

Europos politika: Lietuvoje ir Europoje

Nr. 1(1)

Kęstutis Škiudas, Andrius Kubilius, Jonas Urbanavičius

Žmonijos veiklos sukelta klimato kaita:
PRIEŽASTYS, PASEKMĖS, GALIMYBĖS

Nr. 1(1)

Kęstutis Škiudas, Andrius Kubilius, Jonas Urbanavičius

Žmonijos veiklos sukelta klimato kaita:
priežastys, pasekmės, galimybės

Platinamas nemokamai

Europos viešosios politikos institutas

Vilnius, 2020

Santrauka

Leidinyje apžvelgiami žinomi ir mokslinių tyrimų patvirtinti duomenys bei procesai, susiję ir lemiantys klimato kaitą. Apžvalginis leidinys yra skirtas tam, kad Lietuvos visuomenė ir ypač politinė bendruomenė geriau suprastų pasaulyje vykstančias diskusijas, pagrindinius procesus, įtakojančius klimato kaitą ir būdus, kaip su tuo galima ir būtina kovoti.

Esminę įtaką klimato kaitai, mažinant CO₂ kiekį atmosferoje, daro ne fotosintezės apimtys, o fotosintezės metu surišamo anglies dvideginio „įkalinimas“ (angl.: *sequestration*) vandenynuose, durpynuose, klintyje, medienoje, anglyse.

Vandenynų potencialas, mažinant klimato kaitą lemiančią CO₂ koncentraciją atmosferoje, lyginant su sausuma, yra nepalyginamai didesnis. Atogrąžų miškai apskritai jokio reikšmingesnio vaidmens ne vaidina, nes tiek kiek fotosintezės metu sugeria CO₂, tiek pat jo sugrąžina į atmosferą medienos puvimo metu.

Anglies dvideginio kiekis atmosferoje jau dabar yra toks, kad klimato kaitos neįmanoma sustabdyti vien mažinant anglies dvideginio išlakas. Tai būtina daryti trumpuoju laikotarpiu, bet tuo pat metu būtina ruošti neigiamų emisijų technologijas, kuriomis būtų siekiama sumažinti anglies dvideginio, jau esančio atmosferoje, kiekį, tam kad šias technologijas būtų galima įgyvendinti netolimoje ateityje. Siekiant parengti neigiamų emisijų technologijas jų efektyviam panaudojimui, yra būtini intensyvi mokslų tyrimai ir jiems finansuoti turi būti skiriamos pakankamos lėšos jau dabar. Tai atveria naujas galimybes ir Lietuvos mokslininkams bei naujų technologijų vystytojams, o Lietuvos ir Europos Sąjungos sprendimų priėmėjams suteikia naujų argumentų sprendžiant dėl tolesnės klimato politikos raidos

Straipsnių serijos „Europos politika: Europoje ir Lietuvoje“ leidėjas –
Viešoji įstaiga „Europos viešosios politikos institutas“



Leidinyje parengtas bendradarbiaujant
su ELP frakcija Europos Parlamente

Įvairaus dažnumo leidinys

Leidėjo kontaktai: Europospolitika@eppi.lt

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

ISSN 2669-1744

© Kęstutis Škiudas, 2020
© Andrius Kubilius, 2020
© Jonas Urbanavičius, 2020

Turinys

Ižanga	8
I. Abejingumas ir neraštingumas nėra konservatyvumas	8
II. Kas yra klimato kaita ir kas ją lemia?	11
III. Atmosferinis šiltnamio efektas	12
Vandens garai	14
Lemiamas anglies dvideginio vaidmuo klimato šiltėjimui	14
Metanas.....	16
Azoto suboksidas	16
Fluoruotos dujos	16
Ozonas.....	17
Juodoji anglis.....	17
IV. Anglies ciklas ir technologinės galimybės įtakoti anglies dvideginio kiekį atmosferoje	18
V. Pasaulio bendruomenės pastangos stabdyti klimato kaitą	19
Bendroji klimato kaitos konvencija	19
Paryžiaus susitarimas	20
Europos Sąjungos Naujasis žaliasis kursas.....	21
VI. Kova su klimato kaita (anglies kiekio atmosferoje mažinimas)	22
Šiltnamio dujų išlakų mažinimas ir kovos su klimato kaita tikslų pasiekimas.....	22
Iššūčiai Lietuviai, vykdant tarptautinius įsipareigojimus.....	24
VII. Kaip „išsiurbti“ CO₂ iš atmosferos?	26
Amazonės miškai nėra „Pasaulio plaučiai“	26
Neigiamų išlakų technologijos: kas tai?	28
1. Pakrančių „mėlynosios anglies“ technologija	29
2. Anglies pašalinimo sausumoje ir palaidojimo technologija	30
3. Bioenergetika su anglies dioksido surinkimu ir palaidojimu	33
4. Tiesioginio anglies surinkimo iš oro technologija.....	33
5. Anglies iš CO ₂ mineralizavimo technologija.....	34
6. Suslėgto CO ₂ laidojimas gyliuose geologinių nuosėdų sluoksniuose	34
NIT pajėgumai, kaštai, ribojantys faktoriai.....	34
Vandenynų vaidmuo.....	35
Dumbliai yra klimato kaitos karaliai	36
Anglies dvideginio surinkimas ir „įkalinimas“ vandenynuose: naujasi mokslinės ir technologinės pažangos žingsniai	37
VIII. Pristatymas ir galimybės	38
Išvados	39
Pagrindinių faktų rinkinys	40
Šiltnamio efektas ir CO ₂ koncentracija atmosferoje	40
Anglies dioksido ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos	40
Klimato kaitos poveikis aplinkai	41
Klimato kaitos poveikio mažinimo priemonės	41
Šaltinių sąrašas	42

Iliustracijų sąrašas

1 iliustracija. Temperatūros ir anglies dioksido koncentracijos pokyčiai.	10
2 iliustracija. Vidutinės metinės temperatūros kaita Vilniuje 1778–2008 m.	11
3 iliustracija. Anglies dioksido koncentracija atmosferoje.	12
4 iliustracija. Atskirų šiltnamio dujų dalis šiltnamio dujų indekse.	14
5 iliustracija. Anglies dvideginio koncentracijos atmosferoje kitimas nuo priešindustrinės epochos pradžios.....	15
6 iliustracija. Šiltnamio dujų išmetimai pasaulyje pagal atskiras veiklos sritis 2010 m.	15
7 iliustracija. Pasaulinis anglies dvideginio ciklas („biudžetas“) 2007–2016 metais	18
8 iliustracija. Pramoniniu laikotarpiu dėl įvairių veiksmų sukauptos įtakos į pasaulinį CO ₂ „biudžetą“	22
9 iliustracija. Prognozuojami CO ₂ išlakų scenarijai, jų įtaka galimam temperatūros pokyčiui	23
10 iliustracija. Scenarijus, parodantis neigiamų išlakų technologijų panaudojimo svarbą, siekiant nulinio išlakų balanso	24
11 iliustracija. Lietuvos BVP ir išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekio dinamika 1990–2017 m. (neįskaitant žemės ūkio ir miškų įtakos).....	25
12 iliustracija. Klimato kaitą sukeliančių šiltnamio dujų išlakos Lietuvoje	25
13 iliustracija. Šiltnamio dujų išlakos Lietuvoje pagal sektorius, tonų vienam gyventojui.....	26
14 iliustracija. Neigiamų Išlakų Technologijos, nagrinėjamos JAV mokslininkų ataskaitoje.....	29

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Svarbiausių šiltnamio dujų indėlis į šiltnamio efektą ir klimato kaitą.....	13
2 lentelė. NIT pajėgumai, kaštai, ribojantys faktoriai	34

Naudojamos santrumpos ir cheminės formulės

BECSS	Bioenergijos gamyba, apjungta su anglies dioksido surinkimu ir palaidojimu (angl.: <i>Bioenergy with Carbon Capture and Sequestration</i>)
BVP	Bendrasis vidaus produktas
CH₄	Metanas
CO₂	Anglies dvideginis
ES	Europos Sąjunga
HFC	Hidrofluorangliavandeniliai
TKKK	Tarpyvyriausybė klimato kaitos komisija (angl.: <i>UN Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC</i>)
JAV	Jungtinės Amerikos Valstijos
N₂O	Azoto suboksidas
NIT	Neigiamų išlakų technologijos (angl.: <i>Negative Emissions Technologies, NET</i>)
O₃	Ozonas
PFC	Perfluorangliavandeniliai
Ppm	Dalelių kiekis milijone dalelių (angl.: <i>particles per million</i>)
SF₆	Sieros heksafluoridas
ŠESD	Šiltnamio efektą sukeliančios dujos

Ižanga

Pastaruoju metu pasaulyje daug kalbama ir ginčijamasi apie klimato kaitą bei ją sukeliančias priežastis ir galimas pasekmes. Deja, Lietuvoje ši tema vis dar netampa prioritetine nacionalinių politinių diskusijų tema. Viena iš pagrindinių to priežasčių, kad mums Lietuvoje paprasčiausiai trūksta bazinių žinių ir supratimo apie tai, kas lemia klimato kaitą, kaip galima būtų racionaliai mažinti pavojingų atmosferos taršos reiškinių įtaką ar minimizuoti jau padarytą žalą.

Klimato kaitos tema pasaulyje tapo madinga. Yra daugybė įvairiausių nuomonių ir interesų, tad nėra ko stebėtis, kad nepavyksta visuotinai sutarti nei dėl klimato kaitos priežasčių, nei dėl sprendimų. Juolab kad ir klimato reiškinius nagrinėjantis mokslas dar nėra pajėgus iki galo suprasti visų atmosferoje, Žemės paviršiuje ir gelmėse, vandenynuose vykstančių reiškinių ar pasiūlyti tikslių klimato raidos modelių. Tačiau yra dalykų ir faktų, kuriuos mokslas yra pakankamai tiksliai nustatęs ir išnagrinėjęs, ir dėl ko nebėra jokių abejonių. Mums, norint visavertiškai dalyvauti globaliose diskusijose dėl klimato kaitos, verta pirmiausia gerai susipažinti su šių moksliskai nustatytų faktų rinkiniu.

Šios apžvalgos tikslas – glaustai apibendrinti tai, dėl ko bene visuotinai yra sutariama, ir pabandyti įvertinti, kuriose srityse ir kokie sprendimai būtų veiksmingiausi stengiantis kiek galima labiau sumažinti klimato kaitą.

Apžvalgoje taip pat bandome įžvelgti keletą kovos su klimato kaita sričių, kuriose Lietuvos mokslas ir technologinės inovacijos galėtų pasiūlyti naujų, inovatyvių sprendimų. Klimato kaitos procesai turi savo dar vis iki galo nepažintų priežasčių, turi nieko gero žmonijai nežadančių pasekmių, bet atveria ir naujas galimybes, kurias Lietuva turi būti pasirengusi išnaudoti.

I. Abejingumas ir neraštingumas nėra konservatyvumas

Būdami konservatyvių politinių pažiūrų dar apžvalgos įžangoje norime atsakyti į paprastą politinį klausimą – kodėl konservatoriui turi rūpėti klimato kaita?

Klimato kaitos klausimas yra vienas labiausiai skaldančių visuomenės visame pasaulyje. Vienoje pusėje matome „revoliucinius romantikus“, kurie vardan tariamos kovos su klimato kaita netgi atsisako skraidyti lėktuvais, nes šie teršia atmosferą; ar pasisako prieš Afrikos industrializaciją, nes tai padidins atmosferos taršą. Kitoje pusėje matome konservatyvius skeptikus, kurie demonstratyviai niekina susirūpinusius klimato kaita. Čia, klimato kaitos tematikoje ir diskusijose, gausu etikečių kljavimo, netikslių ar nepakankamai pagrįstų vertinimų, kitos pusės demonizavimo ir labai mažai pagrįstų faktų, patikimų argumentų.

Diskusija Lietuvoje labai dažnai būna suprimityvinama – jei esi kurioje nors pusėje, svarbiausia skelbti, kad tie kiti yra tiesiog papirkti, jais manipuluojama, o dėl argumentų nėra ko sukti galvos, nes dėl to, esą, nesutaria patys mokslininkai, o patikrintus duomenis galima vertinti ir vienaip, ir kitaip.

Lietuvoje taip pat galima girdėti nuomonių, kad Lietuva yra maža valstybė, todėl santykinai mažai teršia ir mažai gali prisidėti prie kovos su klimato kaita, nes tai yra „didžiųjų“ reikalas, kadangi jie lemia didžiausią taršą ir jie patys turi su ja susitvarkyti. Toks požiūris taip pat yra paremtas emocijomis, o ne racionaliu problemų ir galimybių suvokimu.

Klausimas jau senokai persikėlė ir į politinę darbotvarkę. Ypač reikalai paaštrėjo JAV prezidentu tapus D. Trampui (Donald Trump), kuris nuo pat pradžių deklaravo tik Amerikos interesų prioritetą ir mažesnę dėmesį globaliems iššūkiams. Lietuvoje dešinėje pusėje imama apibendrinti, kad jei tuo klausimu pernelyg nesidomi, ar nelabai tiki, nes yra skirtingų nuomonių, tai tarsi esi nešališkas konservatorius, dešinysis, o jei suvoki atšilimo pavojus, apie tai viešai kalbi ir bandai kažką daryti, tai esi kažkoks nelabai susipratęs ir nelabai aiškus *leftistas*.

Taigi, tariamai, dešiniųjų pažiūrų žmogus mažų mažiausia neturėtų būti klimato kaitos šalininkų pusėje ir turėtų išlaikyti atsargų neutralumą, kol dalykai galutinai nėra paaiškėję. Bėda ta, kad šis požiūris Lietuvoje iki šiol yra labiau tikėjimo ir jausmų nei argumentų plotmėje, todėl tikėtis greito vienareikšmio nuskaidrėjimo nėra jokio pagrindo.

” Surasti racionalius, ne emocinius atsakymus teks patiems, o kad tai padaryti būtų lengviau, teks grįžti prie racionalių, mokslškai pagrįstų argumentų

Todėl akivaizdu, kad klimato kaitos klausimui pasaulyje vis aštrėjant, surasti racionalius, ne emocinius atsakymus teks patiems, o kad tai padaryti būtų lengviau, teks grįžti prie racionalių, mokslškai pagrįstų argumentų. Tai padės susidaryti nuomonę pačiam, nepriklausomai nuo naujausios informacijos, kiek kokių „mokslininkų“ pasirašė vieną ar kitą pusę palaikančią peticiją. Tokių racionalių, mokslškai pagrįstų pagrindinių argumentų aptarimui ir yra skirta ši apžvalga.

Nors plačiau pagrindiniai argumentai bus aptarti apžvalgos tekste, šioje įžangoje verta juos išvardinti.

ARGUMENTAI IR TEIGINIAI, KURIAIS REMIAMASI, PRITARIANT, KAD KLIMATAS KEIČIASI DĖL ŽMOGAUS VEIKLOS

- vidutinė oro temperatūra nuo 1850-ųjų metų pasaulyje padidėjo beveik 1 Celsijaus laipsniu;
- nėra žinoma jokių mokslškai įrodytų natūralių (ne dėl žmogaus veiklos) priežasčių šiam itin sparčiai vykstančiam vidutinės temperatūros kilimui paaiškinti;
- Žemės atmosferoje yra palyginus nedideli kiekiai vadinamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų, dėl kurių oro temperatūra yra aukštesnė nei turėtų būti, jeigu ją lemtų vien saulės spinduliavimas;
- iš visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų didžiausią indėlį į Žemės klimato šiltėjimą įneša anglies dvideginis (CO₂), kurio kiekis atmosferoje žymiai padidėjo lyginant su priešindustriniu laikotarpiu;
- anglies dvideginio kiekis atmosferoje didėja dėl žmogaus veiklos, todėl būtent žmonija yra atsakinga dėl klimato šiltėjimo Žemėje. Yra nustatyta, kad 1700 metais anglies dvideginio koncentracija atmosferoje siekė 225 ppm (anglies dvideginio dalelių kiekis milijone oro dalelių), po dviejų su puse šimto metų – 1950-aisiais – siekė 320 ppm, dabar, dar po 70-ies metų, ši koncentracija siekia jau 411 ppm.
- kiekvienais metais dėl antropogeninės veiklos į atmosferą yra išmetama apie 40 gigatonų (milijardų tonų) anglies dvideginio išlakų. Iš jų apie 20 mlrd. tonų beveik lygiomis dalimis yra sugeriamos vandenynuose ir sausumoje, tačiau likusios beveik 20 mlrd. tonų kiekvienais metais papildomai kaupiasi atmosferoje.

Nepritariantieji tezei, kad klimatas keičiasi ar kad jis keičiasi dėl žmogaus veiklos, vieno aiškaus argumento, kuriuo grįstų savo netikėjimą, nepateikia. Jie, pavyzdžiui, tiesiogiai neneigia mokslškai pagrįsto fakto, kad vidutinė temperatūra kyla. Tačiau nekalbėdami apie šį faktą, bando

įnešti abejonių pačiu klimato kaitos reiškiniu, naudodamiesi praktiniais teiginiais, kad vienoje ar kitoje vietovėje kažkuriuo momentu temperatūra yra žemesnė nei įprasta. Iš to bandoma daryti bendrą išvadą, kad jokio globalaus atšilimo nėra ar bent jau sakyti, kad yra skirtingų nuomonių šiuo klausimu.

Kitas neigiančiųjų ne patį atšilimą, bet žmonijos įtaką teiginys yra tai, kad šis atšilimas tariamai yra natūralių gamtos ciklų sukeltas reiškinys. Juk klimatas Žemėje visą laiką keitėsi, buvo šiltesni, šaltesni laikotarpiai, buvo ledynmečiai arba laikotarpiai, kai net Grenlandija buvo žalia. Remdamiesi šiais natūraliais klimato pokyčiais dalis politikų, interesų grupių ir netgi mokslininkų laikosi požiūrio, kad ir šiandieninis atšilimas vyksta tik dėl natūralių priežasčių.

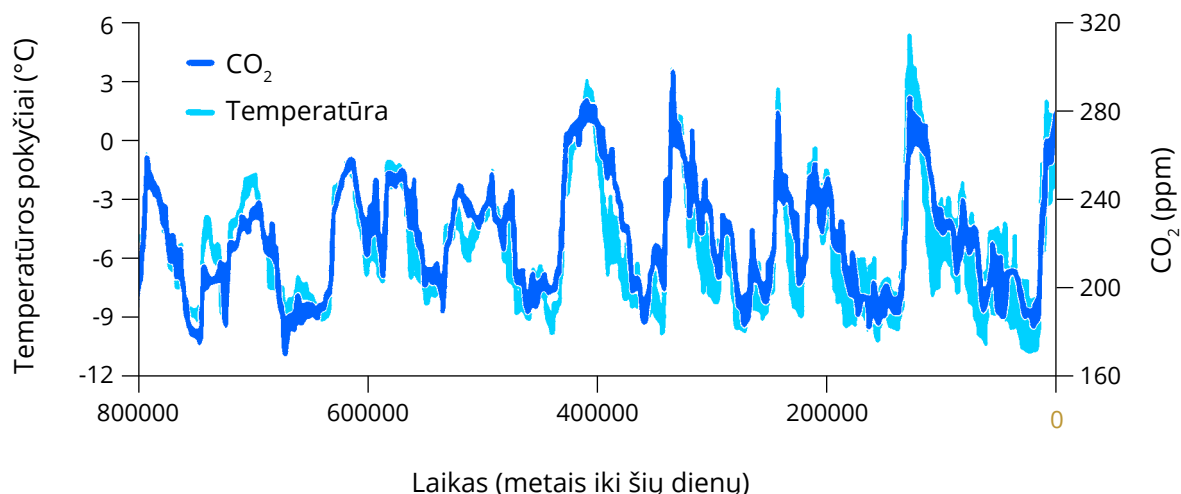
Išties, klimatas per tūkstantmečius neabejotinai kito. Atmosferos temperatūra mažėja dėl ugnikalnių išsiveržimų, meteoritų smūgių metu išmestų dulkių, įvairių cheminių junginių padidėjimo atmosferoje. Dėl natūralių gamtinių priežasčių pasaulyje nuolat kito anglies dvideginio kiekis, o tai darė įtaką temperatūros pokyčiams (1 iliustracija).

