 mln. km atstumu stebėti tolimose galaktikose besiformuojančių planetų, sukurti stulbinančią meno ir kultūros įvairovę. Jungtinių Tautų Organizacija prognozavo, kad 2022 m. lapkričio 15 d. planetoje gyvuos aštuoni milijardai žmonių (Hasell, Roser, 2023), tai yra 800 000 kartų daugiau, nei išgyveno po Tobos ugnikalnio katastrofos. Didėjant žmonijos gyventojų skaičiui ir sklaidai planetoje bei augant jų susiskaldymui, ši precedento neturinti gyvūnų rūšies sėkmingos plėtros istorija kelia diskusijas – ar iš tikrųjų planetoje reikia daugiau žmonių.

Žiniasklaida kartais knibždančias žmonių mases vadina „maru Žemėje“. Šiuo požiūriu beveik visos aplinkos problemos, su kuriomis šiuo metu susiduriame – nuo klimato kaitos iki biologinės įvairovės nykimo, konfliktų dėl žemės ir vandens, gali būti siejamos su sprogimą primenančiu žmonių dauginimusi per pastaruosius kelis šimtmečius. 1994 m., kai pasaulio populiacija tesiekė 5,5 milijardo, mokslininkai diskutavo, kad idealus mūsų rūšies dydis būtų 1,5–2 mlrd. žmonių. Taigi ar dabartinis pasaulis yra perpildytas ir kokia tokio globalaus žmonijos dominavimo ateitis?

Jau tolimoje praeityje žmones neramino gyventojų populiacijos augimas. XX a. 9-ojo dešimtmečio pabaigoje senoviniame Sipparo mieste (centriniame Irake) Bagdado universiteto archeologų komanda kasinėjo sugriautą biblioteką. Tarp smėlio, dulkių ir senovinių sienų jie rado 400 molinių lentelių – įrašų, daugiau nei tris su puse tūkstančio metų pragulėjusių tose pačiose lentynose, į kurias jas kada sudėjo babiloniečių rankos. Keturi įrašai buvo ypatingi – juose buvo istorinių žinių, kurių fragmentų rasta kitose Mesopotamijoje išbarstytose lentelėse. Šie įrašai labai suintrigavo istorikus.

„Dar nebuvo praėję dvylika šimtų metų [nuo žmonijos atsiradimo], kai žemė išsiplėtė ir žmonių daugėjo“, – sakoma Atra-Hasyje (liet. „Aukščiausias išminčius“), epinėje poemoje, kurią anoniminis raštininkas maždaug XVII a. prieš mūsų erą išspaudė į molį (1.2 pav.). Tai Mesopotamijos versija apie visur išplitusį Didįjį potvynį, daugybę formų randama visose pasaulio kultūrose. Šiame epe pasakojimo



1.2 pav. Dantiraščio lentelė su Atra-Hasio epu (viešo naudojimo failas: Bm-epic-g.jpg.)

herojus Atra-Hasis pabėga nuo tvano kartu su savo šeima, todėl dievų kerštas nepasiekia savo tikslo – visiškai sunaikinti žmoniją. Epe galima įžvelgti vieną iš ankstyviausių perteklinio gyventojų skaičiaus paminėjimų istoriniuose įrašuose. Senovės pasakojime dievus erzina žmonių minios kuriamas „triukšmas“ ir „šurmuly“, „žemė, kuri užia kaip jautis“, jiems kelia stresą žmonių reikalavimai. Atmosferos dievas Enlilis nusprendžia išleisti keletą negandų, kad vėl sumažėtų žmonių skaičius – tai maras, badas ir sausros, besikartojantys reguliariai kas 1200 metų. Enlilis suplanuoja didžiulį potvynį... ir prasidea klasikinė laivo statymo istorija. Apskaičiuota, kad maždaug tuo metu, kai buvo parašytas Atra-Hasis, pasaulyje buvo 27–50 mln. žmonių, šiandien tai atitinka 0,3–0,6 % planetą savo namais vadinančių žmonių skaičiaus.

Epinė poema visgi nėra mokslinis tyrimas, kuriuo galime patikimai remtis. Kitą tūkstantmetį senovės mokslininkai tylėjo apie bet kokias gyventojų problemas ir tik Senovės Graikijoje vėl apie tai imta mąstyti. Po spartaus augimo laikotarpio, kai Atėnų gyventojų skaičius padvigubėjo, filosofas Platonas apgailestavo: „Tai, kas dabar likę, yra tarsi ligų išvarginti kūno griaučiai; turtinga dirva nualinta ir liko tik plikas karkasas.“ Jis tikėjo griežta valstybės gyventojų kontrole ir galiausiai padarė išvadą, kad idealiam mieste turi būti ne daugiau kaip 5040 piliečių. Jo nuomone, geras būdas riboti bet kokių gyventojų perteklių yra kolonijų steigimas, bet jautė ir mažesnio vartojimo svarbą. Veikale „Respublika“, parašytame apie 375 m. pr. m. e., Platonas aprašo du įsivaizduojamus miestus-valstybes. Vienas sveikas, o kitas „prabangus“ ir „karščiujantis“. Pastarojo gyventojai per daug išlaidauja ir valgo, pasiduoda vartotojiškumui, kol „neperžengia būtinybių ribą“. Deja, ši moraliai nuskurdusi miestas-valstybė galiausiai imasi grobti kaimynines žemes, nes be papildomų išteklių nebegali išlaikyti tiek daug savo gobšių gyventojų. Savo darbais Platonas pradėjo diskusiją, kuri

tęsiasi ir šiandien: ar problema yra žmonių populiacijos augimas, ar jos suvartojami ištekliai?

Po Platono praėjo daugiau nei penki šimtmečiai ir vėl atsinaujino diskusija dėl pasaulinio žmonių populiacijos augimo masto. Krikščionių teologas Kvintas Tertulianas, gyvenęs romėnų mieste Kartaginoje 200-aisiais mūsų eros metais, manė, kad visas pasaulis jau ištirtas, o žmonės planetai tapo našta, „nes gamta mūsų nebegali išlaikyti“. Manyta, kad maras, badas, karai ir žemės drebėjimai yra tarsi priemonės apkarpyti žmonių prieaugį. Nepaisant šių samprotavimų, mokslininkai nerado istorinių visuomenių, kurios žlugo dėl per didelio gyventojų skaičiaus ar per didelio vartojimo. Tuo metu bendras žmonių skaičius planetoje siekė 190–256 milijonus. Per ateinančius 1500 metų pasaulio žmonių skaičius išaugo daugiau nei tris kartus. Galiausiai šis nerimas virto panika.

Mokslinė revoliucija padarė didžiulį šuolį kirvio naudotojo galvoje – jis ėmė keisti supantį pasaulį. Tradiciškai buvo manoma, kad mokslinė revoliucija prasidėjo nuo Koperniko revoliucijos (1543 m.), kai buvo pereita nuo geocentrinio visatos supratimo prie heliocentrinio, ir baigėsi Izaoko Niutono 1687 m. darbais, kai jis savo veikalė „Principia“ paaiškino judėjimo ir visuotinės gravitacijos dėsnius. Mokslo pasaulis ir mokslinis metodas metė iššūkį religinės minties viršenybei. Buvo pradėti sistemingi stebėjimai, matavimai ir eksperimentavimai formuluojant, tikrinant ir modifikuojant hipotezes.

Pasibaigus maro epidemijoms, maždaug nuo 1350 m. pasaulio gyventojų skaičius nuolat augo. Šis augimo tempas suintensyvėjo XVIII a., prasidėjus pramonės revoliucijai. Amžiaus pabaigoje pasaulio gyventojų skaičius siekė kiek mažiau nei vieną milijardą, o XIX–XX amžių sandūroje jų buvo maždaug 1,6 mlrd. Apie 1940 m. šis skaičius išaugo iki 2,3 mlrd. Sparčiausiai gyventojų padaugėjo 1950–1986 metais. Per 37 metus medicinos pažanga ir didesnis žemės ūkio produktyvumas žmonių skaičių padidino nuo 2,5 iki

5 milijardų. Spartesnis augimas, prasidėjęs 1950 m. (daugiau nei 1,8 % per metus), sutapo su labai išaugusia maisto gamyba – tai lėmė žemės ūkio industrializacija, kurią sukėlė Žalioji revoliucija. Žalioji revoliucija – žemės ūkio derlingumo didinimas besivystančiose šalyse – prasidėjo 1943 m. Meksikoje. Pokyčiai apėmė naujų augalų veislių (kviečių, ryžių, kukurūzų) ir genetiškai modifikuotų organizmų kūrimą, modernių technologijų diegimą, mineralinių trąšų, pesticidų naudojimą. Žmonių populiacijos augimo greitis pasiekė aukščiausią tašką 1964 m. – apie 2,1 % per metus. 1960 m. žmonių skaičius sudarė tris milijardus, po 14 metų (1974 m.) – keturis milijardus, dar po 13 metų (1987 m.) – penkis milijardus, po 12 metų (1999 m.) – šešis milijardus, po 11 metų (2010 m.) – septynis milijardus, o po 12 metų (iki 2022 m. pabaigos) – 8 milijardus. Manoma, kad 2023 m., kai Kinijos gyventojų skaičius pradės mažėti, Indija aplenks Kiniją kaip daugiausiai gyventojų turinčią valstybę pasaulyje. Iki 2050 m. aštuonios šalys sudarys daugiau nei pusę prognozuojamo viso gyventojų skaičiaus prieaugio: Indija, Nigerija, Pakistanas, Kongo Demokratinė Respublika, Etiopija, Tanzanija, Filipinai ir Egiptas. Kartu prognozuojama, kad iki 2050 m. net 61 šalyje gyventojų mažės. Spartus gyventojų skaičiaus augimas ir jo priežastys ir toliau yra pagrindinė kliūtis siekiant tvaraus vystymosi tikslų, panaikinant badą ir skurdą, siekiant lyčių lygybės bei gerinant švietimą ir sveikatos priežiūrą. Visgi kiekvieno žmogaus poveikis aplinkai turtingose šalyse yra daug didesnis nei neturtingose. Mažiausiai išsivysčiusiose šalyse bendras gyventojų skaičius nuo šiek tiek daugiau nei 1 mlrd. 2020 m. padidės iki 1,76 mlrd. 2050 metais. Daugiau negu pusė pasaulio gyventojų per likusį šimtmetį gyvens Afrikoje į pietus nuo Sacharos.

Praėjus vos vienai kartai po Niutono paskelbtų darbų, mokslas ir technologijos atskleidė žmonėms radikaliai naują gamtos vaizdą, kilo minčių, kad ją galima „patobulinti“. Nauji žemės ūkio metodai

leido įdirbti anksčiau nederlingą ar neekonomišką žemę. Iki XIX a. apie 80 % pasaulio gyventojų buvo žemdirbiai, tačiau pramonės revoliucija pakeitė žmonių gyvenimą ir darbą, pritraukdama milijonus žmonių į miestus dirbti gamyklose. Šis laikotarpis visiškai pakeitė pasaulį ir žmonių gyvenimo būdą, paskatino masinę pramoninio ūkininkavimo praktiką, kuri, nepaisant naudos, dabar prisideda prie daugybės grėsmių aplinkai ir sveikatai, tokių kaip gyventojų skaičiaus perteklius, visuotinis atšilimas, rūšių naikinimas, požeminio vandens išsekvojimas ar endeminis nutukimas.

Iki XIX a. pradžios intelektualai, tokie kaip Thomas Malthusas, numatė, kad žmonija išsekins savo turimus išteklius, nes ribotas žemės plotas nepajėgs išlaikyti gyventojų, turinčių beribį augimo potencialą. Anglų dvasininkas Th. Malthusas savo garsųjį veikalą „Gyventojų raidos principai“ (1798 m.) pradėjo nuo dviejų svarbių pastebėjimų: „visi žmonės turi valgyti ir visi mėgsta seksą“. Pasak jo, šie paprasti faktai galiausiai lems, kad žmonijos poreikiai viršys planetos atsargas. Jo nuomone, nekontroliuojamas gyventojų skaičius didėja geometrinio santykiu, o pragyvenimo poreikiai didėja tik aritmetiniu santykiu. Skaičiai rodo pirmosios galios begalybę, palyginti su antrąja. Pagal Th. Malthuso teoriją, kai gyventojų skaičius viršija žemės ūkio pajėgumus, kyla badas arba karas dėl išteklių, o tai lemia skurdą ir gyventojų mažėjimą. Kitaip tariant, didelis žmonių skaičius didina palikuonių skaičių, ir nors atsiranda daugiau darbo rankų, nebūtinai padaugėja gebančių gaminti maistą. Šios išvalgos vieniems įžiebė baimę, o kitiems – pyktį, kurie sklido visuomenėje dešimtmečius. Pirmieji manė, kad reikia kažką daryti, kad žmonių skaičius būtų kontroliuojamas, kiti – kad riboti žmonių skaičių yra absurdiška ar neetiška, todėl reikėtų didinti maisto gamybą. Ypač kritiškai vertinti Anglijoje prieš šimtus metų priimti įstatymai vargšams, kuriais remiantis buvo mokamos išmokos skurdžiai gyvenantiems, padedama rūpintis jų vaikais, nes manyta, kad tai skatina žmones

kurti didesnes šeimas. Kai buvo paskelbta Th. Malthuso teorija, planetoje gyveno 800 mln. žmonių.

1968 m. pasirodžius Stanfordo universiteto profesoriaus Paulo Ehrlichio ir jo žmonos Anne'os Ehrlich knygai „Gyventojų bomba“, vėl susirūpinta per dideliu gyventojų skaičiumi. Paskata parašyti tokią knygą jiems kilo Indijoje. Važiuojant per Delio lūšnynus juos pribloškė daugybė skurdo apraiškų gatvėse. Knygos autoriams nerimą kėlė masinis badas, kuris, jų manymu, ypač artėja besivystančiose šalyse. Knygoje prognozuojama, kad ateinančiais dešimtmečiais gyventojų skaičiaus augimas sukels badą, visuomenės žlugimą ir kitus socialinius, aplinkosaugos ir ekonominius nesutarimus. P. Ehrlichas gyventojų perteklių įvardijo kaip perteklinio vartojimo veiksnį, teigdamas, kad gyventojų perteklius turėtų būti apibrėžtas tuo, kad gyventojai negali išsilaikyti neišeikvodami neatsinaujinančių išteklių. Knygoje rašoma, kad, nepaisant dabar vykdomų įvairių prevencinių programų, 8-ajame dešimtmetyje šimtai milijonų žmonių mirs iš bado. Šis darbas buvo ir plačiai pripažintas, ir sukritikuotas dėl gyventojų pertekliaus keliamo nerimo. 2018 m. P. Ehrlichas teigė, kad optimalus gyventojų skaičius planetoje yra 1,5–2 mlrd., tačiau 2022 m. nuomonę pakeitė ir pareiškė, kad tvarus žmonių skaičius yra 2–4 mlrd. žmonių. 2017 m. daugiau nei trečdalis iš 50 apklaustų Nobelio premiją laimėjusių mokslininkų teigė, kad žmonių perteklius ir aplinkos blogėjimas yra dvi didžiausios grėsmės, su kuriomis susiduria žmonija.

Žinoma, diskusijos apie tai, kiek žmonių turėtų būti, niekada nebuvo vien akademinės. Kartais jomis bandyta pateisinti persekiojimą, etninį valymą ir genocidą. Kiekvienu atveju buvo siekiama sumažinti konkrečias žmonių grupes, pvz., priklausančias tam tikrai socialinei klasei, religijai ar etnosui. Jau 1834 m., praėjus vos trims su puse dešimtmečio po Th. Malthuso teorijos paskelbimo, Anglijos įstatymai vargšams buvo panaikinti ir pakeisti griežtesniais, nes ši

socialinė klasė (pavadinti „valstiečiais“) per daug dauginasi, o našlaičiai vaikai siunčiami į niūrius, antisanitarinius darbo namus.

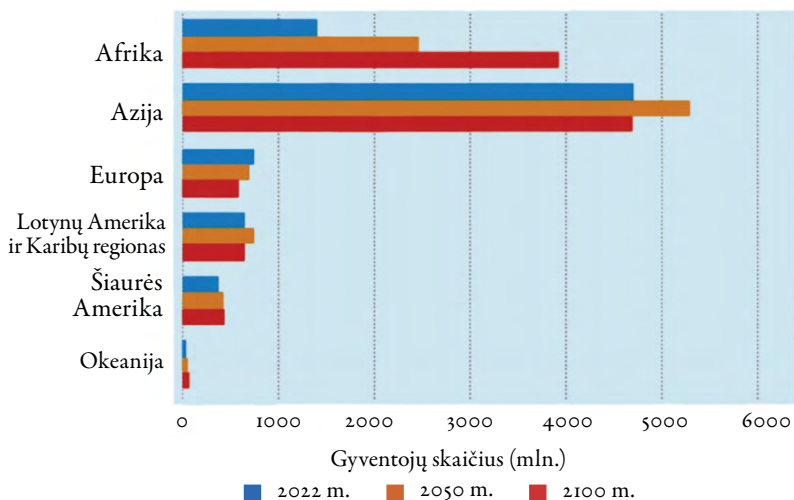
Per ateinančius šimtmečius eugenika (paveldimumo dėsnų taikymas siekiant pagerinti žmonijos prigimtį) buvo užmaskuota kaip gyventojų kontrolė, pavyzdžiui, prievartinė etninių mažumų grupių žmonių sterilizacija 8-ąjį dešimtmetį Amerikoje. 1980 m. Kinija įvedė prieštarą vertinamą vieno vaiko politiką, kuri buvo laikoma gyventojų seksualinių ir reprodukcinį teisių pažeidimu.

Šiandien bet kokia politika, susijusi su žmonių skaičiaus didinimu ar mažinimu, yra beveik visuotinai smerkiama. Manoma, jog tokia politika gali sukelti prievartą ar kitus žiaurumus. Tačiau vieningo sutarimo irgi nėra. Vienaame spektro gale yra tie, kurie mažesnį gimstamumą laiko krize. Kai kurie demografai siūlo apmokestinti bevaišes moteris, nes 2019 m. Europos šalyse vienai moteriai vidutiniškai gimė 1,65 vaiko. Toks reprodukcinis lygis yra mažesnis už būtina, nes, norint išlaikyti tokį patį gyventojų skaičių, gimimų skaičius turėtų būti 2,075. Nors vaisingumo rodiklis (vidutinis vaikų skaičius vienai moteriai) mažėja, jis išlieka aukštas daugelyje Afrikos šalių. Dėl pagerėjusių sveikatos priežiūros paslaugų gyvenimo trukmė ilgėja, o vaikų mirtingumas mažėja. Klimato kaita, skurdas ir didesnis gyventojų skaičius skatins migraciją, ir Afrika greičiausiai bus didžiausias emigrantų šaltinis.

Priešinga nuomonė – pasaulio gyventojų skaičiaus augimo lėtėjimas ir stabdymas yra valdomas ir visiškai savanoriškas, nes tiems, kurie to nori, suteikiamos paprasčiausios kontracepcijos priemonės, išplėtotas moterų švietimas. Šios pozicijos šalininkai mano, kad valdydami gimstamumą galėtume ne tik turėti naudos planetai, bet ir pagerinti skurdžiausių pasaulio piliečių gyvenimo kokybę.

Dar kiti pasisako už tai, kad mažiau dėmesio būtų skiriama žmonių skaičiaus pasaulyje koregavimui. Jų teigimu, išteklių kiekis, kurį išnaudoja kiekvienas žmogus, turi daugiau įtakos kolektyvinei

bendruomenei, ir atkreipia dėmesį į tai, kad turtingesnėse šalyse, kuriose gimstamumas mažesnis, vartojimas yra daug didesnis. Sumažinus individualius poreikius, būtų galima sumažinti žmonijos pėdsaką neslopinant gyventojų skaičiaus augimo skurdesnėse šalyse. Vakarų šalių suinterasuotumas mažinti gyventojų skaičiaus augimą mažiau išsivysčiusiose pasaulio šalyse buvo apkaltintas rasizmu, nes Europa ir Šiaurės Amerika apskritai yra tankiau apgyvendintos. Galiausiai yra ir fatališkas „sprendimas“ – tiesiog nieko nedaryti. Šis požiūris remiasi labai nestabilia pasaulio gyventojų dinamika – manoma, kad gyventojų skaičius dar turėtų gerokai išaugti, bet vėliau jis mažės. Skaičiavimai skiriasi, bet tikimasi, kad „žmonių pikas“ bus pasiektas maždaug 2070 ar 2080 m., tada planetoje bus nuo 9,4 iki 10,4 milijardo žmonių (1.3 pav.).



1.3 pav. Gyventojų skaičiaus kitimo prognozė pagal žemynus (Jungtinių Tautų Organizacija, 2022 m.; https://populationmatters.org/the-facts-numbers/?gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspGhB7utdhipMFoVep2Th1DTsrVAcYhjI5QTREb7X7LKa7M_BLz76UBoCMuoQAvD_BwE)

Kai kurie tyrimai ir komentarai gyventojų skaičiaus augimą susieja su klimato kaita. Kritikai sako, kad vien gyventojų skaičiaus augimas gali turėti mažesnę įtaką klimato kaitai nei kiti veiksniai, pavyzdžiui, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija vienam gyventojui. Prognozuojama, kad iki 2050 m., didėjant pasaulio gyventojų skaičiui, mėsos suvartojimas pasaulyje padidės net 76 %, o tai darys poveikį aplinkai, pvz., nyks biologinė įvairovė ir didės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija.

Gyventojų skaičiaus viršijimo hipotezė dažnai aptariama dėl kitų kylančių problemų, tokių kaip biologinės įvairovės nykimas, badas ir netinkama mityba, išteklių išekvojimas ir bendras žmogaus poveikis aplinkai. Taigi, kaip žmonių skaičius planetoje ateityje gali paveikti kelis svarbiausius gyvenimo aspektus – aplinką, ekonomiką ir bendrą gerovę. Palydoviniai vaizdai yra ypač galingas įrankis, atskleidžiantis realybę: iš oro matyti, kad daugelio šalių teritorijos yra pertvarkytos ir pritaikytos žmonėms. Kiek akys užmato, plyti žemės ūkio laukai, driekiasi keliai ir pastatų eilės. Kai kurie kraštovaizdžiai dėl inžinerinių darbų ar miškų kirtimo per kelis dešimtmečius labai pasikeitė. Šie pokyčiai rodo stulbinančią statistiką: jau dabar 38 % planetos žemės paviršiaus naudojama maistui ir kitiems produktams (pvz., kurui) gaminti arba gyvuliams auginti. Mūsų protėviai buvo tik maža planetos faunos dalis, o šiandien mes esame dominuojanti stuburinių rūšis sausumoje. Žmonės sudaro 32 % sausumos stuburinių gyvūnų, o laukiniai gyvūnai – tik 1 % visų, likusi dalis tenka gyvuliams. 1970–2020 m. laukinės gamtos populiacija sumažėjo dviem trečdaliais, o žmonijos populiacija išaugo daugiau nei dvigubai.

Kai kurie žmonės, nerimaujantys dėl žmonijos ekologinio pėdsako, nusprendė turėti mažiau vaikų arba jų neturėti. Šią tendenciją sustiprino 2017 m. tyrimas, kurio duomenimis, išsivysčiusiose šalyse susilaukus vienu vaiku mažiau, per metus žmogaus išmetamas anglies dvideginio kiekis sumažėtų 58,6 tonos. Daugelis tyrimų patvirtina,

kad ne tik gyventojų skaičiaus augimas prisideda prie aplinkos būklės blogėjimo, tačiau ir didėjantis gamtos išteklių poreikis, ypač turtin-gesnėse šalyse. Tiesą sakant, daugelis aplinkosaugininkų dabar mano, kad problemos, su kuriomis šiuo metu susiduriame, daugiausia kyla dėl vartojimo, o ne dėl per didelio gyventojų skaičiaus, todėl žvelgiant iš šios perspektyvos, susirūpinimas per dideliu gyventojų skaičiumi neteisingai perkelia kaltę neturtingesnėms šalims.

Įdomu, kad nors gamtos išteklių naudojimas ir urbanizacija, pavyz-džiui Kinijoje, didina aplinkos naikinimo greitį, tą iš dalies kompensuo-ja „žmogiškojo kapitalo“ – žmonių žinių ir įgūdžių – prieinamumas. Nesvarbu, ar problema yra per daug žmonių, sunaudojami ištekliai, ar abi kartu. Tuo metu, kai buvo parašyta Erlichų knyga (1968 m.), pa-saulyje 27 šalyse moterys per savo gyvenimą vidutiniškai susilaukdavo penkių ar daugiau vaikų. Gyventojų skaičiaus augimo tendencijos iš tikrųjų atrodė tarsi eksponentinės ir tam tikroms gyventojų kartoms kėlė paniką. Šiandien tik 8 šalyse gimstamumo rodikliai viršija penkis vaikus. Taigi svarbu suvokti, kad tendencijos pasikeitė. Naujausiais JT duomenimis, pasaulyje vidutinis vaikų skaičius vienai moteriai yra šiek tiek mažesnis nei 2,3. Didžiausias vidutinis vaikų skaičius vienai moteriai yra Afrikoje į pietus nuo Sacharos – 4,6. Manoma, kad gims-tamumo rodikliai visame pasaulyje sumažės tiek, kad iki 2050 m. nė vienoje šalyje gimstamumas neviršys penkių gimimų vienai moteriai. Vaisingumo rodikliai sparčiai mažėja, kai moterys (ypač mergaitės) ilgiau mokosi ir kai šalys tampa turtingesnės. Kitas reikšmingas veiks-nys yra šeimos dydis. Tam labai svarbi religinė, kultūrinė ir socialinė įtaka, taip pat ekonominiai ir politiniai veiksniai. Ten, kur žmonės ne-gali pasikliauti, kad valstybė jais pasirūpins, jie paprastai kuria didesnes šeimas, kad vaikai galėtų juos išlaikyti. Ten, kur vaikų mirtingumas vis dar didelis, žmonės taip pat siekia turėti daugiau vaikų.

2012 m. Singapūro vyriausybė ėmėsi priemonių, siekdama padi-dinti žemą Singapūro gimstamumo lygį – 2020 m. vos 1,1 gimimo

teko vienai moteriai. Turtingose šalyse yra įprasta tuoktis vėliau ir turėti mažiau vaikų. Singapūre susirūpinta dėl galimų pasekmių šalies ekonomikai, nes pagrindinis ekonomikos svirtas – kuo daugiau yra žmonių, tuo daugiau prekių ar paslaugų jie gali pagaminti ir daugiau vartoti. Taigi gyventojų skaičiaus augimas yra geriausias ekonomikos augimo veiksnys. Susirūpinimas didėjančiu gyventojų skaičiumi besivystančiose pasaulio šalyse kartais laikomas nesąžiningu, nes daugelis išsivysčiusių šalių jau yra tankiai apgyvendintos ir iš dalies per didėjantį gyventojų skaičių pasiekė savo gerovę. Šios galimybės netaikymas besivystančioms šalims laikomas nesąžiningu ir netgi rasistiniu.

Visgi lėtesnis gyventojų skaičiaus augimas ne visada reiškia ekonomikos nuosmukį. Japonijoje jau 1966 m. gimstamumo rodikliai buvo mažesni už reprodukcijos lygį, nes jis staiga sumažėjo nuo maždaug dviejų iki 1,6. Tačiau neatrodo, kad Japonijos ekonomika dėl to labai smuktelėjo. Nors vidutinė japonų šeima turi mažiau vaikų, jie daug investavo į žmogiškąjį kapitalą, akcentavo išsilavinimą, sukūrė labai gerą sveikatos priežiūros sistemą ir yra geras pavyzdys, kad mažėjant gimstamumui nereikia panikuoti.

Gyventojų skaičiui turi įtakos mirtingumas, migracija ir vaisingo amžiaus žmonių dalis. Daugelyje šalių migracija auga. Kai imigracija yra didesnė nei emigracija, ji tiesiogiai didina žmonių skaičių, bet gali padidinti ir gimstamumą. Dažniausiai taip yra dėl to, kad migrantai daugiausia yra jaunesni darbingo amžiaus žmonės, todėl yra didesnė tikimybė susilaukti vaikų, kai kurie iš jų kilę iš šalių ar kultūr, kuriose tradiciškai didesnis gimstamumo rodiklis ir šeimų dydis. Nemažai šalių migracija yra nukreipta į išorę, o tai reiškia, kad jų gyventojų skaičius mažėja. Kai išvyksta reprodukcinio amžiaus žmonės (dažniausiai taip ir būna), gimstamumo rodiklis dar labiau mažėja (pavyzdžiui, Bulgarijoje ir Rumunijoje, Baltijos šalyse). Yra ir kitų būdų, kaip auginti šalies ekonomiką, pavyzdžiui, imigracija dažnai yra naudingas naujų darbuotojų šaltinis ir ji nedidina visos žmonijos. Tačiau kai

kuriose šalyse imigracija yra ginčytina ir labai politizuota tema, o dėl kultūrinių pokyčių ji suvokiama neigiamai. Imigracijos privalumai iš esmės yra labai nevienodi, nes vienos šalies ekonomika skatinama kitos, iš kurios darbuotojai išvyksta, sąskaita.

Tačiau demografiniai veiksniai ne tik daro įtaką aplinkai ir ekonomikai – jie taip pat yra galinga paslėpta jėga formuojant žmonių gyvenimo kokybę visame pasaulyje. Manoma, kad absoliutus žmonių skaičius šalyje nėra svarbiausias veiksnys. Šalies ateities perspektyvas lemia jos gyventojų augimo arba mažėjimo tempas ir kaip greitai viskas keičiasi. Pietų Afrikoje gimstamumo rodikliai mažėjo, kontraceptikų vartojimas didėjo, o gyventojų skaičiaus augimo tempas lėtėjo. Tuo pačiu metu kai kuriose Centrinės Afrikos šalyse dėl didelio vaisinumo ir ilgesnės gyvenimo trukmės gyventojų skaičius vis dar auga labai greitai. Kai kuriose vietovėse jis gerokai viršija 2,5 % per metus. Daugelyje šių šalių gyventojų skaičius padvigubės kas 20 ir daugiau metų. Netgi vieno regiono šalys gali eiti stebėtinai skirtingais keliais. Pavyzdys – Rytų Afrikos kaimynės Burundis ir Ruanda. Pirmoji vis dar auga labai sparčiai – 5,3 gimdymo tenka vienai moteriai, o antrosios augimas lėtėja – 2020 m. 3,9 gimdymo teko vienai moteriai, palyginti su 4,5 gimdymo 2010 metais. Vienas gerai dokumentuotas veiksnys, lėtinantis žmonių kiekio augimo tempą, yra moterų išsilavinimas. Jis didina vidutinį moters gimdymo amžių. Nors žmonijos plitimo po visą planetą sparta dar neapibrėžta, tačiau kai kurios trajektorijos rodo, kad žmonių populiacija kurį laiką greičiausiai toliau augs, nepaisant bet kokių galimų pastangų ją sumažinti. Taip yra todėl, kad gyventojų kaita nėra susijusi tik su gimstamumu – įtakos turi ir gyventojų struktūra, bendras vaisingo amžiaus moterų skaičius ir vis auganti migracija.

Viename 2014 m. tyrime nustatyta, kad net ir įvykus tokiai didelei tragedijai kaip mirtina pandemija, pasaulinis karas arba drakoniška vieno vaiko politika, iki 2100 m. gyventojų skaičius vis tiek išaugs iki 10 milijardų. Net ir įvykus didelio masto nelaimėi, kai per penkerius

metus amžiaus viduryje žūtų du milijardai žmonių, apie 2100 m. gyventojų skaičius išaugtų iki 8,5 milijardo. Kadangi ateinančiais dešimtmečiais žmonijos dominavimas tik stiprės, būdo, kaip gyventi kartu ir saugoti aplinką, paieška gali būti didžiausias iššūkis visai žmonių populiacijai.

1.4. Sprogstanti tundra

Mokslininkai mano, kad beveik negyvenamas kraštovaizdis planetos šiaurėje, amžinojo įšalo sritis, patiria radikalių pokyčių, ir tai yra nerimą keliantis ženklas. Naujausi tyrimai rodo, kad Arktis šyla greičiau, nei buvo manyta – net keturis kartus greičiau nei likęs pasaulis.

Pastaraisiais metais Arkties kraštovaizdyje formuojasi milžiniški krateriai. Pirmąją smegduobę apie 20 m skersmens ir iki 52 m gylio 2014 m. sraigtasparnio pilotai aptiko Rusijos Jamalo pusiasalyje (1.4 pav.). Mokslininkai ją įvardijo kaip visiškai naują amžinojo įšalo



1.4 pav. Po sprogimo atsivėrusi gili cilindrinė tuštuma (Gray, 2020)

ypatybę. Palydovinių vaizdų analizė vėliau atskleidė, kad smegduobė susiformavo 2013 m. rudenį. Staiga atsiradusios smegduobės palieka pilką ledo ir amžinojo įšalo grumstų kratinį skurdžiamame Šiaurės peizaže bei suaižėjusią žemę aplink kraterio kraštą. Atidengtos augalų šaknys turi apdegimo žymių. Nuošalioje Arkties zonoje amžinajame įšale išsiveržus požemio dujoms, atsiranda didžiulės nerimą keliančios pažaidos. Kai kurie mokslininkai mano, kad milžiniški krateriai Sibiro amžinajame įšale atsiranda dėl šiltesnės žemės temperatūros spontaniškai sprogdant požeminėms dujų prisikaupusioms ertmėms.

1.5. Smegduobių atradimas Sibire

Kelių dešimčių metrų pločio smegduobės atradimas Jamalo pusiasalyje iškėlė daugybę hipotezių, įskaitant meteorito smūgį arba giluminių dujų migraciją dėl visuotinio atšilimo. Smegduobių, rastų Jamalo ir Gydano pusiasaliuose, kilmė aiškinama skirtingai, atsižvelgiant į nevienodus kriosferos procesus. Arktiniams ir antarktiniais regionams būdingos ledo luitų iškeltos kalvos yra vadinamos *pingais*. Pingas – kūgio arba kupolo formos ledinės šerdies kalva. Ji susidaro, kai įšalusios žemės sluoksnį išstumia po juo patekęs vanduo ir šis užšąla. Užšalęs vanduo plečiasi ir susidaro kalva. Pingai formuojasi lėtai, dešimtmečius ir ilgiau, ledo luitui žiemą plečiantis ir keliant gruntą. Dauguma pingų nesiekia 20 m aukščio ir 250 m skersmens, tačiau kai kurie yra daug aukštesni ar platesni. Aukščiausias Aliaskoje surastas pingas virš aplinkinių lygumų yra iškilęs apie 54 metrus. Kai kurių Kanadoje susidariusių pingų amžius siekia 1200 metų. Arkties pingai linkę sugriūti, o ne sprogti, nors palydoviniai vaizdai rodo, kad kai kurie pingai sprogdą atverdami žemės paviršiuje milžinišką žaizdą. Visgi šiaurės vakarų Sibire aptikti pingai elgiasi kitaip: jie labai greitai išauga iki kelių

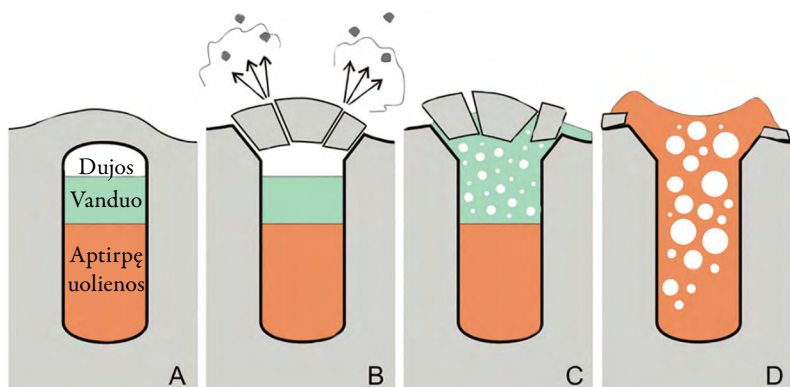
metrų ir staiga išpučia viršūnę. Augimą sukelia po žeme susikaupusios dujos. Yra įrodymų, kad dujų emisijos kraterio gyvavimo ciklas gali būti labai trumpas – nuo 3 iki 5 metų. Vienas gluosnių krūmų žiedų, rastų tarp sprogo nuolaužų (krateris atrastas 2014 m.), tyrimas rodo, kad augalai stresą patyrė apie 1940 metus. Tyrėjai teigia, kad taip galėjo nutikti dėl žemės deformacijos.

Pingams susidaryti labai svarbus *talikas* – išstisus metus neužšalantis žemės sluoksnis amžinojo įšalo zonoje. Veikiant kriogeniniam hidrostatiniam slėgiui, pingas yra, vanduo kaupiasi uždaroje šąlančio taliko sistemoje. Kai lieka neužšalusi tik šlapios žemės šerdis, joje susikaupia didelis vandenyje ištirpusio anglies dioksido kiekis.

Antra vertus, Sibiro amžinajame įšale dideli metano dujų telkiniai sulaikomi lede, todėl susidaro vadinamasis *dujų hidratas*. Metano hidratas – tai į ledą įšalusios gamtinių metano dujų molekulės. Ištirpdžius kubinį centimetrą tokio ledo, išsiskiria daugiau kaip 160 cm³ metano dujų. Metanas išlieka stabilus ir užšalęs esant tam tikroms temperatūroms, tačiau amžinajam įšalui šylant ir mažėjant jo vidiniam stiprumui, įšalo geba sulaikyti požeminių dujų kaupimąsi mažėja ir dujų sankaupos didėja.

Vis dar neaišku, kodėl staiga atsiranda šios didžiulės amžinojo įšalo smegduobės. Šviežias atidengtas purvas išsiskiria žalios tundros ir tamsių ežerų fone. Žemių ir uolienu sluoksniai, esantys cilindrinės skylės viduje, yra beveik juodi, o smegduobės apačioje formuojasi vandens telkinys. Naujausias krateris buvo pastebėtas 2022 m. rugpjūčio mėnesį. Bendras kraterių, aptiktų Jamalo ir kaimyniniame Gydano pusiasaliuose, skaičius padidėjo iki 17.

Smegduobių, arba kraterių, susidarymas daugeliui yra nerimą keliantis ženklas, rodantis, kad šis šaltas, beveik negyvenamas planetos šiaurės kraštovaizdis patiria radikalius pokyčius. Naujausi tyrimai patiekia kai kurias užuominas apie tai, kas gali nutikti. Paprastai procesai prasideda nuo metano dujų kaupimosi amžinajame įšale (1.5 pav.).



1.5 pav. Kriogeninio išsiveržimo rūšys: A – prieš sprogimą, B – pneumatinis, C – hidraulinis ir D – freatinis
(failas: Cryovolcanism on the Earth.png, CC BY-SA 4.0)

Didėjant slėgiui šiose dujų sankaupose, susidaro kalnas. Kai slėgis pasiekia kritinį tašką, kurį apibrėžia viršutinio žemės sluoksnio tankis, įvyksta sproginimas, šimtus metrų nuo epicentro išmetantis grunto ir ledo blokus. Susidariusių kraterių gylis gali būti nuo 30–40 m, o plotis – daugiau nei 40 metrų. Akivaizdu, kad šios skylės formuojasi pamažu nykstant įšalui, kai amžinasis įšalas tirpsta ir pasislenska žemiau paviršiaus. Susidaręs didelis spaudimas sukuria milžinišką jėgą. Kodėl spaudimas toks didelis, dar lieka paslaptimi.

Šiltesniam klimatui ploninant Sibiro amžinojo įšalo aktyvųjį sluoksnį, kylant amžinojo įšalo ir ypač jo viršutinio sluoksnio temperatūrai, sprogstantys krateriai į orą išskiria daug metano. Metanas yra šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Jos sulaiko Žemės šilumą atmosferoje ir skatina klimato šilimą. Kuo daugiau ore metano, tuo labiau planeta šyla. Mokslininkai teigia, kad šie krateriai ir kiti pokyčiai byloja apie spartų Arkties šilimą ir amžinojo įšalo tirpimą. Tai gali turėti rimtų pasekmių Arkties gyventojams ir pasauliui. Amžinasis įšalas – tai žemė, kurioje bent dvejus metus iš eilės išlieka žemesnė nei

o °C. Trumpiau tariant, tai amžina *kriotinė* žemė. Išskyrus labai ypatingas aplinkybes, amžinasis įšalas nepasklinda žemės paviršiuje dėl saulės spinduliuotės ir vasarą, atšildant viršutinį žemės sluoksnį, dėl aukštesnės nei užšalimo temperatūros. Išimtį sudaro daugiamečiai sniego sluoksniai arba ledynai. Viršutinis sluoksnis, kuris užšąla ir atitirpsta sezoniškai, vadinamas aktyviuoju sluoksniu. Tam tikrame gylyje temperatūra yra pastovi ištisus metus; tai yra „nulinės metinės temperatūros“ gylis. Nuo šio gylio temperatūra kas kilometrą pradeda kilti 25–30 °C.

Kai kurie mokslininkai atsirandančias smegduobes lygina su *kriovulkanais* – ugnikalniais, kurie spjaudo ledą, o ne lavą, ir ieško panašių reiškinių Saulės sistemos planetose ar jų palydovuose. Manoma, kad tokie reiškiniai dažni kai kuriose Saulės sistemos dalyse – Plutone, Saturno palydove Titane ir nykštukinėje Cereros planetoje. Kriovulkaninė veikla vėliau buvo pastebėta ir kituose Saulės sistemos palydovuose – Europoje, Ganimede ir Mirandoje. Kriovulkanai gali išskirti vandens ir amoniako mišinį, kuris sudaro itin šaltą skystį, tirpstantį –95 °C temperatūroje. Visgi, tiriant daugiau Arkties kraterių, smegduobės tapo žinomos ne kaip kriovulkanai, o kaip „dujų emisijos krateriai“.

Panašūs randai ir kalvos, susiję su dujų ertmių išsiveržimais, buvo aptikti Karos jūros dugne, prie pat Jamalo pusiasalio, dar kiti rasti Barenco jūroje. Tačiau Arkties sausumoje nieko panašaus anksčiau nebuvo pastebėta.

Vienas neseniai ištirtas krateris, vadinamas Erkutos krateriu, susidarė išdžiūvusio ežero vietoje. Tai 20 m skersmens skylė. Ežerui išnykus, po juo liko neužšalęs dirvožemio lopinėlis, žinomas kaip *talikas*, kuriame kaupėsi dujos. Pagrindinė tokių kraterių tyrimų problema yra nustatyti dujų šaltinį, kuris kaupiasi po amžinojo įšalo paviršiumi. Mat kai krateris susidaro, dujų jame jau nebėra. Vietiniai šiaurės elnių augintojai tvirtina matę liepsnas ir dūmus

sprogus krateriui 2017 metais. Netoliese esančios gyvenvietės (maždaug 33 km nuo smegduobės) gyventojai tvirtino, kad dujos degė apie 90 minučių, o liepsnos siekė 4–5 metrų aukštį. Yra hipotezių, kad gelmėje gali vykti nežinomas geocheminis procesas. Nusileidę į smegduobės dugną telkšančiame vandenyje mokslininkai aptiko didesnę metano kiekį. Tai rodo, kad dujos gali skverbtis iš apačios, nes giliai po amžinuojų įšalu esančios metano dujų sankaupos patenka į po lediniu dangčiu esančią neužšalusią žemę.

Yra ir kitų hipotezių. Pagal vieną iš jų, dideli anglies dioksido kiekiai, ištirpę šių neužšalusių ertmių vandenyje, pradeda skirtis, kai vanduo ima užšalti. Likęs vanduo jau nebegali išlaikyti didelio kiekio ištirpusių dujų. Pagal kitą hipotezę, alternatyvus metano ir anglies dioksido šaltinis galėtų būti neužšalusiose žemės ertmėse klestintys mikroorganizmai, kurie skaido organines medžiagas ir išskiria dujas. Visgi nustatyta, kad metaną gaminančių mikrobų aktyvumas neseniai susiformavusių kraterių dugne yra ypač mažas ir jie negali išskirti daug didelį slėgį sukeliančių dujų.

Tačiau metanas gali skirtis ir iš paties ledo. Dujos gali įstrigti amžinojo įšalo vandens kristaluose ir sudaryti keistą sušalusią medžiagą, vadinamą *dujų hidratu*. Jam tirpstant išsiskiria metano dujos. Manoma, kad neužšalusioje žemės ertmėje susikaupusios dujos stumia 5–6 m aukštyrą kietą ledo dangtelį, kol jis plyšta ar suyra. Dangtelio sproginimas iš tiesų yra įspūdingas. Virš dujomis užpildytos ertmės esantis purvas ir ledas kartu su didesne dalimi žemės ar uolienų išsviedžiami į išorę iki 300 m atstumu. Ši didelė jėga į išorę išmeta iki 1 m skersmens žemės luitus. Po sproginimo susidaro krateris su pakeltu parapetu, plačia viršutine ir siauresne cilindrine skylė. Per metus ar dvejus įgriuva prisipildo vandens.

Šiame retai apgyvendintame regione nerimą kelia tai, kad smegduobės kartais atsiranda arti gyvenviečių. Antra vertus, regione yra daugybė naftos ir dujų verslovių vamzdynų, kuriais pasiekiami

po amžinuojų įšalo slypintys iškastinio kuro telkiniai. Atrodo, kad smegduobių yra daugiau, nei buvo manyta anksčiau, nes iki 2013 m. nieko apie jas nebuvo žinoma. Tikimasi sukurti algoritmą, kuris galėtų numatyti kraterius prieš jiems susiformuojant, o palydovinėse nuotraukose ieškoma dujų emisijos sukurtų galimų kalvų.

Tokių smegduobių plitimas šiuo metu yra lėtas procesas. Atrodo, kad po sprogo dauguma jų greitai išnyksta kraštovaizdyje. Gana arti upės esančią smegduobę, kuri vietomis buvo 70 m pločio ir daugiau nei 50 m gylio, vanduo užtvindė vos per keturias dienas. Kitos smegduobės užtvindomos per ilgesnį laiką. Per metus ar dvejus sprogo paliktos žaizdos kraštai išnyksta ir duobė prisipildo vandens. Ji beveik nesiskiria nuo tūkstančių kitų mažų ežerėlių, žinomų kaip termokarstiniai ežerai. Kiek šių ežerų yra išmetamų dujų suformuotos smegduobės, vis dar neaišku. Kai kurie tyrinėtojai bandė nustatyti kraterių kilmę, matuodami ežeruose ištirpusias chemines medžiagas, tačiau jiems nepavyko nustatyti jokių dėsningumų.

Sužinoti šių įvykių dažnį skatina daugiau nei paprastas smalsumas. Vis didėja susirūpinimas, kad kraterių atsiradimas šiaurės vakarų Sibire gali būti susijęs su platesniais pokyčiais Arktyje dėl klimato kaitos. Paviršiaus oro temperatūra Arktyje šyla dvigubai greičiau, palyginti su pasaulio vidurkiu, todėl vasaros mėnesiais didėja amžinojo įšalo atšilimo lygis.

Arkties amžinojo įšalo viduje yra didžiuliai anglies kiekiai – maždaug dvigubai daugiau, nei šiuo metu jos yra atmosferoje. Dažniausiai tai yra sušalusių augalų liekanos ir kitos organinės medžiagos, įstrigusios ledo kristaluose ir sudarančios dujų hidratų. Žemei atitirpus, mikroorganizmai gali suskaidyti organines medžiagas ir išskirti metaną bei anglies dioksidą kaip šalutinius produktus. Lede esantis metanas pamažu išsiskiria ir kaupiasi požeminėse ertmėse. Šis iš amžinojo įšalo ištekanis metanas, kaip šiltnamio efektą sukeliančios dujos, gali paspartinti visuotinį atšilimą ir dar labiau paskatinti tirpimą.

Krateriai Jamale atskleidė ir kitą galimą procesą, kuris dar labiau padidins sudėtingo grįžtamojo ryšio tarp kylančios temperatūros, amžinojo įšalo atšilimo ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų neapibrėžtumą. Jei paaiškės, kad giliai po žeme amžinajame įšale esančios metano nuosėdos pradeda skverbtis aukštyn, tai gali būti ženklas, kad virš tundros esanti užšalusi ledo kepurė darosi pralaidesnė. Tokie pokyčiai Arktyje gali paskatinti greitesnį pasaulinį planetos atšilimą, kartu jie prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio atmosferoje didėjimo.

1.6. Kaip pasaulinis atšilimas keičia amžinąjį įšalą

Amžinasis įšalas yra pagrindinė *kriosferos* sudedamoji dalis ir šiauriniame pusrutulyje jis užima maždaug ketvirtadalį Žemės sausumos ploto. Pasikeitusį paviršiaus energijos balansą, sukeliantį amžinojo įšalo degradaciją, gali lemti regioniniai klimato pokyčiai, pvz., ilgesnė ar šiltesnė vasara arba storesnis žiemos sniego sluoksnis, kuris izoliuoja žemę nuo atmosferos. Kita priežastis gali būti žmogaus sukeltas arba natūralus miškų nykimas, pavyzdžiui, dėl miško gaisrų. Kaip reaguos amžinasis įšalas, kai žemė sušils dėl vienos iš šių priežasčių? Jei žemė sušils, pakils krašutinė paviršiaus temperatūra, pagilės aktyvusis sluoksnis, o amžinasis įšalas plonės. Iš tiesų didelį susirūpinimą amžinojo įšalo degradacija kelia todėl, kad į atmosferą išskiriami didžiuliai CO_2 ir CH_4 (metano) kiekiai ilgai gali paspartinti visuotinį atšilimą.

Pastaraisiais dešimtmečiais toliau kylant pasaulinei paviršiaus temperatūrai, padidėjo ir amžinojo įšalo degradacijos rizika. Amžinojo įšalo degradacija gali paveikti klimato sistemą dėl daugelio veiksnių, tokių kaip vietinė ekologinė pusiausvyra, hidrologiniai

procesai, energijos mainai ir anglies ciklas, taip pat inžinerinė infrastruktūra šaltuose regionuose ir net ekstremalūs oro reiškiniai. Nemažai amžinojo įšalo telkinių yra Sibire, Jamalo ir Gydano pusiasaliuose. Čia gyvenimą vis dar lemia po kojomis esantis amžinasis įšalas. Žiemą temperatūra čia dažnai nukrenta iki -50°C . Jamalo ir Gydano pusiasalių vietovėse vyrauja žemyninis subarktinis klimatas. Temperatūra regione per metus labai skiriasi: vidutinė oro temperatūra svyruoja nuo $+15^{\circ}\text{C}$ liepos mėnesį iki -25°C sausio mėnesį. Vidutinis metinis kritulių kiekis yra apie 400–500 mm, mažiausias kritulių kiekis žiemą – apie 20 mm (vasario mėnesį), o didžiausias vasaros mėnesiais – apie 60–70 mm (liepos ir rugpjūčio mėn.). Tai yra tipiškos žemarktinių ir subarktinių žemynų sąlygos. Pavyzdžiui, Verchojanske, esančiame 67° Šiaurės platumos, sausio mėnesio vidutinė temperatūra yra -48°C ir beveik nėra kritulių, tačiau šiltuoju metų laiku penkis mėnesius temperatūra viršija 0°C , o liepą pasiekia ir 17°C . Vietovėse, kur yra amžinasis įšalas, šiltomis vasaromis sezoninis atšilimas gali siekti iki 2–3 metrų gylio, o ten, kur jo nėra, sezoninis žemės įšalimas gali pasiekti panašų gylį. Subarktinuose regionuose kritulių iškrenta mažai – nuo 180 iki 600 mm per metus. Didžioji dalis kritulių iškrenta lietaus pavidalu ir daugiausia vasarą. Nepaisant to, gana aukšta vasaros temperatūra skatina didesnę garavimą, todėl dažnai dirvožemyje trūksta drėgmės.

Kylant temperatūrai, keičiasi aplinka, todėl galimos įvairios ligos. Tirpstant storam Arkties ir Antarkties ledui, šylant jūroms bei orui, vandenynuose keičiasi gyvūnų rūšys. Audinės, pelėkiniai banginiai, kašalotai keliauja į šiaurę, o grizliai, baltauodegiai elniai, kojotai ir kiti gyvūnai bei paukščiai – į borealinius miškus pietuose. Kintant gyvūnų ir paukščių arealams, keičiasi gyvūnų ir žmonių patogenų (patogenas – biologinis veiksnys, sukeliantis ligą, juo gali būti bakterijos, virusai, grybai, pirmuonys) paplitimas. Nauji vabalai šiaurėje niokoja Sibiro miškus, Aliaskos žinduoliai kovoja su naujomis erkėmis.

rūšimis, o žmonių buveinės šiauriniuose regionuose puola nežinomi vabzdžiai. 2016 m. tolimoji praeitis grįžo į šiaurės Rusiją: juodligė pražudė 12 metų berniuką, ja užsikrėtė dešimtys šiaurės elnių augintojų ir gyvūnų. Karščio banga atitirpdė dalį amžinojo įšalo žemės ir atidengė šiaurės elnio lavoną, kuris prieš daugelį metų žuvo nuo šios ligos ir buvo palaidotas įšalusioje žemėje vos metro gylyje. Taigi šylantis klimatas gali atgaivinti „snaudžiančius“, bet vis dar aktyvius patogenus. Sušalę virusai ir bakterijos gali gyvuoti tūkstantmečius, ir niekas nežino, kas glūdi lediniame dirvožemyje ir ledynuose. Per pastaruosius penkerius metus Europos kosmoso agentūra Aliaskos amžinajame įšale rado šimtus senųjų mikroorganizmų, atsparių antibiotikams, o Tibeto ledynuose ir Grenlandijos ledo mėginiuose išskirti 33 anksčiau nežinomi virusai, kurių amžius siekia mažiausiai 11 000 metų.

1.7. Megasmegduobės

Planetos atšilimas keičia Arkties kraštovaizdį – žemės sluoksniai nusėda ir atsiranda nuošliaužų, vadinamų atšilimo nuošliaužomis. Sibiras yra pripratęs prie tokių keistų reiškinių vietovėse, kuriose vyrauja amžinojo įšalo aplinka. Viena iš labiausiai intriguojančių atšilimo nuošliaužų yra Batagaikos įgriuva, arba smegduobė, Jakutijoje, didžiausia amžinojo įšalo smegduobė žemėje. Batagaikos smegduobė, stebima nuo XX a. 9-ojo dešimtmečio, šiuo metu yra maždaug vieno kilometro ilgio ir 86 metrų gylis. Mokslininkai mano, kad milžiniška smegduobė atsirado dėl tirpstančio amžinojo įšalo žemės, kuri buvo užšalusi kvartero ledynmečiu prieš 2,58 mln. metų. Kai XX a. 7-ajame dešimtmetyje buvo išvalytas miško plotas, žemę pasiekusi saulės šviesa pradėjo ją šildyti. Ledui tirpstant dirvožemyje žemė sutankėdavo, susmukdavo ir nuslinkdavo. Batagaikos

smegduobė nedominuoja kraštovaizdyje, ji pati yra *kraštas*. Šios didžiulės smegduobės sienos yra iš ledo ir purvo. Didžiulė smegduobė XX a. 7-ajame dešimtmetyje atsirado kaip mažas griovys. Batagaikos smegduobės nuotraukose matyti, kad didžiulė žemės masė „skęsta“ ir tarsi traukia su savimi viską aplinkui. Vietos gyventojai šios vietovės vengia, sakydami, kad tai „durys į požemį“, tačiau mokslininkams ji yra labai įdomi. Nuotolinio stebėjimo duomenimis, smegduobės riba per metus pasislenka 20–30 metrų (1.6 pav.).



1.6 pav. Batagaikos smegduobė
(viešo naudojimo failas: Batagaika crater NASA.jpg.)

Amžinai įšalusios žemės nuosėdos yra veikiamos nuolatinio ledo tirpsmo. Tirpdamas ledas virsta vandeniu, kuris garuoja ir nuteka, likusios nuosėdos, kurių ledas nebepalaiko, suslūgsta. Dėl įvairaus ledo kiekio nuosėdose susidaro chaotiškas kraštovaizdžio paviršius. Manoma, kad Batagaikos įgriuva yra pasaulinio atšilimo sukelta nuošliauža (depresija), dar vadinama megasmegduobe. Tokie reiškiniai ir struktūros atsiranda dėl amžinojo įšalo ledo degradacijos, o procesai apibūdinami kaip termokarstiniai. Pasaulinio atšilimo sukelta nuošliauža turi du pagrindinius morfologinius komponentus: stačią vertikalią arba beveik vertikalią ledinę sieną ir mažo nuolydžio ($2-15^\circ$) nuožulnų dugną (grindis). Mokslininkų teigimu, amžinasis įšalas Batagaikos smegduobės apačioje yra ypač senas. Preliminarus datavimas atskleidžia, kad jam čia gali būti 650 000 metų. Norėdami sužinoti amžinojo įšalo amžių, tyrinėtojai remiasi liuminescenciniu datavimu, atskleidžiančiu, kada paskutinį kartą dirvožemyje esantys mineralai matė dienos šviesą. Tyrimai rodo, kad šioje vietovėje tai gali būti seniausias žinomas amžinasis įšalas Eurazijoje. Iš esmės šis milžiniškas įdubimas žemėje suteikia galimybę pažvelgti į labai tolimą praeitį. Kiekvienas atviras Batagaikos įgriuvos sienos sluoksnis yra tarsi momentinė geologinė nuotrauka, padedanti suprasti, kaip amžinasis įšalas ir paviršiaus augalija reagavo į ankstesnį šiltą ir šaltą klimatą, rodo laikus, kai amžinasis įšalas buvo stabilus, ir laikus, kai jis nykdavo.

1.8. Ledynų tirpsmas

Plonėjantis ir greičiau tirpstantis jūros ledas kelia pavojų nuo jo priklausomiems gyvūnams, tokiems kaip narvalai, baltieji lokiai ar vėpliai. Kadangi dėl žmogaus sukeltų klimato pokyčių Arktis ir toliau šyla, baltieji lokiai vis dažniau badauja arba ieško maisto

šiukšlių sąvartynuose, o ne medžioja ruonius ant jūros ledo (1.7 pav.).

Baltieji lokiai didžiąją metų dalį praleidžia klajodami ant jūros ledo ir ieškodami ruonių – pagrindinio savo maisto šaltinio. Mokslininkai teigia, kad Arkties vandenynas šyla keturis kartus greičiau nei likęs pasaulis, todėl Arkties jūrų ledas kiekvieną pavasarį pradeda tirpti anksčiau ir kiekvieną rudenį formuojasi vėliau. Tai reiškia, kad lokiai badauja vis ilgesnį laiką. Kai jūros ledo yra mažiau, lokiai daugiau laiko praleidžia sausumoje. Būdami smalsūs ir išradingi jie greitai randa kelią į šiukšlynus. Rausdamiesi šiukšlynuose lokiai gali praryti plastikines maisto pakuotes, medieną, metalą, potencialiai toksiškas chemines ir kitas kenksmingas nevalgomas medžiagas, dėl kurių gali susirgti ar net žūti. Vis dar prižiūrimi mamų



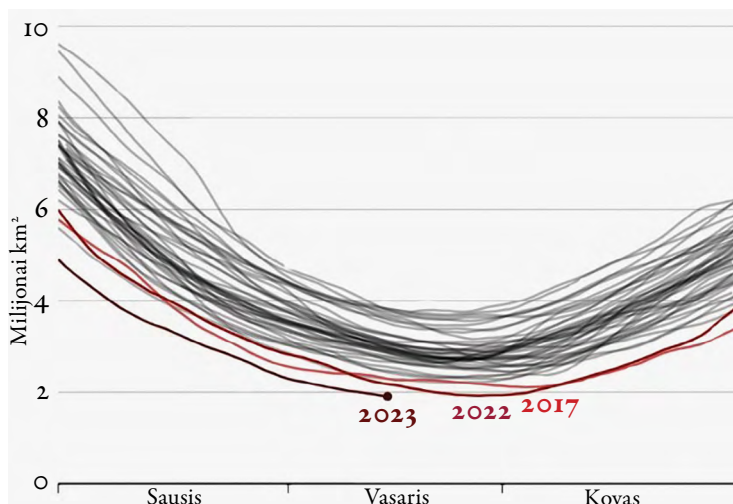
1.7 pav. Baltieji lokiai rausiasi atliekų šiukšlynuose
(<https://phys.org/news/2022-07-human-food-threat-polar.html>)

jaunikliai sužino, kad šiukšlės yra lengvas kalorijų šaltinis. Meškos prisimena, kur rado maisto, ir sugrįžta vėl ir vėl, dažnai vis didesniu būriu. Žmonių populiacija šiaurėje taip pat auga, o tai reiškia, kad bus daugiau šiukšlių. Tvarkyti šiukšles atokioms šiaurinėms bendruomenėms yra iššūkis, nes žemė per daug įšalusi, kad būtų galima jas užkasti, o šiukšlių išvežimas yra brangus. Tikėtina, kad padėtis dar blogės, nebent bendruomenės imsis atliekų tvarkymo (pastatys tvoras, degins šiukšles, įrengs lokiams neprieinamas šiukšliadėžes). Pastebėta, kad nutraukus prieigą prie maisto atliekų ir šiukšlių, lokiai grįžta prie savo natūralių maitinimosi būdų. Spėjama, kad iki 2100 m. net tolimoje Kanados šiaurėje baltieji lokiai gali patirti badą, todėl jų reprodukcija bus nepakankama.

Antarktidos ledynų tirpsmas

Antarktidos plotas – 14 mln. km², joje išsiretę trys Europos Sąjungos. Čia sukaupta 70 % pasaulio gėlo vandens atsargų, ledo storis siekia >4 km. Pastaraisiais metais Antarktidos žemyną supa mažiau jūros ledo nuo tada, kai XX a. 8-ojo dešimtmečio pabaigoje jis buvo pradėtas matuoti palydovais. 2022 m. vėjai, šiltesnis oras bei vanduo sumažino ledų aprėptį iki 1,91 mln. km², ankstesnis (2021 m.) rekordinis minimumas buvo 1,92 mln. km². Paskutinieji minimalaus ledo rekordiniai metai – tai 2017, 2022 ir 2023 m. (1.8 pav.). Moksliniai tyrimai, kruiziniai ir žvejybos laivai, plaukdam aplink žemyną, visur stebi panašų vaizdą: daugelyje sektorių vandenynas beveik neužšąla ir tik Vedelio jūroje dominuoja užšalusio ledo lytys.

Kuo neiprastas šis naujas rekordas? Mokslininkai mano, kad Antarktidos jūros ledo susidarymas ir tirpsmas yra sudėtingas reiškinys, jo negalima tiesiogiai priskirti klimato kaitai. Pastarųjų 40 metų palydoviniais duomenimis, jūros ledo apimtis labai kinta,



1.8 pav. Antarktidos jūros ledo plotas (mln. km²)
1979–2023 m. (Amos, Rivault, 2023)

tačiau ženklus ledo kiekio mažėjimas vasarą stebimas tik pastaruosius kelerius metus. Antarktidos jūros ledo plotas praėjusio amžiaus pradžioje mažėjo, bet vėliau pradėjo didėti. Pastaruoju metu jam būdingas didelis kintamumas – rekordiniai žiemos maksimumai ir dabar rekordiniai vasaros minimumai. Žiemą plaukiojantys ledynai gali apimti 18 mln. km² ir didesnį plotą, t. y. daugiau nei visa D. Britanijos teritorija. Plaukiojantys ledynai svarbūs dėl daugelio priežasčių. Vandenyno paviršiuje užšalęs jūros vanduo yra bedruskis, todėl po ledu esantis vanduo tampa tankesniu ir skęsta. Tai didžiojo vandenyno konvejerio variklio dalis, jis sukelia masinį vandens judėjimą ir padeda reguliuoti energijos mainus klimato sistemoje. Jūros ledas taip pat labai svarbus vietinei gyvybei. Antarktidoje prie ledo prilipę dumbliai yra maisto šaltinis mažiems vėžiagyviams (kriliui), kurie yra pagrindinis banginių, ruonių, pingvinų ir įvairių paukščių maisto šaltinis. Jūros ledas

taip pat yra platforma, ant kurios galima ilsėtis. Šiltas oras spartina ledo tirpimą, o 2022 m. oro temperatūra Antarktidos vakaruose ir rytuose buvo 1,5 °C aukštesnė už ilgalaikį vidurkį. Tyrėjai mano, kad ledynų susidarymas ir tirpimas ilgesniu laikotarpiu tikriausiai yra susijęs su ozono skyde virš Antarktidos ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio didėjimu atmosferoje.

Ar galima palyginti Antarktidos ledo tirpimą su Arkties ledo tirpimu? Pirmiausia svarbu suprasti Pietų ir Šiaurės polių skirtumus. Arktis yra vandenynas, apsuptas žemynų. Antarktida yra žemynas, apsuptas vandenyno, todėl ledo plotų augimas žiemą joje yra kur kas mažiau suvaržytas ir ledas gali plėstis į šiaurę, kiek tik leidžia sąlygos. Stebint iš palydovų matyti, kad žiemą apie Antarktidą jūros ledo laukai tęsiasi tūkstančius kilometrų, o vasarą beveik visas ledas atsitraukia, išskyrus lopinėlių Vedelio jūroje. Vasaros šiluma daugelyje vietų ištirpdo jūros ledą iki pat Antarktidos pakrantės. Antra vertus, jūros ledo storis paprastai yra vos vienas metras ar mažiau, palyginti su 3–4 m storio ilgalaikiu ledu kai kuriose poliarinės šiaurės vietovėse. Šiaurės ašigalyje ledo dangos storis siekia 2–3 metrus. Ištirpus visam Grenlandijos ledui, pasaulio vandenyno lygis pakiltų 6,5 metro, o jei ištirptų Antarktidos ledynai, tai pakiltų net 60 metrų. Antarktidos ledynai gali būti jautresni jūros temperatūros pokyčiams, nei buvo manyta. Didžiosios Britanijos dydžio Thwaites ledo masyvas yra vienas greičiausiai besikeičiančių ledynų pasaulyje (1.9 pav.). Thwaites ledynas vakarinėje Antarktidoje driekiasi apie 120 kilometrų. Jo gylis ties pagrindo linija (vieta, kurioje ledynas iš prie sausumos prisitvirtinusios ledo masės pereina į jūroje plūduriuojantį ledyną) siekia 800–1 200 metrų. Manoma, kad jo subyrėjimas galėtų paskatinti Antarktidos ledynų irimo kaskadą. Dėl žmogaus sukeltos klimato kaitos ir vis labiau šylančios Žemės atmosferos bei vandenynų ledynas tirpsta intensyviau. Nuo 2000-ųjų ledynas neteko maždaug 1 000 mlrd. t ledo. Kasmet netenkamo ledo kiekis per



1.9 pav. Itin sparčiai tirpstantis Thwaites ledynas kelia didžiulę grėsmę žmonijai (https://en.wikipedia.org/wiki/Thwaites_Glacier)

pastaruosius 30 metų išaugo dvigubai. Dabar ledynas per metus netenka maždaug 50 mlrd. t ledo daugiau, negu jis pasipildo sningant.

Ledyno jautrumas klimato kaitai kelia didelį susirūpinimą, nes jam visiškai ištirpus pasaulinis jūros lygis pakiltų pusę metro. Mokslininkai pragrežė 600 m Thwaites ledyno ir pro angą įleido jutiklius ledo tirpsmui tirti, kurie užfiksavo temperatūros rodmenis ir pamatavo vandenyno druskingumą. Matavimai rodo, kad giliai po ledu esantis vanduo yra pakankamai šiltas, jog sukeltų pastebimą ledyno tirpimą, o atplūdęs iš vandenyno šiltas vanduo ardo ledyno dugną. Nors po ledo storyme cirkuliuoja šiltesnis vanduo, dėl susidariusio gėlo vandens sluoksnio ledas tirpsta lėčiau. Taigi net jei tirpimo greitis padidės tik šiek tiek, jis vis tiek gali paskatinti greitą ledyno atsitraukimą. Giluminės nuotraukos rodo, kad lede gausu įvairių plyšių. Nuo 1990-ųjų pabaigos ledynas atsitraukė 14 km nuo savo „įžeminimo linijos“ – tai yra linijos, kur ledas pradeda plūduriuoti ir sudaro didžiulę



1.10 pav. Antarktidos ledyno paviršius

ledo platformą. Kai kuriose vietose ši linija traukiasi daugiau negu kilometrą per metus. Tyrimai rodo, kad iki ledyno centro tęsiasi ilgi ir kasmet 2 km pailgėjantys įtrūkiai. O dar blogiau, kad jie plinta tiesiai link vietų, kur ledas yra plonas. Plyšiams išplitus po visą šelfinį ledyną, jie gali sukelti jo griūtį (1.10 pav.). Įtrūkimų nebuvo matyti ledo nuotraukose, užfiksuotose 1997 m., ir netgi 2016 m. stebėjimuose tirpimo greitis atrodė gerokai mažesnis. Visa tai rodo, kad per pastaruosius du dešimtmečius irimas itin spartėjo.

Užšalusį žemyną lanko daugiau žmonių, nei bet kada anksčiau. Prognozuojama, kad lankytojų skaičius pirmą kartą per 2023 m. spalio mėn. – 2024 m. kovo mėn. turizmo sezoną pasieks 100 000, o tai 40 % viršys ankstesnį rekordą. Iškilo nauja aktualija – kokia turėtų būti turizmo apimtis (jei apskritai jo reikia) lediniame Antarktidos žemyne.

Tarptautinė Antarkties turizmo operatorių asociacija (IAATO) savo kataloge įrašė 95 laivus (įskaitant 21 jachtą), gabenančius turtinigus turistus, kuriuos vilioja „paskutinės ribos“ vieta. Čia aplinka tokia

tyra, kad galima išgirsti, kaip snaigės pasiekia vandenį. Kai kurie laivai vienu metu plukdo iki 400 turistų. Be įprastų ekskursijų pakrantėje aplankant pingvinų ir ruonių kolonijas, atsiranda daugybė naujų turistinių pramogų, per kurias galima iš arti apžiūrėti ledkalnius, kuprotuosius banginius ir orkas.

Norint apsaugoti lankomas vietas, galimybė šviesti turistus yra labai svarbi, be to, tokios ekspedicijos turėtų būti vykdomos mažais laivais, su nedideliu keleivių skaičiumi, vadovaujant ekspertams ir labai saugant aplinką. Kelionių dalyviai turi laikytis griežtų taisyklių, skirtų apsaugoti aplinką, įskaitant visų atliekų išvežimą iš žemyno ir sterilizavimo protokolų laikymąsi, kad būtų išvengta netyčinio nevietinių rūšių įvežimo ar atvežtinių ligų. Pavyzdžiui, paukščių gripas, neseniai pasiekęs Subantarkties salas, padarė pražūtingą poveikį ruonių populiacijai.

Visgi biologinis saugumas nėra svarbiausias Antarktidos laukinės gamtos teritorijoms, nes tikroji problema yra anglies dioksido poveikis. Dėl didžiulio atstumo, kurį įveikia laivai, kad pasiektų Antarktidą, anglies emisiją tampa rimta problema. Vidutinis Antarktidos turisto anglies dvideginio išmetimo pėdsakas, tenkantis vienam asmeniui, yra 3,76 t – maždaug tiek žmogus paprastai palieka per visus metus. Vieno tyrimo duomenimis, 2016–2020 m. kiekvienas turistąs Antarktidoje „ištirpdė“ apie 83 t sniego – daugiausia dėl kruizinių laivų išmetamų teršalų.

Antarktida yra pažeidžiama ne tik dėl savo trapios aplinkos, bet ir todėl, kad nėra vieno valdymo organo – net 56 šalys turi susitarti, kad būtų galima siekti kokių nors pokyčių. Yra sutarimas, kad reikia kažką keisti, kad žmogaus pėdsakas būtų kuo mažesnis, bet nesutariama, kokie tie pokyčiai turėtų būti. Net yra siūlymų laikyti Antarktidą nacionaliniu parku ir imti įėjimo mokesčius. Tyrėjai rekomenduoja kiekvienam, kuris planuoja apsilankyti Antarktidoje, įvertinti savo motyvaciją ir tokio sprendimo poveikį. Turisto motyvacija – be jau šešių aplankytų žemynų, įžengti ir į septintąjį, nėra rimta priežastis.

Traukiasi ne tik Antarktidos ir Arkties ledynai, bet ir įvairiose planetos vietose esantys kalnų ledynai. Trečdalis ledynų, esančių Pasaulio paveldo sąrašė, per ateinančius 30 metų išnyks, nesvarbu, kiek žmonės stengsis sustabdyti visuotinį atšilimą. 50-je pasaulio paveldo objektų yra apie 18 600 ledynų, ir tai yra maždaug 10 % visos planetos ledynų ploto. Kiti 90 % yra Antarktidoje, kuri nėra Pasaulio paveldo objektas. Du trečdaliai ledynų iki 2100 m. išnyks, tačiau dar yra laiko juos išsaugoti apribojant pasaulinės temperatūros kilimą iki 1,5 °C nuo priešindustrinio laikotarpio lygio, nubrėžto Paryžiaus susitarime. Deja, šiuo metu padėtis nėra gera. Pasaulinė meteorologijos organizacija 2022 m. prognozavo 50 % tikimybę, kad jau per ateinančius ketverius metus vidutinė pasaulinė temperatūra peržengs šį slenkstį. Į Pasaulio paveldo sąrašą įrašyti ledynai, esantys Italijos Dolomitinėse Alpėse ir Tanzanijos Kilimandžaro kalne, taip pat aukščiausi ledynai pasaulyje (netoli Everesto kalno) ir ilgiausias ledynas Aliaskoje. Nuo 2000 m. šie ledynai, apimantys daugiau nei 650 tūkstančių km², sparčiau traukiasi dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos nulemtos temperatūros. Kasmet jie praranda apie 58 mlrd. t ledo, o tirpsmo vandeniu nuteka į pasaulio vandenynus. Prarasti šiuos ledynus – reiškia atsisveikinti su įspūdingiausiais ir ilgaamžiais pasaulio gamtos stebuklais. Antra vertus, daugelis bendruomenių naudoja ledynų vandeniu energetikos, žemės ūkio ir namų ūkio reikmėms. Ledynams greitai tirpstant, milijonai žmonių susiduria su vandens stygiu, didesne potvynių rizika, dėl kylančio jūros lygio jie gali būti išstumti iš gyvenamų vietų. Šie ledynai palaiko įvairias ekosistemas ir daugelyje vietų skatina turizmą.

1.9. Jūrų ir vandenynų pagalbos šauksmas

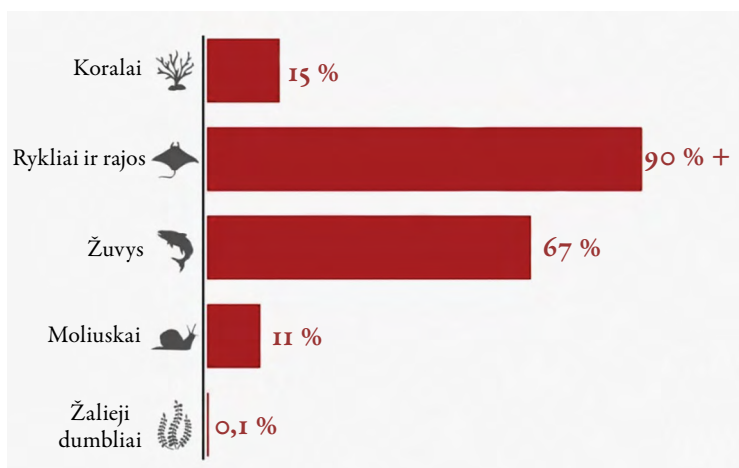
Kas yra Jungtinių Tautų Organizacijos *atviros jūros sutartis* ir kam ji reikalinga? Po daugiau nei dešimtmetį trukusių derybų 2023 m.

Jungtinių Tautų Organizacijos šalys susitarė dėl pirmosios sutarties, skirtos apsaugoti pasaulio vandenynus ir jūras. Šia sutartimi 30 % pasaulio vandenynų įtraukta į saugomas teritorijas, priimtose naujos kasybos jūroje taisyklės, daugiau lėšų numatoma skirti jūrų apsaugai. Sutartis turėtų stabdyti biologinės įvairovės nykimą ir užtikrinti tvarų vandenynų ir jūrų vystymąsi. Šiuo metu du trečdaliai pasaulio vandenynų laikomi tarptautiniais vandenimis. Tai reiškia, kad visos šalys turi teisę ten žvejoti, gabenti krovinius ir atlikti mokslinius tyrimus, tačiau tik apie 1 % šių vandenų, vadinamų atvira jūra, buvo saugomi. Dėl menkų apsauginių ribojimų atviros jūros dalyje gyvenantiems jūrų gyvūnams pernelyg intensyvi žvejyba, laivybos eismas ir klimato kaita kelia dideles grėsmes. Naujausiais vertinimais nustatyta, kad beveik 10 % jūros gyvūnų rūšių gresia išnykimas. Didžiausios išnykimo priežastys yra perteklinė žvejyba ir tarša. Jei bus sukurti saugomi jūrų draustiniai, dauguma jūrų išteklių turės laiko atsigauti.

Dėl didelės vertės tokios jūros gėrybės kaip vėžiagyviai, rykliai, banginiai patiria ypatingą grėsmę ir net 41 % nykstančių rūšių yra paveiktos klimato kaitos (1.11 pav.). Vandenyne yra užfiksuota apie 230 000 gyvūnų rūšių, tačiau manoma, kad jų yra daugiau negu du milijonai. Jūrų genetiniai ištekliai – biologinė augalų ir gyvūnų medžiaga – gali būti naudinga vaistams, maistui ar pramoniniams procesams.

Šiek tiek daugiau nei 25 % išmetamo CO₂ sugeria vandenynas. Dėl to vanduo tampa daug rūgštesnis, mažiau produktyvus ir kelia pavojų kai kurioms rūšims ir ekosistemoms. Klimato kaita karščio bangas jūroje padidino net 20 kartų. Šie pokyčiai gali sukelti ciklonus ir jūros gyvūnijos masinį mirtingumą.

Minėta sutartimi taip pat siekiama apsisaugoti nuo galimo gilia-vandenės kasybos poveikio. Giliavandenė kasyba, kai mineralai kasami iš jūros dugno, esančio 200 m ar dar žemiau vandens paviršiaus,



1.11 pav. Jūrų gyvūnijos rūšių išnykimo grėsmė
(<https://www.bbc.com/news/science-environment-64839763>)

gali sukelti taršą pasklidus dugno nuosėdų dalelėms, kasybos akustinį triukšmą, naikinti žuvų veisimosi vietas. Neseniai už daugiau nei 500 km nuo Kanarų salų esančiame povandeniniame kalne rasta turtingos uolienos pluta, kurioje telūro koncentracija yra 50 000 kartų didesnė nei sausumos rūdose. Telūras naudojamas saulės baterijose, todėl šis atradimas kelia sudėtingą klausimą, ar atsinaujinančios energijos siekis gali skatinti kasybą jūros dugne. Plutoje yra ir kitų retųjų žemių elementų, kurie naudojami vėjo turbinose ir elektronikoje. Kalnas yra maždaug 3 000 m aukščio, jo viršuje esanti didelė plynaukštė yra apie 1 000 m žemiau vandenyno paviršiaus. Tamsi ir smulkiagrūdė pluta driekiasi maždaug 4 cm storio sluoksniu per visą kalno paviršių. Šioje vietovėje yra apie 2 670 t telūro. Giliavandenė kasyba, dar niekur pasaulyje nevykdoma, greičiausiai bus labai prieštaringa dėl žalos jūros aplinkai. Dėl kasyklų sausumoje dažnai reikia iškirsti miškus, nukelti gyvenvietes, nutiesti kelius arba geležinkelius. Jūros dugne esančios kasyklos kastų daug turtingesnę rūdą, apimtų mažesnę plotą ir nedarytų

tiesioginio poveikio žmonėms. Visgi tokia kasyba žudytų jūros gyvūnus ir nuniokotų didelę povandeninę teritoriją. Kasant vandenyno dugną, susidarytų daug smulkių dalelių, kurios plistų labai dideliu atstumu ir nusėsdamos užslopintų gyvybę.

Bet kokiai būsimai veiklai jūros dugne bus taikomi griežti aplinkosaugos reglamentai ir priežiūra, siekiant užtikrinti, kad ji būtų vykdoma tvariai ir atsakingai. Dėl apsaugos lygio šiose srityse buvo aršiai ginčijamasi, tačiau problemos lieka neišspręstos, nes nėra aišku, kas yra saugoma jūrų teritorija: ar tik tvarus naudojimas, ar visiška apsauga. Turtingesnės šalys giliavandeniams tyrinėjimams turi technologinių ir finansinių išteklių, tačiau skurdesnės šalys siekia, kad bet kokia rasta nauda būtų dalijamasi po lygiai, nors niekas nežino, kiek vandenynų ištekliai yra verti ir kaip juos būtų galima padalyti.

Nors sutartis pasirašyta, iki teisinio susitarimo dar reikia įveikti ilgą kelią. Sutarties įgyvendinimas yra labai svarbus, nes jei saugomos jūrų teritorijos nėra tinkamai sujungtos, tai apribojimai neduos norimo rezultato: daugelis jūros gyvūnų rūšių migruoja ir gali keliauti per nesaugomas teritorijas, kur joms gresia pavojus. Sutartis leis apsaugoti vandenynus, sustiprinti atsparumą klimato kaitai ir išsaugoti milijardų žmonių pragyvenimo šaltinius, kartu ji yra ženklas, kad susiskaldžiusiame pasaulyje tinkamai veikianti gamtos ir žmonių apsauga gali triumfuoti prieš geopolitiką.

1.10. Augančios sausrų, potvynių ir uraganų grėsmės

Per pastaruosius 20 metų ekstremalių sausrų ir kritulių intensyvumas pasaulyje „staiga“ išaugo. Šie oro reiškiniai padaro daug žalos derliui, infrastruktūrai, sukelia humanitarines krizes ir konfliktus. Stebėjimų duomenys patvirtina, kad tiek kritulių, tiek sausrų dažnumas ir

intensyvumas didėja dėl iškastinio kuro deginimo ir kitos žmogaus veiklos, kuri išskiria šiltnamio efektą sukeliančias dujas.

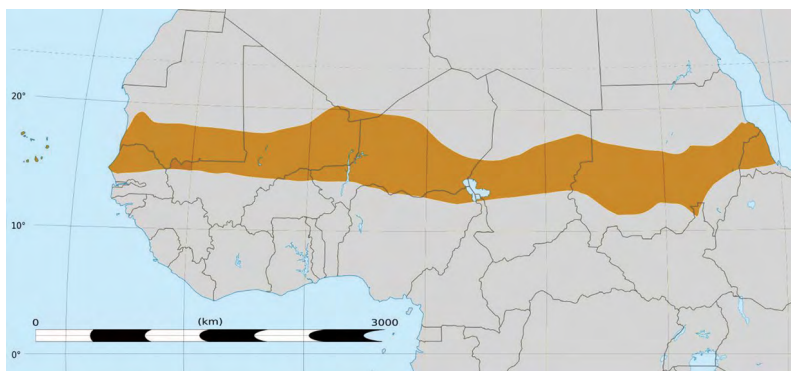
Per visą žmonijos istoriją sausros laikytos „nelaimėmis“, ypač dėl jų poveikio maisto gausai ir prieinamumui, todėl maždaug prieš 135 000 metų ankstyvieji žmonės iš Afrikos pasklido po aplinkinį pasaulį. Žmonės dažnai bandė paaiškinti sausras kaip stichinę nelaimę, kurią jie patys sukėlė, arba dar dažniau – kaip antgamtinių jėgų bausmę. Sausros kyla, kai dėl užsitęsusio sausesnio oro trūksta vandens. Sausrų mastas gali skirtis priklausomai nuo regiono, o ilgai trunkantys sausros laikotarpiai gali turėti didelį poveikį tose teritorijose gyvenantiems žmonėms, gyvūnams ir augalams.

Apie 55 mln. žmonių visame pasaulyje kasmet kenčia nuo sausrų. Sausros kelia didžiulį pavojų gyvuliams ir pasėliams daugelyje pasaulio vietų, jos kelia grėsmę grėsmę žmonių gyvenimo lygiui, didina ligų ir mirties riziką, skatina masinę migraciją. Vandens stygių jaučia 40 % pasaulio gyventojų, o iki 2030 m. net 700 mln. žmonių dėl sausros gali būti priversti keisti gyvenamąją vietą. Dėl klimato kaitos kyla temperatūra, sausi regionai tampa dar sausesni, o drėgni – drėgesni. Sausuose regionuose kylant temperatūrai vanduo greičiau išgaruoja, todėl didėja sausros rizika arba ilgėja sausros periodai. Per pastaruosius 10 metų 80–90 % visų registruotų gamtinių nelaimių įvyko dėl karščio bangų, sausrų, potvynių, atogrąžų ciklonų ir smarkių audrų.

Sausros poveikis gali būti aplinkosauginis, ekonominis ir socialinis. Poveikis aplinkai reiškiasi šlapžemių džiūvimu, didesniais gaisrais, biologinės įvairovės nykimu. Ekonominiu požiūriu vandens tiekimo sutrikimai mažina žemės ūkio, miško, medžiojamų gyvūnų ir žvejybos produkciją, didina maisto gamybos sąnaudas, kelia vandens energetikos problemas. Socialiniu požiūriu dėl didelių karščio bangų, kurios sukelia nederlių, vandens stygių, didėja sveikatos išlaidos, stresas.

Mažiausias vidutinis metinis kritulių kiekis pasaulyje – 0,08 cm užregistruotas Čilėje. Pastarųjų metų sausra Čilėje prasidėjo 2010 m., ir iki 2020 m. kritulių kiekis sudarė 20–45 % vidutinio kritulių kiekio šalyje. Kalamos vietovėje, Atakamos dykumoje (Čilė), 1570–1971 m. nebuvo užregistruota jokių kritulių, taigi sausra čia tęsiasi net 400 metų. Suprantama, kad tokio ilgo sausros laikotarpio negalima sieti su žmonių antropogenine veikla ir jos įtaka klimato kaitai. Šiuo atveju sausrą kelia kiti globalūs klimato reiškiniai, tokie kaip El Niño, nes dėl El Niño poveikio kai kuriose Amazonės upės baseino, Kolumbijos ir Centrinės Amerikos dalyse oras būna sausesnis ir karštesnis, o žiemos El Niño metu yra šiltesnės ir sausesnės.

2012 m. Vakarų Sahelį ištiko didžiulė sausra. Dėl visuotinio atšilimo sausros šiame regione tampa vis dažnesnės, sunkesnės ir pavojingesnės. Mokslininkai mano, kad sausroms didelę įtaką turi šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos. Dėl mėnesį trukusios karščio bangos, tvyrojusios virš Čado, Nigerio, Malio, Mauritanijos



1.12 pav. 2012 m. sausros paveiktos Sahelio (Afrika) teritorijos. Sahelio regionas – iki 1 000 km pločio juosta, kertanti Afriką nuo Atlanto vandenyno iki Raudonosios jūros (failas: Sahel Map-Africa rough.png, CC BY-SA 4.0)

ir Burkina Faso, apie 10 mln. žmonių regione grėsė badas (1.12 pav.). Mauritanijoje ir Čade pasėlių derlius sumažėjo daugiau negu 50 %.

Sausrų plitimą sudėtinga priskirti vien visuotiniam atšilimui, nes sausros būna įvairios. Jos gali atsirasti kasmet arba kas kelerius metus, trukti metus ar dešimtmečius, todėl sunku atskirti atsitiktinius įvykius nuo tų, kuriuos galbūt nulėmė žmogaus veiklos sukeltas atšilimas. Tačiau kuo labiau sausra dera su temperatūros kilimo ir kritulių kiekio prognozėmis, tuo labiau mokslininkai mato joje klimato kaitos įtaką.

Modeliuodami temperatūros, santykinės drėgmės ir kritulių duomenų kitimo tendencijas (1901–2018 m.) tyrėjai nustatė, kad JAV ir Šiaurės Meksikoje žmogaus sukeltas klimato atšilimas 46 % lėmė didelę sausrą. Tokie įrodymai patvirtina pasaulinį klimato kaitos ir sausros ryšį. Ekstremalios žemės ūkio ir ekologinės sausros, kurios pasitaikydavo kartą per 10 metų, dabar yra 1,7 karto dažnesnės negu 1850–1900 m., kai žmonės nedarė didelės įtakos klimatui.

Mokslininkai sutaria, kad sausros 2050 m. ir vėliau greičiausiai intensyvės. NASA tyrimai prognozuoja, kad 10 ar daugiau metų trunkančių sausrų tikimybė padidės nuo dabartinių 12 % iki daugiau nei 60 %. Nesvarbu, ar ruošiamasi sausrai, ar ji jau išgyvenama, būtina stiprinti bendruomenių atsparumą. Pirmiausia jos turi išsiaiškinti, ar regionas jautrus sausrai, ir imtis tam tikrų prevencinių priemonių. Pavyzdžiui, tradicinę vejos augmeniją pakeitus sausrai atspariais augalais, laistomo vandens poreikis sumažėja 50–70 %. Porėtos dangos leidžia bet kokiam lietui pamažu įsigerti į žemę ir papildyti vietines požeminio vandens atsargas, o ne patekti į lietaus kanalizaciją.

Sausros būna įvairios. Paprastai kalbant, sausra yra laikas, kai vandens nepakanka žmonių ir aplinkos poreikiams patenkinti. Dažniausiai apie sausrą sprendžiama pagal kritulių kiekį, lyginant su vietiniu ar regiono vidurkiu ir sausringo laikotarpio trukme. Tai žinoma kaip *meteorologinė sausra*, kuri būna būdinga tam tikram regionui, nes vidutinis kritulių kiekis įvairiose vietose gali labai skirtis.

Hidrologinę sausrą rodo dėl sumažėjusio kritulių kiekio pakitusi upelių tėkmė, dirvožemio drėgmė, rezervuarų, tvenkinių ir ežerų lygis bei požeminio vandens pasipildymas. Ūkininkai labiausiai susirūpinę dėl *žemės ūkio sausras*, kai turimi vandens ištekliai negali patenkinti pasėliams būtinų vandens poreikių. Žemės ūkio sausras gali kilti dėl įvairių priežasčių, tokių kaip mažas kritulių kiekis, vandens tiekimo trukmė, sumažėjęs vandens tiekimas arba dėl kokių nors priežasčių padidėjęs vandens poreikis sektoriuje. Galiausiai mokslininkai pasiūlė naują sausras tipą – *antropogeninę sausrą*, kuri visa tai susieja. Idėja yra ta, kad žmonių priimami sprendimai dėl vandens ir kitų išteklių naudojimo gali sukelti sausras.

Sausras gali lemti tiek natūralūs, tiek ir su žmogaus veikla susiję veiksniai. Klimatui šylant daugiau kritulių iškrenta lietaus, o ne sniego pavidalu, sniegas tirpsta anksčiau, intensyvėja garavimas. Kritulių kiekio pokyčiai, kylanti temperatūra, požeminio vandens išsekvojimas didina sausrų pavojų. Svarstant sausras ryšį su klimato kaita, svarbu nesutapatinti orų su klimatu. Orai yra trumpo laiko (dienų ar savaitių) atmosferos sąlygų apibūdinimas, o klimatas – tai, kaip atmosfera elgiasi santykinai ilgą laikotarpį (metus, dešimtmečius ar ilgiau). Klimato kaita vyksta ilgą laiką ir pasireiškia orų pokyčiais, kurie vertinami remiantis istoriniais stebėjimų vidurkiais.

Žemės ūkis yra labiausiai sausras paveikiama veiklos šaka. Be tiesioginio ekonominio poveikio daugeliui pramonės šakų, sausra gali kelti grėsmę geriamojo vandens tiekimui ir ekosistemoms, padidinti gaisrų riziką ir maisto kainas, todėl būtina pasiruošti didesnei dažnesnių ir sunkesnių sausrų grėsmei. Dabartinis atsakas į sausrą dažniausiai yra sutelkiamas į trumpalaikes priemones, tokias kaip laikinas vandens išsaugojimas, vandens perkėlimas iš vieno baseino į kitą, didesnis požeminio vandens naudojimas sausu laikotarpiu. Reikia imtis ilgalaikių priemonių, kurios padidintų atsparumą dažnesnėms, sunkesnėms ir ilgiau trunkančioms sausroms, todėl būtina:

- imtis veiksmų mažinant CO₂ emisiją, kad ne vėliau kaip 2050 m. būtų pasiektas grynasis nulis;
- sumažinti vandens naudojimą kiekviename sektoriuje, ypač žemės ūkyje, iki tvaraus lygio;
- sumažinti pasėlių plotus, kurie sunaudoja daugiausiai vandens; nedaugiamėčiai augalai sodinami drėgnais metais, o sausais metais jų plotas mažinamas;
- tobulinti regioninį vandens tiekimo ir naudojimo stebėjimą ir matavimus;
- stebėti paviršinio ir požeminio vandens taršos šaltinius (pavyzdžiui, per didelį trąšų ir pesticidų naudojimą);
- didinti vandens perdirbimą ir pakartotinį naudojimą, įskaitant lietaus vandens ir nuotekų surinkimą ir pakartotinį naudojimą;
- tvariai valdyti požeminio vandens išteklius, pavyzdžiui, vandeningųjų sluoksnių įkrovimas drėgnuoju metų laiku galėtų būti buferiu sausros laikotarpiais;
- mažinti vandens nuotėkį iš senų vamzdinių.

Mokslininkų stebimas glaudus ryšys tarp ekstremalių klimato pokyčių ir kylančios vidutinės pasaulinės temperatūros reiškia, kad besitęsiantis visuotinis atšilimas sukels daugiau sausrų ir liūčių, jos bus dažnesnės, sunkesnės, ilgesnės ir paveiks didesnes teritorijas.

Potvyniai gali kilti dėl įvairių dažnai sutampančių priežasčių. Visgi gausūs ir intensyvūs krituliai yra viena pagrindinių potvynių priežasčių. Jie kyla tuomet, kai lietaus gausa žemose vietose viršija žemės gebą jį sugerti. Didelis kritulių kiekis upių vagose taip pat prisideda prie potvynių, nes vanduo nespėja nutekėti upės vaga ir išsilieja į gretimas teritorijas. Kartais greitai tirpstantis sniegas ir ledas sukelia upių potvynius, nes tirpstančio ledo blokai, sudarydami ledo kamščius, trikdo upės tėkmę. Siaučiant audroms jūros vanduo

gali išsilieti pakrantės regionuose. Yra atvejų, kai dėl audros jūros bangos pakyla iki 6 metrų.

Dėl klimato kaitos, pagausėjusių kritulių ir ekstremalių oro reiškinių daugėja kitų potvynių priežasčių, todėl jie tampa intensyvesni ir rizikingesni. Nors upių potvynių žalos galima išvengti nutolus nuo upių ir kitų vandens telkinių, tačiau žmonės tradiciškai gyvena ir dirba prie upių, nes čia žemė paprastai yra nekalvota ir derlinga, o upės leidžia lengvai keliauti, pristatyti prekes ar medžiagas.

Potvyniai yra vienas iš labiausiai paplitusių ir didžiausių pavojų visame pasaulyje. Maždaug 2,2 mlrd. žmonių, arba 29 % pasaulio gyventojų, gyvena vietose, kuriose, kaip manoma, kartą per 100 metų patiria tam tikrą potvynį. Toks įvykis turi 1 % tikimybę įvykti bet kuriais konkrečiais metais, 10 % – per dešimtmetį ir 50 % – per visą gyvenimą (68 metus). Apie 1,47 mlrd. žmonių, arba 19 % pasaulio gyventojų, yra tiesiogiai veikiami didesnio nei 0,15 metro gylio



1.13 pav. Potvyniai Jungtinėje Karalystėje, 2023 m.
(<https://www.cbsnews.com/news/floods-droughts-climate-change-global-warming/>)

potvynių (1.13 pav.). Be to, daugiau nei pusės šių pažeidžiamų gyventojų atveju potvyniai gali būti dar didesni ir kelti pavojų gyvybei, ypač vaikams ir neįgaliesiems. Potvynių rizika yra beveik visuotinė. Populiacijos nėra saugios nė vienoje iš 189 tirtų šalių. Vis dėlto didžiausias potvynių žalą patyrusių žmonių skaičius yra Pietų ir Rytų Azijoje. Šiuose regionuose gyvena daugiausia potvynių paveiktų žmonių – apie 1,36 mlrd., nes didelės ir tankiai apgyvendintos teritorijos yra potvynių rizikos zonose, pavyzdžiui, pakrantės zonose arba žemose upių lygumose (pavyzdžiui, palei Mekongo, Brahmaputros ar Irrawaddy upes). Potvynių rizika nuolat kinta. Yra įrodymų, kad pakrančių urbanizacija spartina potvynių riziką. Kai saugios zonos jau užimtose, didelės rizikos zonose vis dažniau atsiranda naujų gyvenviečių ir statybų.

Vienas iš tragiškiausių potvynių nusiaubė Kiniją 1931 m., užtvindydamas maždaug 180 000 km² plotą. Užfiksuotas vandens lygis 16 m viršijo vidutinį vandens lygį. Per potvynį žuvo, nusken-do arba mirė dėl maisto stygiaus 2,5–3,7 mln. žmonių. Tuometinė vyriausybė apskaičiavo, kad nuo potvynio nukentėjo 25 mln., tačiau, ekspertų teigimu, tikrasis skaičius galėjo siekti net 53 mln. Po metų regione kilo choleros pandemija, nuo kurios mirė dar 31 974 žmonės.