Bet nėra jokių moksliskai įrodytų priežasčių, jokių natūralių ciklų, kurių poveikiu būtų galima paaiškinti pastaruoju metu vykstantį itin spartų klimato šiltėjimą ir anglies dvideginio koncentracijos augimą. Kadangi natūralios klimato kaitos teorijos šalininkai negali nurodyti natūralių šiltėjimo priežasčių, tokio požiūrio negalima laikyti moksliskai pagrįstu.

Tada tenka pripažinti, kad vidutinės temperatūros kilimas ir įvairių šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos atmosferoje dėl žmonijos veiklos didėjimas yra susiję ir tai reiškia, kad pati žmonija turi prisiimti atsakomybę už savo veiklos pasekmes.

Kai reikalai ima prastėti, konservatizmas nėra tai, kuo būtų galima teisinti nenorą ieškoti pokyčių priežasčių ar abejingą neveiklumą pavojaus akivaizdoje.

Konservatoriai ypač pabrėžia visuomenės saugumo vertybę, todėl ir dėl klimato kaitos kylančios akivaizdžios grėsmės dešiniųjų pažiūrų žmonių neturėtų būti atmetamos. Pokyčiai turi priežastis ir, jei jos siejamos su mūsų pačių elgesiu, ankstesnių įpročių neturėtume įsikibę laikytis.



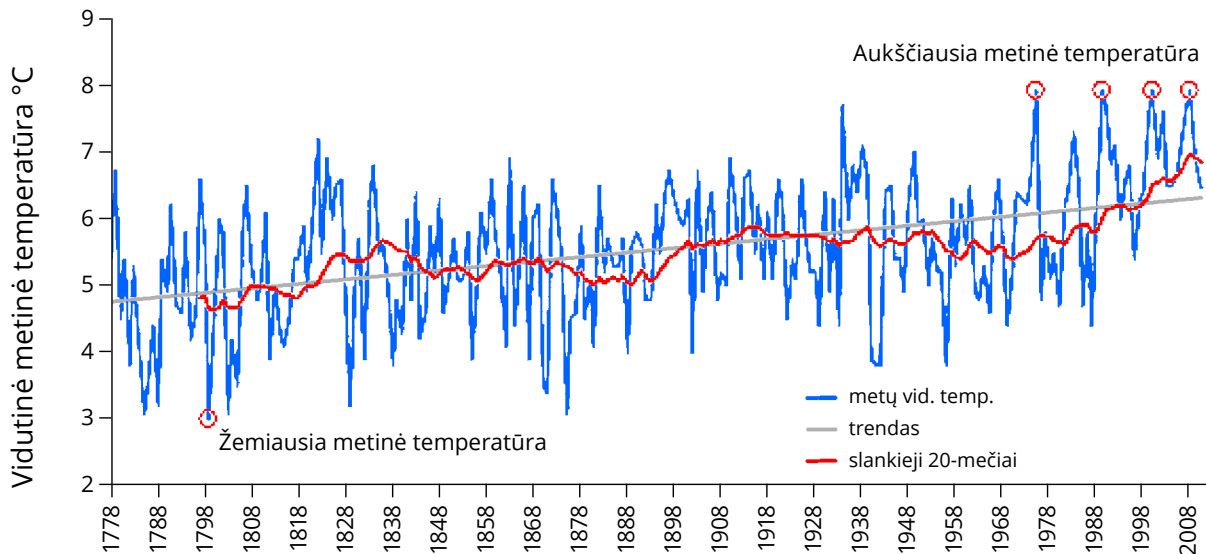
1 iliustracija. Temperatūros ir anglies dioksido koncentracijos pokyčiai.

Temperatūros pokyčiai (šviesiai mėlyna spalva) atitinka anglies dioksido koncentracijos pokyčius (tamsiai mėlyna spalva). Pagal duomenis iš Antarktidos EPICA Dome C gręžinio gautų ledo kernų tyrimų (Jouzel ir kt., 2007; Lüthi ir kt., 2008).

II. Kas yra klimato kaita ir kas ją lemia?

Žmonijos veiklos sukelta klimato kaita apibrėžiama kaip nuo pramoninės revoliucijos pradžios stebimas spartėjantis atmosferos vidutinės temperatūros kilimas, jo sukeliama klimato pokyčiai bei tų pokyčių įtaka pasaulio augmenijai, gyvūnijai, žmonijai.

Remiantis Tarpvyriausybines klimato kaitos komisijos (IPCC – UN Intergovernmental Panel on Climate Change) ir Nacionalinės vandenynų ir atmosferos tyrimų administracijos (JAV) duomenimis, 1880–2016 metais globalioji oro temperatūra padidėjo 0,92 °C. Lietuvoje vidutinė metinė temperatūra, lyginant su XX a. pradžia, pakilo 0,7–0,9 °C (2 iliustracija).

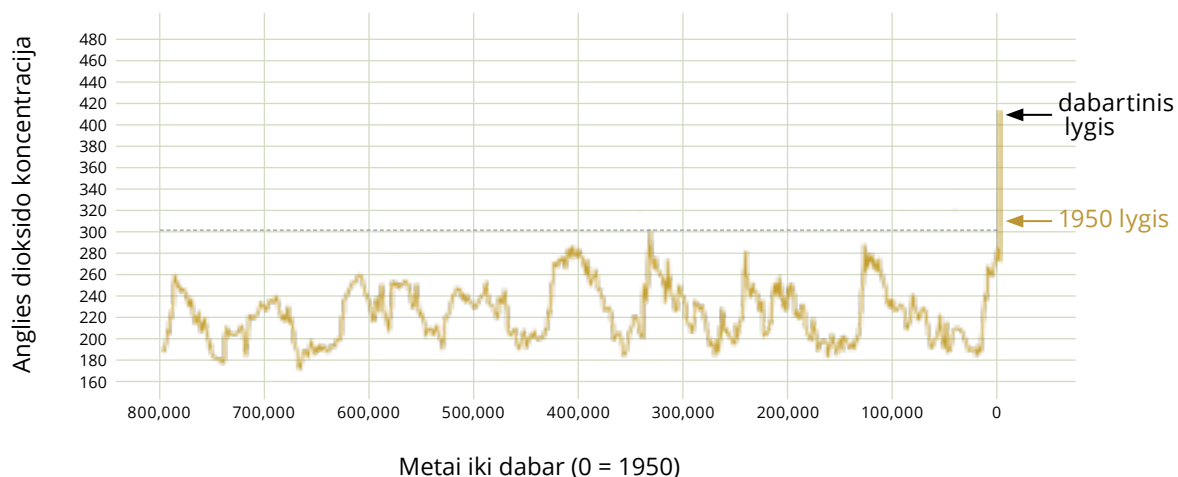


2 iliustracija. Vidutinės metinės temperatūros kaita Vilniuje 1778–2008 m. (ilustracijos šaltinis: LHMT).

Būtina pažymėti, kad istorijos eigoje Žemės klimatas nuolat kito dėl natūralių priežasčių: planetos orbitos parametru kaita, atmosferos sudėties pokyčiai, tektoninių plokščių dreifas, Saulės aktyvumo ciklai, ugnikalnių išsiveržimas. Yra žinoma, kad per pastarąjį milijoną metų žemė patyrė apie dešimt ledynmečių ir po jų sekusių atšilimų. Paskutinis mažasis atšalimas Europoje buvo stebėtas ankstyvaisiais viduramžiais, bet jis nėra susijęs su šiltnamio efektu ir buvo vietinio pobūdžio.

„Pastaruosius du šimtus metų vykstančio klimato šiltėjimo jokie natūralūs ciklai paaiškinti negali

Tačiau, kaip jau anksčiau minėta, pastaruosius du šimtus metų vykstančio klimato šiltėjimo jokie natūralūs ciklai paaiškinti negali (3 iliustracija). Kadangi jokių moksliskai pagrįstų natūralių veiksnių nėra aptinkama, šiuos klimato pokyčius galima paaiškinti tik žmonių veikla bei mokslo bendruomenėje visuotinai pripažintu šiltnamio efekto poveikiu, kurį sukelia kai kurios dujos ir Žemės atmosferoje nuolat didėjantis šių dujų kiekis.



3 iliustracija. Anglies dioksido koncentracija atmosferoje.

Šiuo metu ji yra aukščiausia per 800 tūkst. metų. Per pastaruosius 800 tūkst. metų (iki XVIII amžiaus vidurio) anglies dvideginio koncentracija svyravo nuo 180 ppm ledynmečiais iki 300 ppm tarpledynmečiais ir tik pastaraisiais metais išaugo gerokai daugiau. (ilustracijos šaltinis: NASA)

SU KLIMATO KAITA SUSIJĘ POKYČIAI

Vykstant klimato kaitai vienas svarbiausių pokyčių yra vidutinės oro temperatūros didėjimas. Didėjant vidutinei oro temperatūrai stebima, kad didėja atskirų vietovių vidutinė maksimali temperatūra šiltuoju laikotarpiu, o žiemos metu mažėja vidutinė minimali temperatūra. Pažymėtina, kad didėjant vidutinei temperatūrai, didėja temperatūros ekstremumai – ne tik maksimalios temperatūros vasarą, bet ir atskirose vietovėse pasitaikančių šalčio bangos ir minimalios temperatūros žiemą.

Stebimos ir kitos klimato kaitos pasekmės: spartus vandenyno lygio kilimas, vegetacijos kaita, sausrų intensyvėjimas, kritulių kiekio pasikeitimas, dažnesni upių potvyniai. Taip pat fiksuojama daugiau ekstremalių reiškinių – tropinių ciklonų, viesulų, liūčių, speigų, karščio bangų ir t. t.

Ekstremalūs meteorologiniai ir hidrologiniai reiškiniai tampa dažnesni, ir tai siejama su klimato kaitos procesais. Tačiau labiau pastebimas ne tiek šių ekstremalių reiškinių dažnėjimas, o jų intensyvumo augimas.

III. Atmosferinis šiltnamio efektas

Jau XIX a. šeštajame dešimtmetyje pirmą kartą buvo pastebėta, kad kai kurios dujos, esančios atmosferoje, sugeria nuo Žemės paviršiaus sklindančią šilumą. John'as Tyndall'as Anglijoje ir Eunice'as Foote'as JAV ištyrė, jog azotas ir deguonis, kartu sudarantys 99 proc. atmosferos, iš esmės Žemės temperatūrai neturi jokios įtakos, nes nesugeria šilumos.

Minėti mokslininkai taip pat nustatė, kad kai kurios dujos, kurių koncentracija Žemės atmosferoje yra daug mažesnė nei azoto ar deguonies, t. y., anglies dvideginis, vandens garai, ozonas ir metanas, sulaiko Žemės šilumą ir sukuria natūralų šiltnamio efektą, dėl kurio planetoje atsirado gyvybei palankios sąlygos. Jos ir vadinamos šiltnamio dujomis.

Gamtinės kilmės šiltnamio dujos yra vandens garai, anglies dvideginis, azoto suboksidas, metanas, ozonas. Dėl žmogaus veiklos didėja visų šių dujų kiekiai, išskyrus ozoną, be to atmosferoje atsirado naujų šiltnamio dujų, daugiausia sudarytų fluoridų pagrindu.

Mokslininkai jau XIX amžiaus viduryje suskaičiavo, kad Žemė yra maždaug 33 Celsijaus laipsniais šiltesnė, nei turėtų būti pagal jos paviršių pasiekiančių saulės spindulių kiekį (Ma Q., 1998). Jei šių šiltnamio efektą sukeliančių dujų nebūtų, vidutinė visos Žemės paviršiaus temperatūra būtų apie $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$, vietoje dabar esančių apie $14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ji taip pat gerokai greičiau ir žemiau kristų naktį.

Geriausiai šį temperatūrų neatitikimą paaiškino teorija, jog atmosfera sulaiko Žemės spinduliuojamą šilumą ir taip šildo planetą. Žemė nuolat gauna energijos iš Saulės ir spinduliuoja ją atgal į kosminę erdvę. Saulė energiją skleidžia trumpųjų bangų spinduliuotėmis, daugiausia ultravioletinės ir regimosios šviesos bangomis. Žemė yra daug vėsesnė, todėl šilumą skleidžia infraraudonųjų spindulių, kurių bangos yra ilgesnės, pavidalu.

Žemės atmosfera praleidžia didžiąją dalį iš Saulės gaunamų trumpųjų bangų spinduliuotės. Atmosferą sudarančios dujos jų nesugeria.

Tačiau anglies dioksido ir kitų šilumą sugeriančių dujų molekulinė struktūra leidžia absorbuoti nuo Žemės sklindančią šiluminę infraraudonąją spinduliuotę. Deguonis ir azotas Žemės infraraudonosios spinduliuotės nesugeria.

Todėl Žemės spinduliuojamą šiluminę infraraudonąją spinduliuotę atmosferoje sugeria šilumą sulaikančios dujos. Šią šilumą jos gali arba išleisti į kosmosą, arba sugrąžinti atgal į Žemę. Dalis jos grįžta į planetos paviršių, todėl jis ir šiltėja daugiau nei jį sušildo vien tik Saulės spinduliuotė.

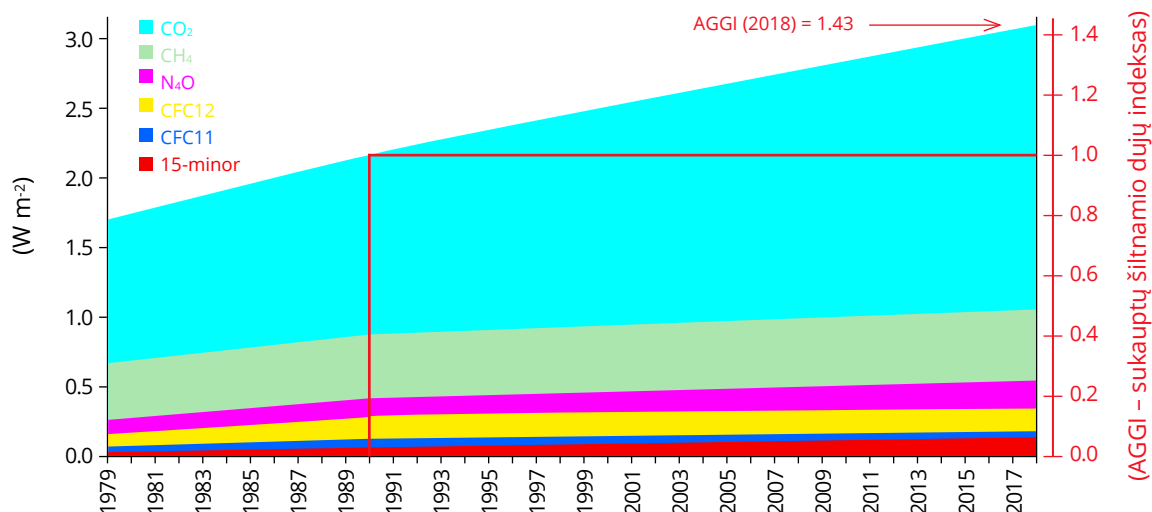
Medžiaga	Formulė	Medžiagos koncentracija atmosferoje (ppm)	Medžiagos indėlis į šiltnamio efektą (proc.)	Medžiagos indėlis į klimato kaitą (proc.)
Vandens garai ir debesys	H ₂ O	10–50,000(1)	36–72	0
Ozonas	O ₃	2–8(2)	3–7	0
Anglies dvideginis	CO ₂	412	21–61	66
Metanas	CH ₄	1860		16
Azoto suboksidas	N ₂ O	0,33		7
CFC12	CCl ₂ F ₂	0,00022		5,5
CFC11	CFCI ₃	0,0005		2
Kitos				3,5

(1) Garų kiekis atskirose vietovėse labai skirtingas.
 (2) Koncentracija stratosferoje. 90 proc. ozono, esančio Žemės atmosferoje yra sutelktas stratosferoje.

1 lentelė. Svarbiausių šiltnamio dujų indėlis į šiltnamio efektą ir klimato kaitą
 (paruošta autorių, remiantis duomenimis iš NOAA).

” Nors klimato kaitą lemiančios šiltnamio dujos atmosferoje vidutiniškai nesudaro nė 0,05 nuošimčio, jos daro milžinišką įtaką vidutinei oro temperatūrai, o jų procentinės sudėties kitimas – poveikį klimato kaitai

Taigi nors klimato kaitą lemiančios šiltnamio dujos atmosferoje vidutiniškai nesudaro nė 0,05 nuošimčio, jos daro milžinišką įtaką vidutinei oro temperatūrai, o jų procentinės sudėties kitimas – poveikį klimato kaitai (1 lentelė, 4 iliustracija). Tuo tarpu vandens garų ir ozono kiekiai atmosferoje nekinta, ir šios dujos klimato kaitai įtakos neturi.



4 iliustracija. Atskirų šiltnamio dujų dalis šiltnamio dujų indekse.

Šis indeksas atspindi šiltnamio efekto poveikį klimato šiltėjimui (CO_2 – anglies dvideginis; CH_4 – metanas; N_2O – azoto suboksidas; CFC_{12} – freonas 12; CFC_{11} – freonas 11). (ilustracijos šaltinis: NOAA).

Vandens garai

Tai pagrindinės „šiltnamio“ dujos, kurios susidaro vykstant natūraliam garavimo procesui. Vidutiniškai atmosferoje jų yra apie 0,25 nuošimčio. Atmosferoje vandens garai priklauso uždaram ciklui, kuriame cirkuliuoja ribotas žemėje esantis vandens kiekis: iš vandenynų ir Žemės kyla į atmosferą ir krenta atgal į žemę dėl garavimo, transpiracijos, kondensacijos ir kritulių.

Dykumose naktį dažnai būna šalčiau nei miškuose, net jei jų vidutinė paros temperatūra yra tokia pati. Atmosferoje virš dykumų nėra daug vandens garų, todėl Žemės skleidžiama spinduliuotė lengvai patenka į kosmosą.

Drėgnesnėse vietose Žemės paviršiaus šiluminę spinduliuotę sulaiko ore esantys vandens garai. Todėl debesuota naktis paprastai būna šiltesnė nei giedra, nes atmosferoje yra daugiau Žemės spinduliuojamą šilumą atspindinčių vandens garų.

Dėl žmogaus veiklos vandens garų atmosferoje nedaugėja. Tačiau šiltesnis oras gali išlaikyti daug daugiau drėgmės, taigi kylanti oro temperatūra didina vandens garų kiekį atmosferoje, o tai spartina atšilimą.

Lemiamas anglies dvideginio vaidmuo klimato šiltėjimui

Anglies dvideginis (CO_2) laikomas didžiausią įtaką klimato kaitai turinčiomis šiltnamio dujomis. Nustatyta, kad jų indėlis į klimato šiltėjimą sudaro apie 66 nuošimčius (NOAA).

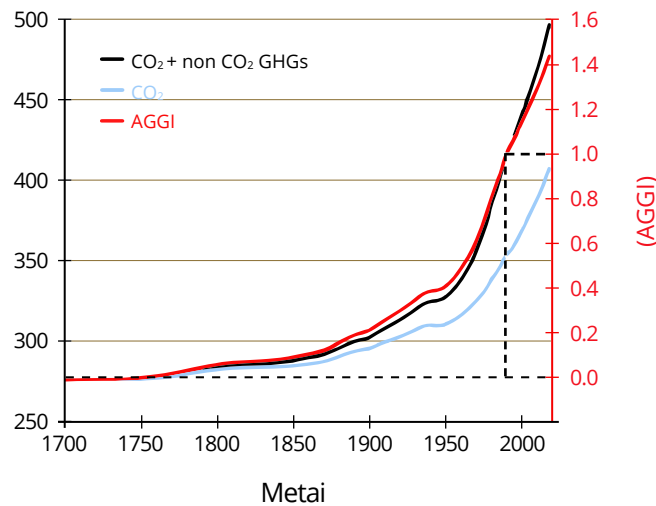
Dažnai kyla klausimas, kodėl jos taip stipriai veikia klimata, nors jų koncentracija yra itin maža – Žemės atmosferoje 2019 metų lapkričio mėnesį tebuvo vos 0,0412 nuošimčio. Gali kilti ir dar vienas klausimas – kodėl anglies dvideginis toks svarbus klimato kaitai, kai vandens garų yra daugiau ir jie sugeria daugiau infraraudonosios spinduliuotės?

Mokslininkų vertinimu (West J., 2019), taip yra todėl, kad vidutinis vandens kiekis atmosferoje kinta labai nežymiai. Natūraliam šiltnamio efektui svarbesni yra vandens garai, bet būtent didesni anglies dioksido kiekio pokyčiai lėmė ir temperatūros pokyčius.

Kad anglies dvideginis daro įtaką mūsų klimatui, nesunku pastebėti ir iš pastarųjų klimato pokyčių. Milijonų metų senumo ledo šerdys parodė, kad šiltuoju metų laiku anglies dvideginio koncentracija jose buvo aukšta – apie 0,028 proc.

Ledynmečiu, kai Žemė buvo maždaug 4–7 laipsniais šaltesnė nei praėjusiame amžiuje, anglies dvideginis atmosferoje buvo vos apie 0,018 proc. Maži pokyčiai kuria didelį efektą.

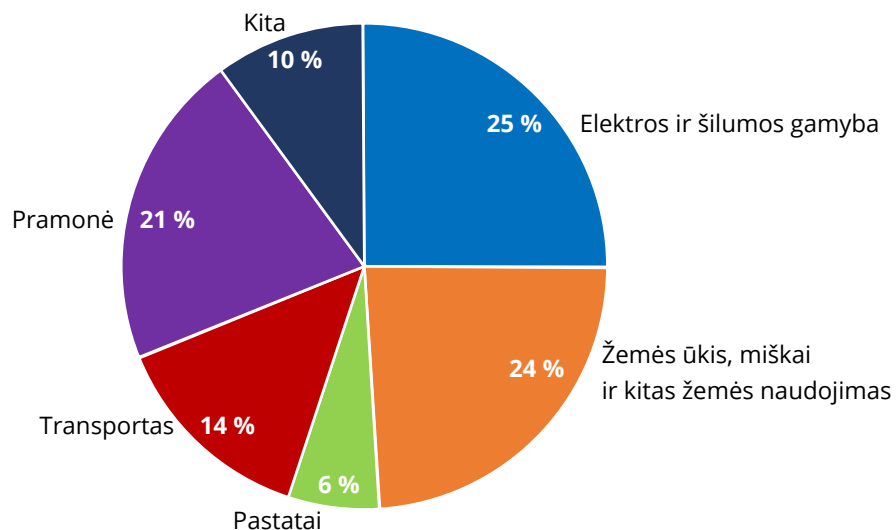
Šiandien anglies dvideginio kiekio pokyčiai yra ypač dideli – tokios didelės jo koncentracijos ore žmonijos istorijoje nėra buvę (5 iliustracija).



5 iliustracija. Anglies dvideginio koncentracijos atmosferoje kitimas nuo priešindustrinės epochos pradžios

AGGI (sukauptų šiltnamio dujų indeksas) – NOAA kasmetinis šiltnamio dujų indeksas. Jis atspindi šiltnamio efektą sukeliančių dujų tiesioginio poveikio klimato šiltėjimui pokytį nuo 1750 metų. (ilustracijos šaltinis: NOAA).

Jei nebus bandoma mažinti anglies dioksido išmetimų, iki 2100 metų jo atmosferoje gali atsirasti net 0,1 proc., t. y. daugiau nei trečdaliu didesnis kiekis nei buvo prieš pramonės revoliuciją. Tada ir numatomi klimato pokyčiai būtų dar spartesni nei permainos praeityje.



6 iliustracija. Šiltnamio dujų išmetimai pasaulyje pagal atskiras veiklos sritis 2010 m. (duomenų šaltinis: USEPA).

Didžiausias anglies dvideginio taršos šaltinis yra iškastinio kuro deginimas. Be anglių, naftos, gamtinių dujų deginimo neišsiverčia elektros energijos gamyba, transportas, pramonė (6 iliustracija). Nemažai anglies dvideginio (iki 5 proc.) išskiria ir tradicinė cemento gamyba, kurios pagrindas yra iškastinių klinčių (kalcio karbonato) deginimas, kurio metu atpalaiduojama ir gausiai į atmosferą išmetama klinčių sudėtyje esanti anglis (Andrew R.M., 2018).

Metanas

Išsivysčiusiose pramonės šalyse metanas (CH_4) sudaro apie 16 proc. šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos. Metanas susidaro daugiausia iš bakterijų, mintančių organinėmis medžiagomis, kai trūksta deguonies. Todėl jo išsiskiria iš įvairių natūralių ir žmogaus sukurtų šaltinių. Natūralūs šaltiniai – pelkės, vandenynai, o žmogaus sukurtieji – iškastinių dujų kasimas ir deginimas, gyvulininkystė (galvijai minta augalais, šie jų skrandžiuose fermentuojasi, todėl galvijai iškvepia metaną, taip pat metano yra ir jų mėšle), ryžių auginimas (drėgnuose ryžių laukuose metanas gaminasi pūvant organinėms medžiagoms, kai dirvoje trūksta deguonies) ir užkastos atliekos (pūvant organinėms medžiagoms, kai trūksta deguonies).

Metano įnašas į šiltnamio efektą yra 21 kartą didesnis nei anglies dvideginio, tačiau jo trumpesnis egzistavimo ciklas: 10–15 metų. Daugiausia metano išskiria atliekos irdamos sąvartynuose, gyvulininkystė, anglies kasyba, gamtinių dujų ir naftos gavyba.

Azoto suboksidas

Azoto suboksidas (N_2O) Natūraliai išsiskiria iš vandenynų, atogrąžų miškų ir bakterijų, gyvenančių dirvoje. Su žmogaus veikla siejami šaltiniai – tai įvairios azoto turinčios trąšos (iki 70 proc. N_2O išlakų), iškastinių dujų deginimas ir pramoninė chemijos gamyba, kurioje naudojamas azotas, pvz., nutekamųjų vamzdžių valikliai.

Pramoninėse šalyse azoto suboksidas sudaro apie 6–7 proc. šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų kiekio. N_2O šilumą sugeria 310 kartų stipriau nei anglies dvideginis. Nuo pramoninės revoliucijos pradžios azoto suboksido koncentracija atmosferoje padidėjo 16 proc. ir maždaug 4–6 proc. prisidėjo prie šiltnamio efekto padidėjimo.

Fluoruotos dujos

Prie klimato kaitos taip pat prisideda ir fluoruotos šiltnamio efektą sukeliančios dujos, kurios vienintelės atsiranda ne natūraliu būdu, o tik dėl žmogaus pramoninės veiklos. Pramoninėse šalyse jos sudaro apie 11–12 proc. šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, tačiau jų poveikis yra labai stiprus, nes šilumą jos sulaiko net iki 22 000 kartų efektyviau negu anglies dvideginis, o atmosferoje gali išbūti tūkstančius metų.

FLUORUOTŲ ŠILTNAMIO EFEKTĄ SUKELIANČIŲ DUJŲ KLASIFIKACIJA

HFC – Hidrofluorangliavandeniliai – naudojami šaldiklių ir oro kondicionierių gamyboje;

PFC – perfluorangliavandeniliai – išsiskiriantys gaminant aliuminį ir taip pat naudojami elektronikos pramonėje;

SF₆ – sieros heksafluoridas – naudojamas, pvz., elektronikos pramonėje ir pan.

Ozonas

Ozono (O₃) vaidmuo atmosferos temperatūros procesuose kiek skiriasi nuo anksčiau aprašytų šiltnamio dujų. Tai aukštai atmosferoje esančios dujos, kurios sugeria gamtai kenksmingus ultravioletinius saulės spindulius.

Ozonas susidaro viršutiniuose atmosferos sluoksniuose, didelės energijos saulės ultravioletiniams spinduliams veikiant azoto ir deguonies molekules.

Tai ypač svarbios Žemės atmosferos dujos, nors sudaro tik milijoninę jos dalį. Jos sugeria apie 4 nuošimčius į žemę patenkančios saulės spinduliuotės, daugiausia žemesnės energijos ultravioletinius spindulius. Ozonas taip pat sugeria nuo Žemės bei žemiau esančios atmosferos sklindančią ilgesnių bangų spinduliuotę ir tokiu būdu veikia kaip šiltnamio dujos.

Kadangi šios dujos susidaro natūraliai ir jų kiekis nekinta, jos neturi įtakos klimato kaitai. Tačiau jos yra svarbios temperatūros pokyčiams atskirose vietovėse, jei virš jų esantis ozono sluoksnis suplonėja ar sustorėja. Todėl ir viduramžiais stebėtas vadinamasis mažasis ledynmetis Europoje gali būti siejamas su ozono sluoksnio pokyčiais šiame regione.

Juodoji anglis

Dar vienas šiuo metu žinomas klimato kaitos veiksnys yra vadinamoji juodoji anglis. Tai smulkios iki galo nesudegusių angliavandenilių, suodžių dalelės ($\leq 2,5 \mu\text{m}$). Jos susidaro degant iškastiniam kurui, biokurui ir biomasei, biodegalams ir yra išmetamos į atmosferą tiek dėl natūralių procesų, tiek dėl žmogaus veiklos.

JUODOJI ANGLIS KAIP KLIMATO KAITĄ SUKELIANTIS VEIKSNYS

Šalia to, kad juodoji anglis jau kurį laiką laikoma svarbiu veiksniu, prisidedančiu prie ankstyvesnių mirčių, ji yra ir klimato kaitą sukeliantis veiksnys. Juodoji anglis šildo planetą sugerdama saulės spinduliuotę, sumažindama galimą atspindį nuo sniego, ledo, debesų ir tuo pačiu šildydama aplinkinį orą. Ji turi įtakos debesų susidarymui, vadinasi ir debesuotumui, kritulių kiekiui. Tokiu būdu, tyrimų duomenimis, juodoji anglis efektyvią saulės radiaciją, sugeriamą Žemės artimoje aplinkoje, šiandien padidina 1,1 W/m². (apie 0,1 proc. nuo Žemę iš Saulės pasiekiančios spinduliuotės). (Ramanathan V. ir Carmichael G., 2008; Hansen J. ir kt., 2005.)

” Juodosios anglies įtaka klimato šiltėjimui yra pastebima ir sudaro beveik pusę anglies dvideginio indėlio bei yra tokia pat kaip kitų šiltnamio dujų kartu sudėjus

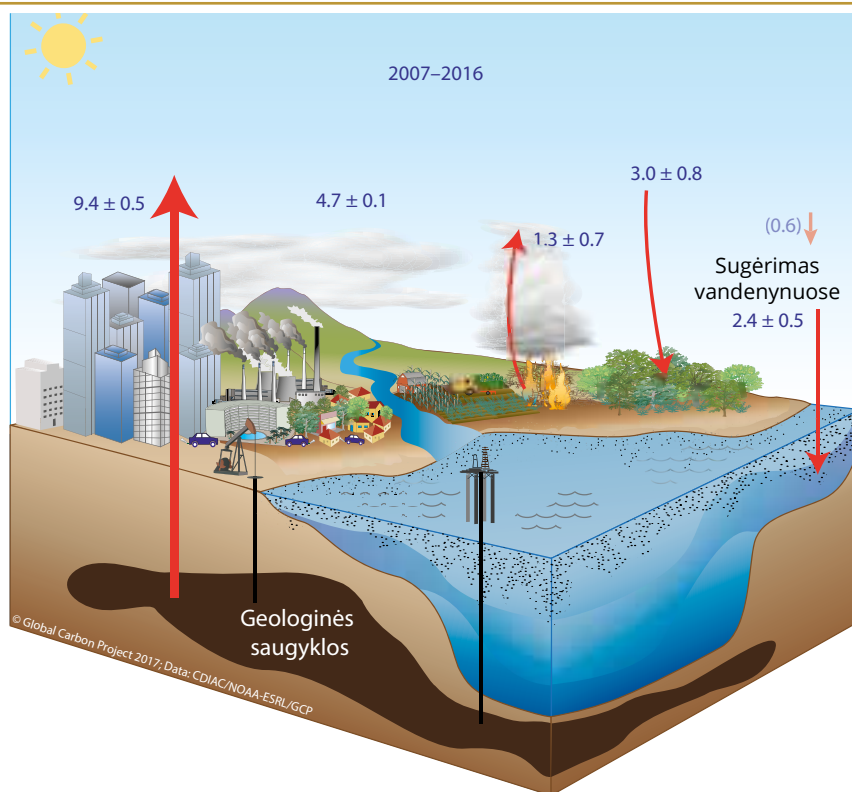
Juodoji anglis atmosferoje teužsilaiko tik kelias dienas ar savaites, kai anglies dvideginis užsibūna daugiau nei 100 metų. Pastaraisiais metais atliktos studijos rodo, kad juodosios anglies įtaka klimato šiltėjimui yra pastebima ir sudaro beveik pusę anglies dvideginio indėlio bei yra tokia pat kaip kitų šiltnamio dujų kartu sudėjus. Todėl juodosios anglies išlakų mažinimas gali būti palyginus greitai įgyvendinamas būdas mažinantis klimato šiltėjimą.

Daugiausia juodosios anglies išmetama dėl įvairių gaisrų, dyzelinių variklių išmetamų dujų taip pat dėl biokuro deginimo krosnyse.

IV. Anglies ciklas ir technologinės galimybės įtakoti anglies dvideginio kiekį atmosferoje

Kaip jau anksčiau minėta, iš visų šiltnamio dujų didžiausią įtaką klimato šiltėjimui sudaro anglies dvideginio koncentracijos atmosferoje didėjimas. Dėl to būtent šios dujos susilaukia daugiausia dėmesio, kai kalbama apie priemones, skirtas klimato kaitai stabdyti.

Anglies apytakos ciklą sudaro įvairūs procesai, kuriais anglis juda Žemės biosferoje, geosferoje, hidrosferoje ir atmosferoje (7 iliustracija).



7 iliustracija. Pasaulinis anglies dvideginio ciklas („biudžetas“) 2007–2016 metais (gigatonomis per metus, 1 gigatona = 1 mlrd. tonų) (ilustracijos šaltinis: Le Quéré, et.al 2018).

ANGLIES KIEKIS IR PAGRINDINĖS TALPYKLOS

Anglis kaupiama keturiuose svarbiausiose talpyklose, kuriose ji būna surišta įvairiuose junginiuose:

- atmosfera – santykinai maža dalis visos planetos anglies (830 mlrd. tonų), kuri čia būna šiltnamio efektą sukeliančių dujų – anglies dvideginio dujų pavidalu (būtina atkreipti dėmesį į tai, kad tarptautinėje akademineje literatūroje, susijusiose su klimato kaita, yra pateikiami duomenys arba apie anglies kiekį arba apie anglies dvideginio kiekį -viena tona anglies yra lygi 3,67 tonų CO₂);
- sausumos biosfera, prie kurios taip pat paprastai priskiriamos gėlo vandens sistemos bei negyvosios organinės medžiagos, dirvožemyje (1 600 mlrd. tonų), augalijoje (600 mlrd. tonų) esantys anglies junginiai;
- vandenynai, įskaitant ištirpusį anglies dvideginį, kuris čia būna angliarūgštės pavidalu, neorganinius anglies junginius bei gyvąją ar negyvąją biotą (apie 40 000 mlrd. tonų);
- nuosėdos, įskaitant angliavandenilius, kurie naudojami kaip iškastinis kuras (4 000 mlrd. tonų).

Kasmet į atmosfera patenka apie 40 milijardų tonų anglies dvideginio, daugiausia dėl iškastinio kuro deginimo. Nemaži kiekiai anglies dvideginio išskiriami ir cemento gamyboje (apie 5 nuošimčiai kasmetinių išmetimų) gamybos proceso metu kaitinant klintis.

Ore esantį anglies dvideginį augalai naudoja fotosintezės reakcijoms atlikti, kurių metu į aplinką išskiria deguonį, o anglį naudoja kaip statybinę medžiagą. Tokiu būdu anglis surišama į organinius junginius medžių lapuose, žolėse, medienoje, dumbliuose, jūržolėse. Iš 40 mlrd. tonų anglies dvideginio, kuris kiekvienais metais dėl žmogaus veiklos patenka į atmosferą, apie 20 mlrd. tonų anglies dvideginio beveik lygiomis dalimis yra sugerama vandenynuose ir sausumoje, tačiau likusios beveik 20 mlrd. tonų anglies dvideginio kiekvienais metais papildomai kaupiasi atmosferoje.

Pasibaigus augalo vegetacijai, tolesnis anglies likimas labai priklauso nuo to, kokioje aplinkoje jis augo. Sausumoje jis arba supūva dėl bakterijų veiklos, tada anglis oksiduojasi ir kaip anglies dvideginis per kelerius metus grįžta į atmosferą, arba, jei aplinkoje trūksta deguonies, tampa dirvožemiu, durpėmis, o santykinai nedidelė dalis, susidarius ypatingoms sąlygoms – ir anglies klodais.

Verta atkreipti dėmesį, kad dėl natūralių anglies ciklo procesų, pasaulio pelkėse yra sukaupta 550 mlrd. tonų anglies. Čia jos yra dvigubai daugiau nei miškuose ir trigubai daugiau nei atmosferoje. Durpynai užima apie 4 mln. kv. km plotą, arba 3 proc. pasaulio sausumos. Lietuvos durpynai šiuo metu užima apie 10 proc. šalies teritorijos.

” Kovai su klimato atšilimu turėtų būti pasitelkiamos tiek anglies dvideginio išmetimus mažinančios priemonės, tiek ir jį iš atmosferos surenkančios bei į nelakius junginius surišančios ar Žemės gelmėse įkalinančios technologijos

Atsižvelgiant į anglies ciklo ypatumus, galima daryti išvadą, kad kovai su klimato atšilimu turėtų būti pasitelkiamos tiek anglies dvideginio išmetimus mažinančios priemonės, tiek ir jį iš atmosferos surenkančios bei į nelakius junginius surišančios ar Žemės gelmėse įkalinančios technologijos.