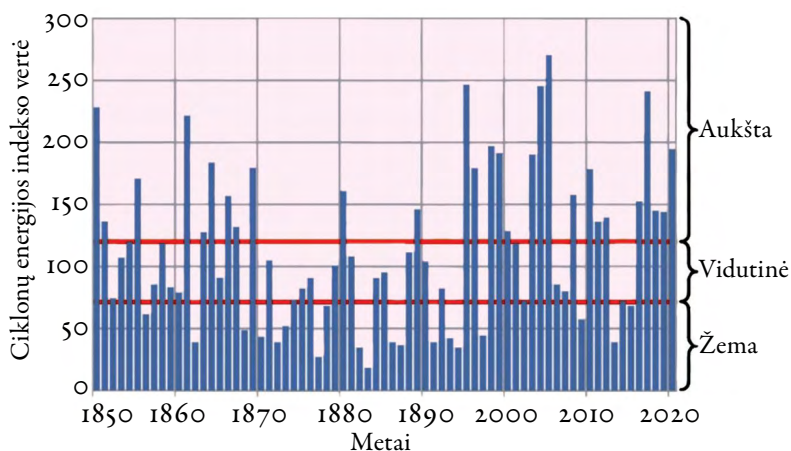
1975 m. taifūnas „Nina“ pralaužė Banqiao ir dar 61 mažesnę užtvanką (Kinija). 10 kilometrų pločio ir 3–7 metrų aukščio bangos veržėsi 50 km/h greičiu ir užtvindė daugiau kaip 12 000 km² plotą. Suirus užtvankoms 26 000 žmonių mirė nuo potvynių, o dar 145 000 dėl epidemijų ir bado. Dėl potvynio sugriuvo ar vandens buvo nuniokoti 5–6,8 mln. namų. Nelaimė paveikė 10 mln. žmonių. Statant užtvankas, pagrindinis tikslas buvo išlaikyti vandenį, o užtvankų gebai stabdyti potvynius nebuvo skiriama daug dėmesio. Banqiao užtvankos regione per vieną dieną iškrito daugiau lietaus, negu įprastai iškrisdavo per metus, todėl tokiam vandens srautui užtvankos konstrukcijos nebuvo numatytos.

Iš Himalajų kalnagūbrio ištekančių upių baseine gyvena apie 2,4 mlrd. žmonių. Indija, Kinija, Pakistanas, Bangladešas, Nepalas ir Mianmaras ateinančiais dešimtmečiais gali patirti ir potvynių, ir sausrų. Sausra Indijoje, paveikianti Gango upę, kelia ypatingą susirūpinimą, nes ši upė tiekia geriamąjį vandenį ir drėkina žemės ūkio naudmenas daugiau negu 500 mln. žmonių. 2022 m. Pakistaną nusiaubę potvyniai nusinešė 1 739 žmonių gyvybes, paveikė 33 mln. Pakistano žmonių gyvenimą, sugriovė 897 014 ir apgadino dar 1 391 467 namų. Žuvo 1 164 270 galvijų, o sunaikinus 13 115 km kelių ir 439 tiltus, buvo sunku patekti į potvynių paveiktas teritorijas. Tiesioginės potvynių priežastys buvo intensyvesnės nei įprastai musoninės liūtys ir dėl karščio bangos greičiau tirpstantys ledynai. Abu šie reiškiniai siejami su klimato kaita. Miškų naikinimas Pakistane taip pat pablogino potvynių pasekmes. Šis potvynis buvo įvardytas kaip didžiausias šalies istorijoje ir kaip viena brangiausių stichinių nelaimių pasaulio istorijoje. Indijos vandenynas yra vienas sparčiausiai šylančių vandenynų pasaulyje, todėl manoma, kad jūros paviršiaus temperatūra padidino musoninių kritulių kiekį, o karščio bangos sukėlė potvynius ledynuose. Pakistanas išmeta mažiau nei 1 % visų pasaulio šiltnamio efektą sukeliančių dujų, tačiau yra viena iš labiausiai klimato kaitos pažeidžiamų planetos vietų. Dėl visuotinai šylančio klimato potvynių grėsmė išaugo 50 % ir ateityje jų tikimybė tik didės. Iki potvynių šalies geriamojo vandens tiekimo sistema apėmė 92 % gyventojų, tačiau tik 36 % vandens buvo saugu vartoti. Potvyniai paveiktose vietovėse sugadino daugumą vandens sistemų, todėl daugiau nei 5,4 mln. žmonių buvo priversti naudoti užterštą vandenį iš tvenkinių ir šulinių. Dėl švaraus geriamojo vandens stygiaus padaugėjo choleros, karštligės ir maliarijos susirgimų.

Uraganai ir atogrąžų audros – tai greitai besisukančios žemo slėgio sistemos, kurių aktyvumas reiškiasi griaustiniais ir žaibais. Jie vystosi tropikuose ar subtropikuose. Audra, kurios vėjo greitis viršija 119 km/h, yra I kategorijos uraganas, kai vėjo greitis viršija 178 km/h, ji laikoma

III ar aukštesnės kategorijos „didžiuoju uraganu“. Vėjo greitis yra tik vienas iš daugelio veiksnių, prisidedančių prie uragano poveikio, nes svarbu kurioje vietoje audra patenka į krantą, kritulių kiekis, trukmė ir vietovės, kurią ji veikia, pažeidžiamumas.

Atogrąžų ciklonų dažnis ir intensyvumas skiriasi priklausomai nuo baseino. Šiaurės Atlanto baseine atogrąžų audrų skaičius yra apie 11 per metus, iš kurių maždaug šešios audros tampa uraganais. Kylant temperatūrai formuojasi tinkamos sąlygos audroms tapti pavojingais uraganais, nes dėl didelės drėgmės atmosferoje ir šiltesnės jūros paviršiaus temperatūros greitai sustiprėja vėjai. Tai vadinamieji „greito intensyvėjimo“ įvykiai. Mokslininkai nėra tikri, ar uraganų ir ciklonų dažnis bei skaičius pasikeis, tačiau neabejoja, kad jų intensyvumas ir stiprumas ir toliau didės. Sukauptos ciklono energijos indeksas yra atogrąžų ciklono išskiriamos energijos matas (1.14 pav.). Jis apskaičiuojamas sudedant atogrąžų ciklono didžiausią vėjo greitį,



1.14 pav. Ciklonų energijos indekso vertės, atspindinčios ciklono stiprį, trukmę ir dažnį (<https://www.c2es.org/content/hurricanes-and-climate-change/>)

matuojamą kas šešias valandas visą laiką, kol ciklonas priskiriamas bent tropinei audrai (vėjo greitis ne mažesnis kaip 62,7 km/h).

Aukštesnė jūros temperatūra taip pat nulemia drėgnesnius uraganus, nes iškrenta 10–15 % daugiau kritulių. Kylant jūros lygiui, pakrančių audros daro vis didesnę žalą ir manoma, kad ji tik didės. Pasaulinis vidutinis jūros lygis nuo 1900 m. pakilo daugiau negu 15 cm ir per šį šimtmetį turėtų pakilti 30–75 cm. Pakrančių regionai susidurs su įvairiais padariniais, nes kylantis jūros lygis didina pakrančių potvynių riziką ir stiprina audrų poveikį. Atmosferos pokyčiai, pavyzdžiui, Arkties atšilimas, gali turėti įtakos kitoms uragano tendencijoms. Šiandien uraganai juda lėčiau negu anksčiau. Nors šį lėtėjimą sukeliantis mechanizmas vis dar diskutuotinas, akivaizdu, kad audros „stringa“, todėl pakrančių regionuose iškrenta daugiau kritulių, ilgėja stipraus vėjo ir audringo bangavimo periodai. Be žalos pastatams, uraganai kelia grėsmę visai infrastruktūrai, nes kenkia energijos, vandens ir kanalizacijos sistemoms, transportui ir potvynių valdymo struktūroms.

Pastaraisiais metais daug uraganų niokojo Karibų jūros regiono šalis ir JAV pietines valstijas. Uraganas „Katrina“ (2005 m.) buvo vienas tokių uraganų JAV istorijoje. III kategorijos uragano vėjo greitis siekė iki 201 km/h. Audra sukėlė potvynius, kurie 7,6–8,5 m padidino įprastą vandens lygį. Uraganas nusinešė daugiau nei 1 800 gyvybių. Uraganas „Harvey“ (2017 m.) pasiekė Teksaso (JAV) pakrantę kaip IV kategorijos uraganas. Audros piko metu trečdalis Hiustono buvo apsemta. Per audrą žuvo dešimtys žmonių, apie 39 000 žmonių buvo priversti palikti savo namus. Uraganai „Irma“ ir „Marija“ 2017 m. užklupo Puerto Riką mažiau negu dviejų savaitių skirtumu ir daugeliui dienų sutrikdė elektros ir vandens tiekimą. IV kategorijos uraganas „Marija“ (vėjo greitis viršijo 240 km/h) sunaikino trapią salos infrastruktūrą ir prireikė beveik metų, kol joje buvo atkurtas elektros energijos tiekimas. Žuvo beveik 3 000 salos gyventojų. Uraganai kasmet kelia grėsmę milijonams žmonių, gyvenančių pakrantėse ar

salose, todėl mokslininkai labai sunerimę dėl vis aiškesnės klimato kaitos ir uraganų sąsajos.

1.11. Blankstantis „žemės spindesys“

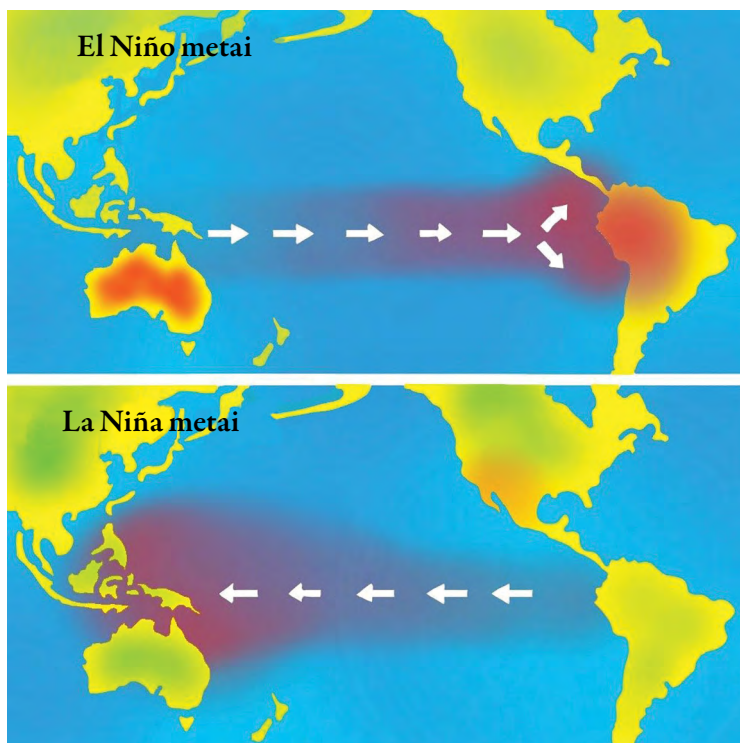
Klimato kaita gali pritemdyti net žemės „spindesį“ (1.15 pav.). Naktį matuodami saulės šviesą, atspindėjusią nuo žemės į tamsiąją mėnulio dalį, mokslininkai išmatavo tai, ką jie vadina „žemės spindesiu“, arba *albedu*. Albedas – santykinis dydis, rodantis atspindėto elektromagnetinio spinduliavimo dalį, t. y. kiek procentų spinduliuotės atspindi paviršius ar kūnas. Žmogaus veikla keičiant planetos paviršiaus struktūrą (pvz., miškų kirtimas ir žemdirbystė) lemia planetos albedo kitimą. Tyrimai rodo, kad debesuotumas virš rytinės Ramiojo vandenyno dalies šylant vandenyno temperatūrai mažėja. Kadangi šie debesys veikia kaip veidrodis, atspindintis saulės šviesą atgal į kosmosą,



1.15 pav. Pusmėnulis su tamsiąja mėnulio dalimi, šiek tiek apšviesta „žemės šviesos“

atspindimos šviesos kiekis mažėja. Tai, pasak šių mokslininkų, mažina mūsų planetos, šio mažo mėlyno taško, švytėjimą.

Vandenynų temperatūrą labai veikia El Niño ir La Niña cirkuliacija. El Niño ir La Niña – tai šiltos ir šaltos jūros paviršiaus temperatūros ciklas atogrąžų centrinėje ir rytinėje Ramiojo vandenyno dalyje. Pietų pusrutulyje virš Ramiojo vandenyno pasatai pučia tik jo rytinėje dalyje iš pietryčių į šiaurės vakarus ir pasatų zona per metus mažai kinta. Šių cirkuliacinių reiškinių pavadinimas yra siejamas su ozono sluoksnio kitimu ir globalaus klimato svyravimais. El Niño susidaro vandenyno viršutiniame sluoksniui sušilus tropinėse



1.16 pav. El Niño ir La Niña cirkuliacija Ramiajame vandenyne

Ramiojo vandenyno rytinės dalies srityse, o La Niña formuojasi vandenyno temperatūrai nukritus (1.16 pav.). El Niño metais pasatai iš rytų (Amerika) į vakarus (Australija) susilpnėja, o tai reiškia, kad šilti vandenys, kurie telkiasi prie Amerikos krantų, nepatenka į Australiją. Dėl vėsesnio nei įprasta vandenyno vandens Australijoje iškrenta mažiau kritulių. La Niña metais stipresni pasatai pučia iš vakarų į rytus per Ramųjį vandenyną, atnešdami šiltesnius nei įprasta vandenys. Paprastai padidėja drėgmė ir iškrenta krituliai.

El Niño reiškiny yra susijęs su atmosferos slėgio kaita. El Niño suaktyvėjimas pastebimas kas 3–4 metai (kai kada kas 2–7) ir trunka dešimtis mėnesių, o La Niña paprastai trunka 9–12 mėnesių, nors kai kada tęsiasi ir porą metų. El Niño slopina tropinių audrų ir uraganų susiformavimą Atlante, bet virš rytinės ir centrinės Ramiojo vandenyno dalies didina tropinių uraganų skaičių. La Niña sudaro palankias sąlygas tropiniams uraganams formotis Atlante. El Niño sukelia trumpalaikį (maždaug metų trukmės) pasaulinį jūros paviršiaus atšilimą, o La Niña – trumpalaikį atšalimą. Per pastaruosius kelis dešimtmečius El Niño įvykių padaugėjo, o La Niña įvykių sumažėjo. Istorinių duomenų tyrimai rodo, kad naujausi El Niño pokyčiai greičiausiai yra susiję su visuotiniu atšilimu. Pavyzdžiui, El Niño įvykių dažnumas ir didesnis mastas Indijos vandenyne lėmė aukštesnę nei įprasta temperatūrą, dėl to sparčiai šilo Indijos vandenynas ir susilpnėjo Azijos musonas. Sausros Brazilijoje, Australijoje ir Pietų Afrikoje būna daug stipresnės El Niño veikimo metu. Ypač stipriai El Niño pasireiškia išilgai vakarinių Pietų Amerikos pakrančių (Peru). Didžiausią poveikį turi Australijai, Indijai, Šri Lankai, Indonezijai, Ramiojo vandenyno saloms, skirtingoms Afrikos dalims, Pietų Amerikai (ypač Amazonės baseinui, Peru, Čilei) ir kitiems pasaulio regionams. Tiesioginio El Niño ir La Niña poveikio Lietuvai nėra, tačiau per globalią atmosferos cirkuliaciją netiesiogiai gali būti paveikiami ir Lietuvos orai.

Mokslininkai teigia aptikę spalvų pokyčius daugiau nei pusėje pasaulio vandenynų. Per pastaruosius 20 metų didžiuliai pasaulio vandenynų plotai keitė spalvą, o atogrąžų zonoje atsirado subtilus žalsvėjimas, kuris, pasak mokslininkų, rodo klimato kaitos poveikį gyvybei jūrose. Pasikeitusi spalva užfiksuota daugiau nei pusėje pasaulio vandenynų – plote, didesniame nei bendras žemės sausumos plotas. Žurnale „Nature“ rašoma, kad spalvos kaitą nulėmė ekosistemų, ypač smulkaus planktono, pokyčiai, kurie yra jūros maisto tinklo pagrindas ir atlieka lemiamą vaidmenį stabilizuojant žemės atmosferą. Jūrų spalva, žiūrint iš kosmoso, gali atskleisti tai, kas vyksta viršutiniuose vandens sluoksniuose. Ryški mėlyna spalva rodo, kad gyvybės yra nedaug, o jei vanduo žalesnis, tikėtina, kad jame bus fotosintezės fitoplanktono, kuriame, kaip ir augaluose, yra žaliojo pigmento chlorofilo. Chlorofilas išskiria didelį kiekį deguonies, kuriuo kvėpuojame, ir yra svarbi pasaulinio anglies ciklo ir vandenyno maisto tinklo dalis.

II SKYRIUS

ŠILTNAMIO EFEKTĄ SKATINANČIŲ DUJŲ EMISIJŲ ŠALTINIAI

2. 1. Iš kur atsiranda šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos

Mūsų Visatai yra apie 13,7 mlrd. metų. Anglis ir deguonis atsirado ne Didžiojo sprogo metu, o daug vėliau žvaigždėse. Visa žemėje esanti anglis ir deguonis susidarė žvaigždėse vykstančių branduolių sąlajos reakcijų metu. Ankstyvosios žvaigždės buvo masyvios ir trumpaamžės. Sąveikaujant vandeniliui, heliui ir ličiui, jose formavosi sunkesni elementai. Kiekvienas elementas, kuris kada nors buvo atrastas ir yra natūraliai Visatoje, buvo sukurtas žvaigždėse termobranduolinės sąlajos būdu. Kai žvaigždėje įvyksta vandenilio atomų sąlaja, susidaro helis. Šios reakcijos metu susijungia deuterio branduolys, turintis 1 protoną ir vieną neutroną, ir tričio – su vienu protonu ir 2 neutronais, sudarydami vieną helio branduolį ir vieną laisvą neutroną. Helio sąlajoje su kitu helio atomu susidaro berilis, anglis, šiek tiek deguonies ir kt. Kuo daugiau šių medžiagų žvaigždės „pagamina“, tuo greičiau jos miršta ir tuo mažiau lieka sąlajoms reikalingo vandenilio. Mirdamos šios žvaigždės paskleidžia anglį ir degunį visoje Visatoje. Kondensuojantis naujoms žvaigždėms ir susidarant naujoms planetoms šie sunkesnieji elementai patenka į jų struktūrą. Supernovos gali sukurti anglies atomus per reakciją, vadinamą trijų alfa dalelių procesu. Trijų alfa dalelių procesas (kai kada jis dar vadinamas helio degimo arba trijų alfa dalelių

reakcija) – branduolinių reakcijų grandinė, kurios metu trys helio branduoliai (alfa dalelės) suformuoja anglies branduolį. Anglis yra ketvirtas labiausiai paplitęs elementas stebimoje Visatoje ir 15-as labiausiai paplitęs elementas Žemės plutoje. Anglis Visatoje randama įvairiomis alotropinėmis formomis: deimanto, grafito ir fullereno. Pastarojo dešimtmečio astronominiai stebėjimai rodo, kad anglies junginiai (dujinės molekulės ir kietosios medžiagos) yra tiek mūsų, tiek ir tolimose galaktikose.

Anglis yra būtina bet kokiai gyvybei. Mokslininkai mano, kad jei anglis neegzistotų, Visata būtų sterili ir niekur nebūtų gyvybės. Iš daugiau nei šimto skirtingų cheminių elementų tik anglis turi atominę struktūrą, kai branduolį, kuriame yra šeši protonai, supa šeši elektronai, o tokia konfigūracija – būtinas sudėtingų junginių pagrindas. Tvirtinama, kad jei branduolinių jėgų tarp protonų ir neutronų stiprumas po Didžiojo sprogo būtų skyręsis mažiau negu 1 %, anglis būtų itin reta, o Visatoje nebūtų atsiradusi gyvybė. Daugiau negu 99 % anglies cikle esančios anglies randama Žemės plutoje. Daugiausia ji yra biologinės kilmės, nusėdusi ant vandens dugno iš daugybės jūrų būtybių liekanų, kurių skeletų ir kiautų sudėtyje buvo kalcio karbonato. Veikiant aplinkai, šios nuosėdos sudaro uolieną, vadinamą kalkakmeniu.

Anglis gali būti „organinė“ ir „neorganinė“. Organinės anglies yra:

- gyvuose ar negyvuose organizmuose;
- iškastiniame kure;
- uolienų nuosėdose;
- vandens tirpaluose;
- atmosferos dujose.

Didžioji dalis neorganinės anglies yra anglies dioksido, karbonato ir vandenilio karbonato pavidalo. Geologiniai CO₂ šaltiniai atmosferoje yra šie:

- ugnikalniai;
- iš Žemės mantijos išeinančios dujos;
- anglies turinčių uolienų, pvz., klinčių, erozija.

Vulkanai gali padidinti CO₂ kiekį atmosferoje. Maždaug prieš 100 mln. metų (kreidos periodo viduryje) vulkanizmas buvo daug intensyvesnis, todėl CO₂ atmosferoje buvo gerokai daugiau, o klimatas buvo daug šiltesnis. Anglies dioksidas (CO₂) yra svarbi atmosferos dalis, nes padeda kontroliuoti Žemės temperatūrą. Iš kosmoso Žemę pasiekia tik mažas anglies atomų skaičius, todėl mūsų planeta yra uždara sistema, negaunanti ir neprarandanti anglies.

Geologinis karbono periodas prasidėjo prieš 358 mln. metų ir tęsėsi daugiau negu 60 mln. metų. Anglies periodo pavadinimas įsitvirtino dėl to, kad šio laikotarpio geologiniuose sluoksniuose intensyviai susidarė anglis. Žmonių veikla anglies nesukuria, tik išleidžia ją atgal į atmosferą. Šis žmogaus veiklos sukurtas anglies dioksidas niekuo nesiskiria nuo kitų CO₂ emisijų, tik papildo jau sistemoje esantį anglies dioksidą.

Karbono periodui būdingas anglies telkinių formavimasis vyko intensyviai naudojant atmosferoje esančią anglį. Tuo metu buvo labai karšta, atmosferoje buvo didelė anglies dioksido koncentracija ir augalai, tikėtina, augo labai sparčiai. Anglies susidarymo laikotarpiu medžiai turėjo daug lignino. Gali būti, kad taip jie gynėsi nuo vabzdžių, kadangi trūko apsauginių toksinų, kuriuos natūraliai gamina augalai. Nustatyta, kad karbono periodu medžių žievės ir medienos santykis buvo 8:1 ar net 20:1, kai šiuolaikinių medžių šis santykis yra mažesnis negu 1:4. Ši žievė, kuri buvo medžio konstrukcinė atrama ir apsauga, tikriausiai turėjo 38–58 % lignino. Norint oksiduoti ligniną, atmosferoje turi būti daugiau negu 5 % deguonies arba tokių junginių kaip peroksida. Ligninas gali išlikti dirvožemyje tūkstančius metų, jo toksiški skilimo produktai slopina kitų medžiagų irimą. Remiantis genetinė grybų analize, buvo nustatyta, kad gyvūnai,

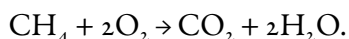
medžiagas skaidančios bakterijos bei grybai dar neturėjo fermentų, kurie efektyviai virškintų atsparius fenolinius lignino ir vaškinis suberino polimerus. Grybai, galintys veiksmingai skaidyti šias medžiagas, pradėjo dominuoti tik laikotarpio pabaigoje, todėl vėliau anglies susidarymas sulėtėjo. Kol nebuvo mikroorganizmų, galinčių misti ligninu, nuvirtę medžiai lėtai irdavo ir milžiniškos medienos krūvos kaupėsi visame žemės paviršiuje. Biologiškai fiksuota ir nesuskaityta anglis kaupėsi, o atmosferoje deguonies kiekis siekė 35 %, palyginti su šiandien esančiu 21 %. Toks deguonies kiekis atmosferoje galėjo skatinti gamtinius gaisrus. Dėl didelio vulkaninio aktyvumo, intensyvių audrų ir kritulių pelenai ir erozija gana greitai palaidodavo medienos krūvas. Ši anglies turtinga medžiaga milijonus metų buvo veikiamą didelio slėgio ir temperatūros, kol galiausiai tapo akmens anglimi, kurią žmonija plačiai naudoja energetikos, metalų gamybos ir kitoms reikmėms.

Karbono periodo (prieš 360–300 mln. m.) pabaigoje klimatas tapo vėsesnis ir sausesnis, prasidėjo intensyvus ledynmetis, jūros lygis nukrito apie 100 m, atėjo atogrąžų miškų žlugimo periodas. Nykstant atogrąžų miškams maždaug prieš 305 mln. metų, didžiuoliai miškai virto izoliuotomis ekologinėmis „salomis“, išnyko daugelis augalų ir gyvūnų rūšių. Po šių įvykių anglį formuojantys atogrąžų miškai ir toliau egzistavo didelėse Žemės teritorijose, tačiau miškų mastas ir sudėtis pasikeitė ir anglies telkinių susidarymas labai sulėtėjo. Tuo metu buvusios atmosferos sąlygos buvo gana priešiškos gyvybės formoms, dabar esančioms žemėje, nes anglies dioksido koncentracija ore buvo daug didesnė. Įdomu tai, kad nėra realios tikimybės, kad anglies klodai kada nors vėl susidarys.

Anglis kaupiasi ne tik CO₂ dujose, bet ir metane. Po jūros dugnu ir amžinojo įšalo dirvožemiuose yra daug anglies turinčio metano hidratų (CH₄). Metano hidratas yra vandens molekulių gardeleje įkalintas metanas. Šiuose „rezervuaruose“ esantis metanas į

atmosferą gali išsiskirti dėl temperatūros pokyčių arba hidratų turinčių nuosėdų povandeninių nuosliaužų. Metano hidrato kiekis amžinojo įšalo dirvožemyje yra mažai žinomas. Manoma, kad jame yra nuo 7,5 iki 400 gigatonų anglies. Nemažai metano susidaro pūvant be oro augalų ir gyvūnų liekanoms.

Sudegus vienai molekulei metano, susidaro viena molekulė CO_2 ir dvi molekulės H_2O (vandens):



Kadangi metanas yra labai paplitęs ir labai degus, jis plačiai naudojamas kaip kuras. Jei visas metano hidratas išsiskirtų, klimatas patirtų katastrofiškų pokyčių.

Dabartinėje epochoje žmonių veiklos išmetamos CO_2 ir kitos šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra pagrindinis klimato kaitos veiksnys ir yra vienas iš svarbiausių šiandieninio pasaulio iššūkių (Ritchie ir kt., 2020). Pasaulinė temperatūros kaita ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų, ypač CO_2 , emisija buvo per visą Žemės istoriją. Ir prieš milijonus metų dūmus spjaudė ugnikalniai, dujas skleidė pelkės, pūvantys augalai ar kitos biologinės atliekos, nebuvo tik žmogaus antropogeninės veiklos pėdsakų. Pasaulyje kasmet išmetama apie 50 mlrd. tonų šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Iš kur atsiranda šios emisijos? Norėdami išsiaiškinti, kaip galime sumažinti išmetamų teršalų kiekį, pirmiausia turime suprasti, iš kur ir kaip atsiranda šie teršalai, antra vertus, turime suvokti, kokias emisijas galima ir ko negalima pašalinti naudojant dabartines technologijas. Anglies dioksido (CO_2) koncentracija atmosferoje padidėjo nuo maždaug 277 milijoninių dalių (ppm) 1750 m. pramonės eros pradžioje iki $412,4 \pm 0,1$ ppm 2020 metais. CO_2 padidėjimą atmosferoje, palyginti su priešindustriniu lygiu, pirmiausia lėmė miškų naikinimas ir kitos žemės ūkio veiklos. Nors iškastinio

kuro emisijų būta dar prieš pramonės erą, jos tapo dominuojančiu antropogeninių teršalų į atmosferą šaltiniu maždaug nuo 1950 m., ir jų santykinė dalis iki šiol didėjo. Antropogeninės emisijos atsiranda dėl aktyvaus natūralaus anglies ciklo, t. y. vykstant cirkuliacijai tarp atmosferos, vandenyno ir sausumos biosferos. Šie mainai vyksta kasdien ir tęsiasi jau tūkstantmečius. Žmogus irgi yra natūralaus anglies ciklo dalyvis. Per dieną jis iškvepia apie 1,04 kg CO₂. Tikslus kiekis priklauso nuo žmogaus aktyvumo, nes intensyviai sportuojantis žmogus išmeta iki aštuonių kartų daugiau CO₂ negu nesportuojantis. Padauginkime šį skaičių iš 8 mlrd. žmonių, kvėpuojančių 365 dienas per metus, ir gausime 3,36 mlrd. tonų išmetamų CO₂ dujų per metus. CO₂ emisija deginant iškastinį kurą 2008 m. viršijo 34,7 mlrd. tonų. Lyginant su šia emisija, žmonija iškvepia maždaug 9,6 % anglies. Ekspertai pabrėžia, kad šis skaičius yra beprasmis, nes žmogaus kvėpavimas yra „uždarojo ciklo“ dalis, kadangi išmetamą CO₂ pasisavina įvairūs augalai. Tiesą sakant, šis ciklas nėra visiškai uždaras. Žmogaus iškvepiamas anglies kiekis yra lygus iš jo pasisavinamo anglies kiekio atėmus anglies kiekį, kuris prisideda prie žmogaus kūno masės. Tai reiškia, kad žmogaus kūnas, kaip ir visi gyvūnai, yra labai kuklus anglies sulaikymo (sekvstracijos) įrenginys. Apie 18 % kiekvieno žmogaus masės sudaro anglis. Jei vidutinis žmogaus svoris yra apie 54 kg (apytikslis įvertinimas, apimantis ir vaikus, ir suaugusiuosius), tai toks žmogus yra sukaupęs apie 9,8 kg anglies. Taigi kiekvieną kartą, kai planetos gyventojai pasipildo milijardu žmonių (tai dabar vyksta kas 12 metų), iš atmosferos ištraukiama 10,8 mln. tonų anglies – arba tiek, kad kompensuotų beveik 9 mln. automobilių emisijas. Net ir mirdamas žmogus pasiima šiek tiek anglies. Kaulai suyra labai lėtai, o nedidelis kiekis anglies (priklausantis nuo laidojimo sąlygų) galiausiai lieka žemėje. Taigi žmonių ir gyvulių egzistavimas, nors ir labai lėtai, šalina anglį iš atmosferos. Žinoma, kiekvienas papildomas žmogus į atmosferą

išskiria daugiau anglies, nes mes sudeginame daug daugiau anglies, negu sugeria mūsų kūnas. Vidutinis išsivysčiusios šalies žmogus, vykdydamas įvairią veiklą, išskiria apie 5 190 kg anglies, o tai per vidutinę gyvenimo trukmę sudaro 403 695 kg.

Galime pasiguosti, kad kiekvieno žmogaus kauluose sulaikomas tam tikras kiekis anglies, kuri po žmogaus mirties yra „užrakinama“ po žeme. Kaulų masė skelete sudaro apie 14 % viso kūno svorio (apie 10–11 kg vidutiniam žmogui) ir pasiekia maksimalią masę 25–30 gyvenimo metais. Gyvame kaule yra 10–20 % vandens, 30–40 % sausos masės sudaro organinės medžiagos, daugiausia baltymai, iš kurių maždaug 50 % sudaro anglis. Taigi kaule yra maždaug 15 % anglies (pagal masę). Skeletas paprastai sudaro apie 14 % kūno masės, taigi 70 kg sveriančio žmogaus skelete yra apie 1,05 kg anglies. Šiuo metu Žemėje gyvenantys žmonės savo kauluose yra sulaikę apie 8 mlrd. tonų anglies, arba apie $5,2 \times 10^{26}$ anglies atomų. Galbūt kada nors uolūs kovotojai su CO₂ emisija privers žmones nešioti aparatus, surenkančius žmogaus iškvepiamas CO₂ dujas. Deja, tų CO₂ dujų skaičių lyginti nėra prasmės, nes vien 2018 m. žmonija per įvairias veiklas į atmosferą išskyrė daugiau nei 37,1 mlrd. tonų CO₂.

Kai pasaulyje gyventojų kiekis persirito per 8 mlrd., kremavimas dažnai pristatomas kaip ekologiškesnis pasirinkimas nei tradicinis laidojimas karstuose. Krematoriumas yra pramoninė krosnis, kurioje turi būti 871–982 °C temperatūra, kad palaikai suirtų. Kremavimui reikia daug kuro, o šiuolaikinis kremavimo įrenginių kuras yra nafta, gamtinės dujos, propanas, anglies dujos. Deginant kurą per metus išmetama milijonai tonų CO₂. Kremuojant palaikus išsiskiria daug kenksmingų oro teršalų, įskaitant kietąsias daleles, sieros dioksidą (SO₂), azoto oksidus (NO_x), lakiuosius organinius junginius ir sunkiuosius metalus. Vienam kremavimui reikia apie 110 l kuro, kremavimo metu susidaro vidutiniškai 242,5 kg CO₂. Daugelyje krematorių yra filtravimo sistemos, kurios neutralizuoja dujinius

teršalus, taip pat dantų plombų gyvsidabrį. Filtrai neutralizuoja CO₂, kuris susidaro kremuojant kūną, taip pat dujas, išsiskiriančias kaitinant kūną. Vidutiniškai lieka 2,4 kg palaikų, vadinamų pelenais. Maždaug 1 milijonas kremuojamų kūnų išskiria apie 240 000 t CO₂, ir ši CO₂ tarša yra didesnė už sukuriamą 22 000 vidutinių namų ūkių per metus. Kremavimo lygis įvairiose šalyse labai skiriasi. Pavyzdžiui, Kinijoje kasmet miršta 9,77 mln. žmonių, o mirusiųjų kremavimo rodiklis 2014 m. siekė 47 %. Indijoje ir Nepale kremavimas ant laužo po atviro dangumi yra sena tradicija. Japonija užregistravo 99 % kremavimo rodiklį, o Lenkija – 6,7 % (2008 m.). Jungtinėje Karalystėje vidutinis šalies kremavimo lygis – 75,44 % (2015 m.). Kremavimo lygis JAV 2016 m. buvo 50,2 %. Ateityje tikriausiai bus daugiau kremavimo alternatyvų. JAV įteisino palaikų kompostavimo rūšį, vadinamą *natūralia organine redukcija*. Nuo 2020 m. šis procesas pavers kūnus naudingu dirvožemiu, kurį šeimos nariai galės panaudoti arba paauginti vietinės bendruomenės reikmėms. Paradoksalu, tačiau dažnai į laidotuves keliaujančių žmonių sukuriamą CO₂ emisija yra daug didesnė nei paties kremavimo proceso.

Iškastinio kuro CO₂ emisijos apskaičiavimai apima iškastinio kuro deginimą (pvz., transportas, šildymas), cheminę oksidaciją (pvz., anglies anodo skilimas gaminant aliuminį) ir karbonatų skaidymą pramoniniuose procesuose (pvz., cemento gamyba). CO₂ taršai turi įtakos miškų naikinimas, jų degradacija (įskaitant kirtimą), kirtimas žemės ūkio tikslais, miškų apleidimas, jų atauginimas po medienos ruošos ar nutraukus žemės ūkio veiklą, durpių deginimas ir drenažų emisija.

Tarpyvyriausybinių klimato kaitos komisijos (IPCC) 2023 m. ataskaitos duomenimis (Hoesung, 2023), 2019 m. apie 79 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetė energetikos, pramonės, transporto ir statybos sektoriai, o 22 % – žemės ir miškų ūkiai bei kitos paskirties veikla (2.1 lentelė). Žemės ūkio teršalų padaugėja

**2.1 lentelė. Pasaulinės šiltnamio efektą sukeliančių
dujų emisijos pagal sektorius**

Energija (elektra, šiluma ir transportas (73,2 %))	Pramonėje naudojama energija (24,2 %)	Geležies ir plieno gamyba (7,2 %)
		Chemija ir naftos teršalai (trąšų, vaistų, naftos ir dujų gavyba ir kt. (3,6 %)
		Maisto ir tabako gamyba (1 %)
		Spalvotieji metalai (Al, Cu, Pb, Ni, Sn, Ti, žalvaris ir kt. (0,7 %)
		Popierius ir plaušas (0,6 %)
		Automobilių gamyba (0,5 %)
		Kita pramonė (su energija susiję išmetamieji teršalai gaminant kitus pramonės produktus, kasyba ir karjerų eksploatavimas, statyba, tekstilė, medienos gaminiai (10,6 %)
	Transportas (16,2 %)	Kelių transportas (11,9 %)
		Aviacija (1,9 %)
		Laivyba (1,7 %)
		Geležinkelis (0,4 %)
		Vamzdynai, dujotiekiai (0,3 %)
	Energijos sąnaudos pastatuose (17,5 %)	Gyvenamieji pastatai (elektros energija apšvietimui, prietaisams, maisto ruošimui, namų šildymui (10,9 %)
		Komerciniai pastatai (elektros energija apšvietimui, prietaisams, šildymui (6,6 %)
	Energijos gamyba naudojant kitą kurą (7,8 %)	

2.1 lentelė. (Tęsinys)

Energija (elektra, šiluma ir transportas (73,2 %))	Energijos gamyba naudojant kitą kurą (7,8 %)	
	Nepastovios emisijos (metano nutekėjimas į atmosferą, naftos ir dujų gavyba ir transportavimas, tyčinis dujų deginimas naftos gręžiniuose (5,8 %))	
	Žemės ūkyje ir žvejojboje naudojamos energijos tarša (mašinos, laivai (1,7 %))	
Žemės ūkis, miškininkystė, žemėnauda (18,4 %)	Pievų degradacija (0,1 %)	
	Pasėliai (1,4 %)	
	Miškų ir pasėlių deginimas (2,2 %)	
	Ryžių auginimas (1,3 %)	
	Dirvožemių tręšimas (4,1 %)	
	Gyvuliai ir mėsos (5,8 %)	
Pramoninė gamyba (5,2 %)	Cemento gamyba (3 %)	
	Chemikalai ir naftos chemijos produktai (2,2 %)	
Atliekos (3,2 %)	Nuotekos (1,3 %)	
	Sąvartynai (1,9 %)	

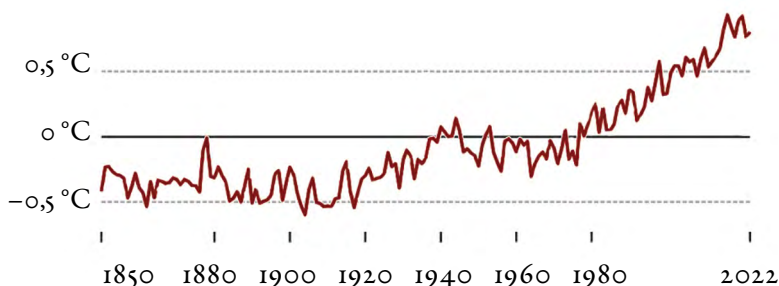
iki 25 %, kai įvertiname visą maisto pramonės sistemą, įskaitant maisto perdirbimą, pakavimą, transportavimą ir mažmeninę prekybą. Tai rodo, kad prie pasaulinio teršalų išmetimo prisideda daugybė sektorių ir procesų, tad nėra vieno ar paprasto sprendimo, kaip kovoti su klimato kaita. Nepakanka sutelkti dėmesį į elektros energijos ir maisto gamybą, transportą ar miškų naikinimą. Net

siekiant mažinti energetikos sektoriaus išmetamus teršalus nėra lengvo sprendimo, nes visiškai elektros gamybos dekarbonizacijai reikėtų elektrifikuoti visą šildymo sistemą ir kelių transportą. Antra vertus, reikėtų susidoroti ir su laivybos ir aviacijos išmetamais teršalais, kuriems dar trūksta ar visai nėra technologijų, mažinančių aplinkos taršą CO₂. Norint pasiekti nulinį išmetamų teršalų kiekį, naujovių reikia daugelyje sektorių.

Kokią dalį atšilimo nuo 1750 m., arba „ikipramoninės“ revoliucijos, galima susieti su žmonių išmetamais teršalais? Deja, didžiąją dalį arba beveik visą atšilimą. Antropogeninės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos padidėjo nuo pat priešindustrinės eros daugiausia dėl gyventojų skaičiaus ir ekonomikos augimo, nes abu veiksniai dabar yra labiau paveikūs nei bet kada anksčiau. Dėl jų atmosferoje susidarė tokia CO₂, metano ir azoto suboksido (N₂O), dar žinomo kaip linksminančios, arba juoko dujos, koncentracija, kokios nebuvo per pastaruosius 800 000 metų. Šių antropogeninių veiksmų poveikis buvo aptiktas visuose klimato pokyčių pjūviuose ir labai tikėtina, kad tai buvo pagrindinė nuo XX a. vidurio atidžiau stebimo atšilimo priežastis. Nedidelį planetos vėsinimo vaidmenį atliko aerozolis, tačiau natūralių pokyčių svarba nebuvo didelė.

Besikeičiantis klimatas sukelia daugybę ekologinių, fizinių ir sveikatos padarinių, įskaitant ekstremalius orų reiškinius (potvynius, sausras, audras, karščio bangas), jūros lygio kilimą, pakitusią pasėlių augimo dinamiką, sutrikdytą vandens pasiskirstymą.

Iš pirmo žvilgsnio vidutinės temperatūros pakilimas 1 °C gali atrodyti mažas ir nereikšmingas, tačiau šis pokytis maskuoja didelius atšilimo skirtumus visame pasaulyje. Vidutinės pasaulinės temperatūros kilimas paprastai pateikiamas kaip bendras temperatūros pokytis tiek sausumoje, tiek jūros paviršiuje (2.1 pav.). Tačiau svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad sausumos plotai keičia



2.1 pav. Pasaulinės vidutinės sausumos ir jūros temperatūros kaita
(<https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>)

temperatūrą tiek šildami, tiek vėsdami daug labiau nei vandenynai. 1951–1980 m. temperatūra sausumoje pakilo $1,32 \pm 0,04$ °C, o vandenyno paviršiaus temperatūra (neįskaitant jūros ledo plotų) pakilo tik $0,59 \pm 0,06$ °C, tai yra pasaulinė vidutinė temperatūra sausumoje padidėjo maždaug dvigubai nei vandenyno.

Antra vertus, šiauriniame pusrutulyje yra daugiau sausumos, o tai reiškia, kad vidutinės temperatūros pokytis į šiaurę nuo pusiaujo buvo didesnis nei pietuose. Prie ašigalių temperatūra pakilo iki 3 °C, o kai kuriais atvejais viršijo net 5 °C. Dėl tokių pokyčių šie regionai gali patirti didžiausią poveikį, pavyzdžiui, jūros ledų ir ledynų tirpsmą, amžinojo įšalo nykimą. Stebėjimai rodo, kad kai kuriuose regionuose atšilimas yra daug ekstremalesnis (2.2 pav.).

Siekiant sulėtinti ir galiausiai sustabdyti kylančią pasaulinę temperatūrą, būtina stabilizuoti CO₂ ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją Žemės atmosferoje. Svarbu pažymėti, kad šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimo atmosferoje ir galutinio temperatūros kilimo laikas nesutampa. Tai reiškia, kad ir stabilizavus šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją atmosferoje, temperatūra ir toliau dar dešimtmečius lėtai kils.



2.2 pav. Muir ledynas Aliaskoje 1941 m. (kairėje) ir 2004 m. (dešinėje)
(<https://humanjourney.us/sustainable-energy-section/the-human-footprint/>)

Nagrinėjant pasaulinę vidutinę CO_2 koncentracijos kaitą atmosferoje per pastaruosius 800 000 metų, matyti nuoseklus jos svyravimas. CO_2 kiekio didėjimo ir mažėjimo periodai sutampa su ledynmečių (mažai CO_2) ir tarpledynmečių (daug CO_2) pradžia. Šį periodinį svyravimą sukelia Žemės orbitos aplink Saulę pokyčiai.

Galbūt didžiausia žmonijos antropogeninės veiklos nesėkmė buvo nešvaraus iškastinio kuro naudojimas visame pasaulyje. Geologiniu požiūriu, CO_2 kiekis atmosferoje ir didėjo, ir mažėjo, tačiau dėl anglies, naftos ir dujų deginimo per du pastaruosius šimtmečius jis yra gerokai didesnis nei anksčiau. Dėl žmogaus veiklos į aplinką išmetama daugiau CO_2 , negu aplinka gali sugerti. Didėjant CO_2 koncentracijai atmosferoje, pasaulinė temperatūra taip pat nuolat kilo.

Dar 1860 m. nustatyta, kad anglies dujos (CO_2 , metanas ir lakieji angliavandeniliai) ypač efektyviai sugeria energiją ir kad CO_2 veikia kaip kempinė, nes gali sugerti kelių bangų ilgių Saulės šviesą. 1896 m. švedų mokslininkas Svante Arrhenius pirmą kartą pabandė įvertinti atšilimo mastą, kurį sukeltų plačiai paplitęs anglies deginimas. Jo nuomone, jei CO_2 lygis ore padvigubėtų, pasaulinė temperatūra pakiltų 5°C .

1920 m. geofizikas M. Milankovičius atrado, kad periodinė Žemės orbitos kaita (Milankovičiaus ciklai) tūkstančius metų daro didelę įtaką klimatui, todėl formuojasi ledynmečiai ir kt. Vėliau, pastebėjus, kad pasaulinė temperatūra kyla, pagrindine tyrimų kryptimi tapo siekis nustatyti, ar temperatūros didėjimą lėmė natūralūs M. Milankovičiaus ciklai, ar žmogaus veikla.

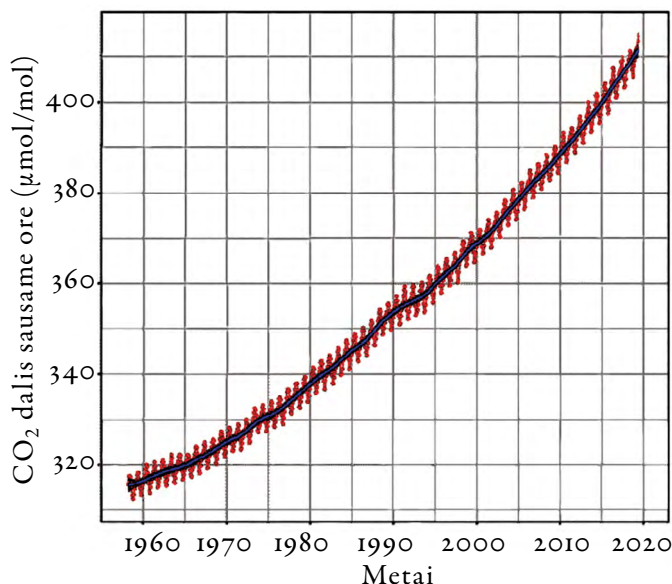
1982 m. Grenlandijoje surinktų ledo gręžinių (kernų) šerdžių tyrimai atskleidė, kad net per trumpą laikotarpį gali įvykti dideli klimato pokyčiai, panašūs į Jaunesniojo driaso atsiradimą maždaug prieš 12 000 metų, kai po tūkstančius metų trukusio atšilimo nuo paskutinio ledynmečio per dešimtmetį planeta vėl nuslydo į 1300 metų trukmės ledynmetį, kuris tikriausiai sustabdė žmogaus civilizacijos vystymąsi maždaug 50 000 metų.

Per šį ilgą (beveik milijoną metų) laikotarpį CO_2 koncentracija atmosferoje neviršijo 300 milijoninių dalių (ppm). Viskas pasikeitė prasidėjus pramonės revoliucijai ir dėl iškastinio kuro deginimo didėjant CO_2 emisijai. Pirmą kartą per daugiau nei 800 000 metų ši koncentracija gerokai viršijo 400 ppm. Kalbant apie klimato kaitą svarbu ne tik CO_2 kitimo atmosferoje lygis, bet ir šio kitimo greitis. Istoriniai CO_2 koncentracijos pokyčiai vykdavo šimtmečius ar net tūkstantmečius, dabar jie atsiranda per dešimtmečius, tad augmenija ir gyvūnija bei ekosistemos apskritai turi mažiau laiko prisitaikyti.

1988 m. vasara buvo labai karšta, ypač JAV, išplito sausra ir gaisrai. Iki 1988 m. birželio mėn. sausra apėmė 40 % šalies, o balandžio–birželio mėn. kritulių kiekis buvo mažiausias per XX amžių. Į pasaulinę konferenciją dėl besikeičiančio klimato Toronte susirinko politikai iš 46 šalių. Mokslininkai ir politikai pasirašė pareiškimą, raginantį iki 2005 m. 20 % sumažinti CO_2 emisijas. 1997 m. buvo priimtas pirmasis pasaulinis susitarimas dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo – Kioto protokolas, kuriame raginama 2008–2012 m. laikotarpiu sumažinti šešių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas 41 šalyje ir

Europos Sąjungoje iki 5,2 %, palyginti su 1990 metais. 2006 m. palydoviniai duomenys rodė, kad Grenlandija du kartus greičiau praranda ledą, negu buvo manyta anksčiau. 2012 m. biologai pranešė, kad nuo 1985 m. žuvo 50 % Didžiojo barjerinio rifo, didžiausio pasaulyje koralinio darinio. Koraliniuose rifuose gyvena daugiau nei 25 % jūros gyvybės. Pagal jų prognozę, iki šio amžiaus pabaigos beveik visų pasaulio rifų nebeliks.

2013 m. vidutinis CO_2 lygis atmosferoje viršijo 400 ppm (mln. dalių), kai 1958 m. jis buvo 313 ppm (2.3 pav.). 2015 m. Paryžiaus klimato susitarimą pasirašiusios 195 šalys įsipareigojo nustatyti šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo tikslus ir nuolat pranešti apie pasiektą pažangą. Svarbiausias susitarimo tikslas – neleisti, kad



2.3 pav. Vidutinis metinis CO_2 koncentracijos augimas atmosferoje (<https://humanjourney.us/sustainable-energy-section/the-human-footprint/>)

vidutinė pasaulinė temperatūra pakiltų 2 °C. Daugelis ekspertų tokį temperatūros pokytį laikė kritine riba siekiant išvengti mirtingesnių karščio bangų, sausrų, audrų ir kylančio pasaulinio jūros lygio. 2017 m. palydoviniais duomenimis, nuo 1880 m. jūros lygis pakilo daugiau nei 20,32 cm, iš jų apie 7,62 cm pakilo per pastaruosius 25 metus.

1990 m. žmonija išmetė daugiau nei 20 mlrd. t CO₂, o 2018 m. šis kiekis sudarė jau 37,1 mlrd. tonų. Žemė dabar tokia pat šilta, kaip ir prieš paskutinį ledynmetį, prieš 115 000 metų. Daugiau nei pusė anglies, išmetamos į atmosferą deginant iškastinį kurą, buvo išmesta tik per pastaruosius tris dešimtmečius.

Norint stabilizuoti (ar net sumažinti) CO₂ koncentraciją atmosferoje, pasaulis turi pasiekti nulinį išmetamų teršalų kiekį. Deja, vietoj to, kad pasauliniai išmetamų teršalų kiekiai mažėtų, jie iš tikrųjų tik didėja ir tikriausiai dar nepasiekė piko. Dabartinė CO₂ ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo mažinimo arba bent jau lėtesnio augimo politika turės tik tam tikrą poveikį mažinant būsimą atšilimą. Stebint pasaulines diskusijas, sunku tikėtis, kad visos šalys įgyvendins dabartinius ar būsimus įsipareigojimus mažinti išmetamų teršalų kiekį ir sieks atšilimo ribojimo šiame amžiuje iki 1,5 °C arba 2 °C.

Tarp CO₂ emisijų ir gyvenimo gerovės yra tvirtas ryšys, nes turtingos šalys, kuriose yra aukštas pragyvenimo lygis, išmeta didelį kiekį teršalų, ir atvirkščiai, skurdžių šalių išmetamų teršalų kiekis nedidelis. Keleto šalių (JAV, JK, Prancūzija, Ispanija, Italija) pavyzdys pastaraisiais metais rodo, kad galima padidinti BVP ir kartu sumažinti išmetamų teršalų kiekį. Svarbesnis klausimas: ar greitai galime padaryti pažangą?

Dar mažai istorinių įrodymų, leidžiančių manyti, kad šalys gali sumažinti išmetamų teršalų kiekį (išlaikydamos aukštą gyvenimo lygį) tokiu greičiu, kurio reikia šiam tikslui pasiekti, nes šiuo metu pažanga per lėta, o paspartinti šias pastangas visame pasaulyje

labai sunku. Kai kurios šalys nustatė nulinės emisijos tikslus, įtraukdamos ir tarptautinę aviaciją bei laivybą į savo nulinės emisijos įsipareigojimus.

Yra trys pagrindinės sritys, į kurias būtina sutelkti dėmesį siekiant šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo pažangos, – tai energetika (elektros energijos gamyba, šilumos gamyba, transportas, pramoninė veikla), maisto pramonė ir žemės ūkis. Siekiant pažangos reikia didinti efektyvumą (mažiau panaudoti energijos tam tikrai produkcijai pagaminti, mažiau žemės, trąšų ir kitų sąnaudų maisto gamybai, apriboti maisto švaistymą) ir pereiti prie mažai CO₂ į aplinką išskiriančių alternatyvų – atsinaujinančių energijos šaltinių ir branduolinės energetikos, o maisto gamybos atveju daug CO₂ išskiriančius produktus pakeisti paliekančiais mažą CO₂ pėdsaką. Kai kuriuos energetikos sektorius, pavyzdžiui, transporto, yra sunkiau dekarbonizuoti, todėl būtina kurti nebrangias mažai CO₂ į aplinką išskiriančias energijos gamybos ir kaupimo (baterijų) technologijas.

Atrodo, bus nelengva sumažinti maisto gamybos ir žemės ūkio išmetamų teršalų kiekį, tačiau turtingesnėse šalyse galima sumažinti mėsos ir pieno produktų vartojimą, tai yra keisti juos į mažiau CO₂ išskiriančius maisto produktus. Didelį vaidmenį čia galėtų atlikti ir mėsos pakaitalų inovacijos.

Žemės ūkis, miškininkystė ir žemės naudojimas sudaro 22 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos. Labai svarbus tvarus žemės ūkio intensyvinimas, leidžiantis užauginti daugiau maisto mažesniame žemės plote. Tai padėtų išvengti miškų naikinimo dėl žemės ūkio plėtros, grąžintų žemę natūralioms ekosistemoms.

Pasaulyje maždaug trečdalis maisto prarandama tiekimo grandinėse arba iššvaistoma vartotojų. Derliaus nuėmimo technikos, transportavimo, šaldymo ir pakavimo tobulinimas, nesuvartoto maisto atliekų mažinimas gerokai sumažintų išmetamų teršalų kiekį ir svarbiausia sumažintų maisto švaistymą.

Stebėjimai rodo, kad klimatas šyla labiau nei turėtų, ir akivaizdu, kad tai vyksta dėl žmogaus veiklos. Vis dėlto istorijoje yra buvusi ne viena šaltesnė žiema ir karštesnė vasara. Mūsų stebimas ir „matuojamas“ pasaulis gana siauras, meteorologiniai matavimai dar „jauni“, tad palyginti su bendru kontekstu – prieš keliasdešimt tūkstančių metų Europą dengusiu ledynu ir vėlesniais atšilimais – dar nėra taip blogai. Tiesiog žmonių kiekis labai sparčiai didėja, kartu auga vartojimas, senka turimi resursai, urbanizuojama vis daugiau teritorijų, todėl ateityje lengviau nebus.

Mokslininkų nuomone, jei planeta atsidūrė prie klimato katastrofos slenkščio per vienos kartos gyvenimą, tai atsakomybė dėl jos taip pat tenka vienai kartai. Jei leisime toliau plėtotis visuotiniam atšilimui, kolektyviai eisime link savižudybės, jei to išvengsime, tai reikš, kad pasirinkome kitą, teisingesnį, kelią.

2.2. Ką reiškia efektyvus nulinės CO₂ emisijos įsipareigojimas

Daug diskutuojama ir rašoma, kaip šalys, įmonės ir organizacijos visame pasaulyje žada iki 2050 m. apriboti savo CO₂ emisijas iki nulio, bet kokie yra jų įsipareigojimai? Trumpai tariant, norint pasiekti 2015 m. Paryžiaus susitarimo tikslą – apriboti visuotinį atšilimą iki 1,5 °C, „nulinio išmetimo“ tikslas tapo šūkiu imantis veiksmų klimato kaitai stabdyti. Tai reiškia įsipareigojimą, kad šiltnamio efektą sukeliančių dujų lygis atmosferoje po 2050 m. toliau nedidėtų. Pažadai pasiekti „grynąjį nulį“ dabar apima beveik 80 % pasaulio ekonomikos. Taigi, ką reiškia grynasis nulis ir ar visur ir visada jį galima pasiekti? Kaip tai daryti, atrodo aišku – mažinti išmetamų teršalų kiekį. Tačiau kai kuriuose sektoriuose, pavyzdžiui, aviacijos ir žemės ūkio, išmetamų teršalų kiekio mažinimas iki nulio

greičiausiai bus beveik neįmanomas. Norint subalansuoti šias neišvengiamas likutines emisijas ir pasiekti „grynąjį nulį“, reikės pašalinti iš atmosferos lygiavertį CO₂ kiekį. Nėra vieno teisingo būdo, kaip pasiekti šią pusiausvyrą, nes šalių ir įmonių tikslai skiriasi. Pavyzdžiui, Paryžiaus susitarime dėl klimato kaitos nurodyta, kad šalys gali prekiauti emisijomis. Norėdamos pasiekti nulinio išmetimo lygį, kitos šalys turės suderinti CO₂ emisijos mažinimą ir anglies absorbentų gausinimą, pvz., sodinti miškus. Šiuo atveju įmonės turi daugiau laisvės pereiti prie anglies dioksido neišskiriančio verslo modelio, joms kur kas lengviau keistis ir transformuotis.

„Nulinio išmetimo“ tikslai skiriasi atsižvelgiant į tai, kokias šiltnamio efektą sukeliančias dujas ir išmetamų teršalų šaltinius jie apima. Anglies dioksidas yra pagrindinė klimato kaitos varmoji jėga, o atšilimo lygis daugiausia priklausys nuo to, kiek CO₂ pateks į atmosferą. Didžioji dalis išmetamo CO₂ išlieka šimtus ar net tūkstančius metų, todėl atšilimas didėja, net jei emisijos išlieka pastovios. Metanas (iš gyvulininkystės ir žemės ūkio sektorių) sulaiko daugiau infraraudonųjų spindulių nei CO₂, tačiau jo buvimas atmosferoje yra trumpesnis – tik apie 12 metų. Paryžiaus susitarimą pasirašiusios šalys sutiko pasiekti pusiausvyrą tarp visų rūšių šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir absorbentų. Daugelis šalių į savo „nulinio išmetimo“ tikslą įtraukia visas šiltnamio efektą sukeliančias dujas, tačiau, deja, ne visos. Pavyzdžiui, Naujoji Zelandija iki 2050 m. planuoja pasiekti nulinę visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, išskyrus biogeninį metaną, gaunamą iš gyvulių, žemės ūkio ir pūvančių organinių atliekų. Tokie tikslai vertintini kaip nepakankami, nes šalies žemės ūkis sukuria apie pusę išmetamų teršalų ir tris ketvirtadalius iš jų sudaro metanas. Kai kurie vertintojai mano, kad Naujosios Zelandijos metano atskirtis nuo kitų emisijų yra prasminga, atsižvelgiant į trumpalaikį metano veikimą ir poreikį teikti pirmenybę CO₂ emisijos mažinimui. Kaip ir daugelis kitų

šalių, Naujoji Zelandija į savo tikslus neįtraukia aviacijos ir laivybos išmetamų teršalų.

Dėmesys metanui yra svarbus, nes šios dujos trumpuoju laikotarpiu yra labai stipriai klimatą šildanti cheminė medžiaga. Kai 2021 m. šalys susitarė dėl pasaulinio įsipareigojimo COP26 Glazge ir nusprendė iki 2030 m. sumažinti metano emisiją 30 %, Kinijos nebuvo tarp pasirašiusių, nors ji daugiausiai išmeta metano. Remiantis 2023 m. pareiškimu, JAV ir Kinija pasižadėjo įtraukti šiltnamio efektą sukeliančias dujas, įskaitant metaną, į savo nacionalinius klimato kaitos stabdymo planus. Vis dėlto nei JAV, nei Kinija neįsipareigojo visiškai atsisakyti iškastinio kuro.

Įmonių išmetimai skirstomi į tris kategorijas: 1) tiesiogiai išmetami teršalai (pvz., įmonės valdomų transporto priemonių tarša), 2) įmonės perkamos elektros ir šilumos emisijos, 3) teršalai iš visos vertės grandinės (nuo pietų valgykloje, perkamų prekių ir parduodamų produktų iki darbuotojų kelionės į darbą ir atgal). Naftos ir dujų bendrovėse trečioji kategorija apima jų parduodamo kuro emisijas ir sudaro net 95 % viso jų kiekio. Trečios kategorijos išmetamų teršalų įtraukimas į įmonės „grynojo nulio“ tikslą yra labai prasmingas, nes įmonė gali kontroliuoti tiekėjų gaminamų produktų pasirinkimą bei pastarųjų panaudojimą. Čia kyla ir kolizijų, nes taikymo sritį organizacijos gali apibrėžti skirtingai. Pavyzdys – įmonė, kuri gamina iškastinį kurą padedančią išgauti programinę įrangą. Ar papildomas iškastinis kuras, išgaunamas naudojant šią programinę įrangą, turi būti įtraukiamas į trečią kategoriją? Daugelis „grynojo nulio“ tikslų priklauso nuo strategijų, pvz., miškų atsodinimo, siekiant kompensuoti CO₂ emisiją pramonės šakų, kuriose sunku sumažinti CO₂ kiekį.

Ekonominės priemonės taip pat gali padėti (arba trukdyti) įmonėms ir šalims pereiti prie grynojo nulio. Manoma, kad atidedant klimato stabilizavimo veiksmus patiriamos išlaidos gerokai viršytų

išankstinių veiksmų išlaidas. Jei atsinaujinančių energijos šaltinių energijos gamybos plėtra didės daugiau nei iškastinio kuro gavyba, CO₂ emisijos intensyvumas gali sumažėti, nebūtinai sumažėjus absoliučiam išmetamų teršalų kiekiui. Labai svarbu, kad bet koks kompensavimas, siekiant „grynojo nulio“ tikslo, iš tikrųjų pašalintų CO₂ iš atmosferos, nes didėjant klimato kaitos poveikiui, žemė bus labiau pažeidžiama dėl dažnėjančių miškų gaisrų, atogrąžų audrų, potvynių.

Dirvoje esanti organinė anglis formuoja humusą. Humuso apsauga ir pagerėjusi dirvos geba kaupti organinę anglį (CO₂ sekvestracija) gali padėti kovoti su klimato kaita, užkirsti kelią dirvos degradacijai. Augalai panaudoja atmosferos CO₂ ir per šaknis, šaknų išskyras ar augalų liekanas sulaiko organinę anglį dirvoje. Skirtumas tarp įprastinio ir klimatui nekenksmingo žemės ūkio akivaizdus, nes pastarojo atveju dirvos hektare kasmet iki 280 kg padaugėtų organinės anglies (28 g C/m²). Klimato saugos požiūriu tai sąlygotų 1 027 kg CO₂ sekvestraciją. Visgi, norint apriboti atšilimą iki 1,5 °C, reikės ne tik sumažinti CO₂ emisiją, bet ir pašalinti CO₂ iš atmosferos. „Grynojo nulio“ tikslas atskiria sumažinimą ir pašalinimą. Nors miškai padeda surinkti CO₂ iš atmosferos ir jį „užrakinti“, tačiau gaisrai gali akimirksniu panaikinti šią sekvestraciją.

Yra skirtumas tarp išmetamų teršalų išvengimo (užmokestis už nenukirstus medžius) ir faktinio anglies pašalinimo iš atmosferos (užmokestis už pasodintus naujus medžius). Ekosistemų (miškų, pievų) atkūrimas gali padėti pašalinti iš atmosferos anglį, nes jos yra anglies absorbentai, t. y. sugeria daugiau anglies nei išskiria.

Pasaulinė anglies dioksido rinka galėtų gerokai sumažinti CO₂ emisiją, tačiau kritikai teigia, kad galimybė teršėjams mokėti už išmetamus teršalus nėra tinkamas atsakas į klimato kaitą. Kadangi klimato kaita per ateinančius kelis dešimtmečius sukels intensyvesnius miškų gaisrus ir užsitęsusias sausras, kyla klausimas, ar šios kompensacijos gali drastiškai sumažinti CO₂ emisiją ir ar galime

užtikrinti, kad CO₂ šalinimo projektai, į kuriuos bus investuota, išliks po 10 metų, jau nekalbant apie 100 metų?

Siekdami sumažinti CO₂ lygį atmosferoje ir paskatinti šalis stabdyti klimato kaitą, ekonomistai numatė finansinę paskatą už mažesnę išmetamų teršalų kiekį. Idėja paprasta: šalis, sumokanti už išmetamų teršalų mažinimą arba surinkimą kitoje šalyje, pavyzdžiui, sodindama mišką arba įrengdama atsinaujinančios energijos įrenginius, gali tai įtraukti į savo sąskaitą.

Šalys gali prekiauti viena su kita kreditais, kurių kiekvienas atitinka vieną toną CO₂, pasaulinėje rinkoje. Siekiama, kad už kiekvieną kažkur išmetamą CO₂ toną kitur ta tona būtų sugaunama. Teoriškai šie mainai turėtų subalansuoti ir užkirsti kelią bendram išmetamų teršalų didėjimui. Visgi pasaulinės CO₂ rinkos sukūrimas pasirodė tebesąs didžiulis iššūkis – nors beveik 30 metų šalys bandė parengti griežtas taisykles, joms dažniausiai nepavykdavo. Pirmoji pasaulinė schema sukurta ir patvirtinta 1997 m. Kioto klimato kaitos protokole, kuris pradėjo veikti 2006 metais. Pagal jį, turtingesnės šalys galėjo sumažinti išmetamų teršalų kiekį, mokėdamos už CO₂ emisiją mažinančių projektų vystymą neturtingesnėse šalyse ir laikydamos šį mažinimą savo tikslų dalimi. 2020 m. tyrimų duomenimis, sistema 2008–2016 m. sumažino CO₂ emisiją daugiau nei vienu milijardu tonų. Kita vertus, protokolą iš esmės sužlugdė plačiai paplitęs aplinkosaugos neveiksmingumas, korupcija ir teisinis nihilizmas.

2015 m. 190 šalių pasirašė Paryžiaus susitarimą ir nustatė išmetamų teršalų mažinimo tikslus. Jos susitarė sukurti savanorišką pasaulinę CO₂ rinką, siekdamos išvengti spąstų, dėl kurių žlugo Kioto protokolas. Deja, šalys ir toliau laužo taisykles ir nepasiekia sutarimo. Jei šis „prekybos“ mechanizmas gerai veiks, pasaulinis išmetamų teršalų kiekis sumažės beveik perpus ir šalims bus daug pigiau įgyvendinti Paryžiaus susitarime priisimtus klimato kaitos tikslus. Kompensavimo projektai galėtų nukreipti reikalingas lėšas skurdesnėms šalims ir

padėti joms prisitaikyti prie klimato, nes suteiktų finansinių paskatų atkurti miškus ir kitas biologinės įvairovės vietas.

Pagrindinė dabartinių CO₂ rinkos mechanizmų problema yra neapibrėžtas požiūris į kreditavimą, nes daugelis kompensacinių projektų patvirtinami be didelių garantijų, kad jie sumažins išmetamų teršalų kiekį. Kompensacinės schemos galėtų būti ilgaamžės, tačiau praktiškai neįmanoma užtikrinti jų pastovumo. Nežinia, koks miškų naikinimo mastas bus Brazilijoje po penkerių ar 10 metų. Net ir laikydamosi griežtų taisyklių šalys negali pasikliauti tik CO₂ kompensacija, jos turėtų teikti pirmenybę vidaus ir regioninei išmetamų teršalų kiekio mažinimo politikai. Tik toks požiūris lems reikalingą CO₂ mažinimą, kad iki 2050 m. pasaulis pasiektų „grynąjį nulį“.

Nesunku pasiklysti įvairių smulkmenų labirintuose, tačiau būtent nuo jų priklausys, kaip keisis mūsų klimatas, o ekspertai įspėja, kad „grynojo nulio“ gali nepakakti. „Grynasis nulis“ bus tik svarbus įvykis, rodantis, kad atšilimo sparta mažėja, tačiau ne visi klimato kaitos padariniai bus grįžtami. Tarsi pilka zona šalių įsipareigojimuose pasiekti „grynąjį nulį“ yra nepakankamas tarptautinės laivybos ir aviacijos išmetamų teršalų kiekio ribojimas.

Yra rimta mokslinė priežastis šiltnamio efektą sukeliančias dujas traktuoti skirtingai. CO₂ yra pagrindinė klimato kaitos varomoji jėga, o atšilimo lygis daugiausia priklausys nuo to, kiek CO₂ pateks į atmosferą. Metanas sulaiko daugiau infraraudonųjų spindulių nei CO₂, tačiau jo buvimas atmosferoje yra apie 12 metų, todėl jo kiekiai nedideli. Šiuo požiūriu CO₂ emisija yra pavojingesnė, todėl ji turi pasiekti „grynąjį nulį“, nors Paryžiaus susitarimą pasirašiusios šalys sutiko pasiekti pusiausvyrą tarp visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinių (ne tik CO₂) ir absorbentų. Kiekvienos šalies, miesto ar institucijos kelias iki „grynojo nulio“ gali būti skirtingas, tačiau galutinis rezultatas turi būti toks pat – emisijų kiekis turi mažėti. Paskutinis šių įgyvendinamų priemonių išbandymas, žinoma, bus ateinančių dešimtmečių planetos būklė.

Ar tikrai galima iš oro surinkti CO₂

Žmonija yra ant plono „egzistencinio“ ledo ir tik spartus iškastinio kuro naudojimo mažinimas ir labai sumažinta šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija turėtų būti žmonijos išlikimo vadovu. Greta kitų priemonių, skirtų mažinti į atmosferą išmetamo CO₂ kiekį, būtinas CO₂ šalinimas iš atmosferos. Po šiuo terminu slypi įvairios technologijos, kurios išskirtų CO₂ iš oro ir sulaikytų jį, kad jis negalėtų prisidėti prie didėjančio šiltnamio efekto, šildančio mūsų planetą. Tačiau ar įmanoma, taikant įvairius CO₂ pašalinimo metodus, reikšmingai pakeisti klimata, nes pasaulis jau dešimtmečius nesugeba pažaboti šiltnamio efektą sukeliančių išmetamų dujų didėjimo. Yra sektorių (žemės ūkis, aviacija, laivyba ir pramonės procesai), kuriuose išmetamų teršalų kiekio mažinimą apsunkina technologijų trūkumas ar didelė jų kaina.

2022 m. pradžioje mokslininkai pateikė pirmą išsamų CO₂ šalinimo visame pasaulyje įvertinimą. Pasak jų, per metus reikėtų pašalinti apie du milijardus tonų (Gt) išmetamo CO₂. Tai maždaug 5 % (iš 36,6 Gt) į atmosferą išmetamų CO₂ teršalų, susidarančių deginant iškastinį kurą ir gaminant cementą. Žinoma, tikslus kiekis priklausys nuo to, kaip sumažinti išmetami teršalai. Nors yra daug įvairių CO₂ šalinimo iš oro būdų, jokie technologiniai metodai nebuvo plačiai įgyvendinti. Klasikinis technologinis metodas yra medžių auginimas. Augdami medžiai sugeria CO₂, o juos deginant (gaminant energiją) išmetami teršalai turėtų būti surenkami ir saugomi po žeme. Kitas pastaruosiu metu aptariamas technologinis metodas yra tiesioginis CO₂ surinkimas iš oro ir saugojimas po žeme. 2020–2022 m. didžioji dalis investicijų buvo skirta šiam CO₂ šalinimo iš atmosferos būdai.

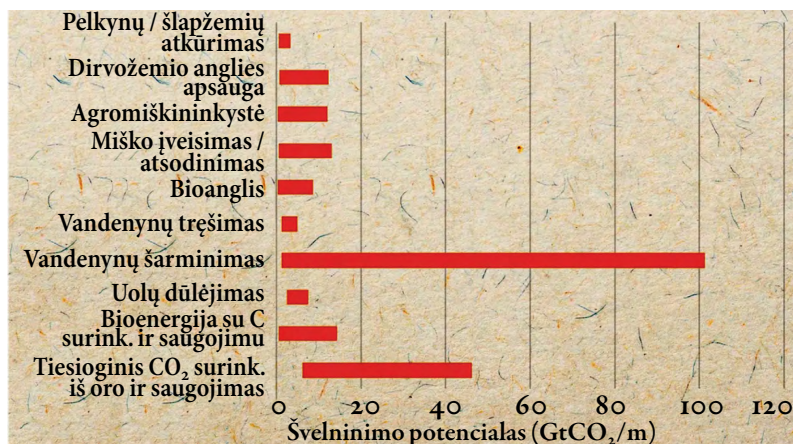
Viena iš aptariamų technologijų siūlo šalinti CO₂ naudojant bioanglį. Medžiai ar augalinės medžiagos, kurie augdami „sugavo“ anglį,

būtų pirolizuojami (kaitinami be deguonies), o susidariusi juoda, į anglį panaši medžiaga (bioanglis) įterpiama į dirvožemį ir teoriškai „užrakintų“ anglį. Metodo priešininkams susirūpinimą kelia didelis žemės naudmenų poreikis, kurio prireiktų bioanglies gamybai, be to, dar nežinomas ilgalaikis plataus masto bioanglies naudojimo poveikis. Antra vertus, bioanglies gamybai reikalinga aukšta temperatūra, o jai pasiekti taip pat reikia daug energijos.

Kaip vienas iš būdų pašalinti CO_2 iš atmosferos yra uolienuų dūlėjimas: dideli kiekiai smulkiai sumaltų silikatininių uolienuų (tokių kaip bazaltas), paskleistų ant žemės paviršiaus, imituotų natūralią atmosferos veikiamą uolienuų eroziją.

Dar vienas siūlomas procesas yra vandenyno šarminimas – į vandenį supiltos šarminės medžiagos, pvz., smulkintos silikatinės arba karbonatinės uolienos, padidintų CO_2 kiekį vandenyje. Toks vandenyno „tręšimas“ skatintų fitoplanktono augimą ir stiprintų anglies sekvestraciją, nes didelis CO_2 kiekis vandenyne kaip bikarbonatas yra „užrakinamas“ jūros dugne. Visgi mokslininkai perspėja, kad vandenyno šarminimas ir tręšimas yra per daug rizikingi jūros aplinkai. Net 99,9 % (2 Gt) antropogeninio CO_2 pašalinama kiekvienais metais apželdinant ir atkuriant miškus, durpynus ir mangroves. Tyrimai rodo, kad šių natūralių sistemų gebėjimas surinkti anglį yra ribotas. Mokslininkai įspėja, kad neturėtume per daug kliautis tik medžiais. Jie vieni negali pakeisti klimato kaitos. Pasaulyje daugėja anglies sulaikymo iš oro įrenginių, tačiau CO_2 saugojimo ar panaudojimo problemos dar neišspręstos. Nepaisant aiškos regimybės, šie „nauji“ CO_2 sulaikymo metodai pašalintų tik du milijonus tonų CO_2 per metus ($\text{Gt CO}_2/\text{metus}$), o tai yra tik 0,005 % viso deginamo iškastinio kuro ir cemento gamybos emisijų (2.4 pav.).

Pagal dabartinį naftos ir dujų sunaudojimą, pasaulis turėtų surinkti arba pašalinti apie 32 mlrd. t anglies, kad temperatūra nepakiltų daugiau nei $1,5^\circ\text{C}$, palyginti su ikipramoninio laikotarpio lygiu. Šiuo metu



2.4 pav. Metinis CO₂ šalinimo (sugerties) potencialas (<https://www.bbc.com/future/article/20230321-ippc-the-rising-need-for-negative-emissions>)

pasaulyje kasmet sulaikoma tik 45 mln. t anglies. Net elektros energijos kiekis, reikalingas šioms CO₂ sulaikymo technologijoms, būtų didesnis nei viso pasaulio dabartinis elektros poreikis. Naftos ir dujų pramonė yra viena didžiausių investuotojų į CO₂ surinkimą ir saugojimą, tačiau ji nepakankamai investuoja į atsinaujinančią energetiką. Tik iliuzija, kad neįtikėtina dideli CO₂ surenkami kiekiai yra tinkamas sprendimas. Pasaulio investicijos į švarią energetiką (2022 m.) sudaro apie 1,8 mlrd. USD, tačiau iškastinio kuro gamintojams tenka tik 1% šios sumos. Nepatogi tiesa yra ta, kad norint sėkmingai pereiti prie švarios energetikos būtina mažinti naftos ir dujų paklausą, o tai reiškia, kad laikui bėgant reikia mažinti naftos ir dujų gavybą.

Socialinė anglies kaina

Didėjant klimato kaitos poveikiui, bandoma išsiaiškinti šio reiškinio ir tikrąją anglies tonos atmosferoje kainą. 2010 m. atsirado

terminas *socialinė anglies kaina*, kuria įvertinamas energijos naudojimo efektyvumas, transporto priemonių degalų taupymas ir kiti veiksniai. Socialinė anglies kaina rodo, kiek visuomenė turėtų sumokėti, kad ateityje išvengtų klimato kaitos padarytos žalos (didesnės potvynių ir sausrų grėsmės), laipsniškai atsisakydama labai stiprų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (hidrofluorangliavandenių, naudojamų šaldytuvuose ir oro kondicionavimo įrenginiuose). Kiekybiškai įvertinus išlaidas ir naudą išmetant vieną papildomą toną CO₂, galima palyginti sumažėjusio atšilimo naudą ir išmetamų teršalų mažinimo išlaidas. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos atmosferoje išlieka daugelį metų, todėl būtina atsižvelgti į jų poveikį ateities kartoms.

Nustatant socialinę anglies kainą, naudojami keli skirtingi modeliai, jungiantys keturis pagrindinius elementus. Šis procesas žinomas kaip „diskontavimas“. Pirmas elementas yra socialinė ir ekonominė prognozė – įvertinama, kaip sparčiai augs ekonomika, kiek žmonių gyvens ir kiek jie išmes CO₂. Antrasis elementas – klimato reagasivimas į išmetamą CO₂, pvz., jūros lygio arba temperatūros kilimas. Trečias elementas vertina naudą ir žalą, pvz., prisitaikymo prie kylančio jūros lygio išlaidas, kaip didesnė temperatūra veikia darbo našumą ir kaip tai paveiks augalų derlingumą. Ketvirtas elementas naudą ir išlaidas vertina atsižvelgiant į tai, kad CO₂ atmosferoje išlieka tūkstančius metų, o žala, kylant temperatūrai, didėja.

Planuojant ateitį siūloma atnaujinti socialinę anglies kainą atsižvelgiant į mokslo pasiekimus ir kintantį visuomenės mąstymą. Reikia atsižvelgti į tirpstančio amžinojo išalo, vandenynų cirkuliacijos pokyčių, pilietinių konfliktų keliamą pavojų, bendrojo vidaus produkto ir gyventojų skaičiaus kitimo prognozes. Manoma, kad socialinė anglies kaina yra priemonė, padedanti įvertinti dėl blogėjančio klimato patiriamas išlaidas ir duodanti tikrumą, kad šiandien darome viską, ką galime padaryti dėl ateities kartų visame pasaulyje.

Ar milijardinės investicijos gali padėti susidoroti su klimato kaita

Jau seniai pastebėta, kad daugiausiai į atmosferą išmeta CO₂ ne tos šalys, kuriose išmetimų poveikis labiausiai jaučiamas. Pavyzdžiui, paplūdimiais ir krištolo lagūnomis garsėjančiose Fidžio salose bendruomenės susiduria su vandens trūkumu, nes per pastarąjį dešimtmetį šalyje buvo didžiulės sausras. Sausras sukėlė El Niño reiškinyje Ramiajame vandenyne, turintis didelį poveikį viso pasaulio orams. Dėl klimato kaitos sausras intensyvėja, o Fidžio salų gyventojai už padarinius turi mokėti savo gerove. Tačiau net jei dėl klimato kaitos ekstremalūs orai, pvz., sausras, tampa dažnesni ir sunkesni, yra būdų užtikrinti, kad gyvenimas būtų įmanomas. Perėjimas prie tvarios ateities turi didelę kainą, tačiau ne visada aišku, kas turėtų apmokėti sąskaitą arba kaip turėtų būti išleistos skiriamos lėšos.

Kinija, JAV, Europos Sąjunga ir Indija išmeta daugiau nei pusę visų išmetamų teršalų. Klimato krizė stiprėja, tačiau kolektyviniam atsakui pritrūksta ambicijų, patikimumo ir skubos. Jungtinių Tautų Tarpvyriausybinių klimato kaitos grupės (IPCC) moksliniu vertinimu, pasaulinis šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas augs iki 2025 m., o vėliau, siekiant 1,5 °C pasaulinio atšilimo lygio, smarkiai mažės.

Po audringų derybų dėl klimato kaitos 2009 m. turtingesnės pasaulio šalys įsipareigojo skirti 100 mlrd. dolerių per metus, padėti besivystančioms tautoms spręsti dažnai ne jų sukurtą problemą. Lėšos turėjo būti skirtos iki 2020 metų. Ar turtingos šalys pasiekė 100 mlrd. USD per metus tikslą? Trumpas atsakymas yra „ne“, nes klimato kaitos finansavimo didinimas 2013–2018 m. beveik išimtinai buvo iš viešųjų finansavimo šaltinių ir labai maža dalis teko privačioms lėšoms (Rosenblad, 2021). Antra vertus, vis daugiau viešųjų klimato kaitos finansavimui skiriamų lėšų suteikiamos kaip paskolos, o ne

kaip dotacijos, todėl lėšas gavusios šalys dalį jų turės grąžinti, dažnai su palūkanomis. Tai reiškia, kad besivystančios šalys, kad galėtų sumokėti už klimato sprendimus, vis labiau strigs skolose. 2016–2018 m. didžiausia klimato kaitos finansavimo dalis teko vidutines pajamas gaunančioms šalims. Mažiausias pajamas gaunančios šalys gavo tik 8 %. Tarp vidutines pajamas gaunančių šalių paskolos ypač paplitusios, ir šios šalys turėjo grąžinti beveik 90 % gautos paramos. Didžioji klimato kaitos finansavimo dalis skiriama svarbiems projektams, kurie iš tikrųjų daro įtaką žmonių gyvenimui klimato kaitos pažeidžiamose šalyse. Tai ir parama atsinaujinantiems Nigerijos energetikai, siekiant tiekti įperkama švarią energiją ir remti pažeidžiamas bendruomenes, ir projektas Jemene, kuriuo siekiama aprūpinti regioną maistu, nes, be karo, gyventojai kenčia nuo sausros ir vandens stygiaus.

Norint iki XXI a. vidurio pasiekti nulinę CO₂ emisiją, reikės radikalaus dekarbonizavimo, taip pat pamažu atsisakyti deginti visą iškastinį kūrą, kurio išmetamų teršalų surinkti neįmanoma. Pusinės priemonės neužkirs kelio visiškam klimato žlugimui.

2.3. Kaip turtingieji skatina klimato kaitą

Nors kiekvienas žmogus prisideda prie klimato kaitos, turtingiausių pasaulio žmonių indėlis yra didesnis. Kaip sumažinti turtingųjų išmetamų teršalų kiekį?

Vienas garsiausių pasaulio aplinkos gynėjų Billas Gatesas 2017 m. atliko 59 skrydžius, įveikdamas daugiau negu aštuonis kartus ilgesnį nuotolį, nei yra aplink pasaulį. Jo skrydžių metu buvo išmesta daugiau negu 1 600 t šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Taigi skrydžiai, viena iš daugiausiai CO₂ išskiriančių vartojimo formų, rodo asmeninę turtingo asmens atsakomybę, ir kuo didesnis paliekamas anglies pėdsakas, tuo didesnė asmens moralinė atsakomybė.

Skraidančiam asmeniui tikriausiai atrodo, kad jis priklauso pasauliniam elitui, nes daugiau nei 90 % žmonių niekada nėra skridę, ir tik 1 % pasaulio gyventojų yra atsakingi už 50 % skrydžių išmetamų teršalų. Verslo elitas, pasaulinės įžymybės, politikai keliones pavertė savo prekinio ženklo dalimi, jų elgesys daug CO₂ išskiriantį gyvenimo būdą pavertė trokštamu. Turtingi žmonės nustato vartojimo manierą, kurios visi siekia, o žalingi padariniai pirmiausia ir skaudžiausiai paliečia skurdžiausius. Pagal statistiką, 10 % turtingiausių pasaulio gyventojų 2015 m. išmetė maždaug pusę viso pasaulio išmetamų teršalų; 1 % turtingiausiųjų buvo atsakingi už 15 % išmetamų teršalų, kai 50 % skurdžiausių pasaulyje gyventojų buvo atsakingi tik už 7 % išmetamų teršalų, tačiau jie pajus didžiausią klimato poveikį.

Yra net terminas „teršėjų elitas“, apibūdinantis turtingiausius visuomenės narius, kurie daug investuoja į iškastinį kurą, o jų gyvenimo būdas turi didelį poveikį klimatui. Ir nors „teršėjų elito“ poveikis gamtai neproporcingas, turtingiausi pasaulio gyventojai apima daug platesnę gyventojų grupę. Vidutinis žmogus Jungtinėje Karalystėje per metus išmeta 8,5 t anglies, Kanadoje šis skaičius išauga iki 14,2 tonos. Norint išlaikyti 1,5 °C atšilimą, šie skaičiai iki 2050 m. turi sumažėti iki 0,7 t vienam žmogui.

Didesni namai yra dar vienas vartojimo aspektas, nes būstas (vieta, dydis) reiškia prestižą ir socialinį statusą. Europoje beveik 11 % būsto išmetamų teršalų tenka 1 % didžiausių teršėjų, turinčių didelius, o dažnai ir kelis namus. Visgi per pastaruosius kelerius metus socialinės normos pradėjo keistis, nes COVID-19 smarkiai apribojo verslo keliones ir įrodė, kad vaizdo skambučiai ar pokalbiai gali pakeisti asmeninius susitikimus. Žmonės taip pat pradėjo svarstyti apie savo mitybos gamtai poveikį ir mažinti mėsos ir pieno vartojimą. Tiksliniai mokesčiai už netvarų elgesį, pavyzdžiui, dažną skraidymą ar per didelį mėsos vartojimą, gali paskatinti greičiau pereiti prie mažiau CO₂ į aplinką

išskiriančio gyvenimo būdo. Medicininiai tyrimai rodo, kad mažiau valgant mėsos, ypač raudonos, nauda sveikatai akivaizdi. Visureigių ir dujomis varomų automobilių kiekio ribojimas prisidėtų prie oro kokybės gerinimo. Keturių dienų darbo savaitė sudarytų sąlygas geresnei darbo ir gyvenimo pusiausvyrai – daugiau laiko būtų skiriama šeimai, sumažėtų vaikų priežiūros išlaidos.

Bandymai nustatyti gamtos vertę

Gėlas vanduo, švarus oras, ramybė, gamtos peizažai gerina žmonių gyvenimą. Mokslininkai bando nustatyti gamtos svarbą ir vertę. Jie ne tik stebi fizinius pokyčius atkuriant nualintą žemę, bet ir skaičiuoja, kokią gauname ekonominę naudą, nes gamta ne tik sugeria anglį. Visame pasaulyje miškai tiekia būstą, maistą, kitus išteklius žmonėms ir gyvūnams. Medžiai mažina oro taršą, potvynių riziką, padeda palaikyti dirvožemio kokybę, pievos ir šlapžemės teikia daug naudos žmonėms, daugybei gyvūnų ir augalams. Mintis nustatyti CO₂ išmetimo kainą yra ne nauja. Aplinkosaugininkai siekia sukurti pasaulinę CO₂ rinką, leidžiančią šalims prekiauti anglies dioksido kreditais, ir taip apriboti išmetamus teršalus, o investuotojai ir įmonės ieško CO₂ rinkų kaip reguliavimo priemonių, kurios užtikrintų dekarbonizaciją. Teoriškai pasaulinė anglies dioksido rinka turėtų sumažinti CO₂ emisiją visoje planetoje. Turtingos šalys susimokėtų už savo emisijas, o mažesnes pajamas gaunančios šalys iš nepanaudotų taršos kreditų galėtų gauti finansinės naudos. Bet velnias visada slypi detalėse. Jei ši rinka bus sutvarkyta netvariai ar neteisingai, tai rinkos veikėjai gali užgrobti žemes, niokoti bendruomenes, gyvenančias turtingiausiuose pasaulio kraštovaizdžiuose, ir pažeisti natūralią gamtą. Visgi kai kurios šalys iš prekybos kreditais jau gauna naudos. Didžiąją Gabono dalį dengia atogrąžų miškai, todėl Centrinės Afrikos miškų organizacija sumokėjo šaliai 17 mln.

USD, kad ji saugotų, o ne naikintų miškus. Seišelių 22 mln. USD skolą sumokėjo JAV gamtos saugos grupė mainais už pakrantės šlapžemių apsaugą, nes ši buveinė sugeria daug CO₂ ir yra nykstančių rūšių apsaugos zona.

Ekosistemų paslaugų koncepcija buvo sukurta XX a. 8-ajame dešimtmetyje. Iš pradžių ji buvo skirta pabrėžti žmonių priklausomybę nuo gamtos ir paskatinti jos tausojimą, bet vėliau tapo įrankiu, kuriuo galima įvertinti šių paslaugų kainą ir už jas sumokėti. Ekosistemų paslaugų kainos nustatymas yra būdas užtikrinti, kad priimant sprendimus gamtai būtų skiriamas tinkamas dėmesys. Kaip nustatyti ekosistemų paslaugų finansines vertes? Naudodami įvairias technologijas (bepiločius orlaivius, gaudykles, garso įrašymo įrangą ir kt.) mokslininkai įvertina ekosistemų paslaugų pokyčius ir jų atsinaujinimą. Pavyzdžiui, stebint durpyną ir analizuojant jo vandens lygį, po kelių metų galima apskaičiuoti durpyno atkūrimo finansinę naudą, jo poveikį potvynių mažinimui, vandens kokybei ir anglies sugėrimui. Kitas pavyzdys: perkant lėktuvo bilietą galėtų būti papildomas mokestis, kuris kompensuotų lėktuvo variklių išmetamų teršalų taršą, arba dažnai skraidančių keleivių mokesčių pajamos galėtų būti investuojamos į pigesnę ar net nemokamą viešojo transporto sistemą, pinigai iš „dvaro“ būsto mokesčių galėtų būti skiriami namams apšiltinti, taip sumažinant kuro nepriteklį.

Kalbant apie veiksmus, susijusius su klimato kaita, per daug dėmesio tik CO₂ saugojimui irgi kelia keblumų, nes ekosistemos nėra paprasti anglies kaupimo įrenginiai, jų klestėjimui būtinas sudėtingas valdymas. Atsižvelgiant į pasaulinę CO₂ rinką, žemės kaina pastebimai išaugo ir yra rizika, kad organizacijos, perkančios žemę išsaugojimui, bus išstumtos. Be aiškių bendruomenės teisių vargu ar tie, kurie priklauso nuo tos žemės, gaus naudos, kai šalys prekiaus išsaugojimui, bus išstumtos. Be aiškių bendruomenės teisių vargu ar tie, kurie priklauso nuo tos žemės, gaus naudos, kai šalys prekiaus išsaugojimui, bus išstumtos. Be aiškių bendruomenės teisių vargu ar tie, kurie priklauso nuo tos žemės, gaus naudos, kai šalys prekiaus išsaugojimui, bus išstumtos. Neaišku, kaip CO₂ rinkos paveiks žmonių teisę į pragyvenimo šaltinį ir užtikrins, kad jie galėtų

patekti į mišką dėl maisto, medienos ar kitų išteklių ir patenkinti savo pagrindinius poreikius. Dalis problemos yra ta, kad vertindamos Žemės potencialą kovoje su klimato kaita vyriausybės ne visada atsižvelgia į žmones. Atkurti žmonių ir kraštovaizdžio ryšį yra taip pat svarbu, kaip atkurti tinkamą hidrologiją ar išvalyti teršalus. Tai vaistas Žemei. Žmonės keičiasi ir pripažįsta, kad Žemė yra vienintelis laivas ir motina, kurią kada nors turėsime, ir jei nepradėsime ją rūpintis, viskas blogai susiklostys.

Kalbant apie politiką, nukreiptą į vartotojų elgseną, sunku sumažinti išmetamų teršalų kiekį, jei nėra tinkamos infrastruktūros. Vien tik privačių lėktuvų ir prabangių jachtų mažinimas problemos neišspręs. Tyrėjai atkreipė dėmesį į reklamos vaidmenį skatinant netvarų vartojimą. Žmonės nori išsiskirti iš visuomenės, parodydami savo pranašumą, o reklama naudoja šią žmogišką silpnąbę.

2.4. Anglies dioksido požiūriu neutralaus kuro gamyba

Anglies dioksidas (CO_2), susidarantis deginant iškastinį kurą, yra labiausiai paplitusios šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Yra technologijų, kurios šias dujas gali tvariai paversti naudingu kuru. Perspektyvus būdas, išmetamą CO_2 paverčiantis degalų žaliava, yra elektrocheminis redukavimas. Dažnas žmogus žino anglies dioksidu prisotintą gazuotą vandenį, rečiau žinoma, kad CO_2 dujos naudojamos elektros lanko apsaugai suvirinant mažaanglį ar mažai legiruotą plieną, o dar mažiau – kad iš CO_2 dujų galima gaminti įvairias kuro rūšis. Norint tai padaryti, kol kas reikia sunaudoti daugiau degalų, negu jų būtų išgaunama, nors CO_2 skaidymas į anglį ir deguonį gali būti laikomas neutraliu anglies atžvilgiu, nes tai šalina CO_2 ir padeda mažinti visuotinį atšilimą. Neutralus CO_2

požiūriu kuras neišskiria šiltnamio efektą sukeliančių dujų, tai yra nepalieka anglies pėdsako. Toks kuras gali būti gaminamas chemiškai hidrinant (vieni junginiai gaunami iš kitų) CO_2 ar gaminant biodegalus fotosintezės būdu. Ar galima gaminti sintetinį kurą iš CO_2 ? Pirmajame gamybos etape iš vandens gaminamas vandenilis. Skystam kurui pagaminti į vandenilį pridedama anglies. Šią anglį galima gauti pramoninių procesų metu arba netgi surinkti iš oro naudojant filtrus. Sujungus CO_2 ir H_2 gaunamas sintetinis kuras, juo gali būti benzinas, dyzelinas, dujos ar net žibalas, taip pat amoniakas, metanolis ir reaktyvinis kuras. Automobilis, naudojantis 30 % benzino ir 70 % amoniako mišinį, anglies dvideginio (CO_2) išmetimą gali sumažinti 70 %, nes degdamas amoniakas neišskiria šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Prieš paverčiant naudingu kuru ar kitokiu produktu, CO_2 turi būti chemiškai paverstas anglies monoksidu (CO). Šią konversiją atlieka elektrocheminiai procesai, kurių metu suardomos stabilios CO_2 molekulės, tačiau šiems procesams reikalinga papildoma energija ir ji turi būti netarši, tai yra gaunama naudojant vandens, vėjo, saulės ar branduolinių jėgainių gaminamą elektros energiją.

Neutralaus CO_2 išmetimo požiūriu kuro tyrimai buvo vykdomi dešimtmečius. 1965 m. pasiūlyta metanolį sintetinti iš ore esančio CO_2 naudojant branduolinių jėgainių gaminamą elektros energiją. Sintetinio kuro naudojimas laivuose, pasitelkiant branduolinę energetiką, buvo tiriamas 1977 ir 1995 metais. 1995 m. buvo nagrinėjamas metanolio naudojimas transporto priemonėse. Ekonomiškiausia elektros energijos gamybos forma laikomos naktinio vėjo jėgainės, nes degalų sintezei naudojamos saulės energijos apkrova yra didžiausia dienos valandomis, o vėjas pučia šiek tiek daugiau naktį nei dieną. Dėl to nakties vėjo energijos kaina dažnai yra daug mažesnė negu bet kuri kita alternatyva. Skačiuojama, kad 100 megavatų elektros energijos per dieną gali pagaminti 160 m³ reaktyvinio kuro.

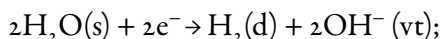
Sintetiniam kurui gaminti naudojamas CO_2 gali būti tiesiogiai imamas iš oro, išskiriamas iš jėgainių išmetamų dujų arba gaunamas iš jūros vandenyje esančios anglies rūgšties. Kad kuras iš tikrųjų būtų neutralus CO_2 susidarymo atžvilgiu, bet kokiam kuro gamybos procesui reikalinga energija turi būti be emisijų, pavyzdžiui, atsinaujinanti ar branduolinių jėgainių gaminama elektros energija. Jei deginant anglies atžvilgiu neutralų kurą išmetamas CO_2 yra „sugaudomas“, tai gali būti laikoma tam tikra šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo forma. Anglies išmetimo atžvilgiu neutraliam kurui gaminti būtinas šiltnamio efektą sukeliančių dujų valymas, nes surinktos CO_2 dujos pakartotinai naudojamos degalams gaminti, o ne išleidžiamos į atmosferą. Šis metodas, jei jis būtų naudojamas visose iškastinio kuro elektrinėse, sumažintų grynojo CO_2 išmetimą apie 50 %. CO_2 surenkant tiesiogiai iš oro, sumažėtų jo kiekis aplinkoje ir susidarytų uždaras anglies ciklas.

Sintetiniai angliavandeniliai gali būti gaminami vykstant cheminėms reakcijoms tarp CO_2 , iš elektrinių surinktų dūmų arba oro ir vandenilio. Vandenilinis kuras paprastai ruošiamas vandens elektrolizės būdu. Kad elektrolizės proceso metu susidarytų vandenilio ir deguonies dujos, reikia daug elektros energijos, išgaunamos iš atsinaujinančių šaltinių (pavyzdžiui, vėjo ir kt.). Elektros energijos, investuotos į dyzelinio kuro iš iškastinės naftos gamybą, grąža yra 18 kartų didesnė nei e-dyzelino, gaunamo iš gyvulinių riebalų ar augalinio aliejaus.