V. Pasaulio bendruomenės pastangos stabdyti klimato kaitą

Bendroji klimato kaitos konvencija

Pirmasis pasaulio valstybių susitarimas dėl klimato kaitos buvo patvirtintas 1992 m. Niujorke. Tai Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija. Ja siekiama stabdyti šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimą atmosferoje. Lietuva konvenciją ratifikavo 1995 metais.

Dauguma šalių, įskaitant visas Europos Sąjungos valstybes, savanoriškai prisiėmė teisiškai įpareigojančius tikslus iki 2020 metų apriboti savo išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį patvirtindamos susitarimą, vadinamą Kioto protokolu. Lietuva Kioto protokolą kartu su kitomis 153 valstybėmis pasirašė 1997 metais. Kaip ir kitos ES valstybės, Lietuva juo iki 2008–2012 metų įsipareigojo sumažinti išmetamų šiltnamio dujų kiekį 8 nuošimčiais lyginant su atraminiais 1992 metais.

2007 metais ES šalys prisiėmė papildomus įsipareigojimus. Siekiama iki 2020 metų 20 nuošimčių sumažinti ES valstybių išmetamų šiltnamio dujų kiekį, lyginant su 1990 metais, iki 20 nuošimčių padidinti ES suvartojamos energijos, pagamintos iš atsinaujinančių išteklių dalį bei 20 nuošimčių padidinti energijos vartojimo efektyvumą.

Tolesnis ES tikslas yra žymiai ambicingesnis – iki 2030 metų išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti 40 nuošimčių, o iki 2050 – net 80 nuošimčių (lyginant su 1990 m.). 2016 metais išmetamas šiltnamio dujų kiekis Europoje buvo sumažintas 23 nuošimčiais.

Paryžiaus susitarimas

2015 metų gruodį 195 valstybės Paryžiuje patvirtino pirmąjį pasaulyje privalomą susitarimą dėl kovos su klimato atšilimu. Jis įsigaliojo 2016 m. lapkričio 4 d., kai jį ratifikavo atitinkamas skaičius valstybių, išmetančių daugiau kaip 55 nuošimčius visų pasaulio šiltnamio dujų.

Susitarime numatytas veiksmų planas, kuris turėtų užtikrinti, kad per šį šimtmetį vidutinė pasaulio temperatūra nepakiltų daugiau kaip 2 laipsniais nei buvo prieš pramonės revoliuciją. Svarbiausios susitarimo dalys yra privalomos vykdyti. Tačiau jokių nuobaudų už pažadų nesilaikymą nėra numatyta. Susitarimą pasirašė 195 valstybės.

” Lietuva bendrai su Europos Sąjunga ir jos valstybėmis narėmis 2021–2030 metų laikotarpiu įsipareigojo mažiausiai 40 nuošimčių sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, palyginti su 1990 metais

Pagal Paryžiaus susitarimą Lietuva bendrai su Europos Sąjunga ir jos valstybėmis narėmis 2021–2030 metų laikotarpiu įsipareigojo mažiausiai 40 nuošimčių sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, palyginti su 1990 metais.

2018 metais paskelbta TKKK specialioji ataskaita dėl 1,5 °C globalinio atšilimo. Joje pabrėžiamos įvairios klimato kaitos pasekmės, kurių būtų galima išvengti ribojant globalinį atšilimą iki 1,5 °C, lyginant su 2 °C ar daugiau. Pavyzdžiui, iki 2100 m. pasaulinio jūros lygio kilimas būtų 10 cm žemesnis, jei globalinis atšilimas būtų sustabdytas iki 1,5 °C, lyginant su 2 °C. Koralinis rifas sumažėtų 70–90 proc., jei pasaulinis atšilimas siektų 1,5 °C, tačiau išnyktų beveik visiškai (> 99 proc.) 2 °C temperatūroje.

Pasaulinio atšilimo apribojimas žmonėms ir ekologinėms sistemoms taip pat suteiktų daugiau galimybių prisitaikyti ir likti žemiau atitinkamų rizikos ribų

Jei pasaulinė temperatūra laikinai viršys 1,5 °C, tai reikalaus didesnio indėlio iš metodų, kuriais iš atmosferos būtų šalinamas anglies dvideginis, siekiant iki 2100 metų atšilimą sumažinti iki 1,5 °C. Tokių metodų veiksmingumas kol kas nėra plačiai įrodytas ir kai kurie jų gali kelti didelę riziką tvariai plėtrai (žr. VII skyrių).

Paryžiaus Konferencijoje 2015 metais, kai buvo patvirtintas Susitarimas, išsivysčiusios šalys taip pat paskelbė savo prisiimtą įsipareigojimą laikotarpiu nuo 2020 metų iki 2025 metų kiekvienais metais sutelkti po 100 mlrd. JAV dolerių sumą, kuri būtų skiriama besivystančioms šalims tam, kad jos galėtų įgyvendinti kovos su klimato priemonės ir galėtų finansuoti prisitaikymo prie klimato kaitos priemones.

2019 metais Jungtinės Tautos gavo JAV vyriausybės pranešimą apie oficialų pasitraukimą iš Paryžiaus susitarimo. JAV pasitraukimas įsigalios praėjus vienerių metų terminui tik po 2020 metų lapkričio 3-iąją vykstančių prezidento rinkimų. Dabartinė JAV administracija nurodo, kad ir toliau bus naudojami įvairūs energijos šaltiniai, tarp kurių yra iškastinis kuras, kaip anglis ir nafta, o tarptautinėse derybose bus vadovaujama „realistiška ir pragmatiška pozicija“.

Europos Sąjungos Naujasis žaliasis kursas

2019 m. metų pabaigoje Europos komisija patvirtino strateginių veiksmų gaires, pavadintas Naujuoju žaliuoju kursu (*New Green Deal*, Europos Komisija, 2019). Jei pavyktų šią programą įgyvendinti, iki 2050 m. Europa taptų pasaulio lydere kovojant su klimato kaita ir pirmuoju pasaulyje neutralaus poveikio klimatui žemynu. Siekiant šio tikslo numatomas plataus užmojo priemonių rinkinys: nuo didelio masto išmetamųjų teršalų kiekio mažinimo, investicijomis į pažangiausias mokslinius tyrimus bei inovacijas pagrįstos žaliosios ekonomikos iki Europos gamtinės aplinkos išsaugojimo.

” Jei pavyktų šią programą įgyvendinti, iki 2050 m. Europa taptų pasaulio lydere kovojant su klimato kaita ir pirmuoju pasaulyje neutralaus poveikio klimatui žemynu

Deklaruojama vizija – išsaugoti sveiką planetą ateities kartoms bei pagerinti žmonių gerovę mažinant taršą ir tokiu būdu apsaugant žmonių gyvybes, gyvūnus ir augalus.

Europos Naujasis žaliasis kursas apima visus ekonomikos sektorius, visų pirma transportą, energetiką, žemės ūkį, pastatų sektorių, taip pat plieno, cemento, informacinių ir ryšių technologijų, tekstilės ir cheminių medžiagų pramonę.

Europos Sąjunga įsipareigoja tapti pavyzdžiu kitoms, ypač kaimyninėms valstybėms, padėti joms įgyvendinti būtinas pertvarkas, suteikti technologijas, kurios užtikrintų Europos iškeltų tikslų įgyvendinimą. Ketvirtadalis lėšų pagal ES Kaimynystės, vystymosi ir tarptautinio bendradarbiavimo priemonę bus skiriama klimato tikslams remti. Jau šiuo metu Europos Sąjunga skiria beveik pusę pasaulio kovos su klimato kaita viešojo finansavimo.

Apskaičiuota, kad norint pasiekti dabartinius 2030 m. klimato ir energetikos tikslus reikės 260 mlrd. eurų papildomų metinių investicijų, t. y. apie 1,5 nuošimčių 2018 m. ES BVP.

ES jau šiandien skiria daugiausia lėšų besivystančioms šalims, finansuodama kovai su klimato kaita skirtas priemones. Vien 2016 metais ES ir jos valstybės narės kartu skyrė 20 mlrd. Eurų šioms šalims kovoti su klimato kaita. ES valstybės narės taip pat skyrė beveik pusę 10 mlrd. dolerių sumos, kurią suteikti besivystančioms šalims įsipareigojo naujasis Jungtinių Tautų klimato fondas.

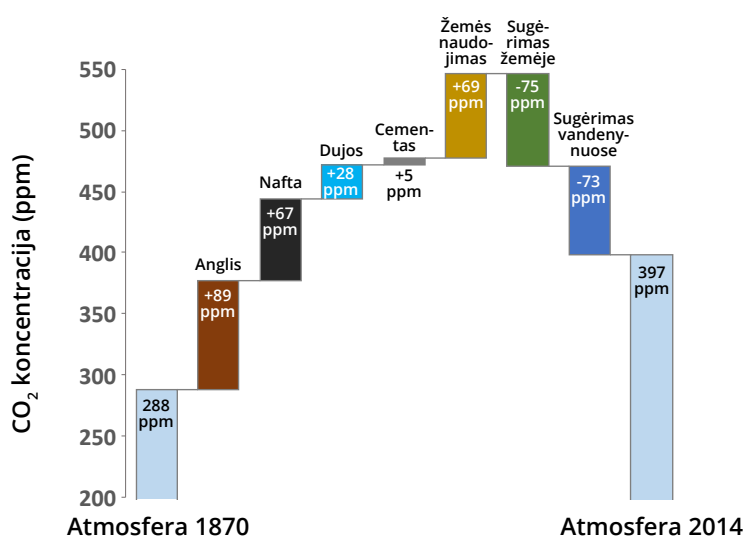
VI. Kova su klimato kaita (anglies kiekio atmosferoje mažinimas)

Šiltnamio dujų išlakų mažinimas ir kovos su klimato kaita tikslų pasiekimas

Šiuo metu kova su klimato kaita iš esmės suvokiama kaip anglies dvideginio išlakų mažinimas. Šiems procesams ir sprendimų paieškai, kaip mažinti išlakas, yra skiriama žymiai daugiau dėmesio nei paieškai sprendimų, kaip surinkti ir mažinti jau atmosferoje esančio perteklinio anglies kiekį.

Kovos su klimato kaita konvencijas bei susitarimus pasirašiusios valstybės įsipareigoja laipsniškai riboti ir mažinti išlakas. Dėl to įsipareigojama mažinti iškastinio kuro vartojimą, pereiti prie atsinaujinančių energijos išteklių, didinti energijos naudojimo efektyvumą, geriau panaudoti atliekas, laikytis „žalesnio“ gyvenimo būdo, keisti vartojimo įpročius.

Vis dėlto nepaisant pastangų, iškastinio kuro vartojimas pasaulyje tebeauga, didėja ir klimato šilumą spartinančių šiltnamio dujų išlakos bei jų vis daugiau kaupiasi atmosferoje (8 iliustracija).



8 iliustracija. Pramoniniu laikotarpiu dėl įvairių veiksnių sukauptos įtakos į pasaulinį CO₂ „biudžetą“ (1 ppm = 1 CO₂ dalelė tarp milijono dalelių. 1 ppm = 7,82 mlrd. tonų CO₂). (Iliustracijos šaltinis: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019).

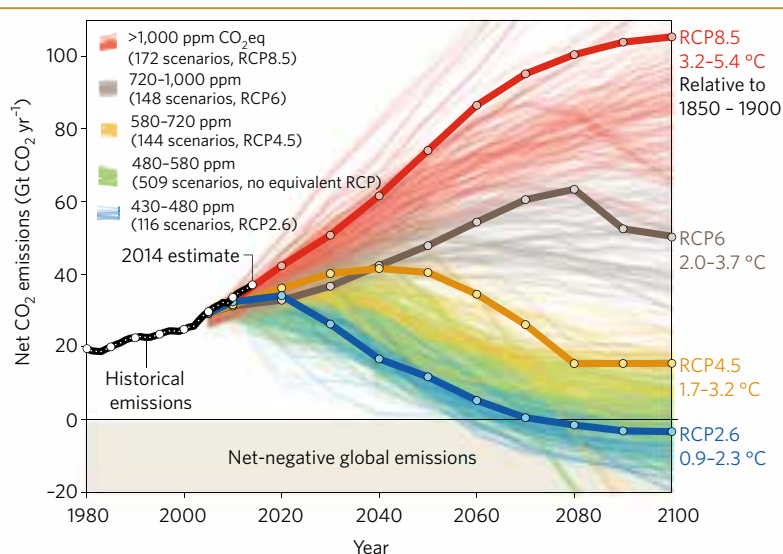
Atsinaujinančios energetikos dalies didėjimas sukelia iššūkius elektros tinklų stabilumui, dauguma naujų technologijų, kurios leistų užtikrinti šiltnamio dujų išlakų neutralumą, dar tik kuriamos. Didesnė pažanga šioje srityje yra matoma pramoninėse valstybėse, kurių sukauptas šiltnamio dujų išlakų kiekis yra didžiausias, tuo tarpu besivystančios šalys plečia energijos gamybą ir vartojimą, todėl jų išlakų kiekis sparčiai tebedidėja.

” Kyla pagrįstų nuogąstavimų, kad vien tik išlakų mažinimo priemonės gali neužtikrinti ambicingų Paryžiaus susitarimų tikslų įgyvendinimo

Dėl to kyla pagrįstų nuogąstavimų, kad vien tik išlakų mažinimo priemonės gali neužtikrinti ambicingų Paryžiaus susitarimų tikslų įgyvendinimo. Kaip nurodo Europos mokslininkai (European Academies Science Advisory Council, 2018), jau pasirašant Paryžiaus susitarimus, kurių tikslas buvo siekti išlaikyti planetos temperatūros padidėjimą gerokai mažesnę nei 2 °C laipsniai,

ir stengtis išlaikyti temperatūros padidėjimą nedidesnį nei 1,5 °C laipsnio, mokslininkų prognozės rodė, kad net įgyvendinant visus šalių priimtus įsipareigojimus mažinti CO₂ išlakas tiek iki 2030 metų, tiek ir po 2030 metų, planetos temperatūra pakiltų 2,7 °C laipsnio iki amžiaus pabaigos.

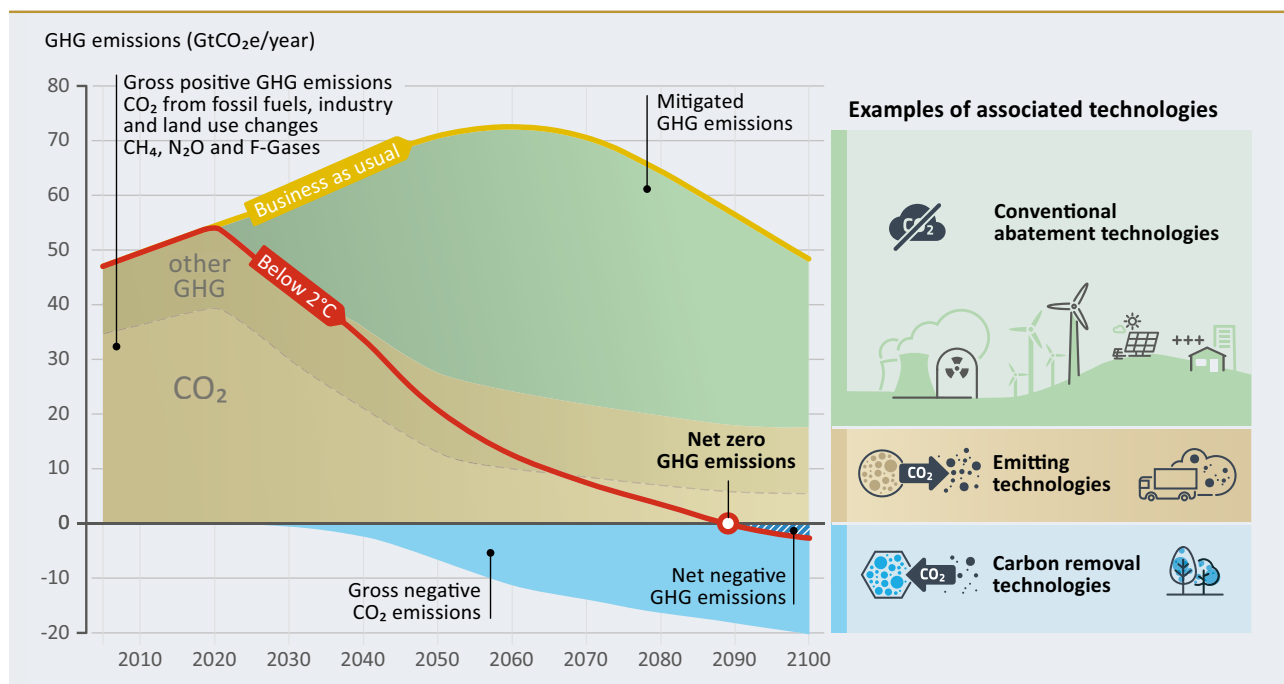
Pagal tarptautinės klimato kaitos komisijos 2014 metų ataskaitą, norint kad iki 2100 temperatūra nepakiltų daugiau nei 2 °C, reikia kad nuo 2011 iki 2100 į atmosferą būtų išmesta ne daugiau nei 1000 mlrd. tonų anglies dvideginio („CO₂ išlakų biudžetas“). Nuo TKKK ataskaitos paskelbimo 2014 metais iki 2018 metų į atmosferą papildomai jau buvo išmesta daugiau nei 200 gigatonų CO₂ išlakų. Europos mokslininkai 2018 m. ataskaitoje (European Academies Science Advisory Council, 2018) konstatavo, kad „CO₂ išlakų biudžetas“, kurio reikia tam, kad temperatūros augimas būtų išlaikytas žemiau 1,5 °C laipsnio, bus viršytas, jei artimiausius 5 metus CO₂ išlakų kiekiai nemažės, o toks „biudžetas“, kurio reikia išlaikyti mažesnį nei 2 °C augimą, bus viršytas per artimiausius 20 metų, ir net augimo iki 3 °C „biudžetas“ bus viršytas per ateinančius 55 metus, jeigu anglies dvideginio išlakos nemažės (9 iliustracija).



9 iliustracija. Prognozuojami CO₂ išlakų scenarijai, jų įtaka galimam temperatūros pokyčiui (ilustracijos šaltinis: Fuss S. ir kt., 2014).

Kaip rodo išsamūs akademiniai tyrimai (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019), iki 2050 metų CO₂ išlakos nuo dabartinio lygmens (40 gigatonų per metus) gali būti sumažintos 80 proc. Likusių 20 proc. išlakų mažinimas būtų technologiškai labai sudėtingas ir ypač brangus. Todėl jau pasirašant Paryžiaus susitarimą buvo prognozuojama, kad siekiant išvengti temperatūros pakilimo daugiau nei 2 °C laipsniais, šalia jau žinomų technologijų, mažinančių CO₂ išlakas energetikoje, transporte ar žemės ūkyje, teks vis intensyviau naudoti vadinamąsias neigiamų išlakų technologijas (NIT) (angl.: *Negative Emissions Technologies, NET*) (10 iliustracija).

” Jau pasirašant Paryžiaus susitarimą buvo prognozuojama, kad siekiant išvengti temperatūros pakilimo daugiau nei 2 °C laipsniais, šalia jau žinomų technologijų, mažinančių CO₂ išlakas energetikoje, transporte ar žemės ūkyje, teks vis intensyviau naudoti vadinamąsias neigiamų išlakų technologijas (NIT)



10 iliustracija. Scenarijus, parodantis neigiamų išlakų technologijų panaudojimo svarbą, siekiant nulinio išlakų balanso

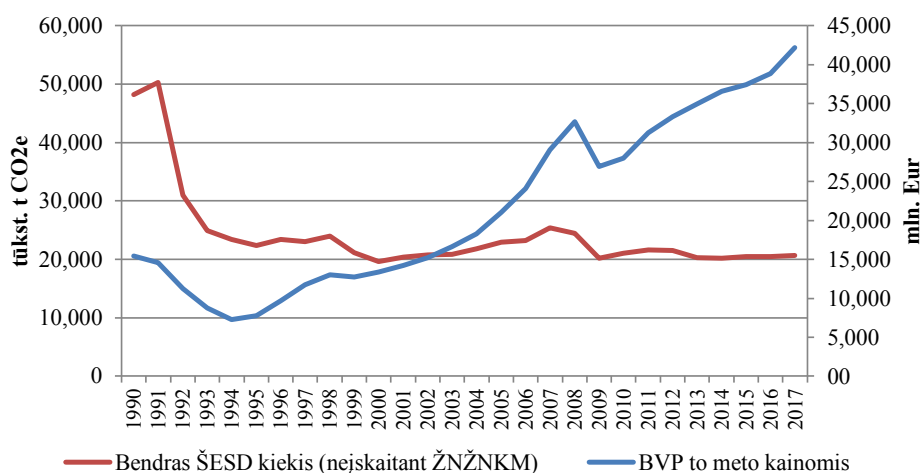
(ilustracijos šaltinis: UNEP, 2017)

Šių technologijų tikslas – surinkti atmosferoje esančias anglies dvideginio dujas ir jas patikimai ilgam „palaidoti“ po žeme, vandenynų dugne ar uolienose. JAV ir ES ekspertai skirtingai skaičiuoja, kokius rezultatus šių NIT technologijų panaudojimas gali duoti ir kiek jų panaudojimas gali būti efektyvus, tačiau JAV mokslininkai šių technologijų išplėtojimui skiria žymiai daugiau dėmesio nei Europoje, jie tikisi naujas technologijas patentuoti ir skaičiuoja, kad iki 2050 metų NIT panaudojimas gali per metus leisti iš atmosferos surinkti iki 10 mlrd. tonų anglies dvideginio per metus, o 2100 metais šis kiekis galėtų siekti ir 20 mlrd. tonų per metus (10 iliustracija).

Verta pastebėti, kad mokslininkai nagrinėja ir kitus būdus, kaip mažinti klimato kaitos grėsmę, pvz. technologiniais ar geoinžinieriniais būdais didinant Saulės energijos atspindėjimą nuo Žemės paviršiaus (pvz., didelius plotus padengiant balta spalva), tokiu būdu sumažinant temperatūros didėjimą. Tačiau šiuo metu galimybės panaudoti NIT yra žymiai realistiškesnės, todėl toliau aptarsime tik jų panaudojimą.

Iššūkiai Lietuviai, vykdant tarptautinius įsipareigojimus

Lietuva iki šiol pavyzdingai vykdė anglies dvideginio išlakų mažinimo įsipareigojimus pirmiausia dėl to, kad prieš dešimtmetį sparčiai augant gamtinių dujų kainai šilumos sektoriuje buvo pereita prie biokuro. Be to, Lietuvoje tik minimaliai naudojami gamtinėmis dujomis kūrenami elektros energijos gamybos pajėgumai, nes elektros energiją yra pigiau importuoti iš kaimyninių šalių (11 iliustracija).

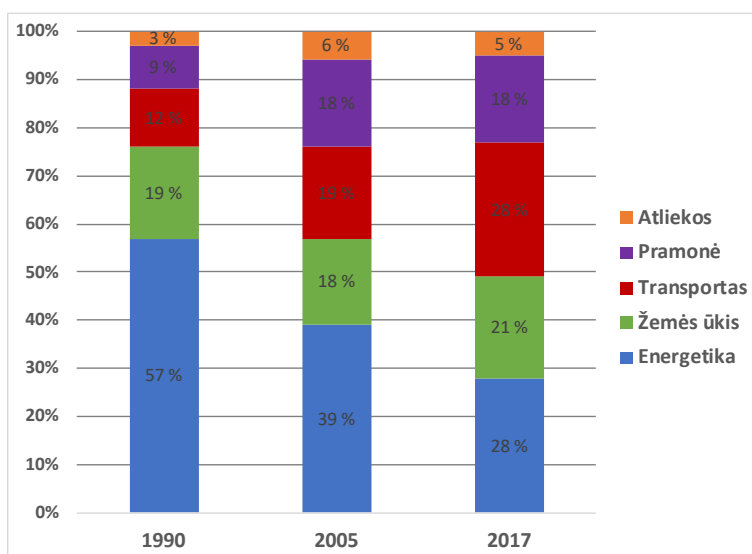


11 iliustracija. Lietuvos BVP ir išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekio dinamika 1990–2017 m. (neįskaitant žemės ūkio ir miškų įtakos)

(ilustracijos šaltinis: LRS, 2019)

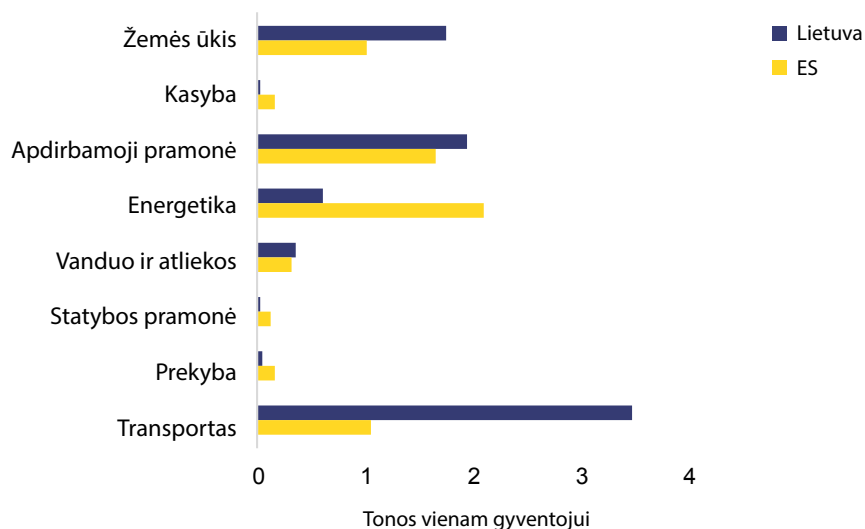
” Vykdyti naujus 2020–2030 metams prisiimtus įsipareigojimus pagal Paryžiaus susitarimą bus žymiai sunkiau, nes nebėra sričių, kuriose būtų galima be didesnių pastangų toliau mažinti išlakas

Tačiau vykdyti naujus 2020–2030 metams prisiimtus įsipareigojimus pagal Paryžiaus susitarimą bus žymiai sunkiau, nes nebėra sričių, kuriose būtų galima be didesnių pastangų toliau mažinti išlakas. Daugiausia šiuo metu anglies dvideginio išlakų gamina transportas, tad be sparčios elektromobilių plėtros nematyti kitų realių galimybių išlakoms mažinti (12, 13 iliustracija).



12 iliustracija. Klimato kaitą sukeliančių šiltnamio dujų išlakos Lietuvoje

(duomenų šaltinis: LRS, 2019)



13 iliustracija. Išmetamo ŠESD kiekis vienam gyventojui CO₂ ekvivalento tonomis.

(ilustracijos šaltinis: Europos Komisija, 2020)

Europos Komisijos 2020 metų ataskaitoje, skirtoje Lietuvai (Europos Komisija, 2020), pažymima, kad Lietuva įvykdys savo įsipareigojimus 2020-iesiems metams (CO₂ išlakos 15 proc. didesnės nei 2005 metais), bet susidurs su sunkumais įgyvendinti įsipareigojimus 2030-iesiems metams (išlakos 9 proc. mažesnės nei 2005 metais). Bendras išlakų kiekis, tenkantis vienam gyventojui Lietuvoje yra mažesnis nei vidutiniškai ES, tačiau beveik nesikeičia nuo 2010 metų. Anot Europos Komisijos, transporto sektorius šiuo metu sukelia apie 40 nuošimčių visų šalies CO₂ išlakų ir jo dalis didėja. Lietuvoje išlakų kiekis, tenkantis pagamintos pridėtinės vertės vienetai, yra didžiausias Europos Sąjungoje, o ekonomika yra maždaug 2 kartus imlesnė energijai, nei vidutiniškai ES ekonomika. Lietuva turi keletą stambių įmonių, veikiančių chemijos, cemento, energetikos srityse, kurios sugeneruoja ypač didelius kiekius išlakų.

Taip pat būtina prisiminti, kad be energijos gamybos iš iškastinio kuro bei transporto, viena labiausiai atmosferą anglies dvideginio teršiančių pramonės sričių yra cemento gamyba. Svarbiausia cemento gamybai reikalinga žaliava yra klintys (kalcio karbonatas), kurios kaitinamos aukštoje, iki 1450 laipsnių pagal Celsijų siekiančioje temperatūroje dekarbonizuojasi ir į orą išskiria jose dar amžių glūdumoje surištą anglį. Be to cementui reikalingų žaliavų įkaitinimas iki reikiamų temperatūrų taip pat reikalauja daug energijos ir dažniausiai tam tikslui naudojamas iškastinis kuras.

VII. Kaip „išsiurbti“ CO₂ iš atmosferos?

Amazonės miškai nėra „Pasaulio plaučiai“

Kaip jau buvo minėta, pasaulis diskutuodamas apie kovą su klimato kaita iki šiol žymiai daugiau dėmesio skiria tam, kaip sumažinti žmogaus veiklos sukeltus anglies dvideginio išmetimus į atmosferą, nei tam, kaip jau patekusią į atmosferą anglį iš ten pašalinti. Todėl ir mūsų supratimas yra žymiai didesnis apie tai, kas sukelia anglies dioksido išmetimus (angliavandenilių deginimas energetikoje ar transporte), nei apie tai, kokie gamtos procesai labiausiai mažina į atmosferą jau patekusio anglies kiekį. Norint paskatinti tokio atmosferinio anglies mažinimą, reikia gerai suprasti svarbiausius gamtinius procesus, kurie tai lemia ir kartu atsakyti, kai kurio įsitvirtinuso, bet klaidingo supratimo.

” Norint paskatinti atmosferinio anglies mažinimą, reikia gerai suprasti svarbiausius gamtinius procesus, kurie tai lemia ir kartu atsisakyti, kai kurio įsitvirtinusio, bet klaidingo supratimo

Mokykloje buvome mokomi, kad žalioji gamta – miškai, pievos, augalai – yra pagrindiniai atmosferos „valytojai“, fotosintezės metu surišantys iš atmosferos pasiimtą anglį ir į atmosferą sugrąžinantys gryną, mūsų gyvybei būtiną deguonį. Todėl daug nemąstydami kartojome kitų garsiai skelbiamus teiginius, kad Amazonės miškai yra „pasaulio plaučiai“ ir kad šių miškų nykimas paliks mus be deguonies.

Tokį supaprastintą mūsų supratimą apie žaliosios gamtos įtaką atmosferos reiškiniams aki-vaizdžiai paneigia šių dienų mokslo išvados. Štai 2019 metų vasarą visam pasauliui su nerimu stebint nesuvaldomus Amazonės miškų gaisrus, žinomame tarptautiniame „Atlantic“ leidinyje, paskelbtas simboliškai pavadintas tekstas „Amazonės džiunglės nėra pasaulio plaučiai“ (Brannen P., 2019), kuriame remiantis rimtais, bet labai paprastai išdėstytais moksliniais argumentais, buvo pagrįstos kelios svarbios tiesos:

- ne tik Amazonės džiunglės, bet ir visa ant Žemės paviršiaus besanti žalioji gyvybė nėra pasaulio plaučiai, nes tiek, kiek deguonies ši žaluma sukuria fotosintezės metu, beveik tiek pat jo sunyksta tos pačios žalumos puvimo ar kitokio nunykimu metu, kai į atmosferą yra gražinama juose iki tol saugota sukaupta anglis. Amazonės džiunglių naikinimas yra tragedija gamtos įvairovei, bet nėra pasaulio plaučių naikinimas;
- kaip teigia mokslininkai, net jei visa žalioji gamta būtų sudeginta, žmones ištiktu ne deguonies badas, bet maisto badas, nes tokiu atveju atmosferoje, kuria kvėpuojame deguonies dalis nuo dabartinių 20,9 proc. sumažėtų tik iki 20,4 proc., o anglies dvideginio kiekis išaugtų nuo 400 iki 900 daliu viename milijone oro dalių. Tokia atmosferos sudėtis vis dar leistu kvėpuoti;
- šiandieninė atmosferos sudėtis, su 20 proc. deguonies kiekiu, susidarė ne dėl šiandieninių Amazonės džiunglių, o dėl milijonus metų vykusiu procesu, kai dalis organinės anglies nespėdavo sureaguoti su atmosferoje esančiu deguonimi (0,01 proc. visos organinės anglies) ir nusėdavo po žeme kaip angliavandeniliu iškasenos ar kaip nuosėdos vandenynu dugne. Tai ir leido atmosferoje kauptis su anglimi nesureagavusiam deguoniui. Todėl šiandien ir kvėpuojame.

” Pasaulio plaučiais yra ne Amazonės džiunglės, o, pirmiausia, anglies dvideginį šiandien sugeriantys vandenynai bei tos buvusios „džiunglės“, kurios kaip nesureagavusi su deguonimi anglis per milijonus metų buvo palaidota po žeme kaip nafta, dujos ar jūrų dugne nusėdusios klinties nuosėdos

Taigi tenka daryti išvadą, kad pasaulio plaučiais yra ne Amazonės džiunglės, o, pirmiausia, anglies dvideginį šiandien sugeriantys vandenynai bei tos buvusios „džiunglės“, kurios kaip nesureagavusi su deguonimi anglis per milijonus metų buvo palaidota po žeme kaip nafta, dujos ar jūrų

dugne nusėdusios klinties nuosėdos. Štai šių „požeminiu džiuuglių“ šiandieninis neprotingas industrinis naudojimas ir deginimas gali žymiai sparčiau sugriauti ta balansą, kuris per milijonus metų susiklostė mūsų atmosferoje ir kuris leidžia mums kvėpuoti ir gyventi įprastoje temperatūroje.

Amazonės džiuuglės yra svarbus gamtos reiškinys, bet visai ne dėl jų poveikio atmosferai. Žalioji gamta, tol kol ji žaliuoja, fotosintezės metu sugeria CO₂, atskiria anglį ir jį paverčia augalo kūnu, atskirtą deguonį išleidžia į atmosferą, tačiau tai tęsiasi tol, kol augalas žaliuoja. Jeigu jis natūraliai numiršta ir lieka pūti Žemės paviršiuje, puvimo metu jis gražina visą savyje sukauptą anglį į atmosferą. Todėl kai kalbama apie klimato kaitą ir būdus, kurie galėtų paskatinti tuos procesus, kurie mažintų anglies, jau esančio atmosferoje, kiekį, pagrindinis dėmesys yra skiriamas ne pačiai fotosintezei, kuri tik padeda „išsiurbti“ anglį iš atmosferos, bet tam, kaip taip susigrąžintą iš atmosferos anglį patikimai „palaidoti“.

Neigiamų išlakų technologijos: kas tai?

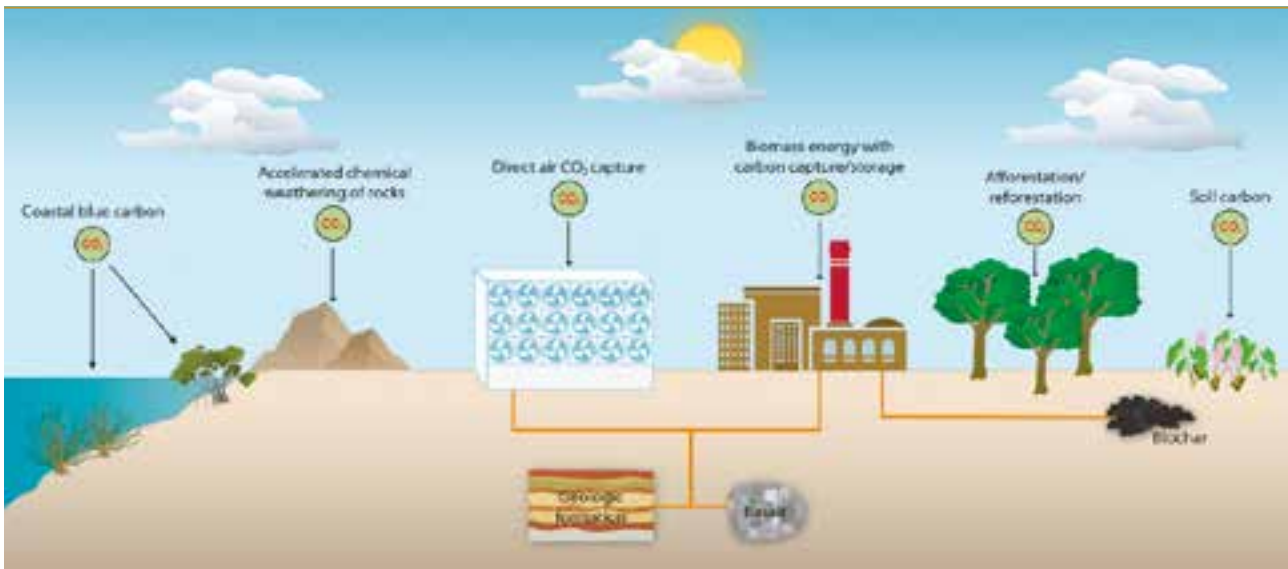
2018–2019 metais pasirodė net dvi labai vertingos ir išsamios studijos apie NIT dabartinę būseną, jų perspektyvas bei galimybes jau 2050 metų jas efektyviai panaudoti, siekiant reikšmingai sumažinti anglies dvideginio kiekį atmosferoje. Viena iš jų yra parengta amerikiečių akademinės bendruomenės specialiai sudaryto specialaus akademinio komiteto – „*Negative emissions technologies and reliable sequestration*“ (*National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019*), kita parengta Europos mokslininkų „*Negative emissions technologies: what role in meeting Paris Agreement targets?*“ (*European Academies' Science Advisory Council, 2018*).

Amerikiečių ir europiečių akademikai nagrinėja labai panašias NIT, tačiau amerikiečiai tai daro žymiai išsamiau, todėl toliau pateiksime jų suformuluotas išvalgas, pabaigoje trumpai apibūdinami europiečių požiūrių skirtumą.

Amerikiečiai išsamiai aptaria 6 NIT rūšis, jų galimą poveikį, prognozuojamą 1 tonos CO₂ „pašalinimo“ kainą (siūlomą naudoti tik tokias technologijas, kurių kaina neviršys 100 dolerių vienai CO₂ tonai), aptariamai jų panaudojimo galimi gamtiniai ar technologiniai apribojimai, numato kokie toliau NIT moksliniai tyrimai turi būti atlikti, kad būtų galima šias NIT pradėti naudoti pramoniniu būdu, visur pabrėždami naujų technologijų patentavimo būtinybę. JAV mokslininkai taip pat pabrėžia, kad didžiausią potencialą „išsiurbiant“ CO₂ iš atmosferos pirmiausia turėtų vandenynai bei įvairūs gyvi vandenynų organizmai: dumbliai ar jūržolės. Tuo pat metu pabrėžiama, kad ši sritis iki šiol yra per mažai ištyrinėta, kad šiuo metu būtų galima daryti kokius nors konkrečius apibendrinimus. JAV mokslininkai taip pat nurodo kitą ataskaitą skirsiantys su vandenynais susijusioms NIT.