Siekiant sumažinti emisijas, naudojami mažai teršalų išmetantys elektros energijos gamybos šaltiniai (vėjo, saulės ar branduolinės energetikos). Visi sintetiniai angliavandeniliai paprastai gaminami esant 200–300 °C temperatūrai ir 20–50 barų slėgiui. Reakcijos efektyvumui pagerinti ir norimai angliavandenilio kuro rūšiai sukurti naudojami katalizatoriai. Tokios reakcijos yra egzoterminės. Šiandien gaminamos kelios CO_2 atžvilgiu neutralių degalų rūšys:

- „žalias“ vandenilis – gaminamas elektrolizės būdu naudojant elektros srovę, kuri atskiria vandenilį nuo deguonies vandens molekulėse;
- bioetanolis – iš įvairių augalinių medžiagų gaminamas biokuras;
- biodyzelinas – skystas kuras, gaminamas iš atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip gyvuliniai riebalai ir augalinis aliejus;
- metanolis – skystas kuras, gaminamas iš kviečių, kukurūzų arba cukraus;
- e-degalai – gaminami iš vandenilio ir anglies dioksido.

Elektrolizės metu cheminiai elementai bei junginiai atskiriami per juos leidžiant elektros srovę (2.5 pav.):

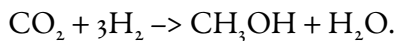


čia s – skystis, d – dujos, vt – vandeniniai tirpalai.

Bioetanolį ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) galima gaminti laboratoriniu būdu iš CO_2 pasitelkus biologines ir elektrochemines reakcijas:



Vienas iš būdų gauti *metanolį* (CH_3OH) yra purkšti anglies dioksidą į metanolio sintezės reaktorių, kuriame vyksta metanolio susidarymo reakcijos:



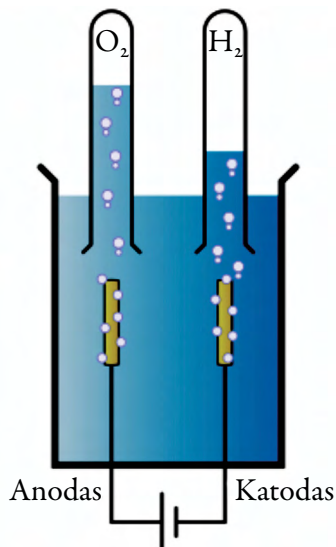
Iš sintetinių angliavandenilių metanolis turi aukštesnį oktano skaičių negu benzinas, tačiau pasižymi mažesniu energijos tankiu. Jis gali būti sumaišytas su kitais degalais arba naudojamas atskirai, taip

pat gali būti naudojamas gaminant sudėtingesnius angliavandenilius ir polimerus. Metanolį galima perdirbti į benziną, reaktyvinį kurą ar kitas kuro rūšis, tačiau tam reikia papildomos energijos ir sudėtingesnių gamybos įrenginių.

Biodyzelinas – tai skystas biokuras, gaunamas cheminiais procesais iš augalinių aliejų, gyvulinių riebalų, alkoholio ar CO_2 , kuris naudojamas dyzeliniuose varikliuose vienas arba sumaišytas su dyzelinu. Biodyzelino tankis ir cetaninis skaičius yra labai panašūs į automobilių dyzelino, nors jo pliūpsnio temperatūra yra didesnė nei dyzelino ir ši savybė leidžia jį maišyti su pastaruoju kuru. Palyginti su dyzelinu, *biodyzelino* sąnaudos tam pačiam sukimo momentui yra didesnės. Variklio darbas priklauso nuo degalų savybių, taip pat nuo degimo, purkštuko slėgio ir daugelio kitų veiksnių. Nors degdamas jis nesudaro sieros dujų (SO_2), tačiau išskiria daugiau azoto oksidų. Vienam litrui biodyzelino pagaminti reikia apie 2,3 kg CO_2 .

Daugeliui kyla klausimas, kuo e-degalai skiriasi nuo sintetinių degalų? E-degalai yra sintetinis skystas kuras, gaunamas iš neišskastinių energijos šaltinių cheminio proceso metu, kurio pagrindas yra vandenilis, o jo gamybai naudojama atsinaujinanti energija. Taršos požiūriu šis kuras yra 100 % švarus.

Mokslininkai intensyviai ieško naujų CO_2 konversijos kuru būdų. NASA sukūrė naują technologiją, kuri šiltnamio efektą sukeliančias



2.5 pav. Elektrolizės schema
(viešo naudojimo failas:
Schemas electrolyse h2o.svg.)

CO₂ dujas gali paversti kuru. Šią funkciją atlieka saulės energija maitinamos plonos fotoelektrocheminių elementų metalo oksido plėvelės.

JK mokslininkai sukūrė naują rutenio plonasluoksnį katalizatorių. Naudojant šį katalizatorių, CO₂ ir vandenilio molekulės, esant tam pačiam CO₂, vandenilio, slėgio, šilumos kiekiui ir laiko trukmei, pagamina 1 000 kartų daugiau butano negu taikant standartinį katalizatorių.

Iš CO₂ gaminamų degalų paplitimas dar nėra didelis. Norint sukurti mažai CO₂ į aplinką išskiriantį kurą, reikia turėti tinkamą infrastruktūrą, neriboto dydžio „žaliosios“ energijos šaltinius, efektyvią gamybą, o tam reikia ir laiko, ir tyrimų, todėl kol kas tai nėra patraukli kuro gamybos kryptis.

Pastaruoju metu aktyviai tiriami iš mikrodumblių pagaminti degalai, nes jie palieka mažą anglies taršos pėdsaką. Mikrodumbliai yra vienaląsčiai vandens organizmai. Nors ir turėdami paprastas ląstelių struktūras, jie vis tiek yra fotoautotrofiniai, tai yra gali naudoti saulės energiją (per fotosintezę) ir CO₂ paversti angliavandeniais ir riebalais. Šie junginiai gali būti naudojami kaip žaliava tokių biodegalų kaip bioetanolis ar biodyzelinas gamybai. Mikrodumblių pranašumu laikoma didesnė, palyginti su daugeliu kitų augalų, CO₂ fiksacija ir geba augti įvairiose vandens buveinėse. Mikrodumbliuose yra daug baltymų, todėl jie gali būti naudojami kaip pašarai gyvulininkystėje, iš kai kurių mikrodumblių rūšių gaminami vertingi pigmentai ir vaistai.

Tvenkiniuose pagamintos mikrodumblių biomasės išmetamų teršalų kiekį galima palyginti su įprasto biodyzelino teršalais, ir nors deginant mikrodumblių pagrindu pagamintą kurą vis tiek būtų išmetamų teršalų, jų kiekis būtų artimesnis neutraliam anglies išmetimui. Vis dėlto ši sistema nėra efektyvi dėl elektros energijos kiekio, reikalingo dumbliams auginti. Didelio masto mikrodumblių auginimo įrenginių statyba neišvengiamai turėtų neigiamą poveikį aplinkai, būtų sunaikinamos esamos natūralios buveinės. Mikrodumbliai taip pat gali skleisti šiltnamio efektą sukeliančias dujas, tokias kaip

metanas ar azoto oksidas, arba blogo kvapo dujas, tokias kaip vandenilio sulfidas, o mikrodumblių gaminami toksinai gali nutekėti į aplinkinį dirvožemį ar požeminį vandenį.

Lietuva buvo įsipareigojusi iki 2020 m. 10 % transporto sunaudojamų degalų pakeisti biodegalais. Lietuviškų biodegalų gamybos procese sunaudojamos visos medžiagos, į aplinką neišmetama jokių atliekų. Kas lieka po biodegalų gamybos, sunaudojama gyvuliniam pašarui arba biodujoms, iš kurių gaminama „žalia“ elektra ir šiluma. Biodegalai sumažina CO₂ emisiją nuo 50 iki 72 %, palyginti su mineraliniais degalais. Lietuvoje biodyzelinas gaminamas iš rapsų, o biobenzinas – iš kviečių ar kvietrugių, bet gali būti gaminamas ir iš saulėgrąžų, sojų ar gyvulinių riebalų. *Biodyzelinas* – augalinio aliejaus esteris, rapsų metilo esteris, rapsų etilo esteris, gaminamas iš augalinio aliejaus ir alkoholio (metanolio arba etanolio). Biodyzelino gamybos iš aliejinių sėklų kaštai yra maždaug 2 kartus didesni nei dyzelino gamybos kaštai iš žalios naftos, o bioetanolio gamybos išlaidos – 2–3 kartus didesnės nei benzino gamybos išlaidos iš žalios naftos. Degalams sudegus variklyje, į atmosferą išskiriamas beveik toks pat anglies dioksido kiekis, kuris buvo absorbuotas augančio augalo. Biodyzelino kaip kuro 100 % naudojimas gali sumažinti CO₂ emisiją 40–50 %. Biodyzelinas yra biologinės kilmės produktas, skaidomas mikroorganizmų, todėl juo užterštas dirvožemis greičiau apsivalo. Patekęs į dirvą, per 21 parą jis beveik visas suyra (daugiau kaip 90 %). Kasmet biokuro gamybai superkama apie 500 tūkst. tonų grūdų ir sėklų, išaugintų nederlingose Lietuvos žemėse.

Šiuo metu Lietuvoje gaminami tik vadinamieji pirmos kartos biodegalai, kuriems kaip žaliava naudojami maistiniai augalai, turintys cukraus, krakmolo ar aliejaus. Gamybos metu cukrus fermentuojamas į bioetanolį, o iš riebalų rūgščių transesterifikacijos (transesterifikacija yra esterio organinės funkcinės grupės R" pakeitimas alkoholio organine grupe R') būdu pagaminamas biodyzelinas. Šių

biodegalų gamyba kelia daug problemų, nes ji yra brangesnė negu degalų gamyba iš naftos, o gamybos plėtra kelia grėsmę maisto produktų gamybai ir bioįvairovei. Biodegalų gamybos šiltnamio efektą skatinančių dujų emisija yra didesnė, negu gaminant tradicinius degalus, nes prisideda trąšų gamybos, transportavimo ir pan. emisijos.

Antros kartos biodegalams gaminti naudojama lignoceliuliozės turinti biomasė – mediena ir jos atliekos, žemės ūkio atliekos (šiaudai, kukurūzų kotai ir pan.) bei energetiniai augalai (sora, drambliažolė). Šios žaliavos nesudaro konkurencijos maisto produktų gamybai, nes jos užauginama daugiau tame pačiame žemės plote ir mažiau derlingoje žemėje.

Trečios kartos biodegalams naudojamos labiau aliejingos genų inžinerijos išvestos augalų veislės.

Ketvirtos kartos biodegalams naudojami genetiškai modifikuoti augalai, kuriuos auginant iš atmosferos absorbuoti didžiuliai CO₂ kiekiai sukaupiami augalų stiebuose, šakose ir lapuose. Vėliau iš augalų biomasės biocheminių procesų metu, naudojant genetiškai sintezuotus mikrobus, efektyviai gaminami biodegalai.

2.5. Kaip mediena gali prisidėti prie baterijų gamybos

Didėjant elektromobilių paklausai, mokslininkai ieško medžiagų tvarioms baterijoms gaminti. Vis daugiau žmonių perka elektromobilius ir kaupia energiją namuose, todėl baterijų paklausa tiesiog pribloškia. Šiandien paplitusios ličio jonų baterijos labai susijusios su aplinkai žalingais pramonės procesais ir kasyba. Kai kurios šių baterijų medžiagos yra toksiškos ir sunkiai perdirbamos. 2015 m. energijai kaupti reikėjo kelių šimtų gigavatvalandžių (GWh) baterijų, tačiau pasauliui tolstant nuo iškastinio kuro, iki

2030 m. kasmet prireiks kelių tūkstančių GWh. Mokslininkai ieško baterijoms tinkamų tvarių, plačiai prieinamų medžiagų. Tokių medžiagų ieškoma ir medienoje. Ligninas, dėl kurio medžiai sumedėja, tampa stipriu varžovu kitoms medžiagoms. Inžinieriai surado būdus, kaip išgauti ligniną iš celiuliozės atliekų ir taip jį apdoroti, kad iš jo būtų gaminami baterijoms tinkami anglies anodai. Priklausomai nuo rūšies apie 30 % medžio sudaro ligninas, o likusią dalį – celiuliozė. Ligninas tarsi klajai suklįjuoja celiuliozės pluoštus ir suteikia medienai kietumo. Polimeras ligninas turi anglies, o anglis yra tinkama medžiaga baterijų anodui. Visoms baterijoms reikia katodo ir anodo, tai yra teigiamo ir neigiamo elektrodų, tarp kurių teka įkrautos dalelės, vadinamos jonais. Kai akumulatorius įkraunamas, ličio ar natrio jonai pereina iš katodo į anodą, kur jie „nusėda“ kaip automobiliai daugiaaukštėje automobilių stovėjimo aikštelėje. Pagrindinė šių medžiagų savybė yra jos geba lengvai pasisavinti ir išskirti jonus, be to, ji turi būti netrapi.

Kai baterija išsikrauna, išlaisvinę elektronus jonai grįžta atgal į katodą, o elektronai juda laidais elektros grandinėje, perduodami energiją transporto priemonei. Kai kurios įmonės iš lignino gamina kitą anglies formą – grafeną. Gamybos procese ligninas kaitinamas, tačiau temperatūra nėra tokia aukšta kaip sintetinio grafito gamyboje. Vienas iš svarbių susidariusios anglies struktūros bruožų yra tas, kad ji yra „amorfinė“ ir leidžia jonams judėti į anglies vidų ir iš jos. Lignino anglies anodų tyrimai rodo, kad galima pagaminti laidžius kilimėlius su sudėtingomis, netaisyklingomis anglies struktūromis ir daugybe deguonies prisotintų defektų. Šie defektai didina anodo reaktyvumą su jonais, perkeliama iš katodo natrio jonų baterijose, o tai trumpina įkrovimo laiką. Gaminant sintetinį grafitą anglis kaitinama iki 3 000 °C temperatūroje kečias savaites, o tam reikalinga energija dažnai gaunama iš anglimi

kūrenamų elektrinių. Tokia gamyba dabartiniu požiūriu yra netvari. Vis dėlto nors iš lignino pagamintų anglies anodų kaina būtų mažesnė, abejojama, kad jie gali komerciškai konkuruoti su grafito anodais.

Naudojant ligniną iš dalies būtų sprendžiama ir tvarumo problema. Kol ligninas, naudojamas anodo gamybai, bus išgaunamas kaip šalutinis popieriaus gamybos produktas, baterijų gamybai nebus kertami medžiai.

Yra dar vienas būdas, kaip ligninas gali būti naudojamas baterijose. Tyrėjai paskelbė bandymus lignino pagrindu gaminti elektrolitą. Elektrolitas – tai tarp katodo ir anodo esantis baterijos komponentas, kuris padeda jonams tekėti tarp elektrodų ir verčia elektronus judėti elektros grandine, prie kurios prijungta baterija. Polimerus elektrolitams galima gauti iš naftos, tačiau būtų naudinga rasti alternatyvius ir tvarius šaltinius. Anodo gamyboje ligninas termiškai apdorojamas, kad susiskaidytų į sudedamąsias dalis. Norint naudoti jį polimero pavidalu, iš jo turi būti daromas gelio elektrolitas. Visų šių idėjų komercinis gyvybingumas dar neįrodytas, tačiau teoriškai galima pagaminti bateriją, kurioje iš lignino būtų daromas ir elektrolitas, ir anglies anodas. Kiekvieno telefono ličio jonų baterijoje beveik neabejotinai yra sluoksninės struktūros anglies formos grafito anodas. Baterijas su tokiais anodais planuojama pradėti gaminti jau 2025 m.

Suomija save apibūdina kaip vieną didžiausių privačių miškų savininkų pasaulyje. Iš medienos gaminamas popierius, pakuotės, kiti gaminiai. Apie 2013 m. didžiausias popieriaus gamintojas Suomijoje suprato, kad pasaulis keičiasi ir popieriaus paklausa nuolat mažėja. Dabar norima gaminti ir elektromobilių baterijas, įkraunamas vos per aštuonias minutes. Nagrinėjamos galimybės jų gamybai naudoti medienoje esantį polimerą ligniną, kurio Suomijoje yra beveik neriboti kiekiai.

2.6. Kodėl sunku atsisakyti iškastinio kuro

Pastaruosiu metu pasaulis naudoja daugiau iškastinio kuro negu bet kada anksčiau, nes perėjimas prie „žaliosios“ energetikos lėtėja ar net stoja. Vėjo ir saulės energijos dalis pasaulio energetikos derinyje per pastarąjį dešimtmetį išaugo minimaliai. Anglies, naftos ir dujų naudojimas gaminant energiją ir toliau dominuoja. Atsinaujinančios energijos šaltinių dalis per pastarąjį dešimtmetį išaugo nuo 10,6 iki 11,7 %, tačiau iškastinio kuro (anglies ir dujų) dalis sumažėjo labai mažai – tik nuo 80,1 iki 79,6 %. Kadangi energijos poreikis auga, iškastinio kuro sunaudojame daugiau negu bet kada anksčiau. 2021 m. pasauliui atsigavus nuo COVID-19, anglies dvideginio išmetimas pasaulyje padidėjo maždaug 2 mlrd. tonų.

Vėjo ir saulės energija 2021 m. pagamino 10 % pasaulinės elektros energijos. Jau 50 šalių daugiau nei dešimtadalį energijos gauna iš vėjo ir saulės energijos šaltinių. 2021 m. saulės, vėjo ir kiti švarios energetikos šaltiniai (vandens, branduolinės jėgainės) pagamino 38 % pasaulio elektros. Prie vėjo ir saulės energetikos greičiausiai pereita Nyderlanduose, Australijoje ir Vietname. Per pastaruosius dvejus metus šios šalys dešimtadalį elektros energijos poreikio iš iškastinio kuro perkėlė į „žaliuosius“ šaltinius. Vietname saulės energetika per vienerius metus išaugo daugiau nei 300 %.

Nepaisant tokio augimo ir to, kad kai kurios šalys, pavyzdžiui, Danija, daugiau negu 50 % elektros energijos dabar gauna iš vėjo ir saulės energijos, anglų deginanti energetika 2021 m. taip pat pastebimai plėtėsi. 2021 m. didžiąją dalį padidėjusio elektros poreikio patenkino iškastinis kuras, o anglimi kūrenama elektros energetika išaugo 9 %. Labiausiai anglies naudojimas išaugo Azijos šalyse (Kinijoje ir Indijoje). Didesnis anglies sunaudojimas neprilygo dujų naudojimui, kuris visame pasaulyje išaugo tik 1 %, o tai rodo, kad dėl didėjančių dujų kainų anglis tapo perspektyvesniu elektros energijos

šaltiniu. Tyrėjai teigia, kad nepaisant anglies „atgimimo“ 2021 m., didžiosios ekonomikos, įskaitant JAV, JK, Vokietiją ir Kanadą, per ateinančius 15 metų sieks 100 % pereiti prie anglies nenaudojančios elektros energijos gamybos. Norint tai pasiekti reikia, kad iki 2030 m. vėjo ir saulės energetika kasmet augtų apie 20 %.

Nors 2021 m. atsinaujinanti energija pasiekė 10 % pasaulinės elektros gamybos, problemos kyla tokiose sudėtingose srityse kaip transportas. Transporte, kuriam tenka 32 % gaminamos energijos, atsinaujinančių energijos šaltinių dalis nesiekia net 4 %. Nors prieš susitikimą Glazge (2021 m.) 135 šalys nustatė nulinio išmetamų teršalų kiekio iki 2050 m. tikslus, tik 84 šalys turėjo parengtus visos ekonomikos tikslus dėl atsinaujinančių energijos šaltinių plėtros. Teisingai investavus į technologijas, atsinaujinantys energijos šaltiniai yra vieninteliai energijos šaltiniai, suteikiantys kiekvienai pasaulio šaliai galimybę įgyti didesnę energetinę autonomiją ir saugumą.

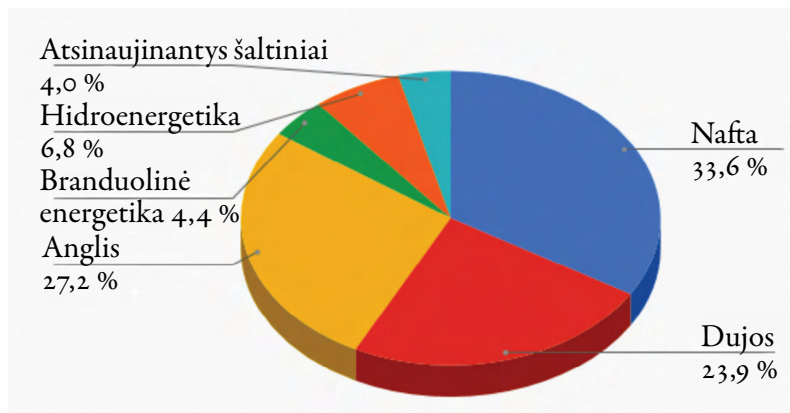
Pasaulyje daugiausiai energijos sunaudoja Kinija (2.2 lentelė). 2021 m. ji sunaudojo apie 157,65 eksadžaulio energijos (1 eksadžaulis yra lygus 10^{18} džaulių). JAV sunaudojo 92,97 EJ, Indija – 35,43 EJ,

2.2 lentelė. Šalių pirminės energijos gamybos struktūra

Šalis	Anglis	Nafta ir dujos	Branduolinė energetika	Atsinaujinanti energetika
Pietų Afrikos Respublika	91 %	1 %	0	8 %
Kinija	71 %	13 %	6 %	10 %
Australija	64 %	33 %	0	3 %
Indija	50 %	11 %	6 %	33 %
Rusija	16 %	78 %	4 %	2 %
JAV	13 %	69 %	10 %	8 %
Prancūzija	0	1 %	65 %	34 %

Rusija – 31,3 EJ. Europoje pagal pirminės energijos sunaudojimą 2021 m. pirmauja Vokietija – 12,64 EJ. Kai kurios šalys (Albanija, Islandija ir Paragvajus) jau šiandien iš esmės visą elektros energiją gauna iš atsinaujinančių šaltinių (Albanija ir Paragvajus – 100 % iš hidroenergetikos, Islandija – 72 % iš vandens ir 28 % iš geoterminės energetikos). Norvegija beveik visą elektros energiją gauna iš atsinaujinančių šaltinių (97 % iš hidroenergetikos).

Pagal alternatyvius scenarijus, pasaulinė elektros gamyba iš atsinaujinančių energijos šaltinių iki 2040 m. pasieks 88 %, o iki 2050 m. – 100 %. Atsinaujinantys energijos šaltiniai (vėjo, saulės ir geoterminės energijos) gamins 83 % visos elektros energijos. CO₂ emisija turėtų sumažėti nuo 32 Gt (2015 m.) iki 7–2,7 Gt (2040 m.) ir iki nulio 2050 metais. Bendras pirminės energijos sunaudojimas 2020 m.: gautos iš naftos – 31,2 %, iš anglies – 27,2 %, iš gamtinių dujų – 24,7 %, iš hidroenergetikos – 6,9 %, iš branduolinės energetikos – 4,3 %, iš kitų atsinaujinančių šaltinių – 5,7 % (2.6 pav.). 2019 m. pasaulyje sunaudota 22 848 TWh elektros energijos.



2.6 pav. Energijos sunaudojimas 2018 m. (<https://energy-versus-environment.com/2020/01/05/the-journey-begins>)

2005–2017 m. energetinių resursų sunaudojimas visame pasaulyje padidėjo: anglies 23 %, naftos ir dujų 18 %, elektros energijos 41 %. Energetikos požiūriu efektyviausios pasaulio šalys yra Prancūzija, Jungtinė Karalystė, Vokietija ir Nyderlandai. JAV šiame sąraše užima 10 vietą.

Anglis – kieta, dažniausiai juoda (kartais ruda), daug anglies turinti medžiaga, susiformuojanti sluoksniuotose nuosėdinėse struktūrose. Tai viena iš svarbiausių iškastinio kuro rūšių daugelyje pasaulio šalių. Anglis susidaro per milijonus metų veikiant karščiui ir slėgiui iš augmenijos, senovinėse sekliose pelkėse nusėdusiu atliekų. Anglies rūšys skiriasi tankiu, poringumu, kietumu ir atspindžiu. Pagrindinės rūšys yra lignitas (rusvoji anglis), subbituminė ir bituminė anglis bei antracitas. Akmens anglis nuo seno buvo naudojama kaip kuras, energijai, koksui gaminti ir kaip įvairių junginių, naudojamų dažų, tirpiklių ir vaistų sintezei, šaltinis. Ieškant alternatyvių energijos šaltinių, atrastas būdas, kaip akmens anglis paversti skystuoju kuru. Anglies skystinimo technologijos buvo žinomos nuo XX a. pradžios. Apskritai anglis gali būti laikoma angliavandeniliu – jos vandenilio ir anglies santykis yra beveik 0,8, kai skystųjų angliavandenilių (propano, etano, butano, kitų gamtinių dujų formų) jis yra lygus beveik 2 ir dujinių angliavandenilių – beveik 4 (benzino). Dėl šios priežasties bet kokiame procese, verčiant anglį alternatyviu kuru, reikia pridėti vandenilio (tiesiogiai arba vandens pavidalo). Pasaulio anglies atsargos sudaro 1 139 471 mln. tonų. Anglies kasybą vykdo 66 pasaulio šalys (2.3 lentelė).

Pasaulyje yra 133,1 karto daugiau išžvalgytų anglies atsargų, negu jų sunaudojama per metus. Tai reiškia, kad, esant dabartiniam vartojimo lygiui ir neįskaitant neįrodytų atsargų, anglies liko dar apie 133 metams. Didžiausioje Europoje Belchatuvo anglies kasykloje (Lenkija) kasmet iškasama apie 41,45 mln. t anglies. Vis daugiau šalių įsipareigoja iki 2030 m. pasiekti stabilų 1,5 °C temperatūros kilimą, o

**2.3 lentelė. Anglies kasyba 10-yje daugiausiai
anglies iškasiančių šalių (2020 m.)**

Šalis	Anglies atsargos	Per metus iškasamas anglies kiekis (mln. t)
Kinija	13,1 %	3 708
Indija	9,5 %	761
JAV	22,3 %	728
Australija	14,0 %	554
Indonezija	2,2 %	502
Rusija	15,5 %	423
Pietų Afrikos Respublika	3,1 %	278
Vokietija	3,5 %	193
Lenkija	2,5 %	144
Kazachstanas	2,5 %	113

iki 2050 m. – nulinių emisijų lygį. 2050 m. pusę sunaudojamos energijos sudarys elektra, jos poreikis bus 150 % didesnis negu šiandien. Branduolinės energijos dalis iš esmės išliks kaip ir šiandien – maždaug 10 %. Naftos sunaudojimas lengviesiems automobiliams iki 2050 m. sumažės 98 %.

Nors pasaulyje anglis išlieka dominuojančiu energijos gamybos kuru – su ja pagaminama 37 % pasaulio elektros energijos (2019 m.), atsinaujinančių energijos šaltinių energetika sparčiai veja: 2020 m. iš atsinaujinančių energijos šaltinių pagaminta 19,2 % visame pasaulyje sunaudojamos energijos.

Rusija turi antras pagal dydį anglies atsargas pasaulyje – 162 mlrd. t ir atsilieka tik nuo JAV, kurios turi 249 mlrd. t anglies atsargų. Rusijoje iškastinis kuras (anglis, nafta ir gamtinės dujos) suteikia žmonėms nacionalinį pasididžiavimą ir daug kam sukrauna turтус. Tačiau pasaulis keičiasi, todėl ir Rusijai neišvengiamai teks prisitaikyti prie realybės, kai pasaulinė iškastinio kuro paklausa

mažės. Visokeriopas iškastinio kuro aukštinimas šioje šalyje rodo, kad klimato kaitos realybė šių žmonių sąmonės dar nepasiekė, nors per pastaruosius kelerius metus žmonių mąstymas pradėjo keistis. Mokslininkai, įmonės bando suprasti, kokia gali būti anglies kasybos regionų ateitis naujame, mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančiame, pasaulyje. Apskritai Rusijoje nafta ir dujos sudarė 39 % federalinio biudžeto pajamų, o 2019 m. – 60 % Rusijos eksporto. Viso iškastinio kuro dalis biudžete, atėmus jo gavybos sąnaudas, sudarė 14 % BVP. Pasaulio ekonomikos orientacija į laipsnišką perėjimą prie mažai CO₂ į aplinką išskiriančios energetikos yra nauja realybė, kuriai reikia ruoštis ir pamažu mažinti tradicinio kuro (naftos, dujų, anglies) naudojimą. Rusijos Federacijos vyriausybė patvirtino ilgalaikę mažai CO₂ į aplinką išskiriančių technologijų plėtros strategiją, pagal kurią šalis pasieks neutralią CO₂ emisiją iki 2060 m. ar net anksčiau. Visgi klimato ekspertai perspėja, kad Rusijos išmetamų teršalų mažinimo tikslas iki 2030 m. tebėra nepakankamas, nes iki 2030 m. numatoma jų kiekį sumažinti 25–30 %, palyginti su 1990 m. lygiu. Iš tikrųjų tai reiškia, kad Rusijos mažai CO₂ į aplinką išskiriančių technologijų plėtros strategijoje iki 2030 m. numatomas net 0,6 % didesnis išmetamų teršalų kiekis, negu yra dabar. Šių veiksmų tikrai nepakanka, kad būtų pasiekta 1,5 °C temperatūros didėjimo riba, ir yra rizika priartėti prie pavojingos 4 °C pasaulinės temperatūros didėjimo ribos. Manoma, kad ir per ateinančius 20–30 metų su nafta ir dujomis susijusios pramonės šakos išliks svarbiausiais Rusijos ekonomikos ramsčiais, o ilgalaikėje perspektyvoje atsinaujinantys ir įprasti energijos šaltiniai egzistuos kartu. Nors atsinaujinančių energijos šaltinių gali pakakti didžiai paklausos daliai patenkinti, tačiau tradiciniai degalai vis tiek bus naudojami kaip rezervinė ar lygiagreti priemonė.

Kai kurie ekspertai abejoja, kad Rusijos iškastinio kuro pramonė ilgai išliks perspektyvi. Analitikai mano, kad dujos, kurias

daugelis mato kaip pereinamojo laikotarpio kuro rūšį, bus naudojamos dar 10–15 metų. Kiti ekspertai teigia, kad iškastinio kuro pramonė artimiausiu metu nesumažės, bet toliau augs ir neaišku, kas bus nauju Rusijos ekonomikos pagrindu po iškastinio kuro eros, nes klimato kaitos poveikis Rusijai per ateinančius 30 metų bus labiau išorinis. Tam tikrą poveikį turės ir vidiniai pokyčiai, tokie kaip didėjanti naftos gavybos kaina ir senkantys naftos telkiniai. Elektromobilių kiekio augimas, atsinaujinančios energijos gamybos plėtra darys išorinį spaudimą Rusijai, nes kol kas ji tam skiria mažai dėmesio, todėl ji bus pasaulio tendencijų „perėmėja“, o ne „kūrėja“. Visgi Rusijos vidaus energetikoje dujos kartu su branduoline energija ir ateityje vaidins pagrindinį vaidmenį.

Galbūt didelę svarbą turės „žaliojo“ vandenilio (pagaminto elektrolizės būdu) ir „mėlynojo“ vandenilio, kuris gaminamas iš gamtinių dujų, gamybos plėtra, nuosekliai mažinant šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, surenkant ir saugojant anglį. Rusija yra didžiausia pasaulyje atominių elektrinių statytoja, ji planuoja kurti naujas branduolines technologijas eksportui. Visgi aplinkosaugininkai skeptiškai vertina planus toliau plėtoti branduolinę energetiką kaip panacėją prieš klimato kaitą. Branduolinė energetika yra brangi, o panaudotas branduolinis kuras ir atliekos šiuo metu tik saugomos, o ne tvarkomos. Technologiniai sprendimai perdirbti panaudotą branduolinį kurą ir paversti jį nauju kuru atominėms elektrinėms Rusijoje (ir visame pasaulyje) dar tik tiriami. Planuojama statyti greitųjų neutronų branduolinius reaktorius, skirtus panaudotam branduoliniam kurui perdirbti. Perdirbtas panaudotas kuras būtų paverstas atnaujintu kuru sistemoje, kuri palaipsniui taptų nepriklausoma nuo tiekiamos išorės energijos.

Rusijos teritorijoje yra daugiau negu penktadalis pasaulio miškų (apie 7,6 mln. km²) ir šis plotas yra didesnis negu Amazonijos

miškų. Atsižvelgiant į gausius Rusijos miškų išteklius, būtų svarbi tvarios miškininkystės ir medienos gamybos produktų plėtra. Rusija daug eksportuoja medienos ir medienos gaminių (pjautinės medienos, faneros lakštų). Dėl ekonominių priežasčių Rusijoje nuo 1985 m. buvo apleista apie 760 000 km² anksčiau naudotų žemės plotų. Didžioji dalis šios apleistos žemės yra žemės ūkio paskirties (apie 500 000 km²) ir galėtų būti naudojama miškininkystės plėtrai. Maždaug 60 % šios žemės jau dabar yra apaugusi miškais, tačiau likusi dalis galėtų būti efektyviau naudojama medžiams auginti. Pasodintų miškų eksploatacija galėtų apsaugoti nepaliestus pirminius miškus (sengires) nuo naikinimo ir netvaraus kirtimo. Pasaulyje vis didėjant gėlo vandens, miškų, žuvų ir dirbamos žemės stygiui, Rusijos ištekliai galėtų prisidėti teikiant daugybę svarbių ekosistemų paslaugų, tokių kaip biotechnologijos ir tvarus žuvų auginimas, turizmas ar atsinaujinanti žemdirbystė. Iškasamos naudingosios iškasenos, reikalingos atsinaujinančios energetikos plėtrai, taip pat gali tapti nauju gerovės šaltiniu.

2008 m. JAV iškasė 1063 mln. t anglies, tačiau 2019 m. kasyba susitraukė iki 705 mln. tonų. Kasant tokius kiekius, atsargų pakaktų maždaug 435 metams. JAV turi didžiausius anglies išteklius, kurie vertinami apie 252 mlrd. tonų. Anglies atsargos JAV sudaro 22,3 % pasaulio išžvalgytų atsargų. Dalį iškasamos anglies JAV eksportuoja (2.4 lentelė).

2.4 lentelė. JAV anglies eksportas

Šalys	Eksportuojamos anglies kiekis (mln. t)	Anglies eksporto dalis (%)
Indija	15,36	18,0 %
Kinija	12,81	15,0 %
Japonija	7,57	8,9 %
Nyderlandai	7,14	8,4 %

JAV per pastaruosius du dešimtmečius padarė didelę pažangą, perėidamos nuo anglies prie atsinaujinančios energijos gamybos. Pažanga ypač ryški anglies naudojimo sektoriuje: 2001 m. ji sudarė šiek tiek daugiau nei pusę (51 %) visos JAV pagamintos elektros energijos, o 2021 m. – jau tik 22 %. Pavyzdžiui, Kanzaso valstijoje pirmą kartą vėjo energetika aplenkė anglies energetiką – 2021 m. ji sudarė 45 % visos valstijoje gaminamos elektros energijos, palyginti su 34 % gaminamos anglimi kūrenamose elektrinėse. Tai reiškia, kad šioje valstijoje per 20 metų anglies sunaudojimas sumažėjo šiek tiek daugiau nei trečdaliu. JAV elektros energijos gamyba didės beveik vien dėl saulės ir vėjo energetikos plėtros. 2022 m. JAV iš atsinaujinančių šaltinių buvo planuojama pagaminti 22 % energijos, o 2023 m. – 24 %. 2050 m. 75 % JAV energijos vis dar bus gaunama iš iškastinio kuro, o tai iš esmės nesuderinama su CO₂ mažinimo tikslais. Prognozuojama, kad 2021–2050 m. atsinaujinančios energijos indėlis kasmet didės vidutiniškai 2,1 %, o bendras energijos sunaudojimas didės 0,4 %.

Nors apie 80 000 darbuotojų, dirbančių JAV anglimi kūrenamoje energetikoje, rizikuoja netekti darbo, tyrimai rodo, kad šiuos darbus galima pakeisti naujomis darbo vietomis anglies kasyklų apylinkėse statomose vėjo ir saulės energetikos bendrovėse. Tačiau tai nereiškia, kad atsinaujinančių energijos šaltinių plėtros sparta bus pakankama ir kad JAV iki 2050 m. pasieks nulinę išmetimų emisiją.

Australija turi apie 159 634 mln. t patvirtintų anglies atsargų ir užima 3-ią vietą pasaulyje. Pagal anglies sunaudojimą šalis yra 10 vietoje. Jos anglies atsargos sudaro apie 14 % visų pasaulio anglies atsargų ir esant dabartiniam eksploatacijos lygiui šių atsargų užtektų maždaug 1 231 metams. Australija yra didžiausia pasaulyje anglies eksportuotoja, eksportuojanti apie 70 % savo produkcijos.

Daugelį metų Australiją valdė klimato kaitos neigėjai, kurie boikotavo pasaulines pastangas spręsti šią problemą. Tik prieš pat Glazgo klimato viršūnių susitikimą (2021 m.) Australija paskelbė apie nulinės

emisijos tikslus iki 2050 m., tačiau iki 2030 m. pabaigos išmetamų teršalų kiekis bus sumažintas tik 26–28 % 2005 m. buvusio jų lygio. Nepasiekus numatytų taršos tikslų, vargu ar anglies pramonė sulauks daugiau nei papeikimo ir baudos, nes labai daug mokesčių pajamų priklauso nuo anglies pramonės, kurioje dirba apie 50 000 žmonių. 2023 m. Australijos vyriausybė išdavė dar vieną leidimą naujai anglies kasyklai. Mokslininkai ne kartą perspėjo, kad bet kokie nauji iškastinio kuro projektai nesuderinami su pasauliniais klimato kaitą reguliuojančiais tikslais. Kasykloje bus išgaunama plieno gamyboje naudojama koksinė anglis. Nors ši kasykla, palyginti su kitomis, yra nedidelė, per visą jos gyvavimo laikotarpį ji gali pagaminti apie 7 mln. t šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Tai padidintų pasaulinį išmetamų teršalų kiekį ir keltų grėsmę Australijos nykstančių ar pažeidžiamų rūšių, tokių kaip koalos, echidnos ir kitos endeminės gyvūnų rūšys, išlikimui.

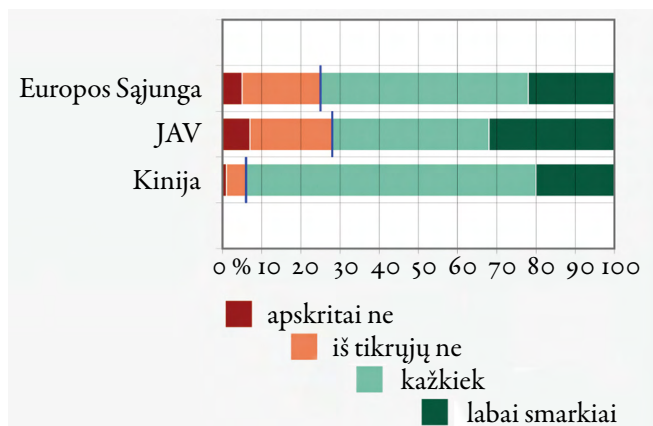
Australija turi daug galimybių tiesiog sumažinti išmetamų teršalų kiekį ir perėjimas nuo anglies prie atsinaujinančios energijos gali būti bent jau paspartintas. Šalyje gausu atsinaujinančių energijos šaltinių. Be vėjo, potvynių, bangų ir geoterminės energijos, saulės energetikos potencialas yra milžiniškas. Kartu reikia efektyviau naudoti energiją ir skatinti perėjimą prie elektrinių transporto priemonių. Visgi klimato kaitos neigėjai kaskart stabdo progresyvius sprendimus, teigdami, kad pasauliniu mastu Australijos indėlis yra minimalus, nes jos gyventojai yra atsakingi tik už šiek tiek daugiau nei 1 % pasaulinių išmetamų teršalų, tačiau ignoruoja, kad Australija atsakinga už jos eksportuojamo iškastinio kuro sukeltas emisijas. Pastarasis šį rodiklį padidina bent iki 3,6 %. Atsinaujinančios energijos projektus vis dar sunku įgyvendinti. Vienam iš paskelbtų projektų, pagal kurį saulės energetikos pagamintą energiją povandeniniais kabeliais numatyta tiekti Singapūrai, iškilo pavojus ir abejojama, ar projektą dar pavyks išsaugoti.

Senovės žmonės Kinijoje anglį pradėjo naudoti maždaug prieš 6 000 metų. Komerciniais tikslais kinai anglį pradėjo naudoti daug anksčiau negu Europoje. Pasak istorikų, kinai paviršinę anglies kasybą pradėjo vykdyti maždaug 3490 m. pr. m. e. Nors nėra autentiškų įrašų, manoma, kad Šiaurės rytų Kinijoje jau 1000 m. pr. m. e. anglis galėjo būti naudojama variui lydyti. III a. pr. m. e. kinai pradėjo kūrenti anglis. Anglies naudojimas pamažu plito iki XI a. pabaigos, kai dėl medienos trūkumo Šiaurės Kinijoje sparčiai pradėjo plėstis anglies kasyba ir eksploatacija. XI a. Šiaurės Kinijoje pagaminta geležis buvo lydoma koksą kūrenančiose aukštakrosnėse, nes miškų naikinimas šioje zonoje privertė naudoti koksą metalurgijoje. Ankstyvieji buities reikmėms naudojamos anglies aprašymai siekia VI a.: rašoma, kad maisto skonis skiriasi priklausomai nuo to, ar jis buvo virtas naudojant iškastinę anglį, medžio anglį, bambuką ar žolę. Teigiama, kad „akmenys“, kaip kuras, buvo naudojami Kinijoje jau 206 m. pr. m. e. – 220 m. pr. m. e., kai Kiniją valdė Han imperatorių dinastija. Tradiciškai Han periodas laikomas vienu svarbiausių klestėjimo laikotarpių Kinijos istorijoje.

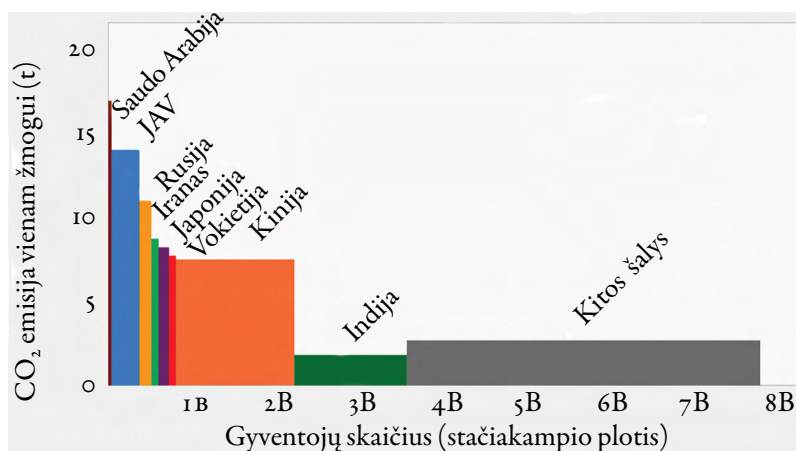
Kinija yra didžiausia pasaulyje anglies kasėja, importuotoja ir vartotoja, ji sunaudoja apie pusę viso pasaulio anglies kiekio. Nepaisant spartaus atsinaujinančios energetikos augimo pastaraisiais metais, anglis Kinijoje dar labai plačiai naudojama elektros energijos gamybai ir pramonėje, o namų ūkių šildymui ir maisto ruošimui ji naudojama palyginti mažai.

Kinija turi įrodytų atsargų, 34,7 karto didesnių už jos metinę eksploataciją. Tai reiškia, kad, esant dabartiniam vartojimo lygiui ir neįskaitant dar nesurastų išteklių, šaliai anglies atsargų liko maždaug 35 metams. Kinija yra didžiausia anglies kasėja pasaulyje, gaminanti 46,7 % visos pasaulinės produkcijos. Šalis jau seniai vertina anglį, kurios joje gausu, kaip geriausią būdą išvengti pernelyg didelės priklausomybės nuo užsienio energijos tiekėjų ir

apsisaugoti nuo nenuspėjamų oro sąlygų, pavyzdžiui, sausrų, mažinančių hidroelektrinių elektros gamybą. Daugiausiai energijos iš iškastinės anglies gamina Kinija. 2021 m. ji pagamino 5 383 teravatvalandes elektros energijos – keturis kartus daugiau nei antrą vietą užimanti Indija. Jokioje pasaulio šalyje klimato kaita nėra tokia ryški kaip Kinijoje (2.7 pav., 2.8 pav.). Jau dabar Kinija kenčia nuo klimato kaitos poveikio aplinkai: didėja paviršiaus ir vandenynų temperatūra, kyla jūros lygis. Pastaroji tendencija ypač kelia nerimą, nes Kinija turi labai ilgą ir tankiai apgyvendintą pakrantę. Kinijos duomenimis, vienu metru pakilęs jūros lygis užtvindytų 92 000 km² jos pakrantės ir išstumtų 67 mln. žmonių. Kinijoje yra 17 300 augalų ir gyvūnų rūšių. Kylant pasaulinei temperatūrai per ateinantį šimtmetį išnyks 20–30 % rūšių. Daugiau nei ketvirtadalį Kinijos dengia dykuma, kuri vis plečiasi, todėl nyksta dirbamoji žemė, menksta biologinė įvairovė ir didėja skurdas.



2.7 pav. Klimato kaitos įtaka kasdieniam gyvenimui
(2021 m. Europos investicijų banko apklausa)
([https://www.eib.org/attachments/thematic/
the_eib_climate_survey_2020_2021_en.pdf](https://www.eib.org/attachments/thematic/the_eib_climate_survey_2020_2021_en.pdf))



2.8 pav. Metinis išmetamų teršalų kiekio santykis su gyventojų skaičiumi 2021 m. (failas: 20210703 Variwide chart of greenhouse gas emissions per capita by country (includes OTHER).svg, CC BY-SA 4.0)

Po COVID-19 pandemijos Kinijos energijos poreikis atsigauja, todėl vėl plečiama anglimi kūrenamos energijos gamyba. Daug energijos sunaudojantys sektoriai, tokie kaip statyba, XXI a. pradžioje sparčiai augo ir Kinija patyrė stulbinantį anglies ir elektros naudojimo šuolį. Šis aklas plėtimasis sustiprino oro taršą, o kai kuriuose regionuose pradėjo trūkti vandens. Dėl ekonominių ir aplinkosaugos priežasčių Kinijos vyriausybė buvo priversta suvaldyti anglies energetikos sektorių. 2016 m. beveik pusei Kinijos provincijų liepta

2.5 lentelė. Šalys, kuriose yra daugiausiai anglimi kūrenamų veikiančių jėgainių (2022 m.)

Valstybė	Anglimi kūrenamų jėgainių skaičius
Kinija	1118
Indija	285
JAV	225
Japonija	92

atidėti naujų anglimi kūrenamų elektrinių statybas, o dar po metų buvo sustabdyta daugiau nei 100 elektrinių statyba. Nors pertekliniai pajėgumai tenkina sparčiai augančią paklausą, anglimi kūrenamos energetikos dar yra per daug. 2020 m. 57 % sunaudotos elektros energijos gauta iš anglies. Kinija didžiąją dalį anglies (tiek juodosios, tiek rusvosios) degina elektrinėse, o aukštos kokybės plieno gamybai reikalingą koksine anglį importuoja. Anglimi kūrenamos elektrinės apima apie 56 % visos Kinijoje sunaudotos pirminės energijos. Importuota anglis sudaro mažiau nei 10 % šalies sunaudotos anglies. Sumažėjusiam aukštos kokybės anglies tiekimui Kinijoje turėjo įtakos dideli anglies importo pokyčiai po to, kai 2020 m. pabaigoje Pekinas neoficialiai uždraudė importą iš aukštos kokybės anglies gamintojo Australijoje ir padidino žemos kokybės anglies pirkimą iš Indonezijos ir Mongolijos. Per 2022 m. Kinijos anglies importas iš Rusijos išaugo 20 %, nes Vakarų šalys po Ukrainos krizės vengė prekybos su Rusija, priversdamos ją nukreipti išgaunamą anglį į kitas šalis ar parduoti ją su didelėmis nuolaidomis.

2021 m. JT Generalinėje Asamblėjoje Kinija pareiškė, kad didins paramą ekologiškai ir mažai CO₂ į aplinką išskiriančiai energetikai besivystančiose šalyse ir nestatys naujų anglimi kūrenamų elektrinių užsienyje. Dėl anglies, daugiausiai CO₂ išskiriančio iškastinio kuro, pasaulyje patiriamas vis didesnis bendruomenių, nukentėjusių nuo pramonės taršos, spaudimas. Pastaraisiais metais 100 didžiųjų bankų atsisakė finansuoti anglies kasybą ar anglimi kūrenamas elektrines. Tačiau daugeliui finansinių institucijų žengus žingsnį nuo anglies, kai kurios šalys (Kinija, Pietų Korėja ir Japonija) užpildė šią tuštumą. Ypač didelį vaidmenį suvaidino Kinija, kuri 2013–2018 m. suteikė pusę užsienio viešųjų finansų anglimi kūrenamoms elektrinėms.

Didžiulės Kinijos užsienio investicijos į anglį suteikė jai „paskutinės skolinotojos“ reputaciją daugeliui Afrikos ir Azijos šalių, norinčių padidinti energijos pajėgumus ir skatinti ekonomikos augimą.

Visgi besivystančios šalys, priklausančios nuo Kinijos, pamatė, kad jų energetikos politika apsvirtė ant galvos, nes Kinija paskelbė apie planus atsisakyti naujų anglies jėgainių statybos užsienyje. Kinijos pasitraukimas laikomas „blogu ženklu“ akmenis anglies kasimo finansavimui užsienyje. To pasekmės gali būti didžiulės, nes 2021 m. Kinija svarstė galimybę finansuoti 44 naujų, anglimi kūrenamų jėgainių statybą 20-ye užsienio šalių. Tai sudaro apie trečdalį pasaulyje statomų anglimi kūrenamų jėgainių. Nors investicijos į atnaujinančius energijos šaltinius pasaulyje auga, tačiau iškastiniam kurui vis dar skiriama daug lėšų.

Sunku pervertinti Kinijos poveikį užsienio anglimi kūrenamų jėgainių finansavimui. Kinijos investicijos buvo skirtos 27 šalims, o didžiausios sumos – Bangladešui, Vietnamui, Pietų Afrikai, Pakistanui ir Indonezijai. Lengva prieiga prie tokio finansavimo turėjo didžiulę įtaką daugelio šalių energetikos politikai, todėl jos pradėjo statyti anglimi kūrenamas jėgaines, kurių kitu atveju galbūt nebūtų statę. Kinijos remiamos anglį naudojančios jėgainės Vietname kasmet išmeta apie 51 mln. t CO₂ (panašų kiekį per metus išmeta Portugalija), o Indonezijos gamyklos – 80 mln. t (metinė Čilės emisija). 2022 m. Japonija ir Pietų Korėja pasitraukė iš užsienio anglies gavybos finansavimo projektų, todėl Kinija liko viena. Daugelis besivystančių šalių, į kurias investuoja Kinija, reaguoja į vidaus visuomenės pasipriešinimą ir platesnę pasaulinę tendenciją pereiti prie švarios energetikos.

2020 m. rugsėjo mėn. Kinija paskelbė apie savo ketinimą iki 2060 m. tapti neutralia CO₂ emisijos požiūriu. 2021 m. ji įsipareigojo apriboti anglies gavybos didėjimą iki 2025 m., o vėliau palaipsniui jos atsisakyti. Tačiau energijos trūkumas šalyje paskatino vyriausybę padidinti anglies kasybą, o tai lėmė naujus rekordinius metus. Kinijos naujausia nacionalinė išmetamų teršalų mažinimo strategija vertinama kaip „labai nepakankama“, kad būtų pasiekta 1,5 °C klimato

atšilimo riba, nes Kinijos anglies sunaudojimas ir finansavimas lieka nepakitę. Šiuo metu Kinija sunaudoja daugiau nei pusę pasaulio anglies ir vien 2020 m. sudegino tris milijardus tonų.

Nutraukdama anglies gavybos finansavimo programas, Kinija įsipareigojo didinti paramą ekologiškos ir mažai CO₂ į aplinką išskiriančios energijos gamybai besivystančiose šalyse. Jau dabar Kinija yra didžiausia pasaulinė vėjo ir saulės energetikos rinka. Šalis turi praktinės patirties, įrangą, gamybos pajėgumus ir ekonomines paskatas. Kinijos įmonės, matydamos galimybę užsidirbti pinigų iš saulės ir vėjo energetikos projektų, eis ir į užsienio šalis.

Energetikos infrastruktūra nėra vienintelis Kinijos užsienio investicijų interesas. Šalis mobilizuoja didžiulį kapitalą, siekdama skatinti prekybą ir ekonomikos augimą maždaug 120 besivystančių šalių, daugiausia Azijoje. Nauji uostai, geležinkeliai ir keliai, tiesiami tose šalyse įgyvendinant šią iniciatyvą, turės didžiulę įtaką jų CO₂ emisijai. 126 šalių išmetamų teršalų dalis iki 2050 m. gali padidėti nuo 28 % iki 66 %, jei jos vystysis pagal istorines tendencijas. Tai reiškia, kad metinis pasaulinis išmetamų teršalų kiekis gali būti beveik dvigubai didesnis nei reikia, kad pasaulinė temperatūra nepakiltų daugiau 2 °C, net jei likusioje pasaulio dalyje išmetamas CO₂ kiekis ir mažės.

Negalima nuvertinti Kinijos pasikeitusios pozicijos svarbos. Kaip ji įgijo besivystančių pasaulio šalių „paskutinio skolintojo“ reputaciją finansuodama anglies energetiką, taip ir ši pozicija gali būti nukreipta į švarią ir ekologišką energijos gavybą, kurios pasauliui labai reikia. Norint išlaikyti mažesnę negu 1,5 °C temperatūros kilimą, iki 2045 m. visos Kinijos anglies jėgainių, nesurenkančių CO₂, statybos turi būti nutrauktos. Miestuose jau dabar draudžiama deginti anglį namuose ar būstuose, nors kaimo vietovėse namų ūkiams, maisto ruošimui ir šildymui vis dar leidžiama naudoti anglį.

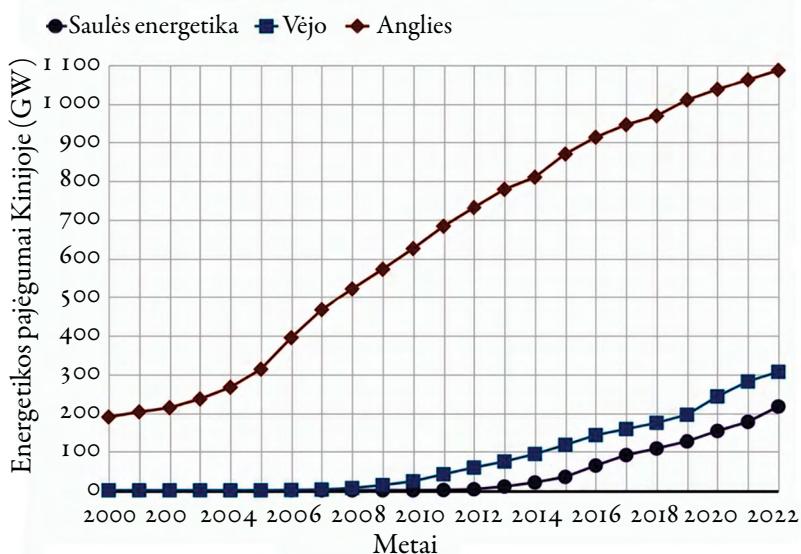
Apskaičiuota, kad anglies emisija deginant anglį Kinijoje sudaro apie 14 % viso pasaulio šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos

kiekio (2019 m.). Prognozuojama, kad išmetamų teršalų, kuriuos sukelia deganti anglis, kiekis pasieks piką iki 2025 metų. 2020 m. Kinijos anglies gavybos pramonėje dirbo 2,6 mln. žmonių. Kai kurios provincijos beveik pusę pajamų gauna iš anglies pramonės. Visgi apskaičiuota, kad atsinaujinančios energijos šaltiniai sukuria daugiau darbo vietų vienam investuotam piniginiam vienetui negu tradicinė anglies pramonė. Palydoviniai vaizdai fiksuoja, kad Kinijoje nuolat paleidžiamos naujos anglimi kūrenamos elektrinės. Jei bus pastatytos visos statomos elektrinės, anglimi kūrenamos energetikos pajėgumai Kinijoje padidėtų 4 %. Viena didžiausių problemų, su kuria nuo 2016 m. susiduria Kinijos anglies sektorius, yra per dideli gamybos pajėgumai.

Kinija dažnai laikoma pasaulio pastangų raktu suvaldant CO₂ emisiją, pagrindinę klimato kaitos priežastį. Šalies „žaliosios“ energetikos banga teikia vilčių dėl lėtesnio pasaulinio klimato šilimo. Vėjo ir saulės energetika Kinijoje klesti ir gali padėti apriboti pasaulinę CO₂ emisiją daug greičiau, nei tikėtasi. Vien saulės fotoelementų įrenginių kiekis auga tokiu greičiu, kad iki 2025 m. pasauliniai pajėgumai turėtų padidėti 85 %.

Kinija sparčiai plečia „žaliosios“ energetikos sektorių ir iki 2025 m. pabaigos tikisi daugiau negu dvigubai padidinti vėjo ir saulės energijos jėgainių pajėgumus (2.9 pav.). Tai leis Kinijai padidinti vėjo jėgainių parką 50 %, o didelės galios saulės energetikos įrenginių skaičių padidinti 85 %. Per trumpą laiką Kinija tapo pirmaujančia pasaulyje saulės modulių tiekėja. 2022 m. visame pasaulyje vėjo ir saulės energetikai buvo išleista daugiau negu pusė trilijono dolerių, iš kurių Kinijai teko 55 %.

Kinija planavo iki 2030 m. gauti 1 200 GW saulės ir vėjo energijos, tačiau naujausi duomenys rodo, kad šis tikslas bus pasiektas penkeriais metais anksčiau. Ir nors tai gali būti svarbi naujiena ribojant visuotinį atšilimą, anglies naudojimas Kinijoje išlieka dideliu



2.9 pav. Kinijos energetikos pajėgumai
(<https://www.bbc.com/news/science-environment-66043485>)

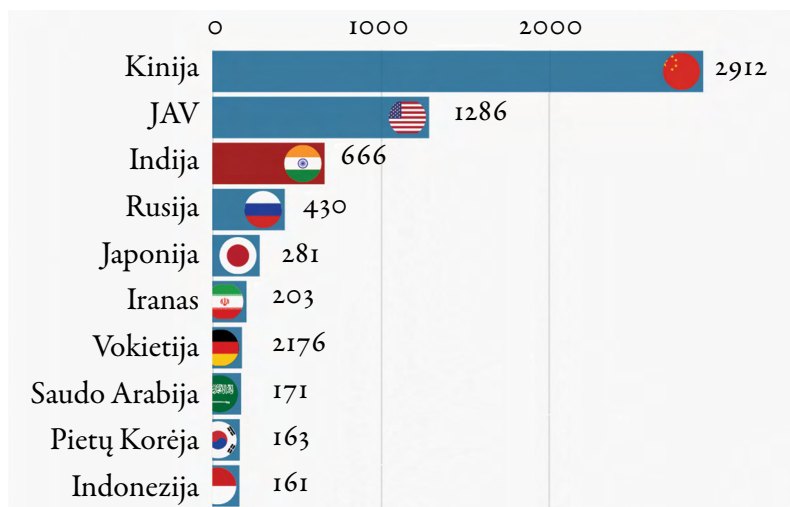
iššūkiu. 2022 m. Kinija kas savaitę pastatydavo apie dvi naujas anglimi kūrenamas elektrines, kurios, siekiant užtikrinti tolygų energijos tiekimą, dažnai buvo įrengiamos naujuose saulės ir vėjo energetikos parkuose. Apie 69 % Kinijos išmetamo CO₂ kiekio, kuris 2021 m. siekė 13,7 Gt, priskiriama anglies energetikai. Kiti svarbūs energetikos elementai, padėsiantys Kinijai sėkmingai atsisakyti anglies, bus energijos saugojimo baterijų ir vandenilio gavybos plėtra.

Anglis sudaro didžiąją dalį Indijai reikalingos energijos, tačiau greitai situacija pasikeis. Ką šalies anglies pramonės nuosmukis reikš jos darbuotojams? Indijoje anglis kasama nuo 1774 m. ir ši šalis po Kinijos yra antra pagal dydį anglies kasėja ir vartotoja. 2022 m. ji išgavo 777 mln. t anglies. Maždaug 30 % anglies šalis importuoja. Dėl vietinės anglies vidutinės kokybės Indija importuoja koksiningą anglį,

kurią naudoja plieno gamybai. Šalis turi 10 % pasaulinių anglies atsargų, 5 pagrindines anglies kasyklas, o didžiausia anglies kasykla, iškasanti apie 47,1 mln. t anglies, yra Centrinėje Indijoje. Indijos anglies atsargos yra 111,5 karto didesnės už jos metinę apyvartą. Tai reiškia, kad, esant dabartiniam vartojimo lygiui ir neįskaitant neįrodytų atsargų, ji dar turi anglies 111 metų. Pagal šiluminės anglies importą, Indija sparčiai vežasi Kiniją. Kinijai tenka apie 53,8 % pasaulyje sunaudojamos anglies, o Indijai – 12,5 %. Iki 2023–2024 m. Indija sieks padidinti anglies gavybą iki 1 200 mln. tonų. 2020–2021 m. šalyje buvo sunaudota 906 mln. t anglies, iš kurių 79 % iškasta šalyje. 2020–2021 m. iškasta anglis pagamino daugiau nei 73 % elektros energijos. Indijos elektros energijos sektorius 2013 m. sunaudojo daugiau nei 70 % šalyje iškastos anglies. Šalies anglies kaloringumas yra mažas, o pelenų kiekis didelis. Indijos elektrinės, naudojančios vietinę anglį, vidutiniškai sunaudoja apie 0,7 kg anglies 1 kWh gaminti, o JAV šiluminės elektrinės sunaudoja apie 0,45 kg anglies 1 kWh.

Kodėl Indija negali atsisakyti anglies, nors jos poveikis aplinkai neigiamas? Anglis yra svarbus šalies energijos šaltinis, kuris teikia šaliai daugiau negu 70 % energijos ir sukuria 4 mln. darbo vietų. Indijoje anglį naudoja 150 anglies jėgainių. 80 % Indijos importuojamos anglies yra iš Indonezijos, Australijos ir Pietų Afrikos Respublikos.

Indija atnaujiną klimato kaitos įsipareigojimus ir pareiškė, kad iki 2030 m. sumažins savo bendrojo vidaus produkto (BVP) sukurtą emisijos intensyvumą 45 %. Šis parametras yra šiltnamio efektą sukeliančių išmetamų dujų kiekio, tenkančio vienam ekonominės veiklos vienetui, matas. Visgi išmetamų teršalų intensyvumo sumažėjimas nebūtinai reiškia bendro išmetamų teršalų kiekio mažėjimą. 2020 m. Indija buvo trečia pasaulyje pagal išmetamo CO₂ kiekį, nors išmetamų teršalų emisijos vienam gyventojui buvo mažesnės nei pasaulio vidurkis (2.10 pav.). Indijos įsipareigojimas iki 2070 m.



2.10 pav. Šalių anglies emisija 2020 m. (mln. t/metus) (Menon, 2022)

pasiekti nulinį išmetamų teršalų kiekį yra daug vėlesnis negu daugelio kitų šalių. Grynasis nulis reiškia, kad šalis nebeprisideda prie bendro šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio atmosferoje didėjimo. Indija taip pat patvirtino įsipareigojimus iki 2030 m. pagaminti 50 %, arba 500 GW, elektros energijos iš neiškastinio kuro ir užsibrėžė tikslą išlaikyti šalies miškingumą, kuris veikia kaip anglies absorbentas. Šiuo metu Indija gali pagaminti šiek tiek daugiau nei 40 % energijos iš atsinaujinančių šaltinių, todėl 50 % tikslą galės pasiekti iki 2030 metų. Visgi stebėjimai rodo, kad anglis ir toliau yra pagrindinis energijos gamybos šaltinis. Remiantis oficialiais skaičiavimais, per ateinančią dešimtmetį Indijos anglies poreikis padidės 50 %. Nors Indija sparčiai plečia atsinaujinančios energijos pajėgumus, tačiau kartu didina ir anglies sunaudojimą. Atkreiptinas dėmesys į tai, kad Indija neįsipareigoja mažinti metano, vieno stipriausių šiltnamio efektą sukeliančių dujų, išmetimą, nors šalis yra pagrindinis šių teršalų emisijos šaltinis.

Pastaraisiais metais šalis siekia iškasti daugiau anglies. Daugelis Indijos valstijų susidūrė su elektros energijos gamybos sunkumais dėl šiluminėms elektrinėms tiekiamos anglies stygiaus, o tai atskleidė tebesitęsiančią šalies priklausomybę nuo anglies. Daugiau nei 70 % Indijoje gaminamos energijos gaunama iš anglimi kūrenamų elektrinių. Anglis yra didelių mokesčių ir pajamų šaltinis visų lygių vyriausybėms. Žinoma, anglis daugeliui žmonių suteikia darbą ir yra pragyvenimo šaltinis.

2019 m. „Coal India“ bendrovė, pagrindinė federalinei vyriausybei priklausanti įmonė, išgaunanti daugiau nei 80 % visos šalies anglies, davė beveik 3 % visų federalinės vyriausybės metinių pajamų. Bendrovėje dirba apie 270 tūkst. darbuotojų. Sudėjus kitas anglies kasybos įmones viešajame ir privačiame sektoriuose bei pramonės šakas, tiesiogiai ir netiesiogiai priklausančias nuo anglies (pavyzdžiui, plieno), ryškėja Indijos priklausomybės nuo anglies mastas.

Mokslininkai ir vyriausybės organizacijos supranta, kad problema slypi didžiuliame šiltnamio efektą sukeliančio anglies dioksido (CO₂) kiekyje, kurį išskiria deginama anglis. Indija labai prisideda prie pasaulinio išmetamų teršalų kiekio ir užima trečią vietą pasaulyje pagal bendrą išmetamų teršalų kiekį, nors šalies gyventojui tenkantis šių teršalų kiekis ir toliau yra vienas mažiausių pasaulyje. Anglies elektrinės skleidžia didžiulę oro taršą Indijoje, dėl kurios per metus šalyje miršta daugiau nei milijonas žmonių.

Nepaisant tarptautinio spaudimo atsisakyti anglies, 2021 m. spalio mėn. Indijos vyriausybė, siekdama patenkinti šalies energijos poreikius, paskelbė tikslą iki 2024 m. iškasti milijardą tonų anglies. Ir artimoje ateityje Indijai anglis išliks labai svarbia išgaunama žaliava.

Tuo pat metu Indija siekia plėtoti atsinaujinančios energijos gamybą ir pasižadėjo 2030 m. pasiekti 500 GW. Ji taip pat pareiškė, kad iki 2030 m. 50 % elektros energijos bus gaunama iš atsinaujinančių išteklių. Akivaizdu, kad šalis išgyvena didžiules energijos gamybos

permainas. Tačiau šaliai, kurios energijos poreikis artimiausiu metu turėtų didėti labiau nei bet kurios kitos šalies, užtikrinti gerai suplanuotą ir teisingą perėjimą nuo anglies yra labai didelis iššūkis. Vyriausybė jau parengė anglies kasyklų uždarymo schemą, tačiau tokios politikos įgyvendinimas trunka dešimtmečius. Yra ženklų, kad tokie planai galėtų būti pradėti įgyvendinti tik apie 2030 metus.

Dulkėtame anglies kasybos miestelyje rytinėje Indijos Džarkhando valstijoje žemė dega jau daugiau nei 100 metų. Gaisrai, atsitiktinai kilę XX a. pradžioje, vis dar nuolat siaubia požemines apylinkių anglies atsargas, išskirdami nuodingus dūmus ir naikindami namus. Pastangos gesinti gaisrus iki šiol buvo nesėkmingos. Panašių nuolatinės taršos šaltinių pasaulyje yra ir daugiau. Turkmėnijoje, Karakumų dykumoje, yra nuolat degančių dujų krateris (60 m skersmens ir apie 20 m gylis). 1971 m. čia buvo atrastos požeminės dujų sandėkai. Atliekant bandomąjį gręžinį, visa gręžimo įranga nugarmėjo į atsiradusią ertmę. Siekiant apsaugoti žmones ir gyvulius nuo sklindančių nuodingų dujų, nuspręsta jas padegti. Tikėtasi, kad sudegs per kelias dienas, tačiau liepsna plaikstosi daugiau nei 50 metų. Vietiniai gyventojai šią vietą praminė pragaro vartais.

Nepaisant anglies išteklių, Džarkhandas yra viena skurdžiausių Indijos valstijų – maždaug pusė jos gyventojų gyvena skurde. Šią mažą rytinę valstiją galima laikyti mikrokosmosu dėl daugelio iššūkių, su kuriais Indija susidurs, jei norės užtikrinti tinkamą perėjimą nuo anglies prie kitų energijos rūšių. Indija pažadėjo iki 2070 m. pasiekti nulinę taršos emisiją. Dešimtmečius gyvuojantis Džarkhando anglies sektorius galiausiai mažės. Kitas iššūkis bus diversifikuoti nuo anglies priklausomą ekonomiką ir rasti alternatyvų pragyvenimo šaltinį daugeliui tūkstančių žmonių, šiuo metu dirbančių šiame sektoriuje.

Didelė regionų priklausomybė nuo anglies paskatino mokslininkus įvertinti galimus iššūkius, su kuriais gali susidurti bendruomenės pereinant prie švarios energijos gamybos. Baiminamasi, kad anglies

kasyklų uždarymas pavers gyvenvietes miestais vaiduokliais, o tai turės rimtų pasekmių. Džarkhande nuo anglies priklausomame sektoriuje yra daugiau nei 300 000 tiesioginių darbo vietų ir beveik milijonas netiesioginių darbo vietų anglies tiekimo grandinėse ir paslaugų sektoriuose, dar keli milijonai vietinių kaimo gyventojų nelegaliai renka anglį iš apleistų kasyklų. Valstijoje šios darbo vietos sudaro beveik 10 % užimtumo. Anglies kasybos mokesčiai sudaro beveik 8 % valstijos pajamų. Didžioji iškasamos anglies dalis gabenama į kitas valstijas, todėl anglies pramonės nuosmukis gresia darbo vietų netektimi, pajamų ir socialinės paramos lėšų sumažėjimu.

Kadangi Indija įsipareigojo sumažinti CO₂ emisiją ir skatinti atsinaujinančių energijos gamybos šaltinių plėtrą, toks perėjimas bus neišvengiamas. Keletas santykinai nedidelių bandymų atsisakyti anglies Džarkhande galėtų būti sektinu pavyzdžiu. Viena apleista atvira anglies kasykla, įveikus tinkamas žuvų rūšis, buvo paversta žuvininkystės ūkiu, suteikusiu pragyvenimo šaltinį daugeliui vietinių kaimo gyventojų. Kitas pavyzdys – ekologiniai atkūrimo darbai sąvartyne, kur anksčiau buvo išmetamos anglies kasyklų atliekos. Finansavus žolės, krūmų ir vietos dirvožemiui bei klimatui tinkamų augalų sodinimą, jau po kelių metų čia buvo aptiktos devynios skirtingos augalų rūšys, anksčiau neaugusios nederlingoje žemėje. Vietinės bendruomenės, kurios anksčiau buvo priklausomos nuo kasyklos, taip pat gavo naudos – ekologiškai atkurtoje žemėje jiems buvo leista auginti maistinius augalus. Taip apie 1 000 darbininkų ir kai kurie vietiniai valstiečiai atkūrė maždaug 300 ha dirbamos žemės. Žuvininkystės skatinimas, medžių sodinimas ir miškų kūrimas apleistose kasyklose bei atsinaujinančios energijos projektai yra vertingos iniciatyvos, tačiau pastangos šia kryptimi iki šiol nedidelės.

Konsultuojantis su vietos gyventojais, labai svarbu diversifikuoti valstybės ekonomiką, padėti augti tokiems sektoriams kaip žemės ūkio, turizmo, pramoninės gamybos, atsinaujinančios energetikos,

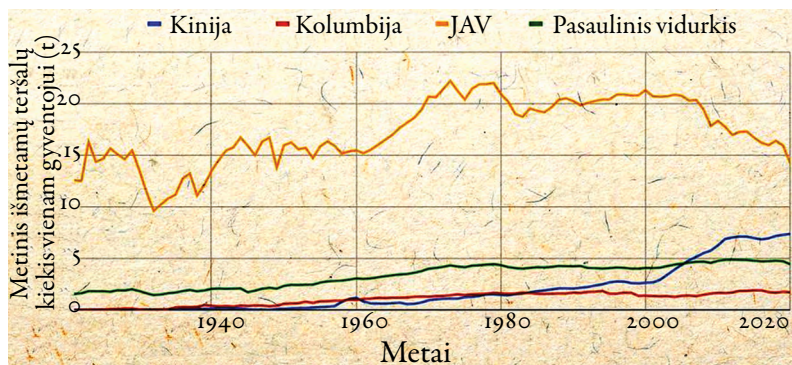
medienos produktų gamybos ir kitiems. Indijos anglies ir susijusių sektorių darbuotojų dalis yra labai didelė, palyginti su išsivysčiusiomis šalimis. Jau daugiau nei dešimtmetį mažėja moterų dalyvavimas darbo rinkoje. Tyrimai rodo, kad didėjant atsinaujinančiai energetikai, moterys galėtų aktyviau dalyvauti sektoriuje, kuriame tradiciškai dominuoja vyrai.

Tai ypač svarbu atsižvelgiant į dabartinę investicijų į atsinaujinančią energetiką modelį. Kur yra anglies, dažniausiai nėra investicijų į atsinaujinančius energijos šaltinius ir finansavimo anglies kasyklų uždarymui, todėl vieniems regionams pavyksta atsinaujinančios energetikos plėtra, o kiti grimzta į skurdą. Atrodo, kad Indija vis dar neturi išsamaus plano, kaip teisingai atsisakyti priklausomybės nuo anglies.

Kolumbija taip pat svarsto planus atsisakyti iškastinio kuro gavybos ir pasitraukti iš naftos ir dujų pramonės, tačiau praktiškai šalis susiduria su sunkumais, nes eksportuoja 90 % išgaunamos anglies. Dėl COVID-19 pandemijos sumažėjusios anglies kainos privertė kalnakasybos bendroves uždaryti kelias anglies kasyklas šiaurinėje Kolumbijoje. Kalnakasių miestelių dangus pragiedrėjo, oras tapo gairesnis. Paukščiai vėl čiulba žaliuojančiose medžių viršūnėse ir nebėra stogus dengiančio anglies pelenų apkloto. Kai 7 000 darbuotojų (iš 7 300) neteko darbo, o rangovai paliko miestelius, beveik 100 restoranų, kavinių, viešbučių ir kitų įmonių buvo uždaryta, savivaldybė neteko 85 % pajamų ir paprastų gyventojų padėtis labai pablogėjo. 2022 m. išrinktas prezidentas paskelbė tvirtą žinią apie būtinybę šaliai atsisakyti iškastinio kuro. Jis pažadėjo tautai „žalią, o ne juodą ateitį“, nes ateityje anglis, nafta ir dujos liks po žeme. Šiandien iškastinis kuras sudaro daugiau nei 40 % Kolumbijos eksporto, aukšas – 7,3%, kavos pupelės – 7,9 %, skintos gėlės – 4,4 %. Tarptautinės energetikos agentūros teigimu, jei pasaulis iki 2050 m. nori pasiekti nulinį išmetamų teršalų kiekį, nuo šiol neturi būti jokių naujų investicijų į naujus dujų, naftos ar anglies gavybos projektus.

Taigi ar laikosi šalys savo įsipareigojimų klimato kaitos atžvilgiu, pasirašiusios Paryžiaus 2015 m. susitarimą? Iki šiol Kolumbija yra labiausiai nuo iškastinio kuro priklausoma šalis, besilaikanti nuostatos atsisakyti iškastinio kuro gavybos. Ji yra viena didžiausių anglies kasėjų pasaulyje ir labai ekonomiškai priklausoma nuo iškastinio kuro, nes net 40–50 % jos eksporto sudaro anglis ir nafta. Tačiau Kolumbijos išmetamų teršalų kiekis vienam gyventojui pasauliniu mastu yra palyginti mažas (2.11 pav.).

2021 m. Kosta Rika ir Danija sudarė tarptautinę aljansą, siekdamas palaipsniui nutraukti iškastinio kuro gamybą. Aljanso pagrindiniai nariai yra Danija, Kosta Rika, Prancūzija, Kvebekas, Airija, Švedija, Grenlandija, Velsas, Vašingtono valstija ir Portugalija. Asocijuotomis narėmis yra Kalifornija, Naujoji Zelandija, Fidžis, Tuvalu, Kenija, Čilė, Italija, Suomija ir Liuksemburgas. Kitame, anglies sektoriaus, aljanse 2017 m. susibūrė beveik 100 šalių ir regioninių vyriausybių, siekiančių palaipsniui nutraukti esamą elektros energijos gamybą deginant anglį. Deja, daugelis aljanso narių nėra labai priklausomi nuo iškastinio kuro gavybos, todėl jiems mažiau svarbios kalnakasių miesteliams iškilusios problemos.



2.11 pav. Išmetamų teršalų kiekis vienam gyventojui (Rubiano, 2022)

Kolumbijos iškastinio kuro atsisakymas pareikalaus didelių transformacijų, ir energetikos politikos ekspertai sutaria, kad, nepaisant gražių kalbų, Kolumbija šiuo metu dar nėra pasirengusi „laikyti iškastinį kurą po žeme“. Kaip ir dauguma kitų šalių, norėdama pereiti prie švarios ekonomikos (atsinaujinantys energijos šaltiniai, elektrifikuota pramonė, namai ir transportas), Kolumbija turi pertvarkyti energetikos tinklą ir pakeisti eksporto struktūrą. Kartu reikės užtikrinti, kad apie 109 000 darbuotojų susirastų naujas darbo vietas ar gautų tinkamas kompensacijas. Tyrėjai nustatė, kad kai kurios transformacijos, pavyzdžiui, 100 % atnaujintas elektros tinklas, bus sukurtas jau 2030 m., tačiau ekonomikos pertvarkos pažanga nuo iškastinio kuro priklausomuose regionuose dar toli nuo planuotų tikslų.

Nors Kolumbija švarios energetikos politiką pamažu kuria nuo 2014 m., kai buvo priimtas įstatymas, skatinantis kurti atsinaujinančios energetikos projektus (daugiausia saulės ir vėjo), taikant mokesčių lengvatas ir kitas paskatas, 2021 m. iš šių šaltinių šalyje buvo gauta mažiau negu 1 % elektros energijos.

Ankstesnės vyriausybės irgi priėmė svarbius teisės aktus, reglamentuojančius atsinaujinančių energijos šaltinių rinką ir skatinančius elektrinių transporto priemonių naudojimą, tačiau jos taip pat rengė aukcionus naujiems naftos, dujų ir anglies projektams ir rėmė iškastinio kuro pramonę kaip „kertinį akmenį“, padedantį išbristi iš pandemijos sukeltos ekonominės krizės. Vyriausybės neįvertino, kad importuojančioms šalims dekarbonizuojant savo ekonomikas, iškastinio kuro paklausa gali smarkiai sumažėti, ir tokio kuro išgavėjai dėl staigaus ekonomikos nuosmukio gali būti labai pažeidžiami. Tai ypač taikytina angliakasių miesteliams, nes dėl neplanuotų pokyčių ilgus metus ir net dešimtmečius lieka socialiniai, ekonominiai ir kultūriniai padariniai. Atsisakant iškastinio kuro, reikia ieškoti alternatyvių pajamų, skatinti naujus ekonomikos sektorius, tokius kaip žemės ūkis, ekologinė žemdirbystė ir švarios energijos gamybos technologijos.

Jei padėtis dėl anglies nėra paprasta, tai naftos ir dujų gavybos klausimai dar sudėtingesni. Kolumbijai labai reikia šių iškasenų. Dujos pagamina 12 % šalies elektros energijos, reikalingos pramonės procesams, taip pat namų ūkių viryklėms ir vandens šildytuvams. Benzino reikia 17 mln. šalies transporto priemonių, nes tik apie 7 000 varomos elektra. Daugelis sunerimo, kai buvo paskelbta, kad vyriausybė planuoja nutraukti naujų angliavandenilių žvalgy-mo licencijų išdavimą ir sustabdyti visus skalūninių dujų gavybos projektus. Jei vyriausybė užsuks naftos ir dujų čiaupą sumažėjus šio iškastinio kuro paklausai, šalis turės importuoti daugiau benzino ir dujų ir rizikuos vidiniu ekonominiu chaosu. Ekspertai pasisako už politiką, orientuotą į paklausą, o ne į pasiūlą, tai yra į veiksmus, skatinančius namų savininkus, įmones ir regionus pereiti prie atsinaujinančių energijos šaltinių. Kolumbijos atveju reikia spręsti transporto, didžiausio šalyje iškastinio kuro vartotojo, problemą. Tam šalis turi skatinti viešąjį elektrinį transportą, perkelti viešąsias investicijas iš kelių į geležinkelius ir remti elektromobilių naudojimą. Kad iki 2050 m. galėtų atsisakyti dujų ir naftos, šalis turės pagaminti maždaug penkis kartus daugiau elektros energijos. Jau dabar šalies elektros tinklas yra įspūdingai „žalias“, nes hidroelektrinės sukuria apie 70 % elektros energijos šalyje, o iki 2030 m. pasieks 100 %.

Plečiama ir vėjo energetika, tačiau vietos bendruomenės teigia, kad yra mažai informuotos apie projektus ir jų naudą. Šalies valdžia nori remti „energetikos bendrijas“, kurios mokyklose ar gyvenamųjų namų komplekse įsirengs saulės baterijas, naudos jų pagamintą energiją, o perteklių parduos į nacionalinį tinklą. Pasiūlymas gali būti ypač naudingas tiekiant elektrą 404 000 šeimų, kurios vis dar jos neturi.

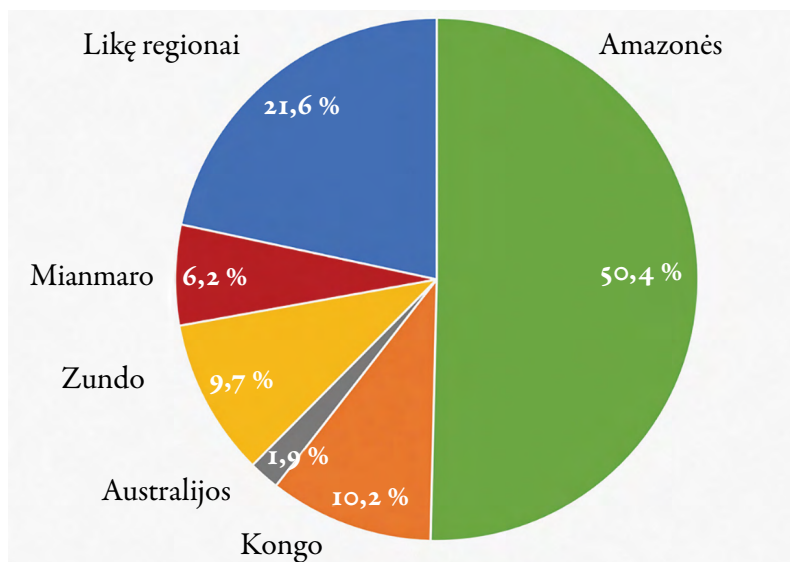
Kolumbijos vyriausybė turi parengti planą, kad ateityje būtų atsisakyta iškastinio kuro. Tai būtina, jei šalis ir likęs pasaulis norės pasiekti tą sunkiai suvokiamą finišo liniją.

2.7. Miškų naikinimas ir žemdirbystės plėtra

Ar bus išgelbėti tropiniai miškai

Atogrąžų miškai išplitę visuose pasaulio žemynuose, išskyrus Antarktidą. Didžiausi atogrąžų miškai yra penkiuose regionuose: Amazonės, Kongo, Australijos, Zundo ir Mianmaro (iki 1989 m. Birma) (2.12 pav.).

Daugiausiai atogrąžų miškų yra Brazilijoje, antroje vietoje yra Kongo Demokratinė Respublika, toliau eina Indonezija ir Peru. Per metus prarandamų atogrąžų miškų plotas prilygsta dešimčiai futbolo aikščių per minutę. Mokslininkai daugiausia dėmesio skiria pasaulio atogrąžų regionams, nes būtent juose iškertama daugiau kaip 96 % miškų. Vešli ir gabi atogrąžų miškų augalija yra išsidėsčiusi ardais:



2.12 pav. Didžiausi pasaulio atogrąžų miškai (Butler, 2020)

- miško skliautas (brandūs aukščiausi medžiai);
- pomiškis (krūmokšniai, krūmai, žemaūgiai medžiai, jauni medeliai);
- žolės;
- miško paklotė (antžeminės samanės, kerpės).

Miško skliautas – viršutinė miško ardų dalis, kurią sudaro aukštų medžių lajos. Drėgname atogrąžų miške skliauto storis ~10 m, jis sugeria 95 % krentančios saulės šviesos. Skliautas taip pat sulaiko didelę dalį kritulių, neleisdamas išplauti dirvožemio, mažina vėjo greitį. Sugerdami daug saulės energijos miško skliautą sudarantys medžiai aktyviai vykdo fotosintezę ir yra svarbūs deguonies gamintojai. Didelė dalis džiunglių gyvūnų yra prisitaikę gyventi miško skliauto zonoje, kuri yra pati produktyviausia.

Amazonės regione yra didžiausias atogrąžų miškas pasaulyje. Amazonės atogrąžų miškai, apimantys devynias šalis ir užimančius beveik 40 % Pietų Amerikos, sudaro šiek tiek daugiau nei pusę pirminių miškų, aptinkamų tropikuose. 59 % atogrąžų miškų yra Brazilijoje. Amazonė yra didžiausia upė pasaulyje – daugiau nei penkis kartus didesnė už Kongo upę ir dvylika kartų didesnė už Misisipę. Amazonės valstijos atogrąžų miškų biologinė įvairovė yra didžiausia iš visų ekosistemų – niekur nėra tiek daug augalų, paukščių, žinduolių, roplių, varliagyvių, gėlavandenių žuvų ir vabzdžių rūšių.

Jau daugelį metų Brazilija ir Kongo Demokratinė Respublika dėl žemės ūkio plėtros praranda daug atogrąžų miškų. Iki 1970 m. Brazilijoje buvo 4 100 000 km² atogrąžų miškų, o 2022 m. – 3 268 049 km². Per beveik 50 metų miškų plotai susitraukė 20,3 %, tai yra liko tik 79,7 % buvusių atogrąžų miškų, bendras miškų plotų nuostolis siekia 831 951 km². Su žemės ūkio plėtra susijęs miškų naikinimas padidėjo apie 9 %, o kai kuriose Vakarų Amazonės regiono valstijose šie nuostoliai siekė net 25 %. Baiminamasi, kad

Brazilijos atogrąžų miškai gali artėti prie lūžio taško, nes jie išskiria daugiau anglies nei sukaupia, o tai būtų labai neigiamas pokytis ribojant pasaulinės temperatūros kilimą šiame amžiuje. Susirūpinimą kelia ir nykstantys miškai Bolivijoje, kur daugiau nei du trečdaliai miškų buvo iškirsti plečiant žemės ūkį (galvijų auginimą).

Jei miškų naikinimas nebus sustabdytas, Amazonės atogrąžų miškai gali nebeatsigauti ir būti prarasti visam laikui. Šie didžiausi atogrąžų miškai pasaulyje užima per 3 mln. km² plotą. Didžioji dalis miškų yra Brazilijoje (60 %), Peru (13 %), Kolumbijoje (10 %) ir nedideli plotai Venesueloje, Ekvadore, Bolivijoje, Gajanoje, Suriname ir Prancūzijos Gvianoje. Amazonės atogrąžų miškų naikinimas gali būti siejamas su daugybe skirtingų veiksnių vietos, nacionaliniu ir tarptautiniu lygiu. Metiniai miškų praradimai siekia apie 10 476 km².

Šiai didžiulei atogrąžų teritorijai vis didesnę grėsmę kelia augantis ūkininkavimo mastas, infrastruktūros ir miestų plėtra, netvarios medienos ruošą, kasyba ir klimato kaita. Atogrąžų miškai nuolat kertami visame pasaulyje, kad būtų vietos javams, ypač sojai, ir galvijų auginimui. Nykstant Amazonės atogrąžų miškams kils temperatūra, dažnės potvyniai ir ilgės sausros. Palaipsniui mažėjant kritulių kiekiui padaugės kenkėjų ir užkrato, o mažesnis vandens kiekis sumažins pasėlius, juos bus sunkiau prižiūrėti.

Yra keletas miškų naikinimo priežasčių:

- didelės gyvulių fermos ir sparčiai besiplečiantis žemės ūkis;
- verslinė žvejyba;
- biologinis piratavimas ir kontrabanda;
- brakonieriaavimas;
- užtvankų statyba;
- miško ruošą;
- neteisėta ir neapribota aukso ir kitų mineralų gavyba.

Kitapus upės nuo Amazonės valstijos sostinės Manauso tankūs atogrąžų miškai užleidžia vietą didžiulėms galvijų ganykloms.

Horizonte tvyro dūmų stulpai, o liepsnos pasiglemžia vis naujus medžių ir krūmų plotus. Didelis apanglėjusio miško plotas įspėja apie neišvengiamas negrįžtamas pasekmes. Kraštovaizdį vagoja slapti keliai, kuriuos džiunglėse paliko žemės spekuliantai, siekiantys prasiskverbti į dar nenuniokotą mišką. Čia, kaip ir daugelyje Brazilijos Amazonės vietovių, nedaug matyti ženklų, rodančių ambicingą šalies pažadą per mažiau nei dešimtmetį nutraukti nelegalų miškų kirtimą, nors 2022 m. Brazilija pažadėjo iki 2050 m. tapti neutralia CO₂ emisijos šalimi. Miškų naikinimas yra didžiausia Brazilijos išmetamų teršalų problema. Istoriskai Amazonės baseinas buvo vienas didžiausių CO₂ absorbentų, sugeriantis ketvirtadalį sausumoje sulaikytos anglies. Dabartiniai tyrimai rodo, kad Amazonės baseinas šiuo metu išskiria daugiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų, negu jų sugeria. Jį sunaikinus, beveik pusė Brazilijos metinės šiltnamio dujų emisijos pateks į atmosferą. Nekontrliuojant miškų naikinimo, šaliai bus sunku pasiekti CO₂ neutralumą. Antra vertus, miškai suteikia pranašumą pasaulinėse varžytuvėse dėl grynojo išmetimų nulio. Palyginti su kitomis šalimis, kovojančiomis su didėjančiomis emisijomis, Brazilijos situacija yra daug paprastesnė, tačiau reikia sutelktų veiksmų Amazonės regione, kurios du trečdaliai yra Brazilijoje.

Atogrąžų miškai naudojami galvijams ganyti, kaip ūkininkavimo žemė (ypač sojų pupelių auginimui), yra vertingų kietmedžio rūšių šaltinis, būsto statybų medžiaga, kelių darbų (pvz., greitkelių ir mažesnių kelių) ir kt. žmonių naudos išteklius.

Jautienos ir odos prekyba yra susijusi su 80 % naikinamų miškų regione, ir tai sudaro apie 14 % visų pasaulyje naikinamų miškų. 91 % žemės plotų, iškirstų nuo 1970 m., naudojama gyvulių ganykloms. Pagrindinis Amazonės regiono miškų nykimo veiksnys buvo sojos auginimas, kuri daugiausia buvo skirta eksportui, biodyzelino ir pašarų gamybai. 2019 m. vasarą miškų gaisrai tapo dar viena pagrindine

miškų naikinimo priežastimi. Tą vasarą Amazonės miškų plotas susitraukė 1 345 km². Ūkininkai naikina miškus, kad turėtų žemės smulkiam natūriniam ūkiui. Pagrindiniai augalai – sojos pupelės, kukurūzai, cukranendrės ir ryžiai – sudaro 90 % viso pasėlių ploto. Šalis yra viena didžiausių šių kultūrų (išskyrus ryžius) gamintojų ir eksportuotojų. Brazilijos žemės ūkio eksporte vyrauja sojos pupelės ir sojų miltai, cukrus, jautiena, paukštiena, kukurūzai, medvilnė, kiauliena, kava ir citrusiniai vaisiai. Brazilija augalininkystei naudoja apie 69 mln. ha iš daugiau nei 410 mln. ha visos potencialiai ariamos žemės, o tai rodo galimą tolesnę žemės ūkio plėtrą. 2021 m. Brazilija sunaudojo 17,3 % pasaulinio trąšų kiekio. Daugiau nei 70 % trąšų Brazilijoje skiriama sojai (44 %), kukurūzams (17 %) ir cukranendrėms (11 %). Miškų ir kitų ekosistemų naikinimas (pvz., durpynų degradacija) gali sumažinti anglies absorbciją, gaisrai didina išmetamų teršalų kiekį, blogina ekosistemų būklę. Amazonės regiono atogrąžų miškų naikinimas turėjo didelį neigiamą poveikį Brazilijos gėlo vandens tiekimui, o kartu pakenkė prie miškų kirtimo prisidėjusiam žemės ūkiui. Brazilija pažadėjo iki 2030 m. sustabdyti miškų naikinimą.

Brazilijos žemės ūkio plėtra daugiausiai vyksta Amazonės ir Serado regionuose. Seradas yra didžiulis atogrąžų ir subtropikų biomas, kuriam būdingas tam tikras vyraujantis augalijos ir gyvūnijos tipas. Jis yra Brazilijoje ir tik šiek tiek apima Paragvajų ir Boliviją. Pastaraisiais metais labai išaugęs spaudimas tausoti aplinką verčia stabdyti žemės plėtrą ir infrastruktūros projektus Amazonės ir Serado regionuose. Amazonės valstijoje pagaminama 42 % Brazilijos sojų pupelių, 15 % kukurūzų ir 7 % šalies cukranendrių. Čia iš miško atimtame plote (apie 75 %) ūkininkai gano galvijus. Serado savanos ir pievos sudaro antrą pagal dydį Brazilijos biomą (200 mln. ha), užimančią 24 % Brazilijos teritorijos. Serado reljefas (miško savana, miškinga savana, parko savana, sumedėjusi savana, savanų pelkės ir

aukšti miškai), klimatas ir dirvožemis skatina investuoti į stambias galvijų fermas bei didelio masto intensyvių sojų pupelių, kukurūzų, medvilnės ir cukranendrių auginimą. Maždaug 39 % Serado miško buvo iškirsta pasėliams ir ganykloms. Brazilijoje sojos ir kukurūzų augintojai konkuruoja dėl ploto su cukranendrių, medvilnės augin-tojais, gyvulininkyste ir medienos pramone.

Norint pereiti prie kitų kuro ar elektros šaltinių, daugeliui šalių reikia technologijų ir investicijų. Kad būtų sustabdytas miškų kirti-mas Brazilijoje, nereikia jokių ypatingų technologijų, tačiau Brazilija plačiais žingsniais eina priešinga kryptimi. Dėl COVID-19 sulėtėjus ekonomikai, didžioji pasaulio dalis laikinai sumažino išmetamų ter-šalų kiekį, tačiau Brazilijos anglies pėdsakas dėl miškų naikinimo ir gaisrų išaugo 9,6 %.

Kai kurios Amazonės regiono dalys dėl didelio miškų naikini-mo ir klimato atšilimo dabar išskiria daugiau anglies, negu sulaiko. Didžiausias pasaulyje atogrąžų miškas gali virsti savana. Vis dėlto įmanoma sustabdyti miškų naikinimą. Nors bendra atogrąžų miš-kų naikinimo tendencija ir toliau auga, per mažiau nei dešimtmetį Brazilija sugebėjo sumažinti kasmetinį miškų naikinimą 80 %, o 2004–2012 m. šis procesas dar sulėtėjo, nes valdžios institucijos su-griežtino aplinkos apsaugą ir pasiūlė bendruomenėms ieškoti būdų, kaip gauti pajamų nekertant miškų. Jei Brazilija nori pasiekti savo užsibrėžtus klimato tikslus, ji turi kovoti su nusikalstama veikla. Siekdama pakeisti kursą ir iš tikrųjų kovoti su miškų naikinimo problema, Brazilija turi nukreipti daugiau kontrolierių ir bausti už neteisėtą įsiveržimą į miškus. Reikėtų pasiūsti aiškią žinią, kad ne-teisėtas miškų kirtimas nebus toleruojamas. Šiuo metu įsibrovėliai gali dalį miško paskelbti savo nuosavybe ir automatiškai gauti žemės nuosavybės teisę. Nors tokias laikinasias pretenzijas pareigūnai turė-tų patikrinti, šis žingsnis dažnai praleidžiamas. Taip žemės grobikai Amazonėje perėmė apie 18,6 mln. ha miško.

Kelyje į CO₂ neutralumą dar viena svarbi problemos dalis yra miškų naikinimo dėl šalies galvijų ūkio mažinimas. Brazilija yra viena didžiausių jautienos eksportuotojų pasaulyje, turinti daugiau nei 200 mln. galvijų. Vidutiniškai viename ganyklos hektare ganosi tik viena karvė, o Nyderlanduose tokiame plote ganosi 3 galvijai. Tyrėjai teigia, kad taikydami pažangesnę gyvulininkystės praktiką Brazilijos galvijų augintojai galėtų pasiekti panašių rezultatų. Nualintos ganyklos po kelerių metų dažnai apleidžiamos ir kertami nauji miško ruožai. Tyrėjai apskaičiavo, kad 12 mln. ha nualintų ganyklų atkūrimas visoje Amazonėje galėtų duoti 17,7 mln. galvijų per metus ir sumažintų žemės ūkio paskirties plotų poreikį. Pagal atnaujintą, mažai CO₂ į aplinką išskiriančią žemės ūkio programą, smulkiesiems ūkininkams, norintiems įgyvendinti tvarią praktiką, teikiamos paskolos su mažomis palūkanomis. Planas skatina neiriamosios žemės ūkį, nualintų ganyklų atkūrimą ir komercinių miškų sodinimą.

Daugelyje Amazonės kampelių atogrąžų miškų išsaugojimo idėją sunku įgyvendinti. Kaimo bendruomenėms miškų naikinimas dažnai atveria naujas galimybes, tikima, kad didesni žemės plotai padės suklestėti. Paros valstijoje smulkieji ūkininkai padeda atkurti mišką, sodindami kakavmedžius. Kakavmedžiais atsodinta apie 557 500 ha nualinto miško, sukurtas alternatyvių pajamų šaltinis smulkiesiems žemės ūkio gamintojams, kurie, deja, yra atsakingi už šiek tiek daugiau nei trečdalį sunaikintų valstybės miškų. Kituose šalies regionuose smulkieji žemdirbiai skatinami auginti brazilines bertoletijas. Braziliški riešutmedžiai auga neužtvindytuose Brazilijos, Bolivijos ir Peru atogrąžų miškuose. Riešutmedžiai paprastai „sulaukia“ 500–700 metų – per tiek laiko augalas pasiekia maždaug 50-ies metrų aukštį.

Tokių bandomųjų projektų rezultatai patvirtina, kad įmanoma sustabdyti miškų naikinimą ir sukurti tvarią ekonomiką Amazonėje. Tačiau dauguma jų yra brangūs ir galimi tik padedant nevyriausybinių organizacijoms. Todėl kyla abejonų, ar jie gali reikšmingai

sumažinti miškų naikinimo rodiklius Brazilijoje. Nesiimant veiksmų, Brazilijai tai gali brangiai kainuoti. Tarptautinė bendruomenė sustabdė prekybos derybas su Brazilijos sojos ir jautienos importuotojais, o Norvegija ir Vokietija – aplinkosaugos pagalbą Brazilijai. Šalis gali likti besiformuojančios ekologiškesnės pasaulio ekonomikos nuošalėje, nes tarptautiniai investuotojai, norintys investuoti pinigų į tvarias, anglies dioksido emisijų atžvilgiu neutralias įmones, į šalį žiūri atsargiai. Norinčių investuoti Brazilijoje įmonių susidomėjimas yra didžiulis, tačiau jos nėra tinkamai teisiškai apsaugotos nuo žemės grobimo, invazijų ir priimtų sprendimų nevykdymo.

Brazilija pradeda jausti miškų naikinimo poveikį klimatui. 2023 m. šalį užklupo didžiausia sausra per pastaruosius 90 metų. Hidroelektrinių vandens rezervuarai išdžiūvo, o tai sumažino energijos atsargas ir padidino nešvaresnių energijos šaltinių naudojimą. Nerimą kelia planas per ateinančią dešimtmetį investuoti į vadinamąją tvarią anglies kasybą modernizuojant anglies jėgaines ir didinant jų efektyvumą. Kartu su planais didinti naftos ir dujų gavybą tai dar labiau sustiprino abejones dėl Brazilijos įsipareigojimo saugoti aplinką ir mažinti anglies dvideginio išmetimą.

2022 m. išrinktasis Brazilijos prezidentas paskelbė, kad šalis nutrauks Amazonės atogrąžų miškų naikinimą ir kad iki 2030 m. bus pasiektas „nulinis miškų naikinimas“. Valdant ankstesniam prezidentui, dėl natūralių ir žmogaus sukeltų gaisrų buvo prarasta daugiau nei 13 % atogrąžų miškų.

Antras pagal dydį atogrąžų miškas pasaulyje ir viena didžiausių neištyrinėtų miškų ekosistemų planetoje yra Kongo upės baseinas Afrikoje. Kongo baseinas, žinomas kaip „Afrikos plaučiai“, yra didžiausias anglies absorbentas pasaulyje. Apie 2,87 mln. km² baseino yra apaugę miškais, iš kurių 1,68 mln. km² sudaro pirmąjį, egzistavęs nuo seniausių laikų arba išlikęs santykinai žmogaus veiklos nepalietas, miškas. Apie 60 % šio miško yra Kongo Demokratinėje

Respublikoje, kuri yra antra pagal dydį atogrąžų miškais apaugusi šalis pasaulyje ir turi didžiausią (daugiau negu 100 mln. ha) tropinių atogrąžų miškų plotą Afrikoje. Kongo baseino atogrąžų miškai turi daug panašių bruožų su Amazonės atogrąžų miškais. Šiose vietovėse gyvena daug retų, nykstančių žinduolių, vabzdžių ir augalų rūšių. Sengirėse auga didžiuliai raudonmedžiai ir kitos šimtamečių medžių rūšys.

Paprastai miško laja yra apie 30 m aukščio, bet gali siekti ir 50–60 metrų. Kol krintantis lietaus lašas nuo miško lajos pasiekęs žemę, gali praeiti apie dešimt minučių. 60 % miškų yra džunglės. Šešiose šalyse besidriekiantys atogrąžų miškai yra labai svarbi nykstančių rūšių buveinė. Kongo baseine knibždėte knibžda gyvybė. Jo atogrąžų miškai yra daugiau nei 10 tūkst. augalų, 700 žuvų, 400 žinduolių bei 1 000 paukščių rūšių namai. Atogrąžų miškuose yra daugiau augalų ir gyvūnų rūšių negu bet kurioje kitoje sausumos ekosistemoje. Kongo baseine plėtojamas pramoninis žemės ūkis, įskaitant alyvpalmių ir hovějų plantacijas. Iš atogrąžų palmės hovějos sulčių gaunamas natūralus kaučiukas. Dėl šių plantacijų plėtros dažnai naikinami miškai, kyla socialiniai konfliktai. Jei dabartinis miškų naikinimo tempas išliks, atogrąžų miškai išnyks per 100 metų ir tai sukels kol kas sunkiai įvertinamą poveikį pasaulio klimatui, sunaikins daug augalų ir gyvūnų rūšių bei jų buveinių.

Australijos atogrąžų miškai apima Naujosios Gvinėjos salos ir Šiaurės rytų Australijos miškus, taip pat išsibarsčiusias salas, kurios buvo sujungtos į vieną sausumą, kai per paskutinį ledynmetį nukrito jūros lygis. Beveik visi pagrindiniai šio regiono atogrąžų miškai yra Naujosios Gvinėjos saloje, kuri yra padalyta tarp Indonezijos ir Papua Naujosios Gvinėjos.

Zundo regionas jungia Borneo, Sumatros ir Javos salas, taip pat Malaizijos pusiasalį. Didžioji dalis likusių regiono miškų yra Borneo saloje, padalytoje tarp Indonezijos, Malaizijos ir Brunėjaus. 2002–2019 m. Zundo regionas prarado didžiausią pasaulyje pirminių miškų dalį, kai Borneo neteko 15 % tokių miškų, o Sumatra – 25 %.

Mianmaro (Birmos) regione yra įvairūs atogrąžų miškai. Didžiąją regiono medžių dangos dalį sudaro plantacijos, pasėliai ir antriniai miškai. Pirminių miškų plotas užima apie trečdalį viso miškų ploto. Nuo 2001 m. Mianmaras prarado apie 8 % pirminių miškų ir 12 % medžių dangos. Jo kaimynė Kambodža per šį laikotarpį prarado daugiau nei trečdalį pirminių regiono miškų.

2.8. Klimato kaitai svarbaus maisto produkto gamybos plėtra

Jei stabdydami klimato kaitą rytoj nustotume kirsti ir deginti miškus, vis vien greitai susidurtume su didžiuliu iššūkiu – palmių aliejaus stygiumi. Žmonės aliejines palmes įvairioms reikmėms naudojo per 5000 metų. Archeologai aptiko palmių aliejaus viename Egipto kape, datuojamame 3000 m. pr. m. e. Nors tik 5 % žemės naudojama palmių plantacijoms, palmių auginimas sudaro 38 % visos augalinio aliejaus pramonės. Be to, palmių plantacijos yra 10 kartų produktyvesnės nei sojų, saulėgrąžų ar rapsų. Palmių aliejaus ūkiai iš hektaro pagamina apie 4,17 t aliejaus, kai saulėgrąžų, sojų pupelių ar žemės riešutų aliejaus iš hektaro gaunama tik 0,56, 0,39 ir 0,16 tonos. Palmių aliejus gaunamas iš aliejinių palmių vaisių minkštimo (2.13 pav.). Jis naudojamas maistui, buitinės chemijos, higienos prekių (kosmetikos, šampūnų, muilo) gamyboje ir kitur, tačiau didžioji jo dalis tenka transporto priemonių kuro gamybai. 2/3 importuojamo į ES palmių aliejaus naudojama degalams.

Aliejinės palmės auginamos 43 pasaulio valstybėse (Zuckerman, 2021). Didžiausia palmių aliejaus gamintoja yra Indonezija, pagaminanti daugiau nei 20,9 mln. tonų. Transportui naudojamas biodyzelinas šalyje taip pat daugiausia gaminamas iš palmių aliejaus. Malaizija yra antra pagal dydį palmių aliejaus gamintoja pasaulyje – apie



2.13 pav. Aliejinės palmės vaisių kekė ir vaisiai
(failas: Elaeis guineensis - noix de palme oil palm -
harvesting fruits from the the cluster.jpg. CC BY-SA 4.0)

18,8 mln. tonų. Nors Indonezija palmių aliejaus pagamina daugiau, Malaizija yra didžiausia pasaulyje šio aliejaus eksportuotoja (2011 m. eksportavo 18 mln. t). Nigerija, trečia pagal dydį gamintoja, augina palmes apie 2,3 mln. ha plote, o Tailandas per metus pagamina apie 2 mln. t, arba 1,2 % pasaulinės palmių aliejaus produkcijos. Beveik visa Tailando produkcija suvartojama vietoje. Kolumbija pagamina apie 1,6 mln. t, ir tai sudaro apie 8 % nacionalinio žemės ūkio bendrojo vidaus produkto. Kenijos maistinio aliejaus gamyba sudaro apie trečdalį jos metinės paklausos, t. y. maždaug 380 000 tonų. Aliejines palmes augina Nigerija, Togas, Beninas, Kamerūnas, Ekvadoras, Gana, Mianmaras, Gvinėja, Ekvadoras ir kitos šalys. Daugiausiai aliejinių palmių aliejaus importuoja Kinija (5,9 mln. t), Indija (5,9 mln. t), Pakistanas (2 mln. t), Nyderlandai (1,9 mln. t), Vokietija (1,1 mln. t), JAV (1 mln. t).

Šių palmių auginimas dažnai pagrįstai kritikuojamas dėl poveikio natūraliai aplinkai, įskaitant miškų naikinimą, natūralių

buveinių nykimą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, dėl kurio kyla grėsmė nykstančioms gyvūnų rūšims (orangutangams, Sumatros tigras). Kuriant naujas plantacijas palmių aliejų gaminančiose šalyse vis dar kertami ir deginami miškai.

2015 m. dėl klimato kaitos Indonezijos Sumatros ir Borneo salose kilo didžiuliai miškų gaisrai, aptemdę Pietryčių Azijos dangų ir sukėlę grėsmę šimtų tūkstančių žmonių sveikatai. Išdegė daugiau nei 2,6 mln. ha miškų. Į atmosferą išsiskyrusių šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis prilygo tų metų Vokietijos išmestam kiekiui. Atogrąžų miškų nykstančių rūšių, pavyzdžiui, orangutangų, buveinių praradimas buvo didelis smūgis biologinei įvairovei. Didžiausią įtaką gaisrų plitimui turėjo po miškų paklote slypinčios durpės. Dalį durpių sudaro suirusios organinės medžiagos, besikaupiančios į pelkes panašiuose durpynuose. Toks darinys atogrąžų regionuose gali išaugti į didžiulę daugelio metrų gylio anglies saugyklą. Pasaulio durpynai turi daugiau nei 550 gigatonų anglies. Tai prilygsta 42 % planetos dirvožemyje sukauptos anglies, nors durpynai užima mažiau nei 5 % Žemės paviršiaus ploto. Indonezijoje yra vieni didžiausių ir daugiausiai anglies turinčių durpynų pasaulyje. Didžioji Indonezijos tropinių miškų dalis (trečia pagal dydį pasaulyje) auga durpynuose. Šie dirvožemiai yra natūraliai drėgni, todėl durpės nesuyra, tačiau miškus paverčiant aliejinių palmių plantacijomis, durpės išdziūsta, greitai suyra ir išskiria į atmosferą anglį. Pasaulyje beveik visos aliejinės palmės auginamos kažkada buvusių atogrąžų drėgnų miškų plotuose. Nuo 1990 m. palmių aliejus iš nišinės tapo viena iš pagrindinių Indonezijos eksporto prekių (2.14 pav.).

Indonezijos žemėnaudos CO₂ emisijos yra beveik nulinės, tačiau jos miškų gaisrų mastas primena pasauliui, kad kova su klimato kaita yra ne tik pastangos atsisakyti iškastinio kuro ar naudoti švarią energiją. Žemė taip pat svarbi. Su žemės naudojimu susiję



2.14 pav. Aliejinių palmių plantacija Indonezijoje
(failas: Oil palm plantation in Cigudeg-03.jpg, CC BY 2.0)

išmetami teršalai, įskaitant žemės ūkį, miškų naikinimą ir durpynų degradaciją, sudaro apie ketvirtadalį visų pasaulinių išmetamų teršalų. Dėl 2015 m. gaisrų Indonezija tapo ketvirta šalimi pasaulyje po Kinijos, JAV ir Indijos pagal šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo kiekį. Paprastai gaisrai šalyje sudaro apie pusę visų šalies išmetamų teršalų, atsižvelgiant į gaisrų mastą tam tikrais metais.

Skirtingai negu vidutinio klimato miškuose, natūraliomis tropikų sąlygomis dėl gausių kritulių ir aukšto vandens lygio gaisrai yra labai reti. Problemą sukelia nevietinis augalas – aliejinė palmė, kuri yra kilusi iš Vakarų Afrikos ir mėgsta augti sausoje žemėje. Aliejinė palmė labiau nei kiti augalai linkusi plisti į atogrąžų miškus ir durpynus, kurie yra sukaupę daug anglies. Plečiantis palmių plantacijoms, žemė buvo sausinama kanalais, todėl iškilo pavojus durpynams ir greitai išryškėjo poveikis pasaulio klimatui.

2021 m., praėjus šešeriems metams po istorinių gaisrų, atrodo, pagaliau padaryta pažanga. Nors kasmet vis dar kyla gaisrai, jie daug

mažiau paplitę nei 2015 metais. Be to, 2020 m. miškų kirtimas sumažėjo 70 %, palyginti su 2016 metais. Ilgą laiką palmių aliejus buvo pagrindinis miškų naikinimo tikslas. 2018 m. Indonezija uždraudė naujas aliejinių palmių plantacijas.

2015 m. gaisrai daugeliu atžvilgių buvo blogiausio scenarijaus apraiška. Tais metais Ramiajame vandenyne buvo itin stiprus El Niño efektas, dėl kurio didžiojoje Indonezijos dalyje įsivyravo didelė sausra. Pasiekę po žeme esančias durpes, gaisrai tapo itin sunkiai užgesinami ir degė kelias savaites, kol galiausiai atėję lietūs juos užgesino. Didžiulis šių gaisrų mastas buvo pavojaus signalas Indonezijai. Šalis yra įsipareigojusi iki 2030 m. sumažinti miškininkystės išmetamų teršalų kiekį 66–90 %. Subjektai, kuriems pavesta remti durpynų atkūrimą, susidūrė su didžiuliu iššūkiu. Durpynai yra labai nestabilūs, todėl reikėjo greitai atkurti jau prarastus, kad būtų apribotos CO₂ emisijos. Atkurti durpynus yra būtina, nes, išnykus organinėms medžiagoms, ekosistema negrįžtamai pasikeis. Siekiant užtikrinti, kad atkūrimas būtų veiksmingas ir tvarus ilgalaikėje perspektyvoje, būtina rūpintis vietinių bendruomenių pragyvenimo šaltiniu. Daugelis Indonezijos bendruomenių naudoja durpynus ne tik palmių plantacijoms, bet ir kitoms kultūroms, tokioms kaip ryžiai, kukurūzai ir šakninės daržovės. Tęsiant durpynų atkūrimą taip pat reikės atkreipti dėmesį į durpynus esančiose aliejinių palmių plantacijose. Pastangos keisti durpes ar daug CO₂ į aplinką išskiriančias žemes į nualintą žemę neduos jokios ekonominės naudos.

Palmių plantacijų plėtra labiausiai priklauso nuo palmių aliejaus kainos. Kai aliejaus kaina buvo žema, augintojai nebuvo suinteresuoti plėsti šią pramonę, tačiau didėjant augalinio aliejaus trūkumui pasaulinėje augalinio aliejaus rinkoje, kainos kyla, o kartu ir pagunda didinti plantacijas. Norint apsaugoti itin svarbius Indonezijos atogrąžų miškus ir durpynus, reikės pilietinės

visuomenės, vyriausybės ir pasaulinės bendruomenės didelių pastangų. Nors Indonezijos ir Malaizijos rodikliai yra teigiami, bendras pasaulio vaizdas yra blogas. Daugelis vyriausybių stengiasi išsaugoti miškus, tačiau greitai besikeičiantis klimatas gali sugriauti gerus ketinimus. Indija ne kartą pabrėžė, kad trečdali savo žemės ploto nori apželdinti mišku ir iki 2030 m. pasodinti tiek medžių, kad iš atmosferos būtų sugerta 2,5–3 mlrd. t CO₂. Ar Indijos miškai plečiasi? Dabartiniu laikotarpiu Indijos miškai užima 24,6 % viso šalies ploto. 2001 m. Indija prarado 19 % pirminių miškų, arba 5,3 % medžių dangos. Indijos vyriausybės duomenimis, 2021 m. bendras medžių ir miškų plotas padidėjo 5,2 %.

2008-aisiais Australijos vynuogių augintojai bejėgiškai stebėjo krūmynų gaisrus. Jau trečią kartą per kelerius metus liepsnos priartėjo prie vynuogynų. Šiltesnės dienos, mažesnis kritulių kiekis ir sausra buvo ryškūs įspėjamieji ženklai. Pagal dydį Australija yra penkta vyno eksportuotoja pasaulyje. Ir nors klimato kaita kelia grėsmę vyndariams visame pasaulyje, Australijos vyndariai yra priešakinės linijose. Viename Pietų Australijos vynuogynų regione iškrito tik 90 mm kritulių – 10 kartų mažiau už metinį garsiojo Prancūzijos vyno regiono Bordo vidurkį. Didesnėje Australijos dalyje vasarą galimi sausi ir karšti orai, todėl artėjantis gaisrų sezonas kelia nerimą. Klimato kaita turi įtakos vynuogių skoniui ir kokybei: šiluma lemia vynuogių nokimo greitį, cukraus kiekį ir rūgštingumo lygį. Tai reiškia, kad auginti tam tikras vynuogių rūšis Australijoje bus vis sunkiau. Atsižvelgdami į klimato kaitą australai pradėjo veisti vynuogynus vėsesnėse vietose, tokiose kaip Tasmanija. Pagal dabartinę prognozę, visoje Australijoje taps šilčiau ir sausiau, ir nors pora laipsnių gali atrodyti mažai, kai kurioms žemdirbystės kultūroms tai gali būti pražūtinga.

Pasaulyje yra ir gerų naujienų – Indonezija penktus metus iš eilės stabdo miškų nykimą, nes vyriausybė įvedė moratoriumą miškų ir

durpynų virtimui aliejinių palmių plantacijomis. Taip pat buvo sugriežtinti reikalavimai celiuliozės ir popieriaus pramonėje.

2.9. Kada švarios energijos gamyba pasieks kritinį tašką

Atsinaujinančios energijos gamyba pastaraisiais metais pasiekė daugybę svarbių lūžio taškų, o pasaulis artimiausiu metu išgyvens kritinį atsinaujinančios energijos lūžio tašką. Ekspertų duomenimis, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos energetikos sektoriuje, kuris yra didžiausias pasaulyje išmetamų teršalų šaltinis, pirmą kartą turėtų sumažėti. Skirtingi elektros energijos gamybos įrenginiai palieka nevienodą anglies pėdsaką. Vidutinis išmetamų teršalų kiekis (gramais CO₂ ekvivalento vienai kilovatvalandei) 2020 m. Europoje buvo: anglimi kūrenamų elektrinių – 850–1 000, kūrenamų gamtinėmis dujomis – 430, fotovoltinės elektros – 11–37, vėjo energetikos – 12–14, branduolinės energetikos – 5,1. Šis palyginimas rodo neišvengiamų technologinių pokyčių kryptį. Toks mažėjimas vyktų nepaisant vis dar augančio elektros energijos poreikio pasaulyje. Emisijų mažės, nes atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip saulės ir vėjo, plėtra viršija augančią paklausą. Kovoiant su klimato kaita, tai būtų lemtingas lūžis, nes „švari“ energija iš tikrųjų gali ne tik pakeisti iškastinį kurą, bet ir patenkinti augančią elektros energijos paklausą.

Lūžio taškas yra tada, kai mažas įvesties pokytis lemia didelį rezultato pokytį. Esame girdėję apie pavojingus klimato kaitos momentus, tokius kaip jūros ledo tirpsmas ar miškų praradimas. Kai kalbame apie technologijų pokyčius, perėjimas nuo senų technologijų, pagrįstų iškastiniu kuru, prie naujų – nulinės emisijos

technologijų (energijos gamybos, transporto, statybos, pramonės ir žemės ūkio) yra teigiamo lūžio taškas.

Pažymėtina, kad prieš lūžio tašką bandoma išlaikyti senąją sistemą. Žmonėms atrodo, kad senesnė technologija yra patogesnė, patrauklesnė ar pigesnė, o norint padėti įsitvirtinti naujoms technologijoms reikia tikrai didelių pastangų. Peržengus lūžio tašką, naujoji technologija sparčiai auga, daugiau žmonių perka jos produktus, į ją investuoja, todėl produkto kaina mažėja, o pats produktas tobulėja. Kai tik pasiekiamas lūžio taškas, technologijų kaita spartėja. Tokie teigiami lūžio taškai gali nutikti skirtingoms technologijoms, net ir nesusijusioms su klimato kaita. Prisiminkime, kaip arklius pakeitė automobiliai. Iš pradžių automobiliai neatrodė patrauklūs. Jie buvo negreiti, brangūs, mažai patikimi, pavojingi. Tik kai kurie šiek tiek „pamišę“ žmonės norėjo automobilio ir tai labiau kaip žaislo, bet atėjo momentas, kai automobiliai tapo geresni už arklius, todėl pokytis buvo greitas ir negrįžtamas.

Tas pats vyksta „švarios“ elektros gamyboje. Saulės ir vėjo energetika tapo pigesnė negu energetika, naudojanti iškastinį kurą. Kitaip tariant, statyti saulės ar vėjo elektrines yra pigiau, nei kastuvu kasti anglis ir vežti jas į anglį kūrenančią jėgainę arba gręžti gilius dujų gavybos gręžinius, tiesti vamzdynus ir tiekti dujas elektros jėgainėms.

Svarbus lūžis įvyks tuomet, kai atsinaujinančių energijos šaltinių pagamintos energijos saugojimas bus pigesnis negu iškastinio kuro atsargų kaupimas ir saugojimas. Mokslininkai prognozuoja, kad iki šio dešimtmečio pabaigos bus pasiektas lūžio taškas, kai saulės energijos gamyba ir saugojimas bus perpus pigesni negu anglies kainos rinkose. Jei šios prognozės pasitvirtins, tai 2023 m. energetikos sektoriaus emisijos turėtų mažėti, ir tai nebus atsitiktinumas, nes akivaizdu, kad tam tikru momentu atsinaujinančių

išteklių augimas lenkia visos energetikos sistemos augimą ir išmetamų teršalų kiekis pradeda mažėti. Kai taip atsitiks, energetika bus pirmasis didelis sektorius, akivaizdžiai sumažinęs išmetamus teršalus (Henriques, 2023).

2.10. Ar kultivuotos mėsos gamyba paveiks klimato kaitą

XXI a. viduryje Žemėje gyvens daugiau nei 9 mlrd. žmonių ir mokslininkai jau ne vienerius metus tvirtina, kad dabartiniais būdais jų išmaitinti nepavyks (Solomonova, 2019).

Galvijų auginimas – labai daug išteklių naudojanti ir planetai kenksminga veikla: gyvulių auginimas, transportavimas ir skerdimas, aprūpinimas pašarais smarkiai veikia ekologiją. Galvijams ir jų reikmėms naudojami trys ketvirtadaliai planetos dirbamos žemės. Naminių galvijų auginimui tenka 14,5 % visų antropogeninės kilmės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų.

Prognozuojama, kad 2030 m. pasaulio gyventojų skaičius pasieks 8,5 mlrd., 2050 m. – 9,7 mlrd., o iki 2100 m. – 10,4 mlrd. (United Nations: Peace, dignity and equality on healthy planet, 2023). Gyvulių mėsa sudaro ketvirtadalį su maistu suvartojamų baltymų ir 15 % žmonių gaunamos energijos. Manoma, kad pasaulinė mėsos ir pieno paklausa iki 2050 m. išaugs atitinkamai 73 % ir 58 %. Kadangi gyvulininkystė sukuria didelį spaudimą aplinkai, išmesdama daug šiltnamio efektą sukeliančių dujų, kelia didelį iššūkį įvairiems ištekliams ir dirbamai žemei, šios prognozės labai neramina. Maždaug 26 % ledo danga nepadengtos planetos žemės naudojama gyvuliams ganyti, o 33 % visų pasėlių sudaro pašarai gyvūnams. Apskaičiuota, kad gyvulininkystės sektorius išmeta 7,1 gigatonos CO₂ ekvivalento per metus, arba 14,5 % visų antropogeninių šiltnamio efektą sukeliančių

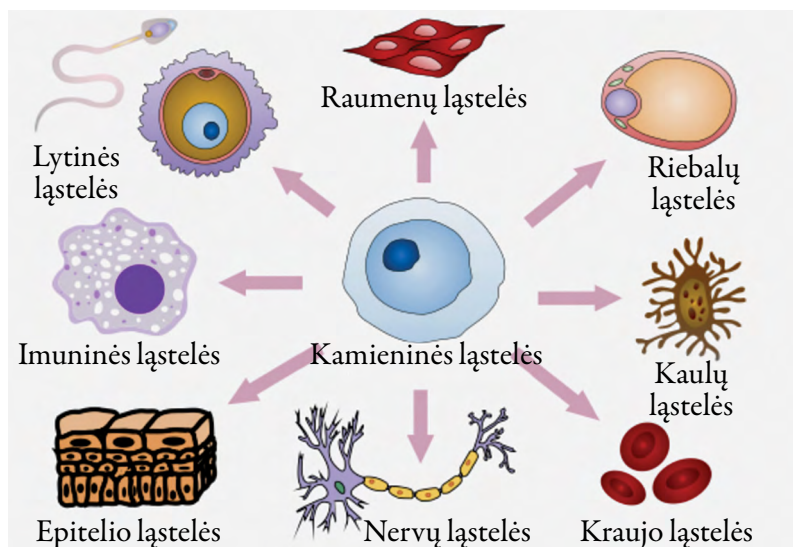
dujų. Galvijai (auginami tiek mėšai, tiek pienui) išskiria apie 65 % šių teršalų, apie 44 % gyvulių išskiriamų dujų yra metanas. Šie kiekiai yra didesni už pasaulinę transporto taršą (Steinfeld ir kt., 2006). Kasmet plotas, 6,4 karto didesnis negu Lietuva, naudojamas sausam naminių gyvūnėlių (katėms ir šunims) maistui gaminti, jau nekalbant apie šlapią maistą. Vien kačių ir šunų maisto gamyba sudaro iki 30 % mėsos gamybos poveikio aplinkai. Antra vertus, karvės, kiaulės ir vištos yra tiesiog neefektyvus augalinių baltymų vertimo gyvūniniais būdas – daugybę maisto prarandame tik todėl, kad sumaitiname jį gyvuliams kaip tarpininkams.

Kultūrinės mėsos gamybai reikia mažiau vandens, žemės, pašarinių grūdų ir energijos, palyginti su tradicine gyvulininkyste (Tuomisto, Teixeira de Mattos, 2010), be to, tradicinė mėsos pramonė susiduria su problemomis tvarkydama atliekas, nes visa skerdena (su kaulais ir oda) maistui netinka. Dirbtinės mėsos konversijos į valgomąją mėsą koeficientas gali būti didesnis nei tradicinės gyvulininkystės, kuriai būdingas 5–25 % konversijos koeficientas. Apskaičiuota, kad, palyginti su įprastai gaminama mėsa, dirbtinei mėšai gaminti sunaudojama maždaug 7–45 % mažiau energijos (tik naminiai paukščiai sunaudoja mažiau energijos), 78–96 % mažiau išmetama šiltnamio efektą sukeliančių dujų, 99 % mažesnis žemės ir 82–96 % vandens sunaudojimas. Idealiomis sąlygomis *in vitro* gaminant mėsą iš kelių kiaulės raumenų ląstelių, per du mėnesius būtų galima pagaminti tūkstančius tonų kiaulienos. Net jei išsivysčiusiose šalyse mėsos suvartojimas mažėja, visame pasaulyje jos vartojimas auga, nes žmonės, ypač tokiose šalyse kaip Kinija, Indija ir Rusija, paprastai nenori mažinti mėsos vartojimo. Kylant šių šalių gyventojų pragyvenimo lygiui, jie ieško prabangesnių produktų, tokių kaip mėsa ar kiti gyvūniniai produktai (pvz., sūris, pieno produktai).

Viena iš idėjų yra pasiūlyti vartotojams maisto produktą, kuris nėra tradicinė mėsa, tačiau turi panašią maistinę vertę ir skonį.

Terminas „dirbtinė mėsa“ pasirodė 2000-ųjų pradžioje kartu su maistu, pagamintu iš tam tikrų augalų. Jo skonis po transformacijos turėjo būti labai panašus į tradicinės mėsos. Pirmoji „dirbtinės mėsos“ produkcija buvo pagaminta iš sojos pupelių, kviečių ar kitų rūšių ankštinių augalų, javų ar grybų. Mėsos žaliava dažnai keičiama įvairių augalų žaliava. Mėsa iš augalinės kilmės produktų jau plačiau naudojama ir Lietuvoje, ir tokių produktų yra nemažai. Soja buvo vienas pirmųjų produktų, vėliau naudoti žirniai, kanapių baltymai. Mėsos pakaitalų gamyboje galima pritaikyti daug medžiagų, turinčių nemažai baltymų. Visgi šiandien šis terminas apibūdina naujo proceso metu pagamintą mėsą, kuri gaminama iš gyvų gyvūnų mėsos kamieninių ląstelių. Kiti dažniausiai vartojami šios technologijos pavadinimai yra „laboratorijoje užauginta mėsa“, „sintetinė mėsa“, „švari mėsa“, „kultivuota mėsa“, „mėsa *in vitro*“ (Kadim ir kt., 2015). Biopsijos paėmimo būdu gauta gyvūno raumens ląstelė sujungiama su baltymais, kurie padeda ląstelei augti į didelį gabalą mėsos. Pradinėmis ląstelėmis gali būti ir embriono kamieninės arba palydovinės ląstelės. Auginama realių raumenų ląstelė turėtų augti „vietoje“, kurioje būtų įrengtas dirbtinis kraujo apytakos ratas. Tokiu būdu ląstelei būtų tiekiamas deguonis ir maisto medžiagos, šalinamos atliekos.

Skaičiuojama, kad vienam galvijui išlaikyti per dieną reikia apie 100 litrų vandens. Kol kas dar nėra aišku, ar dirbtinės mėsos sintetinimui iš tiesų reikia daug mažiau gamtos išteklių nei auginant gyvūnus maistui (Shapiro, 2018). Dirbtinė mėsa pirmą kartą gauta 1971 m. – tada mokslininkai išaugino jūrų kiaulytės lygųjų raumenį. 2001 m. mokslininkai kultivavo kalakutieną, o 2002 m., sukūrė dirbtinę žuvies mėsą – karoso filė. Maltinis iš karvės raumenų ląstelių buvo užaugintas per tris mėnesius. Pradinė medžiaga – gyvulio ar paukščio raumens audinys, iš kurio gaunamos kamieninės ląstelės, organizme paprastai kontroliuojančios audinių regeneraciją po traumos. Paimtos kamieninės gyvūnų (jaučių,



2.15 pav. Kamieninės ląstelės gali transformuotis į įvairias specializuotas ląsteles (failas: Stem cell differentiation.svg, CC BY-SA 4.0)

vištų, kiaulių) ląstelės auga ir transformuojasi į raumenų, riebalų ir net kraujagyslių ląsteles (2.15 pav.).

Vėliau iš jų auginami audiniai. Laboratorijoje ląstelės sudedamos į maistingųjų medžiagų ir augimui būtinų cheminių junginių tirpalą, kuriame yra riebalų, cukraus, amino rūgščių ir vitaminų. Ląstelės bręsta, dauginasi ir per tris savaites išauga daugiau nei milijonas kamieninių ląstelių. Iš pradžių maitinimui naudota fetalinė (embrioninė) plazma – medžiaga, gaunama iš veršelių kraujo. Gauta medžiaga išdėliojama tūkstančiuose *Petri* lėkštelių, kuriose 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 suteikti gaminiui įprastą mėsos tekstūrą. Gamybos procese ląstelių auginimo terpei naudojamas brangus galvijų vaisiaus serumas

(šalutinis gyvūninis produktas, užtikrinantis optimalias augimo sąlygas), kuris stimuliuoja kamieninių ląstelių augimą.

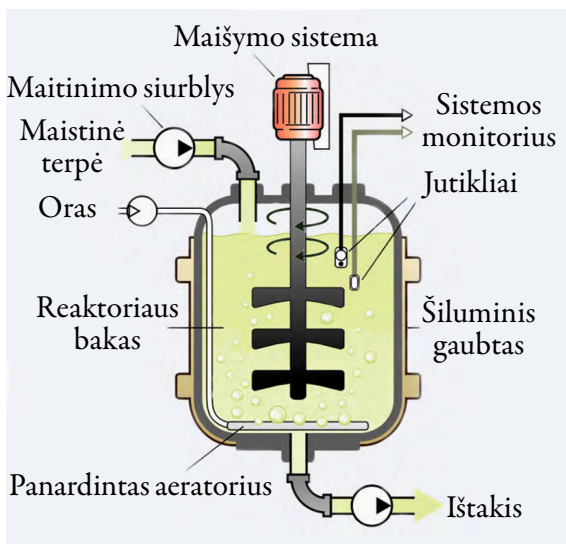
Pagrindinė naudojamo fetalinio galvijų serumo paskirtis yra ląstelių kultūrų *in vitro* maitinimas. Kaip šalutinis produktas, galvijų vaisiaus kraujas renkamas skerdyklose, kuriose galvijams atliekama veterinarinė (prieš ir po skerdimo) patikra. Galvijų vaisiaus kraujas renkamas ir iš mirusių veršingų karvių. Kraujas atšaldomas, kad būtų skatinamas krešėjimas, ir perdirbamas į neapdorotą serumą. Fetalinis galvijų serumas iki naudojimo turi būti laikomas minusinėje temperatūroje ($\leq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Jo unikali biologinė sudėtis skatina greitą ląstelių augimą, todėl tai yra labai efektyvus produktas.

Pirmą ląstelių auginimo terpę 1882 m. sukūrė britų mokslininkas Sidnėjus Ringeris, ir tai buvo pirmasis gyvūnų audinių auginimo *in vitro* pavyzdys. 1882–1885 m. jis nustatė, kad varlės širdį aprūpinančiame tirpale turi būti tam tikra natrio, kalio ir kalcio druskų proporcija, kad širdis plaktų ilgai. S. Ringerio tirpalas – tai vandenyje ištirpintų kelių druskų mišinys, kuris turėtų prilygti gyvūno kūno skysčiams. S. Ringerio tirpale paprastai yra NaCl , KCl , CaCl_2 ir NaHCO_3 , kartais ir kiti mineralai, pvz., MgCl_2 , ištirpinti distiliuotame vandenyje. Tikslios jų proporcijos skiriasi priklausomai nuo gyvūno rūšies. Natrio bikarbonatas (NaHCO_3) reikalingas pH subalansuoti. S. Ringerio tirpalas turi ir trūkumų, nes laktato sudėtyje natrio yra mažiau negu kraujyje, tad šis kiekis gali būti per mažas.

Veršelių vaisiaus serumo sudėtyje yra cheminių komponentų (albumino, α_1 , α_2 , β , γ -globulinų, trigliceridų, cholesterolio, alanino aminotransferazės), kraujo plazmos baltymų, peptidų, riebalų, angliavandenių, augimo veiksnių, hormonų, mineralinių medžiagų. Į auginimo terpę įterpiamas 2–10 % koncentracijos veršelio vaisiaus serumas. Taip užtikrinamas maistinių medžiagų ir hormonų tiekimas augančioms ląstelėms, sukuriamas buferis trikdžiams, pvz., pH pokyčiams ir endotoksinams. Fetalinis galvijų serumas turi daug embriono

augimą skatinančių hormonų, nešiklių ir makromolekulinų baltymų, taip pat antikūnų. Fetalinis galvijų serumas apskritai yra pats palankiausias, nes jis yra iš vaisiaus, todėl dar nepaveiktas aplinkos. Jei arklio serumas gali būti tinkamas tam tikroms reikmėms, tai fetalinis galvijų serumas yra universalus ir geriausias pasirinkimas mokslininkams, nes jis tinka visiems tikslams ir tai labai supaprastina produkto naudojimą.

Norint pagaminti laboratorinę mėsą, iš gyvų gyvūnų paimti nedideli ląstelių mėginiai dedami į bioreaktorių (milžiniškus plieninius kubilus), kuriuose jie gali augti ir daugintis (2.16 pav.). Maistinėmis medžiagomis maitinamos ląstelės gamina tikrą raumenų audinį ir yra formuojamos į valgomuosius „pastolius“. Šie „pastoliai“ padeda paversti ląsteles norimo skonio ir konsistencijos filė kepsniu, vištienos ar jautienos mėsainiu. 20 m³ bioreaktorių (šiandien didžiausias kultivuotos mėsos gamybos įrenginys) galėtų pagaminti 25 600 kg



2.16 pav. Kultivuotos mėsos auginimo bioreaktoriaus schema (failas: Bioreactor principle.svg, CC BY-SA 3.0)

dirbtinės mėsos per metus. Tai atitiktų dirbtinės mėsos pasiūlą 2 560 žmonių per metus, jei kiekvienas žmogus suvalgytų 25–30 g dirbtinės mėsos per dieną (10 kg per metus). Atsižvelgiant į tai, kad tokiai gamybai bioreaktoriuje reikia tik kelių valandų darbo, dirbtinės mėsos gamyba yra potencialiai pigi alternatyva dabartinei gyvulininkystės mėsos gamybai.

Skirtingai nuo įprastos mėsos, kultivuotos raumenų ląstelės gali būti saugesnės. Kita vertus, esant sparčiam ląstelių dauginimuisi, tikėtini tam tikri jų (kaip ir vėžio ląstelių) augimo reguliavimo sutrikimai. Taip pat vis dar neaiški produkto maistinės sudėties kontrolė, ypač mikroelementų ir geležies. Aplinkosaugos aspektu galimi kultivuojamos mėsos pranašumai šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo požiūriu kelia ginčų, nors, palyginti su gyvuliais, ypač atarajotojais, bus naudojama mažiau žemės. Visgi lyginant su dabartine mėsos gamyba, reikia atsižvelgti į daugiau kriterijų. Kultivuota mėsa turės konkuruoti su kitais mėsos pakaitalais, ypač su augalinės kilmės alternatyvomis. Vartotojų požiūriui į kultivuotą mėsą turės įtakos daugelis veiksnių. Etikos aspektu kultivuojamai mėsai gaminti reikės kur kas mažiau gyvulių nei tradicinėje gyvulininkystėje. Tačiau kai kurie gyvūnai vis tiek bus auginami dėl ląstelių, iš kurių būtų galima gaminti mėsą *in vitro*. Dar miglotas kultivuotos mėsos statusas religiniu požiūriu, nes religinės institucijos vis diskutuoja, ar *in vitro* mėsa yra *košerinė*, ar *halal* (pvz., ar ji atitinka žydų, ar islamo mitybos įstatymus).

Gyvulininkystė ir ateityje padės spręsti maisto ir saugios mitybos problemas, nes turės gaminti didesnius aukštos kokybės ir įperkamus mėsos, pieno ir kiaušinių kiekius, taikydama ekologiškas, socialiai atsakingas ir ekonomiškai perspektyvias gamybos sistemas. Gyvulininkystei reikia 30 % viso žemės ploto, iš kurio 33 % dirbamos žemės gyvulių pašarams ir 26 % ganykloms (Steinfeld ir kt., 2006). Toks ūkininkavimas daugiausia orientuotas į efektyvumą,

tai yra į pagaminamo pieno ar mėsos kiekį, o ne į sąveiką su aplinka, klimato pokyčius, mažesnį antibiotikų vartojimą, gyvūnų gerovės didinimą ir tvarumą. Mėsa „iš mėgintuvėlio“ dabar nagrinėjama kaip būdas išspręsti iš karto tris svarbias žmonijos problemas: pamaitinti alkstančius, sumažinti stresą gamtai ir nenaudoti smurto prieš gyvūnus.

Siekiant išlaikyti augantį pasaulio gyventojų skaičių ir sprendžiant šiandienos iššūkius (pavyzdžiui, aplinkos ir gyvūnų gerovės problemas), kuriami veiksmingesni baltymų gamybos būdai. Kultivuotos mėsos šalininkai pateikia šią mėsos gamybą kaip tvarią alternatyvą vartotojams, kurie nori būti atsakingesni kitos gyvybės atėmimo atžvilgiu, bet nenori keisti savo mitybos įpročių (Post, 2012; Fernandes ir kt., 2019). Kultivuotos mėsos gamybai, palyginti su tradicine gyvulininkyste, reikia tik 1 % žemės (Alexander ir kt., 2017; Tuomisto ir Teixeira de Mattos, 2011). Pirmosios publikacijos apie kultivuatą mėsą pasirodė 2008 m., o jau 2013 m. buvo paruoštas pirmasis mėsainis, pagamintas iš kultivuotos mėsos ir paragautas stebint milijonams televizijos žiūrovų (Post, 2014).

Kultivuotos mėsos gamyba, proceso privalumai ir trūkumai

Šio proceso tikslas – iš kelių gyvūno ląstelių atkurti sudėtingą gyvulių raumenų struktūrą. Jau minėta, kad kamieninės ląstelės gali daugintis ir transformuotis į įvairių tipų ląsteles, pavyzdžiui, raumenų ir riebalų. Kamieninių ląstelių proliferaciją (ląstelių populiacijos augimą dalijimosi būdu) ir diferenciaciją veikia daug cheminių ir fizikinių veiksnių – auginimo terpė, deguonies kiekis, aplinkos temperatūra, mechaninis ir kt. poveikis. Ląstelės pradeda dalytis ir augti, atsidūrusios tam tinkamoje terpėje. Kol kas geriausia terpė yra fetalinis galvijų serumas, gaunamas kaip šalutinis veršelių kraujo produktas mėsos pramonėje. Tokioje terpėje galima užauginti

daugiau negu trilijoną ląstelių, kurios augdamos natūraliai susilieja, sudarydamos ne ilgesnius kaip 0,3 mm miovamzdelius, išaugančius į nedidelį raumeninio audinio gabalėlį. Šis raumenų gabalėlis gali išaugti iki daugiau negu trilijono skaidulų, kurios prisitvirtina prie kempinę primenančio karkaso. Auginti ląsteles, kad susidarytų į audinį panaši struktūra, yra labai sudėtinga. Suformuoti ląstelėms tinkamą struktūrą padeda „pastoliai“. Norimos formos „pastoliai“ suteikia fizinę atramą raumenų ląstelėms (Ben-Arye, Levenberg, 2019). Kaip pagrindinė „pastolių“ medžiaga dažnai naudojamas hidrogelis: paverstas porėta struktūra jis imituoja tarpląstelinę matricą, suteikdamas 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 kapsulinį mišinį. Audinių inžinerijai naudojamos kelių tipų bazinės medžiagos. Kolagenas, fibrinas ir alginatas naudojami kaip hidrogelis, tačiau norint, kad gelis biologiškai būtų panašesnis į tikrus audinius, pridedama biorašalo. Biorašale, palyginti su įprastu hidrogeliu, yra daugiau specifinių audinio veiksmų, įskaitant augimo ir lipnius baltymus, tad manoma, kad biorašalas labiau tinka audinių inžinerijai (Kim ir kt., 2020). Taip pat galima naudoti augalų audinius, skirtus 3D celiuliozės karkasams. Augaliniai audiniai yra paplitę, lengvai gaunami ir pigūs. Raumenų ląstelių kultivavimas ant beląstelių augalų „pastolių“ skatina augimą, dauginimąsi bei diferenciaciją ir kartu užtikrina subalansuotą mitozę (Cheng ir kt., 2020). Mitozė – netiesioginis branduolio dalijimasis, kai susidaro dvi vienodos ląstelės, turinčios tokį patį chromosomų rinkinį kaip ir motininė ląstelė, o tikslų ir tolygų chromosomų paskirstymą tarp dukterinių ląstelių atlieka mitozės mechanizmas.

Ląstelių dauginimosi būdu galima pagaminti didžiulius mėsos kiekius, išvengti gyvūnų žudymo, tačiau dar daug veršelių gyvybių

bus paaukota fetalinio galvijų serumo gamybai. Serumai yra brangūs, todėl išauga ir kultivuotos mėsos gamybos sąnaudos. Antra vertus, serumo gamybai panaudojamas nugaišusių ar papjautų veršelių kraujas. Vienas pagrindinių mokslinių laboratorijų tikslų yra rasti pigesnę terpę, gautą iš augalinių ingredientų, ir tokią pat veiksmingą kaip fetalinis galvijų serumas. Ląstelių dauginimosi aplinkos temperatūra yra tokia pati kaip veršelio kūno, taigi tam reikia energijos, o ji daugiausia gaunama deginant iškastinį kurą.

Ląstelių kultūros augimui reikia hormonų, augimo veiksnių ir kt., kad palaikytų ląstelių proliferaciją ir diferenciaciją. Tyrėjai turi rasti būdų, kaip šiuos junginius gaminti pramoniniu mastu ir užtikrinti, kad nė vienas iš jų neturėtų neigiamo poveikio žmonių sveikatai trumpuoju ir ilguoju laikotarpiu. Tai svarbi problema, nes Europos Sąjungoje augimą skatinantys hormonai tradicinės mėsos gamyboje yra draudžiami.

Galiausiai, kultivuotos mėsos gamintojai vis dar toli nuo tikrųjų raumenų struktūros, kuriuos sudaro skaidulos, jungiamasis audinys, kraujagyslės, nervai ir riebalų ląstelės. Štai kodėl įvairios įmonės, dirbančios šioje srityje, taiko skirtingus metodus. Vienos, kad sukurtų raumenų skaidulas, dirba su kamieninėmis arba raumenų ląstelėmis, kitos bando atkurti plonus raumenų gabalėlius. Nepaisant to, pagaminti storą mėsos gabalą, pavyzdžiui, tikrą kepsnį, tebėra svajonė, nes reikia „paleisti“ deguonį mėsos viduje, kad būtų imituojama deguonies difuzija, vykstanti tikrame audinyje. Augimo procesui reikalinga perfuzija – tai fiziologinio tirpalo, kraujo ar jo pakaitalo tekėjimas organo, kūno dalies ar viso organizmo kraujagyslėmis.

Iš tiesų, juslinė mėsos kokybė (t. y. skonis) priklauso nuo gyvūno rūšies (kiaulienos, naminių paukščių, avių, galvijų ir kt.), o rūšių, atsižvelgiant į veisles, lytį, gyvūnų tipą (jauni buliai, jaučiai, karvės, telyčios ir kt.), auginimo sąlygos skiriasi (Chriki ir kt., 2013), todėl

būtina kontroliuoti daugybę sudėtingų procesų, kad *in vitro* mėsa taptų patrauklesnė vartotojams.

Mėsos *in vitro* šalininkai teigia, kad ji yra saugesnė už įprastą mėsą, nes gaminama visiškai kontroliuojamoje laboratorinėje aplinkoje ir nėra jokio kontakto su kitais organizmais. Vis dėlto negalima visko sukontroliuoti ir bet kokia klaida ar aplaidumas gali turėti dramatiškų pasekmių sveikatai. Šiais laikais tai dažnai pasitaiko gaminant smulkintą mėsą pramonėje, kai į ją patenka įvairūs žarnyno patogenai (*E. coli* bakterijos, salmoneliozės, kampilobakteriozės sukėlėjai). *In vitro* mėsa yra naujas produktas, kurio poveikis žmogaus medžiagų apykaitai bei sveikatai dar nėra žinomas. Viena iš pagrindinių įprastinės gyvulininkystės problemų yra atsparumas antibiotikams. Palyginimui: išauginta mėsa laikoma kontroliuojamoje aplinkoje, todėl galima lengvai sustabdyti bet kokius infekcijos požymius. Dar nesukurti būdai, kaip išaugintoje mėsoje užtikrinti reikalingą mikroelementų (pvz., vitamino B₁₂, geležies) kiekį. Negalima atmesti tikimybės, kad dėl auginimo terpės sudėties mažės mikroelementų nauda vartotojų sveikatai.

Viešojoje erdvėje kultivuotos mėsos gamyba pristatoma kaip nekenksminga aplinkai, nes, palyginti su įprastine mėsos gamyba, ji išskiria mažiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų (dėl to dar ginčijamasi), sunaudoja mažiau vandens, jai nereikalingi dideli žemės plotai. Tačiau toks palyginimas yra neišsamus ir kartais šališkas. Galvijai, daugiausia atrajotojai, dėl metano, išsiskiriančio iš virškinamojo trakto, yra didelis šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinis. Taigi metano išmetimo mažinimas pristatomas kaip vienas iš svarbesnių mėsos *in vitro* gamybos pranašumų, palyginti su įprastine gyvulininkyste. Gerai žinoma, kad galvijų auginimas yra susijęs ne tik su metano (CH₄), bet ir anglies dioksido (CO₂) bei azoto oksido (N₂O) emisijomis. Kultivuotos mėsos gamybos išskiriamas CO₂ kiekis siejamas su kultivuočių ląstelių pašildymui naudojama iškastinio

kuro energija. Kai kurie tyrimai rodo, kad, auginant kultivuotą mėsą, trumpą laikotarpį visuotinis atšilimas bus mažesnis negu gyvulininkystės atveju, bet ne ilgesnėje perspektyvoje, nes CH_4 , skirtingai nei CO_2 , nesikaupia atmosferoje ilgą laiką (Lynch, Pierrehumbert, 2019). Kita vertus, klimato atšilimas dėl ilgai atmosferoje išliekančių CO_2 dujų bet kuriuo atveju vyks. Taigi kol kas kultivuotos mėsos gamybos emisijų pranašumas prieš galvijų ūkio emisijas nėra aki-vaizdus, o poveikis priklausys nuo įdiegtų energijos gamybos sistemų (Chriki, Hocquette, 2020). Laboratorijoje užauginta mėsa turi daug privalumų:

- daugelis žmonių mano, kad gyvūnų auginimas skerdimui yra neetiškas ir žiaurus. Kasmet maistui nužudoma 70 mlrd. sausumos gyvūnų. Laboratorijose užauginta mėsa galėtų tam padaryti galą;
- laboratorijose užauginta mėsa ilgainiui galėtų būti pigiau ir lengvai prieinamu maisto šaltiniu, padedančiu spręsti žemės ir maisto trūkumo problemas krizės metu;
- laboratorijose auginamoje mėsoje būtų galima kontroliuoti cholesterolio ir sočiųjų riebalų kiekį;
- mažėtų žala aplinkai, nes žemės ūkio sektorius išskiria 11,8–14,5 % visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų.

Žiniasklaidoje teigiama, kad 1 kg jautienos pagaminti reikia 15 000 litrų gėlo vandens. Iš tikrųjų 95 % šio vandens sunaudojama pašarams auginti. Dabar skaičiuojama, kad 1 kg jautienos pagaminti reikės 550–700 l vandens. Kita problema yra nuotekos, kurios išteka iš kultivuotos mėsos gamybos ir kitų chemijos įmonių. Šis vanduo gali būti užterštas cheminių produktų atliekomis.

Gyvuliai atlieka svarbų vaidmenį palaikant dirvožemio anglies kiekį ir derlingumą, nes gyvulių mėšlas yra organinių medžiagų, azoto ir fosforo šaltinis. Nors pašarams gaminti reikia 2,5 mlrd. ha žemės, net 1,3 mlrd. ha sudaro neiriamos pievos. Taigi, vertinant žemės naudojimą, reikia atsižvelgti į aplinkosaugą ir gyvulininkystės

poveikį, tai yra ne tik į šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir vandens naudojimą, bet ir anglies saugojimą, augalų ir gyvūnų biologinę įvairovę. Jei kada nors gyvulius pakeis kultūrinė mėsa, bus prarasta nemažai gyvulininkystės paslaugų. Gyvulininkystė ne tik yra žmonių mitybos baltymų šaltinis, ji duoda pajamas kaimo gyventojams. Iš gyvulių gaunama ne tik mėsa, pienas, kiaušiniai, bet ir vilna, oda.

Po dvejų metų bandymų pirmąją *in vitro* mėsainį 2013 m. pagamino Maastrichto universiteto profesorius Markas Postas. Ši naujovė kainavo daugiau nei 300 000 USD. 2021 m. toks mėsainis kainavo tik apie 9 USD, nors įprasto mėsainio kaina yra 1 USD. Kultivuota mėsa dar nepasiekė parduotuvių lentynų, todėl siekiant sumažinti jos kainą reikia atlikti daugiau tyrimų. Apklausų duomenimis, potencialus kultivuotos mėsos vartotojas yra jaunas, išsilavinęs žmogus, šiek tiek susipažinęs su *in vitro* mėsa ir norintis sumažinti skerdžiamos mėsos vartojimą. Be to, tyrimai rodo, kad įvairios kultūros ar skirtingos lytys kultivuotą mėsą vertina nevienodai (Bonny ir kt., 2017). Kai kurie mokslininkai mano, kad kultivuotos mėsos gamyba jau yra pasenusi, nes augalinės mėsos alternatyvos yra gerokai pažangesnės, su patobulintomis produktų skonio savybėmis. Iš tiesų, mėsos analogų, pagamintų iš augalinių baltymų ir mikoproteinų, gamyba ir pardavimas artimiausiu metu gali išaugti labiau nei kultivuotos mėsos (Warner, 2019). Kultivuotos mėsos, kaip alternatyvos, sėkmei turės įtakos skonio savybės ir konkurencinga kaina.

Vienas pagrindinių mėsos *in vitro* tikslų yra sustabdyti žiaurų elgesį su gyvūnais, kurie, auginami ankštose erdvėse, dažnai neišvengia ligų ar infekcijų patiria kančias, yra skerdžiami baisiomis sąlygomis. Kai kurie mokslininkai dirbtinę mėsą laiko vegetarišku produktu. Gyvūnų gerovės požiūriu ji gali būti patraukli vegetarams, veganams ir visavalgiams, kurie dėl etinių priežasčių nori sumažinti mėsos vartojimą. Vis dėlto tai nėra paprasta, nes šiuo metu galvijai

vis dar naudojami kultivuotos mėsos gamyboje, net jei iš jų paimami tik raumenų mėginiai, o to dirbtinai užaugintos mėsos šalininkai nori išvengti.

In vitro mėsa kelia daug etinių, filosofinių ir religinių klausimų. Vis dar nesutariama, ar *in vitro* mėsa yra *košerinė* (vartotina pagal žydų mitybos įstatymus), *halal* (atitinka islamo įstatymus), ir ką daryti induistams. Žydų rabinai mano, kad kultivuota mėsa gali būti laikoma košerine tik tuo atveju, jei pirminės ląstelės buvo paimtos iš paskersto košerinio gyvūno. Islamo bendruomenei esminis klausimas yra, ar išauginta mėsa atitinka islamo įstatymus, ar ne. Mėsa *in vitro* laikoma *halal* tik tuo atveju, jei kamieninė ląstelė išgaunama iš *halal* paskersto gyvūno ir procese nenaudojamas nei kraujas, nei serumas.

Mėsa *in vitro* dar tik kuriama. Atsižvelgiant į naujus atradimus ir pažangą, optimizuojantį ląstelių dalijimąsi, kokybę ir efektyvumą, produktas nuolat tobulinamas. Ar pasaulis pasiruošęs laboratorijoje užaugintai mėsai? Kol kas jaučiamas tam tikras skepticizmas. Žmonės nori žinoti, kokių išteklių reikės bioreaktoriams, naudojamiems laboratorijose užaugintai mėsai gaminti dideliu mastu. Kiek tam reikės energijos? Gyvulininkystėje naudojama tiesioginė energija – apšvietimas, šildymas ir vėsinimas, o dirbtinės mėsos gamyboje reikia energijos raumenų ląstelių kultūroms augti, biomasės medžiagai sterilizuoti ir hidrolizei. Nors dirbtinės mėsos gamybai reikia mažiau žemės nei tradicinei gyvulininkystei, jai reikia mažiausiai keturis kartus daugiau energijos nei tradicinei gyvulininkystei. Dirbtinės mėsos gamybai reikia 18–25 GJ/t tiesioginės energijos (Tuomisto, Teixeira de Mattos, 2011), o tradicinei mėsai pagaminti – 4,5 GJ/t. Nerimaujama, kad tokios mėsos gamyba gali suardyti turtingą ir įvairiapusę pasaulinę kulinarinę įvairovę, nes ar bus įmanoma auginti varlių kojeles, jaučio liežuvius, žarnas ar omarus? Šiuo metu pasaulyje veikia 32 dirbtinės mėsos gamybos įmonės, daugiausia dėmesio skiriančios dirbtinei jautienai (25 %), paukštienai (22 %), kiaulienai

(19 %), jūros gėrybėms (19 %) ir kitų rūšių egzotinei mėsai (15 %), pavyzdžiui, pelėms, kengūroms, arkliams (Choudhury ir kt., 2020).

2013 m. viena olandų bendrovė viešai reklamavo dirbtinę jautieną, kuri buvo sukurta auginant ir diferencijuojant karvės kamienines ląsteles ir iš jų formuojant raumenų juosteles. 2016 m. JAV bendrovė „Memphis Meats“ pristatė pirmą laboratorijoje užaugintą mėsos kukulį, o dar vėliau pateikė analogiškai gautą antieną ir vištieną. 2018 m. Nyderlandų bendrovė „Meatable“, naudodama kamieninių ląstelių technologiją, pagamino kiaulieną (Brodwin, 2018). 2020 m. viena vėganiško maisto įmonė pagamino ančių paštetą iš dirbtinai išaugintų anties ląstelių. 2020 m. Singapūro restoranas pirmą kartą pasaulyje pateikė produktus iš laboratorijoje užaugintos mėsos. Jos buvo dedama į bandeles, sluoksniuotą teslą, vaflius, azijietiškas vištienos salotas, vištienos kukulius ir kitus maisto gaminius. Laboratorinė mėsa auginama kaip daugybė raumenų skaidulų, ją paprasčiau perdirbti į faršą, todėl pirmieji kultivuotos mėsos produktai buvo maltiniai ir mėsos kukuliai. Nepaisant šių įdomių siūlymų, laboratorijose užaugintos mėsos gamyba didėja kol kas gana lėtai, prognozuojama, kad tokia užauginta mėsa iki 2030 m. sudarys tik 0,5 % pasaulio mėsos gamybos (Ross, 2022). Vartotojų rūpesčiai kartu su griežtais maisto reglamentais greičiausiai kurį laiką stabdys platesnį laboratorijose užaugintos mėsos naudojimą. Paprastai vartotojai nelengvai priima naujas technologijas, pavyzdžiui, genetiškai modifikuotus organizmus, ypač kai informacija apie konkrečią technologiją yra ribota. Gali prireikti daugiau nei dešimtmečio, kol laboratorijose užauginta mėsa bus plačiai parduodama parduotuvėse, tačiau ekspertai nusiteikę optimistiškai. Ar šios pažangos pakaks, kad dirbtinė mėsa būtų konkurencinga, palyginti su įprasta mėsa, galutinio atsakymo dar nėra.

III SKYRIUS

NEDUJINĖ APLINKOS TARŠA

3.1. Kas nutiktų, jei nustotume naudoti polimerines medžiagas

Polimerinės medžiagos įsiskverbė į kiekvieną mūsų egzistencijos aspektą. Ar galime gyventi be jų? Iš 8 300 mln. t gryno plastiko, pagaminto iki 2015 m. pabaigos, 6 300 mln. t, arba 76 %, buvo išmesta kaip atliekos. Didžioji dalis tokių plastiko atliekų vis dar laidojamos sąvartynuose arba teršia aplinką. Mikroplastiko randama visur: Antarkties jūros lede, giliai vandenyne gyvenančių gyvūnų organizme, sausumos gyvūnų žarnyne ir geriamajame vandenyje. Plastiko atliekos yra taip plačiai paplitusios, kad mokslininkai siūlo jų taršos lygį naudoti kaip antropoceno (geologinė epocha, rodanti vertybinio žmogaus santykio su aplinka pokytį) geologinį rodiklį. O jeigu galėtume mostelėti burtų lazdele ir iš gyvenimo pašalinti visas polimerines medžiagas? Tai būtų viliojanti perspektyva planetos ekosistemai, nes greitai sužinotume, kiek plastikas yra įsiskverbęs į kiekvieną mūsų egzistavimo sritį. Tai ar įmanomas gyvenimas be plastiko?

Žmonės tūkstančius metų naudojo į plastiką panašias medžiagas, tokias kaip šelakas – gamtinė derva iš vabzdžių išskyrų. Tačiau dabartinis plastikas yra XX a. išradimas. Bakelitas, vienas pirmųjų sintetinių plastikų, pradėtas gaminti 1909 metais. Platesnė sintetinių plastikų (skirtų ne kariuomenei) gamyba iš tikrųjų prasidėjo tik po Antrojo pasaulinio karo – nuo 2 mln. t 1950 m. ji išaugo iki 380 mln. t 2015 metais.

Jei plastiko gamyba ir toliau didės tokiu tempu, 2050 m. plastikui bus sunaudota 20 % gaunamos naftos. Šiandien didžiausia gryno plastiko naudotoja yra pakuočių pramonė, tačiau plastiko galima rasti pastatuose, transporte, balduose, buitinėje technikoje, kilimuose, drabužiuose, telefonuose, televizoriuose ir daugybėje kitų kasdienių daiktų ar kitoje gyvybiškai svarbioje infrastruktūroje. Visa tai reiškia, kad pasaulis be plastiko jau yra nerealus. Ligoninėse plastiko praradimas būtų niokojantis, nes jis naudojamas pirštinėms, vamzdeliams, švirkštams, kraujo maišeliams, mėgintuvėliams, vienkartiniams chirurginiams instrumentams ir kt. Šiuo metu daugelis polimerinių daiktų ar priemonių medicinoje yra gyvybiškai būtini. Kai kurie kasdieniai plastikiniai daiktai (prezervatyvai, diafragmos, chirurginės kaukės ir respiratoriai) taip pat yra gyvybiškai svarbūs siekiant apsaugoti sveikatą.

Maisto sektorius taip pat greitai pajustų plastiko stygių. Pakuotė apsaugo maistą nuo pažeidimų gabenant į prekybos centrus ir sandėliuojant. Prekybos centrai prekiauja supakuota produkcija, todėl juos reikėtų pertvarkyti, o greitai gendantys produktai, ilgai keliaujantys iš ūkių iki prekybos centrų, ko gero, liktų laukuose. Tyrimai rodo, kad plastikinės pakuotės šaldytuve laikomų brokolių galiojimo laiką pailgina savaite, o bananų (kambario temperatūroje) – 1,8 dienos, nors obuoliams, agurkams ir bulvėms plastikas neturėjo jokios įtakos. Šiandien parduotuvėse vis daugiau vaisių (obuoliai, vynuogės) ir daržovių (kopūstai, agurkai) parduodama didelėse polimerinėse pakuotėse, todėl jie išsilaiko ilgiau. Nefasuoti vaisiai ir daržovės verstų dažniau apsipirkinėti, tuomet galbūt šiek tiek mažiau būtų švaistomas maistas – būtų perkama tik tai, ko tuo metu reikia. Tektų atsakyti įvairių konservuotų produktų skardinėse, nes jų vidinis paviršius turi plastikinę apsaugančią dangą.

Plastikinių pakuočių atsisakymas turėtų neigiamą poveikį aplinkai ir kitais aspektais. Vieno litro stiklinis butelis gali sverti net 800 g, palyginti su 40 g sveriančiu plastikiniu. Sunkesnius butelius ir stiklainius gabenant dideliu atstumu, anglies dvideginio emisija išauga. Net jei

transporto priemonėse, kuriomis jie vežami, nebus plastiko, jos bus sunkesnės, o tai reiškia didesnę transporto teršalų emisiją.

Gyvenant be plastiko reikėtų keisti ir aprangą. 2018 m. 62 % visų tekstilės pluoštų buvo sintetiniai, pagaminti iš naftos chemijos produktų. Nors medvilnė ir kiti natūralūs pluoštai, pavyzdžiui, kanapės, būtų tinkama žaliava kai kuriems drabužiams, gamybos apimtys didinimas, atitinkantis dabartinę paklausą, kainuotų labai daug. Medvilnė visame pasaulyje užima 2,5 % ariamos žemės, jai tenka 16 % insekticidų, o tai kelia pavojų ūkininkų sveikatai ir teršia vandenį. Greitai pritrūktume ir avalynės. Kol sintetinis plastikas nebuvo plačiai paplitęs, batai dažnai buvo gaminami iš odos. 2020 m. buvo pagaminta 20,5 mlrd. porų avalynės, todėl kiekvienam planetos gyventojui pasiūti odinius batus tiesiog neįmanoma.

Naftą ir dujas paverčiant plastiką, išsiskiria toksiškos dujos, kurios teršia orą ir veikia čia dirbančių žmonių sveikatą. Be to, plastiko gamybos metu naudojamos cheminės medžiagos gali sutrikdyti dirbančiųjų endokrininę sistemą, kuri gamina hormonus, reguliuojančius augimą ir vystymąsi. Labiausiai endokrininę sistemą ardančios cheminės medžiagos yra ftalatai, naudojami plastiko minkštinimui (randami daugelyje kosmetikos gaminių), ir kietinantis plastiką bisfenolis A. Iš pastarojo dažniausiai daromos vidinės skardinių dangos. Ftalatai, naudojami maisto pakuotėse, patekę į maistą ir žmonių organizmą, gali sumažinti testosterono gamybą, spermatozoidų skaičių, sukelti vyrų vaisingumo, moterų reprodukcinės problemas. Jų poveikis palieka daugybę neigiamų padarinių ne tik reprodukcinėje, bet ir imuninėje, neurologinėje, metabolinėje, širdies ir kraujagyslių sistemose.

Reikia atkreipti dėmesį į vandenynuose esantį plastiką. Šiandien ten jo yra labai daug. 1997 m. laivas, plaukdamas iš Havajų į Kaliforniją, pastebėjo, kad vandenyne nuolat plūduriuoja plastikas, ir aptiko didįjį Ramiojo vandenyno šiukšlių sąnašyną. Polimerinių šiukšlių mastas vandenynuose yra labai didelis. 2018 m. tyrimo duomenimis,

mažiausiai 79 000 t plastiko plūduriuoja 1,6 mln. km² plote, kuris yra tris kartus didesnis už Prancūziją. Nors daugiau nei 75 % plūduriuojančių šiukšlių yra didesnės nei 5 cm, tačiau mikroplastikas sudaro net 94 % 1,8 trilijono plūduriuojančių šiukšlių. Plastiką vandenyne gali sukelti įvairių pavojų: vėžliai ar kitos būtybės gali į jį įsipainioti, o paukščiai ar žuvis jį praryti. Vieno tyrimo metu mokslininkai nustatė 484 bestuburius ant maždaug 100 sužvejotų plastiko gabalų. Kai kurias jų rūšis vandenyno srovės išnešė iš natūralių buveinių, o gyvenant ant lopinio plastiko, atsirado keistų mutacijų. Šiukšlių sankaupos kaupiasi atviroje jūroje – vandenyno dalyse, esančiose už teritorinių vandenų, todėl mažai vyriausybių prisiima už jas atsakomybę. Pavyzdžiui, Fidžio, Kuko, Vanuatu salų krantus pasiekia daug plastiko, nors šios šalys jo negamina. Ar galima kada nors jo atsikratyti? Tam tikros medžiagos, kurios yra jūros dugne, niekur nedings, jos jau yra ekosistemos dalis, tačiau su plūduriuojančiu plastiką kovoti dar galima. Didesnė dalis vandenyne plūduriuojančio plastiko galiausiai bus išplauta arba palaidota palei krantą. Šiuo metu dalis pakrantės plastiko šalinama naudojant šiukšlių gaudykles ir pasenusias paplūdimio valymo priemones. Daugelis šiukšlių, kurias praryja gyvūnai, yra ne jūros gelmėse, o pakrantėse (3.1 pav.). Didesnių plastiko atliekų gabalų surinkimas neleistų jiems suskilti į mikroplastiką. Dauguma atokiau nuo pakrančių rasto mikroplastiko yra 1990 m. ar ankstesnė tarša, o tai rodo, kad dideli gabalai yra dešimtmečiais. Net jei nuo rytojaus tarša mikroplastiku vandenynuose nebedidės, per ateinančius dešimtmečius ji vis tiek augs. Vis dėlto pašalinus jau esamas plūduriuojančias šiukšles, šis antplūdis sumažėtų. Tarptautinės organizacijos siekia iki 2040 m. iš vandens surinkti 90 % plūduriuojančio plastiko, tačiau kai kurie ekspertai teigia, kad laivai, gabenantys į uostus iš vandenyno surinktas šiukšles, paskleis į aplinką kitą taršą – daug anglies dioksido.

Naujų plastiko rūšių gamyba iš augalų gali būti viliojanti. Jau naudojamas biologinis plastikas, turintis daug tų pačių savybių kaip ir iš naftos



3.1 pav. Nugaišę jūros paukščiai, kurių skrandžiuose rasta kasdienių plastikinių daiktų (butelių kamštelių, dantų šepetėlių ir kt.)

produktų pagamintasis. Pavyzdžiui, kukurūzų krakmolo pagrindu pagaminti polipieno rūgšties (PLA) šiaudeliai beveik nesiskiria nuo iškastinio kuro plastikinių analogų. Biologinis plastikas gali būti pagamintas iš valgomųjų augalų dalių (cukraus, kukurūzų) arba iš netinkamos vartoti augalinės medžiagos, pavyzdžiui, cukranendrių išspaudų. Kai kurios biologinio plastiko rūšys yra biologiškai skaidžios arba kompostuojamos, nors daugelį jų reikia kruopščiai apdoroti pramoniniuose kompostavimo įrenginiuose, kad neišliktų ilgai aplinkoje. Net ir sukūrus tinkamą kompostavimo infrastruktūrą, biologinis plastikas gali būti kenksmingas aplinkai, o jo poveikis iš pradžių bus net didesnis.

Žemės, naudojamos biologinio plastiko žaliavai auginti, plėtra paveiktų ekosistemas ir biologinę įvairovę. Trąšos ir pesticidai

išskiria anglies dioksidą ir gali užteršti vietines upes ir ežerus. Tyrimai rodo, kad pakeitus iškastinio kuro plastiką biologinėmis alternatyvomis, kasmet gali prireikti 300–1 650 mlrd. m³ vandens, o tai sudaro 3–18 % pasaulio vandens sąnaudų. Maistinių augalų naudojimas plastiko gamybai kelia pavojų maisto saugumui. Kad būtų pasiektas biologinis žalios naftos ekvivalentas, žaliavas reikia labiau rafinuoti, tam sunaudojama daugiau energijos ir išmetama daugiau anglies dvideginio. Palyginti biologinio ir įprastinio plastiko poveikį aplinkai yra sudėtinga, nes iškastinio kuro pagrindu pagamintas plastikas turi savo pranašumų. Plastiko gamyba iš augalų nebūtinai išspręstų dėl medžiagų kylančias sveikatos problemas, nes tikėtina, kad panašūs priedai būtų naudojami tiek įprastame plastike, tiek ir biologinėse alternatyvose. Jei toks biologinis plastikas sumaišomas su maisto atliekomis ir kompostuojamas, visa, kas yra plastike, patenka į maisto sistemą. Akivaizdu, kad vienos medžiagos keitimas kita problemos neišspręs. Jau dabar stengiamasi išsiaiškinti, kuris plastikas yra nereikalingas ir vengtinas. Apsvarstę, ar daiktas tenkina esminę poreikį (maisto, pastogės ar vaistų), ar medžiagos kiekio sumažinimas arba plastiko pakeitimas kažkuo kitu turės įtakos jo naudojimui, suprasime, kokį plastiką galime naudoti ir be kurio neišsiversime.

Labai svarbu apgalvoti naujų medžiagų gyvavimo ciklą, įskaitant tai, ką su jomis daryti, kai jos nebeatlieka savo funkcijos, ir iš naujo įvertinti daiktų išmetimo įprotį, nes per daug greitai perkame pigius ir vienkartinius daiktus. Būtina keisti ne tik tai, kaip naudojame daiktus (nuo drabužių ir maisto iki skalbimo mašinų ir telefonų), bet ir tai, kaip juos gaminame. Turkijoje sukurtas buitinis šaldytuvas, pagamintas iš augalinės kilmės plastiko, kurio sudėtyje yra mažiau anglies. Išorinis šaldytuvo korpusas iš bioplastiko per visą eksploatavimo laiką išskiria tik penktadalį anglies, palyginti su įprastiniais analogais. Korpuso viduje yra biologinio poliuretano (šilumą izoliuojančios medžiagos), o

mažesni šaldytuvo komponentai (lentynėlės, laikikliai) pagaminti iš polimerų, gautų perdirbus maisto pakuočių atliekas.

Pasaulyje be plastiko mums gali tekti keisti požiūrį į savo gyvenimo būdą. Gyventi aplinkoje, kurioje pakuotės yra naudojamos pakartotinai, o ne išmetamos, būtų kur kas geriau. Sužinotume, kad ne visi gyvenimo būdo pokyčiai, kuriuos nulėmė plastikas, buvo teigiami. Be patogių maistui skirtų plastikinių pakuočių, plastiko pilnų įvairių prietaisų ir daugelio kitų daiktų mūsų gyvenimo ritmas pakistų ar net sulėtėtų. Tačiau ar tai būtų blogiausia, kas gali atsitikti?

Kas aplinkai geriau – stiklas ar plastikas

Šimtmečius stiklo indai naudojami maistui, gėrimams, chemikalams ir kosmetikai laikyti. Gal reikia ieškoti tvaresnės alternatyvos ir ar yra tokia alternatyva? Manoma, kad seniausias surastas vyno butelis yra datuojamas 325–350 m. e. m. Stiklo, kaip priemonės kokiam nors produktui laikyti, istorija išryškina šios medžiagos atsparumą ir funkcionalumą. Šiandien stiklas naudojamas ir maistui konservuoti, ir interneto šviesolaidžiams, ir mikroschemoms. Jungtinių Tautų duomenimis, dabar smėlis sunaudojamas greičiau, nei pavyksta papildyti jo atsargas. Stiklas yra toks svarbus žmogui, kad Jungtinės Tautos, siekdamos paminėti stiklo indėlių į kultūros ir mokslo plėtrą, 2022-uosius paskelbė Tarptautiniais stiklo metais.

Stiklą galima perdirbti nedarant įtakos jo kokybei, grynumui ar ilgaamžiškumui. Perdirbtą stiklą galima susmulkinti iki duželių, jas išlydyti ir vėl pagaminti stiklą. Europoje vidutinis stiklo perdirbimo rodiklis siekia 76 %, plastikinių pakuočių – 41 %, o medinių – 31 % (Lee, 2023). Natūralioje aplinkoje paliktas stiklas mažiau teršia aplinką negu plastikas. Skirtingai nuo plastiko, kuris skyla į mikroplastiką, galintį prasiskverbti į dirvožemį ir vandenį, stiklas yra netoksiškas. Stiklas

daugiausia gaminamas iš silicio dioksido, kuris yra natūrali medžiaga ir sudaro 59 % Žemės plutos. Stiklo gamybai reikalingi didžiuliai greitai mažėjančio gamtos ištekliaus – smėlio – kiekiai. Smėlis yra antras dažniausiai naudojamas ištekliai pasaulyje po vandens – žmonės kasmet sunaudoja apie 50 mlrd. t smėlio ir žvyro. Stiklas gali būti nuolat perdirbamas, todėl dažnai laikomas tvaresne plastiko alternatyva. Visgi stikliniai buteliai ir juose laikomos medžiagos turi didesnę poveikį aplinkai negu plastikiniai indai ar pakuotės. Silicio smėlio gavyba gali padaryti didelę žalą aplinkai – nuo pablogėjusios žemės būklės iki nykstančios biologinės įvairovės. Kai kurie tyrimai rodo, kad ilgalaikis silicio dioksido dulkių poveikis gali sukelti ūminę plaučių ligą – silikozę. Silikozė pirmiausia pasireškia kaip nuolatinis kosulys ar dusulys ir gali išsivystyti į kvėpavimo nepakankamumą.

Kad stiklas išsilydytų, reikia aukštesnės temperatūros negu plastikui ir aliuminiui. Stiklo gamybai naudojamos žaliavos pirminio lydymo metu taip pat išsiskiria šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Stiklo taros ir plokščio stiklo gamyba per metus išmeta daugiau nei 60 megatonų CO_2 . Tyrimai rodo, kad plastikiniai buteliai mažiau kenkia aplinkai nei stikliniai, nes plastiko lydymosi temperatūra yra žemesnė negu stiklo, todėl gamybos procesui reikia mažiau energijos.

Stiklo žaliavos lydomos 1500°C temperatūroje. Dažnai į žaliavų mišinį dedama perdirbto stiklo šukių. Padidinus stiklo žaliavų mišinyje stiklo duženų kiekį 10 %, energijos sąnaudos gali sumažėti 2–3 %, nes duženoms išlydyti reikalinga žemesnė temperatūra. Tai šiek tiek sumažina gamybos metu išmetamą CO_2 kiekį, tačiau perlydymo procesas vis tiek sunaudoja daugiausiai energijos (apie 75 %). Nors stiklinę tarą galima pakartotinai naudoti vidutiniškai 12–20 kartų, stiklas dažnai traktuojamas kaip vienkartinis gaminyš. Sąvartynuose išmestas stiklas gali irti iki milijono metų. Stiklo perdirbimo rodikliai pasaulyje labai skiriasi. ES ir JK vidutinis perdirbimo lygis yra 74 % ir 76 %, o JAV – 31,3 % (2018 m.). Dažnai iš

mišraus stiklo duženų gaminama ne nauja tara, o šilumos izoliacijai skirti stiklo pluošto gaminiai.

Stiklo duženos yra aukščiausios kokybės, kai yra atskiriamos nuo kitų perdirbamų medžiagų, nes stiklo spalva turi įtakos stiklo grynumui. Žaliame stikle gali būti 95 % perdirbto stiklo, o baltame arba bespalviame stikle – tik iki 60 % perdirbto stiklo. Kaip patvarus ir netoksiškas stiklas idealiai tinka maisto produktams ir medžiagoms, kurias reikia konservuoti. Tačiau prielaida, kad stiklas yra tvarus vien todėl, kad jį galima perdirbti daug kartų, yra klaidinga. Atsižvelgiant į visą jo gyvavimo ciklą, stiklo gamyba gali būti tokia pat žalinga aplinkai kaip ir plastikas, nes stiklas yra ilgaamžė medžiaga ir jos paskirtis neturi būti vienkartinė.

3.2. Tekstilės gamybos ir atliekų tarša

Kodėl tekstilę taip sunku perdirbti

Mūsų meilė naujiems drabužiams ir naujausios mados troškimas planetai kainuoja. Kasmet pasaulyje pagaminama daugiau nei 100 mlrd. drabužių, o 65 % jų per 12 mėnesių patenka į sąvartyną. Vos 1 % perdirbtų drabužių vėl paverčiami naujais gaminiais. Galbūt kai ką nustebins žinia, kad tekstilės pramonė išmeta apie 8–10 % metinio pasaulinio CO₂ kiekio, o tai yra daugiau nei visa jūrų laivyba ir tarptautiniai skrydžiai. Prognozuojama, kad tekstilės gamybos išskiriama žalingų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija iki 2030 m. padidės daugiau nei 50 %. Šis sektorius (įskaitant medvilnės auginimą) taip pat kasmet sunaudoja apie 93 mlrd. m³ vandens, o tai sudaro 4 % išgautamo viso gėlo vandens. Vieneriems džinsams pagaminti reikia net 3 781 litro vandens. Kiekvieną sekundę sudeginama arba išverčiama į sąvartyną pilna šiukšliavežė tekstilės, kurios dažymas yra antra pagal

dydį vandenį teršianti veikla pasaulyje. Mada nėra tvari, todėl neturėtume eikvoti Žemės gamtinių išteklių, pumpuodami naftą poliesteriui gaminti, kirsdami medžius dėl viskozės gamybos ar auginamos medvilnės, o vėliau, panaudoję šiuos pluoštus tik kartą, išmesti į vandenynus, sąvartynus ar sudeginti krosnyse. Tai reiškia, kad norint apriboti tekstilės švaistymą ir taršą, reikia kuo ilgiau dėvėti drabužius, kurti tekstilės surinkimo schemas ir naujas perdirbimo technologijas.

Viso to pagrindinė kaltininkė – greitoji moda. Šiuo terminu apibūdinama masinė drabužių gamyba mažomis sąnaudomis, siekiant patenkinti naujausias mados tendencijas. Mados tendencijos jau nebėra sezoninės – geidžiami stiliai gali pasirodyti kas savaitę mažmeninėje prekyboje ar internetinėse parduotuvėse. Pastaraisiais dešimtmečiais tai paskatino pernelyg gausų drabužių naudojimą ir suvokimą, kad drabužiai yra vienkartiniai, o ne ilgaamžiai gaminiai.

Greitąją madą galiausiai skatiname mes, vartotojai, ir ji auga, nes žmonės dažniau perka naujus drabužius. 2000 m. buvo pagaminta 50 mlrd. naujų drabužių, o po 20 metų šis skaičius padvigubėjo iki 100 mlrd. Šiandien statistinis žmogus perka 60 % daugiau drabužių nei amžių sandūroje, tačiau dėvi juos perpus trumpiau. Pas dažną žmogų spintose ar stalčiuose yra daugybė nebemadingų daiktų ar net nenešiotų drabužių. Tikriausiai jie atsidurs šiukšliadėžėse ar atliekų konteineriuose. Pasaulyje kasmet susidaro 92 mln. t tekstilės atliekų. Vien JAV apie 13 mln. t tekstilės gaminių išmetama į sąvartynus arba sudeginama. Prognozuojama, kad iki 2030 m. per metus iš viso bus išmetama daugiau negu 134 mln. t tekstilės (Beall, 2020).

Dabartinėje drabužių gamyboje naudojami dideli kiekiai neat-sinaujinančių išteklių, įskaitant ir naftą. Ši gamyba į atmosferą kasmet išskiria 1,2 mlrd. t šiltnamio efektą sukeliančių dujų, be to, yra atsakinga už 20 % pasaulio nuotekų. Pasaulyje kasmet nuperkama milijonai tonų drabužių. Manoma, kad iki 2030 m. šis skaičius iš-augs iki 93 mln. t, o iki 2050 m. – iki 160 mln. t. Tik 12 % drabužiams

sunaudotų medžiagų yra perdirbama. Palyginti su popierine, stikline ir plastikine (PET) tara, kurios perdirbimo lygis yra atitinkamai 66 %, 27 % ir 29 %, akivaizdu, kad tekstilės perdirbimas atsilieka. Iš tiesų, didžioji dalis perdirbto poliesterio, kurį dabar naudoja drabužių gamintojai, yra pagaminta iš plastikinių butelių, o ne iš senų drabužių.

Nors daugelį drabužių, tinkamai juos prižiūrint, galima dėvėti daug metų, besikeičianti mada jų laiką dirbtinai sutrumpina. Šiuolaikiniai drabužiai nešiojami 2–10 metų, apatiniai drabužiai ir marškinėliai – vos nuo vienerių iki dvejų metų, o kostiumai ir palantai – maždaug nuo ketverių iki šešerių metų. Ar drabužių perdirbimas padėtų sumažinti priklausomybės nuo mados žalą aplinkai?

Pluoštą perdirbančios technologijos egzistuoja, tačiau jos naudojamos tik nedideliu mastu. Šiuos metodus galima suskirstyti į mechaninį ir cheminį perdirbimą. Mišrių medžiagų audinius geriausia perdirbti mechaniškai: audiniai susmulkinami ir transformuojami į trumpesnio ilgio pluoštą. Tokie audiniai yra prastesnės kokybės ir nelabai tvirti, todėl nenaudojami drabužiams. Iš jų gaminamos sudėtinės pluoštinės medžiagos (šilumos, triukšmo izoliacija, kilimai). Cheminis perdirbimas taikomas tiems audiniams, kuriuose yra daug vienos rūšies pluošto, pavyzdžiui, poliesterio ar nailono. Šiam perdirbimui reikalingos papildomos cheminės medžiagos, todėl gaunami verpalai ar audinys yra brangūs.

Drabužių audiniai yra sudėtingas pluoštų, atspalvių ir aksesuarų derinys. Antai 100 % medvilnės marškinėliai turi daug kitų komponentų, tokių kaip etiketės ir siuvimo siūlai, kurie dažniausiai gaminami iš kitos medžiagos, pavyzdžiui, poliesterio. Džinsai gaminami iš medvilnės, kurioje yra elastano (poliuretano pluošto rūšis), dažomi įvairiais dažais, turi užtrauktukų, sagų ir kitų metalinių elementų. Tekstilės rūšiavimas į skirtingus pluoštus ir medžiagas yra lėtas procesas, tam reikia daug kvalifikuotos darbo jėgos. Šiuo metu tik nedaug drabužių perdirbama į naujus gaminius. Senus vilnonius džemperius galima paversti kilimais,

kašmyrą panaudoti kostiumams, tačiau perdirbtų audinių pluoštas yra trumpesnis, todėl nauji gaminiai yra prastesnės kokybės.

Baltijos jūros pakrantėje, Sundsvolio mieste (Švedija), kuriame veikia celiuliozės ir popieriaus pramonė, atidaryta pirmoji pasaulyje pramoninė celiuliozės įmonė, perdirbanti tekstilės atliekas į naują tekstilę. Šis tekstilės perdirbimo fabrikas yra svarbus žingsnis sprendžiant milžinišką atliekų problemą. Nors mechaninis tekstilės perdirbimas, apimantis drabužių smulkinimą ir suskaidymą į pluoštą, egzistuoja šimtmečius, ši technologija pradėta kurti tik prieš 10 metų. Naująją technologiją planuojama iki 2030 m. kasmet perdirbti daugiau nei 1,4 mlrd. marškinėlių.

Nors dėvėtų drabužių parduotuvės ir kitos schemos padeda išlaikyti apyvartoje dar tinkamus drabužius, šiuo metu galimybės perdirbti nebereikalingus drabužius yra ribotos. Dažniausiai laikomasi trijų kryptų sistemos: drabužiai perparduodami, naudojami pakartotinai (paverčiant kitais produktais, pvz., šluostėmis) arba perdirbami (į kiliminės dangos paklotus, izoliacinę medžiagą, čiužinių užpildą).

Dėvėtų drabužių perdirbimą labai apsunkina jų sudėtis. Dauguma šiuolaikinių drabužių pagaminti iš tekstilės mišinio, kuriame yra 54 % poliesterio; antra sudėtinė dalis yra medvilnė, ji sudaro maždaug 22 %. Poliesterio paplitimo priežastis yra mažą sintetinio pluošto kainą – jis perpus pigesnis nei medvilnė, todėl populiarus greitosios mados prekėse. Dėl mišrios tekstilės sudėties kol kas sudėtinga perdirbti vieną pluoštą nepažeidžiant kito.

Iš 100 % tekstilės atliekų (dėvėti marškinėliai, džinsai) gaminama biologiškai skaidi celiuliozės masė. Pirmiausia tekstilė susmulkinama, pašalinamos sagos, užtrauktukai ir dažai, tuomet ji apdorojama mechaniniu ir cheminiu būdu. Po šio apdorojimo atskiriami susivėlę medvilnės pluoštai ir lieka tik gryna celiuliozė.

Išdžiovinti lakštai atrodo kaip storas popierius. Celiuliozė ištirpinama ir vėl gali būti naudojama audinių gamybai.

Dirbtinis celiuliozės pluoštas viskozė yra populiari dėl savo lengvos, šilką primenančios tekstūros. Ji sudaro apie 6 % visos pluošto gamybos, kasmet iš jos pagaminama apie 7,2 mln. t celiuliozinių audinių. Didžioji dalis celiuliozės gaunama iš medienos plaušo, todėl kasmet iškertama daugiau nei 200 mln. medžių.

Visgi naujoji technologija gali perdirbti tik tuos drabužius, kurie pagaminti iš medvilnės ir kurių sudėtyje yra tik iki 5 % ne medvilnės. Viena iš priežasčių yra ta, kad sunku atskirti poliesterį. Didžiausias jo privalumas yra maža kaina, tačiau aplinkosaugos aspektu jis yra labai brangus. Greitosios mados priklausomybė nuo pigių sintetinių pluoštų labai paveikė vartotojų požiūrį į drabužių vertę. Kol nebuvo pramoninės tekstilės gamybos, žmonės rūpinosi drabužiais, juos persiūdavo ar taisydavo, nes drabužiai buvo investicija. Šiandien drabužiai yra tokie pigūs, kad nebeliko suvokimo apie jų kilmę. Juk esant poreikiui, galima užsiauginti šiek tiek daugiau medvilnės ar išsiurbti daugiau naftos. Tai daryti atrodo yra daug lengviau, negu kurti naują kokybišką gaminį iš kažkokių atliekų. Perprodukcija ir vartojimas yra pagrindinės mados pramonės atliekų problemos priežastys. Nebrangūs, žemos kokybės drabužiai reiškia, kad vartotojams dažnai yra pigiau nusipirkti naują aprangą, negu ją taisyti. Viena Didžiosios Britanijos bendrovė stato demonstracinę gamyklą, skirtą sunkiai perdirbamiems mišriems audiniams, pvz., drabužiams iš poliesterio ir medvilnės. Kaip žaliava naudojama tekstilė, pagaminta iš gryno poliesterio arba polimedvilnės su iki 5 % kitų medžiagų priemaiša (išskyrus metalinius priedus). Iš žaliavos gaunamų polietilentereftalato (PET) granulių cheminė sudėtis yra tokia pati kaip ir gryno PET. Šį polimerą įmanoma visiškai perdirbti pakartotiniam naudojimui, nes jo polimerinės grandinės perdirbimo metu nesuyra. Kai medvilnė atskiriama nuo polimedvilnės mišinio, celiuliozė išgryninama ir

vėl gaminama viskozė. Šioje technologijoje naudojamas cheminis perdirbimas leidžia kokybiškiau ir lengviau perdirbti poliesterio ir polimedvilnės mišinius. Technologijos kūrėjai įvertino būtinybę susidoroti su mišriais audiniais, nes tarp naudotų tekstilės gaminių gryno poliesterio nėra daug. Didžioji dalis tekstilei naudojamo perdirbto poliesterio gaunama iš plastikinių butelių. Plastikinių butelių pavertimas drabužiais turėtų būti laikomas ženklu, kad poliesteris nepateks į sąvartyną ar deginimo krosnis. Šiuo atveju jis tik išimamas iš uždaro ciklo sistemos, kurioje jis būtų perdirbamas atgal į butelius. Deja, iš jo pagaminti drabužiai į aplinką paskleidžia mikroplastiką, kurio pakartotinai perdirbti nebegalima.

Iki 2040 m. planuojama į tiekimo grandines (jose vėl būtų gaminami nauji tekstilės gaminiai iš perdirbtos viskozės ir poliesterio) grąžinti 2 mln. t poliesterio ir celiuliozės. Taip pat perdirbti batus, megztinius, viršutinius drabužius ir džinsinius audinius, nes šioms medžiagoms jau sukurtos perdirbimo technologijos. Norima, kad iki 2030 m. bent pusė dirbtinės celiuliozės tekstilės būtų pagaminta iš žiedinių žaliavų. Visa ES rinkoje esanti tekstilė turėtų būti ilgaamžė, tinkama perdirbti ir pagaminta iš perdirbto pluošto.

Honkongo mokslininkų grupė audinių, pagamintų iš medvilnės ir poliesterio mišinių, perdirbimui panaudojo grybus. *Aspergillus niger* grybai gamina fermentą, galintį suskaidyti medvilnę į gliukozę, kurią vėliau galima paversti sirupu. Iš likusio gryno poliesterio pluošto galima pagaminti naujus drabužius. Austrijos mokslininkų sukurtame metode naudojami fermentai senus vilnonius drabužius paverčia medžiaga, kuri gali būti naudojama kaip derva ar klijai. Drabužių pramonėje būtini esminiai pokyčiai, nes ateityje audiniai, pluoštai ir drabužiai turės būti lengviau perdirbami.

Dumbliai jau plačiai naudojami grožio pramonėje, tam tikruose maisto produktuose, iš jų gaminamas biokuras. Galbūt juos galima naudoti ir tekstilės gaminiams. Vienas iš dumblių privalumų yra tas,

kad jie auginami uždarose sistemoje be gėlo vandens. Dumbliams augti reikia tik vandens ir saulės šviesos. Dumblių natūralių dažiklių fermentai suriša pigmentą su sintetiniu ar natūraliu audiniu. Mokslininkai sugebėjo pagaminti pluoštus, galinčius virsti verpalais. Iš dumblių išskirtus baltymus galima panaudoti bioaliejiui gaminti, o pastarąjį paversti bioplastiko pluoštu. Šiuo metu dauguma tekstilės gaminių yra dažomi sintetiniais dažais, kurie išgaunami iš naftos produktų. Dažant medvilnę, nailoną ir vilną gali prireikti iki 100 °C temperatūros, o dar aukštesnės – dažant poliesterio ir kitus sintetinius pluoštus. Procesui reikia aukšto slėgio, ilgo apdorojimo laiko ir papildomų cheminių medžiagų, tokių kaip rūgštys ir šarmai, kurių dideli kiekiai kenkia aplinkai. Mokslininkai sukūrė metodus, kai vietoj papildomų cheminių medžiagų naudojami fermentai, todėl dažymas gali būti atliekamas net 50 °C temperatūroje, esant atmosferos slėgiui ir neutralioms pH sąlygoms. Naudojant perdirbtas, o ne pirmines medžiagas, galima drastiškai sumažinti neatsinaujinančių išteklių sąnaudas ir neigiamą pramonės poveikį, pvz., CO₂ emisiją, vandens ir cheminių medžiagų naudojimą.

Taigi, nors perdirbimas ir tvaresni audiniai bus svarbi būsimų sprendimų dalis, norėdami sumažinti mados pramonės poveikį planetai, vartotojai turės keisti savo įpročius. Troškimas įsigyti įperkamu masinės gamybos drabužių skatina mados pramonę vis labiau globalizuotis, o tai didina CO₂ emisiją, nes drabužiai gabenami geležinkeliu, keliais, jūra ir oru. Štai keli praktiški būdai, kaip paversti savo namų spintą „žaliaja“:

- Nauja ir tvari tekstilė. Pagrindinis naujos kartos tekstilės tikslas – drabužių patvarumas ir ilgaamžiškumas, jų medžiagos turi būti lengviau perdirbamos į kitus gaminius.

- Būtinybė keisti drabužių pirkimo įpročius, dažniau pirkti naudotus drabužius. Prognozuojama, kad bendra dėvėtų drabužių rinkos vertė išaugs daugiau nei dvigubai, palyginti su dabartine, ir iki 2025 m. pasieks 77 mlrd. dolerių.

– Nuoma arba skolinimasis. Kadangi daugelis drabužių dėvimi tik ypatingomis progomis, todėl ekologiška ir ekonomiška juos nuomotis arba skolintis iš draugų ir šeimos narių.

– Perdirbimas. Užuot suskaidžius seną drabužį į sudedamąsias medžiagas, kurias vėliau būtų galima panaudoti pakartotinai, perdirbimo metu (pvz., persiuvant) jis paverčiamas nauju, kurio vertė ar kokybė yra didesnė negu originalo.

– Remontas ir pakartotinis naudojimas. Daugelis perka arba gauna dovanų drabužius, kurių niekada nedėvi. Kai kuriose šalyse apie 40 % įsigytų drabužių niekada nenaudojami. Tikslinga taisyti sugadintus drabužius arba juos dėvėti ilgesnį laiką. Tyrimai rodo, kad dėvint drabužį devynis mėnesius ilgiau, jo poveikis aplinkai gali sumažėti iki 30 %. Mados tendencijos dažnai yra ciklinės, todėl drabužių gamyba, dėvėjimas, taisymas ir pakartotinis naudojimas taip pat turi tapti žiediniu.