” Didžiausią potencialą „išsiurbiant“ CO₂ iš atmosferos pirmiausia turėtų vandenynai bei įvairūs gyvi vandenynų organizmai: dumbliai ar jūržolės

Visos 6 aptariamoms NIT pasižymi keliais bendrais bruožais: a) ieškoma kaip padidinti fotosintezę (pakrantėse, žemės ūkyje, miškuose), per kurią iš atmosferos yra paimama anglis, su būtinu taip sukaupto anglies palaidojimu (populiariausia technologija – biokuru kūrenamos jėgainės su privalomu deginimo metu išsiskiriančio anglies požeminiu laidojimu) arba b) tiesioginis anglies dvideginio cheminis ar geologinis „išsiurbimas“ iš atmosferos, taip pat su būtinu technologiniu ar gamtiniu anglies laidojimu (14 iliustracija).



14 iliustracija. Neigiamų Išlakų Technologijos, nagrinėjamos JAV mokslininkų ataskaitoje (ilustracijos šaltinis: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019)

JAV MOKSLININKŲ NAGRINĖJAMOS 6 NEGATYVIŲ IŠLAKŲ TECHNOLOGIJOS

1. pakrančių „mėlynosios anglies“ technologija (angl.: *Coastal Blue Carbon*);
2. anglies dioksido surišimas sausumoje ir palaidojimas (angl.: *Terrestrial Carbon Removal and Sequestration*);
3. bioenergetika su anglies dioksido surinkimu ir palaidojimu (angl.: *Bioenergy with Carbon Capture and Sequestration*);
4. tiesioginio anglies dioksido surinkimo iš oro technologija (angl.: *Direct Air Capture*);
5. anglies dioksido mineralizavimo technologija (angl.: *Carbon Mineralization of CO₂*);
6. suslėgto CO₂ laidojimas giliuose geologinių nuosėdų sluoksniuose (angl.: *Sequestration of Supercritical CO₂ in Deep Sedimentary Geological Formations*).

Patys amerikiečių mokslininkai pažymi, kad penktoji ir šeštoji NIT priemonės kol kas yra mažai ištyrinėtos, nors teoriškai žiūrint ir turėtų didelį potencialą.

1. Pakrančių „mėlynosios anglies“ technologija

Vandenynų pakrantėse auganti augmenija, nors ir sudaro tik labai nedidelę Žemės augalijos dalį, vaidina žymiai reikšmingesnę vaidmenį išsaugant surištą anglį ilgą laiką. Augalų bei dumblių liekanose surišta anglis nugula į vandenynų dugną kartu su gyvūninės kilmės liekanomis, čia sudarydama ilgalaikius storus nuogulų sluoksnius, kurie, susidarius palankioms geologinėms sąlygoms, gali virsti klintimis ar angliavandeniliais.

„Anglis, sugerama vandenynų pakrančių ekosistemoje daugiausia mangrovėse, sūriose pakrančių pelkėse bei jūržolių sąžalynuose, vadinama mėlynąja anglimi

Anglis, sugerama vandenynų pakrančių ekosistemoje daugiausia mangrovėse, sūriose pakrančių pelkėse bei jūržolių sąžalynuose, vadinama mėlynąja anglimi. Naujausi tyrimai rodo didelę

pakrančių ekosistemų svarbą ir jų veiksmingumą surišant anglį. Nepaisant to, kad jos tesudaro pusę nuošimčio vandenynų dugno ploto ir tik 0,05 proc., visos augalijos biomasės, mėlynosios anglies ekosistemoms priskiriama net pusė visos vandenynų nuosėdose sukauptos anglies.

Dauguma jūržolių išaugina išsišakojusias šaknis bei stiprius šakniastiebius, kurie stabilizuoja nuogulas bei mažina pakrančių eroziją. Jos nemeta lapų, todėl nuolat vykdo fotosintezę ir suriša dvigubai daugiau anglies nei tokio pat ploto miškas. Per metus jūržolės suriša nemažus kiekius anglies dvideginio, jų daliai tenka apie dešimtadalį visos vandenynuose sukauptos anglies.

Vykstantys klimato pokyčiai nėra palankūs jūržolių ekosistemoms. Per kelis pastaruosius metus jų užimami plotai sumažėjo 30 tūkst. kvadratinų kilometrų. Manoma, kad kai kurios jūržolių rūšys visiškai išnyks per artimiausius 30 metų.

Mangrovės – tai ekosistema, kurią sudaro medžiai ir krūmai, augantys tropinėse srityse, vandenynų, jūrų pakrantėse. Jos sudaro mangrovines pelkes ir mangrovių sąžalynus. Dėl didelės drėgmės ir mažo deguonies kiekio mangrovių pelkės pasižymi dideliu nuogulose sukauptos biomasės našumu, jose sukauptų durpių sluoksniai siekia iki aštuonių metrų.

Dauguma mangrovių augalų priklauso rizoforinių šeimai, turi raizgytas orines ir pridėtines šaknis. Potvynių metu mangrovių sąžalynai būna užliejami. Mangrovėse nuosėdų pavidalu kaupiasi organinės kilmės atliekos, jos stabdo krantų eroziją, saugo nuo potvynių.

Sūriosios pelkės randamos palei vandenynų pakrantes nuo Arktikos iki subtropikų. Tropinėse platumose jas pakeičia mangrovės.

Augalų atliekose, tokiose kaip lapai, stiebai, šakos, šaknys anglis gali būti saugoma kelis metus ar dešimtmečius, tuo tarpu mėlynoji anglis nuosėdų sluoksniuose įkalinama tūkstančiams ar milijonams metų. Nors žaliosios pakrančių ekosistemos apima mažesnius plotus ir turi mažiau antžeminės biomasės nei žemynų augmenija, jose anglis nuogulų kloduose įkalinama gerokai ilgesniam laikui.

Kelia susirūpinimą tai, kad mėlynosios anglies ekosistemos nyksta žymiai greičiau nei kitos, net lyginant su drėgnaisiais miškais. Vertinama, kad kasmet šios ekosistemos sumažėja 2–7 nuošimčiais.

2. Anglies pašalinimo sausumoje ir palaidojimo technologija

Anglies pašalinimo sausumoje ir palaidojimo technologijos (angl.: *Terrestrial Carbon Removal and Sequestration*) panaudojimas yra susijęs su anglies sukaupto augmenijoje specifika: anglis fotosintezės metu yra paimama iš atmosferos ir sukaupta augmenijoje, o puvimo metu yra gražinama atgal į atmosferą. NIT požiūriu yra svarbios tos technologijos, kurios gali išsaugoti sukauptą anglį ilgiam dešimtmečiams apdirbtoje medienoje ar dirvožemio organinėje masėje.

Šios NIT apima žemės naudojimo praktikų pokyčius, tokius kaip miškingumo didinimą, geresnį medienos naudojimą, žemės apdirbimo technologijų pokyčius, kurie iš vienos pusės didintų fotosintezės plotus arba jos intensyvumą, iš kitos pusės padėtų ilgiau išsaugoti anglį apdirbtoje medienoje, dirvožemyje, biokuro deginime kartu su išsiskiriančio anglies dioksido palaidojimu.

Miškams ir miško žemei, ariamai žemei ir pievomis yra taikomos skirtingos NIT, kad kiekvienoje iš šių skirtingų ekosistemų būtų galima išsaugoti maksimalų sukaupto anglies dioksido kiekį. Ypatingą svarbą turėtų užimti pelkės, nes jos sugeba sukaupti didžiausius anglies kiekius žemės ploto vienetai.

Miškų tinkamas panaudojimas, kalbant apie tai kaip NIT rūšį, yra ypatingai svarbi technologija. Ji apima keletą svarbių priemonių: miškingumo mažėjimo stabdymą, naujų miškų plėtrą, geresnį medienos ir jos atliekų tvarkymą.

Kai kurios priemonės, pavyzdžiui, miškingumo didinimas pradėtos taikyti jau prieš kelis dešimtmečius. Tačiau dauguma kitų technologijų tebėra ankstyvoje tyrimų ar praktinio pritaikymo stadijoje.

Miškingumą galima didinti tik užimant naujus žemės plotus, kurie iki šiol nebuvo naudojami. Tačiau tokių plotų nėra daug ir tada miškingumas gali būti didinamas tik žemės ūkio naudmenų sąskaita. Tačiau žemės ūkiui naudojamos žemės plotus būtų galima mažinti tik tuo atveju, jei keistųsi žmonių vartojimo įpročiai – dėl to reikėtų žymiai sumažinti mėsos ar pieno vartojimą.

Skaičiuojama, kad vienam milijardui tonų anglies dvideginio per metus sugerti būtų reikalingas 30–43 milijonų hektarų naujo miško plotas. Tai apimtų apie 4 nuošimčius pasaulio ariamos žemės ploto.

Būtina atkreipti dėmesį ir į tai, kad miškingumo didinimas veiksmingai mažina anglies dvideginio kiekį ore tik tol, kol miškas yra jaunas ir sparčiai kaupia anglį medienoje. Brandus miškas yra neutralus anglies dvideginio išlakų požiūriu, nes pūvanti mediena išskiria anglies dvideginį atgal į orą. Todėl tik prižiūrimas ir atnaujinamas miškas gali būti laikomas tinkama priemone anglies dvideginio kiekiui atmosferoje mažinti.

” Tik prižiūrimas ir atnaujinamas miškas gali būti laikomas tinkama priemone anglies dvideginio kiekiui atmosferoje mažinti

2019 metais Šveicarijos mokslininkai (Bastin J.-F. Ir kt., 2019) paskelbė savo mokslinių tyrimų rezultatus, teigdami, kad pasodinus vieną trilijoną naujų medžių, tam skiriant 900 mln. ha žemės (plotas, prilygstantis JAV plotui), būtų galima sumažinti anglies dvideginio kiekį atmosferoje net 200 mlrd. tonų (ketvirtis viso anglies dvideginio atmosferoje). Šveicarai teigia, kad tai nepakenktų nei maisto tiekimui, nei miesto teritorijoms. Kiti mokslininkai liko skeptiški šiai idėjai, teigdami, kad nėra tiek laisvos žemės ar kad tokiam miškų kiekiui neužteks vandens.

Lygiai taip pat reikia atkreipti dėmesį į tai, kad miškingumo didinimas mažina Žemės paviršiaus gebėjimą atspindėti saulės energiją (mažina albedo), o Žemės paviršius todėl greičiau šyla.

Kylant oro temperatūrai, taip pat didėja ir miško gaisrų rizika, kurių metu į atmosferą patenka visa medienoje iki šiol sukaupta anglis.

Yra skaičiuojama, kad miškai vieną iš didžiausių naudų kovoje su klimato kaita atneša tuo atveju, jei ilgalaikiais medienos gaminiais yra pakeičiami cemento ar plieno gaminiai, kurių gamyba išskiria ypač daug angliavandenilių.

” Miškai vieną iš didžiausių naudų kovoje su klimato kaita atneša tuo atveju, jei ilgalaikiais medienos gaminiais yra pakeičiami cemento ar plieno gaminiai, kurių gamyba išskiria ypač daug angliavandenilių

Medienos atliekų geresnis tvarkymas yra taip pat ypač svarbus NIT. Yra skaičiuojama, kad kiekvienais metais iš 4 mlrd. ha pasaulinių miškų plotų, yra iškertama apie 3 mlrd. kubinių metrų medienos (0,65 nuošimčio visos augančios medienos), kurios pusė yra panaudojama medienos produktams, o kita pusė – kurui. Kirtimo metu 30–40 proc. biomasės (lyginant su biomase iki iškirtimo) atliekų pavidalu lieka miškuose (neįskaitant šaknų) ir supūva. Todėl geresnis medienos tvarkymas yra labai efektyvi NIT.

Didžioji dalis žemdirbystei naudojamos žemės Pasaulyje yra neefektyviai naudojama, vertinant anglies išsaugojimo Žemės paviršiuje prasme. Didžioji dalis žemės naudmenų vidutinio klimato zonoje dažnai yra paliekama pūdymui ne sezono metu, intensyvaus arimo technologijos, mažinančios anglies kiekį dirvožemyje, iki šiol taip pat yra plačiai paplitusios. Žemdirbiai gali panaudoti keletą NIT priemonių, kurios padidintų anglies sukaukimą ir išsaugojimą: žiemos pūdymus pakeičiant dengiamaisiais augalais; sėjant augalus, kurie palieka plačias šaknis; mažinant vasaros pūdymų dažnį; didinant daugiamečių žolių/ankštinių pašarinių augalų plotus su tinkama sėjomaina. Toks pasirinkimas leistų didinti vegetacijos plotus ir laikotarpius, kai fotosintezės metu augaluose būtų sukaupiama daugiau anglies ir ji būtų kaupiama tokių augalų šaknyse.

Kadangi, kaip rodo tyrimai, intensyvaus arimo metu mažėja anglies, sukaupto dirvožemyje kiekis, yra siūloma plačiau taikyti beariminės žemdirbystės metodus.

” Ganyklos arba kultivuojamos pievos sugeba išsaugoti didžiausius anglies kiekius, lyginant su kita žemės ūkiui naudojama žeme

Geriausias būdas didinti anglies išsaugojimą dirvoje yra pereiti prie daugiamečių augalų auginimo, skirtų pašarams arba energetikai. Verta atkreipti dėmesį į tai, kad ganyklos arba kultivuojamos pievos sugeba išsaugoti didžiausius anglies kiekius, lyginant su kita žemės ūkiui naudojama žeme. Lygiai taip pat pelkių atstatymas galėtų būti labai efektyvi NIT.

Vienas iš šiltnamio dujų išlakų šaltinių žemės ūkyje yra gyvulininkystėje sukaujami dideli mėšlo kiekiai. Mėšlas sukelia azoto suboksido (N_2O) išlakas, kurios sukelia šiltnamio efektą. Mėšlo san kaupų tvarkymas gali turėti didelį teigiamą poveikį mažinant N_2O išlakas. Danija, kurioje taikomi griežti reikalavimai mėšlo tvarkymui (mėšlas per 6 valandas turi būti užartas žemėje) arba jo panaudojimui biodujų gamybai, per 25 metus 30 proc. sumažino N_2O išlakas.

Taip pat vertinga nauja NIT gali būti medžio anglies platesnis panaudojimas žemdirbystėje. Medžio anglies gamyba pirolizės proceso būdu (kaitinant aplinkoje, kurioje nėra deguonies) sukuria medžio anglį, kuri turi aukštą anglies koncentraciją ir gali ją išsaugoti labai ilgai. Tokia medžio anglis gali būti įterpiama į dirvožemį. Kaip rodo archeologija, jau neolito laikais medžio anglis buvo naudojama, siekiant pagerinti dirvožemio kokybę.

Dar viena NIT priemonė gali būti ir giluminis arimas, kai anglimi turtingas dirvožemio paviršius po tokio arimo panyra gilyn į žemę ir šaknyse sukauptas anglis tokiu atveju yra „palaidojama“ ilgam, o paviršiuje atsiranda žemė, su mažesniu sukauptu anglies kiekiu, ir todėl imli anglies įsisavinimui.

Naujausių biotechnologinių metodų (įskaitant genų redagavimą) panaudojimas atveria galimybes naujoms NIT, išvedant naujas augalų veisles, labiau pritaikytas siekti efektyvesnio anglies įsisavinimo ir jo palaidojimo po žeme. Tam reikia naujų augalų veislių su labiau išvystytomis šaknų sistemomis, kuriose ir būtų kaupiama bei saugoma anglis.

3. Bioenergetika su anglies dioksido surinkimu ir palaidojimu

Bioenergijos gamyba, apjungta su anglies dioksido surinkimu ir palaidojimu (angl.: *Bioenergy with Carbon Capture and Sequestration, BECCS*) yra vertinga NIT, nes biomasės augimo metu joje fotosintezės proceso būdu sukurta anglis vėliau energijos gamybos metu sugaunama ir po to palaidojama geologinės formacijose, o ne gražinama atgal į atmosferą, kaip tai vyksta biomasės puvimo metu.

Nuo pradinių šios NIT tyrimų ir vertinimų, atliktų 2001 metais, BECCS panaudojimas, mažinant anglies dvideginio atmosferoje, yra vertinamas kaip svarbiausia NIT technologija. Skaičiuojant įvairius scenarijus, ką reikėtų padaryti, kad per šį šimtmetį temperatūra nepakiltų daugiau nei 1,5 °C laipsnio, BECCS platus panaudojimas yra planuojamas kaip būtina ir neišvengiama priemonė. Yra numatoma, kad panaudojant šią technologiją 2050 metais iš atmosferos per metus galėtų būti pašalinama bent 2 mlrd. tonų CO₂.

BECCS apjungia 3 dedamąsias: medžių ar augalų auginimą, kurie fotosintezės metu iš atmosferos įsisavina anglį ir jį savyje kaupia, šios biomasės panaudojimą, gaminant energiją, ir anglies pagavimo ir laidojimo geologinėse formacijose technologijų panaudojimas.

” BECCS apjungia 3 dedamąsias: medžių ar augalų auginimą, kurie fotosintezės metu iš atmosferos įsisavina anglį ir jį savyje kaupia, šios biomasės panaudojimą, gaminant energiją, ir anglies pagavimo ir laidojimo geologinėse formacijose technologijų panaudojimas

Verta pastebėti, kad skirtingai nuo amerikiečių mokslininkų neslepiano entuziazmo šios NIT panaudojimo atžvilgiu, Europos mokslininkai yra labiau skeptiški, nes Europoje atliekami bandymai naudoti šią technologiją kol kas nepasiteisina.

4. Tiesioginio anglies surinkimo iš oro technologija

Tiesioginio anglies surinkimo iš oro technologija (angl.: *Direct Air Capture*), tai – NIT, kurioje naudojant cheminius procesus (cheminę reakciją su reagentais) tiesiogiai iš oro yra „išgaudamos“ CO₂ molekulės, pagautas anglies dvideginis yra koncentruojamas taip, kad po to koncentruotą anglies dvideginį galima būtų „palaidoti“ specialiuose rezervuaruose arba geologinėse struktūrose. CO₂ pagavimo technologija priklauso nuo to kokio slėgio ir koncentracijos oro srovė yra sukuriama. Esant žemesnės koncentracijos dujų srovei yra naudojami cheminiai reagentai, kurie gali reaguoti su CO₂. Paprasčiausiais iš tokių reagentų yra laikomi hidroksidai ir amoniako dariniai. Šie reagentai gali būti naudojami kaip skysčiai, per kuriuos yra praleidžiamas atmosferos oro srautas arba kaip kietas paviršius, kuris reaguoja su suspaustu oro srautu ir sugaudo CO₂ molekules.

Šios NIT vienas iš esminių principų yra tai, kad cheminis reagentas turi būti toks, kad prie ne ypač aukštų temperatūrų ir nenaudojant didelių energetinių resursų, šis reagentas turi išlaisvinti CO₂, kuris būtų laidojamas požeminėse geologinėse struktūrose, o reagentas iš naujo pasiruošęs sugerti naują CO₂ kiekį. Didžiausi energijos kiekiai, įtakojantys šios NIT savikainą, ir yra sunaudojami, siekiant daugkartiniu būdu naudoti tą patį reagentą.