Ar regeneracinė vilna gali padaryti madą tvaresnę

Atkuriamoji žemdirbystė, palaikanti natūralias aplinkos funkcijas, yra ūkininkavimo metodas, orientuotas į dirvožemio biologijos gerinimą ir derlingumo ugdymą kaip visos ūkio ekosistemos pagrindą. Manoma, kad vilna sudaro tik 1 % pasaulinės pluošto rinkos. Mokslininkai seniai ieško audinių, pasižyminčių geresniu tvarumu, kuris mažintų ne tik CO₂ emisiją, bet ir poveikį biologinei įvairovei, taršai ir perdirbimui. Regeneracinė vilna – tai naujas „žaliosios“ mados industrijos ženklas, bet ar vilna gali būti visiškai tvari?

Regeneracinė vilna gali reikšti du skirtingus dalykus. Pirmoji reikšmė yra plačiau žinoma – tai vilna, pagaminta iš perdirbtų drabužių; iš tekstilės atliekų pagamintas audinys pasižymi tomis pačiomis savybėmis kaip ir naujas vilnonis audinys. Antrasis apibrėžimas

yra žinomas mažiau, bet taip pat yra svarbus. Šiuo atveju regeneracinė vilna yra gaminama ūkiuose, kuriuose vykdoma atkuriamoji žemėtvarka.

Geros dirvožemio būklės raktas yra avys. Gyvūnų įtraukimas į ūkininkavimo sistemas gali sumažinti trąšų poreikį, o ganymo metodai užtikrina, kad žolė būtų reguliariai nupjaunama. Tai skatina jos ataugimą, anglies sukaupimą šaknyse, biologinę įvairovę dirvožemyje ir ant jo.

Analizė, atlikta atsižvelgiant į ūkininkavimą (įskaitant metaną, pagrindinį išmetamų teršalų šaltinį auginant avis), vilnos gamybą, pakavimą ir transportavimą, atskleidė regeneracinio gamybos būdo silpnąsias ir stipriąsias tvarumo puses (Hashempour, 2023). Mados pramonė yra atsakinga už 8–10 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją. Maždaug 70 % išmetamų teršalų tenka žaliavų gamybai, perdirbimui ir paruošimui. Poveikį aplinkai sumažina saulės energija varomos mezgimo mašinos, saulės energija aprūpintas drabužių rūšiavimo sandėlis ir polimerinių medžiagų nenaudojančios tiekimo grandinės.

Vilna mados pramonėje laikoma puikia audinių medžiaga – ji yra tvirtesnė už daugelį pluoštų, perdirbama, ją reikia rečiau skalbti. Vilna yra elastinga ir turi vaškinę dangą, todėl ją sunkiau nudažyti, yra atspari kvapams, turi antibakterinių savybių ir gali sugerti iki 30 % savo svorio vandens. Dirvoje ar vandenyje vilna biologiškai skaidosi. Tvarių drabužių pramonėje vilna yra stiprus varžovas kitoms žaliavoms, vartotojai gali ją naudoti dešimtmečius. Tačiau įprastinė vilnos gamyba nėra nekenksminga klimatui. Aivių išskiriamas metano tarša 28–36 kartų stipresnė negu CO₂ dujų. Tradicinis vilnos auginimas dažnai susijęs su ilgalaikiu gyvulių ganymu tuose pačiuose plotuose, o tai gali nualinti žemę, nuskurdinti biologinę įvairovę ir paskatinti dirvožemio eroziją. Pietų Amerikoje, Naujojoje Zelandijoje ir Australijoje avys dažniau yra palaidos,

tačiau ganyklos vis tiek tręšiamos cheminėmis trąšomis. Tradicinis avių auginimas gali sukelti tokias pačias perteklinio nuganyimo problemas, kaip ir kitų galvijų ganymas, įskaitant vandens taršą, dirvožemio eroziją ir ganyklų nusukdinimą. Regeneracine žemdirbyste siekiama pakartoti tai, kas vyksta laukinėje gamtoje, kai ganydamiesi gyvūnai, kad surastų naujų maisto šaltinių ir išvengtų plėšrūnų, klajoja, o tai mažina ganyklų ar pievų nualinimą. Tręšiant avių mėšlu, sintetinės trąšos nebereikalingos. Išardomi nenaudojami aptvarai. Atsinaujinančią energetiką naudojantys ūkiai šalina iš atmosferos išmestus teršalus, atkuria vietinius miškus. Anglis, papildomai surenkama regeneruojant dirvožemį, turi didelį anglies sekvestracijos potencialą.

Taikant regeneracinį avių auginimą, CO₂ absorbcija beveik panaikina avių išmetamo metano poveikį. Tradiciškai užauginant 1 kg vilnos, išmetama daugiau nei 25 kg CO₂, o naujoviškai auginant vilną vidutiniškai išsiskiria tik 14 kg CO₂. Regeneracinės vilnos šalininkai tvirtina, kad šis auginimo būdas taip pat gali padidinti dirvožemio atsparumą, apsaugant jį nuo sausros ir potvynių, ir sumažinti priklausomybę nuo trąšų, kurios gali būti toksiškos kitiems gyvūnams. Puoselėdama augalų, gyvūnų ir mikrobų ekosistemas regeneracinė žemdirbystė prisideda prie vandens ir dirvožemio išsaugojimo. Regeneracinių ūkių dirvožemyje daugiau mikrobų, todėl gyvūnai sveikesni, mažiau reikia importuotų pašarų. Regeneracinis ūkininkavimas turi ir trūkumų, kurie gali riboti jo produktų plėtrą mados pramonėje. Tokiai žemės ūkio veiklai reikia daugiau darbo jėgos ir žemės plotų, ji brangesnė už tradicinius metodus. Kad galėtume visapusiškai įvertinti regeneracinės vilnos potencialą mažinant išmetamų teršalų kiekį, reikalingi išsamesni moksliniai tyrimai.

Visgi daugumai vilnionių drabužių vartotojų svarbi drabužių kaina, o ji yra didesnė už tradiciniu būdu užaugintos vilnos

drabužių. Masinė rinka dar nepriima regeneracinės vilnos, bet perka pigų pluoštą. Sunku nuspėti, ar greitos mados pramonė prisitaikys prie regeneruojamos vilnos, ar ši vilna liks tik prabangos preke. Galiausiai, kad regeneruojanti vilna pakeistų mados taršos pėdsaką, regeneracinis metodas turi būti taikomas visuose pramonės lygmenyse, įskaitant mažiau drabužių perkančius vartotojus, tinkamą perdirbimą ir drabužių atliekų mažinimą.

IV SKYRIUS

KOVOS SU KLIMATO KAITA PRIEMONĖS IR METODAI

4.1. Katastrofiškų klimato kaitos scenarijų tyrimai

Šiandien jau pakanka įrodymų, kad klimato kaita gali tapti katastrofiška. Žvelgiant į spartėjančios klimato kaitos ateitį, nepaisant blogiausių scenarijų, dabartiniai žingsniai geriausiu atveju yra naivios rizikos valdymo pastangos, o blogiausiu – mirtina kvailystė. Ypatingos rizikos supratimas yra svarbus norint priimti tvirtus sprendimus – nuo pasiruošimo iki reagavimo į ekstremalias situacijas. Plėtoti vien tik aukštesnės temperatūros scenarijų nepakaks, nes labai tikėtina, kad klimato kaitos poveikis gali prisidėti prie kitų sisteminės rizikos pakopų. Norint suvaldyti riziką, reikia apsvarstyti blogą ir blogiausių scenarijus. Ar antropogeninė klimato kaita gali sukelti pasaulinį visuomenės žlugimą ar net galutinį žmogaus išnykimą? Ši tema dar nepakankamai išnagrinėta. Galimas katastrofiškas poveikis priklauso nuo klimato kaitos masto ir greičio, Žemei ir žmonių bendruomenėms padarytos žalos bei tų paveiktų sistemų pažeidžiamumo ir reakcijos. Klimato rizika tampa vis sudėtingesnė ir sunkiau valdoma, be to, ji plinta įvairiuose regionuose ir sektoriuose. Pavyzdžiui, ciklonui sunaikinus elektros energijos tiekimo infrastruktūrą klimato požiūriu karštame regione, gyventojai tampa pažeidžiami ne dėl elektros stygiaus, o dėl mirtinos karščio bangos. Taigi labai svarbu atsižvelgti į tai, kaip dėl antropogeninės klimato

kaitos rizika plinta, sąveikauja, stiprėja. Mokslininkai ir ekspertai diskutuoja, kokie mechanizmai gali sukelti masinį žmonių sergamumą ir mirštamumą, kokia klimato kaita gali paskatinti masinį gyvūnų išnykimą, koks žmonių visuomenės pažeidžiamumas dėl klimato kaitos sukeltų rizikų ir ar galima kylančius pasaulinius pavojus sujungti į „integruotą katastrofų vertinimą“.

Nerimauti dėl galimos pasaulinės klimato kaitos katastrofos verčia kelios priežastys. Visų pirma tai istoriniai įspėjimai. Per pastaruosius 542 mln. metų biosfera neteko daugiau nei trijų ketvirtadalių jūrų gyvūnų rūšių. Kiekvienas toks įvykis yra susijęs su reikšmingu Žemės anglies ciklo pasikeitimu (Rothman, 2017). Idėja, kad masinį rūšių išnykimą lemia aplinkos pokyčiai, iškelta daugiau nei prieš du šimtmečius. Manoma, kad išnykimui turėjo įtakos ir negebėjimas evoliucijos procese prisitaikyti prie pasikeitusių fizinės ir biologinės aplinkos sąlygų. Kitaip tariant, katastrofa įvyksta tada, kai aplinkos pokyčių greitis viršija tam tikrą slenkstį.

Dabartinis klimato atšilimas vyksta geologiniu požiūriu beprecedenčiu greičiu ir iki amžiaus pabaigos gali viršyti slenksčius, sukėlusius ankstesnius masinius išnykimus. Antra vertus, klimato kaita gali tiesiogiai sukelti kitas pražūtingas permainas, pavyzdžiui, tarptautinius konfliktus, infekcinių ligų plitimą ir kita. Ji gali sustiprinti visuomenių pažeidžiamumą ir nulemti daugybę netiesioginių įtampų, pavyzdžiui, vandens ir maisto stygių, ekonominę žalą, naudojamų žemės plotų praradimą. Staigus klimato pokytis gali paskatinti sistemų „gedimus“, kurie išardytų visuomenės visame pasaulyje. Remiantis vidutinio ir didelio išmetamų teršalų kiekio bei gyventojų skaičiaus augimo scenarijumi, tikimasi, kad iki 2070 m. karšto klimato vietovėse gyvens apie 2 mlrd. gyventojų, kai šiuo metu čia gyvena tik 30 mln. žmonių (Sacharos dykuma, Persijos įlankos pakrantė, tirštai apgyvendintos Pietų ir Pietvakarių Azijos vietovės). Ekstremalios sąlygos (temperatūra, didelė drėgmė) gali

labai sumažinti pagrindinių javų derlių. Galiausiai, klimato kaita gali negrįžtamai pakenkti žmonijos gebai atsigauti po kokio nors kataklizmo, pavyzdžiui, branduolinio karo.

Naujausios išvados dėl klimato kitimo jautrios pusiausvyros rodo, kad kaitos mastas yra neaiškus. Net jei žinotume būsimą šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją, liktų neapibrėžtas energijos paklausos ir ekonomikos augimo kintamųjų kitimas ar jų įvertinimas.

Nors yra tam tikra pažanga, antropogeninių šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas ir toliau didėja. Pagal dabartinę trajektoriją vidutinė pasaulio temperatūra iki 2100 m. pakils nuo 2,1 °C iki 3,9 °C. Temperatūros, viršijančios ikiindustrines vertes daugiau nei 2 °C, Žemėje nebuvo 2,6 mln. metų, arba nuo pleistoceno epochos pradžios. Net jei antropogeninių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos netrukus pradės mažėti, iš karto tai nesumažins didelės šių dujų koncentracijos ar ekstremalių klimato pokyčių, tokių kaip Arkties amžinojo įšalo tirpimas, dėl kurio išsiskiria metanas ir CO₂, ar natūralaus anglies absorbavimo pajėgumo sulėtėjimas dėl intensyvių sausrų ir gaisrų Amazonėje ir Sibire. Taigi temperatūros kilimas labiau priklausys nuo bendros Žemės sistemos dinamikos, o ne tik nuo antropogeninės emisijos.

Visgi, kodėl būtina analizuoti klimato katastrofos galimybes ir ypač tikėtinus blogiausius atvejus? Pirma, rizikos valdymui ir tvirtam sprendimų priėmimui neapibrėžtumo sąlygomis reikalingos žinios. Deja, mes nežinome tikslios priežasčių ir pasekmių grandinės, todėl reikia būti atsargiems ir budriems. Blogiausių atvejų įvertinimas gali padėti imantis kokių nors išankstinių veiksmų, pavyzdžiui, „branduolinės žiemos“ grėsmė 1983 m. paskatino branduolinį nusiginklavimą. Galimų pražūtingų klimato scenarijų supratimas gali paskatinti imtis priemonių, tokių kaip saulės spinduliuotės valdymas (aerolių įpurškimas į stratosferą, kad atspindėtų saulės šviesą, įeinančios saulės energijos kiekio atspindėjimas, jūrų debesų

šviesinimas, žemės albedo stiprinimas). Akademiniai tyrimai rodo, kad atšilimas daugiau kaip 5°C greičiausiai bus „dar ne katastrofiškas“, o aukštesnis negu 6°C yra „neginčijama pasaulinė katastrofa“, kelianti grėsmę net žmonių, kaip rūšies, išlikimui (Wallace-Wells, 2019; Lynas, 2020). Pasaulinei temperatūrai pakilus $6\text{--}9^{\circ}\text{C}$, gali lėtai ir negrįžtamai pradėti nykti Rytų Antarkties ledynas, o jūros lygis pakilti daugiau negu 40 metrų. Keturiuose didžiausiuose kukurūzų auginimo regionuose, kuriuose užauginama 87 % derliaus, tikimybė, kad produkcijos nuostoliai bus didesni nei 10 %, padidėja nuo 7 % per metus, kai temperatūra pakyla 2°C , ir iki 86 %, kai temperatūra pakyla iki 4°C . Nors yra daug galimų klimato kaitos sukeliama sergamumo ir mirštamumo veiksnių, tačiau svarbiausiais klimato kaitos palydovais greičiausiai bus badas, nepakankama mityba, ekstremalūs oro reiškiniai, pernešėjų platinamos ligos ir jų sukelti konfliktai. Klimato kaitos pasekmės atsiskleis ekosistemų, geopolitikos ir technologijų pasaulyje, stiprės sąveikaujančios grėsmės (didėjanti žmonių ar visuomenių nelygybė, demografinė įtampa, naujų naikinamųjų ginklų kūrimas). Klimato kaitos pasekmės gali sustiprinti galingi ugnikalnių išsiveržimai, saulės spinduliuotės anomalijos (blyksniai) (Kemp ir kt., 2022).

Grėsmės bioįvairovei

Kas yra biologinė įvairovė ir kodėl ji svarbi vykstant klimato kaitai? Stebėjimai rodo, kad sustabdyti biologinės įvairovės mažėjimą, nesimant skubių veiksmų, artimoje ateityje gali būti nebeįmanoma, nes dėl žmogaus veiklos beveik trečdaliui visų rūšių šiuo metu gresia pavojus. Biologinė įvairovė yra visa gyvybė Žemėje – gyvūnai, augalai, grybai ir mikroorganizmai (pavyzdžiui, bakterijos). Gyvūnai ir augalai aprūpina žmones viskuo, ko reikia išgyvenimui, tačiau, kad gautume naudos, gyvūnų ir augalų įvairovė turi veikti kartu. Augalai valo orą, riboja kylančią temperatūrą ir apsaugo nuo klimato kaitos.

Mangrovinės pelkės ir koraliniai rifai užkerta kelią dėl kylančio jūros lygio gresiančiai pakrančių erozijai. Tokie medžiai kaip liepa, beržas ar kaštonas sugeria CO₂ ir šalina teršalus iš oro.

Natūralu, kad rūšys vystosi ir laikui bėgant išnyksta. 98 % visų kada nors egzistavusių rūšių jau yra išnykusios, tačiau dabar rūšys nyksta 100–1 000 kartų greičiau. Daugelis mokslininkų perspėja, kad žmonės gali sukelti „šeštąjį masinį gyvūnų ir augalų išnykimą“ Žemėje. Nuo 1964 m. sudaromame nykstančių rūšių „raudonajame sąrašė“ įrašyta daugiau negu 150 000 rūšių, 28 % iš jų gresia išnykimas. Jungtinių Tautų Tarpyvyriausybės biologinės įvairovės ir ekosistemų paslaugų mokslo ir politikos platformos duomenimis, mažiausiai vienam milijonui augalų ir gyvūnų rūšių gresia išnykimas. Atskirų gyvūnų rūšių išnykimo grėsmė labai skiriasi, pavyzdžiui, pavojus išnykti gresia 40 % varliagyvių ir tik 14 % paukščių, o kai kurių grupių (pavyzdžiui, vabzdžių ir grybų) rizikai įvertinti nepakanka duomenų. Didžiausią grėsmę biologinei įvairovei kelia miško ruošos ir kirtimo darbai, medžioklė ir intensyvi žvejyba.

Brandžių miškų, kurie augo šimtus ar net tūkstančius metų, naikinimas turi labai didelį poveikį biologinei įvairovei. 2001–2021 m. pasaulis prarado 437 mln. ha miškų plotų, iš kurių 16 % sudarė sen-girės, arba pirmąkart miškas.

Biologinė įvairovė nyksta visame pasaulyje. Didžiausius nuostolius patyrė Lotynų Amerika ir Karibų jūros regionas – dėl buveinių naikinimo ir per didelio išnaudojimo gyvūnų populiacija nuo 1970 m. sumažėjo net 94 %. Sparti klimato kaita apsunkina gyvūnų ir augalų egzistenciją. 2022 m. biologinės įvairovės klausimais šalys pasiekė „istorinį“ susitarimą – iki 2030 m. apsaugoti 30 % Žemės sausumos ir jūrų, sustabdyti biologinės įvairovės nykimą, o iki 2050 m. pasiekti žmonių ir gamtos dermę (Stallard, 2023). Šiame susitarime įrašyti keturi pagrindiniai tikslai:

- kuo daugiau išsaugoti ekosistemų ir rūšių;

- kuo tvariau naudoti išteklius;
- tolygiau dalintis gamtos ištekliais;
- didinti finansinę paramą biologinės įvairovės apsaugai.

Mokslininkai išanalizavo daugiau nei 600 skirtingų paukščių ir žinduolių rūšių ir nustatė, kad šie tikslai 2030 m. gali būti nebepasiekiami, nes dėl ankstesnio netikslaus modeliavimo klimato kaitos ir buveinių nykimo poveikis gyvūnų populiacijoms buvo nepakankamai įvertintas. Tai reiškia, kad biologinės įvairovės nykimas gali būti didesnis, nei manyta anksčiau, todėl būtina imtis skubių veiksmų.

4.2. CO₂ dujų kiekio atmosferoje mažinimas

Šiltnamio efektą sukeliančios dujos, tokios kaip anglies dioksidas ir metanas, išsiskiria deginant naftą, dujas ir anglį buityje, gamyboje ir transporte, ūkininkaujant, taip pat metanui skiriantis iš sąvartynų. Spartus miškų naikinimas visame pasaulyje reiškia, kad mažėja medžių ir augalų, sugeriančių CO₂.

Norint apriboti visuotinę atšilimą iki 2 °C ar dar žemesnės ribos, būtina mažinti išmetamus teršalus. Tyrimai rodo, kad pasaulis šyla pirmiausia dėl išmetamo CO₂ kiekio (apie 33 mlrd. t 2021 m.), kuris gerokai viršija natūraliai iš oro šalinamą CO₂ kiekį – per metus tai yra apie 2 mlrd. tonų. Norint apriboti visuotinę atšilimą, dabartinio CO₂ emisijų mažinimo nepakanka, o vien gamta iš oro jo pakankamai nepašalins. Šiuo metu beveik visas CO₂ šalinimas iš oro vyksta natūraliai – augalai ir medžiai sugeria CO₂ iš oro, dirvožemis šias dujas taip pat sugeria ir kaupia. Tačiau yra ribos – negalima labai daug plotų skirti miškams. Pagal kai kuriuos optimistinius scenarijus, iki 2050 m. natūralus CO₂ šalinimas gali padvigubėti, tačiau vis tiek sudarys tik apie 4 mlrd. t CO₂ per metus. Kad būtų išvengta blogiausių klimato kaitos padarinių, 2015 m. pasirašytame Paryžiaus susitarime 197 šalys

sutarė siekti, kad temperatūros kilimas neviršytų $1,5^{\circ}\text{C}$. Ekspertų teigimu, tam tikslui iki 2050 m. reikia pasiekti „visiško nulio“ šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją. „Visiškas nulis“ reiškia, kad, vykdant bet kokią veiklą, šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis atmosferoje nedidėja. Tam būtina kiek įmanoma mažinti išmetamų teršalų kiekį, subalansuoti atmosferoje esančias šiltnamio efektą sukeliančias dujas, pašalinant atitinkamą jų kiekį. Ką „visiškas nulis“ reikš žmonėms? Norint pasiekti visišką nulį, reikės iškastinį kurą pakeisti atsinaujinančia energetika, atsisakyti benzino ir dyzelino ir dažniau rinktis elektra ir vandeniliu varomas transporto priemones. Dujinis centralizuotas šildymas turės būti pakeistas alternatyviais šaltiniais, pavyzdžiui, šilumos siurbliais. Pasiekus visišką nulį ateityje gali tekti mažiau skraidyti lėktuvais ir valgyti tikros mėsos. Net jei šios priemonės (elektra varomi automobiliai, atsinaujinanti energetika) ir būtų realizuotos, anglies dioksidadą vis tiek reikės šalinti iš atmosferos.

Daugiau nei 130 šalių įsipareigojo iki 2050 m. pasiekti nulinę emisiją. Kinija, šiuo metu daugiausiai CO_2 išskirianti pasaulyje, teigia, kad iki 2060 m. sieks „anglies neutralumo“. Rusija, trečia pagal dydį naftos gavėja pasaulyje, įsipareigojo iki 2060 m. pasiekti visišką nulį. Indija, ketvirta pagal dydį CO_2 išmetanti šalis pasaulyje (po Kinijos, JAV ir ES), pažadėjo iki 2070 m. sumažinti išmetamų teršalų kiekį iki nulio. Deja, kai kurios tankiausiai apgyvendintos pasaulio šalys, įskaitant Indoneziją, neprisiėmė jokių nulinės taršos įsipareigojimų.

Kyla ginčų, kaip šalys bandys pasiekti visišką nulį. Pavyzdžiui, A šalis gali užregistruoti mažesnę išmetamų teršalų kiekį, jei atsisakys daug energijos sunaudojančių pramonės šakų, pvz., plieno gamybos. Tačiau jei A šalis importuoja plieną iš B šalies, ji perduoda savo anglies dvideginio emisijas B šaliai, o ne sumažina bendrą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį. Žinoma, yra schemų, leidžiančių turtingoms šalims kompensuoti išmetamų teršalų kiekį sumokant neturtingesnėms šalims, kad jos pereitų prie švaresnio kuro.

Anglies surinkimo įrenginiai sukurti taip, kad didžioji dalis gaminamo anglies dioksido (CO_2) nepatektų į atmosferą. Deginant iškastinį kurą, pvz., naftą, dujas ir anglį, elektrai gaminti, išskiriamas CO_2 , kuris yra pagrindinė klimato kaitos varomoji jėga. Mokslininkai teigia, kad norint suvaldyti pasaulinės temperatūros kilimą, reikės įrenginių, tiesiogiai šalinančių CO_2 iš oro, tačiau šie įrenginiai turės didelį poveikį energijos, vandens ir žemės eksploatacijai. Technologijos, galinčios pašalinti CO_2 iš oro, gali labai paveikti maisto kainas. Iki 2050 m. kai kuriose pasaulio dalyse maistinių augalų kainos gali padidėti daugiau nei penkis kartus.

Mokslininkai siūlo CO_2 surinkimą įtraukti į elektros energijos gamybą iš biomasės, pvz., pasėlių ir medienos granuliu. Deginimo metu susidaręs CO_2 turėtų būti surenkamas ir laidojimas. Kritikai teigia, kad tam reikėtų didžiulių žemės plotų, kurie, didėjant gyventojų skaičiui, mažintų žemės ūkio paskirties plotus. Per pastarąjį dešimtmetį smarkiai išaugo atsinaujinančios energijos panaudojimas, ypač išnaudojamas jūros vėjas, tačiau neišspręstas klausimas, iš kur gauti elektros energijos, kai vėjo nėra.

Kita didelio susidomėjimo sulaukusi technologija yra mašininis CO_2 surinkimas tiesiai iš atmosferos. Eksperimentiniai šios idėjos įrenginiai buvo sėkmingai išbandyti Šveicarijoje ir Kanadoje. Škotijoje planuojama statyti didelį įrenginį, kuris gali iš oro išgauti didelį kiekį anglies dioksido. Gamykla kasmet pašalintų iki vieno milijono tonų CO_2 , o tai prilygtų apie 40 mln. medžių sugeriamam CO_2 dujų kiekiui. Išgautas iš oro CO_2 dujas planuojama laikyti jūros dugne prie Škotijos krantų. Įrenginio ventiliatorius siurbtų orą, kuris, veikiamas skysčių mišinio, virstų skystu anglies dioksidu. Vėliau skystis būtų paverčiamas kalcio karbonato granulėmis. Apie 900 °C temperatūroje apdorojamos granulės suyra į CO_2 dujų srautą ir kalcio oksidą. Iš CO_2 srauto pašalinamos vandens priemonės. Skystis gali būti pumpuojamas po žeme ir visam laikui palaidojamas,

parduodamas komerciniam naudojimui ar net paverčiamas skystu kuru. Dar per mažai tyrimų, kaip ši technologija paveiktų pasėlių ir maisto kainas, nes jai kol kas reikalingi dideli energijos ir vandens ištekliai. Reikalinga energija sudarytų 115 % dabar sunaudojamų gamtinių dujų. Antra vertus, įrenginiai sunaudos 35 % šiuo metu pasaulinei elektros gamybai naudojamo vandens. Ir nors naujiems augalams reikalingi žemės plotai sumažės, vis tiek reikės daug energtinių augalų ir naujų miškų, o kukurūzų, kviečių ir ryžių kainos labai išaugs. Indijoje, Pakistane ir daugelyje kitų Azijos šalių grūdų kainos gali padidėti tris ar penkis kartus, o Europoje ir Pietų Amerikoje jos gali padidėti dvigubai arba trigubai.

Pirmasis pasaulyje komercinis anglies dioksido surinkimo įrenginys buvo paleistas 2017 m. Šveicarijoje. Ši gamykla gali pašalinti iš atmosferos apie 900 t CO₂ per metus, surinktos dujos panaudojamos šiltnamiams šildyti ir gazuotiems gėrimams gaminti. Šios technologijos plėtotojai tikisi, kad iki šio dešimtmečio pabaigos jiems pavyks pašalinti iš atmosferos 500 000 t CO₂. 2021 m. Islandijoje atidaryta didžiausia pasaulyje CO₂ surinkimo gamykla. Ši įmonė padidino metinį atmosferinio CO₂ surinkimo pajėgumą 40 % ir tai sudaro iki 13 000 tonų. CO₂ šalinimui iš atmosferos, jo pumpavimui ir saugojimui po žeme naudojama geoterminė energija. Pasinaudojant netoliese esančios geoterminės elektrinės gaminama elektra, ventiliatoriumi, filtrų ir šildytuvų sistema, kasmet iš oro bus pašalinama 4 000 t CO₂. Požeminiuose urvuose dujos, susimaišiusios su vandeniu, vėsdomos pamažu virs akmeniu. Islandijos įmonė pašalins iš atmosferos tiek CO₂, kiek per metus išmeta 790 automobilių. Įrenginys Teksase (JAV) pašalins iš oro iki milijono tonų CO₂ per metus ir panaudos jį naftos gamybos reikmėms. Ši technologija dar yra labai brangi, nes vienos tonos CO₂ pašalinimas kainuoja 600–800 USD. Dėl didelių oro siurbimo sąnaudų, patirties trūkumo ir energijos poreikių šią technologiją aplinkosaugininkai vertina skeptiškai.

Kodėl reikia surinkti CO₂? Surenkama anglis stabdo didesnės dalies pagaminto CO₂ išsiskyrimą, jis panaudojamas pakartotinai arba saugomas po žeme. Siūlomi CO₂ surinkimo įrenginiai negali sulaikyti daugiau negu du milijonus tonų per metus, o 2021 metais vien Jungtinė Karalystė išmetė 425 mln. t CO₂. Taigi šiose elektrinėse sulaikomas labai nedidelis CO₂ kiekis. JK vyriausybė užsibrėžė tikslą iki 2030 m. per metus surinkti 20–30 mln. t CO₂, tačiau tai gali būti susiję su kitais pramonės procesais ir energijos gamyba. Kad surinktą CO₂ būtų galima saugoti po Šiaurės jūra, turėtų būti nutiestas specialus dujotiekis. Saugyklomis galėtų tapti nebenaudojami naftos ir dujų rezervuarai arba laidžios uolienos, dar vadinamos druskingais vandeningaisiais sluoksniais. Tikimasi, kad nutiesus po Šiaurės jūra CO₂ saugojimo dujotiekį, kitos pramonės šakos prisijungs prie jo ir plės CO₂ sulaikymą ir ilgalaikį saugojimą.

Anglies dioksido surinkimo technologija gyvuoja dešimtmečius. Ji daugiausia taikoma tose pramonės šakose, kuriose surinktą CO₂ galima panaudoti pakartotinai, pavyzdžiui, norint išstumti naftą ir dujas iš požeminių telkinių. Planų, kaip panaudoti iš naujų, iškastiniu kuru kūrenamų, elektrinių sulaikytą CO₂, nėra. Kai kurie ekspertai mano, kad anglies dioksido surinkimas yra per brangus ir kad būtų tikslinga investuoti į atsinaujinančią energetiką ir energijos kaupimą (pvz., baterijas). 2022 m. pasaulyje buvo tik 30 CO₂ surinkimo įrenginių ir beveik visi jie buvo pramonės įmonėse, kurios perdirba gamtines dujas ar gamina trąšas. Vienintelė šiuo metu veikianti CO₂ surinkimo jėgainė yra anglimi kūrenama jėgainė Kanadoje. Kelias CO₂ dujas surenkančias jėgaines siūloma statyti JAV. Jungtinės Karalystės vyriausybė nori, kad naujai statomos elektrinės surinktų CO₂ ir laikytų po Šiaurės jūra. Manoma, kad CO₂ surinkimas iš iškastiniu kuru kūrenamų jėgainių turėtų būti siejamas su platesniu branduolinės energetikos ir kitų sparčiai besivystančių technologijų, pvz., vandenilio, naudojimu.

Nuolat vyksta naujų CO₂ sulaikančių technologijų paieška. Viena iš perspektyvių krypčių yra CO₂ pavertimas skystu kuru naudojant katalizatorius. Katalizatoriai pagreitina chemines reakcijas ir yra daugelio pramoninių procesų pagrindas, pavyzdžiui, jie būtini sunkiąją naftą paverčiant benzinu arba reaktyviniu kuru. JAV tyrėjai išrado naują elektrokatalizatorių, kuris anglies dioksidą (CO₂) ir vandenį paverčia etanolu (Harmon, 2020). Etanolis yra ypač geidžiama prekė – jis dažnai yra benzino sudedamoji dalis ir plačiai naudojamas kaip tarpinis produktas chemijos, farmacijos ir kosmetikos pramonėje. Šis procesas prisideda prie žiedinės anglies ekonomikos, nes pakartotinai naudoja anglies dioksidą, kurio gausu iškastinio kuro jėgainių ar alkoholio fermentacijos gamyklų išmetamose dujose. Katalizatorių sudaro atomizuoti vario ir anglies milteliai. Elektrocheminės reakcijos metu katalizatorius suskaido CO₂ ir vandens molekules ir išoriniame elektriniame lauke selektyviai sujungia suskaidytas molekules į etanolį. CO₂ yra stabili molekulė, todėl jos pavertimui kita molekule reikia daug energijos ir sąnaudų. Naudojant naująjį katalizatorių ir pigią elektą, gaunamą iš atsinaujinančių šaltinių (pvz., saulės ir vėjo ne piko valandomis), konversijos procesas tampa ekonomiškai patrauklus. Procesas vyksta žemoje temperatūroje ir žemame slėgyje, todėl jį galima greitai pradėti arba sustabdyti reaguojant į pertrūkiais tiekiamą atsinaujinančią elektros energiją. Galima pagaminti kuro celes, kurios etanolio cheminę energiją tiesiogiai verčia elektra. Kuro celę sudaro kietas elektrolitas, esantis tarp dviejų elektrodų – anodo ir katodo. Veikiant kuro celei, kuras (tai gali būti etanolis ar kt.) nepertraukiamai tiekiamas į anodą, o oksidatorius – į katodą. Oksidatoriumi dažniausiai yra oras. Cheminių reakcijų metu išsiskiria elektros energija ir šiluma. Yra sukurta anglies dioksido šalinimo iš oro kietuoju sorbentu technologija, kuri nedegina gamtinių dujų ir nenaudoja gėlo vandens.

Daugelio dabartinių tiesioginio CO₂ surinkimo iš oro metodų problema yra kaina. CO₂ atmosferoje yra santykinai labai atskiestas – jo ore yra maždaug 400 milijonų dalių (ppm). Taigi CO₂ surinkimui reikia galingų įrenginių, kurie sunaudos daug energijos. Itin silpna CO₂ koncentracija atmosferoje labai apsunkina sorbcijos ir desorbcijos procesų pajėgumą, tad dažniausiai surenkama nuo 1,0 iki 1,5 mol. CO₂/kg sorbento. Be to, beveik visiems iki šiol tirtiems sorbentams (poliaminams, polietileniminams, organiniams ir neorganiniams hibridiniams sorbentams, anijonų mainų dervoms bei metalo ir organinėms struktūroms) ir desorbcijai reikia šilumos energijos, o naudojama maža šarminio tirpalo koncentracija yra neveiksminga esant nedideliam CO₂ masės perdavimo greičiui ir menkai CO₂ koncentracijai atmosferoje. Specialiai paruoštos dervos ir kitos cheminės medžiagos žada kur kas didesnę efektyvumą ir mažesnes išlaidas (Hang Dong ir kt., 2023). Bandymų metu nauja hibridinė medžiaga sugeria tris kartus daugiau CO₂ – iš ore esančių 100 000 ppm sugeria net 400 ppm CO₂. Lewiso rūgščių (molekulė, kuri tirpale gamina H⁺ jonus, o šie jonai gali reaguoti su kitomis tirpale esančiomis molekulėmis, sukeldami cheminę reakciją) ir bazės sąveikoje gautas hibridinis sorbentas su poliamino-Cu (II) kompleksu gali sulaikyti daugiau nei 5,0 mol. CO₂/kg sorbento, tai yra beveik du ar tris kartus daugiau nei dauguma iki šiol naudojamų sorbentų. Hibridinis Polyam-N-Cu²⁺ sorbentas, kaip ir kiti aminų pagrindu pagaminti sorbentai, yra atsparus terminei desorbcijai (sorbuotos medžiagos ats(is)kyrimui) žemesnėje nei 90 °C temperatūroje. Proceso metu surinktas CO₂ atskiriamas kaip nekenksmingas chemiškai stabilus NaHCO₃ junginys. Hibridinis sorbentas yra regeneruojamas naudojant atliekinę šilumą arba <90 °C šilumos energiją. Šis naujas metodas gali pašalinti toną CO₂ už mažiau nei 100 USD.

Ieškoma ir kitų CO₂ išskyrimo iš oro būdų. Viena neseniai komercializuotame procese CO₂ surinkimui iš atmosferos naudojamas

10 % KOH tirpalas. Naudojant CaCO_3 , nusodinamas K_2CO_3 , o vėliau jį kalcinuojant išgaunamas CO_2 . Tačiau kalcinavimui reikia daug energijos – beveik 1 100 kWh kiekvienai sulaikyto CO_2 tonai.

Jeigu CO_2 išmetimas į atmosferą būtų vienintelis procesas, tai 1,5 °C pakilusi temperatūra jau būtų įvykęs faktas. Vis dėlto yra ir kitos reikšmingos emisijos. Viena iš tokių – aerozoliai, mažytės dalelės, susidarancios deginant anglį ir kitą kietą iškastinį kurą, kurios atspindi saulės šviesą ir taip padeda atšaldyti planetą. Skaičiuojama, kad anglies dvideginio molekulės atmosferoje išsilaiko maždaug 300–1000 metų. Tad šių emisijų poveikis bus jaučiamas labai ilgai. Kitos šiltnamio efektą sukeliančios dujos – metanas (CH_4) atmosferoje užsibūna maždaug du dešimtmečius, tačiau metano molekulė šiltnamio efektą sustiprina apie 84 kartus, palyginti su CO_2 molekule per tą patį laiką. Manoma, kad metanas prisidėjo prie vidutinio temperatūros padidėjimo maždaug 0,5 °C. Pagrindinis metano šaltinis yra gamtinėje aplinkoje – apie 40 % jo atkeliauja iš pelkių ir šlapynių. Kasmet pelkės išskiria apie 200 mln. t metano. Kylant pasaulinei temperatūrai, didėja šlapynių biomasės susidarymo ir irimo greitis, todėl šioje aplinkoje išsiskiria daugiau metano. Nemaža išskiriamo metano dalis tenka žmonių veiklai – tai žemės ūkis (atrajojančios gyvuliai, ryžių auginimas), sąvartynai (neapdorotos biologiškai skaidžios atliekos) ir gamtinių dujų gavyba, jų transportavimas dideliu nuotoliu bei naudojimas.

2019 m. Lietuvoje susidarė apie 2 951,94 tūkstančiai tonų metano (pagal CO_2 ekvivalentą), jo santykis su CO_2 nedidelis – tik 1:5. Lietuvos gamtoje metanas praktiškai nesusidaro. Pagrindiniai jo šaltiniai Lietuvoje yra susiję su žmogaus veikla – žemės ūkiu (apie 58 %), sąvartynais (apie 25 %), energetika (apie 16 %). 2020 m. Lietuvoje buvo absorbuota 5,4 mln. t CO_2 ir tam turėjo įtakos plintantys miškai ir daugiametės pievos. 2022 m. duomenimis, Lietuvoje 30,45 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetė transportas,

28,1 % – energetikos sritis, 22,05 % – žemės ūkis, 15,33 % – pramonė ir 4 % – atliekų sektorius. Žemės ūkio ŠESD dar atitinka leistiną kvotą. 2020 m. daugiausia buvo išmesta N_2O – 87 % viso šalyje išmetamo N_2O kiekio ir CH_4 – 59 % viso šalies išmetamo CH_4 kiekio. N_2O patenka į aplinką naudojant sintetines ir organines trąšas, esant pasėlių likučiams, azoto mineralizacijai, dalis šių dujų į atmosferą patenka ir netiesiogiai – išgaruojant, nutekant azotui. ŠESD koncentraciją aplinkoje didina ir iš gyvulių žarnyno fermentacijos metu išsiskiriantis didelis CH_4 kiekis. Įvairiose šalyse emisijos struktūra skiriasi. Jungtinėje Karalystėje šiltnamio dujų emisija pasiskirsto taip: transporto – 27 %, energijos gamybos – 21 %, verslo – 17 %, namų ūkių – 15 %, žemės ūkio – 10 %, kitos veiklos – 10 %.

Tarp didžiausių iššūkių – ką daryti su sulaikytomis CO_2 dujomis. Vienas plačiai naudojamas būdas – jų laikymas po žeme ar jūra buvusiuose naftos gręžiniuose. Taikant naująjį metodą, pridėjus kai kurių cheminių medžiagų, sulaikytas CO_2 gali būti paverstas natrio hidrokarbonatu ($NaHCO_3$) ir saugiai laikomas jūros vandenyje. Kai kurie mokslininkai nenori daug dėmesio skirti naujoms technologijoms, tokioms kaip tiesioginis CO_2 šalinimas iš oro, nes baiminasi, kad tai susilpnins vyriausybių ir asmenų pastangas mažinti ore anglies dioksido kiekį. Kiti mano, kad tiesioginis oro valymas, surenkant iš jo CO_2 , yra geriausias būdas išvengti pavojingos klimato kaitos. Visgi CO_2 šalinimą iš oro nereikėtų vertinti kaip „sidabrinę kulką“ kovojant su klimato kaita, tačiau norint pasiekti Jungtinių Tautų iškeltus šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo ir klimato kaitos tikslus, reikės ne tik gamtos, bet ir žmonių sukurtų dar įvairesnių technologijų.

Ar visiškas nulis reiškia CO_2 emisijų pabaigą? Deja, ne visos emisijos gali būti sumažintos iki nulio, dalį jų tenka kompensuoti, pavyzdžiui, pasodinant daugiau medžių. Beveik kiekviena šalis naudoja medžius kaip pigų anglies kiekio mažinimo būdą, nors kai kur jau gali neužtekti vietos reikiamam medžių skaičiui.

4.3. Ar beribė „žalioji“ energetika pakeistų pasaulį

Kol kas tai dar vizijų ir svajonių sritis. Tikimasi, kad neribota atsinaujinanti energetika suteiktų daug privalumų: šildymą be teršalų, ekologiškesnes trąšas, elektrinį transportą, o efektyvus jūros vandens gėlinimas sumažintų vandens stygių Žemėje. Technologinės atliekos ar jau panaudoti įrenginiai galėtų būti visuotinai perdirbami iš jų išgaunant brangius elementus (tokius kaip retieji žemių metalai). Iš atmosferos išsiurbus CO₂ dujas, sulėtėtų klimato kaita. Žmonės galėtų patogiau gyventi poliariniuose ar kituose gyvenimui mažai tinkamuose Žemės regionuose, keliauti arba vežti krovinius elektra varomomis transporto priemonėmis. Prekės ir paslaugos, kurioms reikia elektros energijos, galėtų būti gerokai pigesnės. Į atmosferą išmetamų teršalų pėdsakas turėtų būti labai mažas ar net neaptinkamas. Atsinaujinanti energetika turėtų būti patogesnė, taupesnė ir saugesnė nei nafta, anglis ir dujos, nuo kurių mes dar priklausome, o jos sėkmė visų pirma priklausys nuo žmonių noro taikyti šią technologiją. Įrenginius, diegiančius „žaliąją“ energetiką, ar tai būtų saulės, vėjo, branduolių sintezės, geoterminė, biomasės, ar kokia kita technologija, reikėtų statyti ir plėtoti, nes planeta ir toliau šyla, o iškastiniai išteklių senka. Pereiti prie tokio pasaulio ir įveikti kliūtis nebus lengva, nes šis tvarus pasaulis būtų brangus, o pats perėjimas, jei jis kada nors taptų realybe, priklausytų nuo daugybės politinių, ekonominių ir technologinių veiksnių. Darant prielaidą, kad šias kliūtis galima įveikti, kaip beribė „žalioji“ energetika pakeistų vartojimą, inovacijas, ekonomiką, viešąją politiką ir aplinką ir ar tokie veiksniai laikinai pablogintų planetos būklę?

1974 m. įkurta Tarptautinė energetikos agentūra vienija 31 valstybę narę ir 11 bendradarbiaujančių šalių. Organizacija, kurios veiklos sferai priklauso apie 75 % pasaulinės energijos paklausos, siekia sukurti kolektyvinio energetinio saugumo sistemą, koordinuoti

energetikos politikos klausimus ir skatinti šalių bendradarbiavimą energetikos srityje. Jos duomenimis, elektros energijos poreikis kai kuriuose regionuose per ateinančius 10 metų turėtų išaugti 40–60 %, o dėl energijos, vandens ir kitų gamtos išteklių stygiaus kils naujos sudėtingos nestabilios situacijos.

Atsinaujinanti energetika pasaulyje plinta skirtinga sparta, o šalių priimti įsipareigojimai dažnai dėl įvairių priežasčių (karų, pandemijų, stichinių nelaimių ar politinių pokyčių) nevykdomi. Tačiau yra ir sektinų pavyzdžių. 2023 m. pirmą kartą Jungtinėje Karalystėje vėjo energetika pagamino daugiau elektros negu dujų jėgainės. Saulės ir vėjo energetikos plėtra JK pastaraisiais metais smarkiai augo. 2023 m. pirmąjį ketvirtį 42 % elektros energijos pagamino atsinaujinanti energetika, o iškastinį kurą (dujas ir anglį) deginančios jėgainės – tik 33 %. Trūkstant pajėgumų, kai kurie nauji saulės ir vėjo energetikos įrenginiai 10–15 metų laukia prijungimo prie bendros elektros energijos tiekimo sistemos. Apšvietimui naudojama elektra sudaro tik 18 % visų JK energijos poreikių, o didžiąją dalį sunaudoja namų šildymas, pramoninė gamyba ir transportas. Didžioji JK vėjo energijos dalis gaunama iš jūros vėjo jėgainių, nes šalyje nuo 2015 m. uždrausta montuoti naujas sausumos vėjo jėgaines.

Visuotinai pripažįstama, kad dabartinė elektros gamyba, daugiausia naudojant iškastinį kurą, yra svarbiausias klimato kaitos veiksnys, dėl kurio į atmosferą išmetama 30 % visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Taigi „žalioji“ energetika žada kelią į nulinę CO₂ emisiją ir visuotinę energetinę nepriklausomybę. Tačiau jau šiandien aišku, kad beribė „žalioji“ energetika taip pat iš dalies kurs pasaulį, kuriame daugės atliekų ir truks žaliavų. Mokslininkai mano, kad „žalioji“ energetika gali būti neribota, bet tikrai ne beribė, be išlaidų ir be bendrų pastangų. „Žalioji“ energija yra brangi – atsinaujinančios energijos jėgainėms statyti (arba pertvarkyti esamas), išmetamų teršalų išgryninimo technologijoms plėtoti ir naujai infrastruktūrai reikia didelio kapitalo.

Iškastinio kuro nenaudojanti energetika neabejotinai atneš didelę naudą: visišką transporto elektrifikavimą, netaršias būstų ir biurų šildymo ir vėsinimo sistemas, ekologiškesnes trąšas žemės ūkiui ir kita. Galbūt netolimoje ateityje pavyks pasitelkti branduolių sąlajos energetiką. Veiksmingų ir tvarių biomasės deginimo metodų kūrimas, metano iš pasėlių ir nuotekų panaudojimas išplėstų ekologišką kurą. Antra vertus, lygiagrečiai reikėtų mažinti bendrą energijos sunaudojimą. Žmonija judės ta kryptimi, tik jei „žalioji“ energetika bus konkurencingesnė negu iškastinio kuro energetika, nes naftos turtingos šalys ir toliau sieks ją parduoti besivystančioms šalims ir remis skystuoju kuru grindžiamą ekonomiką. Vis dėlto, siekiant sumažinti CO₂ emisijas, tradicinių elektrinių vaidmuo mažės.

Didelis „žaliosios“ energetikos trūkumas yra jos nepatikimumas. Hidroenergetikai reikia pakankamai lietaus, kad nuolat būtų tekančio vandens. Saulės fotovoltinėms plokštėms būtinas giedras dangus ir saulės šviesa. Atsinaujinančios elektros energijos gamintojai priklauso nuo naudojamų išteklių pertrūkių ar jų prieinamumo, todėl jiems reikalingos papildomos technologijos, užtikrinančios, kad pasiūlos ir paklausos pusiausvyra būtų išlaikyta visą laiką, net esant sezoniniams pokyčiams ar kitiems nepalankiems scenarijams.

Didėjant atsinaujinančios energijos daliai, elektros energijos sistemos ir jų paklausa greičiausiai taps lankstesnės. „Žaliosios“ energijos paklausa neapsiribos vien namų ūkiais, bet turės tenkinti ir didžiausių elektros vartotojų – technologijų įmonių – poreikius. Technologijų gigantų („Amazon“, „Google“, „Facebook“ ar „Microsoft“) duomenų centrams vien serverių aušinimui per metus reikia dešimčių teravatvalandžių (vienetas, lygus milijardui kilovatvalandžių elektros energijos) elektros energijos. Visgi, pereinant prie CO₂ emisijų aspektu neutralios energetikos, reikės daugiau atsinaujinančios energijos elektrinių (4.1 pav.), o daugelis jų gamybos procesų netiesiogiai į orą išskiria šiltnamio efektą sukeliančias



4.1 pav. Saulės ir vėjo jėgainių parkai Kinijos Jiangsu provincijoje
(<https://www.smithsonianmag.com/smart-news/renewable-energy-is-slowing-the-rise-of-carbon-emissions-180980988/>)

dujas (CO_2 arba metaną). Tai susiję su mineralų (kobalto, ličio ir kitų retųjų žemių metalų) gavyba, kuriuos šiuo metu galima išgauti tik naudojant iškastinį kurą. Nuolat ieškoma, kaip sumažinti atsiuvinančios energetikos netiesiogiai išskiriamas šiltnamio efektą sukeliančias dujas plieno, cemento ir kitų medžiagų gamybos metu. 2023 m. pradėjo veikti 150 m aukščio (iki sparnuotės mentės aukščiausio galo) 2 megavatų generatorius ir tiekti elektrą į Švedijos tinklą, energija aprūpindamas apie 400 namų. Šios vėjo jėgainės bokštas pagamintas ne iš plieno, o iš medienos. Tvirtas ir patvarus plienas leido statyti didžiules turbinas ir vėjo jėgaines sausumoje ir jūroje, tačiau plieninės konstrukcijos, ypač sausumoje, turi nemažai apribojimų. Išaugus aukštesnių jėgainių, skirtų stipresniam vėjui ir didesnės galios generatoriams, paklausai, reikėjo didinti ir

cilindrinų plieninių bokštų skersmenį. Dėl kelių, tunelių, tiltų ar žiedinių sankryžų ribotų pajėgumų gabenti didžiules metalo konstrukcijas į statybos vietą yra labai sudėtinga.

Išorinių akivaizdžių skirtumų tarp medinių ir plieninių vėjo jėgainių yra nedaug. Abi konstrukcijos turi storą baltą dangą, apsaugančią elementus nuo drėgmės ir korozijos, o mentės pagamintos dažniausiai iš stiklo pluošto. 105 m aukščio medinio bokšto konstrukcijos stiprumą užtikrina 144 laminuotos faneros sluoksniai. Keičiant kiekvieno 3 mm storio sluoksnio kryptį, galima kontroliuoti konstrukcijos sienos stiprį ir lankstumą. Ploni medienos sluoksniai suklijuojami, o lenkti elementai dar ir sulenkiami reikiamu kampu. Atskiri mažesni elementai suklijuojami į cilindrus ir taip pastatomas bokštas. Naudojant medieną ir klijus bokštus galima statyti iš mažesnių, lengviau transportuojamų modulių.

Visgi ši statybos naujovė pirmiausia skirta vėjo jėgainių konstrukcijoms naudojamo plieno anglies pėdsakui mažinti. Aukščiausia ir galingiausia šiuo metu vėjo jėgainė veikia prie Nyderlandų krantų. Jos vėjo turbinos ašis sukasi 220 m aukštyje; kiekviena mentė yra 107 m ilgio. Palyginimui: Lietuvoje aukščiausios vėjo jėgainės turbinos ašis sukasi tik 110 m aukštyje. Norima statyti vėjo jėgaines, kurių mentės viršutinėje padėtyje siektų 300 m, o tai reiškia, kad bokštas būtų 200 m ar aukštesnis. Naudojant modulinį surinkimą tokį jėgainės aukštį galima pasiekti. Plieninė konstrukcija taip pat gali būti modulinė, sudaryta iš mažesnių matmenų cilindų, tačiau detalėms sujungti reikia papildomų pastangų, kurios padidina konstrukcijos išlaidas ir priežiūrą. Antra vertus, plieno gamybai naudojamo iškastinio kuro CO₂ dujų emisijos yra svarus klimato kaitos veiksnys. Bokštų statybai naudojant medieną, nebelieka anglies pėdsako: gyvi medžiai iš atmosferos sugeria CO₂, o juos nukirtus, sukaupia anglis pasilieka medienoje. Kol mediena nepūva ar nedega, anglis neišsiskiria. Vienam vėjo turbinos bokštui sunaudojama apie 200 brandžių eglių kamienų.

Šiuo metu per metus pagaminama 20 000 vėjo jėgainių. Siekiama, kad po 10 metų 10 %, arba apie 2 000, vėjo jėgainių būtų medinės.

Manoma, kad neribota „žaliosios“ energetikos plėtra trumpuoju laikotarpiu gali pakenkti aplinkai, tačiau galiausiai atsinaujinantys energijos šaltiniai sumažins CO₂ emisiją ir atmosferos taršos sukeliamų negalavimų ar net mirčių skaičių.

Branduolinės sąlajos reakcijos tyrimų proveržis

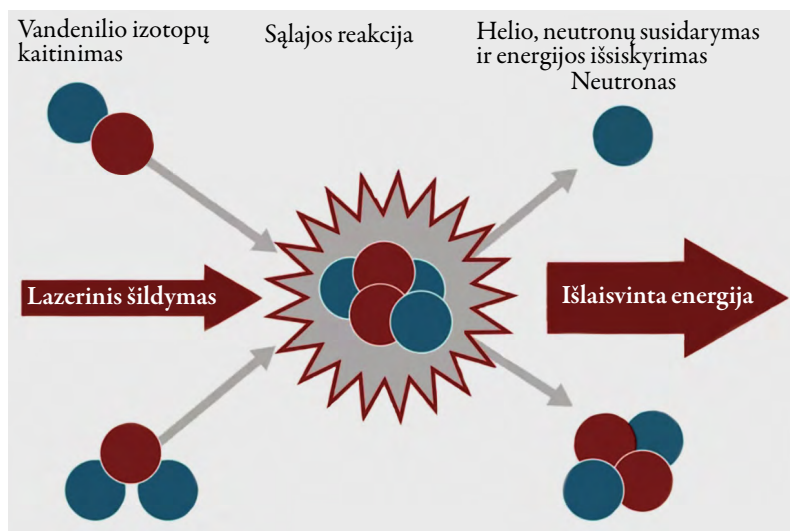
2022 m. žymi branduolių sintezės proveržį energetikoje. Tyrėjai įveikė didelę kliūtį – branduolių sąlajos eksperimento metu pagamino daugiau energijos, negu buvo panaudota sąlajos reakcijai sukelti. Eksperimentas buvo atliktas Lawrence'o Livermore'o nacionalinėje laboratorijoje Kalifornijoje. Mokslininkai branduolių sąlajos problemą nagrinėja nuo XX a. 6-ojo dešimtmečio. Šis procesas vyksta saulėje, tad mokslininkų pastangos kartais buvo prilyginamos žvaigždės kūrimui Žemėje. Tačiau branduolių sąlajos pavertimas komerciškai perspektyviu energijos šaltiniu pasirodė sunkiai pasiekiamas.

Branduolių sąlaja gamina daug daugiau energijos, tik nedidelius trumpaamžių radioaktyviųjų atliekų kiekius ir neišskiria šiltnamio efektą sukeliančių dujų, todėl procesas neprisideda prie klimato kaitos. Branduolių sąlajos energetikos šalininkai tikisi, kad vieną dieną bus galima gaminti beveik neribotą kiekį CO₂ neišskiriančios energijos, kuri išstums iškastinį kurą ir kitus tradicinius energijos šaltinius. Vienas iš iššūkių yra tas, kad sąlajos procesui reikia labai aukštos temperatūros ir didelio slėgio. Iki šiol jokių eksperimentų nepavyko pagaminti daugiau energijos, nei buvo įdėta, kad jis veiktų.

Eksperimento metu vandenilio kurui kapsulėje sušildyti ir suspausti naudojamas galingas 192 lazerių sistema. Lazerių spinduliuotės poveikis yra toks stiprus, kad gali įkaitinti kapsulę

iki 100 milijonų laipsnių Celsijaus (karščiau nei saulės centre) ir suspausti kurą iki 100 milijardų kartų daugiau negu Žemės atmosferos slėgis. Į pipiro grūdelio dydžio kapsulę įdedamas nedidelis kiekis deuterio (^2H) ir tričio (^3H) – skirtingų vandenilio elementų mišinys. Veikiant slėgiui ir temperatūrai, vandenilio atomai susilieja ir išlaisvina daug energijos. Šios reakcijos metu susijungia deuterio branduolys, turintis vieną protoną ir vieną neutroną, bei tričio branduolys su vienu protonu ir dviem neutronais ir susidaro vienas helio branduolys ir vienas laisvas neutronas, kurio energija panaudojama garo jėgainės vandeniui šildyti (4.2 pav.).

Sintetinės deimantinės kapsulės, į kurią įdedamas kuras, savybės yra labai svarbios sąlajos eksperimento sėkmei. Sfera turi būti visiškai lygi ir be teršalų – bet kokios anomalijos gali sugadinti reakciją. Kapsulė gaminama kruopščiai sluoksniuojant mažus deimantų kristalus aplink



4.2 pav. Branduolinės sąlajos reakcijos principas
(<https://www.bbc.com/news/science-environment-63950962>)

silicio karbido šerdį ir pakartotinai poliruojant. Vėliau silicio šerdis pašalinama iš deimantinės kapsulės, o mažo stiklinio vamzdelio tuščiaavidurė sfera užpildoma deuteriu ir tričiu. Aplink kuro granulę yra aukso ir nusodrinto urano apvalkalas. Trečiasis ir paskutinis kapsulės sluoksnis yra aliuminio cilindras, jo paskirtis – atvėsinti kapsulės turinį prieš sąlajos reakciją. Kita svarbi naujosios technologijos sritis yra optika – visas, kas palaiko šviesos perdavimą ir panaudojimą.

Eksperimento metu pagamintos energijos pakaktų, kad užvirtų tik 10–15 virdulių, o tam buvo išleista milijardai dolerių. Kad tokia elektrinė veiktų, šie procesai turėtų vykti kas sekundę. Šiuo metu procesus skiria ne sekundės, bet dienos. Pirmą kartą istorijoje eksperimentas davė daugiau (apie pusantro karto) energijos, nei buvo sunaudota termobranduolinei reakcijai sukelti. Lazerio energija, skirta sistemai šildyti, siekė 2,05 MJ, o termobranduolinės reakcijos metu išsiskyrė maždaug 3,15 MJ. Ir nors gauta daugiau energijos, negu išnaudota lazerių spinduliuotei, nepakako energijos, užtikrinančios lazerių veiklą. Lazeris nėra energiją taupantis įrenginys, vienam įrenginio impulsui sukurti buvo sunaudota maždaug 500 MJ elektros energijos. Ir tai tik viena ne pati reikšmingiausia problema, kuri atitolina tyrėjus nuo efektyvių termobranduolinių elektrinių. Liko neišspręstos kelios esminės problemos ir kai kurios iš jų yra susijusios su kuru. Antai vandenyne deuterio yra daug, o tričio atsargos Žemėje skaičiuojamos tik dešimtimis kilogramų. Antra, termobranduolinės sintezės metu energiją daugiausia išskiria greitieji neutronai. Šios dalelės neturi elektros krūvio, silpnai sąveikauja su medžiaga, todėl jų kinetinę energiją paversti šilumine, o vėliau elektros energija yra labai sunku. Dar viena problema yra kaina – šis eksperimentas kainavo milijardus dolerių, taigi sąlaja nėra pigi. Skeptikai mano, kad valdoma termobranduolinė sąlaja negali tapti svarbiausiu žmonijos energijos šaltiniu, o optimistai pripažįsta, kad vargu ar tai įvyks per artimiausius kelis dešimtmečius. Visgi pastangos sukurti švarios energijos šaltinį bus didelė paskata įveikti šiuos iššūkius.

Branduolinė energetika šiuo metu gamina apie 10 % pasaulio elektros energijos. Kadangi išskiria mažai CO₂, ji laikoma svarbiu kovos su klimato kaita veiksmu. Tačiau daugelis šalių yra susirūpinusios branduolinių reaktorių sauga, neišspręstas ir branduolinių atliekų klausimas. Tarptautinės atominės energijos agentūros (TATENA) duomenimis, 2016 m. reaktorių laikinose saugyklų aikštelėse buvo apie 260 000 t panaudoto branduolinio kuro. Apie 70 % panaudoto kuro saugojama tvenkiniuose, o likusi dalis – betono ir plieno konteineriuose, arba „sausose statinėse“. Suomija netrukus taps pirmąja valstybe, kuri ilgam laikui palaidos panaudoto branduolinio kuro strypus giliai po žeme. 2025 m. ji pradės saugoti panaudotą branduolinį kurą po žeme Onkalo mieste, ten ji planuojama saugoti 100 000 metų. Onkalo, kaip ir likusios Suomijos dalies, geologinė padėtis yra labai stabili, žemės drebėjimų rizika nedidelė. Onkalo vietovės uolieną sudaro dviejų skirtingų uolienų – migmatito ir gneiso – mišinys. Jai beveik 2 mlrd. metų ir ji labai kieta. Onkalo saugykla (Olkiluoto saloje) yra 437 m gylyje, į ją veda 4,5 km ilgio tunelis (Benke, 2023).

Deja, dar niekam nepavyko sukurti sąlajos reakcijos, kuri generuotų daugiau energijos, negu sunaudoja technologiniams tikslams. Kai kaina nebebus ribojančiu veiksniu, branduolių sąlajos reakcijos būdu gauta ekologiška elektros energija radikaliai pakeis sausumos ir jūrų transporto, aviacijos ir gamybos sektorius. Perėjimas prie naujos energetikos labai sumažins CO₂ emisijas ir bendrą kietųjų dalelių kiekį ore. Ir nors bus pramonės šakų, kurioms reikės iškastinio kuro, ji bus galima pakeisti sintetiniu kuru. Pavyzdžiui, tolimiems skrydžiams šiuo metu reikia iškastinių medžiagų kuro, tačiau orlaiviai galėtų naudoti ne reaktyvinį kurą, o metaną, gautą iš vandenilio ir CO₂, arba amoniaką, pagamintą iš vandenilio ir atmosferos azoto. Abi šios kuro rūšys galėtų būti sukurtos naudojant „žaliąją“ energiją. Žinant aviacijos sektoriaus indėlį į klimato kaitą (aviacija išmeta 2,5 % metinio CO₂ kiekio), vien šis pokytis būtų svarbus. Tikėtina,

kad siekiant nulinio išmetamų teršalų kiekio, reikės ir kitų ekologiškų technologijų, pavyzdžiui, CO₂ surinkimo ir saugojimo.

Kad pasaulinė temperatūra nepakiltų daugiau 1,5 °C, 2050–2070 m. būtina pasiekti nulinę CO₂ emisiją. Manoma, kad švari energetika yra būtina sąlyga, bet nepakankama, kad būtų pasiektas 1,5 °C tikslas. Kai kurios šalys (Kosta Rika, Norvegija) jau įvykdė daugelį savo ambicingų klimato kaitos tikslų, tačiau didžioji dalis šalių gerokai atsilieka nuo 2015 m. Paryžiaus susitarime 2050 metams nustatytų nulinės emisijos tikslų. Nepavyks greitai stabilizuoti pasaulio energetikos sektorių, nebent atskiros šalys susitars dėl visapusiškų klimato kaitos teisės aktų, tokių kaip mokesčių kreditai perkant mažai taršius automobilius ir prietaisus, parama atsinaujinančios energijos degalinių ir kitos infrastruktūros statybai, finansinės baudos už iškastinio kuro naudojimą ir kita. Energetikos politika gali skirtis net vienos šalies jurisdikcijose. Europa sutiko 20 % energijos gauti iš jūros vėjo, tačiau, pavyzdžiui, bet kuri JAV valstija gali vetuoti naujos energetikos priemonių statybą. Galiausiai, atsinaujinančios energijos šaltiniai tikriausiai neišspręstų problemų per trumpą laiką, nes kai kuriose pasaulio vietose apšvietimas, šildymas, šaldymas ir transportas yra prabanga, kurią gali sau leisti tik nedaugelis. Antra vertus, ne visi turės tiesioginę prieigą prie „žaliosios“ energijos, net jei jos staiga padaugėtų, o turintieji galės neribotai ja disponuoti.

Ekonomistai teigia, kad žmonės linkę dažniau naudotis atpiginta preke, tačiau apskritai išteklių gausėjimas ar jų pigimas sukelia naujų problemų. Pavyzdžiui, gausiai gaminamas ir perdirbamas pigus maistas paskatino žmonių nutukimą, išpopuliarėjęs pigus plastikas (vienkartiniai maišeliai, buteliai ir kita pakuotė) užteršė vandenynus. Ar nekils panašių situacijų, jei „žalioji“ energija taps labai pigi?

Perėjimas prie atsinaujinančios energetikos visame pasaulyje galėtų sušvelninti augančią klimato kaitos krizę, pokyčiai paskatintų įvairias inovacijas, tačiau turėtume išlikti realistais – tai išspręs tik dalį problemų.

Atsinaujinanti energetika lėtina CO₂ emisiją, tačiau siekiant išvengti blogiausių klimato kaitos padarinių, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija turėtų smarkiai mažėti. Jungtinių Tautų duomenimis, iki 2030 m. pasaulio išmetamų teršalų kiekį reikia sumažinti 45 %, o iki 2050 m. emisijos turėtų pasiekti nulinę reikšmę. Nuo XX a. pradžios metinė CO₂ emisija nuo maždaug 2 mlrd. t išaugo iki daugiau nei 36 mlrd. t 2019 metais. 2021 m. planetos atšilimą didinanti CO₂ emisija, palyginti su ankstesniais metais, padidėjo dar beveik dviem milijardais tonų. Ir nors iškastinės anglies paklausa didėja, atsinaujinančios energijos ir elektrinių transporto priemonių plėtra pristabdė didesnę išmetamų teršalų šuolį. Bendra atsinaujinančios energijos (saulės ir vėjo) gamyba išaugo nuo 12 % 2021 m. iki 14 % 2022 metais. Hidroenergijos gamyba 2022 m. nepakito ir sudarė 6 %, o biomasės ir geoterminių šaltinių dalis buvo mažesnė nei 1 %. Atsinaujinančios elektros energijos gamybos didėjimas turėtų kompensuoti mažiausiai 600 mln. t CO₂. Pažymėtina, kad plečiasi ir pasaulinė hidroenergijos gamyba. 2020 m., prasidėjus COVID-19 pandemijai, išmetamų teršalų kiekis mažėjo, tačiau 2021 m. jis vėl padidėjo beveik 5 %. Sugrįžus į priešpandeminę kasdienybę, su iškastiniu kuru susijusios CO₂ emisijos vėl didėja. Norint pasiekti Paryžiaus susitarimo tikslus, išmetamų teršalų kiekis turi sparčiau mažėti.

Atsinaujinančios energetikos plėtroje pastaraisiais metais įvyko teigiami poslinkiai. 2023 m. pasaulis turėtų pasiekti esminį švarios energijos gamybos lūžį, nes šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija iš energetikos sektoriaus, kuris yra didžiausias pasaulyje išmetamų teršalų šaltinis, pirmą kartą turėtų sumažėti, nepaisant to, kad elektros energijos poreikis pasaulyje vis dar auga. Emisijos mažės, nes atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip saulės ir vėjo, elektros energijos gamybos plėtra viršija paklausą. Tai rodo, kad švari energetika iš tikrųjų gali pakeisti iškastinį kurą, o ne tik patenkinti augančią

paklausą. Kiek svarbus šis teigiamas lūžis kovojant su klimato kaita? Ar tikrai 2023 m. jis bus pasiektas?

Jau įpratome girdėti apie blogus ar pavojingus klimato kaitos ženklus, tokius kaip jūros ledo tirpsmas ar negrižtamas miškų praradimas. Lūžio taškas reiškia, kad mažas įvesties pokytis lemia didelį pasikeitimą. Gerais lūžio taškais įvardijami technologijų pokyčiai, kai senas technologijas, pagrįstas iškastinio kuro deginimu, keičia naujos – nulinės emisijos technologijos įvairiuose sektoriuose (energinės gamybos, transporto, pramonės, pastatų ir žemės ūkio).

Labai svarbu suvokti, kad prieš lūžio tašką senąją sistemą bandoma išlaikyti, nes žmonėms ji atrodo vis dar patogesnė, patrauklesnė ar pigesnė, o naujoms technologijoms plisti ir įsitvirtinti reikia daug pastangų. Pasiekus lūžio tašką viskas pasikeičia, nauja technologija atneša žmonėms vis daugiau naudos. Kuo daugiau žmonių į ją investuoja, tuo sparčiau prie jos pereinama. Lūžis įvyksta, kai naujoji technologija tampa geresnė už senąją. Vartotojai nori ją turėti, gamintojai mieliau gamina, o investuotojai atsisako senosios technologijos ir investuoja į naująją (Henriques, 2023). Tokį perėjimą, greitą ir negrižtamą, vaizdingai iliustruoja arklius pakeitęs automobilis, tapęs patogesne ir geresne transporto priemone.

Dabar statyti saulės ar vėjo elektrinę yra pigiau, nei kasti ir vežti anglys ar tiekti dujas į elektrines. Iki šio dešimtmečio pabaigos konvertuota saulės energija ir jos saugojimo (kaupimo) išlaidos bus perpus mažesnės nei anglies kasybos ir transportavimo kainos.

Nors švari energetika priartėjo prie lūžio taško, vis dar reikia įveikti didžiulius sunkumus – atnaujinti elektros perdavimo tinklus, restruktūrizuoti elektros energijos rinką, prisitaikyti prie pereinamojo laikotarpio socialinės ekonomikos. Svarbu suvokti, kad galime susidoroti su klimato kaita. Taigi, jei šios prognozės išsipildys, tai jau nuo 2023 m. energetikos sektoriaus emisijos turėtų ne atsistkinti, o dėsningai mažėti.

4.4. Šiaurės Afrikos proveržis saulės energetikos srityje

Marokas turi vienus geriausių saulės ir vėjo išteklių pasaulyje ir nors neturi naftos, gamtinių dujų, tačiau garsėja savo požiūriu į klimato saugą. Atsinaujinantys energijos šaltiniai sudaro beveik du penktadalius šalies elektros gamybos pajėgumų. Kai kurios iškastinio kuro naudojimui teikiamos subsidijos buvo panaikintos ir šalis, sulaukusi daug pagyrų už pastangas sumažinti CO₂ emisijos kiekį, pretenduoja į didžiausius pasaulyje švarios energijos projektus. Labiausiai Marokas išgarsėjo diegdamas didžiules saulės elementų sistemas (4.3 pav.).

Nors ši reputacija yra pelnyta, tačiau dėl geografinės padėties šylančiame pasaulyje šalis yra pažeidžiama klimato kaitos padarinių



4.3 pav. Noor III koncentruotos saulės energijos kompleksas Maroke, centre – aukščiausias pasaulyje saulės bokštas
(http://www.xinhuanet.com/english/2018-09/08/c_137454723.htm)

ir vis dar susiduria su tikrais iššūkiais, pavyzdžiui, sparčiai didėjančiu elektros energijos poreikiu. Vis dėlto Marokas turi didžiulį gamtinį saulės, vėjo ir vandens potencialą elektros energijai gaminti. Maroko nacionaliniai veiksmai klimato kaitos srityje prasidėjo 2000-ųjų viduryje, kai šalis nusprendė tapti švarios energetikos lydere regione ir vykdyti didžiulius atsinaujinančios energijos projektus. Tikimasi, kad ateityje tai užtikrins šalies ekonominį konkurencingumą, nepriklausymą nuo iškastinio kuro importo ir saugų elektros energijos tiekimą. Marokas parengė ambicingą energetikos plėtros planą, pagal kurį iki 2020 m. 42 % visos instaliuotos galios turėjo būti pagaminta iš atsinaujinančių energijos gamybos šaltinių. Saulės fotovoltinės



4.4 pav. Ouarzazate saulės elektrinė Maroke (failas: OuarzazateSolar.jpeg, CC BY-SA 3.0 igo)

(PV) energetikos pajėgumai iki 2020 m. turėjo padidėti 16 kartų, o vėjo – 6 kartus. Marokas pastatė didžiausią pasaulyje koncentruotos saulės energijos kompleksą (Noor-Ouarzazate kompleksas). Šis didžiulis lenktų veidrodžių masyvas, išsidėstęs 3 000 ha plote, nukreipia saulės spindulius į skysčio pripildytus vamzdelius, juose vanduo virsta garu, kuris suka elektrą gaminančias turbinas (4.4 pav.).

Šios saulės energijos jėgainės galia 510 MW, o su papildoma 72 MW fotovoltine sistema ji siekia 582 MW. Pagalbinė dyzelinio kuro sistema palaiko minimalią šilumos perdavimo

skysčiui temperatūrą tuo metu, kai nešviečia saulė (taip pat naktį), paleidžia ir sinchronizuoja turbiną su elektros tinklu. Jėgainės kuro poreikis yra 19 t dyzelino per dieną 500 MW galiai. Jėgainė gali kaupti saulės energiją kaitinamoje išlydytoje druskoje ir gaminti elektros energiją nakties metu. Tokiems megaprojektams kaip Ouarzazate saulės elektrinė reikia didelio vandens kiekio, kurio regione trūksta, nes elektrinė aušinama vandeniu. Būtinybė reguliariai valyti veidrodžius didina vandens sunaudojimą, kuris sudaro 1,7 mln. m³ per metus, arba 4,6 litro/kWh. Šis kiekis yra dvigubai didesnis už tą, kuris būtų sunaudojamas anglimi kūrenamai jėgainei. Vanduo tiekiamas vamzdynu iš Wadi Draa upės užtvankos. Palyginę saulės elektrinių išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį matysime, kad panašų energijos kiekį gaminanti anglimi kūrenama jėgainė CO₂ išskiria apie 20 kartų daugiau.

Maroko vandens ištekliai senka, nes didžioji jų dalis sunaudojama žemės ūkiui ir pramonei. Iki amžiaus pabaigos kritulių kiekis gali sumažėti 20–30 %. Vandens trūkumas ir jo surinkimas tebėra labai svarbi problema šioje žemės ūkį plėtojančioje šalyje. Tyrėjų nuomone, galima prisitaikyti prie klimato kaitos ir išspręsti vandens problemą. Galimi plėtros keliai yra nuotekų valymo įrenginių naudojimas drėkinimui skirtam vandeniui valyti, naujų užtvankų statyba ir jūros vandens gėlinimas naudojant atsinaujinančią energiją.

Karas Ukrainoje paskatino Europos politikus intensyviau kovoti su klimato kaita naudojant švarios energijos šaltinius. Marokas tikisi būti sprendimo dalimi ir turi ambicingų planų povandeniniais kabeliais eksportuoti elektros energiją į Europą. Šalis, kurioje gyvena 39 mln. žmonių, planuoja pastatyti daugiau saulės ir vėjo jėgainių. Dabartiniu metu 90 % jos elektros energijos priklauso nuo importo, kurį daugiausia sudaro iškastinis kuras. 2021 m. apie 80,5 % Maroko elektros energijos buvo pagaminta deginant anglį, dujas ir naftą ir tik 12,4 % – iš vėjo ir 4,4 % – iš saulės energijos. Marokas planuoja

eksportuoti į Europą saulės ir vėjo pagamintą elektros energiją bei „žaliąjį“ vandenilį, pagamintą naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius. Maroko įmonės galėtų patenkinti 25 % ES „žaliojo“ vandenilio poreikių (Josephs, 2023). Nors Marokas 2020 m. nepasiekė išskeltų tikslų, jo turimų atsinaujinančių energijos šaltinių pakako, kad 2020 m. pagamintų 37 % šalies energijos. Ateityje (iki 2030 m.) Marokas įsipareigojo padidinti atsinaujinančių energijos šaltinių galią elektros energijos balanse iki 52 % (20 % saulės, 20 % vėjo ir 12 % vandens) ir 17–18 % sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. Iškastiniam kurui skirtų subsidijų lėšos buvo panaudotos švietimui ir sveikatos draudimo sistemai. Daugelio labiau išsivysčiusių šalių kontekste Maroko išmetamų teršalų kiekis yra nedidelis, tačiau iškastinio kuro deginimas energijos ir cemento gamybai vis dar sudaro didelį teršalų kiekį. Antra vertus, Marokas vis dar importuoja didžiąją dalį energetikai reikalingo iškastinio kuro, nes apie 40 % elektros energijos šalyje gaunama iš anglies. Norint sumažinti išmetamų teršalų kiekį, reikia nedelsiant radikaliai pertvarkyti pramonės šakas, miestų planavimą ir infrastruktūrą. Paradoksalu, kad Maroko švarios energetikos iniciatyvos daugiausia buvo naudingos kaimyninėms šalims, nes šalis save pristato kaip švarios energijos gamybos centrą, galintį eksportuoti atsinaujinančią energiją į Europą. Yra dvi elektros jungtys, jungiančios Maroką su Ispanija, planuojama nutiesti povandeninį kabelį į Jungtinę Karalystę. Tikimasi, kad Maroko saulės ir vėjo energetika iki 2030 m. patenkins 8 % JK elektros poreikio. Šalyje, kurioje nedarbo lygis siekia 11,2 %, energetikos projektai kiekvienais metais galėtų sukurti net 28 000 naujų darbo vietų.

2023 m. lapkričio mėn. Šarm el Šeiche (Egiptas) vykusioje klimato kaitos konferencijoje Marokas pasirašė memorandumą su Prancūzija, Vokietija, Portugalija ir Ispanija, kad būtų lengviau prekiauti energija tarp valstybių. Yra manančių, kad vietoj elektros

eksporto Marokas pirmiau turėtų patenkinti savo vidaus energijos iš atsinaujinančių energijos šaltinių poreikius. Siekis pasigaminti 52 % elektros energijos iš atsinaujinančių šaltinių nesprendžia energijos stygiaus problemų. Nors Marokas bando sumažinti savo priklausomybę nuo dujų, naftos ir anglies, šalis prie savo krantų ieško gamtinių dujų telkinių. Marokui, kaip ir kitoms šalims, kurios aktyviai naudojami atsinaujinančiais energijos šaltiniais, kyla panašių iššūkių, nes ne visada pučia vėjas ir šviečia saulė. Šaliai, matyt, reikia įvairių energijos šaltinių, o atsinaujinantys energijos šaltiniai yra elektros energijos gamybos sprendimo dalis.

Marokas jau pradeda jausti klimato kaitos poveikį. Atsižvelgiant į pasaulinius klimato pokyčius, numatoma, kad iki 2060 m. vidutinė metinė temperatūra šalyje padidės 1,1–3,5 °C. Prognozuojama, kad Šiaurės Afrikoje temperatūra kils dvigubai greičiau nei pasaulio vidurkis. Labiausiai teršiančios šalys daro pražūtingą poveikį Afrikos žemynui, kuris net neišskirdamas tiek pat anglies dioksido kenčia nuo klimato kaitos padarinių.

4.5. Kaip švarus maisto gaminimas stabdo klimato kaitą

Nigerijoje malkomis kūrenamomis krosnimis maistas gaminamas nuo neatmenamų laikų (4.5 pav.). Rytinė malda ir pusryčiai, vėliau darbas netoliese esančiame šeimos maniokų ir saldažiuųjų bulvių (jamsų) sklype – tokia yra daugelio nigeriečių kasdienybė. Taip gyvena 175 mln. nigeriečių – daugiau nei JK, Prancūzijos, Portugalijos ir Belgijos gyventojų. Buityje jie naudoja medieną, medžio anglis ir kitas taršias kuro rūšis. Devyni iš 10 nigeriečių neturi galimybės švariai ruošti maistą. Pagal šiuos rodiklius šalis atsilieka tik nuo Kinijos ir Indijos. Kepimas ar virimas naudojant medžio



4.5 pav. Tradicinis maisto ruošimas skurdžiose šalyse (Nwafor, 2021)

anglis yra sena praktika Nigerijos kaimo bendruomenėse. 2020 m. Nigerija prarado (daugiausiai sukūreno) 97 800 ha natūralaus miško, o tai atitinka 59,5 mln. t CO₂ emisijos. 2016 m. daugiau nei 218 000 žmonių Nigerijoje mirė nuo buitinės oro taršos, įskaitant dūmus iš atvirų laužaviečių.

Dėl ribotos pramoninės veiklos Nigerija pasauliniu mastu yra palyginti nedidelė klimato teršėja – išmeta tik 0,36 % pasaulinio CO₂ kiekio. Tačiau 1990–2019 m. šalies CO₂ emisija išaugo beveik keturis kartus – nuo 28 mln. t iki 92 mln. t per metus. Manoma, kad didėjant gyventojų skaičiui ir augant ekonomikai, išmetamų teršalų kiekis toliau didės. Nigerija įsipareigojo iki 2060 m. pasiekti nulinį išmetamų teršalų kiekį, o iki 2030 m. sumažinti jį 20 %, palyginti su įprastiniu lygiu.

Nepaisant praeityje riboto indėlio į klimato kaitą, norėdama išlaikyti pasaulinę 1,5 °C pokyčio ribą Nigerija turės susilaikyti nuo iškastinio kuro naudojimo ir rasti būdų, kuo pakeisti malkas ir anglis. 2017 m. biokuras sudarė 86 % šalies CO₂ emisijos. Maisto gamybai

galėtų būti naudojami mažiau taršūs ištekliai, tokie kaip elektra, dujos, etanolis, saulės energija, taip pat didelio našumo biomasės viryklės. Tačiau ilgalaikė kultūrinė pirmenybė medžio anglims ir malkoms bei didelės alternatyvaus kuro kainos stabdo šią pažangą. Keturi iš 10 Nigerijos gyventojų per dieną gali išleisti mažiau nei 2 USD, todėl šeimos dažnai negali susimokėti už pažangesnę viryklę ir alternatyvų kurą. Manoma, kad 60 % ar daugiau visų namų ūkių Nigerijoje iki 2030 m. vis dar gamins maistą tradicinėmis viryklėmis.

Pasaulio gyventojų, turinčių prieigą prie alternatyvaus kuro ir švarių maisto ruošimo technologijų, dalis nuo 47 % 2000 m. išaugo iki 59 % 2016 metais. Padidėjo ir investicijos į šį sektorių. Galimybė „švariai“ gaminti maistą iš dalies yra ir lyčių problema. Moterys labiau nei vyrai gali nukentėti, naudodamos virtuvėje medžio anglis ar malkas. Buvo surinkti duomenys, kaip įvairios krosnys mažina oro taršą namų ūkiuose. Išbandytos penkių tipų viryklės, naudojančios suskystintas naftos dujas, degalus taupančią biomasę arba etanolį. Nustatyta, kad daugiausiai buvo naudojamos biomasės krosnys. Dėl brangesnio kuro ir keblumų apsirūpinant etanolio regione skysto kuro krosnys ilgą laiką buvo naudojamos mažiausiai. Šalis turi daugiau nei 5,3 trilijonų m³ gamtinių dujų, kurios sudaro apie 3 % pasaulio atsargų, tačiau menkos investicijos į perdirbimo, transporto ir saugojimo infrastruktūrą stabdo masinę jų naudojimą.

Kaip suteikti „švarią“ elektrą 800 mln. žmonių

Maždaug 10 % pasaulio gyventojų vis dar neturi prieigos prie elektros energijos. Tie, kurie pritaria investicijų į gamtines dujas ribojimui, reiškia susirūpinimą dėl neigiamo poveikio klimatui ir suskystintų naftos dujų naudojimo maisto ruošimui. Nigerijai ir kitoms besivystančioms šalims geresnė ilgalaikė galimybė sprendžiant energijos krizę yra atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip saulės

energetika, platesnis naudojimas vietoj gamtinių dujų, kurių kaina tarptautinėse rinkose didėja. Suskystintų naftos dujų kainai padidėjus 50 %, žmonės vėl grįžta prie malkų ir medžio anglių.

Vienas iš švaresnių maisto gamybos būdų yra elektra, tačiau daugelyje besivystančių šalių elektrifikacija ne visada prieinama. Nors per pastaruosius kelis dešimtmečius Nigerija padarė didelę pažangą didindama prieigą prie elektros, tačiau beveik pusė Nigerijos gyventojų vis dar neturi jokios elektros energijos, o prieiga prie tinklo dažnai būna atsitiktinė ir nepatikima. Šios problemos didina priklausomybę nuo benzininių ir dyzelinių generatorių. Daugiau nei trečdalis visų Nigerijos namų ūkių iš dalies arba visiškai priklauso nuo energijos tiekimo generatoriais ir tik 2,6 % namų ūkių prijungti prie saulės energijos gamybos sistemų. Besivystančių šalių kelias nuo biokuro, dujų ar malkų naudojimo maisto ruošimui iki platesnio atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimo yra ilgas ir nelengvas.

4.6. Ryžtingas ne dujų naudojimui

Šiandien daugiau nei 20 % pasaulyje išmetamo CO₂ susidaro deginant gamtines dujas, o deginamos dujos pagamina 23 % pasaulio elektros energijos. Ištisoms Nyderlandų kartoms gamtinės dujos buvo pigus energijos šaltinis. Didžiausiam šalies dujų telkiniui pamažu senkant, būsto šildymui ieškoma švaresnių alternatyvų. Atsijungti nuo iškastinio kuro nėra lengva, nes daug kaimų ir miestelių yra išsidėstę ant didžiausio gamtinių dujų telkinio Europoje, kuris driekiasi po beveik visa Groningeno provincija ir nuo XX a. 7-ojo dešimtmečio maitina šalies elektros jėgaines, sunkiąją pramonę, pastatų šildymo sistemas. Pastaraisiais metais dėl intensyvios dujų gavybos atsirado smegduobės, padažnėjo žemės drebėjimai. Kartais per dieną įvyksta du–trys žemės drebėjimai. Didėjantis nerimas

dėl žemės drebėjimų 2019 m. priverstė nutraukti dujų telkinio Groningeno provincijoje eksploatavimą aštuoneriais metais anksčiau nei numatyta (2030 m.).

Namai, esantys ant dujų telkinio viršaus, tačiau nenaudojantys dujų, yra aiškus ženklas, kad Nyderlanduose šildant būstus pereinama prie mažai į aplinką išskiriančių arba visiškai CO₂ neišskiriančių iškastinio kuro alternatyvų. Nyderlandai yra viena iš mažiausiai atsiužinantių išteklų energiją generuojantių valstybių Europoje, todėl kyla klausimas, kas gali pakeisti dujinį šildymą, jei iki 2050 m. visuose namuose planuojama nenaudoti iškastinio kuro? Dabar šalis beveik visiškai priklauso nuo dujų kaip šilumos energijos šaltinio – 92 % namų ūkių šildoma dujomis. Tai vienintelė šalis Europoje, kurioje dauguma namų yra prijungti prie dujų tiekimo tinklų. Mažėjant vidaus dujų gavybai, šalis vis labiau priklauso nuo importuojamų dujų. Šiuo metu Nyderlanduose 38 % energijos sunaudojama pastatams šildyti, pusė šio kiekio tenka būstams. Skirtingai nuo kitų šalių, tokių kaip Didžioji Britanija, kurios politika yra labiau centralizuota, kiekviena savivaldybė (jų Nyderlanduose 355) pati sprendžia, kokią energijos rūšį naudoti šilumos gamybai.

Namų ūkiuose, kuriuos būtų sudėtinga prijungti prie platesnio šilumos tinklo, tikslingiausia naudoti individualius šilumos siurblius. Šilumos siurbLIAI veikia kaip atvirkštinis oro kondicionierius – vidinė kilpa tekantis skystis perduoda šilumą iš lauko į patalpą. Sistema naudoja elektros energiją iš tinklo arba, dar geriau, – iš saulės baterijų. Toks šildymas net keturis kartus efektyvesnis nei deginant dujas, o investicijos atsiperka per metus. Maždaug 7 % namų ūkių (apie 550 000) Nyderlanduose jaučia energijos stygių, o kylanti dujų kainos tą skaičių padidina iki 9 %. Pavyzdžiui, vien šilumos siurblys ir jo įrengimas kainuoja 6 000–20 000 €.

Yra ir kitų alternatyvų. Teoriškai dujomis šildomi boileriai gali išskirti mažai CO₂, jeigu naudojamos neišskastinės dujos (pagamintos

iš anaerobinės biomasės, pvz., mėšlo ir ūkio atliekų). Šalies biudžų pramonė iki 2030 m. planuoja patiekti 2 mlrd. m³ „žaliųjų“ dujų, kurių nemaža dalis galėtų būti panaudota pastatams šildyti. Dabartinė metinė gamyba siekia tik 0,14 mlrd. m³ dujų, kai pastatams šildyti šiuo metu vis dar sunaudojama apie 11 mlrd. m³ gamtinių dujų. Iškastinio kuro alternatyva, tiekiant elektrą ir šilumą, gali būti ir vandenilis. Panaudojant saulės baterijas ir per elektrolizę leidžiant elektros srovę, vanduo skyla į vandenilį ir deguonį. Gautas vandenilio dujas galima deginti specialiame katile. Spėjama, kad vandenilis greičiausiai taps įperkamas ir plačiai prieinamas tik po 2030 metų. Be to, vandenilio reikės ir kitiems pramoniniams procesams, pvz., plieno gamybai dekarbonizuoti.

Kai kurie regionai planuoja šilumą gauti iš gręžinių. Šalies vakaruose nuo horizonto iki horizonto nusidriekusiems šiltnamiams reikia daug šilumos energijos. Šiltnamių šildymui įrengtas geoterminis gręžinys iš požemio pumpuoja 90 °C temperatūros vandenį. Kiekvienas gręžinio gylio kilometras temperatūrą padidina apie 30 °C. Geoterminės technologijos potencialas yra didžiulis – vienas gręžinys galėtų apšildyti 3 000–4 000 namų. Šilumos išgavimo procesas primena buitinio šilumos siurblio veikimą. Iš gręžinio pumpuojamas karštas vanduo nukreipiamas į plokštėmis užpildytą kolektorių. Geoterminio vandens įkaitintos plokštės sušildo plokštes, per kurias teka vėsesnis gėlas vanduo. Pašildytas gėlas vanduo tiekiamas į šiltnamių tinklą, o geoterminis vanduo pumpuojamas atgal į gręžinį. Pagal 2018 m. geoterminės pramonės planą, iki 2030 m. geoterminė energija galėtų patenkinti 7 % gyvenamųjų namų šilumos poreikių, o iki 2050 m. – net 35 %.

Centralizuotam šildymui galima pasitelkti ir kitus energijos šaltinius. Šimtai duomenų centrų serverių Amsterdame sukuria nemažą šilumos kiekį, tačiau šiuo metu nėra infrastruktūros, jungiančios juos su šalia esančiais namais. Apskaičiuota, kad duomenų centrai galėtų pagaminti net 2,2 mln. kilovatvalandžių – apie 30 % miesto šilumos

poreikio. Augalijos deginimas biomasės įrenginiuose yra dar vienas centralizuoto šildymo šaltinis.

4.7. Kaip litis gali sumažinti šiltnamio dujų emisiją

Gamtoje grynas ličio metalas neegzistuoja, nes Li stipriai reaguoja su oru ir vandeniu. Su druskomis ar mineralais litis sudaro ličio karbonatą, ličio chloridą ir kitas stabilias druskas arba mineralus – spodumėną, lepidolitą ir kitus. Ličio panaudojimas yra vienas iš būdų, padedančių atsisakyti iškastinio kuro gamybos. Kaip lengviausias žinomas metalas jis plačiai naudojamas įvairiuose įrenginiuose – nuo mobiliųjų telefonų, nešiojamųjų kompiuterių iki automobilių ir lėktuvų (4.1 lentelė).

Ličio jonų akumuliatorių varomi automobiliai iki 2030 m. sudarys apie 60 % parduodamų elektromobilių. Antai Tesla Model S automobilio akumuliatoriuje sunaudojama apie 12 kg ličio. Šios baterijos yra lengvos ir greitai įkraunamos. Dabartiniu metu ličio paklausa yra beprecedentė ir daugelis teigia, kad tai labai svarbu

4.1 lentelė. Ličio panaudojimas

Panaudojimo sritys	2010 m. (%)	2021 m. (%)
Baterijos	23 %	74 %
Keramika ir stiklas	31 %	14 %
Techniniai tepalai	10 %	3 %
Orą apdorojančios medžiagos	5 %	1 %
Nepertraukiamo liejimo medžiagos	4 %	2 %
Kita	27 %	6 %
Iš viso	100 %	100 %

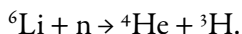
norint pereiti prie atsinaujinančių energijos šaltinių. Apskaičiuota, kad 2019 m. baterijoms buvo sunaudota 65 % pasaulinės ličio gavybos.

Litis – pats lengviausias metalas, jo tankis esant 0 °C lygus 0,539 g/cm³. Jis yra minkštas ir plastiškas kaip plastilinas. Ličio lydymosi ir virimo temperatūros – 180,5 °C ir 1 327 °C – pačios aukščiausios tarp IA grupės metalų. Sidabriškai baltas šarminis metalas atvirame ore apsineša tamsiai pilku apnašu (Li₂O ir Li₃N). Litis naudojamas keramikos ir glazūros, stiklo gamyboje (kaip tepančioji medžiaga), metalurgijoje, pirotechnikoje, optikoje, medicinoje, branduolinėje energetikoje, raketinio kuro gamyboje, organinėje ir polimerų chemijoje. Dėl didelio elektrodo potencialo XX a. pabaigoje litis tapo svarbia akumulatoriaus elektrolitų ir elektrodų sudedamąja dalimi. Būdamas mažos atominės masės jis pasižymi dideliu įkrovos ir galios / svorio santykiu. Įprasta ličio jonų baterija gali generuoti maždaug 3 voltus vienoje celėje (palyginimui: 2,1 volto švino rūgšties ir 1,5 volto cinko-anglies baterijose). Ličio jonų baterijos, kurios yra įkraunamos ir turi didelį energijos tankį, skiriasi nuo ličio metalo baterijų, kurios yra vienkartinės (pirminės) ir kurių anodas yra litis arba jo junginiai. Kitos įkraunamos baterijos, kuriose naudojamas litis, yra ličio jonų polimero baterija, ličio geležies fosfato baterija ir nanovielos baterijos. Nanoviela yra vielos pavidalo nanostruktūra, kurios skersmuo yra maždaug 10⁻⁹ metrų. Nanovielos baterija naudoja nanovielas, kad padidėtų vieno ar abiejų elektrodų paviršiaus plotas, o kartu ir baterijos talpa.

2019 m. duomenimis, 24 šalys turi ličio išteklių. Pasaulines jo atsargas įvertinti sudėtinga, tačiau yra duomenų, kad jos sudaro 40–89 mln. tonų. Prognozuojama, kad iki 2022 m. ličio gavyba pasieks 154 tūkstančius tonų per metus. Manoma, kad apie 5,4 mln. t ličio yra Bolivijos druskožemiuose (Uyuni Salt Flat), plytinčiuose 3650 m aukštyje virš jūros lygio. Vienas jų – Ujūnio druskožemis – yra

didžiausias pasaulyje (10 582 km² ploto). Argentinos ličio ištekliai siekia 9,8 mln. t, Bolivijos – 9 mln. t, Čilės – 8,4 mln. t, Kinijos – 7 mln. t, JAV – 6,8 mln. t, Australijos – 5 mln. t, Kanados – 1,9 mln. t, Serbijos, Rusijos, Kongo – po 1 mln. t. JAV geologijos tarnybos duomenimis, apie 80 % visame pasaulyje išgaunamo ličio sunaudojama baterijų gamybai, likusi dalis atitenka keramikai ir stiklui, tepalams, medicinai ir kitoms reikmėms.

Šaltojo karo metu, gaminant branduolinės sintezės ginklus, ličio paklausa smarkiai išaugo, nes litį-6 ir litį-7 apšvitinus neutronais išsiskiria tritis:



Litis naudojamas siekiant sumažinti stiklo lydymosi temperatūrą ir pagerinti aliuminio oksido lydymąsi Hall-Héroult procese. Pastaraisiais metais litis dominuoja įkraunamų ličio jonų baterijų gamyboje, elektrinėse ar hibridinėse transporto priemonėse ir elektroniniuose įrenginiuose. Litis naudojamas saulės, vėjo ir bangų energijos kaupimo įrenginių gamybai, todėl jo svarba pereinant prie atsinaujinančios energetikos plėtros ir ekologiškų technologijų yra didelė.

Pagrindiniai ličio ištekliai slypi sūrymuose, spodumeno ir lepidolito rūdose. Apie 59 % pasaulinių ličio išteklių randama žemyniniuose sūrymuose (20–1 500 mg/l) – druskožemių ežeruose ir druskinguose vandeninguose sluoksniuose. Sūrymo nuosėdos daugiausia aptinkamos Bolivijoje, Čilėje, Argentinoje, JAV ir Kinijoje. Šiose sūraus vandens sankaupose yra ištirpusio ličio. Spodumenas ir lepidolitas yra kietųjų uolienų ličio junginių mineralai, randami Australijoje, Kinijoje ir Kanadoje.

Dabartiniu metu litis išgaunamas iš spodumeno ir druskožemių sūrymo: iš rūdos gaunama apie 35 %, iš druskožemių sūrymo (ličio

ekstrahavimo būdu) – 65 % ličio. Spodumenas ($\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$) gerai žinomas geologams, tačiau plačiai visuomenei tai naujas terminas. Pavadinimas kilęs iš graikų kalbos žodžio *spodumenos* (σποδούμενος), reiškiančio „sudegęs iki pelenų“. Didžiausią spodumeno kietųjų uolienų telkinį pasaulyje turi Kongo Demokratinė Respublika. Aukšta mineralo kokybė ir nedaug priemaišų leidžia tikėtis, kad ši šalis bus reikšminga ličio tiekėja. Bendri kietos uolienos ištekliai gali sudaryti apie 1,5 mlrd. t aukštos kokybės spodumeno ($1,65\% \text{Li}_2\text{O}$). Aukščiausios rūšies spodumene yra iki $2,4\% \text{Li}_2\text{O}$. Tvirti kristalų struktūros ryšiai apsunkina ličio išgavimą iš spodumeno. Mineralas apdorojamas aukštoje temperatūroje su įvairiais reagentais. Esant aukštesnei nei 800°C temperatūrai, spodumenas iš alfa struktūros virsta atviresne beta struktūra, iš kurios reagentai lengviau išskiria litį. Tinkami ekstrahavimo reagentai yra šarminių metalų sulfatai (pvz., natrio sulfatas), natrio karbonatas, chloras arba vandenilio fluorida rūgštis. Ekonomiškai reikšmingame spodumeno koncentrate yra maždaug 6 % ličio, kuris vėliau naudojamas gaminant elektromobilių ličio jonų baterijas.