Kol kas šios NIT savikaina pagaunant ir palaidojant 1 toną CO₂ yra didesnė nei 100 JAV dolerių, todėl jos pramoninis panaudojimas kol kas nėra tikslingas ir tokiai technologijai reikalingas tolesnis tyrimas bei vystymas.

5. Anglies iš CO₂ mineralizavimo technologija

Anglies iš CO₂ mineralizavimo technologija (angl.: *Carbon Mineralization of CO₂*) yra paremta atskirų uolienos rūšių (mantijos peridotito, lavos bazalto ir kitų reaktyvių uolienų) chemine savybe reaguoti su CO₂ ir tokiu būdu mineralizuoti anglį. Šios NIT principas – suspausta atmosferos orą pūsti į tokią uolieną, esančią arba Žemės paviršiuje arba požeminėse geologinėse struktūrose ir taip „išgaudyti ir palaidoti“ mineralizuotą anglį.

Šie procesai gali būti panaudoti ir kuriant naujas statybines medžiagas. *Solidia Technologies* išrado technologinį procesą, kuris gali 60 proc. sumažinti CO₂ išlakas gaminant cementą (Kramer D., 2020). *Solidia* cementas yra maišomas su CO₂ vietoje vandens ir šis procesas formuoja kalcio karbonatą ir silicį, kurie sutvirtina betoną. Jei pasaulyje toks cementas būtų plačiai naudojamas, per metus būtų galima surišti apie 0,5 mlrd. tonų CO₂.

Ši NIT turi didelį anglies išgaudymo ir palaidojimo potencialą, bet yra dar mažai ištyrinėta, todėl dar nėra parengta pramoniniam panaudojimui.

6. Suslėgto CO₂ laidojimas gyliuose geologinių nuosėdų sluoksniuose

„Geologinio laidojimo“ (pilnas pavadinimas – suslėgto CO₂ laidojimas gyliuose geologinių nuosėdų sluoksniuose, angl.: *Sequestration of Supercritical CO₂ in Deep Sedimentary Geological Formations*) NIT yra naudojama tam, kad būtų galima požeminėse geologinėse struktūrose palaidoti tą anglies dvideginį, kuris yra sukaupiamas naudojant bioenergetines BECCS technologijas arba tiesiogines anglies sugavimo iš oro technologijas. Galimybės ir būdai, kaip požeminėse geologinėse struktūrose galima efektyviausiai išsaugoti sukauptą CO₂ kol kas yra mažai ištyrinėti, ir tai yra viena iš priežasčių, kodėl platesnis pramoninis BECCS technologijų panaudojimas kol kas atsilieka nuo pradinių ambicingų planų.

NIT pajėgumai, kaštai, ribojantys faktoriai

JAV mokslininkų studijoje (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019) pateikiami duomenys, kiek, jų vertinimu, kiekviena iš NIT galėtų padėti „išsiurbti“ CO₂ iš atmosferos, kiek kainuotų vienos tonos išsiurbimas ir kokie faktoriai ribotų tokios technologijos panaudojimą.

Eil. Nr.	NIT	Kaina (USD/t CO ₂)	Išsiurbimo potencialas, Gt/metai CO ₂	Apribojimai
1.	Pakrantės (1 NIT)	0–20	0,13	vandens lygis
2.	Žemė (2 NIT) nauji miško plotai	0–20	1,0	žemės plotai
3.	Žemė (2 NIT) miškų tvarkymas	0–20	1,5	pažangos stoka
4.	Žemė (2 NIT) kitokia žemdirbystė	20–50	3,0	hektaro imlumas
5.	Bioenergetika ir laidojimas (3 NIT)	20–100	3,5–5,2	kaštai, biom. kiekis
6.	Oras (4 NIT)	> 100	-	per didelė kaina
7.	Mineralizavimas	50–100	nežinoma	neištirta
IŠ VISO:			9,13–10,83	

2 lentelė. NIT pajėgumai, kaštai, ribojantys faktoriai

(parengta autorių, remiantis National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019)

JAV MOKSLININKŲ IŠVADOS DĖL NEIGIAMŲ IŠLAKŲ TECHNOLOGIJŲ PANAUDOJIMO

1. NIT reikia vertinti kaip priedą prie dabartinių CO₂ išlakų mažinimo planų (angl.: *mitigation portfolio*), o ne vien kaip technologijas, skirtas sumažinti CO₂ kiekį atmosferoje, kurios bus pradėtos naudoti tik po to, kai bus visiškai eliminuotos CO₂ antropogeninės išlakos.
2. Keturios NIT technologijos jau dabar yra paruoštos tam, kad būtų panaudojamos plačiu pramoniniu būdu: jmiškinimas/atmiškinimas; geresnis miškų tvarkymas; CO₂ surinkimo ir saugojimo pagerinimas žemės ūkiui naudojamoje žemėje; bioenergetika su anglies dioksido surinkimu ir laidojimu (BECSS). Šių technologijų anglies surinkimo savikaina yra mažesnė nei 100 JAV dolerių už toną ir turi galimybių būti sparčiai išplėtotos.
3. Šios NIT technologijos gali būti greitai pramoniniu būdu ir santykinai pigiai panaudotos, tačiau jų potencialas pasauliniu mastu kol kas yra gerokai mažiau nei 10 mlrd. tonų per metus.
4. Jeigu norima pasiekti klimato kaitos ir ekonomikos augimo tikslų, NIT turės vaidinti didesnį vaidmenį, mažinant anglies kiekį atmosferoje. Tam reikėtų, kad panaudojant NIT 2050 metais iš atmosferos būtų pašalinama 10 mlrd. tonų, o 2100 m. – 20 mlrd. tonų CO₂ per metus.
5. Pirmos 4 technologijos artimiausiu metu gali būti pradėtos naudoti plačiu pramoniniu būdu, tačiau jų panaudojimą greičiausiai apribos tai, kad žemdirbystei skirta žemė gali sugerti tik ribotą kiekį anglies, ir tai, kad miškų ir BECSS plėtra bus apribota žemės, skirtos maisto gamybai, poreikiais. Dėk šių priežasčių šių NIT panaudojimas nelems pasiekti 10 mlrd. tonų per metus lygio.
6. Anglies surinkimo tiesiogiai iš oro arba atmosferinės anglies mineralizavimo technologijos turi didelį potencialą, bet kol kas yra per brangios.
7. Nors pakrančių „mėlynosios anglies“ technologijos pajėgumas pašalinti anglį kol kas yra mažesnis nei kitų NIT, tačiau šią technologiją yra verta plėtoti, nes jos „išsiurbimo“ savikaina yra beveik nulinė.

Vandenynų vaidmuo

Kaip jau buvo rašyta ir kaip matoma iš paveiksluose pateikiamų „anglies ciklo“ duomenų, didžioji dalis Žemės paviršiaus anglies yra susikaupusi ne miškuose ar Amazonės džiunglėse, o vandenynuose ar vandenynų dugne (dabartiniame ar istorijos bėgyje buvusiam) susidariusiose nuosėdinėse uolienose, daugiausia klintyse. Iki šiol galimybės išnaudoti vandenynų ir jų augmenijos pajėgumus padidinti atmosferoje esančio CO₂ absorbciją yra mažai tyrinėtos. Kaip jau buvo minėta, JAV akademinis komitetas (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019), tyrinėjęs įvairių NIT panaudojimo galimybes, į vandenynų milžinišką potencialą atkreipė dėmesį, tačiau dėl patikimų mokslinių tyrimų duomenų stokos, kol kas nenagrinėjo su vandenynais susietų NIT galimybių, tačiau pažadėjo tam skirti savo sekantį raportą.

2018 metais žurnale „*Frontiers in Marine Science*“ pasirodžiusiame apžvalginiame straipsnyje (Gattuso J.-P., et al., 2018) išsamiai aptarta iki šiol žinomi tyrimų rezultatai, tiek panaudojant vandenynus, kaip atsinaujinančios energetikos šaltinius, tiek ir sukuriant naujas NIT, išnaudojant vandenynų bei jų augmenijos, ir ypač – dumblių, fotosintezės bei anglies saugojimo galimybes.

Atmosferoje esantis anglies dvideginis tirpsta vandenyje, jį sugeria vandenynuose tarpstantys dumbliai, kurie yra svarbi vandenynų gyvūnijos maitinimosi grandinės dalis. Kadangi dumbliai sukuria apie 40 nuošimčių visos Žemėje fotosintezės metu pagaminamos organinės anglies, todėl būtent jie, o ne miškai turėtų būti vadinami Žemės plaučiais (Schmidt L.J., 2000).

Dalis dumblių sugerto anglies dvideginio per maitinimosi grandinę nusėda klinčių pavidalu. Klinčty (CaCO₃) yra nuosėdinė uoliena daugiausia sudaryta iš mineralo kalcito. Jos susidaro iš jūrinių organizmų skeletų, kriauklių liekanų, kurios ir sudaro didelius klinties klodus – net apie dešim-

tadalį visų nuosėdinių uolienu. Tokiu būdu per maitinimosi grandinę dumblių sugertas anglies dvideginis ilgiems amžiams surišamas klintyse.

Nemažą dalį papildomo anglies dvideginio, kuris kiekvienais metais į atmosferą patenka dėl žmonijos veiklos, tiesiogiai sugeria viršutinis vandenynų sluoksnis. Pasaulyje didėjant anglies dvideginio išlakoms, didėja ir vandenynų sugeriamo anglies dvideginio, kuris ištirpęs vandenyje virsta angliarūgšte, kiekis. Šaltesnis vanduo ją išlaiko geriau, todėl vandenynų temperatūrai kylant, ateityje vandenynų galimybės sugerti anglies dvideginį mažės.

Kita bėda yra ta, kad vandenynuose didėjant angliarūgštės kiekiui, pastebimas vandenynų rūgštėjimas. Tarp 1994 ir 2007 metų vandenynai sugėrė 34 gigatonas anglies dvideginio arba 31 nuošimtį viso per tą laiką žmonijos į orą išmesto šių dujų kiekio. Vandenynų rūgštingumas per pastaruosius 50 metų padidėjo 30 proc.

Dėl vandenynų rūgštėjimo sparčiau pradeda tirpti kalcio karbonato turinčios uolienos, koralų skeletai, moliuskų geldelės. Tokiu būdu išlaisvinama vis daugiau jose sukauptos anglies. Silpnėja vandenynuose vykstantys karbonizacijos procesai, ypač tai atsiliepia koralinių rifų ekosistemoms. Be to vandenynų rūgštėjimas daro neigiamą poveikį žuvims, ypač jų kvėpavimui (Gruber N. ir kt., 2019).

Dumbliai yra klimato kaitos karaliai

Prieš 3 milijardus metų atsiradę fotosintezę atliekantys dumbliai iš esmės pakeitė gyvybės raidą. Jie pirmą kartą praturtino Žemės atmosferą deguonimi, sukeldami iki tol klestėjusių anaerobinių organizmų žūtį ir atverdami kelią šiuolaikinėms gyvybės rūšims.

Dumbliais vadinama plati jūrose ir vandenynuose aptinkamų organizmų įvairovė, kuri neturi vieno bendro visiems priimtino apibrėžimo. Vienas dažniausiai vartojamų dumblių apibūdinimų nurodo, kad jiems būdingas gebėjimas atlikti fotosintezę, o tai reiškia surišti ore esantį anglies dvideginį. Didžiausias nesutarimas kyla dėl vadinamųjų melsvabakterių (cianobakterijų), kurios žinomos kaip pirmieji organizmai Žemėje, sugebėję atlikti fotosintezę. Tačiau, kaip ir visos bakterijos, jos neturi branduolio, todėl biologiškai priskiriamos visai kitai grupei nei kiti sudėtingesnes ląsteles turintys dumbliai.

Taigi dumbliai nėra griežtai mokliškai apibrėžti ir apima labai plačią organizmų įvairovę, kuri tarpusavyje biologiškai nėra labai susijusi ir neturi vieno bendro protėvio. Dumbliais laikomi ir tokie vienaląsčiai organizmai, kaip chlorelės, ir milžiniškos, iki 50 metrų ilgio siekiančios laminarijos, priskiriamos rudadumbliams. Vertinama, kad dumblių įvairovė gali siekti iki 200 000–800 000 skirtingų rūšių. Dumbliai, neįskaitant melsvabakterijų, kiekvienais metais suriša apie 10 mlrd. tonų anglies dvideginio (Fondriest Environmental, Inc., 2014).

Įvairios dumblių rūšys pasižymi skirtingomis savybėmis bei augimvietėmis. Kai kurios jų teikia pirmenybę sekliems ir sluoksniuotiems vandenims, kiti veši giliai sumaišytuose vandenyse. Prie Antarktidos ir Arkties ledynų gyvenančios tokios skirtingą terpę mėgstančios dumblių rūšys smarkiai skiriasi ir galimybėmis sugerti anglies dvideginį. Todėl sąlygų šalia tirpstančių ledynų keitimasis gali daryti įtaką dumblių populiacijų persiskirstymui bei globaliai temperatūrai. (Arrigo K.R. ir kt., 1999).

Kaip jau minėta, būtent dumbliai (turima omenyje melsvabakterijas) prieš 3 milijardus metų pradėjo fotosintezę. Šiuo metu jau yra galutinai nustatyta, kad vadinamieji stromatolitai – karbonatinių iškasenų sluoksniai, randami buvusių negilių vandens telkinių dugne – yra senovinių melsvabakterijų liekanos. Yra aptikti net iki kilometro gylio stromatolitų sluoksniai.

Net ir dabar šios bakterijos tebėra atsakingos už apie trečdajį viso pasaulyje pagaminamo deguonies ir atitinkamo kiekio anglies dioksido surišimo.

Melsvabakterės nereiklios maisto medžiagoms ir atsparios nepalankiems aplinkos veiksniams, todėl labai išplitusios visuose vandens telkiniuose. Pažymėtina, kad dumbliai fotosintezės mechanizmą paveldėjo būtent iš melsvabakterijų, kurios gamina deguonį kaip šalutinę fotosintezės medžiagą. Šiuo metu žinoma apie 400 šių bakterijų rūšių

Kai kurios dumblių rūšys yra jautrios geležies trūkumui vandenyje, nors ir nebūtų kitų maisto medžiagų trūkumo. Nustatyta, kad tokiomis sąlygomis pasižymi apie trečdalis visų vandenynų ploto (Boyd P.W. ir kt., 2007). Pastaruoju metu atliekamos studijos, koks papildomas „tręšimas“ geležies miltelių pavidalu užtikrintų dumblių vešėjimą dideliuose vandenyno plotuose. (Emerson D., 2019).

Bendrovė *Global Algae Innovations* Havajuose 13 hektarų plote augina dumblius ieškodama būdų, kaip juos auginti kuo greičiau ir mažiausiomis sąnaudomis. Įmonės pasiekimai rodo, kad šalia įprastų 500 MW anglinių elektros jėgainių įkurdinus iki 1000 hektarų ploto dumblių fermas, būtų galima sugerti beveik visą jėgainių į orą išmetamą anglies dvideginį. Skačiuojama, kad kilogramui dumblių biomasės užauginti reikia apie 2,7 kilogramo anglies dvideginio (Nordrum A., 2018).

Anglies dvideginio surinkimas ir „įkalinimas“ vandenynuose: naujausi mokslinės ir technologinės pažangos žingsniai

Nors kaip jau buvo minėta, diskusijose apie kovą su klimato kaita iki šiol daugiausia dėmesio buvo skiriama paieškai būdų, kaip sumažinti žmogaus sukeltą anglies išmetimų į atmosferą padidėjimą, tačiau pastaruoju metu vis plačiau imama kalbėti ir apie naujas priemones, kurios padėtų surinkti ir įkalti anglies dvideginį, išnaudojant vandenynų ir jų augmenijos potencialą.

Kaip jau minėta, didžioji anglies ciklo dalis vyksta vandenynuose. Būtent čia daugiausia anglies dioksido sugerama ir surišama.

Vienaląščiai dumbliai, kitaip dar vadinami fitoplanktonu, atsakingi už beveik pusę visos žemėje vykstančios fotosintezės metu sugeriamo anglies dvideginio. Taigi jie yra ne tik svarbiausias pasaulio klimatą veikiantis veiksnys, bet ir ypač svarbi įvairios vandenyno gyvūnijos maitinimosi grandinės dalis, jie yra maisto šaltinis įvairiems moliuskams, kitiems bestuburiams. Fitoplanktono gausa labai priklauso nuo vandenyne vandenyje esančių mikroelementų jonų. Teigiama, kad dėl pastaruoju metu vykstančių klimato pokyčių fitoplanktonas sparčiai nyksta (Secchi Disk Foundation, 2020).

Kadangi kai kuriuose Pasaulinio vandenyno regionuose (pvz., Pietų vandenyne) fitoplanktono yra mažai dėl įvairių mikroelementų stokos, siūloma šiuos regionus jais praturtinti. Tokiu būdu tikimasi padidinti fitoplanktono kiekį ir sugerti daugiau anglies dioksido.

Pastaruoju metu dirbtinai auginami vienaląščiai dumbliai ir mėlynbakterijos vis plačiau panaudojamos komercinį panaudojimo potencialą turinčioms anglies dvideginio surišimo technologijoms (kitaip tariant, NIT) kurti. Atliekami tyrimai, kokios dumblių ir bakterijų rūšys suriša daugiausia į juos maitinančią terpę tiekiamo anglies dvideginio. (Environmental Technology, 2013).

2014 metais žurnale *Applied Biochemistry and Biotechnology* buvo paskelbti pirmieji straipsniai aprašantys vadinamąją BICCAPS (*Biocarbonate-based Integrated Carbon Capture and Algae Production System* – Integruotos anglies surišimo ir dumblių auginimo sistemos naudojant bikar-

bonatus) technologiją, kuri leidžia eksperimentinei maitinamai terpei naudoti ne lakias anglies dvideginio dujas, bet bikarbonatų tirpalą (Chi Z. ir kt, 2014). Bikarbonatams gauti naudojamas anglies dvideginis. Tokiu būdu užaugintų dumblių biomasė yra tinkama trumpalaikiam anglies saugojimui. Dumbliai turi didelį kiekį riebiųjų rūgščių, todėl gauta biomasė gali būti naudojama kaip pagrindas anglies dvideginio išlakų požiūriu neutraliam biodyzelinui gaminti.

Taip pat atliekami tyrimai siekiant išaiškinti už fotosintezę atsakingus genus bei genų inžinerijos metodais pasiekti, kad dumbliai sugertų ir surištų kuo daugiau anglies.

” **Atliekami tyrimai siekiant išaiškinti už fotosintezę atsakingus genus bei genų inžinerijos metodais pasiekti, kad dumbliai sugertų ir surištų kuo daugiau anglies**

Pietų Korėjoje atliekami bandymai dirbtinai auginti įvairių rūšių daugialąsčius dumbliaus. Šalis yra sukūrusi vadinamąją Pakrantės anglies dvideginio sugėrimo juostą, kuri susideda iš dirbtinių ir natūralių sąžalynų. Atlikti skaičiavimai rodo, kad įveikus jūržolių sąžalynus 9 proc. vandenynų, būtų galima kasmet surinkti papildomus 53 milijardus tonų anglies dvideginio (kasmetinės išlajos dėl žmonijos veiklos yra apie 40 milijardų tonų).

VIII. Pristatymas ir galimybės

Net ir visiškai sustabdžius dėl žmogaus veiklos atsirandančias šiltnamio dujų išlakas, klimato šiltėjimo kurį laiką sustabdyti nepavyks dėl temperatūros padidėjimo sukeltų antrinio šiltnamio dujų atpalaidavimo iš amžinojo įšalo sričių ar vandenynų.