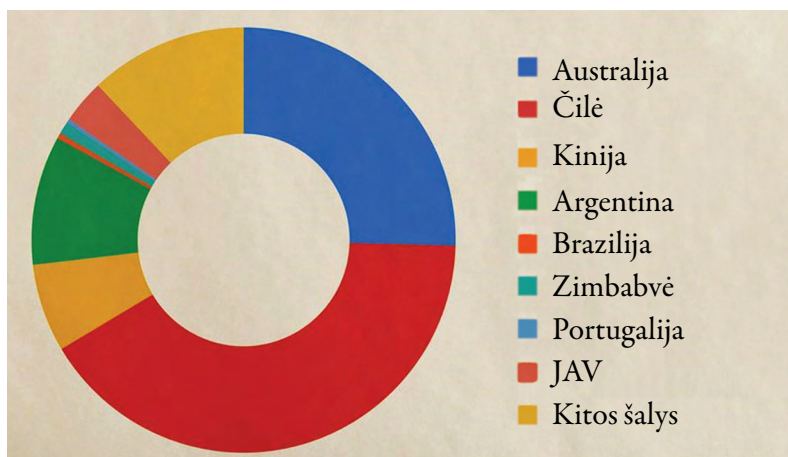
Apskaičiuota, kad vandenynuose yra 230 mlrd. t ličio, tačiau jo koncentracija yra 0,1–0,2 ppm, todėl jį išgauti yra brangiau nei iš sūrymo ir uolienų. Li koncentracija gėlame vandenyje svyruoja nuo 0,07 iki $40\ \mu\text{g/L}$, o jūros vandenyje – nuo 170 iki $190\ \mu\text{g/L}$. Baltijos jūros Kategato ir Skagerako sąsiaurių dugno nuosėdose ličio yra tik 20–50 $\mu\text{g/L}$. Ličio junginiams iš jūros vandens (kurio sudėtyje yra 0,2 ppm ličio) išgauti buvo pasiūlyta naudoti elektrodializę ir elektrocheminę interkalaciją, tačiau šios technologijos komerciškai dar nėra perspektyvios.

Paplitusios ličio-kobalto baterijos negreitai įkraunamos, joms kenkia perkrovimas ar per didelis iškrovimas. Ličio jonų baterijos teigiamam elektrodui naudoja anglį, o neigiamam elektrodui – ličio turintį junginį. Ličio jonų baterijoje nėra sunkiųjų metalų

(kadmio, nikelio), todėl teoriškai tarša yra kur kas mažesnė nei nikelio ir kadmio baterijų. Šios baterijos elektrolitas gali būti gelis, polimeras (ličio jonų / ličio polimerų baterija) arba gelio ir polimero mišinys. Ličio jonų baterijos veiklą užtikrina ličio jonų judėjimas tarp teigiamo ir neigiamo elektrodų. Įkrovimo ir iškrovimo metu vyksta ličio jonų (Li^+) interkalacija (tarp sluoksniuotų kristalų kristalinių gardelių plokštumų susidarymas) ir deinterkalacija tarp dviejų elektrodų. Įkrovimo metu ant teigiamo akumuliatoriaus elektrodo sugeneruoti ličio jonai per elektrolitą pereina į neigiamą elektrodą. Ličio jonų baterijos įkrovimo / iškrovimo naudingumas 80–90 %, o įkrovimo / iškrovimo ciklinis patvarumas – 400–1200 ciklų.

Ličio koncentraciją sūryme padidina vandens išgarinimo tvenkiniai. Skirtingos ličio karbonato koncentracijos lemia ličio laukų atspalvius – nuo rausvai baltos iki mėlynai žalios arba labai ryškios geltonos spalvos. Sodrinimas garinimo būdu gali užtrukti iki pusantros metų, kol ličio kiekis sūryme pasiekia 6 %. Iš sūrymo gaunamas grynas ličio karbonatas, ličio hidroksidas ir ličio chloridas. Ličio gamybos procesai, įskaitant naudojamus tirpiklius ir kasybos atliekas, labai pavojingi aplinkai ir sveikatai. Ličio gavyba gali užteršti paviršinį ir geriamąjį vandenį, padaryti žalą vandens gyvūnams, ekosistemai ir kraštovaizdžiui, paskatinti netvarų vandens naudojimą sausringuose regionuose (1,9–2,2 mln. litrų vandens 1 tonai ličio). Problemų kelia ir dideli ličio ekstrahavimo šalutinių produktų (magnio ir kalkių atliekų) kiekiai.

Litį galima apibūdinti kaip neatsinaujinantį mineralą, tinkamą naudoti atsinaujinančioje energetikoje. Pietų Amerikos druskos lygumos, kuriose randama ličio, yra sausringose teritorijose. Šiame regione prieiga prie vandens yra labai svarbi vietinėms bendruomenėms, taip pat florai ir faunai. Kasyba Čilės Atakamos druskos lygumose sunaudoja, užteršia ir riboja vandens išteklius.



4.6 pav. Didžiausias ličio atsargas turinčios šalys (Bhutada, 2023)

Litis išgaunamas Australijoje (52 %), Čilėje (25 %), Kinijoje (13 %), Argentinoje (6 %), Brazilijoje (1 %), Rusijoje, JAV, Konge, Serbijoje. Po Pietų Amerikos (Bolivijos, Čilės ir Argentinos) kita pagal dydį ličio gamintoja yra JAV, po jos eina Australija ir Kinija. Mažesnius rezervus turi Zimbabvė, Brazilija ir Europos valstybės – Portugalija (1 %), Serbija (1,3 %), Vokietija (3 %) (4.6 pav.). JAV geologijos tarnybos 2023 m. sausio mėn. duomenimis, Čilėje buvo 9,3 mln. t patvirtintų ličio atsargų, Australijoje – 6,2 mln. t, Argentinoje – 2,7 mln. t ir Kinijoje – 2,0 mln. t ličio. Europos žemyno šalyse (Portugalijoje, Vokietijoje, Austrijoje, Čekijoje, Suomijoje, Serbijoje ir Ispanijoje) taip pat yra daug ličio išteklių (Akbar, 2023) (4.7 pav.).

Numatoma, kad iki 2025 m. ličio paklausa pasieks 1,5 mln. t ličio karbonato ekvivalento, o iki 2030 m. – daugiau nei 3 mln. tonų. 2000 m. pasaulyje per metus buvo pagaminta apie 14 000 t ličio, iki 2020 m. pasaulinė Li gamyba išaugo daugiau kaip 5 kartus ir pasiekė 82 500 t per metus. Tikimasi, kad Li paklausa ir toliau



4.7 pav. Druskai kristalizuojantis ir garuojant vandeniui paviršiuje susidaro šešiakampiai dariniai (failas: Salar Uyuni auo1.jpg)

didės ir iki 2030 m. gamyba sieks 300 000–600 000 t per metus. JAV geologijos tarnybos duomenimis, pasaulyje yra 98 mln. t ličio, didžiausia šių išteklių dalis (53 %) yra vadinamajame „ličio trikampyje“ – Bolivijoje, Čilėje ir Argentinoje. Europos šalys turi beveik 7,4 mln. t ličio, o Afrika – beveik 5 mln. tonų. Apskaičiuota, kad vien 2023 m. pradėtoje eksploatuoti Cauchari-Olaroz radimvietėje (Argentina) yra 1,1 mlrd. m³ sūrymo atsargų, iš jų viename litre yra 607 mg ličio. Vietovės (įrodytose ir tikėtinos) atsargose yra 682 920 t metalinio ličio, arba 3,6 mln. t ličio karbonato ekvivalento.

Mokslininkai kuria naujas alternatyvias baterijas, norėdami pakeisti litį ir kobaltą (taip pat kenksmingą metalą) mažiau toksiškomis ir lengviau prieinamomis medžiagomis. Kadangi ličio ir kobalto atsargos nepatenkins būsimos paklausos, siūloma atkreipti dėmesį į geležį ir silicį. Skirtingai nuo ličio jonų akumuliatorių, geležies srauto baterijų gamyba yra pigesnė.

Kur slūgso didžiausios ličio atsargos

Didėjant elektromobilių kiekiui ir švarios energijos paklausai, Australija siekia patenkinti didžiąją pasaulio ličio paklausos dalį (2021 m. – 52 %). Nors tvarios energetikos plėtra padės sumažinti iškastinio kuro poreikį, tačiau kyla dar vienas klausimas – kaip galime tvariai gauti ličio?

Netoli Perto (Vakarų Australija), už istorinio Grinbušeso (Greenbushes) kasyklų miestelio, atsiveria senos alavo kasyklos įduba. Maždaug 265 m gylio terasinės duobės siena atspindi šimtmečio darbą, prasidėjusį 1888 m., kai iš netoliese esančio upelio buvo iškeltas pirmas svaras alavo (4.8 pav.). Pirmąjį pramonės dešimtmetį alavo kaina buvo maža. Kai paviršinis metalas buvo išekspluatuotas, atėjo eilė atvirai kasybai pegmatito gysloje. Pegmatitas – tai magminė uoliena, kurios tekstūra panaši į granito tekstūrą. 1980 m. Grinbušese buvo rastas kitas metalas, kuris tuo metu kasyklos savininkams buvo

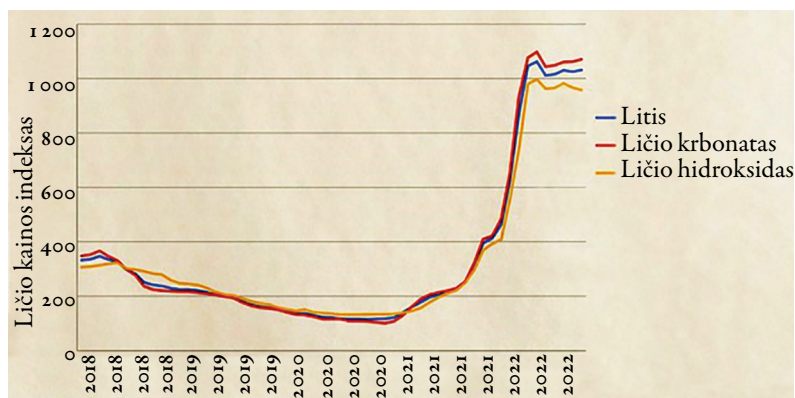


4.8 pav. Atvira Grinbušeso ličio kasykla Vakarų Australijoje
(failas: Open pit of the Greenbushes mine, January 2023 07.jpg; CC BY-SA 4.0)

mįslė – minkštas, sidabriškai baltas reaktyvus šarminis metalas litis buvo laikomas geologine keistenybe.

Mažos apimtios kasyba prasidėjo 1983 metais. Išgaunamas litis buvo naudojamas vadinamosiose nišinėse pramonės operacijose, pavyzdžiui, stiklo, plieno, liejinių, keramikos, tepalų ir metalų lydinių gamyboje. Tik po dešimtmečių, kai suvokta klimato kaitos keliama egzistencinė rizika ir vyriausybės pradėjo kalbėti apie 1,45 mlrd. benzininių automobilių pasaulyje keitimą elektra varomomis transporto priemonėmis, buvo įvertinti Grinbušeso rezervai. Grinbušesas tapo didžiausia ličio kasykla pasaulyje.

Mažiau nei per dvejus metus ličio turtingos Australijos žaliavos kainos išaugo daugiau nei dešimt kartų (4.9 pav.). Rafinuotas litis naudojamas nešiojamųjų kompiuterių, telefonų ir elektromobilių baterijų gamyboje. Jei pasaulis sieks Paryžiaus susitarimo tikslų, ličio paklausa gali išaugti daugiau nei 40 kartų. Taigi kyla klausimas, ar ličio kasyba yra tvari? 2021 m. vien Grinbušese išgaunamas litis sudarė daugiau nei penktadalį pasaulinės gavybos (4.10 pav.). 2019 m. kasyklos savininkai gavo leidimą padvigubinti sklypo dydį, kuris,



4.9 pav. Ličio ir ličio rūdų kainų šuolis (Kurmelovs, 2022)



4.10 pav. Ličio rūda (spodumenas $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$)

kai bus baigta plėtra, apims 2,6 km ilgio, 1 km pločio ir 455 m gylio karjerą. Nors Grinbušesas yra didžiausia ličio kasykla Australijoje, kurioje gauta 40 % iš 2021 m. visoje šalyje išgautų 55 000 t ličio, šalia yra dar keturios kitos kasyklos (aplink Kalgurlij (Kalgoorlie) rytuose, Pilbaros regione tolimojoje šiaurėje, netoli Darvino miesto).

Bendra šalies ličio gavyba leido Australijai 2021 m. tenkinti maždaug pusę pasaulinės ličio paklausos. Kitos didžiausios ličio tiekėjos yra Čilė ir Kinija, išgaunančios litį iš druskožemių. Tikimasi, kad per ateinančius kelerius metus situacija keisis, nes Pietų Amerikos „ličio trikampio“ šalys (Čilė, Argentina ir Bolivija), kurios kartu turi didžiąją dalį pasaulyje žinomų ličio išteklių, didins savo gamybą. Vien Čilė šiuo metu gamina ketvirtadalį pasaulio produkcijos ir turi beveik 10 % pasaulio išteklių. Toliau pagal išteklius rikiuojasi Bolivija – 24 % žinomų pasaulio ličio atsargų ir Argentina – 21 %, nors kol kas nė viena iš jų dar reikšmingai neprisideda prie pasaulinės gamybos. Plėtojant ličio gavybos pramonę, pasaulis susiduria su pasirinkimo problema, iš kur gauti šį svarbų mineralą: iš kietųjų

uolienų, kaip Australijoje, arba iš druskingo požeminio vandens, kaip Čilėje. Kietojo uolieninio ličio kasybos poveikis aplinkai yra beveik toks pat, kaip ir bet kurios kitos panašios kasybos, tačiau išgavimas iš sūrymo yra radikaliai kitoks.

Kalbant apie ličio kasybą Australijoje ir jos poveikį aplinkai, dažnai nesuvokiama, kad ji skiriasi nuo Pietų Amerikos situacijos. Tą skirtumą pirmiausia lemia geologija. Jaunesniuose kraštovaizdžiuose, pvz., Pietų Amerikoje, ličio randama aukštai esančių druskingų ežerų dugne. Australijos geologija yra senesnė ir ličio turinčių pegmatito rūdų randama visame žemyne.

Rūdų rafinavimas yra pavojingas aplinkai, nes jam reikia daug energijos ir cheminių medžiagų, nors ličio gavyba Australijoje nedaug skiriasi nuo kitų metalų gavybos technologijų. Nustačius ekonomiškai perspektyvius išteklius, paviršius nuvalomas, žemė nugramdoma, uolienos sprogdinamos ir vežamos perdirbti į koncentratą. Kiekvienas kietųjų uolienų telkinys yra unikalus. Įprastoje kasyklų rūdoje gali būti 1–2 % Li_2O , o tipiškame spodumeno koncentrate, tinkančiame ličio karbonato gamybai, yra 6–7 % Li_2O .

Pietų Amerikoje šis procesas yra sudėtingesnis. Druskos ežero dugne esantis litis paprastai yra susimaišęs su daugybe kitų mineralų. Norint jį išskirti, reikia išsiurbti sūrymą iš ežero dugno, laukti, kol saulė išgarins vandenį ir ličio koncentracija pasieks 6 000 milijoninių dalių (ppm). Vienai tonai ličio pagaminti reikia išgarinti maždaug 1,9 mln. l vandens. Salar de Uyuni (Bolivija) sūryme ličio koncentracija siekia 0,3 %.

Galimas ličio ir kitų mineralų dekarbonizavimas, tačiau šių mineralų gavyba dažnai žalinga aplinkai. Iš sūrymo tvenkinių išgautą ličio karbonatą, kad jis taptų ličio hidroksidu – baterijų gamintojų pageidaujama medžiaga, reikia apdoroti įvairiomis technologinėmis operacijomis. Norint gauti spodumeną, Australijos karjeruose iškastą uolą reikia susmulkinti ir termiškai apdoroti. Ši žaliava, kurioje yra

apie 6 % ličio, vėliau gabenama išvalyti į Kiniją. Kinijoje išvaloma 60 % viso ličio ir 80 % ličio hidroksido. Siekdama diversifikuoti tiekimo grandines, Australija šalia savo ličio kasyklų stato vietinius perdirbimo įrenginius. Šalyje siūlomos trys skirtingos ličio žaliavų rafinavimo kryptys. Spodumeno koncentrato terminiam apdorojimui reikia daug elektros energijos ir sieros rūgšties. Vengiant aplinkos taršos, reikia galvoti, kaip ir kur šalinti susidariusį šlaką. Šiaurinėje Australijos dalyje esančios kasyklos yra atogrąžų ekosistemoje, todėl čia didelė ciklonų rizika, o gausios liūtys yra kasybos priešas. Manoma, kad reikia stabdyti iškastinio kuro gavybos plėtrą, bet alternatyvaus kuro kasybą taip pat reikia kruopščiai išanalizuoti. Kai kurie Australijos politikai teigia, kad metalų, reikalingų dekarbonizacijos plėtrai, gavyba yra prioritetinga ir tiesiogiai padeda kovoti su klimato kaita.

Ličio kasybos problemos Australijoje niekuo nesiskiria nuo bet kurios kasybos pramonės, nes atvira kasyba giliai pažeidžia kraštovaizdį ir ekosistemą. Kasybos sukeltos dulkės gali patekti į vandens telkinius, užteršti upes arba pasiekti miestus. Stiprus lietus gali nuplauti mineralus į netoliese esančias upes arba požeminį vandenį. Australijoje litis greičiausiai nebus intensyviai kasamas, priešingai, bendra kasybos apimtis gali sumažėti, nes mažėja anglies poreikis. Kitas būdas, mažinantis naujų ličio kasyklų poreikį, yra rūdų perdirbimo rodiklių gerinimas.

2023 m. Kornvalyje (D. Britanija) buvo paskelbta apie ličio karbonato – pagrindinio elektromobilių akumuliatoriaus komponento – gavybą. Gavybos tikslas – iki dešimtmečio pabaigos aprūpinti šiuo svarbiu komponentu 500 000 elektromobilių per metus. Apskaičiuota, kad esamų išteklių pakaktų pratęsti kasyklos eksploatavimą daugiau kaip 30 metų ir pagaminti 20 000 t ličio karbonato per metus. Toks kiekis tenkintų apie du trečdalius Didžiosios Britanijos baterijų poreikio iki 2030 metų. Kornvalio kasybos paveldas yra labai turtingas. 1870-aisiais jame buvo per 2 000 alavo kasyklų ir jis buvo pasaulinis alavo gamybos lyderis.

2024 m. apie atrastus ličio telkinius pranešė Tailando žiniasklaida. Apskaičiuota, kad radimvietėje yra 14,8 mln. t ličio rūdos. Telkinyje yra lepidolito ($\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})_3\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$), kuriame vidutinis ličio oksido kiekis yra 0,45% ir kurio pakaktų pagaminti milijonui 50 kilovatvalandžių talpos baterijų. Paskelbimo metu telkinys buvo apibūdintas kaip trečias pagal dydį pasaulio ličio rezervas. Socialinė žiniasklaida atkreipė dėmesį, kad rūdos kokybė gali būti žema, todėl reikės atlikti tolesnius tyrimus, kad būtų galima nuspręsti, ar ji būtų tinkama komercinei gamybai.

Ličio baterijos ir jų perdirbimas

Atsižvelgiant į nuolatinį transporto priemonių elektrifikavimą ir masinę baterijų gamybą, ličio jonų baterijų (LIB) perdirbimas darosi labai svarbiu veiksniu. Kol kas dar abejojama, ar įmanoma sukurti didelę ličio jonų baterijų perdirbimo pramonę. Litis sudaro tik 1 % elektromobilių akumulatoriaus, didžioji dalis akumulatoriaus medžiagų – plienas, plastikas, aliuminis ir varis – yra regeneruojamos. Likusi dalis – vadinamoji „juodoji masė“, kurią sudaro litis, grafitas ir kobaltas, sunkiau regeneruojama, bet vis tiek gali būti atgaunama. Pirmenybę reikėtų teikti kobalto regeneracijai, nes jis labiausiai teršia aplinką. Europos Sąjunga direktyva įpareigojo gamintojus į naujas baterijas įdėti bent 4 % perdirbto ličio. Šiuo metu Australija perdirba tik 10 % ličio jonų baterijų atliekų. Panaudotų baterijų perdirbimas privačiai pramonei dar yra per brangus, tačiau jis taps neatidėliotina problema, kai baigsis elektromobilių akumuliatorių naudojimo laikas. Šiuo metu pasaulyje perdirbama tik 3 % panaudotų baterijų ir atgaunama <1 % Li.

Siekiant sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir riboti visuotinio atšilimo poveikį, vis plačiau pasaulyje naudojamos elektrinės transporto priemonės. Daugiau nei 20 šalių paskelbė

apie planus siekti elektrifikavimo tikslų arba uždrausti tradicinius vidaus degimo variklius naudojančius automobilius ne vėliau kaip iki 2050 m., o daugiau nei 120 šalių ir Europos Sąjunga įsipareigojo per ateinančius dešimtmečius siekti nulinės taršos emisijos. Sparčiai auganti elektromobilių gamyba ir baterijoms reikalingų žaliavų (Ni, Co, Mn, Li, grafito) paklausa lemia kasybos ir gamybos plėtrą. Prognozuojama, kad ateityje trūks žaliavų, ypač Li ir Co.

Buitinės elektronikos vidutinė ličio jonų baterijų (LIB) eksploatavimo trukmė yra 1–3 metai, o elektrinių transporto priemonių energijos kaupimo sistemų – 8–10 metų. Iki 2023 m. bus maždaug 0,2 mln. t panaudotų akumuliatorių ir 0,88 mln. t energijos kaupimo sistemų. Jei panaudotos LIB nebus tinkamai tvarkomos, į aplinką gali patekti toksiški sunkieji metalai (Co, Ni, Mn) ir dujos (HF), o didelės panaudotų LIB sankaupos gali kelti didelį gaisro ir sprogimo pavojų. Tačiau panaudotos LIB gali būti vertinamos ir kaip išteklius. Visas panaudotų LIB vidines medžiagas galima pakartotinai naudoti naujų baterijų gamyboje. Todėl LIB perdirbimas galėtų būti antrinis medžiagų gamybos šaltinis, papildantis naujų baterijų gamybos grandinę. Be to, naudojant regeneruotas katodines medžiagas, būtų galima sutaupyti daugiau nei 20 % visų LIB sąnaudų, o dar daugiau sutaupyti padėtų kitų komponentų perdirbimas. LIB perdirbimas užkirstų kelią galimai aplinkos taršai, o tvari ekonomika atneštų ilgalaikę naudą. LIB baterijų perdirbimą apsunkina komponentų išardymas ir atskyrimas. Pirometalurginiai LIB perdirbimo procesai yra mažiau ekonomiškai, nes galima perdirbti tik katodines medžiagas ir srovės kolektorius. Hidrometalurginis procesas yra ekonomiškesnis, nes sujungia pirometalurginio ir tiesioginio perdirbimo pranašumus.

Nuo 1991 m., kai pirmą kartą buvo parduota LiCoO_2 (LCO) baterija, LIB katoduose naudojamos medžiagos sparčiai tobulėjo. Sluoksniniai oksidai, špinelio oksidai ir polianijonų oksidai yra trys pagrindinės katodinių medžiagų rūšys. Šiuos katodus gali sudaryti įvairūs

elementai, tokie kaip Ni, Mn ir Co. $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ (NMC) yra laikoma perspektyviausia katodo medžiaga. Pastebima Ni kiekio didinimo tendencija, o Co kiekio mažinimu siekiama didesnės baterijos talpos ir mažesnių medžiagų sąnaudų. Be įvairių esamų cheminių medžiagų, gamintojai baterijoms naudoja dviejų ar daugiau katodinių medžiagų mišinį (Xiaotu Ma ir kt., 2021).

Kartu buvo kuriamos ir anodo medžiagos – nuo grafito iki silicio, kad galiausiai būtų panaudotas ličio metalo anodas. Dabartinėse LIB anodo medžiaga yra grafitas. Dėl mažos pridėtinės vertės jis dažnai neperdirbamas. Laimė, grafito ir silicio anodų medžiagos yra gana inertiškos, o tai reiškia, kad jas galima lengvai išgauti daugelyje perdirbimo procesų, tačiau vis dar yra iššūkis atkurti medžiagų originalias struktūras ir veikimą. Pastebėta, kad sluoksninė grafito struktūra suyra arba užsiblokuoja įsiterpus Li jonams. Silicio anodai smarkiai plečiasi ir susitraukia, todėl apsauginiai apvalkalai lūžta ir įtrūksta, o vėliau subyra į atskiras silicio daleles.

Kas gali pakeisti litį

Ateityje tikimasi, kad kietojo kūno baterijos bus tinkamesnės dėl jų stabilesnio veikimo, mažesnės kainos ir didesnio energijos tankio, palyginti su dabartinėmis LIB baterijomis. Pagrindinis iššūkis baterijų perdirbėjams yra kietojo elektrolito atskyrimas nuo kitų akumuliatoriaus komponentų. Antra vertus, nors ličio anodas suteikia didelį energijos tankį, didelis jo reaktyvumas kels pavojų saugai ir aplinkai.

Pavyzdžiui, natrio ir sieros (NAS) baterijos gali saugoti megavatus atsinaujinančios energijos, pagamintos vėjo ir saulės jėgainių. Tai labai svarbu, kai šių šaltinių nėra. Nutrūkus elektros tiekimui arba atliekant apkrovos balansavimo operacijas, NAS baterijose esanti elektra gali ap rūpinti tūkstančius namų ir įmonių. Šiose baterijose esantys natrio ir sieros elektrodai, atskirti keraminiu elektrolitu, gali tiekti didelės galios

energiją šešias ar daugiau valandų. Japonijoje vienoje 252 NAS baterijų talpykloje yra 50 megavatų galia ir 300 megavatvalandžių talpa. To užtenka maždaug 30 000 namų ūkių vienai dienai. Aktyvios NAS baterijos medžiagos yra išlydyta siera kaip teigiamas elektrodas ir išlydytas natrijs kaip neigiamas elektrodas. Elektrodai atskirti kieta keramika, β -aliuminio oksidu, kuris kartu yra ir elektrolitas. β -aliuminio kietojo kūno elektrolito joninis laidumas yra panašus į išlydytų druskų laidumą. Kietajame elektrolite yra labai judrių jonų, kurie juda šokinėdami per kietą kristalą. Pagrindinis kietųjų elektrolitų pranašumas prieš skystuosius yra didesnis saugumas ir didesnis galios tankis. Ši kieta keramika praleidžia tik teigiamai įkrautus natrio jonus. Iškvrovos metu elektronai pašalinami nuo natrio (vienas neigiamai įkrautas elektronas kiekvienam natrio atomui) ir susidaro natrio jonai, kurie per elektrolitą juda į teigiamo elektrodo skyrių. Nuo metalinio natrio atskirti elektronai juda grandine ir grįžta į akumuliatoriaus teigiamą elektrodą, kur juos priima išlydyta siera ir susidaro polisulfidas. Teigiamai įkrauti natrio jonai, judantys į teigiamo elektrodo skyrių, subalansuoja elektronų krūvio srautą. Įkvrovimo metu šis procesas yra atvirkštinis. Dėl sklandesnio proceso akumuliatorius turi būti karštas (paprastai $>300^{\circ}\text{C}$), t. y. autonominiai šildytuvai yra baterijos sistemos dalis. Apskritai Na/S celių efektyvumas yra aukštas ir siekia 89 %. NAS baterijų tarnavimo laikas yra apie 15 metų, o visiškas įkvrovimas ir iškvrovimas sudaro 4 500 ciklų. Kadangi NAS baterijos aktyvios medžiagos yra išlydytos, įkvrovimo ir iškvrovimo metu nevyksta perėjimas tarp kieto elektrodo ir skysčio, taip pat nėra pašalinių reakcijų, todėl galima tikėtis ilgo eksploatacijos laiko.

Kadmio telūrido fotovoltinės celės

Apie 500 km nuo Kanarų salyno, 1 000 m žemiau vandens lygio Atlanto vandenyne yra 3 000 m aukščio stalkalnis. Pagrindinis

elementas, aptiktas stalkanio plutos mėginiuose, yra telūras. Šio elemento koncentracija yra 50 tūkstančių kartų didesnė nei sausumoje aptiktuose telkiniuose. Telūras negali pakeisti ličio, tačiau jis naudojamas pažangiai fotovoltinei energetikai. Šis puslaidininkis turi didesnę šviesos konversijos koeficientą, todėl labai tinka fotovoltinei energetikai. Kadmio telūrido (CdTe) saulės elementai pamažu įsitvirtino fotovoltinės energetikos rinkoje. Nors rinkoje ir toliau dominuoja silicis, CdTe jau užima apie 7 % rinkos. Laboratorinis CdTe saulės baterijų konversijos efektyvumas viršija 22 % ir artėja prie teorinio >30 % efektyvumo, o moduliai pasiekė 18,6 %, tai yra viršijo daugiakristalinio silicio modulių efektyvumą. Po kristalinio silicio saulės elementų kadmio telūrido fotovoltinės saulės baterijos yra antra labiausiai paplitusi saulės elementų fotovoltinė technologija. Manoma, kad tai yra mažiausios kainos už vatą ir greičiausiai atsiperkanti technologija, kuri gamybos metu išmeta mažiausiai CO₂. CdTe saulės elementų gamyba yra palyginti greita ir pigi. Plona CdTe plėvelė gali labai efektyviai sugerti ir paversti saulės šviesą elektra. Ir nors kadmio yra daug, telūro gausai pasaulyje prilygsta tik platinos kiekis. Remiantis tyrimais, telūro atsargų šioje stalkalnio plutoje yra apie 2670 t, o tai yra viena dvyliktoji pasaulinių aptiktų elemento telkinių (Shukman, 2017). Mėginiuose rasta ir kai kurių kitų retų mineralų ir elementų pėdsakų. Šie mineralai taip pat gali būti naudojami atsinaujinančios energijos plėtrai, nes paklausūs vėjo jėginių gamyboje.

Jūrų kasyba dėl šaltinių gausos yra labai svarbi ekonominiu požiūriu. Be to, kai kurių retųjų žemės elementų paklausa sparčiai auga, nes atsiranda naujų technologijų. Nors mineralų (pvz., aukso) gavyba sekliuose vandenyse vykdoma jau seniai, giliavandenės gavybos pramonė dar laukia komercinio postūmio. Iki šiol pramonės susidomėjimą kėlė trys pagrindiniai telkiniai: *polimetalinės konkretijos* (jose gausu mangano, nikelio, kobalto, vario, ličio, molibdeno,

geležies ir retųjų žemės elementų), *jūros dugno sulfidų plutos* (gausu vario, aukso, sidabro, cinko ir kitų metalų pėdsakų) bei kobalto turtingos *ferromangano plutos* (jose daug kobalto, nikelio, vario, geležies, mangano, retų metalų – volframo, platinos, bismuto, telūro ir retųjų žemių elementų). Jūrinis fosfatas dar naudojamas kaip trąšos, o metano hidratai naudojami įprastinėje energetikoje. Nors telūras labai svarbus atsinaujinančiai energetikai, giliavandenė kasyba yra labai prieštaringa, nes gali padaryti negrįžtamą žalą jūrų ekosistemai. Šiuo metu giliavandenės kasybos poveikis ekosistemoms dar menkai žinomas. Iki šiol giliavandenės kasybos nevyko, todėl sunku iki galo numatyti riziką. Manoma, kad mineralų eksploatavimas gali padaryti didelę žalą jūros aplinkai ir žuvininkystei. Nors mineralų gavyba jūroje neturėtų tiesioginio poveikio žmonėms, dideliame plote ji pakenktų visai jūros ekosistemai. Didžiausią nerimą kelia smulkių dalelių tarša kasybos metu – vanduo perneštų didelį jų kiekį net 1 km atstumu (Akhmetkaliyeva, 2020). Prieš pradėdant jūrų kasybą, svarbu įvertinti riziką ir imtis atsargumo priemonių, kad būtų išvengta žalos ekosistemoms.

Tvaresnių medžiagų baterijoms paieška

Ličio ir kitų mineralų, kurių reikia baterijoms, gavyba akivaizdžiai kenkia aplinkai. Mokslininkai kuria galimas alternatyvas šiandien įprastoms ličio jonų ir grafito baterijoms ir siekia baterijų gamybai naudoti tvaresnes ir plačiau prieinamas medžiagas. Ličio kasyba gali turėti didelį poveikį aplinkai. Metalui išgauti reikia daug vandens ir energijos, o šis procesas palieka didžiulius randus kraštovaizdyje. Ličio junginiai rafinavimui dažnai gabenami dideliais atstumais nuo gavybos vietos, pavyzdžiui, iš Australijos į Kiniją. Grafitas taip pat kasamas arba gaminamas iš iškastinio kuro, jo gamyba turi neigiamą poveikį aplinkai. Ličio jonų baterijoms

naudojamas kobaltas daugiausia išgaunamas Kongo Demokratinėje Respublikoje. 2022 m. čia išgauta beveik du trečdaliai pasauliui reikalingo kobalto.

Gamtoje yra nemažai plačiau prieinamų alternatyvių medžiagų, bet retai kuri iš jų gali konkuruoti su rinkoje jau esančiomis baterijomis. Vis dėlto yra ir konkurencingų alternatyvių sprendimų. Nutrūkus elektros tiekimui, gatvėje bankomatas paslaugiai išduoda banknotus. Jo veiklą užtikrina sudegusi medvilnė. Šio bankomato viduje esančios baterijos anglinis elektrodas yra gautas iš sudegintų medvilnės atliekų. Tokios baterijos gamyba kol kas neviešinama, slepiama proceso temperatūra, slėgis ir atmosfera. Procesui reikalinga temperatūra viršija 3 000 °C. Iš 1 kg medvilnės gaunama 200 g anglies, o vienam baterijos elementui reikia tik 2 g. Vienam iš dviejų elektrodų, tarp kurių teka jonai, – anodui naudojamas ne grafitas, o anglis, gauta iš sudegintų medvilnės atliekų. Jonai juda viena kryptimi, kai baterija kraunasi, ir kita kryptimi, kai energija naudojama. Dauguma baterijų anodui taip pat naudoja iš anglies pagamintą grafitą, tačiau šios baterijos gamyba tvaresnė, nes anodas pagamintas iš tekstilės pramonės atliekų. Kaip ir kitas baterijas, šią bateriją sudaro du elektrodai (teigiamai įkraunamas katodas ir neigiamai įkraunamas anodas) ir elektrolitas. Kai baterija naudojama, įkrautos dalelės (jonai) per elektrolitą teka iš anodo į katodą. Šios baterijos anglies elektrodo (anodo) paviršiaus plotas yra didesnis nei grafitinio elektrodo, todėl ji įkraunama labai greitai, net iki 10 kartų greičiau nei ličio jonų baterijos. Baterijos katodas pagamintas iš „tauriųjų metalų“ oksido. Iš kokio metalo (vario, švino, nikelio ar cinko) pagamintas katodas neatskleidžiama, tikėtina, kad iš mažiau reaktyvių nei šarminiai metalai medžiagų, tokių kaip litis. Baterijos bus prieinamos tik nuo 2025 metų. Galimybė greitai įkrauti bankomato bateriją nėra labai svarbi, ji aktualesnė elektra varomai transporto priemonei. Naudodamas

tokias baterijas elektrinis dviratis galės važiuoti 50 km/h greičiu ir vienu įkrovimu nuvažiuoti 70 km.

Ši baterija ne vienintelė, kuri naudoja anglį iš biomedžiagų atliekų. Suomijoje sukurtas baterijos anodas iš lignino – medžiuose randamo rišančio polimero. Kai kurių mokslininkų teigimu, vietoj elektrolito, kuris palengvina jonų srautą tarp katodo ir anodo, gali būti naudojama ir medvilnė, todėl gali būti sukurtos stabilesnės kietojo kūno baterijos nei šiuo metu turimos.

Kai kurie mokslininkai gamtoje mato dar didesnius, potencialiai neišsenkamus energijos šaltinius, nes didžiuliai pasaulio vandenynai yra praktiškai neribotas medžiagų baterijoms sandėlis. 2022 m. paskelbtuose baterijų aprašuose energiją perneša jūros vandenyje esantys natrio jonai. Baterijai sukurtas specialus polimerinis elektrolitas, per kurį gali judėti natrio jonai. Jūros vanduo čia veikia kaip katodas arba teigiamai įkrautas elektrodas. Anodo nėra, nes natriis neįkraunamas neigiamai, jis kaupiasi neutralia forma. Natriui kaupti gali būti panaudotas vėjo ar saulės energijos perteklius ir jis gali būti tokios formos, kol jo prireiks. Kai reikia energijos, procesas paleidžiamas, generuojama elektros srovė, o metalas (Na) grąžinamas į vandenyną. Procesas sukelia ir iššūkių, nes natriis, panašiai kaip litis, su vandeniu reaguoja energingai ir gali sprogti.

Kai kurie tyrinėtojai, ieškodami saugesnės katodų alternatyvos, renkasi kalcį. Kalcis gali būti derinamas su siliciu, kuris perneštų kalcio jonus baterijoje. Mokslininkai ieško būdų, kaip naujų tipų elektrodams panaudoti tokias medžiagas kaip kukurūzų atliekos ir melionų sėklų lukštai. Tačiau jų gamyba didesniu mastu, kuris patenkintų augančią baterijų paklausą, gali tapti iššūkiu. 2023 m. grafito baterijoms reikėjo apie 700 kilotonų grafito. Jei tokias baterijas naudosime ir ateityje, jau 2030 m. kasmet prireiks maždaug dviejų megatonų grafito. Gamybos procesų kaita,

atsisakant grafito, gali brangiai kainuoti ir kelti didelę komercinę riziką.

4.8. Kaip didžiausia pasaulyje ekonomika sprendžia išmetamų teršalų problemą

Automobiliai su vidaus degimo varikliais užima ypatingą vietą JAV kultūroje, tačiau norint iki 2050 m. pasiekti nulinę emisiją, šalis turi permąstyti savo santykį su automobiliais. Į automobilius orientuota JAV infrastruktūra ir kultūra yra viena iš šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos priežasčių (Chrobak, 2021). Nuo 2017 m. transportas yra pats didžiausias šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos šaltinis JAV. Automobiliai išmeta daugiau teršalų negu elektros energijos gamyba ar pramonė. Daug degalų sunaudojantys visureigiai ir lengvieji sunkvežimiai JAV dabar sudaro didžiąją dalį naujų automobilių registracijų. Jei JAV ketina vykdyti savo įsipareigojimus klimato kaitos srityje ir iki 2030 m. pasiekti pusę 2005 m. išmestų teršalų kiekio, o iki 2050 m. – nulinį išmetamų teršalų kiekį, reikės ryžtingų sprendimų.

Arlingtono mieste (Teksasas) nėra viešojo transporto paslaugų – nei autobusų linijos, nei geležinkelio bėgių. 400 000 miesto gyventojų turi tik savo automobilius ir miesto remiamą pavėžėjimo paslaugą. Suprantama, kodėl automobilis šiame mieste yra mobilumo ir laisvo keliavimo sinonimas, nes autobusai važiuoja retai, o gali ir neatvykti. Atsižvelgiant į žmonių patiriamą izoliaciją priemiesčiuose, neabejotinai kyla ne tik aplinkosaugos, bet ir socialiniai bei politiniai iššūkiai. Paskata pirkti elektromobilius gali prisidėti prie išmetamų teršalų kiekio mažinimo, tačiau norint pereiti prie švaraus transporto, pirmiausia reikia permąstyti dabartinę judumo situaciją, reikalingos didžiulės investicijos, kad JAV miestai, kaip ir Europos ar Azijos, būtų pritaikyti dviračiams ir viešajam transportui. Nuo XX a. vidurio JAV

federalinis transporto finansavimas daugiausiai buvo skirtas automobilių infrastruktūrai, pavyzdžiui, greitkeliams. Pėstieji, dviračiai ir viešasis transportas atsidūrė antroje vietoje. 2019 m. daugiau nei trys ketvirtadaliai amerikiečių į darbą važiavo po vieną žmogų automobilyje. Degindami benziną automobiliai išmeta vidutiniškai 4,6 t CO₂ per metus ir tai prilygsta vieno Prancūzijos gyventojo metiniam išmetamų teršalų kiekiui. Pagal elektromobilių pardavimą JAV kol kas atsilieka nuo Kinijos ir Šiaurės Europos šalių. 2020 m. elektromobiliai sudarė tik 2 % visų parduotų naujų automobilių, kai tais pačiais metais 75 % parduotų naujų automobilių Norvegijoje buvo varomi elektra.

Didesnį atstumą amerikiečiai yra linkę įveikti lėktuvais. 2019 m. žmonių skrydžiai JAV sudarė maždaug 25 % pasaulinės keleivinės aviacijos išmetamų teršalų. Apskaičiuota, kad lėktuvai CO₂ išmeta septynis kartus daugiau nei greitieji traukiniai. Nors dabar daugiau negu 20 šalių turi greitųjų geležinkelių transportą, važiuojantį didesniu nei 320 km/h greičiu, JAV turi tik vieną greitojo geležinkelio liniją. Didelių infrastruktūros projektų, tokių kaip greitasis keleivinis traukinys, plėtra JAV vyksta lėtai dėl daugelio priežasčių. Vietos ir regionų savivaldos turi santykinai didesnę galią priimant sprendimus dėl žemės naudojimo, todėl dideli projektai priklauso nuo jų politikos. Pavyzdžiui, projektas sujungti San Franciską su Los Andželu užsitęsė daugiau nei dešimtmetį ir kol kas nutiesta tik 190 km atkarpa. Federalinė vyriausybė greitkelius finansuoja kur kas dosniau negu geležinkelius. JAV vyriausybė pažadėjo, kad pusė visų 2030 m. parduotų naujų transporto priemonių bus nulinės emisijos, nors šiandien jų parduodama tik 2 %. Kad būtų pasiekta nulinė transporto išmetamų teršalų emisija, vien perėjimo prie elektromobilių nepakanka. Iki 2050 m. perėjus prie elektromobilių, jiems reikalingos elektros energijos kiekis sudarytų pusę šalies elektros energijos poreikio. Sparčiai augant elektromobilių baterijoms reikalingų mineralų (ličio ir kobalto) paklausai, gali atsirasti naujų aplinkos tvarumo problemų.

Viena kol kas neįvertinta aplinkybė, kuri gali būti svarbi mažinant automobilių naudojimą, yra automobilių parkavimas. Apskaičiuota, kad JAV yra net du milijardai automobilių stovėjimo vietų, tai yra maždaug aštuonios vietos kiekvienam automobiliui. Kai yra daug nemokamų automobilių stovėjimo vietų, žmonės skatinami pirkti automobilius. Ir atvirkščiai, jei automobilių parkavimas būtų brangesnis arba problemiškas, tai galėtų skatinti žmones rinktis kitas transporto priemones, pavyzdžiui, dviratį ar autobusą.

Miestų politikos formuotojai tiria ir kitus kovos su perpildytais greitkeliais būdus. Planuojama apmokestinti transporto priemonės nuvažiuotus kilometrus laikantis principo, kad turėtų būti mokama pagal tai, kaip ir kiek naudojamės keliais. Naujuose automobiliuose jau įdiegta technologija, galinti perduoti jų buvimo vietą ir ridą, tačiau dar reikia įvertinti, ar vairuotojai bus pasirengę tam, kad jų kelionės bus stebimos. Nauji mokesčiai už vairavimą ir parkavimą kai kuriems žmonėms gali sudaryti sunkumų, nes daugelis žmonių priversti važiuoti automobiliu, kadangi negali gyventi netoli miesto centro.

Kai kuriose šalyse (Geteborge, Švedija) diegiama spūsių kainodara, kai rinkliavos didėja intensyvesnio transporto eismo metu. Tai sumažina automobilių srautą piko valandomis ir didina naudojamą viešuoju transportu. Kad žmonės pasirinktų mažiau CO₂ į aplinką išskiriančius keliavimo būdus, alternatyvos turi būti veiksmingos. Plečiant greitkelių tinklą, spūstys neišvengiamai grįžta, nes vairuotojai plūsta į greitkelį, sudarydami vadinamąją „sukeltą paklausą“. Kai miestuose važinėti ar vaikščioti yra saugiau ir maloniau, daugiau žmonių pasirenka kitokį keliavimą. Saugi ir patikima infrastruktūra didins dviratininkų ir pėsčiųjų kiekį, nes miestuose daugelis kelionių yra trumpesnės negu 4,8 km, o tokį atstumą galima įveikti pėsčiomis ar dviračiais. JAV šiuo metu svarstomi projektai gali paskatinti pokyčius, dėl kurių transporto sistema išmes kur kas mažiau CO₂. Siūlymai apima mokesčių kreditus elektra varomoms transporto priemonėms,

investicijas į elektromobilių įkrovimo stoteles, nuolaidas elektriniams dviračiams, geležinkelių finansavimą. Tačiau net ir be didelių lėšų vietos lygmeniu yra galimybių keistis. Gatvių tinkle, pavadintame „žaliuoju keliu“, patogiu keliauti dviračiais. „Žaliuosiuose keliuose“ transporto priemonių greitis ribojamas iki 32 km/h, o greitį ribojantys kalneliai atgraso vairuotojus nuo per didelio suartėjimo. Autobusams skirtoms atskiroms eismo juostoms taip pat pakanka minimalių investicijų, o autobusai tampa konkurencingesni, nes išvengia spūsčių.

4.9. Kaip gravitacinės (svarmenų) baterijos padeda spręsti energijos kaupimo problemas

Atsinaujinančios energijos panaudojimas dar susiduria su nemenkais iššūkiais. Kai pučia vėjas, šviečia saulė ar rieda bangos, susidaro daug „žaliosios“ energijos. Bet ką daryti, kai dangus tamsėja ir vėjas nurimsta? Šiandien atsakymas yra paprastas – didinti įprastą energijos gamybą, deginant daugiau iškastinio kuro, nors toks problemos sprendimas prieštarauja nulinės anglies emisijos siekiams. Kai kurie energetikos ekspertai perspektyvą mato didesnėje ličio jonų baterijų plėtroje. Kiti teigia, kad tikroji alternatyva yra „žaliasis“ vandenilis. Dar kiti ateitį sieja su mus supančia beribe jėga – gravitacija.

Ši energijos kaupimo technologija yra paremta Niutono dėsnium – kas pakyla, tas turi ir nusileisti. Kai „žaliosios“ energijos yra daug, ją galima panaudoti didžiuliam svoriui pakelti į nustatytą aukštį. Atsinaujinantiems energijos šaltiniams silpstant, pakeltą svorį galima paleisti judėti žemyn, kad ta energija sukurtų elektros generatorių, tai yra nukreipta žemyn gravitacinė trauka generuos reikalingą elektros energiją.

Panašus metodas naudojamas šiuolaikinėse hidroakumuliacinėse elektrinėse. Vanduo pumpuojamas į viršutinį baseiną (energijos

kaupimas) ir išleidžiamas pro elektros energiją gaminančią vandens turbiną. Pirmoji gravitacinė hidroakumuliacinė elektrinė buvo įrengta Šveicarijoje 1907 metais. 1930-aisiais buvo pradėtos gaminti reversinės hidroelektrinės turbinos. Šie įrenginiai gali veikti ir kaip turbinos sukamas generatorius, ir kaip elektros variklius varomi siurbliai. 1930 m. ši technologija pradėta naudoti Jungtinėse Amerikos Valstijose. Gravitacinės hidroakumuliacinės elektrinės naudingumas 70–80 %, o kai kurių šaltinių teigimu – iki 87 %. 2020 m. bendra hidroakumuliacinių elektrinių galia pasaulyje buvo 181 GW. Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė – vienintelė tokia elektrinė Lietuvoje. Kai energetinės sistemos apkrova maža ir yra daug pigios perteklinės energijos, agregatai pumpuoja vandenį iš žemutinio vandens baseino – Kauno marių į aukštesnį vandens baseiną – dirbtinį rezervuarą, esantį 100 m aukščiau marių vandens lygio, ir taip sukaupiama (akumuluojama) vandens potencinė energija. Instaliuota galia yra 900 MW, metinė elektros gamyba – 670 GWh (2015). Hidroakumuliacinių elektrinių statyba nėra lengva – joms reikia didelio kapitalo, tam tikro vietovės reljefo ir daug vandens.

Jei pasaulis nori pasiekti grynąjį emisijos nulį, reikia energijos kaupimo sistemos, kurią būtų galima įrengti beveik bet kur ir dideliu mastu. Kad tai taptų realybe, mokslininkai išbandė pirmąjį gravitacijos akumuliatoriaus prototipą, kurį sudarė 15 m plieno konstrukcijų bokštas ir 50 t pakabintas geležinis svarmuo. Centimetras po centimetru elektros varikliai pakėlė masyvų svarmenį į konstrukcijos viršų, o tuomet pamažu paleido jį judėti žemyn. Judėdamas žemyn svarmuo suko elektros generatorių ir gamino elektros energiją. Šis nedidelis įrenginys pagamino 250 kW momentinės galios, kurios trumpam pakaktų maždaug 750 namų ūkių.

Gravitacijos baterijos gali būti skirtingos konstrukcijos, tačiau visos naudoja tą patį energijos generavimo principą (4.11 pav.).

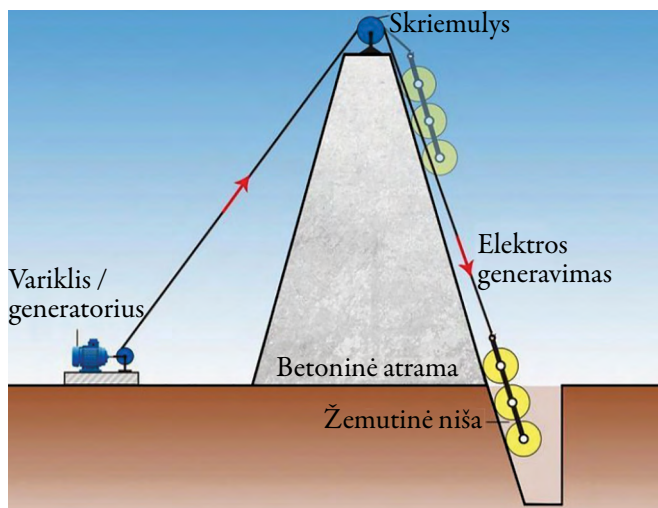
Gravitacinė potencinė energija yra darbas, reikalingas objektui judėti priešinga Žemės traukos kryptimi, išreikštas lygtimi:

$$U = mgh;$$

čia U – gravitacinė potencinė energija, m – objekto masė, g – objekto pagreitis dėl gravitacijos ($9,8 \text{ m/s}^2$ žemėje), h – objekto aukštis. Taikant darbo ir energijos principą, bendrą pagamintos energijos kiekį galima išreikšti lygtimi:

$$\Delta E = mg(h_1 - h_2);$$

čia E yra bendras generuojamos energijos kiekis, h_1 ir h_2 – pradinis ir galutinis keliama svarmens aukštis. Kuo didesnė masė pakeliama, tuo daugiau sukaupiama gravitacinės potencinės energijos.



4.11 pav. Gravitacinės baterijos veikimo principas
(<https://www.pinterest.com/pin/gravity-battery--585749495301282806/>)

Gravitacinėje baterijoje masė pakeliama, kad būtų sukurta gravitacinė potencinė energija, kuri svarmeniui leidžiantis žemyn paverčiama elektros energija. Svarmens pakėlimui į tam tikrą aukštį naudojami siurbliai, kranai ar varikliai. Tikimasi, kad vieno svarmens sistemos pasieks visą galią greičiau nei per sekundę. Nors tarp mažai CO₂ į aplinką išskiriančių ilgalaikių energijos kaupimo būdų hidroakumuliacinių jėgainių energijos sąnaudos šiuo metu yra mažiausios, manoma, kad ličio jonų baterijos ateityje jas aplenks. Hidroakumuliacinė energetika kelia mažą pavojų aplinkai ir saugumui, o vienintelis plėtrą ribojantis veiksnys yra vietovės geologija.

2017 m. Šveicarijoje pastatytas tokio įrenginio prototipas prilygsta daugiau nei 20-ies aukštų pastatui (4.12 pav.). Kai ekologiškos energijos tiekimas viršija poreikį, vienas iš kelių dirbtinio intelekto valdomų kranų pakelia kelis 35 t sveriančius blokus aukštyn. Kai



4.12 pav. 75 m aukščio gravitacinės baterijos prototipas Šveicarijoje (failas: Energy Vault Test Tower 2021.jpg. CC BY-SA 4.0)

paklausa viršija pasiūlą, svarmenys leidžiasi žemyn ir gamina energiją tūkstančiams namų. Įrenginys, kurio galia apie 100 MWh, per dieną gali aprūpinti energija apie 25 000 namų ūkių. Ar tokių įrenginių statyba gali būti problemiška? Manoma, kad ne, nes sistemos greičiausiai bus šalia vėjo ir saulės jėgainių, toli nuo miestų centrų. Toks sprendimas gali reikšti pasikeitusią šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos stabdymo kryptį.

Nors šie įrenginiai buvo skirti darbui ant žemės paviršiaus, inžinieriai nukreipė žvilgsnį į žemės gelmes. Ne visur reikia statyti didžiulius bokštus, nes galima pasinaudoti nebeveikiančiais įrenginiais ar statiniais. Jie ieškojo uždarytų anglių kasyklų Didžiojoje Britanijoje, Rytų Europoje, Pietų Afrikoje ir Čilėje. Pasaulyje yra daugybė nenaudojamų kasyklų šachtų, kurios yra pakankamai giles, kad tilptų 300 m ir dar didesni įrenginiai. Būtina atidžiai įvertinti esamas struktūras (šachtos šulinį, aplinką) ir įsitikinti, kad jos yra geros būklės ir gali atlaikyti kelis tūkstančius tonų sveriantį svarmenį. Taip pat atsižvelgti į galimas saugos problemas, susijusias su metano dujų kaupimusi ir šachtų užtvindymu. Senoje anglių kasykloje Čekijoje inžinieriai stato naujo tipo energijos kaupimo įrenginį. Tai bus efektyvi gravitacijos baterija. Sistema pakels ir nuleis sunkius svarmenis kasyklos šachtoje ir taip kaups ar gamins energiją. Šachtos skersmuo siekia apie 7 m, o gylis – 900 metrų. Kai antžeminės vėjo turbinos (arba saulės baterijos) gamina per daug energijos, ji naudojama gervėms sukuti ir kelti aukštyn svarmenis. Taip įkrauta „baterija“ gali bet kuriuo momentu pradėti gaminti elektrą ir tiekti ją vartotojams.

Nors bandomos technologijos dar yra tik siekiamybė, anksčiau ar vėliau visos šalys turės priimti tam tikrą „žaliosios“ energijos kaupimo formą. Energijos kaupimo priemonės užtikrins ilgalaikę energijos saugojimą ir palaikys reikalingą jos kiekį, kai energijos iš atsinaujinančių šaltinių yra mažai. Kol kas didžiausiu energijos kaupimo sistemų

trikdžiu yra esami elektros tinklai, kurie buvo sukurti taip, kad veiktų su įprastomis elektrinėmis, o ne su atsinaujinančiais energijos šaltiniais. Toks tinklas visą laiką turi būti subalansuotas, o operatoriai nuolat turi derinti pasiūlą ir paklausą. Tai daryti sudėtinga, kai tinkle yra staigiems svyravimams jautrūs vėjo ar saulės energijos įrenginiai. Lėtai nusileisdama didelė gravitacinio akumuliatoriaus masė leidžia sistemai beveik akimirksniu pasiekti maksimalią galią. Tokia technologija palaiko tinklo pusiausvyrą, mažina elektros energijos sutrikusio tiekimo riziką, šalina sekundinius energijos svyravimus.

O kaip su ličio baterijomis? Ličio jonų baterijos, kurios maitina telefonus, nešiojamuosius kompiuterius ir elektrines transporto priemones, turi panašius naudingumo rodiklius kaip ir gravitacinės baterijos. Ličio elementų kaina pastaraisiais metais labai sumažėjo, todėl galbūt tikslinga kurti didesnes chemines baterijas. Taip pat svarbu atsižvelgti ne tik į išankstines, bet ir į sistemos eksploataavimo išlaidas. Gravitacijos baterijos yra mechaniniai įrenginiai, todėl jie gali sulūžti, gali nutrūkti lynas, užstrigti pavarų dėžė. Šios problemos nesunkiai sprendžiamos, nes atskirus komponentus galima lengvai pakeisti. Gravitacinės baterijos gali tarnauti net 50 metų. Ličio jonų elementai suyra, o tai reiškia, kad laikui bėgant jų talpa negrįžtamai mažėja. Tyrimais nustatyta, kad ličio baterijų eksploataavimo išlaidos yra dvigubai didesnės negu gravitacinių mechaninių baterijų. Be to, ribojamas cheminių baterijų įkrovimas per dieną, siekiant išsaugoti jų ilgaamžiškumą. Gravitacinėms sistemoms tai neaktualu, nes jų mazgus ar detales galima lengvai pakeisti.

Yra ir kitų gravitacinio principo taikymo būdų. Užuot kėlus aukštyrą didelį svarmenį, „žalioji“ energija gali būti panaudojama panardintam stūmokliui iškelti, kuris grįždamas išstums aukšto slėgio vandenį pro generatorių. Panašios sistemos kuriamos JAV ir Vokietijoje. Neabejotina, kad pasauliui reikia drąsių ir kūrybiškų

klimato kaitą ribojančių sprendimų. Gravitacinės baterijos, išnaudojančios visur esančią jėgą, neabejotinai turi surasti savo nišą.

4.10. Kaip smėlis gali virsti švarios energijos kaupikliu

Suomijos elektros sektorių sudaro branduolinė energetika, atsinaujinanti energetika, kogeneracinės jėgainės ir elektros importas iš kaimyninių šalių. Suomija pirmauja ES pagal vieno gyventojo sunaudotą elektros kiekį. Šalies inžinieriai ieško sprendimų, kaip užtikrinti nuolatinį energijos tiekimą iš atsinaujinančios energijos kintant sezonams ir oro sąlygoms. Jų siūlymas atrodo labai paprastas – naudoti pigų smėlį. „Vatajankoski“ elektrinėje (Suomija) pastatyta pirmoji pasaulyje komercinė smėlio baterija (Benke, 2022). 7 m aukščio plieniniame konteineryje uždarytą bateriją sudaro 100 t statybinio smėlio, du šildymo vamzdžiai ir ventiliatorius. Smėlis tampa baterija, kai jis įkaitinamas iki 500–600 °C naudojant vėjo turbinų ir saulės baterijų pagamintą elektros energiją. Atsinaujinanti energija maitina varžinį šildytuvą, kuris šildo orą smėlio viduje. Ventiliatoriaus pučiamas karštas oras cirkuliuoja smėlyje šilumos mainų vamzdžiais.

Stora izoliacinė medžiaga palaiko 500–600 °C temperatūrą baterijos viduje, net kai lauke šalta. Baterija sukaupia 8 MWh šiluminės energijos. Padidėjus energijos poreikiui, akumulatorius per šilumokačio vamzdžius iškrauna apie 200 kW galios. Tiek pakanka apšildyti ir karštu vandeniu aprūpinti maždaug 100 namų bei plaukimo baseiną mieste, nors tenka papildyti elektros energiją iš tinklo. Akumulatorius įkraunamas naktį, kai elektros kainos mažesnės. Smėlio baterijos naudingumas siekia 95 %.

Tokiai sistemai reikia mažai priežiūros. Įmonė naudoja pigų, netinkamą statyboms žemos kokybės smėlį, nes aukštos kokybės upės

smėlio, didžiuliais kiekiais naudojamo statyboms, trūksta visame pasaulyje. Šilumokačiai ir smėlis nesusidėvi. Ventilatorius yra vienintelis įrenginys su judančiomis dalimis ir jį lengva pakeisti. Smėlis yra labai efektyvi šilumą išlaikanti ir energiją kaupianti terpė. Saulės energetikos vasarą pagaminta šiluma gali būti naudojama namams šildyti žiemą. Yra ir kitų privalumų. Smėlį galima eksploatuoti labai ilgai, jis gali įkaisti ir atvėsti daug kartų. Po kurio laiko jis sutankėja, todėl užima mažiau vietos ir į sistemą galima įpilti daugiau smėlio. Pagrindinis baterijos trūkumas, kad energija prarandama, kai ji iš vienos rūšies verčiama kita rūšimi, todėl šiluminė baterija nėra tokia efektyvi gaminant elektros energiją.

Vėjo ir saulės energijos gamyba priklauso nuo oro ir sezonų, todėl ji kinta. Tai reiškia, kad energijos gamyba ne visada atitinka energijos poreikį. Pigių, perspektyvių ir tvarių saugojimo technologijų trūkumas yra viena didžiausių kliūčių pasaulyje pereinant nuo iškastinio kuro prie atsinaujinančių energijos šaltinių. Ši naujovė sukėlė daug diskusijų. Komercinis naujos energijos kaupimo sistemos pritaikymas retai tampa karšta tema, tačiau smėlio baterija patraukė dėmesį savo galimybe išlyginti energijos tiekimo iš atsinaujinančių šaltinių svyravimus. Perspektyvus saulės ir vėjo energijos saugojimas yra ypač svarbus Šiaurės šalims, kuriose žiemą ilgai tamsu ir reikia daugiau šilumos. Smėlio baterijos išradėjai tikisi, kad jie rado tinkamą sprendimą.

Tačiau ar ši baterija yra naši, palyginti su kitomis baterijomis, ypač su elektrocheminiu atitikmeniu – ličio jonų akumuliatoriais? Nemenka problema yra ta, kad ličio jonų akumuliatoriai sensta ir jų naudingumas prastėja, net kai jie nenaudojami. Ličio baterijos nėra tinkamos didelio masto saugojimui, antra vertus, jos yra degios. Smėlio baterijose nevyksta jokios cheminės reakcijos, todėl jos nepatiria jokių senėjimo procesų. Litis daro daug didesnį poveikį aplinkai nei smėlis. Gaminant vieną toną rafinuoto ličio, išsiskiria 3–9 t CO₂.

Nors smėlio baterijos sukaupia 5–10 kartų mažiau energijos tūrio vienetui negu tradicinės cheminės baterijos, jos yra daug ekonomiškesnės. Smėlio baterija yra 8–10 kartų pigesnė už tiek pat energijos sukaupiančią ličio bateriją, 8 MWh energijos gamyba naudojant smėlio bateriją būtų apie 8 kartus pigesnė. Smėlio baterijos puikiai tinka šildyti namus šalto klimato šalyse, tačiau jų efektyvumas krenta, kai jomis energija grąžinama į elektros tinklą. Reikia sukurti būdus, kaip baterijos šilumą paversti elektra, kurios efektyvumas būtų 75–80 %. Naudojant dabartines technologijas šilumos pavertimo atgal į elektros energiją efektyvumas yra tik 30 %. Tačiau tai nedidelė problema, nes šalto klimato šalyse 70 % šilumos, likusios po konversijos, paleidžiama į centralizuotus šilumos tiekimo tinklus, kuriems beveik visą laiką reikia tiekti šilumą. Kitas žingsnis didinant smėlio baterijos tinkamumą elektros energijos gamybai būtų turbinos, kuri šilumą vėl paverčia elektros energija, įrengimas. Jėgainės savininkai smėliui šildyti dar naudoja didelės galios duomenų serverių sukuriamą šilumą. Atliekinė šiluma iš serverių paprastai yra tik 60 °C, norint ją tiekti į centralizuoto šilumos tiekimo tinklą, ji turi būti padidinta iki 75–100 °C.

Šiuo metu smėlio baterijos tebėra Šiaurės šalių sprendimas. Jos labai naudingos šalims, kur šaltos žiemos ir nuo rugsėjo iki gegužės mėnesio reikia šildyti būstus, nes vidutinė metinė temperatūra yra žemesnė nei 10 °C. Tačiau teoriškai toks energijos kaupimo būdas galėtų būti naudojamas bet kurioje pasaulio vietoje, kur yra centralizuoto šildymo infrastruktūra. Tose vietose, kur smėlio trūksta, bendrovės norėtų keisti jį kitomis granuliuotomis, nedegiomis medžiagomis. Didžiausias plėtros iššūkis yra įmonių ir savivaldybių nenoras investuoti į naujas technologijas. Smėlio baterija, kurią galima įkrauti per naktį, suteikia lankstumo, apsaugo nuo kainų svyravimo. Atrodo, kad smėlio baterijų sistemos yra perspektyvus būdas kaupti šilumą ilgalaikėje perspektyvoje ir jis tikrai galėtų būti naudojamas šilumai tiekti pramonės reikmėms, pavyzdžiui, tekstilės, maisto ir gėrimų

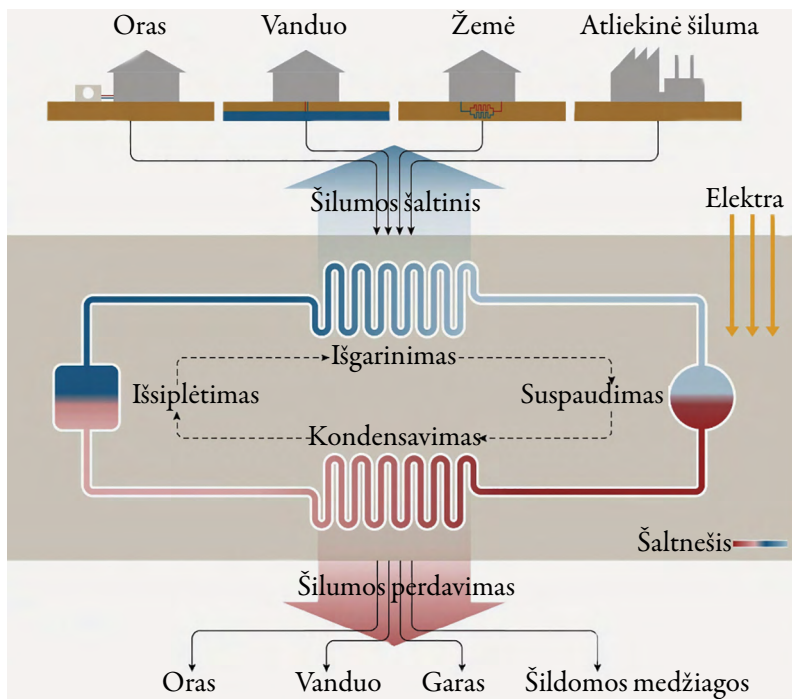
bei vaistų gamyboje, kur didelė dalis reikalingos šilumos gaunama naudojant iškastinį kurą.

4.11. Šilumos siurbLIAI šildo ir miestus, ir būstus

Norint apriboti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir lėtinti visuotinį atšilimą, reikia ryžtingų priemonių. Vienas iš sprendimų galėtų būti platesnis šilumos siurblių panaudojimas. Iki 2030 m. maždaug ketvirtadalis Jungtinės Karalystės pastatų turėtų būti šildomi šilumos siurbLIAis, o iki 2050 m. jų skaičius galėtų išaugti iki 52 %. Maždaug pusė iš 41 mln. Vokietijos namų šiuo metu (2023 m.) šildomi dujomis, o dar ketvirtadalis – nafta. Siekdama paskatinti namų savininkus dekarbonizuoti šildymą, Vokietija 2023 m. įvedė nuolaidų schemą, pagal kurią galima susigrąžinti iki 40 % šilumos siurblio pirkimo ir įrengimo išlaidų. Nuo 2024 m. Vokietijoje kiekviena nauja įdiegta šildymo sistema turi sunaudoti 65 % atsinaujinančios energijos. Tad suprantama, kad šalčiausiose Europos šalyse, kuriose yra geriausia būstų šiluminė izoliacija, šilumos siurblio skverbtis yra didžiausia. Tarptautinės energetikos agentūros duomenimis, šilumos siurbLIAi įrengti 60 % Norvegijos, 43 % Švedijos ir 41 % Suomijos pastatų. Vokietijoje šis skaičius siekia šiek tiek daugiau negu 4 %, o Jungtinėje Karalystėje – tik 1 %. Šilumos siurbLIAi šildymui ir vėsinimui naudoja energiją, paimtą iš oro, vandens ar žemės. Jie veikia net esant ekstremaliai žemai temperatūrai ir gali gerokai sumažinti sąskaitas už energiją.

„Žaliosios“ elektros energijos gamyba bus labai svarbi siekiant mažinti pastatų CO₂ emisijų kiekį. Jei elektros energijos šaltinis yra atsinaujinantis, tai šilumos siurbLIAi patys anglies emisijos nesukuria. Šilumos siurblio veikimo principas panašus į šaldytuvo ar oro kondicionieriaus. Užuoat deginę kurą, šilumos siurbLIAi paima

iš oro, žemės, vandens ar gamyklų atliekinę šilumos energiją ir per pastato vamzdžius ir radiatorius ją perduoda būsto patalpoms. Kai šilumos siurblys veikia šildymo režimu, lauko temperatūros šaltnešis suspaudžiamas ir dėl to įkaista. Šią šiluminę energiją galima perduoti į vidaus įrenginį, pavyzdžiui, radiatoriaus vandenį. Iš siurblio išėjęs šaltnešis dekompresuojamas (išgarinamas). Praradęs dalį šiluminės energijos šaltnešis tampa šaltėsniu už aplinką. Dabar jis vėl gali imti šiluminę energiją iš oro arba iš žemės ir procesas kartojasi. Kompresoriai, ventiliatoriai ir siurbLIAI veikia naudodami elektros tinklo energiją (4.13 pav.).



4.13 pav. Šilumos siurblio veikimo schema (<https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/how-a-heat-pump-works>)

Kadangi didžioji dalis šilumos yra perduodama, o ne generuojama, šilumos siurbliai yra daug efektyvesni nei įprastos šildymo technologijos, tokios kaip katilai ar elektriniai šildytuvai. Energijos išėiga šilumos pavidalu paprastai yra kelis kartus didesnė nei elektros, reikalingos šilumos siurbliui maitinti, pavyzdžiui, įprasto buitinio šilumos siurblio naudingumo koeficientas yra maždaug keturi, t. y. jo energijos išėiga yra keturis kartus didesnė už elektros energiją, sunaudotą įrenginio kompresoriui. Dėl šios priežasties dabartiniai šilumos siurbliai yra 3–5 kartus efektyvesni negu dujiniai katilai.

Pastatuose šilumos tiekimui naudojami radiatoriai arba grindinis šildymas. Šilumos siurblius galima prijungti prie rezervuaro ir gaminti karštą vandenį. Daugelis šilumos siurblių vasarą gali vėsinti, o žiemą šildyti patalpas. Pramonėje šilumos siurbliai naudojami karštam orui, vandeniui ar garams tiekti arba medžiagoms tiesiogiai šildyti. Galingiems šilumos siurbliams, naudojamiems komerciniuose, pramoniniuose arba centralizuoto šilumos tiekimo tinkluose, reikia aukštesnės temperatūros nei gyvenamosiose patalpose, todėl pastarosioms ji gali būti gaunama iš pramoninių procesų, duomenų centrų ar nuotekų atliekų šilumos.

Šiuo metu Jungtinėje Karalystėje 74 % namų ūkių šildomi dujiniais katilais, o likusi dalis – elektriniais šildytuvais ir naftos produktais kūrenamais katilais. Šildymo sektorius sudaro trečdalį Jungtinėje Karalystėje šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, kuri beveik lygi visų šalies benzininių ir dyzelinių automobilių emisijai. Panaši situacija ir JAV, kur maždaug pusė būstų šildomi dujomis.

Šilumos siurblių sistema neįtikėtinai efektyvi: 1 kilovatą (kW) elektros energijos ji paverčia 3–5 kW šilumos (tiesioginiai elektriniai šildytuvai – 1 kW, dujiniai katilai – 0,9 kW). Tai reiškia, kad gaunama praktiškai „nemokama šiluma“, tačiau, kaip ir visų šildymo sistemų, jų efektyvumas priklauso nuo pastato apšiltinimo. Jei

elektros energijos šaltinis yra atsinaujinantis, patys šilumos siurbLIAI neišskiria CO₂ dujų. Jungtinėje Karalystėje beveik pusė į nacionalinį tinklą tiekiamos elektros energijos gaunama iš atsinaujinančių šaltinių, o JAV – 20 %.

Žemės šilumos siurbLIAI yra efektyvesni už oro šilumos siurbLIUS. Taip yra dėl to, kad žemė turi pastovią temperatūrą – kelių metrų gylyje ji siekia apie 10–11 °C. Daugelis žemės šilumos siurbLIų yra vertikalūs vamzdynai, todėl žemėje reikia išgręžti gilų (60–200 m) gręžinį, o tai nėra pigu. Kartais vietoje gręžinio naudojama horizontali kilpa, kuri klojama kur kas seklesniame gylyje, bet tam reikia didelio žemės ploto. Šilumos siurbLIUS dažniausiai įsirengia individualių namų savininkai. Šie siurbLIAI dydžiu panašūs į įprastą dujinį katilą. Jie montuojami individualių namų viduje arba išorėje, atsižvelgiant į savininko pageidavimus. Šilumos siurbLIAI suspaudimu ir išgarinimu pakelia temperatūrą iki maždaug 50 °C. Ši šiluma perduodama vandeniui, kuris pumpuojamas namo vamzdžiais ir pasiekia radiatorius. Žemės šilumos siurbLIAI aprūpina visą būstą ar namą šiluma ir karštu vandeniu bei sumažina išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį 70 %.

Vietoj pavienių individualių gręžinių kai kuriose gyvenvietėse po gatve išgręžiama daug 100 m gylio gręžinių, kurie sujungiami su bendru horizontalių požeminių vamzdžių tinklu. Į gręžinį pripilama bekvapio, netoksiško, klampaus *glicerolio* skysčio, kuris sugeria šilumą ir cirkuliuoja horizontaliuose vamzdžiuose. Vamzdžiai jungia būstus ar patalpas ir tiekia šilumą visoje gatvėje.

Šilumos siurbLIų daugiaaukščiuose pastatuose ateičiai visame pasaulyje skiriama vis daugiau dėmesio. Šilumos siurbLIAI yra universalūs – jie gali ir šildyti, ir vėsinti patalpas to paties proceso (tiesioginio ar atvirkštinio) metu (Townend, 2023). Visgi šiuo metu dauguma pastatų turi vieną didelį dujomis šildomą boilerį, kuris valdo viso pastato šildymą. Daugiabučiuose arba biurų pastatuose prie lauko lango

pritvirtintas atskirai veikiantis oro kondicionavimo įrenginys ne tik nepuošia pastato, bet rodo sisteminio problemos sprendimo stygių.

Per XX a. 8-ojo dešimtmečio naftos krizę Šiaurės šalyse suklestėjo centralizuotas šildymas, tačiau sistemos veikė degindamos iškastinį kurą didelėse kombinuotose šilumos ir energijos jėgainėse. Pasinaudojus šia centralizuota sistema, galima daug namų sujungti į tokį tinklą, kurio šildymas išskirs mažai anglies dioksido į aplinką ir nenaudos tūkstančių katilų. Pavyzdžiui, Stokholmo centralizuoto šilumos tiekimo tinklas turi 3 000 km vamzdžių ir dabar tiekia elektrą 800 000 namų pramoniniais šilumos siurbliais, kurie surenka šilumą iš buitinių nuotekų, jūros vandens, deginamų neperdirbamų atliekų ir biokuro. Galimi ir naujoviški šilumos tiekimo metodai, pvz., šilto oro srovių iš miestų metro tunelių arba patvinusio vandens senose kasyklose panaudojimas. Centralizuotas šildymas nebūtinai visada yra teisingas sprendimas. Jis labiausiai tinka tankiai apgyvendintoms vietovėms, nes transportuojant aukštos temperatūros vandenį dideliais atstumais patiriami dideli šilumos nuostoliai. Kelias į dekarbonizuotą šildymą nėra paprastas, tačiau šilumos siurbliai yra viena iš technologijų, šiandien daugiau ar mažiau paruoštų įdiegimui.

Diegiant šilumos siurblius Skandinavijos šalys yra daug labiau pažengusios. Turėdamos aukštesnius šilumos izoliacijos standartus jos anksti perėjo nuo tiesioginio elektrinio šildymo prie šilumos siurbių. Pietų šalys daugiau dėmesio skiria vėsinimui. Jos vandenį šildo dujiniais katilais. Rytų europiečiai dažnai naudoja kieto kuro krosnelėmis. Ilgalaikė vizija – sukurti mažai CO₂ į aplinką išskiriančią ir pigią energetinę sistemą, kuri apimtų šilumos siurblius, aukštos kokybės pastatų šiluminę izoliaciją, saulės energetiką, šilumos rekuperaciją. Rekuperacija – tai mechaniškas patalpų vėdinimas, kai švarus oras iš lauko eina pro šilumokaitį ir patenka į vidines patalpas. Tokia sistema grąžina iki 95 % šilumos, nes vėdinant šiltas oras lieka būste. Atsinaujinantys energijos šaltiniai ir išmaniosios technologijos

turėtų veikti kartu ir sukurti žiedinę šildymo, vėsinimo, automobilių baterijų įkrovimo ir kitų energijos poreikių tenkinimo sistemą.

4.12. Ar kasybos pabaiga sustabdys klimatokaitą

Kasyba šiuolaikiniame pasaulyje yra labai svarbi, tačiau ji taip pat daro didelę žalą aplinkai. Kas nutiktų, jei būtų bandoma jos atsisaikyti? Mineralų, metalų ir kuro gavyba iš žemės yra viena seniausių žmonijos veiklos sričių ir ši veikla nepaliaujamai auga. Medžiagų gavyba kelia sumaištį planetoje, nes pasaulyje augantys atliekų piliaikalniai yra netvarios gamybos ir statybos pasekmė. Dabar kasdami vos per vienerius metus iš Žemės plutos paimame apie 100 mlrd. t žaliavos ir tai prilygsta dviem trečdaliams Everesto kalno. Žmonija vis labiau nei bet kada anksčiau yra priklausoma nuo iškasamų medžiagų įvairovės ir kiekių. Vidutinės pajamas gaunančios šalies gyventojas kasmet „sunaudoja“ apie 17 t žaliavų, o didelės pajamas gaunančios šalies gyventojas sunaudoja net 26 tonas. Medžiagų išgavimas iš rūdų ar kitų žaliavų ir toliau yra pigesnis būdas nei daugelio medžiagų pakartotinis naudojimas. Ekspertai įspėja apie kasyklų sukeltos taršos augimą, biologinės įvairovės nykimą, didėjančią kasyklų poveikį gamtinei aplinkai.

Tad kas būtų, jei visiškai sustabdytume iškastinio kuro ir mineralų kasybą? Ar svarstymas apie kasybos pabaigą galėtų pakeisti žmonių požiūrį į tai, kaip šiandien naudojame medžiagas, kiek esame priklausomi nuo šios tūkstančius metų naudojamos gamybos? Kartu tai verčia susimąstyti, kaip lengvabūdiškai dažnai išmetamos įvairios medžiagos, net nepastebint jų, kaip naujų medžiagų šaltinio, potencialo. Sustabdžius kasybą 27 valstybės netektų 25 % savo elektros energijos gamybos, nebeliktų aukštų pastatų, tiltų, lėktuvų,

traukinių ar kosmoso tyrimų, namuose nebeliktų granito, marmuro ir bet kokio plieno. Daugeliui šalių reikia kasybos, kad ne tik klestėtų, bet ir išgyventų, nes kasyba yra daugelio besivystančių šalių ekonominis pagrindas. Pasaulyje mažiausiai 70 šalių yra priklausomos nuo kasybos pramonės, kuri sudaro net 60–90 % visų tiesioginių užsienio investicijų.

Palydovų nuotraukose matomas apie 100 000 km² žemės kasybos plotas, o kur dar požeminė kalnakasyba, todėl iš tikrųjų bendras plotas yra dar didesnis. Kasybos poveikis aplinkai galimas vietiniu, regioniniu ir pasauliniu mastu. Ji gali sukelti dirvožemio eroziją, smegduobes, biologinės įvairovės nykimą arba užteršti dirvožemį, požeminį ir paviršinį vandenį kasybos išmetamomis cheminėmis medžiagomis. Palydovai atskleidžia kai kurių atvirų kasyklų mastą ir poveikį dideliame žemės plotui (4.14 pav.). Paveikslėlyje matoma



4.14 pav. Atviros kasybos aukso kasykla Australijoje
(failas: Kalgoorlie open cast mine.jpg. CC BY 2.5)

aukso kasykla Australijoje yra maždaug 3,5 km ilgio, 1,5 km pločio ir 600 m gylio. Dar didesnė (4,5 km skersmens ir 1,2 km gylio) atvira aukso kasykla, esanti netoli Solt Leik Sičio (JAV), dėl daugybės išsiliejimų ir nuotėkių užteršė gruntinius vandenis 190 km² plote.

Sustabdžius kasybą, visa ši kolektyvinė veikla sustotų: Kongo Demokratinės Respublikos giliose kobalto šachtose dirbantys darbuotojai padėtų kastuvus, Vokietijos rudųjų anglių kasyklų didžiuliai kaušiniai ekskavatoriai nebekastų anglies, laivai Mekongo deltoje nebesiurbtų statyboms ir pramonei reikalingo smėlio. Nutraukus kasybą, pasaulinėje pramonėje neliktų daugiau kaip keturių milijonų oficialių darbo vietų. Be kasybos beveik per naktį kai kurie miestai virstų vaiduokliais. Šis poveikis neapsiribotų vien kasėjų bendruomenėmis ar bendrovėmis. Jau po savaitės daugelis žmonių pajustų energijos stygių, nes elektrinės pritrūktų akmens anglių, o anglis dažnai tiekiamas tiesiai iš kasyklos į elektrinę. Kadangi 35 % pasaulio gyventojų naudoja anglimis kūrenamose elektrinėse pagamintą elektros energiją, tik kelios šalys išvengtų staigios energijos krizės, nes anglių naudojimas elektros gamybai visame pasaulyje yra netolygus: Europoje jis sudaro 15 %, Kinijoje – 63 %, o Pietų Afrikoje – net 84 %. Tarp šalių netrukus pasijustų energetinė nelygybė (Cole, 2022).

Netiesioginis elektros energijos stygiaus poveikis pasireikštų su-trikusiais ryšiais. Internetas, kurio daugelis serverių vis dar priklauso nuo anglimis kūrenamų elektrinių elektros, būtų ribotas arba veiktų ne visur. Mobiliųjų telefonų tinklai galbūt veiktų ilgiau, tačiau tinkle esant mažiau elektros, įkrovimo įrenginiai taptų prabanga. Laidinės antžeminės linijos, prijungtos prie centralizuotų telefono stočių, tarnautų ilgiausiai – bent tiek, kiek galėtų veikti atsarginiai genera-toriai ir baterijos. Netrukus pradėtų trūkti ir kitų medžiagų. Smėlio ir žvyro atsargos, būtinos betono gamybai, yra gana nedidelės. Per metus iškasama 40–50 mlrd. t smėlio. Jau iškastos abiejų medžiagų

atsargos būtų išeikvotos per dvi ar tris savaites. Dalį panaudoto betono galima perdirbti, tačiau šviežio betono naudojimo lygis gerokai lenkia dabartinius perdirbimo rodiklius. Kiltų problemų ir dėl kokybės, nes dauguma perdirbto betono panaudojama žemesnės kokybės darbams, pavyzdžiui, kelių tiesimui. Taigi trumpuoju laikotarpiu naujų namų statyba smarkiai sumažėtų.

Patalpų temperatūra greitai taptų nekomfortabili, nes, mažėjant dujų atsargoms saugyklose, po kelių savaičių tektų mažinti šildymą ir vėsinimą. Šalyse, kuriose elektros energijos tiekimas priklauso nuo dujomis kūrenamų elektrinių, pavyzdžiui, Jungtiniuose Arabų Emyratuose (95 %), Rusijoje (45 %), JAV (41 %) ir JK (36 %), elektros energijos tiekimo pertrūkiai taptų dažnesni. Mažėjant dujų atsargoms, bet kokia polimerinių medžiagų gamyba būtų ribojama vien perdirbamomis medžiagomis, nes dujų žaliavos nebepakaktų ar visai neliktų. Nutrūktų benzino, dyzelino, kelių asfalto ir daugelio kitų produktų gamyba.

Šiuolaikinei visuomenei svarbi ne tik energija ir pastatai. Vario, beveik visai elektronikai būtino laidininko, stygius išryškėtų jau po 6–10 savaičių. Metalų kainos smarkiai pakiltų ir padaugėtų metalo vagysčių, nes metalai (varis, geležis, aliuminis, cinkas, švinas, nikelis ir kt.) yra tapę visuomenės gyvybiniu krauju.

Dauguma pasaulio šalių ką nors išgauna kasybos būdu. Pasaulinės žaliavų gamybos lyderės yra Kinija, Australija ir JAV, tačiau kai kurių kitų šalių gavyba sudaro daug didesnę jų ekonomikos dalį. Mažiausiai 18-oje šalių metalų rūdos ir anglis sudaro daugiau nei pusę viso eksporto, o kai kuriose iš jų – daugiau nei 80 %. Be metalų ar jų rūdų kasybos tokių šalių ekonomikai iškiltų pavojus, pavyzdžiui, Surinamo pramoninei aukso kasybai, Kongo Demokratinės Respublikos kobalto kasybai, Mongolijai kaip pagrindinei vario eksportuotojai.

Geras didėjančios priklausomybės nuo įvairių metalų pavyzdys yra mobilusis telefonas. XX a. 9-ajame dešimtmetyje mobiliąjam

telefonui reikėjo maždaug 20 skirtingų elementų. Naujam išmaniajam telefonui šiandien jų reikia daugiau nei dvigubai. Praėjus maždaug trimis mėnesiams po kasybos pabaigos, retųjų žemės metalų ir kitų technologijoms būtinų metalų atsargos pasibaigtų, todėl automobilių, elektronikos, farmacijos ir statybų pramonėje atsirastų didelis nedarbas ir kitos nerimą keliančios tendencijos.

Dėl yrančių tiekimo grandinių pasibaigtų naftos atsargos. JAV, turinčiose didžiausias išgautos naftos atsargas pasaulyje, strateginiuose naftos rezervuaruose yra apie 730 mln. barelių (96 mln. t.) naftos. Jų užtektų daugiausiai trims mėnesiams. Po kelių mėnesių maisto pramonę ištiktų krizė, nes apie 50 % maisto gamybos priklauso nuo sintetinių fosforo, kalio ir kitų trąšų, kurioms gaminti reikalingos gamtinės dujos. Mažesnis pasėlių derlius sukeltų maisto trūkumą, ypač nepalankaus klimato šalyse.

Branduolinis kuras yra kaupiamas daug mėnesių, todėl gali praeiti net metai, kol visuomenei pradės trūkti atominės energetikos gaminamos elektros. Kurį laiką vyrautų atsinaujinantys energijos šaltiniai. Daugiausiai atsinaujinančios energijos vienam asmeniui generuojančios šalys turėtų didžiulį pranašumą. Islandija ir Norvegija, kurios beveik visą savo energiją gauna iš hidroelektrinių ir geoterminių šaltinių, būtų geriausiai pasirengusios įveikti socialinius ir ekonominius nepriteklius. Nepaisant didžiulės atsinaujinančios energetikos paklausos, vėjo ir saulės energijos panaudojimo tempas mažėtų, nes tam reikia didelio kiekio neatsinaujančių išgaunamų išteklių.

Gausesnis atsinaujinančių išteklių naudojimas reiškia, kad iš žemės bus išgaunama vis mažiau iškastinio kuro, todėl augs elektros energiją kaupiančioms baterijoms reikalingų metalų (ličio, kobalto, nikelio) gavyba. Saulės baterijoms reikia daug silicio puslaidininkių, vėjo turbinoms – retųjų žemės metalų, tokių kaip neodimis. Net ir nestabdant kasybos, bus siekiama visus metalus perdirbti į

atsinaujinančiai energetikai reikalingas medžiagas. Daugiau negu 50 % netauriųjų metalų ir keletas kitų elementų, pasibaigus jų eksploataciniam laikui, jau yra perdirbami. Tačiau kiti metalai, kurie yra labai svarbūs atsinaujinančiai energetikai, pavyzdžiui, retieji žemės metalai, prarandami. Taip yra todėl, kad įvairūs įrenginiai, prietaisai naudoja nedidelius kiekius įvairių elementų, todėl juos sudėtinga ir brangu išskirti iš atliekų laužo.

Galbūt ateityje bus sukurtos naujos medžiagos, galinčios pakeisti metalus. Tačiau net jei būtų sukurta technologija retųjų žemės metalų mažiems kiekiams išgauti, mažai tikėtina, kad ji tenkintų atsinaujinančios energetikos poreikius. Jau dabar tokių metalų paklausa daug kartų viršija dabartinę gavybą. Tyrimai rodo, kad metinė pasaulinė grafito, kobalto ir ličio gavyba turės išaugti penkis kartus.

Labai netolygus yra dabartinis išgautų metalų pasiskirstymas. Daugelio išgaunamų ir perdirbamų metalų vartotojai yra Šiaurės pusrutulio šalys, kurios metalus importuoja, tad planetos pietuose gyvenantys gyventojai turi mažiau galimybių gauti šių medžiagų. Tyrimai rodo, kad 20 % turtingiausių šalių gyventojų turi prieigą prie 60–75 % pasaulinių metalų atsargų. Pasaulis, kuriame nebeliktų kasybos, turėtų gerai pagyvoti, kaip suvienodinti prieigą prie medžiagų.

Būtina skatinti perdirbimo technologijų ir žiedinės gamybos proveržį. Gaminiai turėtų būti ilgiau naudojami, lengviau išardomi, o gautos medžiagos perdirbamos. Tyrimai gali būti nukreipti į metalų gamybos, nenaudojant kasybos, metodus, tokius kaip jūros vandens ir sūrymų elektrolizė. Energijos gamybai gali tekti pritaikyti prie mažesnių, labiau decentralizuotų, sistemų, tikriausiai naudojant jau išrastas technologijas. Energetikoje reikėtų pertvarkyti elektros tinklus, nuo daug įvairių metalų naudojančios saulės ir vėjo energetikos tektų pereiti ar net grįžti prie mažai tokių metalų

naudojančios. Senosios vandens ir vėjo technologijos vėl galėtų būti naudojamos ne tik pramoninėms reikmėms, bet ir vandeniui varomiems buitiniams prietaisams. Dideles ličio jonų energijos kaupimo baterijas galėtų pakeisti suspausto oro, šiluminės energijos kaupimo ir gravitacinės baterijos ar sistemos.

Apleistos ar uždarytos kasyklos gali skleisti taršą šimtus ar net tūkstančius metų, nes kasyba perneša medžiagas iš uždarytų požeminių telkinių į atvirą erdvę. Labai svarbus kasybos vietovių išvalymas ir atkūrimas. Kasyklos paprastai veikia žemiau vandens lygio esančiame gylyje, todėl jas reikia nuolat sausinti siurbliais. Atsisakius kasyklų, vanduo pamažu užlieja požemines pralaidas ir mineralų sluoksnius, sukurdamas rūgštaus vandens rezervuarus, o virš žemės tyvuliuoja atliekų tvenkiniai ir žemos kokybės rūdų atliekų krūvos su sunkiųjų metalų pėdsakais. Visos šios medžiagos, veikiamos vandens ir deguonies, dėl išplaunamos rūgšties kenkia dirvožemiui, vandens tiekimui ir sutrikdo visą ekosistemą. Norint atkurti buvusią florą ir fauną, kasybos teritorijoje reikia sumažinti vandens rūgštingumą, atlikti dirvožemio detoksikaciją ir apdoroti susikaupusias atliekas. Tai ilgas ir brangus procesas, vienos didelės kasyklos atveju galintis kainuoti milijardus dolerių ar eurų. Visgi atkūrus dirvą ir vandenį, ilgainiui gamta kasybos vietose atsinaujins, o kasybos atliekos ir šiukšlės ateityje taps metalų gavybos žaliava. Artimiausiu metu kasybos nebus atsisakyta. Ekspertai prognozuoja, kad metalų ir nerūdinių medžiagų gavyba per ateinančius dešimtmečius dar labiau išsiplės. Išskyrus keletą elementų, tokių kaip švinas ir alavas, visų metalų gavyba tik didės.

Tyrėjai mano, kad atsinaujinančiai energetikai reikalingų medžiagų kasimas didins grėsmę biologinei įvairovei ir gali viršyti tas, kurių išvengta švelninant klimato kaitą. Labai svarbu įvertinti kasybos darbams reikalingą energijos sunaudojimą. Prieštariningai vertinama biokuro gamyba gali kompensuoti energijos trūkumą,

tačiau medienai, kaip statybinių medžiagų, energijos ir biokuro šaltiniui, reikės skirti didžiulius žemės plotus.

Maždaug pusė išgaunamų žaliavų patenka į statybas. Apskaičiuota, kad statybos palieka trečdalį visų atliekų ir išskiria apie 40 % pasaulinės CO₂ emisijos. Palyginimui: aviacija, dėl kurios žmonės kur kas labiau nerimauja, išmeta tik 2–3 % CO₂. Šių žaliavų atliekos išmetamos tokiais dideliais kiekiais, kad buvo sukurtas naujas epochos pavadinimas – *antropocenas*. Paradoksaliai, tačiau šiandien gaminamuose ir išmetamuose daiktuose yra medžiagų lobiai, kuriuos galėtume efektyviai panaudoti. Apskaičiuota, kad vienoje tonoje mobiliųjų telefonų yra 300 kartų daugiau aukso nei tonoje aukščiausios kokybės aukso rūdos. Šiose atliekose taip pat daug sidabro, platinos, paladžio ir retųjų žemės metalų. Kabeliuose esantis didelis vario kiekis yra kur kas labiau koncentruotas daugkartinio metalo šaltinis nei mažiau negu 1 % turinti aukščiausios rūšies vario rūda. Pagrįstai kyla klausimas: kodėl pakartotinai nenaudojame to, ką jau išgavome, o dėl žaliavų vėl ir vėl niokojame planetą?

Atrodo, kad šiuolaikinis pasaulis negali egzistuoti be kasybos. Mineraliniai elementai yra būtini mobiliųjų telefonų, automobilių, energijos bokštų, saulės baterijų, vėjo turbinų, trąšų, mašinų ir visų rūšių statybos komponentai. Mobiliuosiuose telefonuose yra vario, sidabro, aukso, paladžio, platinos. Net ir žinant, kad daugumą šių medžiagų galima perdirbti, svarbu įvertinti, kiek mineralų reikia tokiems įrenginiams pagaminti.

Nors pastaruoju metu žaliavų kainos pakilo, kalnakasybos pramonė vargu ar praras savo vietą pasaulinėje ekonomikoje, o nuolat augant kasybos produktų paklausai, jos reikšmė bėgant metams net didės. Vienas iš kasybos veiklos mažinimo argumentų yra pakaitalų naudojimas, kai mineralinis ar metalinis produktas pakeičiamas kitos kilmės produktais. Kai kurie metalai pakeičiami anglies pluoštu, o iškastinės anglys – dujomis ar kitais kuro šaltiniais.

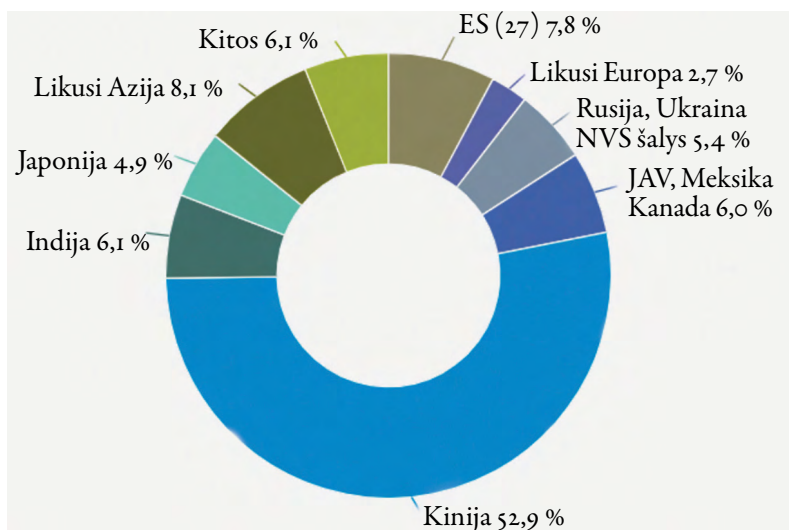
Šiandien kasyba yra aukštųjų technologijų tvari pramonė, nes geriausios kasybos įmonės investuoja į pažangias technologijas, tokias kaip autonominės sistemos, jutiklių technologijos, prisitaikančios tiekimo grandinės, gamybą reguliuojantys dronai. Dirbtinis intelektas kasybos operacijose bus įprastas dalykas – kalnakasiai jį naudos interpretuodami išmaniųjų jutiklių duomenis, gerindami darbų saugą, naudodami kitas dirbtinio intelekto technologijas. Tai pavers kalnakasybą viena saugiausių profesijų.