Todėl turime būti pasiruošę, kad XXI amžiuje Lietuvoje vis dažniau pasitaikys karščio bangų (kai maksimali oro temperatūra viršys 30 °C), sausrų, liūčių, potvynių, audrų.

Tokių reiškinų poveikis gali būti labai įvairus: potencialus jūros lygio kilimas kol kas gal dar nebus Lietuvai didžiausia grėsmė, tačiau klimato kaita gali daryti reikšmingą įtaką mūsų žemdirbystei ir tai, kokie augalai bus labiausiai prisitaikę prie naujų klimatinių sąlygų. Klimato kaitos sukelti ekstremalūs gamtos reiškiniai gali labai stipriai paveikti daugelį mūsų gyvenimo sričių, o mes tam kol kas nesame pasirengę.

Prisitaikymas prie klimato kaitos yra gebėjimas derintis prie kintančių klimato sąlygų – sumažinti galimus nuostolius, išnaudoti klimato kaitos teikiamas naujas galimybes, pasirengti pokyčiams ir kovai su pasekmėmis.

Pavyzdžiui, viena iš stiprėjančių gamtos stichijų labiausiai pažeidžiamų infrastruktūrų yra žemos įtampos elektros energijos tiekimo tinklas. Orinės elektros linijos kasmet patiria vis didesnį poveikį, didėja dėl jų remonto patiriama žala.

Dėl stiprėjančių audrų darysis sudėtingesnė Klaipėdos uosto veikla, reikės daugiau lėšų skirti molų, krantinių priežiūrai.

Tai reiškia, kad šalia valstybės ir kiekvieno piliečio įgyvendinamų anglies dvideginio išlakų mažinimo priemonių, neišvengiamai vis daugiau dėmesio ir lėšų turės būti skiriama valstybės įvairios infrastruktūros modernizavimui ir jos pritaikymui klimato kaitos pasekmėms.

Kartu su didėjančiomis grėsmėmis, atsirasi ir naujų galimybių. Jau dabar pastebima, kad pailgėjo augalų vegetacijos laikas, ypač rudenį. Tai leis auginti naujas kultūras, pavyzdžiui kukurūzus, bet teks atsisakyti kai kurių šiuo metu auginamų. Keisis ir miškų augmenija.

Globalūs klimato kaitos procesai ir globalios pastangos kovoti su klimato kaita kartu atveria ir visai naujas galimybes tiek moksliniams tyrimams, inovacijoms ar visai naujai industrijai, skirtiems kovos su klimato kaita pažangai. Lietuva turėtų būti pasirengusi pasinaudoti šiomis naujomis galimybėmis.

KELIOS IŠ DAUGELIO SRIČIŲ, KURIOSE LIETUVOS TURIMAS MOKSLINIS IR TECHNOLOGINIS POTENCIALAS GALĖTŲ BŪTI EFEKTYVIAI IŠNAUDOTAS

Profesoriaus Virginijaus Šikšnio sukurta revoliucinė genų redagavimo (CRISPR) technologija (kurios išradėjai, tikimės, dar sulauks Nobelio premijos įvertinimo). Tai technologija, kuri gali sudaryti galimybes redaguoti vandenynų dumblių genus, siekiant gerokai padidinti jų gebėjimą absorbuoti atmosferos anglį. Darbai šioje srityje galėtų iš esmės pakeisti kovos su klimato kaita sampratą, sudarant galimybes naujomis technologijomis ne tik kovoti su žmogaus veikla sukurtomis anglies dioksido išlakomis į atmosferą, bet ir žymiai efektyviau absorbuojant į atmosferą jau patekusį anglies dioksidą. Ši genų redagavimo technologija taip pat bus ypač svarbi žmonijai ieškant būdų, kaip efektyviai kurti naujas maistinių augalų veisles, kurios būtų arba atsparios klimato kaitai arba būtų prisitaikiusios prie naujų klimatinių sąlygų.

Lietuva taip pat galėtų efektyviai išnaudoti savo mokslinį ir technologinį potencialą, ieškant būdų **kaip sukurti cemento gamybą, kuri nebūtų tokia tarši anglies dioksido išlakomis**. Lietuva cemento gamyboje turi daug patirties, turi sukaupusi didelį mokslinių tyrimų potencialą šioje srityje ir turi didelius gamtinius klinties resursus.

Svarbiausi klinties telkiniai Lietuvoje yra ankstyvojo Permo periodo. Cemento gamybai eksploatuojami telkiniai yra šiaurinėje Lietuvos dalyje daugiausia Naujojoje Akmenėje (sluoksniai arčiausiai prie Žemės paviršiaus). Šios uolienos yra išžvalgyta apie 350 mln. t. Po ledynmečio susidariusi ežerinė klintis taip pat gali būti eksploatuojama, tačiau jos klodai yra santykinai mažesni. Šių uolienų telkinių išžvalgyta apie 30 mln. t.

Cemento gamybos, kuri šiais laikais sukelia iki 5 proc. anglies dioksido išmetimų (žymiai daugiau nei jų sukelia aviacija), modernizavimas, siekiant radikaliai sumažinti tokią taršą, galėtų tapti vienu iš Lietuvos strateginių prioritetų.

Lietuva taip pat galėtų skirti žymiai daugiau dėmesio moksliskai tyrinėdama ir įgyvendindama **naujas NIT, susijusias su žemdirbyste bei miškininkyste**.

Taip pat **bioenergetikos projektų, paremtų BCSS ir BICCAPS technologijomis, tyrimas**, apimant ir energijos gamybos metu surišto anglies dvideginio požeminį laidojimą galėtų tapti vienu iš Lietuvos technologinių tyrimų prioritetu.

Išvados

Lietuvai pats laikas suprasti, kad XXI amžius bus kovos su klimato kaita amžius. Turime išmokti ne tik efektyviai įgyvendinti prisiimtus tarptautinius įsipareigojimus, bet privalome šiuose neišvengiamuose globaliuose procesuose pamatyti ir atsiveriančias milžiniškas galimybes. Ne tik dalyvauti kovos su klimato kaita procese, bet ir pasirinkti tinkamus taikinius bei tinkamas priemones. O kad tai galėtume padaryti, turime žymiai geriau suprasti tuos žmonių veiklos procesus, dėl kurių sukeliama tarša klimatas taip sparčiai keičiasi. Ir žymiau geriau suprasti tuos gamtos procesus, galinčius padėti stabdant klimato kaitą.

Tam, kad geriau suprastume šiuos sudėtingus procesus, ir yra skirta ši apžvalga.

Pagrindinių faktų rinkinys

Šiltnamio efektas ir CO₂ koncentracija atmosferoje

Didžiausią įtaką šiltnamio efektui daro anglies dvideginis (66 proc.), metanas – 16 proc., įvairios fluoro dujos – 12 proc., azoto suboksidas – 6 proc..

Milijonų metų senumo ledo šerdys parodė, kad šiltuoju metų laiku anglies dioksido koncentracija jose buvo tik apie 0,028 proc.

Ledynmečių laikotarpiais, kai Žemė buvo maždaug 4–7 laipsniais šaltesnė nei praėjusiame amžiuje, anglies dioksido atmosferoje buvo apie 0,018 proc.

Paskutinį kartą panaši anglies dvideginio koncentracija Žemėje buvo prieš 3–5 mln. metų, kai pasaulinio vandenyno lygis buvo apie 20 metrų aukštesnis, o vidutinė temperatūra 2–3 C laipsniais didesnė nei dabar.

Anglies dioksido lygis atmosferoje 2019 m. buvo vidutiniškai 410 ppm (CO₂ dalelių skaičius milijone oro dalelių) (0,041 proc.). Tai yra didžiausias CO₂ lygis atmosferoje per pastaruosius 800 tūkst. metų.

Anglies dioksido kiekis ore dėl žmonijos veiklos pramoniniu laikotarpiu nuolat didėja: 1700 metais – 275 ppm, 1950 m. – 320 ppm, 2020 m. – 411 ppm.

Anglies dioksido ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos

Daugiausia anglies dvideginio išmetama deginant anglį, naftos produktus, gamtines dujas, gaminant cementą.

Nuo 1750 metų žmonija į atmosferą išmetė daugiau nei 2000 mlrd. tonų anglies dvideginio.

Nuo 1850 metų anglies dvideginio išlakos dėl žmonijos veiklos išaugo nuo 2 mlrd. (1850 m.) iki 37 mlrd. tonų (2013 m.) per metus.

Žemės atmosferoje iš viso yra 3070 mlrd. tonų anglies dvideginio (2013).

Per 2013 metus pasaulyje dėl žmonijos veiklos buvo išmesta 39,7 mlrd. tonų CO₂.

Dėl iškastinio kuro deginimo 2013 metais buvo išmesta 36,4 mlrd. tonų CO₂.

Dėl žemės naudojimo 2013 metais buvo išmesta 3,4 mlrd. tonų CO₂.

Vandenynuose 2013 metais buvo sugerta 10,6 mlrd. tonų CO₂.

Sausumoje 2013 metais buvo sugerta 9,2 mlrd. tonų CO₂.

Anglies dvideginio kiekis atmosferoje 2013 metais padidėjo 19,8 mlrd. tonų.

Anglies dioksido (CO₂) emisijos 2019 m. išaugo 0,6 proc., palyginus su praėjusiais metais.

2017 m. Lietuvoje į atmosferą buvo išmesta 20,4 mln. tonų šiltnamio efektą sukeliančių dujų – apie 1,7 proc. daugiau nei 2016 m. Daugiausia šiltnamio dujų išmetė transportas (28,1 proc.), energetika (27,3 proc.), žemės ūkis (21,5 proc.).

Klimato kaitos poveikis aplinkai

Per XX amžių vidutinė pasaulinė temperatūra pakilo 0,74 °C. 1880–2016 metais globalioji oro temperatūra padidėjo 0,92 °C.

Vidutinė temperatūra Vilniaus mieste, lyginant su 1900 metais yra padidėjusi 0,7–0,9 C.

17 iš 18 karščiausių per visą stebėjimų istoriją metų buvo užregistruota nuo 2001-ųjų ir patys šilčiausi iš jų buvo penkeri pastarieji metai.

Su klimato šiltėjimu susijusių gaivalinių nelaimių nuostoliai 2017-aisiais viršijo 500 mlrd. dolerių (439 mlrd. eurų).

Nuo XX amžiaus pabaigos pasaulinio vandenyno lygis vidutiniškai pakyla 3,2 mm per metus, o nuo 1870 metų jis jau pakilo beveik 20 centimetrų.

Nuo 2005 metų vandenynų lygis kyla 2,5 karto sparčiau nei vidutiniškai XX amžiuje.

Klimato kaitos poveikio mažinimo priemonės

Anglies dioksido išlankos kasmet iki 2030-ųjų turi mažėti po 7,6 proc., jei norima apriboti pasaulinės temperatūros kilimą iki 1,5 laipsnio Celsijaus šio šimtmečio pabaigoje.

Norint pasiekti, kad iki 2100 temperatūra nepakiltų daugiau nei 2 laipsnių nuo praėjusio amžiaus lygio, reikia sugebėti 2050 metais CO₂ sugėrimo technologijomis iš atmosferos per metus pašalinti 10 mlrd. tonų CO₂, o 2100 – 20 mlrd. tonų.

Šaltinių sąrašas

1. Andrew R.M. (2018). *Global CO₂ emissions from cement production*. Earth System Science Data, Vol. 10, pp.195–217. DOI: 10.5194/essd-11-1675-2019.
2. Aplinkos apsaugos agentūra (2019). *Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis 2017 ir tendencijos 1990–2017 m.* Prieiga per internetą: http://klimatas.gamta.lt/files/Tendencijos_1990-2017final.pdf (tikrinta 2020.03.05)
3. Arrigo K.R. et al (1999 m. sausio 15 d.). *Phytoplankton community structure and the drawdown of nutrients and CO₂ in the southern ocean*. Science, Vol. 283, Issue 5400, pp 365-367. DOI: 10.1126/science.283.5400.365
4. Bastin J.-F., et al. (2019 m. liepos 5 d.). *The global tree restoration potential*. Science, Vol. 365, Issue 6448, pp. 76-79. DOI: 10.1126/science.aax0848.
5. Boyd P.W. et al. (2007 m. vasario 2 d.). *Mesoscale Iron Enrichment Experiments 1993-2005: Synthesis and Future Directions*. Science, Vol. 315, Issue 5812, pp. 612-617. DOI: 10.1126/science.1131669
6. Brannen P. (2019 m. rugpjūčio 27 d.). *The Amazon Is Not Earth's Lungs*. The Atlantic.
7. Carbon Dioxide Information Analysis Center (2016 m. balandis). *Recent Greenhouse Gas Concentrations*. DOI: 10.3334/CDIAC/atg.032.
8. Chi Z. et al. (2014). *Selection of microalgae and cyanobacteria strains for bicarbonate-based integrated carbon capture and algae production system*. Applied Biochemistry and Biotechnology. Vol. 172, Issue 1, pp.447-457. DOI: 10.1007/s12010-013-0515-5
9. Emerson D. (2019 m. vasario 7). *Biogenic Iron Dust: A Novel Approach to Ocean Iron Fertilization as a Means of Large Scale Removal of Carbon Dioxide From the Atmosphere*. Frontiers in Marine Science. DOI: 10.3389/fmars.2019.00022.
10. Environmental Technology (2013), Volume 34.
11. European Academies' Science Advisory Council (2018). *Negative emission technologies: What role in meeting Paris Agreement targets? EASAC policy report 35*. Prieiga per internetą: https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Negative_Carbon/EASAC_Report_on_Negative_Emission_Technologies.pdf (tikrinta 2020.03.05)
12. Europos Komisija (2019). *Europos Žaliosios kursas. Komisijos komunikatas*, KOM(2019)640 galutinis.
13. Europos Komisija (2020). *2020 m. Europos semestras. Struktūrinių reformų pažangos vertinimas, makroekonominio disbalanso prevencija ir naikinimas ir pagal Reglamentą (ES) Nr. 1176/2011 atliktų nuodugnių apžvalgų rezultatai. Komisijos komunikatas*, KOM(2020)150 galutinis.
14. Fondriest Environmental, Inc (2014 m. spalio 22 d.). *Algae, Phytoplankton and Chlorophyll. Fundamentals of Environmental Measurements*. Prieiga per internetą: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/algae-phytoplankton-and-chlorophyll> (tikrinta 2020.03.05.)
15. Fuss, S., Canadell, J., Peters, G. et al. (2014). *Betting on negative emissions*. Nature Climate Change, Vol. 4, pp. 850–853. DOI: 10.1038/nclimate2392.
16. Gattuso J.-P. et al. (2018 m. spalio 4 d.), *Ocean Solutions to Address Climate Change and Its Effects on Marine Ecosystems*. Frontiers in Marine Science. DOI: 10.3389/fmars.2018.00337
17. Gruber N. et al. (2019 m. kovo 15 d.). *The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007*. Science, Vol. 363, Issue 6432, pp. 1193-1199. DOI: 10.1126/science.aau5153

18. Hansen, J., et al. (2005), *Efficacy of climate forcings*, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, Issue D18104. DOI:10.1029/2005JD005776.
19. Jouzel, J., et.al. (2007 m. rugpjūčio 10 d.). *Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years*. Science, Vol. 317, Issue 5839, pp.793-797. DOI: 10.1126/science.1141038.
20. Kramer D. (2020), *Negative carbon dioxide emissions*. Physics Today, Vol. 73, No 1, pp.44-51. DOI: 10.1063/PT.3.4389
21. Le Quéré, et.al (2018). *Global Carbon Budget 2017*. Earth System Science Data Vol. 10, pp. 405-488. DOI: 10.5194/essd-10-405-2018.
22. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba (LHMT). *Klimato kaitos priežastys ir pasekmės*,. Prieiga per internetą: <http://www.meteo.lt/lt/klimato-kaita> (tikrinta 2020.03.05)
23. Lietuvos Respublikos Seimas (2019). *Nacionalinės klimato kaitos valdymo politikos strategijos projektas*. Reg.nr.: 19-13060, reg.data: 2019.11.11.
24. Lüthi, D., et.al. (2008 m. gegužės 15 d.). *High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present*. Nature, Vol. 453, pp. 379-382.
25. Ma Q. (1998). *Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide*. NASA Goddard Institute for Space Studies. Prieiga per internetą: https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/ma_01/ (tikrinta 2020.03.05)
26. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019). *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda*. Washington, DC: The National Academies Press. DOI: 10.17226/25259.
27. National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division (NOAA). *NOAA's Annual Greenhouse Gas Index (An Introduction)*. Prieiga per internetą: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/> (tikrinta 2020.03.05)
28. Nordrum A. (2018 m. gegužės 30 d.). *New Tech Could Turn Algae Into the Climate's Slimy Savior*. IEEE Spectrum. Prieiga per internetą: <https://spectrum.ieee.org/energy/environment/new-tech-could-turn-algae-into-the-climates-slimy-savior> (tikrinta 2020.03.05).
29. Ramanathan V., Carmichael G. (2008 m. kovo 23 d.). *Global and regional climate changes due to black carbon*. Nature Geoscience, Vol. 1, pp.221-227.
30. Schmidt L.J. (2000 m. rugpjūčio 7 d.) *Polynyas, CO₂ and Diatoms in the Southern Ocean*. NASA Earth Observatory. Prieiga per internetą: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Polynyas> (tikrinta 2020.03.05)
31. The Secchi Disk Foundation (2020). Prieiga per internetą: <http://www.secchidisk.org> (tikrinta 2020.03.05).
32. Šiaurės Amerikos aeronautikos asociacija (NASA). *Climate Change: How Do We Know?* Prieiga per internetą: <https://climate.nasa.gov/evidence/> (tikrinta 2020.03.05)
33. United Nations Environment Program (UNEP, 2017). *The Emissions Gap Report 2017. A UN Environment Synthesis Report*. 2017.
34. United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> (tikrinta 2020.03.05)
35. West J. (2019 m. rugsėjo 19 d.). *Climate explained: why carbon dioxide has such outsized influence on Earth's climate*. The Conversation. Prieiga per internetą: <https://theconversation.com/climate-explained-why-carbon-dioxide-has-such-outsized-influence-on-earths-climate-123064> (tikrinta 2020.03.05)

Šioje apžvalgoje pristatoma klimato kaitos samprata: procesas, pagrindinės priežastys ir lemiantys veiksniai, numanomi padariniai. Darbe apžvelgiamas anglies ciklas ir technologinės galimybės paveikti anglies dvideginio kiekį atmosferoje, kovos su klimato kaita priemonės, įskaitant technologines priemones, tokias kaip neigiamų išlakų technologijos. Darbas parengtas remiantis pastarųjų metų pasaulio mokslininkų tyrimų rezultatais, publikuotais aukštos mokslinės vertės leidiniuose. Lietuvos ir Europos Sąjungos sprendimų priėmėjams darbas suteikia naujų argumentų sprendžiant dėl tolesnės klimato politikos raidos

In this overview, the concept of climate change is presented: the process, main contributing factors, foreseeable consequences. The carbon cycle as well as technological abilities to influence atmospheric carbon, political and technological measures to combat climate change, including negative emission technologies, are overviewed in the paper. The paper is based on recent findings published in globally acclaimed scientific publications. The paper provides for Lithuanian and European lawmakers new arguments on further development of climate policy.



Platinamas nemokamai