4.13. Švari metalinių medžiagų ir cemento gamyba

„Žaliojo“ plieno gamyba

Antropogeninė klimato kaita yra vienas didžiausių visuomenės iššūkių. Dekarbonizacija pramonės sektoriuose yra labai svarbi siekiant sušvelninti klimato kaitą. Pramonės sektorius sunaudoja trečdalį pirminių energijos išteklių ir išleidžia ketvirtadalį su naudojama energija susijusių šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Dėl pramonės įmonių iškastinio kuro, naudojamo kaip žaliavos, nehomogeniškumo sunku rasti veiksmingų strategijų dekarbonizuoti pramonės šakas. Geležies ir plieno, įvairių chemikalų, cemento, spalvotųjų metalų, popieriaus ir kt. gamyba yra daug energijos sunaudojančios pramonės šakos, nes energijos ištekliai yra pirminė žaliava. Plienas yra šiuolaikinės civilizacijos pagrindas. Jis naudojamas pastatuose, transporte, įvairioje kitoje infrastruktūroje. 2017 m. buvo pagaminta apie 1,73 mlrd. t plieno. 2017 m. vienam gyventojui vidutiniškai teko 216,3 kg sunaudoto plieno, o tokioje išvystytos pramonės šalyje kaip Vokietija – apie 500 kg plieno, kai Indijoje vienam gyventojui tenka tik 66,3 kg. Augant besivystančių

šalių gyvenimo lygiui, plieno paklausa tik didės. Dabartiniu metu plienas gaminamas redukuojant geležies rūdą anglies monoksido dujomis arba perdirbant plieno laužą elektrinėse lankinėse krosnyse. Daugiau nei 80 % iš geležies rūdos pagaminamo plieno gaunama perdirbant rūdą aukštakrosnėse, o gautas skystas metalas, tik perdirbus jį konverteriuose, virsta plienu. Geležies ir plieno gamybos sektorius išmeta 7 % bendros pramoninės CO₂ emisijos visame pasaulyje. Ribotas geležies laužo prieinamumas ir specialių rūšių plieno, kurio negalima pagaminti perdirbant plieno laužą, poreikis didina tiesiogiai iš rūdos pagaminto plieno paklausą. Didžioji dujų emisijos dalis išsiskiria aukštakrosnės darbo metu (61 %) ir 27 % dujų susidaro gaminant iš anglių aukštakrosnės darbui reikalingą koksą. Šiuo metu Kinija gamina pusę viso pasaulio plieno (4.15 pav.). Iki 2060 m. ji įsipareigojo pasiekti neutralią



4.15 pav. Plieno gamyba

(<https://twitter.com/noahpinion/status/1181859021650677760>)

CO₂ emisiją, o tam reikės sumažinti jos plieno gamyklų, kurios sukelia trečdalį visos jos CO₂ taršos, emisijas.

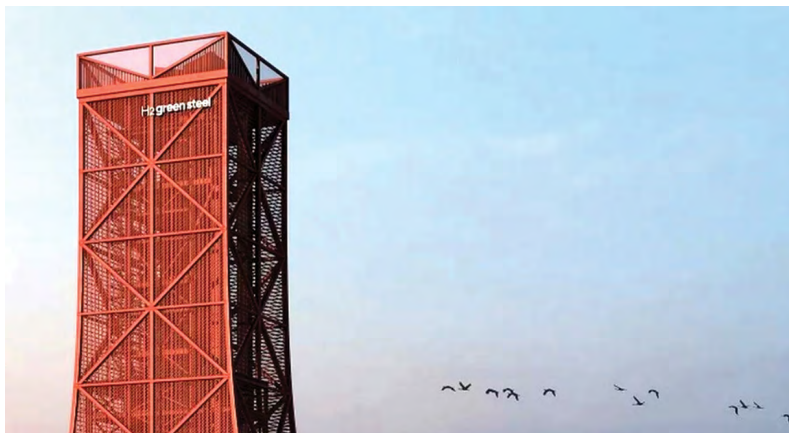
Elektrinės lankinės krosnys yra dar vienas plieno gamybos būdas. Šios krosnys pamažu keičia tradicines aukštakrosnes, tačiau jos ne visada maitinamos elektra iš atsinaujinančių šaltinių. Perėjimas nuo tradicinių aukštakrosnių prie elektrinių lankinių krosnių kol kas „stagnuoja“ ir gerokai atsilieka nuo dekarbonizacijos tikslų. Teigiama, kad 31 % dabartinės plieno gamybos naudoja elektrines krosnis, tačiau tik 28 % naujai statomų lydymo įrenginių bus naudojama ši technologija. Neišvengiamai būtina nebeinvestuoti į akmens anglimis kūrenamų aukštakrosnių įrangą ir paspartinti perėjimą prie plieno gamybos elektrinėse lankinėse krosnyse.

Mokslininkai ieško būdų, kaip sumažinti plieno gamyboje susidarančių išmetamų teršalų kiekį. Pastaraisiais metais diegiamos alternatyvios technologijos, pasižyminčios mažesne aplinkos tarša – geležies gamyba aukštakrosnėse arba tiesioginis geležies rūdos redukavimas surenkant ir saugant susidariusį CO₂, geležies rūdos redukavimas naudojant elektrolizės būdu gautą „žaliąjį“ vandenilį (Savage, 2023). CO₂ sulaikymas, išskyrimas ir ilgalaikis saugojimas yra nepatraukli technologija. Geležies rūdos elektrolizė yra palyginti nauja technologija, tačiau ji dar komerciškai nepagrįsta. Perspektyviausia alternatyva kol kas yra tiesioginis geležies rūdos redukavimas vandeniliu. Naudojant rūdos redukavimo vandeniliu technologiją, išmetamų teršalų kiekis sumažėja net 95 %.

Vandenilis, kaip energijos nešiklis, jau naudojamas įvairiose srityse (chemijos pramonėje, sunkiajame transporte, aviacijoje, laivyboje ir kt.). Pakeitus koksą, naudojamą aukštakrosnėse geležies rūdos redukavimui, vandeniliu iš vandens elektrolizės, išmetamų teršalų kiekis geležies ir plieno gamybos metu sumažėtų. Vandenilio naudojimas tiesioginiam geležies rūdos redukavimui kartu su elektrolankiniu kempininės geležies perlydimu

galėtų sumažinti šiltnamio dujų emisiją daugiau negu 35 %, palyginti su šiuo metu esamu išmetamų teršalų kiekiu (295 kg CO₂/MWh). Naudojant šį gamybos būdą 1 tonai skysto plieno, reikėtų 3,72 MWh elektros energijos, o įprastam aukštakrosnės darbui reikia 3,48 MWh. Visgi šiek tiek didesnes elektros energijos sąnaudas atsveria nulinė CO₂ tarša. Itin svarbus čia elektrolizerio efektyvumas, nuo kurio priklauso visos gamybos sistemos energijos sunaudojimas. „Žaliojo“ vandenilio naudojimas geležies ir plieno gamybai sumažintų išmetamą anglies dioksido kiekį 2,3 GtCO₂/m. Platesnį vandenilio panaudojimą kaitinimo krosnyse riboja jo ištekliai. Šiai technologijai reikia didžiulio „žaliojo“ arba „mėlynojo“ vandenilio kiekio, gaunamo panaudojus atsinaujinančios energetikos pagamintą elektros energiją. Europos Sąjunga planuoja iki 2030 m. gerokai padidinti atsinaujinančio vandenilio naudojimą ir iki 2050 m. pasiekti nulinę išmetamų teršalų emisiją.

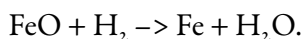
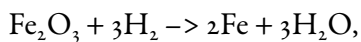
Lietuvos kaimynė Švedija ruošiasi gaminti pirmąjį Europoje komercinį „žaliąjį“ plieną. Nauja gamykla iškils šalia Bodeno miestelio Švedijos šiaurėje, 900 km į šiaurę nuo Stokholmo. Įprastai plienas gaminamas aukštakrosnėse ir tam naudojama koksinė anglis, todėl reakcijų metu susidaro daug CO₂. Naujoje gamykloje bus įdiegta vandenilio technologija, kuri net 95 % sumažins išmetamų teršalų kiekį. Iki 2025 m. planuojama pagaminti pirmąsias plieno tonas. Tai bus pirmoji didelio pajėgumo „žaliojo“ plieno gamykla Europoje, kurios plienas bus naudojamas automobilių, krovinių laivų, pastatų, tiltų ir kitų konstrukcijų gamybai. Nors didžioji Europos plieno pramonės dalis skaičiuoja šimtmečius, vandenilį naudojantis startuolis prieš COVID-19 pandemiją net neegzistavo. Pasistačiusi milžinišką elektros baterijų gamyklą, Švedija ieškojo ekologiškesnio baterijoms reikalingo plieno gamybos būdo. Pagrindinė naujosios plieno gamyklos dalis bus aukšta konstrukcija – DRI bokštas (DRI reiškia tiesioginį geležies



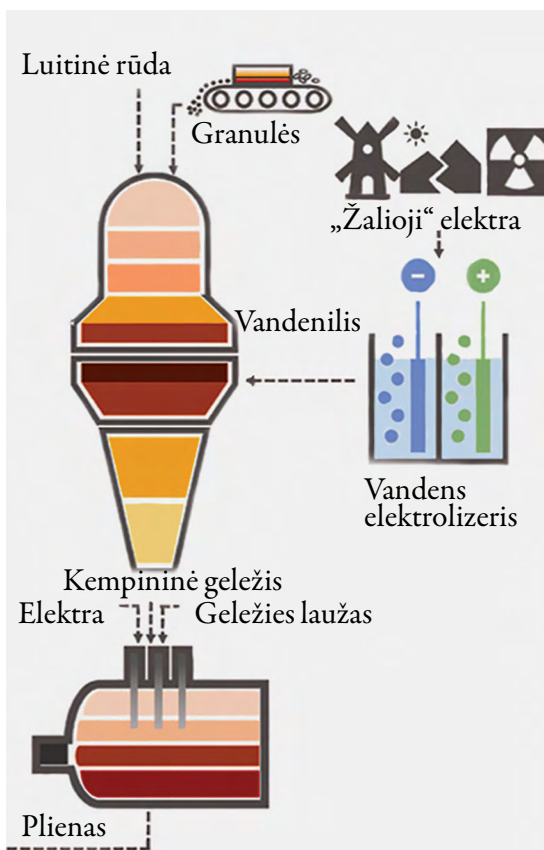
4.16 pav. Plieno gamyklos DRI bokštas (Savage, 2023)

redukavimą) (4.16 pav.). Bokšto viduje su geležies rūda sureagavęs vandenilis redukuos ją į kempininę geležį, iš kurios galima gaminti plieną.

Kempininė geležis savaime nėra naudinga, tačiau ją apdorojus, gaunama kaltinė geležis, arba plienas. Skirtingai nuo geležies redukavimo anglimi (koku), kai dėl redukavimo reakcijų išsiskiria CO_2 , DRI bokšte vykstančios reakcijos metu susidaro tik vandens garai (4.17 pav.):



Visas vandenilis, reikalingas „žaliojo“ plieno gamyklai, bus pagamintas vietoje. Vanduo iš netoliese tekančios upės bus leidžiamas į elektrolizerį, kuriame iš vandens molekulių bus atskiriamas vandenilis. Elektros energija, reikalinga vandenilio gamybai, bus gaunama iš vietinių energijos šaltinių, tai yra bus panaudota netoliese



4.17 pav. Tiesioginis geležies redukavimas vandeniliu (<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S095965262103972X-ga1.jpg>)

tekančios upės hidroenergija ir regioninio vėjo energetikos parko gaminama elektra. Tarptautinės plieno asociacijos duomenimis, šiuo metu metinė „žaliojo“ plieno gamyba siekia apie 2 mlrd. tonų. Iki 2030 m. planuojama per metus pagaminti 5 mln. t „žaliojo“ plieno. „Žaliojo“ plieno gamyklos statomos ir kitur. Ispanijoje „žaliojo“

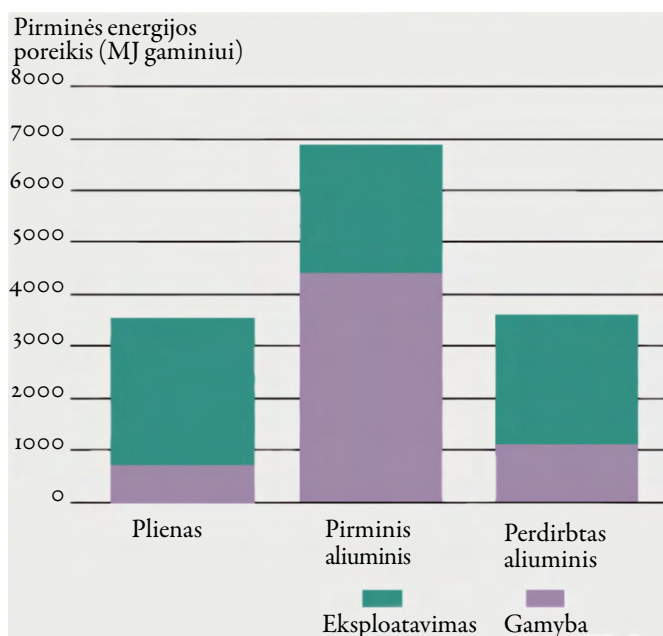
plieno gamybai bus pasitelkta saulės energija, tiriamos tokios gamybos galimybės Brazilijoje. 2027 m. planuojama atidaryti vandenilio gamyklą Prancūzijoje. Vokietijos plieno milžinė „Thyssenkrupp“ paskelbė, kad iki 2045 m. visose gamybose ketina pradėti anglies atžvilgiu neutralią plieno gamybą. Šiuo metu Didžiojoje Britanijoje, palyginti su kitomis šalimis, yra labai aukštos energijos kainos. Tai reiškia, kad plieno pramonė yra netvari, o investavimas į plieno gamybos technologijų pokyčius yra nepatrauklus. Šalies vyriausybė pasirengusi paremti du didžiausius Didžiosios Britanijos plieno gamintojus, kad jie atsikvėptų anglimis kūrenamų aukštakrosnių. Pagal CO₂ emisiją mažinančios plieno gamybos plėtrą Europoje pirmauja Švedija. Europos Sąjunga baigia rengti naują strategiją, vadinamą CO₂ reguliavimo mechanizmu. Juo siekiama, kad Europos įmonės būtų brangiau importuoti pigesnę, „nežaliąją“, plieną iš kitų pasaulio šalių. 2023–2030 m. numatomas „veiksmų langas“, kai maždaug 70 % plieno gamyklų visame pasaulyje bus remontuojamos ir reinvestuojamos. Tuo laikotarpiu aukštakrosnės galėtų būti pakeistos mažesnės CO₂ emisijos technologijomis arba atnaujintos, kad būtų pratęstas jų eksploatavimo laikas. Vis dėlto išmintingesnė ilgalaikė strategija būtų investuoti į perėjimą prie CO₂ emisiją mažinančių gamybos procesų.

Ateinantis dešimtmetis bus labai svarbus siekiant užtikrinti, kad įmonės ir investuotojai priimtų sprendimus dėl „žaliojo“ plieno gamybos, to nepadarius pasaulis bus „užrakintas“ senosiose technologijose dar kelis dešimtmečius. Dar sunku prognozuoti, ar dauguma didžiųjų plieno gamintojų eis šiuo keliu, tačiau ir toliau turi išlikti spaudimas tai daryti.

Technologiniai pokyčiai gali paskatinti nedarbą pramonės centruose. Jei plieno gamyklos bus uždarytos arba pertvarkytos, darbuotojams prireiks mokymų, kitokių įgūdžių, galbūt turės atsirasti visiškai naujos veiklos sritys.

Perdirbto aliuminio svarba mažinant anglies emisiją

Perdirbtas aliuminio laužas gali būti pakartotinai panaudotas. Tiesioginis metalo išlydymas yra daug pigesnis ir jam reikia kur kas mažiau energijos nei aliuminio gamybai iš aliuminio oksido (Al_2O_3) elektrolizės būdu. Aliuminio oksidas pirmiausia išgaunamas iš boksito rūdos, tuomet išgryninamas iki aliuminio oksido (Bayerio procesas) ir perdirbamas į metalinį aliuminį (Hall-Héroutl procesas). Aliuminio laužui perdirbti reikia tik 5 % tos energijos, kuri sunaudojama pirminiam aliuminiui iš neapdorotos rūdos išgauti (4.18 pav.). Dėl šios priežasties maždaug 36 % viso JAV pagaminamo



4.18 pav. Pirminės energijos poreikis aliuminio gamybai ir eksploatacijai (Wuppermann, 2006)

aliuminio gaunama iš perdirbto laužo. Didžiausią perdirbto aliuminio laužo dalį sudaro panaudota gėrimų tara, iš šio perdirbto aliuminio vėl gaminamos aliuminio skardinės.

Aliuminio perdirbimas 97 % sumažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją. Perdirbus 1 toną aliuminio, 9 tonomis sumažėja CO₂ emisija ir sutaupomos 4 t boksito – žaliavos, iš kurios gaminamas aliuminis. Perdirbimas turėtų būti svarbus veiksnys kuriant mažai teršalų išmetančias technologijas. Aliuminio laužo perdirbimas yra vienas iš būdų iki 2030 m. pasiekti nulinį CO₂ pėdsaką pramoninio masto aliuminio gamyboje. 1825 m. pasirodžius aliuminiui, apie milijardas tonų aliuminio pateko į daugybę naudojamų prekių. Nedaug metalų yra tvaresni, patvaresni ir naudingesni nei aliuminis. Jį galima pjauti ar štampuoti. Pagal elektrinį laidumą nusileidžia tik variui, gerai praleidžia šilumą, nekibirkščiuoja, atsparus korozijai ir rūdims, nemagnetinis. Daug kartų perdirbamas aliuminis nepraranda savo savybių, todėl yra idealus metalas žiedinei ir mažai CO₂ į aplinką išskiriančiai ekonomikai. Be aliuminio perdirbimo, svarbu jo gamybai naudoti atsinaujinančią energetiką, o ne iškastinį kurą. CO₂ emisija iš dalies priklauso nuo naudojamos energijos rūšies. Elektrolizės procesui gali būti naudojama branduolinė, geoterminė, hidroelektrinė ar saulės energija. Kanados, Brazilijos, Norvegijos ir Venesuelos hidroelektrinės pagamina 61–99 % elektros energijos. Šios šalys yra ir pagrindinės aliuminio gamintojos. Anodai, plačiai naudojami Hall-Héroult elektrolizės procese, yra pagaminti iš anglies ir proceso metu jie generuoja didelius CO₂ kiekius, nepaisant naudojamos elektros energijos šaltinio rūšies. Todėl dedamos pastangos atsakyti anglies anodų.

Aliuminis yra svarbi medžiaga automobilių ir atsinaujinančios energetikos sektoriuose. Šiandien tik 12 % Europoje naudojamų medžiagų gaunamos perdirbant jų laužą ar atliekas. Teoriškai daugumą medžiagų galima perdirbti, tačiau praktiškai taip nėra. Nors aliuminio

perdirbimas turi didžiulį potencialą mažinant CO₂ emisiją, laužo surinkimas ne visada yra lengvas arba įmanomas, o perdirbimo procesas taip pat nėra toks paprastas. Viena, kai perdirbamas aliuminis, kuris atsidūrė sąvartynuose kaip mišri atlieka, antra, kai aliuminis atkeliauja kaip naujas gaminy. Kai aliuminis perdirbamas iš naudotų langų ar automobilių dalių, medžiaga pradeda kitą gyvenimą. Perdirbto aliuminio anglies pėdsakas yra artimas nuliui. Pagrindinis iššūkis perdirbant laužą, yra nepageidaujamų elementų, tokių kaip dažai, lako danga, alyva, plastikas, geležis, mineralai ir organiniai junginiai, šalinimas. Šis techninis procesas priklauso nuo laužo kilmės, cheminės sudėties, ankstesnio naudojimo pobūdžio ir fizinių savybių.

Jau daugelį metų aliuminis plačiai naudojamas maisto, gėrimų, farmacijos ir kosmetikos gaminių pakuotėms. Perdirbimo procese aliuminis nesuyra, nes lydant jo atominė struktūra nesikeičia. Aliuminio gėrimų skardinės perdirbamos tokia seka. Pirmiausia surinktos skardinės supjaustomos į mažas vienodo dydžio plokšteles. Šios plokštelės chemiškai / mechaniškai nuvalomos. Spausdinti užrašai pašalinami pučiant karštą apie 500 °C orą. Plokštelių bloškai kraunami į atspindžio (reverberacijos) krosnį ir kaitinami iki 750 °C ± 100 °C, kad susidarytų išlydytas aliuminis. Į jį gali būti pridėdama vario, cinko, mangano, silicio ir (arba) magnio, kad išlydyta kompozicija atitiktų reikiamą lydinio cheminę sudėtį. Išlydytas aliuminis išpilamas ir procesas kartojamas. Pagal poreikį jis gali būti liejamas į luitus, ruošinius ar strypus, formuojamas į dideles, valcavimui skirtas plokštes, išpurškiamas milteliais, perduodamas į ekstruderį arba išlydytas transportuojamas į gamybos įrenginius tolesniam apdorojimui.

Stambiam aliuminio laužui (dažniausiai tai būna lietas aliuminis, pavyzdžiui, variklių blokai) perdirbti naudojamos ir sukamosios krosnys, kurios, palyginti su atspindžio (reverberacijos) krosnimis, išgauna daugiau perdirbamo aliuminio. Perdirbimo naudingumas

siekia 76 %. Maždaug 75 % iš beveik 1,5 mlrd. t kada nors pagaminto aliuminio vis dar produktyviai naudojama.

Aliuminio gamybai elektrolizės būdu reikia daug energijos, taigi ir aliuminio gamybos anglies pėdsakas labai priklauso nuo naudojamo elektros energijos šaltinio: jis svyruoja nuo mažiau negu 4 t CO₂ ekvivalento vienai tonai aliuminio regionuose, kuriuose naudojama hidroenergija, iki daugiau nei 20 t CO₂ ekvivalento vienai tonai aliuminio regionuose, kuriuose naudojama anglimis kūrenamų elektrinių elektra (Carbon Footprint of Recycled Aluminium, 2021). Aliuminio perdirbimui reikia gerokai mažiau energijos nei pirminio aliuminio gamybai, todėl išmetama mažiau CO₂ – maždaug 0,5 t CO₂ ekvivalento vienai tonai aliuminio.

Kyla klausimas, koks yra perdirbto aliuminio anglies pėdsakas? Pažvelkime į perdirbto aliuminio istoriją. Aliuminio laužas – tai aliuminis, gaunamas iš produktų, kurie jau atliko savo paskirtį. Tai gali būti ir aliuminio skardinės, kurių eksploatavimo laikas yra apie 60 dienų, ir pastatų konstrukcijos, kurios eksploatuojamos daugiau kaip 50 metų. Kai šis laužas perdirbamas, jis pradeda antrąjį savo gyvenimą kaip perdirbtas produktas, jau neturintis anglies pėdsako. Pagaminto naujo produkto anglies pėdsakas yra apie 0,5 t CO₂ tonai aliuminio ir jis atsiranda ne tik dėl perdirbamosios gamybos, bet dėl laužo surinkimo, transportavimo, rūšiavimo ir perlydymo.

Visai kitokia situacija, kai perdirbamos aliuminio gaminių (pvz., ekstruduočių profilių arba valcuotos folijos) technologinės atliekos – proceso laužas susidaro gaminant aliuminio gaminius. Apdorojant aliuminį paprastai 20–30 % žaliavos patenka į perdirbamąjį laužą. Šis laužas yra labai vertingas, jo perdirbimo rodiklis siekia beveik 100 %. Tačiau proceso laužas neatitinka būsimo gaminių paskirties, todėl į jį pridedama pirminio aliuminio, kurio gamyba palieka didesnę anglies pėdsaką. Tai reiškia, kad perdirbto laužo anglies pėdsakas yra ne 0,5 t CO₂ vienai aliuminio tonai, o didesnis.

Nuodegos, pirminės aliuminio gamybos ir antrinio perdirbimo atliekos paprastai klasifikuojamos kaip vis dar turinčios naudingo aliuminio. Šias atliekas sunku tvarkyti, nes jos reaguoja su vandeniu, išskirdamos dujų mišinį (vandenilį, acetileną ir amoniaką), kuris sąlytyje su oru savaime užsiliepsnoja, o dėl sąlyčio su drėgnu oru išsiskiria daug amoniako dujų.

Palyginti su naujo aliuminio gamyba, perdirbant aliuminį (surinkimo, atskyrimo ir perdirbimo išlaidos) sutaupoma daug lėšų. Ilgainiui, kai atsižvelgiama į kapitalo sąnaudas, susijusias su sąvartynais, kasyklomis, boksitų ir žaliavinio aliuminio gabenimu, sutaupoma dar daugiau. Kadangi aliuminis lydymosi procese nepraranda savo atominės struktūros, jį galima daug kartų perdirbti, o daugeliu atvejų ir gaminti tą patį gaminį. Toks perdirbimas yra „uždaro ciklo“.

Vienas didžiausių aliuminio perdirbimo trūkumų yra būtinybė jį atskirti nuo plieno, plastiko ir kitų medžiagų. Vis dėlto daug kartų perdirbamas aliuminis šiek tiek praranda kokybę, todėl gaminy iš naujo aliuminio bus kokybiškesnis nei iš perdirbto. Kai kurie gamintojai aliuminį vadina „neribotai perdirbama medžiaga“, o jo perdirbimo lygis yra daug didesnis negu polimerinių medžiagų.

Lengvai perdirbamas aliuminis yra pripažintas viena tvariausių medžiagų planetoje. Perdirbant aliuminį taupoma elektros energija, nes žaliavinės rūdos redukavimui reikia didžiulio energijos kiekio, o perdirbus aliuminio laužą sutaupoma energijos, išsaugomi miškai, mažėja boksitų kasybos poreikis. Kitas aliuminio perdirbimo privalumas yra tas, kad jis nepatenka į sąvartynus. Skaičiavimai rodo, kad sąvartynuose jis gali irti net 500 metų.

„Žaliojo“ cemento gamyba

Gyventojų skaičius iki 2050 m. turėtų išaugti iki 9,7 mlrd. Norint juos aprūpinti būstu, per ateinančius 30 metų kas savaitę reikės

pastatyti po Paryžiaus dydžio miestą. Apskaičiuota, kad tokiam augimui trūksta 60 % reikalingos infrastruktūros. Šiuolaikiniuose miestuose sunaudojama daugiau kaip 75 % gamtos išteklių, juose susidaro daugiau kaip 50 % visų pasaulio atliekų, o į aplinką išmetama 60–80 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų.

Cemento gamybos apimtis 2019 m. pasiekė apie 4,2 mlrd. t, kai 1995 m. buvo tik 1,39 mlrd. tonų. Vienos tonos įprastinio cemento gamyba į aplinką išskiria apie 0,6–1 t CO₂. Šiuo metu apie 39 % visų pasaulyje išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų tenka statybų pramonei.

Cementas yra stiprus rišiklis ir pagrindinė betono, esminio pamatų, konstrukcijų, kelių, tiltų, greitkelių, pylimų ir kt. komponento, sudedamoji dalis. Atsižvelgiant į pagrindinį cemento vaidmenį statyboje ir miestų plėtroje, cemento gamybos apimtys kasmet didėja. Šiuo metu metinė paprastojo portlandcemenčio gamyba siekia apie 3,6 mlrd. t, o metinis cemento gamybos augimo tempas yra apie 2,5 %. Manoma, kad iki 2050 m. cemento gamyba viršys 4,5 mlrd. t per metus. Kad ir koks būtų svarbus cementas, jo gamybos procesas taip pat yra didelė pramoninės oro taršos priežastis. Klinkerio, pagrindinės cemento sudedamosios dalies, gamyba yra vienas iš kenksmingų dujų, ypač CO₂, emisijos šaltinių.

Cemento gamybos procese kalkakmenio ir molio medžiagų mišinys tiekiamas į iki 1 450 °C įkaitintą krosnį. Po terminio proceso gauta medžiaga sumalama ir susidaro klinkeris, kuris sumaišomas su maždaug 3 % gipso. Gautas mišinys smulkinamas iki mažesnių nei 90 µm dydžio miltelių. Klinkerio deginimui reikia daug iškastinio kuro, kuris degdamas išskiria dar daugiau CO₂ dujų. Cemento pramonėje kurui naudojamos padangos, nuotekų dumblas, naftos perdirbimo ir popieriaus gamybos atliekos, plastikas, tekstilė ir panašios medžiagos. Be klinkerio gamybos, yra ir kitų cemento gamybos procesų, kurie išskiria CO₂. Maždaug 44 % kalkakmenio (svorio) yra

išmetama kaip CO₂ dujos. Cemento gamybos CO₂ emisija sudaro 5–7 % viso išmetamo CO₂ kiekio. Cementas reikalingas daugelyje gyvenimo sričių, todėl sunku įsivaizduoti pasaulį be cemento gamybos. Taigi ar galima sukurti cemento pakaitalą?

Siekiant sumažinti išmetamų teršalų keliamą grėsmę, reikia keisti cemento gamybos procesą ir gerokai sumažinti išmetamų teršalų kiekį. „Žaliojo“ cementas gaminamas taikant „negatyvų anglies išskyrimo procesą“. Kitaip tariant, cementas, kurio gamybos metu išmetamų teršalų kiekis (pvz., klinkerio gamyboje) yra sumažinamas iki minimumo, vadinamas „žaliuoju“ cementu. „Žaliojo“ cementas išsprendžia rimtas aplinkosaugos problemas ir mažina cemento gamybos anglies pėdsaką. Pirmas „žaliojo“ cementas pagamintas Danijoje 1998 m., o nuo 2004 m. didžiosios cemento gamybos bendrovės pradėjo ieškoti naujų būdų, kaip portlandcementą padaryti ekologiškesnį. Gamintojai į mišinį pridėjo plieno gamybos atliekų (šlako, lakiųjų pelenų, magnio oksido), eksperimentavo su mineraliniais priedais, kad sumažintų medžiagų paruošimo temperatūrą. Šiandien gaminant ekologišką cementą naudojamas šlakas, iškastiniu kuru kūrenamų elektrinių atliekos, perdirbtas betonas, kasybos ir karjerų atliekos, stiklo laužas, degęs molis, pjuvenos, pelenai, liejyklų smėlis ir kt. Kai cemento gamybai naudojamos nugriautų pastatų perdirbtos medžiagos, į aplinką išmetama 30 % mažiau CO₂ negu naudojant susmulkintas standartinio betono atliekas. Cemento gamyboje naudojamos minimaliai perdirbtos gamtinės medžiagos arba pramonės šalutiniai produktai mažina paliekamą CO₂ pėdsaką. Prie tvaraus arba „žaliojo“ cemento rūšių priskiriamas magnio oksichlorido, Ekkomaxx, geopolimerinis, kalcio sulfoaluminato, gelžbetoninis, sekvestruotas anglies, kalkakmenio kalcinuotas molio cementas. Cemento rūšys skiriasi gamybos temperatūra, naudojamomis medžiagomis, taikymo sritimis ir savybėmis.

Magnio oksichlorido cementas yra neutralus anglies atžvilgiu. Jis gaminamas naudojant koncentruotą magnio chlorido ir magnio oksido miltelių mišinį – šalutinius magnio kasybos produktus. Nors jo gaminiai pasižymi dideliu gniuždymo stipriu, vanduo šią savybę gali gerokai susilpninti. Cementas gali sukelti plieno koroziją, ir tai dar vienas didelis trūkumas, nes cemento negalima naudoti gelžbetoninėms konstrukcijoms.

Ekkomaxx cementą sudaro 5 % atsinaujinančių skystų priedų ir 95 % lakiųjų pelenų, anglies pėdsakas beveik nulinis; jo gamybai su-naudojama 95 % mažiau pirminių išteklių ir 50 % mažiau vandens nei įprastam portlandcemenčiui. Palyginti su įprastu cementu, jis pasižymi dideliu atsparumu įtrūkimams, ankstyvu stiprumu, ilgaamžiškumu, atsparumu korozijai, sulfatų poveikiui, užšalimui bei atitirpimui. Šio cemento gamyba turi beveik nulinį anglies pėdsaką.

Geopolimerinio cemento gamybai naudojami aliuminio silikatai, gaunami iš pramoninių šalutinių produktų, tokių kaip lakieji pelenai. Geopolimerinis cementas pasižymi panašiomis savybėmis kaip įprastas portlandcementis ir, palyginti su įprastiniu cementu, išskiria beveik 95 % mažiau CO₂.

Kalcio sulfoaluminato cemento (CSC) gamybai reikalinga ne 1 426,6 °C, o 1 232,2 °C temperatūra, todėl į atmosferą išmetama mažiau CO₂. Gaminant šios rūšies cementą, sutaupoma apie 25 % energijos ir maždaug 20 % sumažėja CO₂ emisija.

Gelžbetoninis cementas gaminamas maišant geležį ir silicio dioksidą, kurie gaunami kaip šalutiniai stiklo ir plieno pramonės produktai. Medžiagų mišinys sukietinamas CO₂, todėl cementas anglies požiūriu tampa neigiama medžiaga.

Sekvestruotas anglies cementas (SCC) gaminamas naudojant sūrymą arba jūros vandenį, sumaišytą su CO₂. Gamybos metu CO₂ turtingos dujos filtruojamos pro jūros vandenį. Iš jūros vandens

išgautas magnis ir kalcis reaguoja su anglies dioksidu ir susidaro baltas aukštos kokybės cementas, stipresnis už įprastą portlandcementą, tad gali būti naudojamas kaip jo pakaitalas.

Kalkakmenio kalcinuotas molio cementas (LC_3) yra naujas tvarus cemento tipas, gaminamas iš deginto molio ir kalkakmenio mišinio. Ši technologija iki 40 % sumažina CO_2 emisiją.

„Žaliasis“ cementas yra ekologiškas cementas, nes jo gamybos procesas yra neigiamas anglies atžvilgiu, jo gamybai naudojamos pramoninės atliekos, sunaudojama mažiau energijos. Šis cementas yra labai patvarus, ilgaamžis, tvirtas, atsparus trūkiams, pasižymi mažu chlorido pralaidumu, todėl jo atsparumas korozijai yra tris ar keturis kartus didesnis nei paprasto cemento.

Dėl naudojamų pažangių technologijų gamybos procesas yra labai efektyvus, jo metu išmetama nedaug CO_2 . Teigiama, kad šio proceso metu anglies pėdsakas sumažėja 40 %. Kadangi „žaliojo“ cemento gamybai dažniausiai naudojamos pramoninės atliekos, „žaliasis“ cementas yra pigesnis, nors reikalingų atliekų rinkimas ir paruošimas perdirbimui didina gamybos paliekamą CO_2 pėdsaką.

Cementas tinka didelių konstrukcijų gamybai, nes jame yra deginto molio ir kalkakmenio, kurie mažina poringumą ir didina mechaninį stiprį. „Žaliasis“ cementas gali būti lengvai hibridizuojamas. Hibridizacija padeda pagaminti patvaresnes ir tvaresnes konstrukcijas, palyginti su įprastu betonu, daro „žaliąjį“ cementą atsparesnį tempimui. Šiuo metu manoma, kad „žaliasis“ betonas yra neatsparus drėgmei po betonavimo praėjus maždaug 28 dienoms. Kad betonas tinkamai sukietėtų, turi pasišalinti didesnę betone esančio vandens dalis, o tai reiškia, kad tam laikotarpiui statybos darbai gali būti sustabdyti. Tačiau jis du kartus atsparesnis užšalimui ir atšildymui. „Žaliasis“ betonas turi ir trūkumų: jo žaliavinės medžiagos turi įtakos gniuždymo atsparumui, jis sugeria daug vandens, mažesnis betono lenkimo stipris. Dėl „žaliojo“ cemento

hidratacijos susidaro ypač tanki kristalinė medžiaga – kalcio silikato aliuminato hidratas.

„Žaliojo“ cemento gamybai naudojamos pramoninės atliekos (šlakas, lakieji pelenai) padeda spręsti pramoninių atliekų šalinimo problemą, ši gamyba labai prisideda prie aplinkos taršos mažinimo. Be to, „žaliojo“ cemento gamyba grindžiama technologijomis, kurioms reikia mažai energijos. Dėl didelio atsparumo tempimui ir korozijai „žaliasis“ cementas yra puikus pasirinkimas statant tiltus ir kelius. Jo susitraukimo greitis mažesnis, todėl jis ilgaamžiškesnis nei įprastas cementas. „Žaliasis“ cementas gali atlaikyti neigiamą rūgštaus lietaus ir kintančios temperatūros poveikį. Anglies emisija gaminant „žaliąjį“ cementą yra apie 80 % mažesnė nei gaminant tradicinį cementą. „Žaliasis“ cementas iš tiesų yra statybos ateitis, jis puikiai pakeičia įprastą cementą. Šiuolaikiniai namai, pastatyti iš tokių medžiagų, yra gerai įvertinti „žaliųjų“ namų reitingų sistemoje ir yra puikus motyvas statyti ekologiškus pastatus.

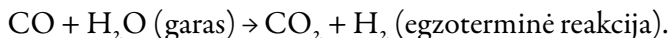
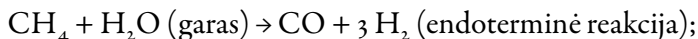
4.14. Ar vandenilio energetika padės sumažinti CO₂ emisiją

Yra skirtingų nuomonių apie vandenilio naudą. Pirmiausia jį galima naudoti kaip degalus ir taip mažinti anglies sunaudojimą arba kaip energijos šaltinį namams šildyti, automobilių kurui. Škotijos dujotiekių tinklai parengė planą tiekti vandenilį daugumai gyvenamųjų namų ir įmonių daugiausia esamais vamzdžiais, o kitus panaudoti CO₂ surinkimui ir laidojimui Šiaurės jūros dugne.

Vandenilio naudojimas atrodo labai patrauklus. Atskyrus vandens dvi sudedamąsias dalis (be jokių išmetamų teršalų) ir įpylus vandenilio į kuro baką, jau galima spausti automobilio

akceleratorių. Ir jokių kenksmingų teršalų, nes degdamas vandenilis virs vandeniu. Tiesa, vandenilis nėra visiškai netaršus, jei deginamas ne gryname deguonyje, o ore – tuomet susidaro ir azoto oksidų. Natūraliai gamtoje randamas vandenilis vadinamas „baltuoju“, jo ištekliai labai riboti. Akivaizdu, kad vandens elektrolizė yra brangi ir tik dabar artėja prie komercinio masto. Norint pagaminti 1 kg „žaliojo“ vandenilio, reikia sunaudoti 50 kWh elektros energijos. Vėliau, konvertuojant vandenilį atgal į elektros energiją, gaunama jau tik 33 kWh. Dėl to patiriami nuostoliai, o pats vandenilis yra pakankamai brangus. Šiuo metu savo poreikiams Lietuva pasigamina tik 20–30 % „žaliosios“ elektros, todėl gaminti vandenilį naudojant elektrą, gaminamą iškastiniu kuru kūrenamose elektrinėse, yra brangu.

Žalieji aktyvistai nerimauja, kad vandenilis retai būna „žaliasis“, tai yra pagamintas elektrolizės būdu, bet dažniausiai yra „mėlynasis“, išgaunamas iš gamtinių dujų. Pastaroji gamyba gerokai pigesnė, o produkcija naudojama visoje pramonėje – nuo metalų rafinavimo iki maisto perdirbimo ar raketų kuro. Skaidant gamtinių dujų molekules kartu su vandeniliu susidaro anglies dioksidas:



Tarp šiltnamio efektą sukeliančių dujų jis yra pagrindinis klimato kaitos įtariamasis, todėl klimatui nekenksmingas sprendimas būtų anglies dioksido surinkimas ir saugojimas. Šis būdas ypač patrauklus angliavandenilių pramonei, nes leidžia toliau gręžti gamtinių dujų gręžinius, o vandenilinis kuras turi daugiau šalininkų nei nafta ar dujos. Pavyzdžiui, pagal planą Škotijos dujų tinklo dalis gali būti pritaikyta vandeniliui tiekti tik 2045 metais.

Pagrindiniu ekonomikos dekarbonizacijos ramsčiu galėtų tapti „žaliasis“ vandenilis (jį išgaunant neišskiriamos šiltnamio efektą sukeliančios dujos). Jis galėtų pakeisti iškastinį kurą bet kurioje srityje – pramonėje, transporto sektoriuje ar kasdieniame gyvenime. Su 1 kg „žaliojo“ vandenilio automobiliu galima nuvažiuoti maždaug 100 km. Dabartinis dujotiekio tinklas galėtų būti pritaikytas vandenilio dujoms transportuoti, o vidaus degimo variklis – vandenilio kurui. Sumaišius gamtines dujas su vandenilio dujomis santykiu 80 ir 20 %, CO₂ emisija sumažėtų 6,5 %. Taigi norint naudoti vandenilio dujas, nereikia didelių investicijų. Šiuo metu „žaliasis“ vandenilis gali būti gaunamas elektrolizės būdu. Proceso efektyvumas siekia iki 80 % ir jis nėra pakankamas, kadangi energijos sunaudojama daugiau nei jos suteikia vandenilis. Norint išvystyti vandenilio energetiką, privalu sukurti efektyvų ir komerciškai patrauklų vandenilio gavybos būdą, optimizuoti esamus ar ieškoti naujų vandenilio transportavimo būdų, optimizuoti vandenilio kuro celes. Kitas svarbus uždavinys yra vandenilio sandėliavimas ir transportavimas, kadangi nuo to priklauso energijos nuostoliai, kurie gali siekti 23–37 %. Be to, norint panaudoti vandenilį kuro celėse, pastarojo grynumas turi būti itin aukštas (~99,999 %), tad sandėliavimas ir transportavimas turi atitikti pačius aukščiausius standartus. Galiausiai apie 40–50 % energijos prarandama vandenilio kuro celėse. Akivaizdu, kad daug energijos netenkama ir eksploatacijos metu. Elektrolizės būdu gautas vandenilis nėra komerciškai patrauklus – kilogramo kaina gali siekti 3,5–6 Eur, kai gamtinių dujų reformingo būdu gautas „mėlynasis“ vandenilis gali kainuoti 2–3 Eur, o „pilkasis“ – apie 1,5 Eur. Daugiausiai vandenilio (daugiau kaip 90 %) išgryninama iš angliavandenilinių (akmens anglių, naftos, gamtinių dujų) junginių reformingo proceso metu. Nei „mėlynasis“, nei „pilkasis“ vandenilis nėra alternatyva iškastiniam kurui. „Pilkojo“ vandenilio atveju susidariusios CO₂ dujos patenka į atmosferą. „Mėlynojo“ vandenilio atveju CO₂ dujos yra surenkamos ir sandėliuojamos, tačiau tam

tikras jų kiekis vis tiek patenka į aplinką (Fraser, 2021). Gazifikacijos būdas, kuriuo gaunamas „rudasis“ ar „juodasis“ vandenilis, yra labai taršus, nes į atmosferą išskiriama daug anglies. Kuriamos sistemos, kurios skaidytų vandenį į deguonį ir vandenilį, naudojamos tik saulės šviesą (šviesos energiją). Tokios sistemos galėtų tapti puikia alternatyva elektrolizei, o gautas vandenilis tikrai būtų „žalasis“, kadangi nebūtų naudojami išoriniai energijos šaltiniai, o gavybos metu nesusidarytų šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD). Iki 2024 m. ES planuoja pagaminti iki 1 mln. tonų vandenilio iš atsinaujinančių išteklių. Tam prireiks 6 GW galios elektrolizerių. Vandeniliu varomiems autobusams, o vėliau ir sunkvežimiams reikės vandenilio degalinių. Taigi elektrolizeriai bus naudojami vandeniliui tiekti į vietines vandenilio degalines. 2025–2030 m. elektrolizerių galią ketinama padidinti 7 kartus ir pagaminti iki 10 mln. t vandenilio iš atsinaujinančių išteklių. 2050 m. maždaug ketvirtadalis atsinaujinančios elektros energijos gali būti panaudojama vandeniliui iš atsinaujinančių išteklių gaminti. Analitikų vertinimu, iki 2050 m. švarusis vandenilis galėtų patenkinti 24 % pasaulinės energijos poreikio. Lietuvoje gamtinės dujos neišgaunamos, todėl čia laidoti CO₂ draudžiama. Antra vertus, CO₂ surinkimas ir išvežimas į kitas šalis yra brangus. Kol kas ir vandenilis iš atsinaujinančių išteklių, ir „mėlynasis“ (mažo CO₂ pėdsako) vandenilis, palyginti su vandeniliu iš iškastinio kuro, dar nėra konkurencingas.

Vandenilis iš vėjo energijos

Atsinaujinančios energijos šaltinių plėtra dar laukia. Iki 2026 m. atsinaujinančios elektros energijos pajėgumas išaugs daugiau nei 60 % (daugiau nei iki 4 800 gigavatų), palyginti su 2020 m., o tai prilygsta bendram iškastinio kuro ir branduolinės energijos pajėgumui 2021 metais. Atsinaujinantys energijos šaltiniai sudarys beveik 9 % padidėjusios galios, o saulės energetika – daugiau nei pusę tiekiamos energijos.

Pagrindinis iššūkis šiems naujiems pajėgumams bus nepertraukiamas tiekimas. Kaip užtikrinti patikimą energijos tiekimą iš atsinaujinančių šaltinių? Baterijos gali išsaugoti generuojamą elektros energiją pertrūkių metu. Šią galią vėliau galima naudoti nutrūkus elektros energijos tiekimui arba kaip apkrovos balansavimą didžiausios paklausos metu. Baterijos taip pat gali tiekti atsinaujinančią energiją stabiliai, be jokių trikdžių, kuriuos gali sukelti pertrūkiai. Didelės galios energetikai skirtos baterijos yra palyginti nauja koncepcija, tačiau ji panaši į hidroakumuliacinės hidroelektrinės koncepciją, atsiradusią XX a. pradžioje. Pramoninių baterijų galia jau matuojama megavatais ir jos diegiamos visame pasaulyje, kad elektros tinklai būtų tvaresni ir atsparesni.

Vienas iš pavyzdžių yra vėjo jėgainių parkas Jeju saloje Pietų Korėjoje. Jo vėjo turbinos gamina atsinaujinančią energiją, o elektra – „žaliąjį“ vandenilį – nulinės emisijos kurą transporto priemonėms ir kitoms reikmėms. Pietų Korėja daug investuoja į vandenilį ir siekia sukurti „vandenilio ekonomiką“. Baterijos tiekia energiją elektrolizei, kuris elektrolizės būdu skaido vandenį į vandenilį ir deguonį. Jos apsaugo sistemą nuo netikėtų sustojimų, anomalijų, elektrolizerio elementų degradacijos ir kitokios žalos, kuri gali atsirasti, kai atsinaujinanti energija tiesiogiai tiekiama į elektrolizerį. Natrio ir sieros baterijų (NAS) sistema pasirinkta todėl, kad ji gali sukaupti pakankamai elektrolizeriams reikalingos energijos, net kai vėjo turbinos ilgą laiką negeneruoja elektros energijos. Kitas svarbus bruožas yra saugumas: dėl artimos vandenilio gamybos ir saugyklų kaimynystės yra būtina gaisrų prevencija.

NAS baterijos yra reikšminga technologija tokioms šalims kaip Japonija, kuri bando plėsti atsinaujinančią energetiką po 2011 m. Fukušimos atominės elektrinės branduolinės avarijos. Natrio ir sieros baterija yra išlydytos druskos baterija, kurioje naudojami skysto natrio ir skystos sieros elektrodai. Šio tipo baterijos turi panašų energijos tankį kaip ličio jonų baterijos, tik gaminamos iš nebrangių

ir netoksiškų medžiagų. Didelės talpos baterijos yra labai svarbios atsinaujinančiai energetikai, nes pagerina jos prieinamumą ir patikimumą. Taigi energijos kaupimas ir saugojimas baterijose, arba baterijų technologija, tampa ekologiškesnio ateities pasaulio dalimi.

Vandeniliu varomos transporto priemonės

Vandeniliu varoma transporto priemonė varomajai jėgai sukurti naudoja vandenilį. Energija gaunama cheminę vandenilio energiją paverčiant mechanine energija. Vandeniliui reaguojant su deguonimi, kuro elemente gaminama elektros energija arba vandeniliui degant vidaus degimo variklyje, degimo energija paverčiama mechanine energija.

2019 m. 98 % vandenilio buvo gaunama metano dujų reformingo būdu, tačiau šio proceso metu išsiskiria CO₂ dujos. Dar jį galima išgauti vandens elektrolizės būdu (proceso efektyvumas tik 65–70 %) arba termocheminėmis ar pirolitinėmis priemonėmis naudojant atsinaujinančias žaliavas, tačiau šie procesai dabartiniu metu yra brangūs. Išgaunant vandenilį iš iškastinių energijos išteklių, į aplinką išmetama daug šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Vandenilio gamybai naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, tokių emisijų nebūna, tačiau reikia plėsti atsinaujinančios energetikos mastą. Kai kuriose šalyse atsinaujinančios energetikos ištekliai plačiau naudojami vandeniliui gaminti, pavyzdžiui, Islandija vandeniliui gaminti naudoja geoterminę energiją, o Danija – vėjo energetiką.

Vandeniliu varomos transporto priemonės gali nuvažiuoti didelį atstumą pripylus degalų tik vieną kartą, tačiau turi ir trūkumų: didelės CO₂ emisijos į aplinką, kai vandenilis gaunamas iš gamtinių dujų, palyginti su kitomis skysto kuro rūšimis, mažas energijos kiekis tūrio vienetu, reikalingos didelės investicijos degalų papildymo infrastruktūrai, vandenilio transportavimo sunkumai. Vandenilinių transporto

priemonių kuras – molekulinis vandenilis – gali būti gaunamas taikant daugybę termocheminių metodų: iš gamtinių dujų, anglių (anglies dujųofikavimas), iš suskystintų naftos dujų, biomasės, naudojant termolizę arba iš mikrobinių atliekų (biologinis vandenilis). 95 % vandenilio pagaminama iš gamtinių dujų, 85 % pagaminto vandenilio sunaudojama sierai pašalinti iš benzino. Vandenilio tūrinis energijos tankis, palyginti su benzinu ir kitais transporto priemonių degalais, aplinkos sąlygomis yra labai mažas. Transporto priemonėje jis turi būti laikomas kaip aušinamasis skystis arba kaip labai suslėgtos dujos, o tam reikia papildomos energijos. Transporto priemonių bake vandenilis laikomas esant 350 barų (5 000 psi) ir 700 barų (10 000 psi) slėgiui. Vandenilinio kuro tiekimo infrastruktūrą sudaro degalinės, kurioms suslėgtas vandenilis tiekiamas vamzdynais, skysto vandenilio cisternos arba vandenilio gamybos įranga.

Kol kas gaminti vandenilio kuro elementus yra gana brangu, nes jų katalizatoriams reikia retų ar brangių medžiagų, pvz., platinos. Gerokai mažiau sunaudojama platinos, kai tam panaudojamos platinos nanodalelės arba nanolaideliai. Kuro elementų eksploatacijos laikas yra panašus į kitų transporto priemonių mazgų eksploatacijos laiką. Polimerinės elektrolitinės membranos kuro elementų eksploatacijos laikas yra apie 7 300 valandų.

Automobiliai su vandeniliniais vidaus degimo varikliais skiriasi nuo vandenilio kuro elementų automobilių. Vandenilio vidaus degimo variklis yra šiek tiek modifikuota tradicinio benzininio vidaus degimo variklio versija. Šie vandenilio varikliai degina degalus taip pat, kaip ir benzininiai varikliai; pagrindinis skirtumas yra išmetamų dujų sudėtis. Deginant benziną išmetama daug anglies dioksido, nedideli kiekiai anglies monoksido, azoto oksidų, kietųjų dalelių ir nesudegusių angliavandenių, o pagrindinis vandenilio degimo produktas yra vandens garai. Pirmasis vandeniliu varomas vidaus degimo variklis sukurtas Prancūzijoje 1807 metais.

Vandeniliu varomomis transporto priemonėmis gali būti automobiliai, autobusai, krautuvai, traukiniai, laivai, lėktuvai. Vandenilis naudojamas ir kosminiams erdvėlaiviams. Vandeniliu varomų automobilių dar yra mažai. 2021 m. rinkoje viešai buvo prieinami tik du lengvieji vandeniliniai automobiliai: Toyota Mirai ir Hyundai Nexa. Toyota Mirai vandenilio bakas užpildomas per penkias minutes, automobilis gali nuvažiuoti 502 km. Daugelis vandenilinius automobilius kuriančių automobilių bendrovių pereina prie akumuliatorinių elektrinių transporto priemonių. Vandenilio kuro elementais varomus autobusus išbandė keli gamintojai („Ursus Bus“, „Solaris Bus & Coach“, Lenkija), tačiau tokių autobusų eksploatacijos kaina yra 6 kartus didesnė už varomų elektra. 2015 m. Kinija pademonstravo pirmąjį pasaulyje vandenilio kuro elementais varomą tramvajų. Vokietijoje 2018 m. pradėta eksploatuoti pirmuosius kuro elementais varomus traukinius. Dauguma įmonių nenaudoja naftos produktais varomų krautuvų, nes šios priemonės dirba uždaroje patalpoje ir reikia kontroliuoti išmetamų teršalų kiekį. Kuro elementais varomi krautuvai gali būti pranašesni už akumuliatorinius, nes juos galima papildyti per 3 minutes, be to, jie gali būti naudojami šaldymo sandėliuose, nes veikimo naudingumas žemesnėje temperatūroje nesumažėja. Korėjoje ir Australijoje pradėta naudoti vandenilio kuro elementais varomus sunkvežimius. Manoma, kad vandenilio kuro elementai netinka tolimojo susisiekimo laivams, tačiau juos galima naudoti mažo greičio laivuose ir trumpiems atstumams, pavyzdžiui, keltuose. Kinijoje, Australijoje, Prancūzijoje kuriami vandeniliu varomi dviračiai. Toks vieno cilindro vandeniliu varomas dviratis gali nuvažiuoti 150 km.

Kritikai teigia, kad techninių ir ekonominių iššūkių, susijusių su plataus masto vandenilio naudojimu automobiliuose, įveikimui gali prireikti mažiausiai kelių dešimtmečių. Manoma, kad investavimas į elektra varomas transporto priemones yra ekonomiškėsis pasirinkimas siekiant sumažinti CO₂ emisiją.

Ekologiškesniu tampa ir geležinkelio transportas. Vokietija pirmoji pristatė vandeniliniu kuru varomus traukinius: 2022 m. pirmasis vandeniliu varomas traukinys, nepapildydamas degalų, nuvažiavo 1 175 km. Energija gaunama jungiant vandenilį su deguonimi. Tokie traukiniai priskiriami „nulinės emisijos“ transporto rūšiai. Ant vagono stogo sumontuoti kuro elementai sumaišo vandenilį su aplinkos ore esančiu deguonimi ir pagaminama traukiniui reikalinga elektros energija. Šalutiniai produktai yra tik garai ir vanduo, o dalis generuojamos šilumos naudojama traukinių oro kondicionavimo sistemoms. Vandeniliniai traukiniai yra perspektyvūs siekiant sumažinti geležinkelio sektoriaus išmetamą CO₂ kiekį ir pakeisti labai taršų dyzeliną. Kol kas Vokietijoje net 20 % kelionių vyksta dyzeliniais traukiniais.

Kinija tapo pirmąja šalimi Azijoje ir antrąja pasaulyje, paleidusia vandeniliu varomus miesto traukinius. Didžiausias pasaulyje geležinkelio transporto priemonių gamintojas išleido nulinės emisijos traukinį, varomą vandenilio kuro elementais. Elektrocheminė vandenilio ir deguonies reakcija gamina energiją vandenilio kuro elemente. Keturių vagonų traukinys gali išvystyti 160 km/val. greitį, todėl tai greičiausias iki šiol vandeniliu varomas traukinys. Traukinyje pritaikyta „vandenilio energijos“ technologija, kurios sukurtos energijos pakanka 600 km kelionei.

Ar vandenilis yra perspektyvus transporto priemonių kuras? Kuro elementai iki trijų kartų yra efektyvesni negu vidaus degimo varikliai, juos galima naudoti esamuose traukiniuose ir linijose. Vandenilinio traukinio didžiausias greitis siekia 160 km/h, o nuvažiuojamas nuotolis be degalų papildymo – 600 km (rekordas – 1 175 km). Tačiau yra ir nemenkų trūkumų: brangi degalų papildymo infrastruktūra, mažas naudingumo koeficientas, didelis energijos sunaudojimas, didelė paties vandenilio kaina, ribota „žaliojo“ vandenilio gavyba. Plačiausiai paplitusi vandenilio gavyba yra gamtinių dujų reformingas. Šis procesas yra brangus, jo metu išsiskiria daug CO₂ dujų. Taigi jei vandenilis gaminamas ne iš atsinaujinančių šaltinių, jo gavyba teršia aplinką, ji

nurungia elektra varomos transporto priemonės. Žinoma, vandenilis yra labiausiai paplitęs elementas visatoje, tačiau nėra požeminių „vandenilio telkinių“, iš kurių būtų galima jį siurbti.

4.15. Ekologiškas transportas

Ekologiškas kelių transportas

Kas yra ekologiškas transportas? „Žaliasis“ transportas, arba tvarus transportas, tai transporto rūšis, kurios dujų emisijos nedaro neigiamo poveikio aplinkai. Orą teršia iškastiniu kuru (ir kai kuriuo biokuru) varomos transporto priemonės, dyzelinių variklių išmetamos kietosios dalelės, azoto junginiai NO_x , lakieji organiniai junginiai, anglies monoksidas, benzenas (C_6H_6) ir įvairūs kiti pavojingi teršalai. Oro teršalų koncentracija ir neigiamas poveikis kvėpavimo takams yra didesnis šalia gatvių ir kelių negu tam tikru atstumu nuo jų. Transporto priemonių sukeltos dulkės gali turėti įtakos alerginėms reakcijoms. 2011 m. duomenimis, trečdalis visų išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidaro naudojant transporto priemones. Vidaus degimo variklio varoma vidutinė keleivinė transporto priemonė viename kilometre išmeta apie 251 gramą CO_2 , o per metus – apie 4,6 t CO_2 . Be anglies dioksido (CO_2), automobiliai išmeta metaną (CH_4) ir azoto oksidą (N_2O), o iš oro kondicionierių išsiskiria hidrofluorangliavandeniai. Šių dujų emisija, palyginti su CO_2 , yra nedidelė, tačiau ir jų poveikis gali būti reikšmingas, nes pasižymi didesniu globalaus atšilimo potencialu negu CO_2 . CO_2 nėra toksiškas žmonėms, tačiau yra pagrindinė šiltnamio efektą sukeliančių dujų dalis, o variklinių transporto priemonių emisijos yra svarbus didėjančios CO_2 koncentracijos atmosferoje, taigi ir visuotinio atšilimo, veiksnys. Pastaraisiais metais daug dėmesio skiriama ekologiško transporto tyrimams

ir paieškoms. Ta paieška įvairialypė – tai naujų medžiagų kūrimas, ekologiškesnio kuro, atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas ir daugelio kitų technologinių principų taikymas. Visgi, vertinant visų rūšių transporto poveikį gamtinei aplinkai ir klimato atšilimui, šios pastangos yra labai kuklios, dažnai vėluojančios ir stabdomos senųjų technologijų vartotojų.

Elektrinės transporto priemonės pirmą kartą pasirodė XIX a. viduryje, kai žmonės dar dėvėjo aukštas skrybėles, o gatvės buvo apšviestos dujų lempomis. Konstruktoriai eksperimentavo su įvairiais energijos šaltiniais, nors reikia pripažinti, kad jiems labiau rūpėjo sukurti veikiantį automobilį, o ne kažkokia nauda aplinkai. Pirmasis žinomas elektromobilis buvo varomas galvaniniais elementais (t. y. baterijomis). Jį 1837 m. sukūrė škotų chemikas Robertas Davidsonas. Dėl didelių sąnaudų, mažo greičio ir trumpo baterijos veikimo elektrinės transporto priemonės nebuvo plačiau naudojamos, nors ir buvo elektriniai traukiniai ir tramvajai. XX a. pradžioje tapo aišku, kad laimės vidaus degimo variklių automobiliai, ir beveik visus ateinančius devyniasdešimt metų jie neturėjo varžovų.

Hibridinius automobilius dar 1900 m. sukūrė Ferdinandas Porsche. Per ateinančius trisdešimt metų inžinieriai kūrė automobilius su hibridiniais varikliais, tačiau su pigiu ir lengvai prieinamu benzinu jie negalėjo varžytis ir nespėjo išpopuliarėti. Susidomėjimas aplinką tausojančiais automobiliais išryškėjo XX a. 8-ajame dešimtmetyje, kai tapo aktualios aplinkosaugos problemos. Pirmasis sėkmingas masinės gamybos hibridinis automobilis turėjo dujinį-elektrinį variklį. Pristatytas 2000 m. jis privertė automobilių pasaulį suprasti, kad aplinkai nekenksmingi automobiliai čia pasiliks.

„Žaliosios“ transporto rūšys priklauso nuo atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip vėjo ir saulės energija, hidroenergetika ir biomasės energetika. Ekologiškas transportas gali būti asmeninis (pvz., motociklas) arba viešasis (pvz., elektrinis miesto autobusas). Šiuo

metu net 95 % transporto naudojamos energijos gaunama iš naftos. Joks pasaulinį atšilimą stabdantis scenarijus neįmanomas be skubių ir konkrečių veiksmų transporto sektoriuje. Šiuo metu transportas, išmetantis 20 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD), daro įtaką visiems ir visur.

2021 m. Kinija paskatino elektromobilių rinkos augimą, nes jos pardavimai išaugo beveik tris kartus – iki 3,4 mln. 2021 m. Kinijoje buvo parduota daugiau elektromobilių nei 2020 m. visame pasaulyje. Dabar keliuose važinėja apie 16 mln. elektromobilių, kurie per metus sunaudoja maždaug 30 teravatvalandžių (TWh) elektros energijos. Šis kiekis prilygsta Airijoje pagamintos elektros energijos kiekiui.

Europoje elektromobilių pardavimas 2021 m. išaugo beveik 70 %, tai yra iki 2,3 mln., iš jų maždaug pusė buvo įkraunami hibridai. Didžiausia elektromobilių rinka Europoje 2021 m. buvo Vokietija – beveik kas trečias parduodamas naujas automobilis buvo varomas elektra. Apskritai 2021 m. elektromobiliai sudarė 17 % visų pardavimų Europoje. 2021 m. JAV elektromobilių pardavimai viršijo pusę milijono. Kinija, Europa ir JAV apima maždaug du trečdalius visos automobilių rinkos ir apie 90 % elektromobilių pardavimų. 2024 m. „Volvo“ bendrovė pristatė pirmąjį tik elektra varomą sunkvežimį (Volvo FM Low Entry), tinkantį miesto transportui. Sunkvežimio bendrasis svoris su priekaba 19–32 tonos, variklio galia 330 kW, baterijos talpa 360 kWh (4 akumuliatorių blokai). Viena įkrova galima nuvažiuoti iki 200 km. Įkrovimo laikas: 8,5 val. kintamąja srove (43 kW) arba 1,5 val. nuolatine srove (250 kW).

Nors elektromobilių ateitis atrodo šviesi, iš jų tiekimo grandinių ateina įspėjamieji signalai, nes visoje automobilių pramonėje brangsta medžiagos. 2021 m. plienas pabrango net 100 %, aliuminis – apie 70 %, o varis – daugiau nei 33 %. Kainų didėjimas turėjo įtakos tiek įprastiems automobiliams, tiek ir elektromobiliams. Papildomų iššūkių kelia išaugusios elektromobilių baterijų gamybai reikalingų

medžiagų kainos: per metus ličio karbonatas pabrango 150 %, grafitas – 15 %, nikelis – 25 %. Pasaulis gali susidurti su galimu ličio ir kobalto stygiumi jau 2025 m., nebent bus pakankamai investuojama į jų gamybos plėtrą. Pirmą kartą pasiūlos kliūtys tampa iššūkiu elektrifikuojant kelių transportą (Paoli, Gül, 2022).

2018 m. Ženevos tarptautinėje automobilių parodoje padangų gamybos įmonė „Goodyear“ pristatė naujo tipo padangas, kurių viena iš funkcijų – mažinti CO₂ kiekį ore. Naujų padangų koncepcija yra unikali – į padangų šonus įterpiamos šviežios samanės. Riedėdamos samanų pripildytos padangos ne tik sugeria drėgmę iš kelių, bet ir gali iš oro sugerti CO₂. Paryžiaus dydžio mieste per metus šios padangos gali pagaminti 3 000 t deguonies ir sugerti daugiau nei 4 000 t CO₂. Jos gali ne tik valyti orą – samanų fotosintezės metu susidaranti energija gali maitinti elektroniką (jutiklius, dirbtinio intelekto bloką ir šviesos juostą, kuri keičia spalvas, pranešdama kitiems vairuotojams, kad automobilis stabdo arba persirikiuoja). Dėl padangose esančio šviesos greičio mobiliojo ryšio (LiFi) judančios transporto priemonės gali pasidalyti duomenimis. Naudojant perdirbtų padangų gumos miltelius, padangos atspausdinamos 3D būdu. Jos ilgaamžės ir nepažeidžiamos. Jei tokios padangos bus realiai gaminamos, oro tarša labai sumažėtų. Tikimasi, kad iki 2040 m. elektromobiliai nurungs dyzelinu ir benzinu varomus automobilius. Galbūt CO₂ sugeriančios padangos per ateinančius kelis dešimtmečius taip pat išstums įprastas padangas.

„Žalioasis“ geležinkelis

Geležinkelių transportas yra ekologiškiausias būdas gabenti prekes iš vienos vietos į kitą. Palyginti su sunkvežimiais ir laivais, traukiniai išmeta 80 % mažiau CO₂. Bėginio transporto priemonės apima visų tipų geležinkelių transportą: priemiestinius, keleivinius, krovinius,

greituosius geležinkelius, pramonines geležinkelių sistemas, tramvajus, traukinius rekreacijos parkuose.

Galbūt netolimoje ateityje visi dyzeliniai lokomotyvai bus pakeisti elektriniais, o lygiagrečiai geležinkelio bėgių kas keli kilometrai stovės vėjo jėgainės, požeminėmis jungtimis sujungtos su miesto vidaus geležinkelių sistema. Tai pasiekti nebus lengva, nes šalių geležinkelio vėžė, darbinė įtampa, maitinimo sistemos, pramoninė elektronika ir mikroelektronika ir pan. nėra suderintos, todėl ateityje standartizavimas bus gyvybiškai svarbus. Tokie pokyčiai bus reikšmingi stabdant klimato kaitą. Vyriausybės turi skatinti kelių ir oro krovinių srautus (90 %) nukreipti į elektrinių geležinkelių sistemas. Nulinės taršos transportas ne tik taupo iškastinį kurą, bet ir saugo planetos „sveikatą“.

Pasenę gariniai lokomotyvai vis dar naudojami besivystančiose šalyse ar keičiami į taip pat labai taršius dyzelinius lokomotyvus. Vaizdas gana ironiškas, nes už dūmų debesies matyti ekologiška vėjo turbina (4.19 pav.).

Jei per ateinančius penkerius metus galėtume pašalinti 25 % krovinių pervežimų keliamos taršos ir pasiekti, kad 50 % krovinių



4.19 pav. Garinis lokomotyvas ir jo tarša

(<http://ecotrains.co.uk/wp-content/uploads/2019/10/1-1-Ecotrains-Bob.jpg>)

pervežimų turėtų nulinę emisiją, Žemė turėtų realią galimybę stabilizuotis ir atsigausti.

Elektriniai traukiniai išmeta 20–35 % mažiau anglies nei dyzeliniai. Geležinkelių transportas, tiek plačią, tiek siaurą bėgį, kaip energijos šaltinį jau naudoja ir vandenilio degalus. Deginant vandenilį vidaus degimo variklyje arba reaguojant vandeniliu su deguonimi kuro elemente, gaminama elektros varikliams reikalinga elektros energija.

Bėginio transporto priemonės dažniausiai yra hibridinės ir turi atsinaujinančios energijos kaupimo priemones (baterijas arba superkondensatorius), kurios reikalingos regeneraciniam stabdymui, transporto priemonės efektyvumui gerinti, vandenilio sunaudojimui mažinti. 2010 m. kuro elementus ir vandenilio gamybos įrangą pradėta naudoti įvairiose šalyse (Kinijoje, Vokietijoje, Japonijoje, Taivane, Jungtinėje Karalystėje, JAV).

Vandenilis yra labai paplitęs elementas, nes kiekviena vandens molekulė turi du vandenilio ir vieną deguonies atomą. „Žaliojoje“ energetikoje vandenilis nuo vandens molekulės atskiriamas elektrolize. Traukiniuose, pvz., kroviniuose lokomotyvuose ar greituosiuose traukiniuose, sudėtingiau naudoti vandenilinę trauką nei mažesnės galios įrenginiuose, pvz., manevriniuose lokomotyvuose. Tipišku vandeniliu varomos sistemos komponentu yra kuro elementas. Jis paverčia vandenilio cheminę energiją į elektros energiją, vandenį ir šilumą. Nustatyta, kad elektros energijos virsmas vandeniliu ir vandenilio naudojimo produktyvumas bėginio transporto priemonėje yra šiek tiek mažesnis negu 30 % ir panašus į šiuolaikinių dyzelinių variklių.

Didėjanti vėjo energetikos plėtra lėmė elektros energijos perteklių naktimis kai kuriose šalyse, tad šią energiją galima naudoti vandenilio gavybai elektrolizės būdu. Tokiu vandeniliu varomos transporto priemonės neišmeta jokios emisijos. Net jei vandenilis gaminamas metano dujų reformingo būdu, jį naudojantys traukiniai išmeta 45 %

mažiau teršalų nei dyzeliniai traukiniai. 10 MW vėjo jėgainių parkas gali pagaminti 2,5 t vandenilio per dieną. Šio kiekio pakanka 14-os traukinių parkui, nuvažiuojančiam 600 km per dieną. Būtina žinoti, kad vandenilis įvairiuose mišiniuose su oru (4–74 %) yra degus, o pasiekęs 18–59 % – sprogs. Vandeniliu varomo geležinkelio plėtra yra gana lėta. 2002 m. Kvebeke (Kanada) buvo pristatytas pirmasis 3,6 t ir 17 kW galios vandeniliu varomas kasybos darbams naudotas lokomotyvas. 2006 m. Japonijoje sukurta pirmoji pasaulyje vandeniliu varoma savaeigė geležinkelio transporto priemonė – motorinis vagonas. 2008 m. Japonijoje išbandytas eksperimentinis hibridinis traukinys su dviem 65 kW galios kuro elementais ir 19 kWh ličio jonų baterijomis. 2010 m. Indonezijoje buvo pasiūlyta 357 km ilgio greitųjų, vandeniliu varomų geležinkelių linija. Vandeniliu varomi „Maglev“ sistemos traukiniai turėtų sujungti kelis Javos (Indonezija) miestus. 2012 m. Danijoje sukurtas pirmasis Europoje vandeniliu varomas traukinys, vidaus degimo variklyje naudojantis vandenilį. 2015 m. Voriko (Warwick) universitetas (Jungtinė Karalystė) pradėjo vandeniliu varomo lokomotyvo, skirto darbams ties Burdž Chalifos (Burj Khalifa) ir Dubajaus prekybos centrais, kūrimo darbus. 2015 m. Čingdao mieste (Kinija) pristatytas pirmasis 380 keleivių galintis pervežti tramvajus. 2016 m. Žemutinėje Saksonijoje (Vokietija) pradėta eksploatuoti 14 vandeniliu varomų traukinių. 2017 m. vandenilio kuro elementų varomas traukinys išbandytas Anglijoje. 2021 m. Prancūzijos geležinkelių bendrovė paskelbė, kad per ateinančius penkerius metus Šiaurės vakarų Prancūzijoje bus eksploatuojama 15 vandeniliu varomų traukinių. Šie traukiniai nuvažiuos 600 km atstumą ir neišskirs tiesioginės CO₂ emisijos. JAV Kalifornijos geležinkelis 2022 m. užsakė 29 vandenilio kuro elementais varomus traukinius.

Indija planuoja pakeisti geležinkelių sistemą „žaliaisiais“ geležinkeliais ir iki 2030 m. pasiekti nulinę CO₂ emisiją. Nuo 2020 m. 100 MW galios saulės elektrinės buvo įrengtos ant įvairių pastatų

stogų. Dar apie 400 MW galios saulės elektrinių yra skirtinguose statybos etapuose.

Lietuvoje geležinkelio elektrifikacija siekiama, jog ateityje kuruotų aplinką tausojantys nulinio CO₂ pėdsako „žalieji“ elektriniai traukiniai. Šie traukiniai yra gerokai patogesni, greitesni, o jų eksploatacija – pigesnė. Šiuo metu elektrifikuotas geležinkelis Lietuvoje sudaro tik 9 % viso šalies tinklo – elektrifikuoti tik trys geležinkelio ruožai: Vilnius–Kaunas, Lentvaris–Trakai ir Vilnius–Kena. Elektrifikavimo darbai vyksta ruožuose Kaišiadorys–Radviliškis (125 km) ir Šiauliai–Klaipėda (164 km). Baigus elektrifikacijos projektą elektrifikuoto geležinkelio dalis išaugs iki 35 %. Ar geležinkelis tikrai taps „žaliuoju“, priklausys nuo to, kokią elektros energiją naudos lokomotyvai – „žaliąją“, pagamintą iš atsinaujinančių energijos šaltinių, ar įprastą, naudojančią iškastinį kurą.

Klaipėdos jūros krovinių kompanija „Bega“ 2020 m. pristatė autonominį elektrinį lokomotyvą su saulės jėgaine (4.20 pav.). Elektrinis lokomotyvas varomas įkraunamomis ličio jonų baterijomis ir turi 4 kW galios saulės energijos jėgainę, kuri saulėtą dieną gali pagaminti

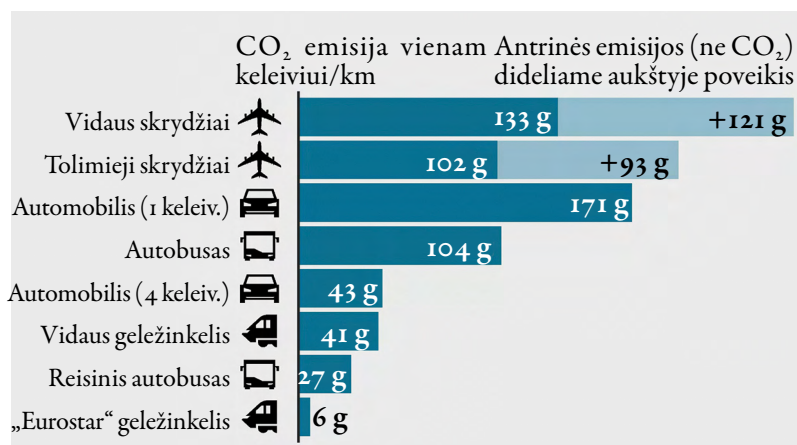


4.20 pav. Autonominis elektrinis lokomotyvas su saulės jėgaine (A. V. Valiulio nuotrauka)

iki 30 % lokomotyvo sunaudojamos energijos. Lokomotyvas gali traukti 24 pakrautus vagonus (2 000 t svorį), dirbti neelektrifikuotuose ruožuose ar uždaroje patalpose. Su visiškai pakrauta baterija lokomotyvas gali dirbti ne mažiau nei 24 val. Esant poreikiui baterija gali būti papildomai įkraunama iš elektros tinklo. Įkrovimas trunka iki 2 val. 2020 m. Lietuvos pramoninių konfederacijos gaminy apdovanotas kaip „Geriausias metų gaminy“.

Elektra varomi lėktuvai

Perėjimą prie tvarios aviacijos būtina spartinti, nes iki 2050 m. skrydžiai išmes apie 43 gigatonas CO₂, t. y. daugiau negu 4 % visų anglies emisijų. Kad ir kaip būtų patogu skraidyti, kelionės lėktuvu kenkia aplinkai. Automobilis išmeta daugiau CO₂ nei vidutinis reaktyvinis lėktuvas, nes vieno keleivio vieno kilometro skrydžiui lėktuvas sunaudoja tik 36,6 g degalų, tai yra mažiau negu vieną keleivį vežantis automobilis (4.21 pav.).



4.21 pav. Įvairių transporto rūšių emisijos

Visgi aviacija kasmet išmeta apie milijardą tonų CO₂, ir tai sudaro 2,5 % pasaulinės CO₂ taršos. Lėktuvų CO₂ emisija pasklinda aukštai atmosferoje, todėl manoma, kad jos šiltnamio efektas yra didesnis nei CO₂, išmetamo jūros lygyje. Siekdamos sumažinti poveikį aplinkai, vis daugiau oro bendrovių užsako baterijomis varomus orlaivius.

Vienas iš garsiausių pastarųjų metų projektų buvo Šveicarijos eksperimentinis saulės energija varomų orlaivių projektas „Solar Impulse“ (taip pavadinti ir projekto orlaiviai). Projektui vadovavo šveicarai André Borschbergas ir Bertranas Piccardas. Kelionę aplink pasaulį iš Al Bateen oro uosto (Abu Dabis) 2015 m. kovo 9 d. pradėjęs orlaivis į tą pačią vietą turėjo grįžti 2015 m. rugpjūčio mėnesį. Orlaivio „Solar Impulse 2“ maršrutas driekėsi šiauriniame pusrutulyje. Iš Abu Dabio jis patraukė į Omaną ir Indiją. Iš pradžių maršrute buvo suplanuota dvylika stotelių. Didžiąją laiko dalį „Solar Impulse 2“ skrido 50–100 km/h greičiu. Taupant energiją, nakties metu skrydis buvo lėtesnis. Skrydžio etapai, kertant Ramųjį ir Atlanto vandenynus, buvo ilgiausi – iki penkių dienų ir naktų. Daugiadienį skrydžių metu pilotai pasinausdavo po 20 min., praktikuodavo jogą ar mankštindavosi, kad pagerintų kraujotaką ir palaikytų budrumą. 2015 m. gegužės mėn. pabaigoje orlaivis perskrido Aziją ir neplanuotai nusileido Japonijoje, kur laukė palankaus oro virš Ramiojo vandenyno. 2015 m. birželio 28 d. pakilęs Japonijoje, Havajus pasiekė liepos 3 d., ir tai buvo naujas ilgiausio pasaulyje skrydžio saulės energija varomu orlaiviu rekordas (117 h, 52 min., 7 212 km). Skrydžio metu baterijos perkaito ir sugedo. Teko užsakyti naujų dalių, o dėl šiauriniame pusrutulyje trumpėjančių dienų lėktuvas ilgesniam laikui nutūpė Havajuose. Su naujais akumuliatoriais 2016 m. balandžio mėn. orlaivis atnaujino kelionę ir po kelių dienų nusileido Kalifornijoje. Perskridęs JAV, orlaivis kirtu Atlanto vandenyną, nusileido Sevilijos mieste (Ispanija), vėliau Kaire, o 2016 m. liepos 26 d. pasiekė Abu Dabį.

Projekto „Solar Impulse“ tikslas buvo pirmą kartą apskrieti Žemę pilotuojamu fiksuoto sparno orlaiviu naudojant tik saulės energiją ir atkreipti visuomenės dėmesį į švarias technologijas (4.22 pav.). Lėktuvo svoris – 2,3 t, sparnų mojis – 72 m. Ant sparnų paviršiaus sumontuotų 17 248 saulės elementų storis – 135 μm (plauko storio). Saulės baterijų energijos tankis – $4 \times 260 \text{ Wh/kg}$; baterijos sudarė ketvirtadalį lėktuvo svorio. Lėktuvo baterijos įkraunamos dienos metu. Dieną lėktuvas pakildavo į 8 840 m aukštį, o naktį, kad taupyti energiją, nusileisdavo iki 1 524 metrų. Vienvietės piloto kabinos erdvė 3,8 m^3 . Lėktuvas turėjo autopiloto ir kitas sistemas, padedančias atlikti kelių dienų transkontinentinius skrydžius. Deguonies tiekimo ir įvairios kitos aplinkos palaikymo sistemos leido pilotui skristi iki 12 000 metrų aukštyje. Iš viso orlaivis per 23 dienas (17 etapų) įveikė daugiau nei 43 000 km. Didžiausias skridimo greitis siekė 140 km/h, o vidutinis greitis – 90 km/h.

2015–2016 m. „Solar Impulse 2“ skrydžiu norėta parodyti, kad šią technologiją galima naudoti tolimiems skrydžiams. Kitaip tariant, skrydžio tikslas buvo ne pakeisti aviacijos sistemą, bet suaktyvinti vaizduotę (Wei-Haas, 2018). Visgi „Solar Impulse 2“ skrydžio indėlis į aviaciją neabejotinai svarus. Daugelis aviacijos kompanijų („AirBus“,



4.22 pav. Elektra varomas „Solar Impulse 2“ lėktuvas (Kanchwala, 2022)

„Boeing“, „Siemens“), siekdamos mažinti skrydžių emisijas, paskelbė apie elektrinių arba hibridinių sistemų kūrimo projektus.

Kai kuriais skaičiavimais, vien komerciniai skrydžiai JAV sudaro 3–4 % visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų. Vienas iš būdų sumažinti sektoriaus poveikį klimatui yra elektra varomų lėktuvų plėtra, todėl tokiems lėktuvams skiriama vis daugiau dėmesio. 2022 m. „Air Canada“ oro linijų bendrovė įsipareigojo išbandyti naują nulinės emisijos technologiją, užsakydama 30 Švedijoje gaminamų baterijomis varomų keleivinių lėktuvų. Kol kas šie elektra varomi lėktuvai dar tobulinami. Jie nedideli, skirti 30 keleivių. Lėktuvas turi 5 t sveriančią ličio jonų bateriją ir gali nuskristi 200 km. Tačiau su iškastiniu kuru varomu generatoriumi skrydžio nuotolį galima padidinti iki 800 km. Net ir skrisdamas „hibridiniu režimu“ lėktuvas išmestų 50 % mažiau teršalų negu standartiniai lėktuvai, antra vertus, šie elektriniai orlaiviai skrydžio metu kelia mažesnę triukšmą.

Elektrinius keleivinius orlaivius kuriančios bendrovės planuoja įgyvendinti daugiau nei 100 elektrinių lėktuvų projektų (4.23 pav.). Kinijos baterijų gamintojai pristatė pusiau kietojo elektrolito



4.23 pav. „Heart Aerospace“ ES-30 30 vietų regioninis elektrinis lėktuvas (Kuta, 2022)

kondensuotą bateriją, kurios energijos tankis siekia 500 Wh/kg ir kuri atitiktų orlaivių reikalavimus. Kondensuota baterija integruoja daugybę novatoriškų technologijų, įskaitant itin didelio energijos tankio katodinę medžiagą, naujovišką anodinę medžiagą, separatorius ir gamybos procesą. Baterija pasižymi puikiais įkrovimo ir iškrovimo savybėmis ir yra labai saugi.

Vandenilio kuro elementais varomus lėktuvus kurianti „Zero-Avia“ šiuo metu įgyvendina šešiaviečio lėktuvo, kuriame bus įdiegta „didelės galios“ vandenilio technologija, projektą. Suslėgtos vandenilio dujos bus tiekiamos į vandenilio kuro elementus, kur reaguodamos su oro deguonimi gamins vandenį ir elektrą. Šie keleiviniai lėktuvai bus skirti trumpo nuotolio (400–480 km) skrydžiams.

Kitos oro bendrovės, sulaukusios kritikos dėl lėktuvų poveikio aplinkai, taip pat išsikelia ambicingus tikslus. Pavyzdžiui, JAV skrydžių bendrovė „United Airlines“, derindama švaresnį kurą ir anglies dioksido kompensavimą, įsipareigojo iki 2050 m. 100 % sumažinti išmetamų teršalų kiekį. Planuojama, kad ateinančių dešimtmetį į dangų kils ir didesnės talpos elektra varomi lėktuvai. JAV „Wright Electric“ bendrovė kuria elektra varomą 100 vietų lėktuvą, kuris turėtų pasirodyti 2027 metais. Danija ir Švedija užsibrėžė tikslą iki šio dešimtmečio pabaigos nebenaudoti iškastinio kuro vidaus skrydžiams. Oro linijų bendrovės pradžioje planuoja naudoti elektrinius lėktuvus trumpiems skrydžiams. Vis dėlto be didelių baterijų technologijų pažangos sukurti elektrinius lėktuvus, galinčius talpinti šimtus keleivių ir nuskristi tūkstančius kilometrų, bus didelis techninis iššūkis. Dėl šių priežasčių kol kas oro skrydžių bendrovės naudoja tvaresnį kurą, anglies dioksido kompensavimą ir kitas naujoves, padedančias mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją tiek dabar, tiek ir ateityje.

Mokslininkai įspėja, kad „žalieji“ skrydžiai nebus lengvai įgyvendinami, nes šiuo metu nėra aiškios alternatyvos tradiciniams

degalams. Skrydžiai išmeta 2,4 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų, kurios prisideda prie visuotinio klimato atšilimo. Išnagrinėjus įvairias ekologiškesnio kuro galimybes, paaiškėjo, kad per trumpą laiką niekas negali pakeisti iškastinio reaktyvinio kuro. Kai kurios oro linijos ir dabar naudoja labai mažus biokuro, pagaminto iš pasėlių, kiekius, tačiau tokiam kurui reikia daug dirbamos žemės, o ji reikalinga maisto gamybai. 2023 m. pirmasis pasaulyje komercinis lėktuvas perskrido Atlanto vandenyną, naudodamas 100 % biokurą, ir nusiėjo Niujorke. Lėktuvas „Boeing 787“ buvo varomas ne iškastiniu kuru, o augaliniu cukrumi ir riebalų atliekomis, tai yra vadinamuoju tvariu aviaciniu kuru.

Tačiau ne visi yra įsitikinę, kad tai yra aviacijos ateitis. Biomasė, reikalinga biokurui gaminti, gali būti gaunama iš įvairių šaltinių – augalų, maisto atliekų ar net dumblių. Nors degdami biodegalai išskiria CO₂, manoma, kad jie tvarūs, nes yra atsinaujinantys, o augdama biomasė pašalina dalį CO₂ iš atmosferos. Problema yra didžiulis biomasės kiekis, reikalingas aviacijos degalų pramonei. Apskaičiuota, kad jei augintume cukranendres komercinių lėktuvų biokurui, prireiktų 125 mln. ha žemės. Vien tik biomasės atliekų neužtektų visiems pasaulio lėktuvams, o padidinti jų gamybą yra milžiniškas iššūkis.

Šiuo metu tarptautinės taisyklės neleidžia skrydžiams naudoti daugiau kaip 50 % biodegalų. Šiandien būtų sunku 100 % biodegalais aprūpinti daugiau nei vieną parodomąjį skrydį.

Tarptautinė oro transporto asociacija prognozuoja, kad iki 2050 m. oro transportui prireiks 450 mlrd. litrų biodegalų, kai 2022 m. buvo pagaminta tik 300 mln. litrų. Padidinti biodegalų gamybą sunku, nes konkurencija dėl žemės didžiulė. Apskaičiuota, kad iki 2030 m. reikės papildomų 70–80 mln. ha dirbamos žemės, o didžioji dalis šių pasėlių (70 %) bus naudojama gyvulių pašarams. Kai kurie biodegalai gaunami iš maisto gamybos riebalų atliekų, tačiau jų yra per mažai. Akivaizdu, kad biokuras, reikalingas

reaktyvinių degalų dekarbonizavimui, nebus prieinamas dideliu mastu, nes apskritai nėra tvarios aviacijos. Kur kas būtų tikslingiau sumažinti skrydžių paklausą visame pasaulyje – galbūt įvesti mokesčių dažnai skraidantiems asmenims arba padidinti mokesčius oro linijų savininkams. Vis dėlto prognozuojama, kad iki 2050 m. bendras metinis skrydžių skaičius pasaulyje pasieks 16 mln., t. y. bus 44 % didesnis nei 2019 metais.

Kitas nagrinėjamas variantas yra kuras iš vandenilio, pagaminto naudojant „žaliąją“ elektrą, tačiau šiuo metu pasaulyje negaminama pakankamai atsinaujinančios elektros energijos. Dar viena svarbi kliūtis yra ta, kad esami lėktuvų varikliai negali tiesiogiai naudoti vandenilio kuro. Svarstomos amoniako ir kitų sintetinio kuro rūšių naudojimo galimybės, tačiau jų gamybai reikia dar daugiau „žaliojo“ vandenilio ir neaišku, ar esami lėktuvai galės šias kuro rūšis naudoti. Dar nėra žinoma, kiek alternatyvus kuras sumažintų skraidymų poveikį klimatui. Ilgainiui tikriausiai bus sukurtas toks kuras, kuris bus finansiškai perspektyvus, saugus, tinkamas naudoti visame pasaulyje ir turės pakankamai didelį energijos tankį, kad jį būtų galima naudoti tolimiems skrydžiams. Pasaulyje pakanka žaliavų, kad alternatyvus kuras būtų gaunamas iš buitinių, komercinių, žemės ūkio ir miškininkystės atliekų bei pramoninių dujų atliekų ir kad jo gamyba nekonkuruotų su maistinėmis kultūromis.

Pasaulis pagaliau susitarė dėl ilgalaikio plano, kaip mažinti skraidymo metu išmetamą CO₂ kiekį. Planui, kurį daugelis laiko kompromisu, pritarė 195 šalys (Bukantis, 2021), tačiau manoma, kad 2015 m. Paryžiaus susitarimas yra silpnas ir teisiškai neįpareigojantis. Oro transportas išmeta apie 2,5 % viso CO₂, tačiau, mokslininkų manymu, poveikis klimato kaitai yra daug didesnis. Tam turi įtakos įvairūs skrydžio padariniai, įskaitant aukštį, kuriuo skrenda lėktuvai, ir variklių paliekamus vandens garus. Vienintelis būdas tai išspręsti yra

sustabdyti aviacinio kuro deginimą. Šalys susitarė dėl CO₂ kompensavimo: įmonės arba asmenys perka CO₂ kreditus iš tokių sistemų kaip miškų plantacijos, kad padengtų tam tikros veiklos, pavyzdžiui, skraidymo, CO₂ emisiją. Oro linijos turėtų susitarti dėl bazinių metų ir visi būsimi išmetami teršalai, viršijantys tą laikotarpį, turėtų būti kompensuojami. Po diskusijų nustatytas 85 % CO₂ emisijos slenkstis 2019 m. reiškia, kad aviacija galės didinti CO₂ taršą, jei aviakompagnijos, viršijusios slenkstį, pirks kompensacijas. Vis dėlto susitarimo šalininkai mano, kad oro linijų bendrovės greičiausiai spartins ekologiškesnių reaktyvinių degalų kūrimą ir kitus techninius sprendimus, kad mažintų CO₂ emisiją.

„Žalioji“ laivininkystė

Tarptautinė laivyba šiuo metu yra atsakinga už maždaug 2,5 % pasaulinės CO₂ emisijos, o jeigu sektorius nebus reguliuojamas, iki 2050 m. ši dalis gali išaugti iki 17 %. Jūrų transportas yra ekologiškesnis nei kitos transporto rūšys, tačiau ir jo poveikis gamtai nemenkas. Vienas didelis laivas išmeta tiek sieros, kiek 50 mln. automobilių, o kur dar kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų ar vandens tarša. Daugiau nei 90 % prekybos vyksta jūra, todėl net nedideli teigiami pokyčiai ilginiui gali būti labai reikšmingi. Vienas iš būdų sumažinti jūrų transporto poveikį aplinkai – efektyvesnis degalų panaudojimas, ypač kai tas kuras turi daug sieros. Taip pat reikia užtikrinti, kad jūrų transporto sistema būtų tvari ir atspari klimato kaitos keliama rizikai.

Jau plaukioja nedideli, 100 % saulės energiją naudojančios laivai, kuriuose nėra iškastinio kuro vidaus degimo variklio. Daugumą elektrinių laivų ar katerių riboja baterijų talpa, nes norint jas įkrauti, reikėjo grįžti prie krante esančio energijos šaltinio. Tačiau dabar, turint naujoviškus saulės elementus, veiksmingas elektrines pavaras

ir didelės talpos baterijas, ilgą laiką galima plaukioti be įkrovimo nuo kranto.

Naujovė, galinti sumažinti emisijas, yra vėjo bures ir baterijas naudojantys laivai. Jau šiandien tokie laivai kursuoja tarp Portugalijos ir Danijos, gabendami įvairias prekes. Vieno reiso metu pervežama iki 30 t krovinio.

Australija įgyvendina idėją prekes į mažas salas tiekti laivais su saulės baterijomis (4.24 pav.). Dėl išsibarsčiusios lokalizacijos, riboto vartotojų skaičiaus ir didelės priklausomybės nuo iškastinio kuro (laivybai naudota anglis) mažų salų gyventojai patiria sunkumų. Šiuo metu pasaulyje eksploatuojama 15 laivų, visiškai varomų saulės energija.

Ateityje iškastinio kuro naudojimas laivybai bus dar labiau ribojamas. Statybose vis dažniau mediena pakeičia betoną ir plieną. Tobulėjant projektavimo programinei įrangai, klijavimo procesams, kompiuteriu valdomoms frezavimo ir pjovimo operacijoms, mediena tapo „nauja“ laivų statybine medžiaga. Daug teigiamų medienos aspektų yra susiję su medžiagos tvarumu ir klimato taršos mažinimu.



4.24 pav. Saulės elementų baterijomis varomas laivas (Newsroom, 2019)

Medienos sukauptas didelis CO₂ kiekis nepatenka į atmosferą tol, kol mediena naudojama kaip statybinė medžiaga. Be to, mediena yra daug tvaresnė nei plienas ar betonas, kurių gamybai reikia daug energijos ir gamybos metu išmetama 11 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Nors mediena komercinėje laivininkystėje naudojama šimtmečius, jos tinkamumas 80–100 m ilgio pakrančių kroviniams laivams su standaus sparno burėmis, saulės elementais, elektriniu varikliu dar laukia tyrėjų ir konstruktorių dėmesio. Jachtų pramonė šiuo metu rengia pirmąjį pasaulyje projektą – 140 m ilgio jachtą, pagamintą iš medienos. Tai bus ne tik didžiausia kada nors pagaminta burinė jachta, bet ir didžiausias medinis laivas.

Kaip ir kitos transporto rūšys, laivininkystė nelieka nuošalėje – kruizinės laivininkystės bendrovės žada imtis veiksmų klimato saugos srityje. „Žaliuoju“ laivu vadinamas bet kuris jūrų laivas, kuris koku nors būdu (mažindamas išmetamų teršalų kiekį, naudodamas mažiau energijos, didindamas sistemų efektyvumą) prisideda prie dabartinės aplinkos būklės gerinimo. Pastaraisiais metais kruizinių kelionių verslas buvo kritikuojamas dėl didelių naftos išsiliėjimų, išpiltų nevalytų nuotekų ir laivų variklių taršos. „Žaliajame“ kruiziniame laive yra funkcijų, kurios mažina laivo sunaudojamos energijos kiekį (tamsinti langai, dėl kurių laivo patalpos yra vėsesnės ir sumažėja oro kondicionierių poreikis, energiją taupantys prietaisai, reguliuojamas plaukimo greitis, užtikrinantis efektyvesnį degalų naudojimą).

Kruizo metu sunaudojami degalai yra nemenka problema aplinką tausojančioms bendrovėms. Kai kurie ekologiški kruiziniai laivai ne tik keičia greitį, bet ir naudoja alternatyvius energijos šaltinius, pavyzdžiui, saulės baterijas. Dideli kruiziniai laivai, plaukdamie dideliu greičiu, per dieną gali sudeginti 280–300 t daug sieros turinčio mazuto, o plaukdamie mažesniu greičiu sudegina tik 80–90 tonų. Alternatyviu laivų kuru laikomos suskystintos gamtinės dujos (SGD) gerokai sumažina oro taršą. Iki 2030 m. Norvegija

siekia elektrifikuoti du trečdalius keleivių ir automobilių keltų, kuria trumpo nuotolio elektrinį konteinerinį laivą (Yildirim, 2022). Statant naujus ekologiškus kruizinius laivus, yra svarbus statybai naudojamų medžiagų svoris: lengvesnės medžiagos ir mažesnis bendras laivo svoris mažina laivo kuro sąnaudas.

Laivuose yra įvairių sistemų, kurias reguliuojant ar derinant gerinamos laivo charakteristikos ir mažinamos kuro sąnaudos:

- išmetamų dujų valymo sistemos („skruberiai“) mažina sieros kiekį dūmuose;
- atliekinės šilumos regeneravimo sistemos variklių išmetamų dujų šilumą paverčia garais, kurie šildo krovinių erdvę, ir taip mažinamos degalų sąnaudos;
- burėms naudojama vėjo energija mažina degalų sąnaudas ir NO_x , SO_x bei CO_2 emisijas; burės galėtų pakeisti 20 % laivo varikliams naudojamo iškastinio kuro;
- išmetamų dujų recirkuliacija vidaus degimo varikliuose, kai dalis dujų grąžinama atgal į variklio cilindrus; šiuo metodu mažinama azoto oksido (NO_x) emisija;
- mažų skylių laivo dugne sukuriamas burbulų srautas gerina laivo slydimą ir gali sumažinti degalų sąnaudas 4–5 %;
- nuo laivo korpuso pašalinus dumblius ir kitus organizmus, degalų sąnaudos gali sumažėti net 20–40 %; netgi tinkami korpuso dažai mažina laivo korpuso ir vandens trintį, todėl sutaupoma 3–8 % degalų.

4.16. Regeneracinė žemdirbystė

Žemdirbystės plotai užima pusę žemės, kurioje galima gyventi, o pasaulinė maisto sistema išmeta 21–37 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Kai laukai apdorojami sunkiąja technika, dirvožemis, kuriame

sukaupta tris kartus daugiau CO₂ negu atmosferoje, išskiria sulai-
kytą anglį atgal į orą.

Žemumų ir molėti dirvožemiai nėra lengviausiai įdirbami. Mažėjant produktyvumui, beriama daugiau trąšų ir pesticidų, dešimtmečiais naudojama įvairi technika. Dėl tokios intensyvios žemės ūkio veiklos žemė netenka organinių medžiagų, paviršinį dirvožemį pamažu degraduoja. Ilgainiui buvo būtina įprastą žemdirbystę keisti į tvaresnę tiek dėl aplinkosaugos, tiek ir dėl pelningumo. Reikėjo mažinti žemės dirbimo intensyvumą, plėsti pa-
grindinių kultūrų (kviečių, žirnių, pupų, miežių) rotaciją, gerinti dirvos drėnažą, naudoti mažiau chemikalų. Trumpuoju laikotarpiu šios dirvožemio regeneracinės priemonės buvo brangios, nes mažėjo derlingumas. Žemdirbiai greitai suvokė, kad sprendimas slypi po kojomis – tai dirvožemio sukapiama anglis. Žolės, javai, ankštiniai ir kiti augalai fotosintezės metu surenka anglį iš oro ir kaupia ją dirvoje. Kruopščiai išmatavus anglies kiekį dirvožemyje, rezultatai sertifikuojami ir pervedami į kreditus. Sukauptą pakankamą anglies kiekį galima „parduoti“ kaip kreditą įmonėms, kurios turi kompensuoti išmetamus teršalus. Tokia veikla yra vadinama „anglies ūkiu“, o naujos krypties žemdirbiai – „anglies ūkininkais“ (Lane, 2021). Tokiuose ūkiuose siekiama ne sukurti, bet surinkti išmetamus teršalus. Didžiausias iššūkis buvo padaryti šią regeneracinio ūkininkavimo formą finansiškai perspektyvią ir skatinti žemės savininkus atkurti nualintus dirvožemius paverčiant juos didžiulėmis CO₂ kempinėmis. Šis drąsus, naujas žemės ūkio verslo modelis kovoja su klimato kaita, kuria darbo vietas ir gelbsti ūkius, kurie galėtų būti nuostolingi. Anglies dioksido sulaikymo dirvožemyje judėjimas dar tik pradeda plisti. Europos Komisija, JAV, Jungtinė Karalystė, Australija propaguoja šią praktiką kaip naujos strategijos „nuo ūkio iki stalo“ dalį, kai vykdoma gamtinę CO₂ sekvestraciją (šiltnamio poveikį sukeliančių dujų mažinimą

atmosferoje) gaunama finansinė nauda. Tačiau parduodant kreditus gali kilti ir problemų. Nors kai kurie ūkininkai daug uždirba iš savo ūkyje sekvestruoto CO₂, susirūpinimą kelia vadinamieji „vaiduokliniai“ kreditai – abejotinos kilmės anglies sekvestracijos vienetai, kurie realiai gali neturėti jokio pagrindo. Į šią problemą žemdirbiai žiūri labai rimtai, nes anglies „pardavimas“ turi būti patvirtintas dirvožemio lyginamąja analize, suderinta su ūkininkų sėjomaina ir atliktu sertifikavimu.

Gyvulininkystė išskiria 65 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Kad sumažėtų bandos ekologinis poveikis, galvijai vienoje ganykloje laikomi neilgai, o likusi žolė nupjaunama. Kanopiniai galvijai kanopomis sujudina dirvą ir įterpia nesudygusias sėklas. Galvijai yra labai svarbi ekosistemos dalis norint suaktyvinti visą anglies surinkimo procesą ir pagreitinti fotosintezę. Padidinus anglies kiekį dirvožemyje, ganyklos sukaupia daugiau vandens, skatina žolių ir kitų kultūrų augimą, todėl ganomos bandos yra sotesnės ir sveikesnės.

Ūkininkas, įsipareigojęs surinkti CO₂, turi rasti platformą, kur parduoti sukauptus kreditus. CO₂ rinkos veikia panašiai kaip bet kurioje biržoje – kainos kyla ir mažėja keičiantis pasiūlai ir paklausai. Galimi tam tikri svyravimai, taigi didesnis ar mažesnis pelnas. Kol kas CO₂ surinkimo schemeje nėra pasaulinio protokolo, kaip matuoti, teikti ataskaitas ir tikrinti kreditus. Anglies koncentracijos dviejuose žemės ploteliuose, esančiuose tik kelių dešimčių centimetrų atstumu, gali labai skirtis, net jei mėginiai imami tame pačiame gylyje. Gali taip atsitikti, kad ūkininkams bus sumokėta už anglies dioksidą, kurio jie iš tikrųjų nesukaupė. Mokslininkai stengiasi padidinti dirvožemio anglies matavimo patikimumą infraraudonųjų spindulių spektroskopija, kuria analizuojama, kaip dirvožemio komponentai sugeria arba atspindi infraraudonąją šviesą. Ar įmanoma paimti mėginius kiekviename

ūkyje? Greičiausiai ne. Kad CO₂ surinkimas būtų masiškai patrauklus, reikia laiko, realios naudos požymių ir teisinių aktų. Tačiau vis daugiau ūkininkų supranta, kad ateityje jautienos, ėrienos ir kiaulienos produktai bus šalutinis anglies, kurią jie sekvestruoja ir parduoda, produktas.

4.17. Plūduriuojančios saulės jėgainės

Dideliems saulės elementų masyvams reikia nemažo žemės ploto, todėl daugelyje šalių (Nyderlandai, Japonija, Brazilija) kuriamos sistemos, galinčios veikti ant vandens telkinių paviršiaus. Plūduriuojančios saulės energijos jėgainės įrengiamos ežeruose, tvenkiniuose ar pakrantės zonose. Jų saulės energetikos plokštės yra aprūpintos saulės sekimo įranga, kad gautų kuo daugiau saulės spinduliuotės. Ši technologija maksimaliai padidina gaminamos šviesios elektros energijos kiekį.

Visame pasaulyje plūduriuojančios saulės baterijos išgyvena plėtros bumą. Per pastarąjį dešimtmetį saulės energijos pajėgumai išaugo nuo 70 MWp 2015 m. iki 1 300 MWp 2020 metais. Prognozuojama, kad per ateinantį dešimtmetį šios technologijos rinka augs 43 % per metus. Vadinamoji „slankioji saulės energetika“ yra gana naujas atsinaujinančios energetikos porūšis, turintis didžiulį potencialą. Plūduriuojančiais saulės elementais padengus 10 % visų žmogaus sukurtų rezervuarų, instaliuota galia sudarytų 20 teravatų (TW), tai yra ji būtų 20 kartų didesnė negu saulės fotovoltinė (PV) galia, kuri 2022 m. pasiekė 1 TW. Vien 2022 m. saulės energetikos gamyba išaugo 270 TWh (26 %) ir pasiekė beveik 1 300 TWh. Iš visų atsinaujinančių elektros energijos gamybos technologijų ji pademonstravo didžiausią augimą. Saulės PV energetika pirmą kartą istorijoje pralenkė vėjo energetiką.

Pasauliniu mastu saulės energetikos pajėgumai per pastarąjį dešimtmetį išaugo beveik 12 kartų – nuo 72 GW 2011 m. iki 843 GW 2021 metais. Dabar ši technologija sudaro 4,5 % pasaulinės elektros energijos gamybos, o 2006 m. sudarė vos 0,03 %. Kartu labai sumažėjo saulės energetikos masyvų (fotoelementų, statybos darbų, jungčių su energetikos tinklais ir kita) kaina, todėl saulės energetika tapo pigiausiu energijos šaltiniu pasaulyje. Tikimasi, kad dėl tolesnės saulės energetikos plėtros iki 2030 m. energetikos pajėgumai išaugs šešis kartus, tačiau tai nepadidins šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos. Didinant saulės energetikos potencialą, svarbų vaidmenį vaidina ir pasaulinė geopolitika. Europos Sąjunga pasiūlė plėsti atsinaujinančios energetikos sektorių, kad būtų sumažinta priklausomybė nuo Rusijos naftos ir dujų po to, kai ši šalis 2014 m. okupavo Krymą ir 2022 m. įsiveržė į Ukrainą.

Plūduriuojančių saulės jėgainių augimas yra viena iš naujausių pastarųjų metų revoliucinės saulės fotovoltinės energijos plėtros tendencijų (4.25 pav.). Nors šie saulės energetikos įrenginiai,



4.25 pav. Japonija daug investuoja į plūduriuojančią saulės energetiką (Gerretsen, 2022)

neužimantys vertingo žemės ploto, turi unikalų pranašumą, šiuo metu jie sudaro mažiau negu 1 % pasaulio saulės energetikos įrenginių. Viena iš priežasčių yra techninės ir finansinės kliūtys: sūrus vanduo sukelia metalų koroziją, o plūduriuojančioje platformoje sumontuoti saulės sekimo sistemos įrenginius yra sudėtinga ir brangu. Kita vertus, įrenginiai ant gėlo vandens telkinių trukdo žvejybai, valtimis ar maudymuisi.

Techniniu požiūriu plūduriuojantys saulės energetikos įrenginiai išsprendžia saulės energetikos neefektyvumo problemą, kai saulės baterijos per daug įkaista. Saulės baterijos elektros energijai gaminti naudoja saulės šviesos spinduliuotę, o ne spinduliuotės šilumą. Kai saulės elementai įkaista, jų efektyvumas sumažėja. Taip yra todėl, kad šiluma sužadina kelės plokštės elektronus, kurie saulės energiją paverčia elektra, todėl skirtumas tarp didelio efektyvumo ir ramybės būsenų sumažėja, o tai savo ruožtu mažina įtampą ir generuojamos elektros energijos kiekį. Saulės elementų plokštės maksimaliai efektyviai veikia esant 15–35 °C, tačiau gali įkaisti ir iki 65 °C, o tai trikdo elementų efektyvumą. Vanduo vėsina saulės baterijas, palaiko jų normalų efektyvumą ir iki 15 % padidina elektros energijos gamybą.

Yra ir kitų būdų, padidinančių saulės baterijų energijos gamybą, pavyzdžiui, pakreipti jas taip, kad sektų saulės kelią danguje. Naudojant mechaninį, geoerdvinį ir šviesos jutiklius, plokštės kas kelias valandas dviem ašimis pasukamos kampu, kad tiksliai sektų saulės aukštį, kai ji juda iš rytų į vakarus. Sekdamos saulę plokštės gali padidinti energijos gamybą 35 %, o vidutinės elektros sąnaudas sumažinti 16 %, palyginti su įprastomis sistemomis. Sujungus plūduriuojančių saulės energetikos sistemų aušinimą ir saulės judėjimo sekimą, elektros gamyba padidėtų iki 40 %. Stebėjimo ir sekimo sistemos nebus reikšmingos vietovėse netoli pusiaujo, nes plokštės ten montuojamos beveik horizontaliai ir didžiąją dienos

dalį yra nukreiptos į Saulę. Vietos, kuriose statomi plūduriuojantys saulės energetikos įrenginiai, turi būti parenkamos atsakingai, nes potvyniai ir audros gali sugadinti plokštes ir jų inkaravimo sistemas. Kitas saulės sekimo įrangos ant vandens trūkumas yra tas, kad ją sunku instaliuoti, nes siekiant užtikrinti stabilumą ant vandens, platformoje turi būti sumontuoti sraigtai ir varikliai.

Plūduriuojančios saulės jėgainės gali sumažinti vandens telkinių garavimą ir užkirsti kelią toksiškų dumblių plitimui: saulės negaunantis vanduo vėsta, todėl mažėja žydinčių melsvadumblių, kurie klestėdami šiltesniuose vandenyse gamina kenksmingus toksinus, galinčius sudirginti akis ir odą ar net sukelti gyvūnų mirtį. Vėsesnė temperatūra taip pat neleidžia išgaruoti vandeniui sausringose vietovėse, kur vanduo yra brangus. Tyrimas atskleidė, kad plūduriuojančios saulės baterijos rezervuare Jordanijoje, vienoje iš labiausiai vandens stokojančių pasaulio šalių, sumažino garavimą 42 %, o įrenginiai kasmet pagamino 425 MWh elektros energijos. Jeigu plūduriuojanti saulės energijos jėgainė įrengiama tinkamoje vietoje, ji gali tiekti mažai CO₂ į aplinką išskiriančią energiją, neužimdama žemės ir pagerindama vandens telkinių būklę. Tačiau platesnis tokios saulės energijos naudojimas gali turėti ir trūkumų. Ant vandens paviršiaus esančios saulės baterijos gali paveikti vandens sluoksnių stratifikaciją: apatiniuose vandens sluoksniuose gali sumažėti deguonies ir padidėti nepageidaujamų maistinių medžiagų koncentracija, o tai gali sukelti žuvų žūtį.

Vienas didžiausių pasaulyje atsinaujinančios energijos šaltinių yra vandens užtvankos. Tačiau kai kuriose pasaulio vietose, pavyzdžiui, Afrikoje, dėl didėjančios sausros gali kilti grėsmė jų potencialui. Saulės baterijos, plūduriuojančios ant 1 % Afrikos hidroenergetikos rezervuarų, galėtų padvigubinti žemyno hidroenergijos pajėgumus ir padidinti elektros gamybą iš užtvankų 58 % (Gerretsen, 2022).

Didelis medžiagų, tokių kaip plienas ir plastikas, reikalingų saulės elektrinių statybai, poreikis, sudėtingas montavimas ir kaina yra pagrindinės kliūtys, stabdančios tokių įrenginių diegimą. Vis dėlto tikėtina, kad plūduriuojančios saulės energetikos ateitis yra šviesi, o pasaulinė šių įrenginių rinka per ateinančius aštuonerius metus išaugs penktadaliu.

4.18. Saulės baterijos – esminė priemonė mažinant CO₂ emisiją ar atslenkanti ekologinė nelaimė

Nors visame pasaulyje saulės energetika reklamuojama kaip esminė priemonė mažinant CO₂ emisiją, saulės elementų baterijų vidutinė eksploatavimo trukmė yra 25–30 metų. Ekspertų teigimu, galiausiai milijardus plokščių teks keisti ir išmesti. Jau pasiekta daugiau negu vieno teravato (TW) saulės energetikos galia. Paprastos saulės baterijos galia yra apie 400 W, iš viso tokių saulės jėgainės įrenginių gali būti net 2,5 mlrd. Energetikos ekspertai ragina vyriausybės imtis skubių veiksmų, kad būtų išvengta gresiančios pasaulinės aplinkos katastrofos, nes trūksta specializuotos infrastruktūros šiems įrenginiams utilizuoti ar perdirbti. Saulės energijos gamybos pajėgumai vien 2021 m. išaugo 22 %. Tūkstančiai fotovoltinių (PV) saulės baterijų, daugiausia ant privačių namų stogų, sumontuojama kas mėnesį. Neretai saulės baterijų blokai tampa neekonomiški dar nepasibaigus eksploatacijos laikui, todėl yra pigiau 10–15 metų saulės baterijas pakeisti atnaujintomis versijomis. Manoma, kad iki 2050 m. gali susikaupti daugiau negu 200 mln. t tokių atliekų. Tai labai didelis kiekis, nes šiuo metu kasmet iš viso pagaminama 400 mln. t plastiko.

Saulės kolektorių perdirbimo įrenginių yra mažai, nes iki šiol nebuvo daug atliekų, kurias būtų galima perdirbti ir pakartotinai

panaudoti. Vis dėlto jau baigiasi pirmosios kartos buitinių saulės baterijų eksploatacija, todėl reikia imtis skubių veiksmų. Nedideli žingsniai, sprendžiant šią problemą, jau žengiami. ROSI gamykla (Prancūzija), perdirbanti žaliavas iš nebenaudojamų saulės baterijų, 2022 m. gavo pirmąjį ES „Ateities pramonės“ apdovanojimą už silicio ir sidabro iš fotovoltinių (PV) atliekų pakartotinio panaudojimo tyrimus. Nuo 2023 m. bendrovė kasmet perdirbs 3 000 t saulės baterijų ir išgaus 90 t silicio, 30 t vario ir 2,5 t sidabro. Per dvejus metus gamyklos plokščių perdirbimo pajėgumai padidės iki 10 000 tonų. Atgautas varis ir sidabras greičiausiai bus panaudoti ne saulės energijos pramonėje, o regeneruotas silicis grįš atgal į saulės baterijas. Tikimasi, kad pavyks perdirbti ir pakartotinai panaudoti 99 % saulės kolektoriaus įrenginio komponentų. Bendrovė planuoja plėtrą Vokietijoje, Italijoje ir Ispanijoje.

Aukštųjų technologijų gamykloje saulės kolektorių plokštės kruopščiai išardomos ir surenkamos brangios medžiagos (varis, silicis ir sidabras). Kiekvienoje saulės baterijoje šių medžiagų yra labai maži kiekiai ir jos susipynusios su kitais komponentais. Iki šiol juos atskirti nebuvo ekonomiškai, nes daugiau negu 60 % vertingų medžiagų sudaro tik 3 % saulės baterijų svorio. Gamykloje bus perdirbami ne tik stiklo fasadai ir aliuminio rėmai, bet ir išgaunamos beveik visos plokštėse esančios brangios medžiagos. Atgautos ir perdirbtos medžiagos galės būti pakartotinai panaudotos naujiems saulės elementams gaminti. Įprastomis saulės kolektorių perdirbimo technologijomis išgaunama didžioji dalis aliuminio ir stiklo, tačiau šis stiklas yra palyginti žemos kokybės ir nebetinka naujo stiklo, reikalingo saulės elementams, gamybai. Regeneruotas stiklas gali būti panaudotas keraminių plytelių gamybai, maišomas į asfaltą arba naudojamas smėliapūtėms. Įrengiant milijonus naujų saulės baterijų, kurių prireiks atsisakius iškastinio kuro, didele kliūtimi bus sidabro stygius. Mokslininkai atrado, kaip išgauti sidabrą iš fotovoltinių

blokų naudojant tam tikrą fiziologinį tirpalą. Tačiau ši technologija yra brangi, todėl perdirbėjai labiau linkę nebenaudojamas atliekas tik sutraiškyti arba susmulkinti.

4.19. Plūduriuojantys miestai

Kintanti būsto rinka, vietų statyboms trūkumas, kylantis jūros lygis ir potvynių rizika, didėjančios spūstys miestuose rodo, kad būsto ateitis sausumoje yra gana miglota. Dėl klimato kaitos poliarinės ledo kepurės tirpsta ir jūros lygis kyla. Vis daugiau žmonių persikelia į miestus, todėl iki 2030 m. juose gyvens daugiau nei pusė gyventojų. Ir nors miestų plėtra neišvengiama, erdvės tam yra labai ribotos arba tiesiog nepatrauklios gyventi.

Dabartinis būsto fondas neatitinka augančios būsto paklausos pakrančių miestuose. Remiantis skaičiavimais, daugelis metropolijų, ypač Jungtinėse Amerikos Valstijose, kentės nuo dažnų potvynių, o iki šimtmečio pabaigos kylantis vandens lygis tiesiogiai paveiks daugiau nei 400 mln. žmonių. Akivaizdu, kad tradiciniai būsto sprendimai neveiks. Horizontali ir vertikali miestų plėtra kelia dar didesnes miesto ir aplinkosaugos problemas. Daugelis tyrėjų, inžinierių, dizainerių ir planuotojų pradeda žvelgti už tradicinių būsto plėtros ribų ir kaip vieną iš sprendimų siūlo statyti ant vandens plūduriuojančius namus.

Plūduriuojančio namo koncepcija iš esmės yra labai paprasta: objektas plūduriuoja ant vandens tol, kol jo apkrova yra lygi arba mažesnė už vandens kėlimo jėgą. Estetika, komfortu ar kokybe plūduriuojantys namai beveik nesiskiria nuo jų analogų sausumoje, nes yra stacionarūs ir paprastai prijungiami prie miesto kanalizacijos sistemos ir elektros tinklo. Pasaulyje daugėja plūduriuojančio būsto statybos siūlymų, tačiau tik nedaugelio ilgalaikio gyvenimo ant vandens sprendimai yra realūs. Gyvenimo ant vandens idėja plinta labai greitai, o plūduriuojantys

namai laikomi potencialiu sprendimu pereinant iš sausumos į vandenį ir nesijaudinant dėl stabilumo ir apsaugos nuo stichinių nelaimių.

Pirmasis pasaulyje didelio masto tvaraus miesto ant vandens prototipas statomas Busane (Pietų Korėja). Sudarytas iš daugybės „salų“, kylančių kartu su jūra, jis bus atsparus potvyniams. Ši statyba tebėra ankstyvoje stadijoje ir gali užtrukti ne vienerius metus. Kai kurie mažesni projektai jau baigti ir greičiausiai taps įprastais. Plūduriuojantis namas Amsterdame 2021 m. yra pastatytas ant trisdešimties vandens sklypų, jame gyvena daugiau nei 100 gyventojų.

Plūduriuojantys namai yra alternatyva namams ant žemės ir netrukus jie gali tapti svarbia investicija į nekilnojamąjį turtą dėl daugelio priežasčių. Tokie namai efektyviai išnaudoja didelius vandens plotus netoli miestų centrų, jų poveikis vandens ekosistemoms minimalus, o plėtros galimybės didelės. Plūduriuojančių namų nepažeidžia žemės drebėjimai ir potvyniai: jų konstrukcijos prisitaiko prie kintančio jūros lygio, o žemės drebėjimo atveju vanduo po namu veikia kaip seisminis slopintuvas. Modulinė plūduriuojančių namų statyba numato begalę derinių, atitinkančių įvairius klientų poreikius, galima reguliuoti būsto dydį ar paskirtį. Nepritvirtintas prie žemės plūduriuojantis namas gali būti lengvai perkeltas į kitą vietą. Palyginti su įprastais namais, plūduriuojančio namo statyba gali užtrukti perpus trumpiau, nes nereikia kasti ir paruošti grunto, kaip kad statant ant žemės. Dauguma pastato ir pamatų elementų gaminami ne vietoje, jie surenkami kitur, o vėliau pristatomi. Pamatus ir pastatą galima statyti vienu metu, ir tai labai pagreitina statybos procesą. Masinė plūduriuojančios architektūros plėtra ilgainiui sumažins namų ant vandens statybos sąnaudas ir kainą (Isanovic, 2023).

Dėl didėjančių potvynių ir būsto stygiaus Nyderlanduose vis labiau domimasi plūduriuojančiais namais. Šiandien tokios plūduriuojančios bendruomenės plinta potvynių veikiamose

šalyse – nuo JAV, Prancūzijos Polinezijos iki Maldyvų. Kai 2022 m. Amsterdamą užklupo smarki audra, plūduriuojančios bendruomenės gyventojai beveik neabejojo savo saugumu. Jie stebėjo, kaip jų pastatai plieninėmis pamatų kolonomis kilo aukštyr ir leidosi žemyn ir galų gale grįžo į pradinę padėtį audrai nurimus. Kylant jūros lygiui ir audroms keliant dideles bangas, plūduriuojantys rajonai yra apsaugoti nuo potvynių, o pakrančių bendruomenės lengviau pakeltų klimato sukeltas negandas. Tankiai apgyvendintose šalyse dėl žemės trūkumo tokių būstų paklausa auga.

Ši statybų plėtros kryptis svarbi ne tik Europos šalims (Didžiąjai Britanijai, Prancūzijai, Norvegijai), bet ir JAV, P. Korėjai, Prancūzijos Polinezijai ar Maldyvams, kur Indijos vandenyno lygio kilimas gyventojams kelia egzistencinę grėsmę.

Nyderlandų technologijų įmonė „Blue21“ kuria plūduriuojančių dirbtinių salų seriją Baltijos jūroje. Archipelago pastatuose galės gyventi 50 000 žmonių. Jis bus prijungtas prie povandeninio geležinkelio tunelio, jungiančio Helsinkį ir Taliną. 101 km ilgio povandeninis tunelis būtų dvigubai ilgesnis už Lamanšo tunelį. Planuojama iškasti du geležinkelio tunelius: vieną kroviniams, kitą – greitiesiems keleiviniams traukiniams, kurie iš Helsinkio į Taliną nuvažiuotų per 20 min.; aptarnavimo tunelyje bus net dviračių takas. Didžiausioje dirbtinėje saloje, nutolusioje šiek tiek daugiau nei 9 mylias nuo Suomijos krantų, bus ne tik butai, bet ir viešbučiai, konferencijų centras. Salai bus panaudota 80 mln. m³ tunelio skalda (4.26 pav.).

Maždaug 10 km atstumu nuo Estijos planuojama įrengti plūduriuojančią salą, arba archipelagą. Ji būtų didesnė už pastaraisiais metais netoli Olandijos krantų iškilusių plūduriuojančių namų ir biurų blokus.

Plūduriuojantis namas gali būti pastatytas prie bet kurios kranto linijos ir gali susidoroti su kylančia jūra ar lietaus sukeltais



4.26 pav. Namai, viešbučiai ir konferencijų centras
dirbtinėje saloje (Conradi, 2021)

potvyniais, likdamas vandens paviršiuje. Skirtingai nuo gyvenamųjų valčių, kurios lengvai atšvartuojamos ir perkeliamos į kitą vietą, plūduriuojantys namai yra pritvirtinti prie kranto, dažnai remiasi į plieninius polius ar kolonas. Struktūriškai jie panašūs į ant žemės pastatytus namus, tačiau vietoj rūsio turi betoninį korpusą, kuris veikia kaip atsvara, leidžianti išlikti stabiliems vandens apsuptyje. Pastatai stabilizuojami įkasta iki 65 m į žemę poliais, smūgius sugeriančios konstrukcijos mažina judėjimo pojūtį, kurį sukelia bangavimas. Namai kyla aukšty, kai kyla vandens lygis, ir leidžiasi, kai vanduo slūgsta. Kiekviename pastate yra šildymui skirtas šilumos siurblys, maždaug trečdalį stogo užima augmenija ir saulės kolektoriai. Elektros energijos perteklių gyventojai parduoda vieni kitiems ar nacionaliniam elektros tinklui.

Roterdame, didžiausiame Europos uoste, kurio 90 % yra žemiau jūros lygio, pastatytas didžiausias pasaulyje plūduriuojantis biurų

pastatas ir galvijų ferma, kurioje karves melžia robotai, o pieno produktai tiekiami vietinėms parduotuvėms. 2010 m. Roterdamo uoste buvo atidarytas plūduriuojantis paviljonas, saulės energija aprūpin-ta susitikimų ir renginių erdvė. Miestas dėjo daug pastangų, kad tokie projektai būtų prisitaikymo prie klimato pokyčių strategi-jos ramsčiais. Projektuotojai vandenį vertina ne kaip priešą, o kaip galimybę. Ekspertai teigia, kad norint sumažinti būsto trūkumą Nyderlanduose, per ateinančius 10 metų reikės pastatyti milijoną naujų namų, o plūduriuojantys namai galėtų sumažinti statyboms reikalingos žemės poreikį.

Plūduriuojantys būstai jau statomi Maldivų sostinėje Malėje (4.27 pav.). Maldivai turi 26 natūralius atolus. Čia 80 % ploto yra per metrą žemiau jūros lygio. Pastarąjį šimtmetį jūros lygis pakilo apie 20 cm, jei jis ir toliau kils, Maldivų egzistavimui gali iškilti grės-mė. Po plūduriuojančiais pastatais įrengiami dirbtiniai rifai padės



4.27 pav. Maldivų plūduriuojančio miesto plėtra vandenyne (Rubin, 2022)

palaikyti jūros gyvybę. Į pastatus bus pumpuojamas šaltas giluminis jūros vanduo, reikalingas oro kondicionavimo sistemoms.

Vis dėlto plūduriuojantys namai kelia daug iššūkių. Dėl stipraus vėjo ir lietaus ar net praplaukiančių didelių kruizinių laivų pastatai gali svyruoti. Tokiems namams reikia papildomos infrastruktūros, kad būtų galima prisijungti prie elektros tinklų ir kanalizacijos sistemos; reikia specialių vandeniu atsparių laidų ir siurbių, kurie pastatus susietų su aukštesnėje vietoje esančiais komunalinių paslaugų tinklais. Tačiau nauda gali būti didesnė už išlaidas. Jei XXI a. antrojoje pusėje dėl kylančio jūros lygio šimtai milijonų žmonių bus priversti keisti gyvenamąją vietą, būtina jau šiandien plėsti plūduriuojančių miestų statybą.

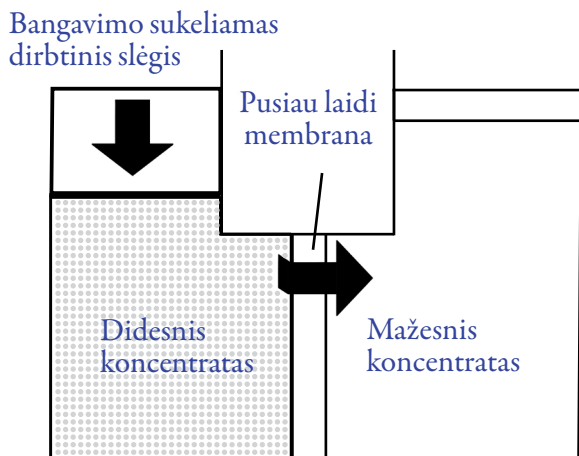
4.20. Bangų judėjimo energija maitinamos plūduriuojančios gėlinimo mašinos

Dėl didelio druskingumo daugiau nei 97 % vandens žemėje netinka vartojimui. Didžioji dalis (apie 99 %) yra jūros vanduo, o likusią dalį sudaro druskingas požeminis vanduo. Šio sūraus vandens valymas atvertų beveik neribotus vandens išteklius pakrančių regionų gyventojams, tačiau jūros vandens valymas yra brangus, tam reikia daug energijos, be to, daromas didelis neigiamas poveikis ekosistemoms, nes vandenyne įrengti vandens gėlinimo įrenginiai veikia dieną ir naktį. Plūduriuojančios gėlinimo sistemos jūros vandenį paverčia gėlu vandeniu. Krante įrengtiems gėlinimo įrenginiams paprastai reikia daug iškastiniu kuru pagaminamos energijos, o maži plūduriuojantys įrenginiai reikalingą energiją gauna tik iš bangavimo.

Pasak Tarptautinės vandens gėlinimo asociacijos, daugiau nei 300 mln. žmonių visame pasaulyje dabar naudoja gėlintą vandenį.

Beveik pusė pasaulio gyventojų susiduria su vandens stygiumi mažiausiai vieną mėnesį per metus. Gėlintą vandenį tiekia daugiau nei 21 000 įmonių – beveik dvigubai daugiau nei prieš 10 metų. 2020 m. atliktame tyrime teigiama, kad iki 2030 m. gėlinimo sektorius kasmet didės 9 %. Tikėtina, kad tokių įmonių paklausa ir toliau augs, nes gyventojų skaičius pasaulyje auga, o klimato kaita ir toliau kels iššūkių gėlo vandens tiekimui.

Šiuo metu jūros vanduo gėlinamas dviem būdais – terminiu ir membraniniu. Atliekant terminį gėlinimą, jūros vanduo kaitinamas tol, kol išgaruoja ir lieka druska. Šiai technologijai reikia daug energijos. Membraninėje sistemoje, dar vadinamoje *atvirkštinio osmosu*, sūrus vanduo išstumiamas pro pusiau pralaidžią membraną, kuri sulaiko druską (4.28 pav.). Membraninės mikro ir ultrafiltravimo technologijos gali veiksmingai pašalinti koloidines organines medžiagas, drumstumą, netirpias daleles, virusus ar patogenus iš jūros vandens. Nanofiltravimas buvo naudojamas kaip paruošiamasis gėlinimo apdorojimas, tačiau jo filtravimo efektyvumas yra didesnis nei



4.28 pav. Atvirkštinio osmoso įrenginio veikimo schema

mikro ir ultrafiltravimo sistemų ir jis, veikiant osmosinėms varomosioms jėgoms, gali pašalinti labai mažas, maždaug $0,001 \mu\text{m}$ daleles. Tam naudojamas didelis slėgis. Vandens filtravimo membrana – tai itin smulkių porų (poros dydis tesiekia vos $0,0001 \mu\text{m}$) filtras, kuris gali pašalinti iki 98 % vandenyje ištirpusių įvairių medžiagų ir cheminių elementų. Atvirkštinis osmosas yra plačiausiai naudojama membraninio gėlinimo technologija, sudaranti 46 % visų gėlinimo pajėgumų.

Šiam procesui taip pat reikia daug energijos, bet mažiau nei gėlinant terminiu būdu. Jeigu abiem atvejais energija tiekama ne iš atsinaujinančių šaltinių ar branduolinės energetikos, prisidedama prie didesnių anglies dvideginio emisijų. Kiekviena technologija dar suformuoja sūrymo atliekų srautą. Jei prieš išleidžiant atgal į jūrą jis nebus tinkamai atskiestas, gali susidaryti „negyvos zonos“, tai yra vietos, kuriose druskos kiekis yra per didelis jūros gyvybei.

Kanadoje sukurtos „Oneka“ plūduriuojančios gėlinimo mašinos įrengiamos prie jūros dugno pritvirtintuose plūduruose (4.29 pav.).



4.29 pav. Bangų judėjimo energija maitinamos plūduriuojančios gėlinimo sistemos (<https://www.bbc.co.uk/news/business-67237006>)

Plūdurai sugeria bangų energiją ir paverčia ją mechanine siurbimo jėga, kuri siurbia jūros vandenį ir maždaug ketvirtadalį jo išstumia pro gėlinimo sistemą. Gėlas geriamasis vanduo vamzdynais pumpuojamas vartotojams tik pasitelkiant bangų galią. Įrenginys visiškai nenaudoja elektros energijos, jo veikimui reikia vos vieno metro aukščio bangų. Įrenginiai yra įvairių dydžių, iš kurių didžiausi (8 m ilgio ir 5 m pločio) gali pagaminti iki 49 000 litrų geriamojo vandens per dieną.

Susidaręs sūrymas sumaišomas su trimis ketvirčiais jūros vandens, kurį įtraukė plūdurai ir kuris nepraejo pro membraną. Atgal į jūrą išleidžiamas vanduo tik apie 25 % yra sūresnis už pirminį jūros vandenį. Palyginti su tradiciniais gėlinimo metodais, ši sūrymo koncentracija yra kur kas mažesnė. Sistema modulinė, todėl keli plūdurai gali būti pritvirtinti vienas šalia kito. Gėlinimo įranga yra nekenksminga jūrų gyvūnijai.

Nyderlanduose vandens gėlinimui naudojami atsinaujinančios energijos šaltiniai – saulės baterijos. Generuojama elektros energija naudojama vandens šiluminiam garinimui. Nepanaudota elektros energija kaupiama baterijose, o šilumos perteklius – karšto vandens rezervuaruose. Taip užtikrinamas nenutrūkstamas energijos tiekimas, todėl gėlinimas gali tęstis ir naktį. Sūrymas atgal į jūrą neišleidžiamas, o kristalizuojamas. Surinkta labai gryna, aukštos kokybės druska panaudojama komercijoje.

Gėlinimas gali padėti prisitaikyti prie klimato kaitos įvairinant vandens tiekimą ir didinant atsparumą prastėjančiai vandens kokybei, nes gėlinimo technologijos net ir iš labai užteršto vandens gali pagaminti švarų vandenį. Vienas iš pagrindinių prisitaikymo prie klimato kaitos iššūkių yra gyventojų atsparumo didinimas mažėjant gėlo vandens kiekiui. Sausros, ilgalaikių kritulių kiekio mažėjimas vyksta lygiagrečiai augant gyventojų skaičiui, kintant žemės paskirčiai ir iš-eikvojant požeminį vandenį, todėl tikėtina, kad greitai sumažės gėlo vandens kiekis, tenkantis vienam gyventojui. Gėlinimas gali suteikti

prieigą prie vandens potencialiai mažai geriamojo vandens turinčiose arba sausringose vietovėse. Pagrindiniai dabartinių gėlinimo procesų trūkumai yra energijos sąnaudos ir poveikis aplinkai – koncentruotų atliekų srauto (sūrymo) šalinimas ir poveikis vietos ekosistemoms. Didelis energijos poreikis, reikalingas gėlinimo procesams, prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos ir gali trikdyti klimato kaitos švelninimo pastangas. Nors vandens gėlinimo sistemų, maitinamų tik atsinaujinančia energija, plėtra vertinama palankiai, pirmiausia derėtų sutelkti dėmesį į mažesnę vandens vartojimą.

4.21. Daugiau namų, statomų iš šiaudų

Nepanaudotas išteklis statybų (taip pat ir Lietuvos) pramonėje yra šiaudai. Dalis šiaudų sunaudojama biokurui (keliolika Lietuvos katalinių sudegina iki 20 tūkst. t šiaudų), dalis – žemės ūkio reikmėms, pavyzdžiui, kraikui fermose, dirvai pagerinti, ar kaip statybinė medžiaga. Šiaudai yra patvari statybinė medžiaga, nes šiaudo struktūra tokia pat kaip ir medžio, o ilgaamžiškumu šiaudai prilygsta medienai. Lietuvoje jau pastatyta daugiau nei 100 namų (80–300 m²) iš šiaudų. Nors lietuviai įpratę gyventi mūriniuose arba mediniuose namuose, šiaudinių namų statyba populiarėja. Pasaulyje naudojant šiaudus statomi daugiabučiai, prekybos centrai, mokyklos ir darželiai. Pagrindinis šiaudinių namų trūkumas – tai psichologinis žmonių barjeras. Šiaudinių namų statytojai teigia, kad namai iš šiaudų yra ekologiškesni už medinius, nes šiaudai yra žemės ūkio atliekos, o medžius tam tikslui tenka kirsti. Tokių namų statybai naudojami šiaudai, molis ir mediena, iš kurios daromas namo karkasas. Šie pastatai pasižymi didele šilumine varža, juose šilta žiemą ir vėsu vasarą. Šiaudais gal būti šiltinamos ne tik sienos, bet ir lubos, šiaudai, priešingai nei betonas, mūras ar kitos sintetinės medžiagos, puikiai išgarina drėgmę.

Dažniausiai žmonėms kelia nerimą tai, kad šiaudai yra degūs. Tačiau tyrimai rodo, kad supresuoti šiaudai sunkiai užsidega, nepalaiko degimo, tad tokie namai prilyginami mūriniams. Šiaudai niekuo nesiskiria nuo kitų izoliacinių medžiagų, kuriose mėgsta įsikurti graužikai. Norint apsaugoti sieną iš presuotų šiaudų ryšulių nuo pelių ir žiurkių, būtinas tinkamas tinko ir kitų šiaudus dengiančių medžiagų storis, be to, sienos apatinę dalį galima padengti plieniniu tinkleliu armuotu tinku ar įvairiomis plokštelėmis. Graužikus atbaido stipriai supresuota medžiaga, į kurią įlįsti yra gerokai sunkiau nei į putplastį ar kitas minkštas sintetines rūšis. Antra vertus, parenkami šiaudai, kurių nemėgsta graužikai. Būtų puiku, jeigu būstai būtų statomi iš atsinaujinančių išteklių, o šiaudai ir yra tokia medžiaga. Tam reikia tobulinti technologijas, papildomai apdoroti šiaudus, mažinti jų šilumos laidumą. Presuoti šiaudai priskiriami E degumo klasei, kaip ir pastatų atitvarams apšiltinti dažnai naudojamas polistireninis putplastis, todėl šiaudai turi būti užtinkuoti.



4.30 pav. Iš šiaudų pagaminti statybiniai blokai
(<https://www.bbc.com/news/business-68005481>)

Apie 400 mm storio medinio karkaso plokštė yra užpildyta smulkintų šiaudų mase (4,30 pav.). Supresuotų šiaudų tankis 90–200 kg/m³, viduje esantis oras sukuria izoliacinį efektą. Tai irgi apsaugo nuo gaisro, nes palaidi šiaudai yra labai degūs. Plokštės su šiek tiek išsičišusiais šiaudais, prispaustos prie nelygios sienos, sudaro sandarų kontaktą. Jos šiek tiek brangesnės už daugelį nenatūralių šiltinimo medžiagų – tokio namo statyba gali siekti 2000 Eur/m².

Vartotojai dažnai nedrįsta įsigyti namo su šiaudais sienose. Susirūpinimą gali kelti graužikai, drėgmė ar pelėsis. Šios problemos įveikiamos. Žinoma, draudikai norės tokios statybinės medžiagos atsparumo įvairiems veiksniams garantijų. Šiaudų potencialas dar neišnaudotas. Ši medžiaga gali būti patraukli norintiems sumažinti poveikį aplinkai – ji atitinka tvaraus gamtos išteklių naudojimo reikalavimus, nes statybai sunaudojama nedaug energijos. Lietuvoje šiaudų skydų ilgaamžiškumas turėtų būti ne mažesnis kaip 50 metų. Pasaulyje yra šiaudinių pastatų, kurie naudojami ilgiau kaip 100 metų. Prancūzija, Jungtinė Karalystė, Kanada ir kitos šalys kasmet stato šimtus namų iš šiaudų, todėl, siekiant neatsilikti nuo ekologiškesnių statybų, Lietuvoje reikėtų panaudoti daugiau turimų natūralių atsinaujinančių medžiagų. Net sakoma, kad šiaudai – statybų auksas ir kad statyba iš šiaudų – tai ateities statyba. Kaip šalutinis žemės ūkio produktas Lietuvoje kasmet susidaro apie 4 mln. t šiaudų, iš jo kurui galima panaudoti apie 0,5 mln. tonų. Tokio kiekio šiaudų pakaktų apšiltinti apie 200 tūkstančių vidutinio dydžio (trijų miegamųjų) individualių namų.

4.22. Migracijos iššūkiai

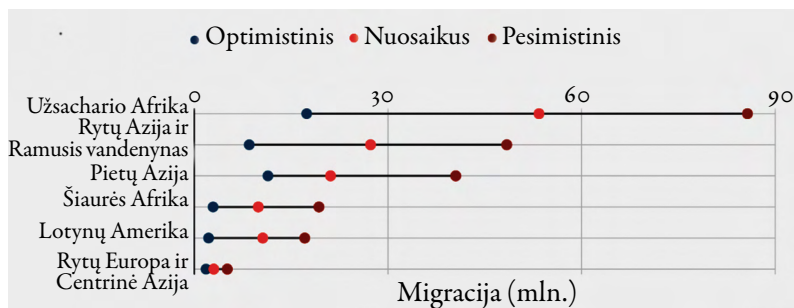
Žmonių migracija – labai senas ir paplitęs pasaulyje reiškinys, kuris ir senesniais laikais buvo susijęs su klimato kaita ar karinėmis ekspansijomis, pavyzdžiui, dėl klimato kaitos sužlugo dideli regionai inkų

ar actekų imperijose, tautų kraustymąsi sukėlė hunų, skitų, mongolų ir kt. užkariavimai. Ir šiandien daugybė žmonių iš Centrinės ir Pietų Amerikos migruoja į JAV, Afrikos šalių gyventojai, siekdami patekti į Europą, skęsta Viduržemio jūroje. Šiuolaikinę tarpvalstybinę migraciją lemia vidiniai konfliktai, prasta, dažnai korumpuota valstybių valdymo vadyba, resursų (žemės, vandens) stygius ir, žinoma, klimato kaita. Turtingos šalys klimato kaitos iššūkiams suvaldyti turi resursų, techninių priemonių, išsimokslinusių žmonių. Neturtingose šalyse bet kokios problemos juntamos aščiau ir dažnai sukelia migracijos bangas. Siekdami prisitaikyti prie klimato kaitos, žmonės daugelyje pasaulio regionų neišvengiamai judės. Kad žmonių judėjimas nebūtų vien tarpvalstybinis ar tarpkontinentinis, laikas ieškoti priemonių, lengvinančių vidinę žmonių migraciją. Jeigu šie persikėlimai bus planuojami ar prognozuojami, vargu ar rezultatas visada bus blogas.

Užsachario Afrika yra skurdžiausias pasaulio regionas, kenčiantis dėl netinkamo valdymo, vietinės korupcijos, nuolatinių perversmų ir konfliktų tarp tautų. Kai kurios regiono šalys yra vienos iš mažiausiai išsivysčiusių pasaulyje. Užsachario Afrikos valstybių – Nigerio, Burkina Faso, Malio sostinių pakraščiai atrodo taip, tarsi kaimas būtų persikėlęs į miestą. Nors sostinių prieigos gyvenvietės atrodo niūriai, gyventojams miestas yra saugėnis nei kaimas, kur piemenys ir ūkininkai nuolat susiremia ginklais, strėlėmis ir mačetėmis dėl nykstančių ganyklų ir vandens. Mieste tokie nesutarimai retesni iš dalies todėl, kad gyvenimas ne toks beviltiškas. Atvykėliai greitai prisitaiko prie naujos aplinkos. Jie išveda karves ganytis už miesto, o papildomo pašaro susiranda belsdami į duris ir prašydami daržovių likučių. Jiems lengviau parduoti pieną, nes šalia daug klientų. Daugelis atvykėlių čia susiranda darbą. Kai žemės regionai tampa mažiau tinkami gyventi, žmonės migruoja. Turtingiesiems lengviau prisitaikyti prie aukštesnės temperatūros ar kylančio jūros lygio, nes jie gali įsigyti oro kondicionierių ar

apsisaugoti nuo potvynių. Nežinia, kiek žmonių persikels į kitas vietas dėl klimato kaitos. 2022 m. parengtoje ataskaitoje rašoma, kad jei pasaulio vidutinė temperatūra iki 2100 m. pakiltų 4 °C (apokaliptinis scenarijus), kai kurie regionai, kuriuose šiuo metu gyvena 3,5 mlrd. žmonių, taptų netinkami gyventi. Remdamiesi tokiomis ekstremaliomis prognozėmis politikai dažnai ragina mažinti išmetamų teršalų kiekį, pateisina vis griežtesnę sienų kirtimo kontrolę. Patikimesnės Pasaulio banko modeliavimo išvados pirmą kartą buvo paskelbtos 2018 m. ir atnaujintos 2021 metais. Šis modelis prognozuoja vandens prieinamumo kaitą, žemės ūkio ir jūros pokyčius, kurie gali išstumti žmones iš kai kurių planetos regionų. Prognozuojama, kad iki 2050 m. 44–216 mln. žmonių Afrikoje, Azijoje, Rytų Europoje, Lotynų Amerikoje ir Ramiojo vandenyno salose gali būti priversti pajudėti savo šalies viduje (4.31 pav.).

Šios prognozės labiau skirtos vidaus, o ne tarpvalstybinei migracijai, nes dauguma klimato migrantų bus per daug neturtingi, kad galėtų keliauti toli, ypač jei sausros ar potvyniai sunaikino jų turtą. Šiandien pasaulyje yra apie 100 mln. migravusių žmonių (daugiausia dėl karo), taigi 216 mln. klimato migrantų bendrą migrantų skaičių padidintų trigubai. Klimato sukelta migracija dažnai bus traumuojanti.



4.31 pav. Klimato kaitos sukeltos migracijos scenarijai

Nigeris, kuriame klimato kaita skatina didelę migraciją, yra gera iliustracija, kaip viskas gali klostytis. Beveik visi Nigerio gyventojai gyvena pietuose, nes šiaurėje yra dykuma, apimanti 80 % šalies. Pagal plotą Nigeris yra beveik 20 kartų didesnis už Lietuvą. Nigerio subtropinis klimatas labai šiltas ir sausas. Pagrindinės ūkio šakos yra natūrinė žemdirbystė ir gyvulininkystė. Nigerio ekonomikai neigiamą įtaką daro pasikartojančios sausras, dykuma virstanti žemė, augantis gyventojų skaičius (2,9 %). Dėl sausrų ir skėrių antpuolių milijonams gyventojų trūksta maisto. Dalis gyventojų yra sėslūs ūkininkai, gyvenantys ariamuose plotuose šalies pietuose. Likusieji Nigerio žmonės priklauso gyvulius auginančioms klajoklių gentims. Greitai augantis gyventojų skaičius ir riboti gamtos ištekliai skatina konfliktus tarp gyvulių augintojų ir žemdirbių. Vaikų (1–4 metų) mirtingumas čia yra labai aukštas – 248 vaikai tūkstančiui gyventojų, tačiau Nigeryje gimsta daugiausiai kūdikių (vienai moteriai tenka 7,2 vaiko). Tai reiškia, kad beveik pusė (49 %) Nigerio gyventojų yra jaunesni nei 15 metų. Klimato kaita smarkiai paveikė šalies kritulių kiekį. 2010–2022 m. šalies vakarai buvo sausesni nei pastarųjų 30 metų vidurkis, o rytai – drėgnesni. Vargu ar Nigerio gyventojai galėtų persikelti į Europą, tačiau daugelis gali pasirinkti kitą gyvenamąją vietą šalies viduje. Čia daugiau nei devyni iš dešimties žmonių pastebėjo aplinkos pokyčius (dažnesnes sausras, potvynius ar dirvožemio degradaciją). Trys ketvirtadaliai teigia, kad klimato kaita apsunkino apsirūpinimą maistu ar gyvulių auginimą. Pusė teigia, kad jau yra priversti persikelti dėl oro sąlygų. Persikėlusieji gyventi į miestą dažniau leidžia vaikus į mokyklą, nes miestuose į mokyklą lengviau patekti, antra vertus, miestuose darbui reikalingas geresnis išsilavinimas. Miestuose yra geresnė sveikatos priežiūra. Gyvenimas miestuose turi įtakos ir moterų vaisingumui. Į pietus nuo Sacharos kaimo moterys vidutiniškai susilaukia 5,8 kūdikio, o mieste gyvenančios – tik 3,9. Taigi migracija gali sumažinti gyventojų skaičiaus augimą.

Vieni klimato migrantai bėga nuo sausros, kitus išstumia kylantis vanduo. 2018 m. mokslininkai apskaičiavo, kad pagal pesimistiškiausią scenarijų, tik 13 % pasaulio pakrančių, daugiausia turtinguose ir tankiai apgyvendintuose Europos, Rytų Azijos ir JAV rytų regionuose, būtų tikslinga ginti nuo kylančio jūrų ir vandenynų pavojaus. Ir atvirkščiai, 65 % pakrančių neverta saugoti pagal jokių scenarijų. Žmonės turės išsikraustyti iš vandens užliejamų zonų. Kai kurios turtingos šalys jau šiandien taiko nekilnojamojo turto išpirkimo schemas, kurios skatina gyventojus išsikelti į saugesnes vietas. Tačiau daugelyje šalių bus sunku pritaikyti šį modelį, pavyzdžiui, Bangladešo didžioji šalies dalis yra užliejama plokščia lyguma. Daugelis žmonių dėl ekstremalių oro sąlygų iš žemumų pakrantės rajonų buvo perkelti į sostinę Daką. Maliarija ir karštligė Pietų Azijoje kelia iššūkius sveikatos apsaugai, tačiau kylant aplinkos temperatūrai šių susirgimų labai padaugės. Jei Bangladešo ir Indijos miestuose yra daug gerų sveikatos priežiūros įstaigų, tai kaimo vietovėse šių paslaugų ir gydytojų labai trūksta. Dakoje arba šalia jos gyvena apie 22 mln. žmonių. Prognozuojama, kad dėl klimato kaitos iki 2050 m. 6,8–19,9 mln., arba 3,8–11,3 %, Bangladešo gyventojų migruos. Brahmaputros upė vasarą labai patvinsta. Potvynio aukštis siekia 10–12 metrų. Vanduo užlieja dideles Bengalijos lygumos teritorijas, todėl daugelis paliks šiaurės rytų ir pietinės upės deltos ryžių laukus ir pajudės į vakarus, Gango upės baseino link.

Dėl dažnų stichinių nelaimių, tokių kaip ciklonai, potvyniai ir audros, sausra, upių krantų erozija ir mirtinos karščio bangos, Bangladešas tapo viena iš labiausiai klimato kaitos pažeidžiamų šalių. Vyriausybė apskaičiavo, kad iki 2050 m. kas septintas Bangladešo gyventojas bus perkeltas dėl klimato kaitos, tai yra turės persikelti 13,3 mln. gyventojų. Ypač kenčia šalies pakrantės regionų gyventojai. Kiekvieną dieną į šalies sostinę Daką iš šio

regiono persikelia apie 2 000 žmonių. Bendruomenės netenka savo sodybų, pragyvenimo šaltinių, pasėlių ir galvijų. Pažeidžiamoms šeimoms, kurios buvo priverstos palikti savo namus dėl didžiulės erozijos Bangladešo Čitagongo pakrantėje, namai statomi taip, kad atlaikytų audras. Atsižvelgiant į potvynių lygį, namai statomi ant 91–122 cm aukščio žemės pylimo. Namų statybos medžiagos turi atlaikyti 220 km/h vėjo gūsių greitį. Skardinis stogas tvirtinamas prie tvirtų betoninių sienų geležinėmis gembėmis ir horizontaliomis sijomis, o nuo galingų gūsių gyventojus saugo armuoti langai ir durys. Kiekvieno namo kieme yra tualetas-duobė. Namų statyba (2021 m. kainomis) kainuoja apie 7700 USD. Nors toks būstas atrodo labai pigus, jis ne kiekvienam prieinamas. Pavyzdžiui, drabužius siuvanti namudininkė per mėnesį uždirba tik 18–22 USD.

2021 m. JT Maisto ir žemės ūkio organizacijos (FOA) duomenimis, maždaug 21 % Pietų Azijos žmonių susidūrė su dideliu maisto stygiumi, t. y. 2 % daugiau nei 2020 metais. Tais pačiais metais šiame regione buvo daugiausiai žmonių (330 mln.), kurių mityba yra nepakankama. Apskaičiuota, kad dėl ekstremalių oro sąlygų šiame regione iki 2050 m. gali migruoti iki 63 mln. žmonių. Dėl žalos infrastruktūrai, žemės ūkio paskirties žemei ir namams daugelis migravusių žmonių nebegalės grįžti namo ir taps pabėgėliais.

Europoje yra šalių (tarp jų ir Lietuva), kurios išleidžia šimtus milijonų eurų už tonas smėlio, kad juo galėtų atnaujinti savo paplūdimius. 2023 metų ataskaitoje minima, kad JAV paplūdimių maitinimui panaudota daugiau nei 1,2 mlrd. m³ smėlio. Ar Europa ir toliau turėtų laikytis tų pačių nesėkmingų receptų, kuriuos naudoja šalis, prastai prisitaikanti prie klimato kaitos?

1970 m. ciklonas Bangladeše nusinešė daugiau nei 300 000 gyvybių. Dabar taifūnų ankstyvojo perspėjimo sistemos, taip pat krantinės padeda išvengti tokių nelaimių, todėl kasmet nuo potvynių ir audrų žūva tik kelios dešimtys žmonių. Tačiau pietuose

ciklonai vis dar naikina namus, o šiaurėje potvyniai ardo upių krantus. Daugelis klimato migrantų norėtų persikelti į saugesnius ir turtingesnius regionus. Kai kuriose klestinčiose šalyse tai įmanoma, nors ir griežtai kontroliuojama, kitur patvirtintas ar planuojamas patvirtinti lengvesnis klimato migrantų priėmimas, tačiau sudėtinga apibrėžti dėl klimato kaitos perkeltų asmenų kategoriją, o pasaulio prieglobsčio sistemos neveikia.

Vis dėlto dauguma klimato kaitos migrantų turės likti netoli namų. Prognozuojama, kad iki 2050 m. Šiaurės Afrikoje dėl klimato kaitos bus perkelta 4,5–13 mln. žmonių (2–6 % gyventojų). Egipte dauguma žmonių gyvena Viduržemio jūros arba Nilo pakrantėje. Kylant jūros lygiui iki 2050 m. didžioji dalis šiaurinės pakrantės, ypač aplink Aleksandrijos miestą, bus žemiau jūros lygio, tad čia bent kartą per metus galimi potvyniai. Manoma, kad daug žmonių paliks žemas pakrantės zonas ir keliaus į Kairą. Beveik visą vandenį Egiptas ima iš Nilo. Kol kas Egipto vyriausybė skatina švaistymą nemokamai tiekdamą vandenį ūkininkams ir pigiai – namų ūkiams. Nenaudodami lašelinio drėkinimo ūkininkai užtvindo savo pasėlius, todėl vandens tiekimo kanalai dažnai išsausėja. Egipto urbanizacijos lygis (apie 43 %) beveik nepasikeitė nuo XX a. 8-ojo dešimtmečio. Kažkada jis vėl turės kilti, nes pusė išsausėjusios šalies gyventojų nebegalės gyventi kaime. Kol kas vyriausybė mažai ką nuveikė, kad aplinka miestuose būtų sveikesnė, nes subsidijos automobilių degalams skatina spūstis, o dėl biurokratijos ir būsto nuomos kontrolės sunku rasti būstą.

Keista, kad daugelis vyriausybių atgraso gyventojus nuo vidi-
nio judėjimo. Pavyzdžiui, Kinijos namų ūkių registravimo sistema neleidžia kaimo gyventojams naudotis daugeliu viešųjų paslaugų didžiuosiuose miestuose, todėl milijonai vietinių migrantų yra priversti palikti vaikus žemesnio lygio kaimo mokyklose. Darbo kaime garantijų schema Indijoje skatina vargšus likti savo gimtosiose valstijose. Panašios schemos mažina mobilumą Etiopijoje,

Indonezijoje ir Vietname. Atgrasomos nuo laisvo judėjimo visuomenės tampa mažiau dinamiškos, gyventojams sunkiau prisitaikyti prie klimato kaitos. Mokslininkai siūlo vyriausybėms subsidijuoti kaimo ir miesto transportą, mokyti kaimo gyventojus, padėti susirasti darbą jiems atvykus į naujas gyvenamas vietas. Pasirengimo klimato kaitai iššūkiai yra didžiuliai. Naujiems atvykėliams reikės fizinės infrastruktūros (nuo būsto iki transporto) ir žmogiškojo kapitalo, kuris padėtų jiems prisitaikyti švietimo, sveikatos priežiūros ir darbinio mokymo srityse.

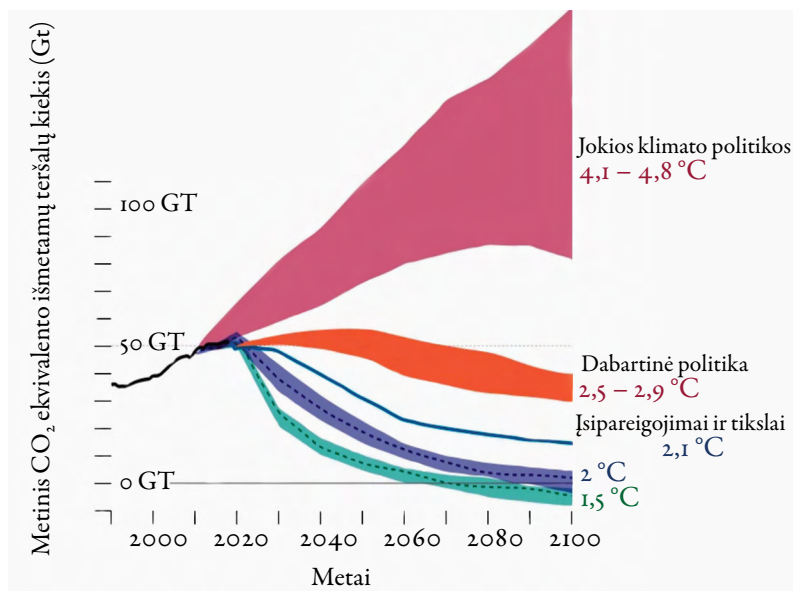
Visa tai gali atrodyti bauginančiai. Tačiau jei apie klimato sukeltą mobilumą galvojame kaip apie procesą, kuris įvyks per ateinančius šimtą metų, jis gali būti ne toks baisus, ir po šimto metų viskas atrodys turbūt visai kitaip, negu atrodo iš šiandienos perspektyvos.

VIETOJ EPILOGO

Klimato kaita reiškia ilgalaikius temperatūros ir oro sąlygų pokyčius. Tokie poslinkiai gali būti natūralūs, dėl saulės aktyvumo pokyčių ar didelių ugnikalnių išsiveržimų. Tačiau nuo pramoninės revoliucijos pradžios (1760 m.) žmogaus veikla buvo pagrindinė klimato kaitos varomoji jėga, visų pirma dėl iškastinio kuro, pvz., anglies, naftos ir dujų, deginimo.

Deginant iškastinį kurą išmetama šiltnamio efektą sukeliančių dujų, kurios veikia tarsi Žemę būtų apgaubusi antklodė, sulaikanti saulės šilumą ir pakelianti temperatūrą. Pagrindinės šiltnamio efektą sukeliančios dujos, turinčios įtakos klimato kaitai, yra CO₂ ir metanas (CH₄). Energetika, pramonė, transportas, pastatai, žemės ūkis ir kita su žeme susijusi veikla yra pagrindiniai sektoriai, išmetantys šiltnamio efektą sukeliančias dujas.

Mokslininkai įrodė, kad žmonės daugiausia yra atsakingi už vidutinės temperatūros kilimą per pastaruosius 200 metų. Daugelis mokslininkų tvirtina, kad pasaulinės temperatūros kilimo apribojimas iki 1,5 °C padėtų išvengti blogiausių klimato kaitos sukeltų padarinių ir išlaikyti gyvenimui tinkamą klimatą, tačiau šiuo metu vykdoma politika rodo, kad iki amžiaus pabaigos temperatūra pakils 2,8 °C (4.32 pav.).



4.32 pav. Pasaulinės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos ir klimato politika (Ritchie, Roser, Rosado, 2020)

Vidutinė Žemės paviršiaus temperatūra šiuo metu yra maždaug $1,1^{\circ}\text{C}$ aukštesnė negu iki pramonės revoliucijos ir šilčiausia per pastaruosius 100 000 metų. Pastarasis dešimtmetis (plis–2020 m.) buvo šilčiausias istorijoje, o kiekvienas iš pastarųjų keturių dešimtmečių buvo šiltesnis nei bet kuris ankstesnis dešimtmetis nuo 1850 metų. Daugelis žmonių mano, kad klimato kaita reiškia šiltesnę aplinkos temperatūrą, tačiau temperatūros kilimas yra tik proceso pradžia, nes Žemės sistemoje viskas yra susiję ir pokyčiai vienoje srityje gali turėti įtakos kitoms sritims. Klimato kaita turi įtakos sveikatai, augalininkystei ir gyvulininkystei, būstui, saugai ir darbui. Kai kurie žmonės jau dabar yra labiau pažeidžiami, pavyzdžiui, gyvenantys mažose salose ir priekrančių šalyse (4.33 pav.). Nedidelėje Karibų jūros saloje Gardi Sugdub (400×150 m) gyvena beveik 1 300 gyventojų. Sala yra



4.33 pav. Mažų atolų (Ramiojo, Indijos vandenynų)

Karibų jūros salos ypač pažeidžiamos kylančio jūros lygio
(<https://www.bbc.com/future/article/20231214-nine-breakthroughs-for-climate-and-nature-in-2023-you-may-have-missed>)

tik 0,5–1 m virš vandens, o jūra aplink salą pakyla 3,4 mm per metus. Beveik neabejojama, kad iki 2100 m. sala turės būti apleista ir išnyks po jūra. Jūros lygio kilimas ir sūraus vandens skverbtiis privertė išsikelti ištisas bendruomenes, o dėl užsitęsusių sausrų žmonėms gresia badas. Jau šiandien „klimato pabėgėlių“ srautai iš Afrikos, Lotynų Amerikos kelia daug humanitarinių ir socialinių problemų, o ateityje šie srautai tik augs.

Norint sustabdyti visuotinį atšilimą, CO₂ emisijos į atmosferą dėl žmogaus veiklos, pvz., iškastinio kuro deginimo, cemento gamybos ir miškų naikinimo, turi būti sumažintos iki nulio. Kuo ilgiau bus artėjama prie nulinės emisijos, tuo pasaulis taps karštesnis. Menka dekarbonizacijos pažanga mokslininkams kelia pagrįstą nerimą dėl klimato krizės. Sustiprėjo susidomėjimas kontroversiškais intervencinėmis technologijomis, kurios siūlo didinti saulės šviesos

atspindį į kosmosą purškiant į stratosferą tam tikras medžiagas. Jei pasaulio ekonomikai nepavyks dekarbonizuotis, toks Žemės albedo keitimo planas turėjo tapti „gelbėjimo planu B“. Vis dėlto dėl tūkstantmečiais išliekančio CO₂ atmosferoje ir dešimtmečiais planetos albedą didinančių dalelių išlikimo stratosferoje albedo didinimas nebus saugus ir atliks labai nedidelį vaidmenį, todėl dekarbonizacijai tiesiog nėra alternatyvos.

Mokslininkai teigia, kad žmonijai gresia didelė bėda. 50 % tikimybės išlaikyti pasaulinės temperatūros kilimą mažesnę nei 2 °C sąlyga yra apie trilijono tonų CO₂ emisijos riba. Dabartinės emisijos sudaro daugiau nei 630 mlrd. t, tad liko tik 370 mlrd. tonų. Esant dabartiniam išmetamų teršalų kiekiui, šį ribinį teršalų kiekį pasiektume vos per 37 metus, t. y. 2057 metais. Net ir Europos Sąjunga, kuri išreiškė tvirtą įsipareigojimą mažinti CO₂ emisiją (2017 m. išmetamų teršalų kiekis padidėjo 1,8 %, o 2018 m. sumažėjo 2,5 %), dekarbonizacijos srityje padarė nedidelę pažangą (2018 m. Eurostatas). Išmetamų teršalų kiekiui nemažėjant, tikslas sumažinti emisiją mažiau nei trilijonu tonų tampa nepasiekiamas. Nuolat 2,5 % didėjant emisijai, trilijono tonų riba bus pasiekta mažiau nei per 27 metus. Jei ši tendencija tęsis, eksponentinis taršos augimas padidės iki dviejų trilijonų tonų per 50 metų (4 °C atšilimas) ir iki trijų trilijonų tonų (6 °C atšilimas) vos po 86 metų. Klimato kaitos poveikis akivaizdus: padaugėjo miškų gaisrų, kai kuriuose regionuose tęsiasi ilgalaikė sausra, kitur kyla potvyniai, nyksta Arkties jūros ledas, dažnėja pavojingos karščio bangos, susiduriama su maisto stygiumi, kyla jūros lygis, nyksta biologinė įvairovė. Dėl šiluminio streso pusė planetos žinduolių gali atsidurti gyvenimui netinkamoje aplinkoje.

Klimato kaitą sukeliančios emisijos patenka iš visų pasaulio kraštų ir daro poveikį visiems, tačiau kai kurios šalys išmeta daug daugiau nei kitos. Septynios daugiausiai teršalų išmetančios šalys ar jų grupė (Kinija, Jungtinės Amerikos Valstijos, Indija, Europos Sąjunga,

Indonezija, Rusijos Federacija ir Brazilija) 2020 m. sudarė apie pusę visos pasaulinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos. Veiksmų klimato kaitos srityje reikia imtis visiems, tačiau šalys, dėl kurių kyla daugiau problemų, turi prisiimti didesnę atsakomybę. Perėjimas prie atsinaujinančių energijos šaltinių, pavyzdžiui, saulės ar vėjo, sumažins išmetamų teršalų, skatinančių klimato kaitą, kiekį, bet būtina ryžtingai veikti dabar. Vis daugiau šalių iki 2050 m. įsipareigoja neišmesti grynųjų teršalų. Kad atšilimas neviršytų 1,5 °C, iki 2030 m. išmetamų teršalų kiekis turi būti sumažintas perpus. Tam būtina gerokai sumažinti anglies, naftos ir dujų naudojimą.

Pabandykime įsivaizduoti, kaip pasaulis atrodys po 100 metų. Žemėje tikriausiai bus šilčiau, pakils vidutinė temperatūra, taip pat jūros lygis, ištirps poliarinės ledo kepurės, jūros vanduo taps rūgštesnis, daugės sausrų ir miškų gaisrų. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų gausa planetos atmosferoje paveiks augalus, gyvūnus, žmones. Gyvos būtybės, kurios daug investuoja į palikuonis (žindydamos, prižiūrdamos, dresuodamos), lėtai auga ir vystosi, yra ilgaamžės, nukentės labiausiai. Neprižiūrinčios jauniklių, greitai augančios trumpaamžės būtybės pasikeitusioje aplinkoje prisitaikys lengviau. Jei vabzdžių kiekis ir toliau mažės, išnyks paukščiai, kurie minta vabzdžiais, t. y. išnyks dauguma paukščių giesmininkų. Jūrų gyvūnai (koralai, kriauklės) ir augalai (kai kurie dumbliai), naudojančios kalkes skeleto ar kiaušto statybai, išmirs, nes kalkės rūgštesniame vandenyje ištirpsta. Išliks gyvūnai, kurių kriauklės iš silicio dioksido ir kitų silikatų, pavyzdžiui, *diatomės*.

Ilgamžiai augalai, tokie kaip medžiai, sunyks. Dėl didesnio CO₂ kiekio atmosferoje augalai iš pradžių augs greičiau, tačiau bus mažiau stabilūs. 30 % CO₂ atmosferoje (dabar 0,4 % CO₂) labai paspartintų daugelio augalų augimą, tačiau žmonės jau būtų išmirę (uždusę). CO₂ yra anestezinės dujos, vos keli jų procentai sukelia sąmonės netektį ir mirtį. Daugės sausrų ir miškų gaisrų, todėl išliks

sausrai atsparūs augalai, pavyzdžiui, medžiai giliomis šaknimis arba kilę iš sausų regionų. Išnykus daugeliui apdulkinančių vabzdžių, sumažės žydinčių augalų. Išliks vėjo apdulkinamos rūšys (palmės, javai, kukurūzai, žolės), taip pat tos, kurios dauginasi nelytiškai arba nepriklausomai nuo vabzdžių, trumpaamžiai augalai, išauginantys daug sėklų.

Jei žmonės išgyvens (Einšteinas numatė, kad po vabzdžių žūties žmonės ilgai neišgyvens), tai kaip rūšis greičiausiai patirs nuosmukį (maisto stygių, karus, galbūt sąmoningą reprodukcijos mažėjimą, taip pat žemesnį gyvenimo lygį). Vienintelis prieinamas maistas bus grūdai ir kukurūzai (vėjo apdulkinami augalai), o maistas iš žydinčių augalų, tokių kaip daržovės ar vaisiai, išnyks. Dykumos juostos išplis nuo planetos pusiaujo į šiaurę ir pietus, o augmenijos juosta pasieks poliarinį ratą. Dėl šių pokyčių žmonių gyvenvietės taip pat pasislinks į planetos šiaurę / pietus. Maisto krizė ypač skaudžiai palies neturtingas šalis ir jų žmones. Krizės skatins karus dėl išteklių, migraciją iš regionų, kuriuose dėl sausros, potvynių ir gaisrų sudėtinga išlikti. Keičiantis aplinkai neišvengiamai plis ir naujos ligos. Tai gali būti Afrikos kukurūzų laukų kenkėjai, nauja grybelinė infekcija (pvz., žmogaus ausyje), nežinomi vabzdžiai, naikinantys medžius Rusijoje, arba citrinmedžių vaisius Floridoje pažeidžianti nauja bakterija. Dėl visuotinio atšilimo keičiasi kritulių, drėgmės, gaunamos saulės spinduliuotės kiekiai, padažnėja ciklonai, potvyniai, sausros ir karščio bangos, o tai daro įtaką patogenų, susijusių su choleros, vidurių šiltinės, maliarijos, geltonosios karštinės ir daugelio kitų ligų protrūkiais, atsiradimui ir plitimui. Pastarieji dažniau keičia „šeimininką“, todėl klimato pokyčiai skatins pandemijas ir galima tikėtis nenusipėjamų žmonių, gyvūnų ir augalų ligų. Kur atsiras kitas patogenas, niekas nežino, bet jis mus suranda greičiau nei mes jį. Kai klimatas stabilus, rūšys dažniausiai būna izoliuotos ir specializuotos, o kai jis nepastovus, susidaro sąlygos kolonizuotis ir vystytis naujoms rūšims. Visą

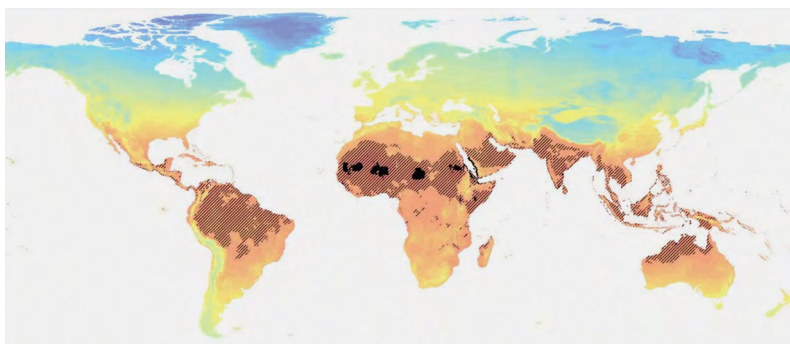
civilizacijos raidą lydėjo ligų rizika, tačiau anksčiau žmonių populiacija nebuvo tokia didelė ir negyveno taip tankiai. Dabartiniu spartėjančios klimato kaitos laikotarpiu galima tikėtis naujų ligų, kurios didins skurdą, badą, konfliktus ir migraciją. Tyrimai rodo, kad klimato kaita ir žemės naudojimo pokyčiai per ateinančius dešimtmečius suteiks galimybes virusams pereiti iš vienos rūšies į kitą ir pasiekti žmones. Šiuo metu apie 10 000 virusų rūšių gali mus užkrėsti, tačiau dauguma jų cirkuliuoja laukiniuose žinduoliuose. Šiltesniame fiziškai nualintame pasaulyje rūšys natūraliai sudarys naujus derinius didelės biologinės įvairovės vietose ir ten, kur yra didelės žmonių populiacijos, greičiausiai Azijoje ir Afrikoje. Žinduoliai, tokie kaip šikšnosparniai, pirmą kartą susidurs su kitais žinduoliais ir galbūt dalinsis tūkstančiais virusų. O gal šis ekologinis perėjimas jau prasidėjo?

Jeigu žmonės visiškai išmirtų, plisėtų rūšys, greičiausiai ir geriausiai prisitaikančios prie naujų sąlygų. Antai kambro laikotarpiu, išnykus dinozaurams, sparčiai vystėsi daug naujų gyvūnų rūšių. Tai būtų vis dar pakankamai tikroviška distopija (distopija, priešingai nei utopija, reiškia ką nors nemėgiamą, kas realiai nelabai tikėtina, bet vis tiek realiau už utopiją). Galimas ir dar baisesnis scenarijus, nes kas nutiko Venerai, gali atsitikti ir Žemei. Atmosferai šylant, daugiau vandens išgaruoja ir patenka į atmosferą. UV spinduliuotė (stipresnė dėl ozono skylės) padalija H_2O į H_2 ir deguonį. Lengvos H_2 dujos pakyla į kosmosą, o O_2 jungiasi su žemės paviršiuje esančiomis uolienomis (ypač kalcio karbonatu) ir susidaro daugiau CO_2 , kuris dar labiau kaitina atmosferą. Dėl šio proceso vanduo palaipsniui nyksta, o atmosfera įkaista iki maždaug $470^\circ C$, kol galiausiai, kaip ir Veneroje, atmosferą sudaro 95 % CO_2 . Vargu ar Žemėje taip gali atsitikti, bet tokia tikimybė vis tiek galima.

2019 m. rašytojas Davidas Wallace-Wellsas išleido knygą „Negyvenama Žemė“, kurioje rašoma, kaip žmonijos pasitenkinimas ir aplaidumas pavertė planetą negyvenama (Wallace-Wells, 2019). Autoriaus nuomone, šiandien yra daug blogiau, negu dauguma

žmonių mano. Nerimaujant dėl visuotinio atšilimo dominuoja jūros lygio kilimo baimė ir žmonės nemato kitų galimų siaubingų pasekmių – maisto stygiaus, pabėgėlių srautų, klimato kaitos sukeltų karų ir ekonominio nuosmukio. „Negyvenama Žemė“ yra baisi knyga apie katastrofų virtinę, kurios netrukus smogs mūsų šylančiai planetai. Tai aistringas raginimas veikti. Pasaulis per kelias kartas atsidūrė prie katastrofos slenksčio ir atsakomybė dabar tenka šiandieninei kartai.

Knyga parengta remiantis interviu su paleontologais, klimatologais, okeanografais ir kitais mokslininkais. Ji iš karto sulaukė kritikos kaip per daug pesimistinė, be to, joje esama tam tikrų faktinių klaidų. Recenzentai nustatė, kad kai kurie teiginiai iškraipo šios temos tyrimus, o kitiems trūksta reikiamų paaiškinimų. Iš esmės teisingi samprotavimai yra perdėti ir nelabai dera su dabartine moksline samprata. Autorius pateikia kai kuriuos labai blogus scenarijus, nepripažindamas ir nenagrinėdamas labiau tikėtinų pasekmių. Daugiausiai jis kritikuotas už žmonių gąsdinimą, nes gąsdinti žmones, kad jie norėtų kovoti su klimato kaita, yra tikrai bloga ir neproduktyvi strategija. Kiek laiko užtruks, kol Žemė taps negyvenama? 2019 m. paskelbtame pasaulio žemėlapyje pavaizduoti regionai, kurie iki 2050 m. taps netinkami žmonėms gyventi (4.34 pav.). Dabar



4.34 pav. NASA itin karštų regionų plėtros prognozė (Chi Xu ir kt., 2019)

vidutinė metinė šiek tiek didesnė nei 29 °C temperatūra fiksuojama tik nedidelėse Sacharos regiono dalyse (tamsios zonos). Manoma, kad 2070 m. tokios sąlygos susidarys visoje tamsesnėje (štrichuotoje) srityje. Jei nebūtų migracijos, 2070 m. tose vietovėse gyventų 3,5 mlrd. žmonių. Lietuva išliks gyvenimui palankių sąlygų zonoje, tačiau tikriausiai neišvengs didėjančių imigracijos srautų.

Mokslininkų skaičiavimais, 2050 m. sudėtingos gyvenimo sąlygos bus Pietų Azijoje ir Persijos įlankoje, t. y. tokiose šalyse kaip Iranas, Kuveitas ir Omanas. Sunkiai ištveriamos klimato sąlygos bus ir su Raudonąja jūra besiribojančiose šalyse: Egipte, Saudo Arabijoje, Sudane, Etiopijoje, Somalyje ir Jemene. Iki 2070 m. klimato kaita paveiks Šiaurės ir Pietų Amerikos šalis, daugiausia Braziliją, Centrinę Ameriką ir kai kurias JAV vidurio vakarų valstijas (Taejin Park ir kt., 2022).

2023 10 30 oficialiose Jungtinių Tautų klimato kaitos kasmetinėse derybose (COP28) daugiausia dėmesio buvo skiriama iškastinio kuro naudojimo mažinimui. Konferencija suburia tūkstančius lyderių, įskaitant aukščiausius vyriausybės ir verslo pareigūnus, mokslininkus ir aktyvistus, iš viso pasaulio. Tai tąsa 1992 m. daugiau nei 150 vyriausybių pasirašytos JT Bendrosios klimato kaitos konvencijos. Kasmetiniame aukščiausio lygio susitikime šalių atstovai siekia klimato krizę sprendžiančių susitarimų. Šis viršūnių susitikimas rengiamas skirtinguose pasaulio regionuose ir žemynuose. COP28 susitikime dalyvavo apie 70 000 dalyvių iš beveik 200 šalių, tarp jų įvairių valstybių vadovai, verslo lyderiai ir lobistai bei kt. Pirmąją COP28 dieną buvo susitarta įsteigti Pasaulio banko administruojamą nuostolių ir žalos fondą, kuris leis turtingoms valstybėms teikti finansavimą besivystančioms šalims ir kompensuoti kovos su klimato kaita išlaidas. Šalių pažanga mažinant planetos atšilimą iki šiol buvo labai lėta ir nepakankama, todėl nepavyko pasiekti 2015 m. Paryžiaus klimato susitarimo tikslų.

Prieš konferenciją paskelbtoje JT ataskaitoje perspėjama, kad pagal dabartines tendencijas iki amžiaus pabaigos atšilimas gali 3°C viršyti ikipramoninio laikotarpio vidurkį. Toks spartus temperatūros vidurkio kilimas būtų grėsmingas pasaulio gyventojams.

2023 m. pabaigoje JAV per dieną išgaudavo 13,2 mln. barelių naftos, tai yra daugiausiai pasaulyje. JAV tenka daugiau nei trečdalis iki 2050 m. planuojamos pasaulio naftos ir dujų gavybos plėtros. Turint omenyje bendrą valstybių neveiklumą mažinant išmetamų teršalų kiekį, o Kinijai siunčiant signalą, kad ji nesutiks su „laipsnišku iškastinio kuro atsisakymu“, lūkesčiai yra nedideli. Yra vilties pasiekti susitarimą dėl metano – stiprių šiltnamio efektą sukeliančių dujų, kurios per pirmuosius 20 buvimo atmosferoje metų daugiau nei 80 kartų (labiau negu CO_2) padidina vidutinės klimato temperatūros kilimą.

Sunku tikėtis didelės pažangos, nes bet kokie pasiekti susitarimai nėra įpareigojantys ir dažnai lieka netesėti. COP28 vyksta Jungtiniuose Arabų Emyratuose, kurie yra penkta pagal dydį naftos gamintoja pasaulyje. Klimato aktyvistai teigia, kad tai tarsi lapės įleidimas į vištidę, nes susitikimuose, kuriuose siekiama užkardyti pasaulines emisijas, bandoma sudaryti šalutinius susitarimus, leisiančius padidinti pasaulines emisijas.

Neretai kiekvienas individas gali prisidėti prie klimato kaitos grėsmių mažinimo pradėdamas nuo savęs: nepasiduoti mados spaudimui, tvariau naudoti drabužius ir avalynę, rūšiuoti atliekas ir kita, mažinti vabzdžių žūtį, nenaudodamas pesticidų, atsisakyti monokultūros žemės ūkyje, soduose, pvz., vejose, egzotikų augalų, kurie neduoda maisto vietiniams gyvūnams, sodinti miškus. Būtina apsodinti plotus vietinėmis augalų rūšimis, ypač gyvenvietėse (stogai, sodai, nenaudojamos teritorijos, gatvių skiriamosios juostos), diegti skatinimo sistemas (tiesiogines išmokas, mažesnius mokesčius) mažai CO_2 į aplinką išskiriantiems gamintojams

ir apmokestinti didelį CO₂ kiekį išmetančius teršėjus, pavyzdžiui, pramonėje ir žemės ūkyje. Tam dažnai reikia asmeninio ryžto, o sprendimų priėmėjams – politinės valios. Deja, daugelyje šalių politinė sistema yra vangi, o politikai vis dar nesuvokia, kad klimato kaita yra opiausia mūsų laikų problema. Visgi nepaisant supančios realybės, nepamirškime, kad mes visi turime moralinę pareigą palikti pasaulį geresnį, nei radome.

Literatūra ir šaltiniai

- Akbar M. J. Lithium reserves by country: Top 15 countries. 2023. <https://finance.yahoo.com/news/lithium-reserves-country-top-15-184450553.html>
- Akhmetkaliyeva S. Discovery of Deep Sea rare elements in the Atlantic Ocean. 2020. <https://www.eurasian-research.org/publication/discovery-of-deep-sea-rare-elements-in-the-atlantic-ocean/>
- Alexander P., Brown C., Arneth A., Dias C., Finnigan J., Moran D., Rounsevell M. D. A. Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? Glob Food Secur. 2017. 15: 22–32. doi: 10.1016/j.gfs.2017.04.01
- Amos J., Rivault E. Antarctica sea-ice hits new record low. 2023. <https://www.bbc.com/news/science-environment-64649596>
- Beall A. Why clothes are so hard to recycle. 2020. <https://www.bbc.com/future/article/20200710-why-clothes-are-so-hard-to-recycle>
- Ben-Arye T., Levenberg S. Tissue engineering for clean meat production. Front Sustain Food Syst. 2019. 3: 46. doi: 10.3389/fsufs.2019.00046
- Benke E. How a sand battery could transform clean energy. 2022. <https://www.bbc.com/future/article/20221102-how-a-sand-battery-could-transform-clean-energy>
- Benke E. The place where no humans will tread for 100,000 years. 2023. <https://www.bbc.com/future/article/20230824-the-descent-to-the-worlds-first-waste-nuclear-fuel-storage-site>

- Bhutada G. This chart shows which countries produce the most lithium. 2023. <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/chart-countries-produce-lithium-world/>
- Bonny S. P. F., Gardner G. E., Pethick D. W., Hocquette J.-F. Artificial meat and the future of the meat industry. *Anim Prod Sci.* 2017. 57: 2216–2223. doi: 10.1071/AN17307
- Brodwin E. The startup behind the first lab-grown pork links let us see how their sausage gets made – and said it slashed the cost from \$2,500 to \$216 in a month. 2018. <https://www.businessinsider.com/taste-test-lab-grown-meat-sausage-cost-2018-11>
- Bukantis A. Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos. 2021. <https://www.vle.lt/straipsnis/paryziaus-susitarimas-del-klimato-kaitos/>
- Butler R. A. The world's largest rainforests. 2020. <https://rainforests.mongabay.com/facts/the-worlds-largest-rainforests.html>
- Carbon footprint of recycled Aluminium. 2021. <https://www.climateaction.org/news/carbon-footprint-of-recycled-aluminium>
- Cheng Y. W., Shiowski D. J., Ball R. L., Whitehead K. A., Feinberg A. W. Engineering aligned skeletal muscle tissue using decellularized plant-derived scaffolds. *ACS Biomater Sci Eng.* 2020. 6: 3046–3054. doi: 10.1021/acsbiomaterials.0c00058
- Chi Xu, Kohler T. A., Lenton T. M., Scheffer M. Future of the human climate niche. *PNAS.* 2019. 117(21): 11350–11355. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117>
- Choudhury D., Tseng T. W., Swartz E. The business of cultured meat. *Trends Biotechnol.* 2020. 38: 573–577. doi: 10.1016/j.tibtech.2020.02.012
- Chriki S., Hocquette J.-F. The myth of cultured meat: A review. *Frontiers in Nutrition.* 2020. 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2020.00007/full>
- Chriki S., Picard B., Faulconnier Y., Micol D., Brun J. P., Reichstadt M., et al. A data warehouse of muscle characteristics and beef quality in France and a demonstration of potential applications. *Ital J Anim Sci.* 2013. 12: e41. doi: 10.4081/ijas.2013.e41
- Chrobak, U. How America is tackling its greatest source of emissions. 2021. <https://www.bbc.com/future/article/20211019-climate-change-how-the-us-can-drive-less>

- Cole L. How ending mining would change the world. 2022. <https://www.bbc.com/future/article/20220413-how-ending-mining-would-change-the-world>
- Conradi P. Angry Birds entrepreneur Peter Vesterbacka hatches plan for £13bn tunnel. 2021. https://www.blue21.nl/wp-content/uploads/2021/04/20210410_The-Times-article.pdf
- Chen H., Dong H., Shi Zh., Sengupta A. K. Direct air capture (DAC) and sequestration of CO₂: Dramatic effect of coordinated Cu(II) onto a chelating weak base ion exchanger. *Science Advances*. 2023. 9 (10). <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adg1956>
- Hasell J., Roser M. Population growth. 2023. <https://ourworldindata.org/population-growth>
- Hosokawa R., Kidera M. Climate refugees: The world's silent crisis. 2022. <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Datawatch/Climate-refugees-The-world-s-silent-crisis>
- Early C. The most important number you've never heard of. 2021. <https://www.bbc.com/future/article/20211103-the-most-important-number-youve-never-heard-of>
- Feature: Chinese builders help Morocco restructure energy mix via solar power projects. *New China*. 2018. https://www.xinhuanet.com/english/2018-09/08/c_137454723.htm
- Fernandes A. M., Fantinel A. L., de Souza Â. R. L., Révillion J. P. Trends in cultured meat: A bibliometric and sociometric analysis of publication. *Braz J Inf Sci Res Trends*. 2019. 13: 56–67. doi: 10.36311/1981-1640.2019.V13N3.06.p56
- Fraser D. Will hydrogen energy help decarbonise the economy? 2021. <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-59384415>
- Gerretsen I. The floating solar panels that track the Sun. 2022. <https://www.bbc.com/future/article/20221116-the-floating-solar-panels-that-track-the-sun>
- Gray R. The mystery of Siberia's exploding craters. 2020. <https://www.bbc.com/future/article/20201130-climate-change-the-mystery-of-siberias-explosive-craters>
- Harmon J. E. Turning carbon dioxide into liquid fuel. 2020. <https://www.anl.gov/article/turning-carbon-dioxide-into-liquid-fuel>

- Hashempour P. Can regenerative wool make fashion more sustainable? 2023. <https://www.bbc.com/future/article/20230413-can-regenerative-wool-make-fashion-more-sustainable>
- Henriques M. The clean energy milestone the world is set to pass in 2023. 2023. <https://www.bbc.com/future/article/20230414-climate-change-why-2023-is-a-clean-energy-milestone>
- How a heat pump works. 2022. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/how-a-heat-pump-works>
- Isanovic H. Floating house may be the solution for housing crisis. 2023. <https://www.hsbmarine.com/blog/floating-house-may-be-the-solution-for-housing-crisis>
- Yildirim O. Green shipping technology and achieving carbon-zero today. 2022. <https://www.adv-polymer.com/blog/green-shipping#:~:text=%22Green%20ship%22%20is%20a%20name,energy%2C%20and%20be%20more%20efficient>
- Josephs J. Can Morocco solve Europe's energy crisis? 2023. <https://www.bbc.com/news/business-65415529>
- Kadim I. T., Mahgoub O., Baqir S., Faye B., Purchas R. Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *J Integr Agric.* 2015. 14: 222–233. doi: 10.1016/S2095-3119(14)60881-9
- Kanchwala H. What is a solar-powered airplane? Can it replace the conventional jet-fueled airplanes? 2022. <https://www.scienceabc.com/innovation/solar-powered-plane-future-aviation-industry.html>
- Kemp L., Chi Xu, Depledge J., Lenton T. M. Climate endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *PNAS.* 2022. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2108146119>
- Kim W., Lee H., Lee J., Atala A., Yoo J. J., Lee S. J., Kim G. H. Efficient myotube formation in 3D bioprinted tissue construct by biochemical and topographical cues. *Biomaterials.* 2020. 230: 119632. doi: 10.1016/j.biomaterials.2019.119632
- Kurmelovs R. How Australia became the world's greatest lithium supplier. 2022. <https://www.bbc.com/future/article/20221110-how-australia-became-the-worlds-greatest-lithium-supplier>
- Kuta S. Electric planes are taking flight. 2022. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/electric-planes-are-taking-flight-180980821/>

- Lane A. The regenerative revolution in food. 2021. <https://www.bbc.com/future/article/20211020-carbon-farming-a-better-use-for-half-earths-land>
- Lee C. Glass or plastic: which is better for the environment? 2023. <https://www.bbc.com/future/article/20230427-glass-or-plastic-which-is-better-for-the-environment>
- Lynas M. Our Final Warning: Six Degrees of Climate Emergency. Harper Collins, 2020, 368 p.
- Lynch J. V., Pierrehumbert T. R. Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Front Sustain Food Syst.* 2019. 3: 5. doi: 10.3389/fsufs.2019.00005
- Lo Ch. Helsinki–Tallinn tunnel: checking in with the world's most ambitious rail link. 2019. <https://www.railway-technology.com/features/helsinki-tallinn-tunnel-development/?cf-view>
- Ma X., Azhari L., Wang Y. Li-ion battery recycling challenges. *Chem.* 2021. 7(11). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451929421004757>
- Macnamara K. Human food waste 'threat' to polar bears: report. 2022. <https://phys.org/news/2022-07-human-food-threat-polar.html>
- McGrath M. Global warming set to break key 1.5°C limit for first time. 2023. <https://www.bbc.com/news/science-environment-65602293>
- McGrath M., Poynting M. Recent, rapid ocean warming ahead of El Niño alarms scientists. 2023. <https://www.bbc.com/news/science-environment-65339934>
- Menon S. Climate change: What emission cuts has India promised? 2022. <https://www.bbc.com/news/world-asia-india-58922398>
- Moriarty P., Honnery D. The risk of catastrophic climate change: Future energy implications. *Futures.* 2021. 128. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102728>
- Newsroom E. Zero-emission planes and boats that double as microgrids: The best green innovations of the week. 2019. <https://www.edie.net/zero-emission-planes-and-boats-that-double-as-microgrids-the-best-green-innovations-of-the-week/>
- Nwafor J. How clean cooking helps the climate. 2021. <https://www.bbc.com/future/article/20211103-nigeria-how-clean-cooking-helps-the-climate>

- Paoli L., Gül T. Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales. 2022. <https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales>
- Park T., Hashimoto H., Wang W., Thrasher B., Michaelis A. R., Lee T., Brosnan I. G., Nemani R. R. What does global land climate look like at 2°C warming? Earth's Future. 2022. <https://doi.org/10.1029/2022EF003330>
- Post M. J. Cultured meat from stem cells: challenges and prospects. Meat Sci. 2012. 92: 297–301. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.04.008
- Post M. J. Cultured beef: medical technology to produce food. J Sci Food Agric. 2014. 94: 1039–1041. doi: 10.1002/jsfa.647416
- Ritchie H., Roser M., Rosado P. CO₂ and greenhouse gas emissions. 2020. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Rosenblad K. How would \$100bn help the world cope with climate change? 2021. <https://www.bbc.com/future/article/20211020-climate-finance-how-to-spend-100bn-to-save-the-climate>
- Ross L. The rise of lab-grown meat. 2022. <https://www.thomasnet.com/insights/the-rise-of-lab-grown-meat/>
- Rothman D. H. Thresholds of catastrophe in the Earth system. Sci. Adv. 2017. 3(9). <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700906>
- Rubiano M. P. How Colombia plans to keep its oil and coal in the ground. 2022. <https://www.bbc.com/future/article/20221116-how-colombia-plans-to-keep-its-oil-and-gas-in-the-ground>
- Rubin S. Why the Dutch embrace floating homes. 2022. <https://www.bbc.com/future/article/20220202-floating-homes-the-benefits-of-living-on-water>
- Savage M. The race across Europe to build green steel plants. 2023. <https://www.bbc.com/news/business-64538296>
- Savage M. How a small Swedish town is becoming the spearhead of green steel in Europe. Time. News. 2023. <https://time.news/how-a-small-swedish-town-is-becoming-the-spearhead-of-green-steel-in-europe/>
- Shapiro P. Clean meat: how growing meat without animals will revolutionize dinner and the world. Science. 2018. 359: 399. doi: 10.1126/science.aas8716
- Share of world crude steel production. 2019. <https://twitter.com/noahpinion/status/1181859021650677760>

- Shukman D. Renewables' deep-sea mining conundrum. 2017. <https://www.bbc.com/news/science-environment-39347620>
- Solomonova I. How is artificial meat created, when will it replace traditional pork and how much will it cost the buyer? 2019. <https://vaistai.lt/Kaip-kuriama-dirbtine-mesa-kada-ji-pakeis-tradicine-kiauliena-ir-kiek-tai-kainuos-pirkejui-Video-10468.html>
- Stallard E. What is the UN High Seas Treaty and why is it needed? 2023. <https://www.bbc.com/news/science-environment-64839763>
- Stallard E. Breakthrough in nuclear fusion energy announced. 2022. <https://www.bbc.com/news/science-environment-63950962>
- Stallard E. What is biodiversity and how are we protecting it? 2023. <https://www.bbc.com/news/explainers-60823267>
<https://www.bbc.com/news/science-environment-63950962>
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T. D., Castel V., Rosales M., De Haan C. Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006.
- Sullivan W. Renewable energy is slowing the rise of carbon emissions. 2022. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/renewable-energy-is-slowing-the-rise-of-carbon-emissions-180980988/>
- Timperley J. Climate change: Can we really take CO₂ back out the air? 2023. <https://www.bbc.com/future/article/20230321-ipcc-the-rising-need-for-negative-emissions>
- Townend E. The enormous heat pumps warming cities. 2023. <https://www.bbc.com/future/article/20230131-can-city-dwellers-ever-have-heat-pumps>
- Tuomisto H. L., Teixeira de Mattos M. J. Environmental impacts of cultured meat production. *Environ Sci Technol*. 2011. 45: 6117–6123. doi: 10.1021/es200130u
- Zuckerman J. C. Planet palm: How palm oil ended up in everything-and endangered the world. New York, 2021. ISBN 978-1-62097-523-7
- United Nations: Peace, dignity and equality on healthy planet. 2023. <https://www.un.org/en/global-issues/population#>
- Wallace-Wells D. The Uninhabitable Earth. Crown. New York: Tim Dugan Books, 2019, 320 p.

- Warner R. D. Review: analysis of the process and drivers for cellular meat production. *Animal*. 2019. 13: 3041–3058. doi: 10.1017/S1751731119001897
- Wei-Haas M. Inside the first solar-powered flight around the world. 2018. <https://www.smithsonianmag.com/innovation/inside-first-solar-powered-flight-around-world-180968000/#:~:text=After%2014%20months%20of%20travel,supplied%20the%20craft's%20only%20power>
- What is climate change? A really simple guide. 2023. <https://www.bbc.com/news/science-environment-24021772>
- Wuppermann C.-D. CO₂-issues through the development of light weight steel solutions for cars. 2006. <https://www.eurofer.eu/assets/publications/archive/archive-of-older-eurofer-documents/2006-SRAFull.pdf>)

Algirdas Vaclovas Valiulis

KLIMATO SLINKTYS IR VANGUS ATSAKAS

Vilnius: Kriventa, 2024, 384 p.

ISSN 2351-5368

ISBN 978-9986-08-100-5

eISBN 978-9986-08-101-2

Redagavo Aušra Gapsevičienė

Knygos dizainą sukūrė Miglė Datkūnaitė

Maketavo Regina Kunigėlienė

Viršeliuose panaudotos Annie Spratt (Unsplash) ir Virginijos Valuckienės nuotraukos

Išleido leidybos įmonė „Kriventa“

V. Pietario g. 5-3, 03122 Vilnius

Tel. +370 682 47 899

kriventa@kriventa.lt

www.kriventa.lt

Tiražas 200 egz.