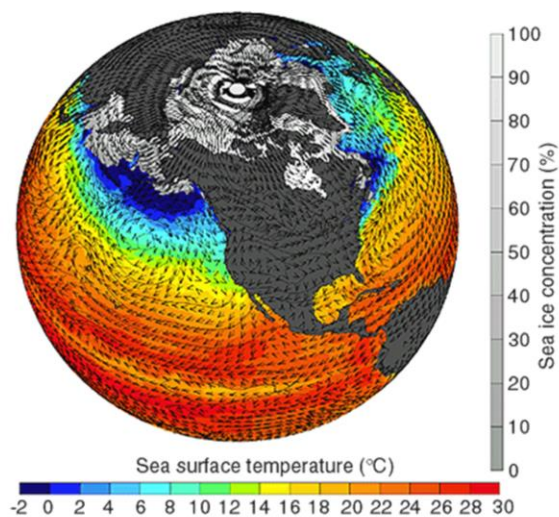
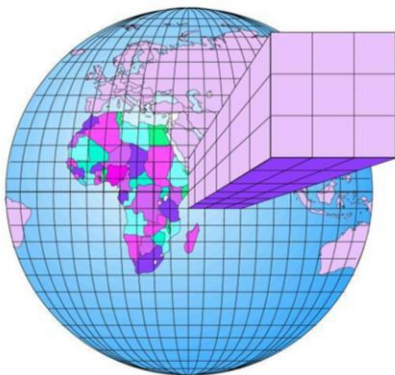


Klimato modeliavimas ir prognozavimas



Klimato modeliai

Klimato modelis – tai matematinis būdas pavaizduoti Žemės klimato sistemos būseną bei kaitą esamomis arba pakitusiomis sąlygomis



Klimato modelių struktūra:
Daugiasluoksnis iš atskirų gardelių
sudarytas jungtinis atmosferos ir
vandenyno bendrosios cirkuliacijos modelis

Kam reikalingi klimato modeliai:

- ▶ perprasti klimato sistemos fizikinę esmę
- ▶ gauti pilną vaizdą apie klimatą erdvėje ir laike
- ▶ prognozuoti ateities klimatą

Modeliuose labai sudėtinga klimato sistema yra supaprastinama

Šiuolaikinis klimato modelis tai daugiasluoksnis iš atskirų gardelių sudarytas jungtinis atmosferos ir vandenyno bendrosios cirkuliacijos modelis. Visas sausumos paviršius, vandenyno gelmės bei atmosferos storumė yra padalintas į atskirus struktūrinius vienetus, taip vadinamas gardelės. Gardelės dydis ir storis kinta priklausomai nuo modelio, tačiau gerėjant klimato sistemos pažinimo laipsniui bei kuriant vis galingesnius kompiuterius, atsiranda galimybė sutankinti modelio erdvinį horizontalųjį ir vertikalųjį tinklą bei gerokai padidinti klimato modelyje matematiškai aprašomų procesų atmosferoje ir vandenyne skaičių (... pav.). Jei pirmuosiuose klimato modeliuose gardelės kraštinės ilgis buvo apytiksliai lygus 500 km (tai reiškia, jog modelis apskaičiuodavo vidutinės klimato rodiklių charakteristikas 250 000 km² teritorijai), tai šiuo metu gardelės kraštinės ilgis kai kuriuose regioniniuose modeliuose nesiekia nei 20 km. Tokiu būdu mes galime geriau atskleisti teritorinius dabarties ir ateities klimato aspektus.

Šiuolaikiniuose klimato modeliuose įvertinamas spinduliuotės sklidimas klimato sistemoje, horizontalūs bei vertikalūs energijos mainai, paviršiniai procesai vykstantys vandenyno, sausumos ar ledo paviršiuje, vandens apytakos ratas, anglies ciklas ir kt. Labai svarbu tiksliai įvertinti procesus vykstančius vandenyne, nes jis gali sukaupti ir srovių pagalba pernešti milžinišką šilumos kiekį, mažina terminius kontrastus, yra svarbiausia drėgmės apykaitos dedamoji dalis. Taip pat klimato sąlygoms prie žemės paviršiaus didelį poveikį daro ir procesai aukštesniuose atmosferos sluoksniuose. Klimato modeliuose itin daug dėmesio skiriama tiksliai išorinio (Saulės aktyvumo kaita, orbitinių parametrų svyravimai) ir vidinio (vulkanizmas, antropogeninė veikla)

poveikio klimato sistemai vertinimui.

Paprasčiausias bedimensinis klimato modelis, kuris žinomas daugiau nei 100 metų

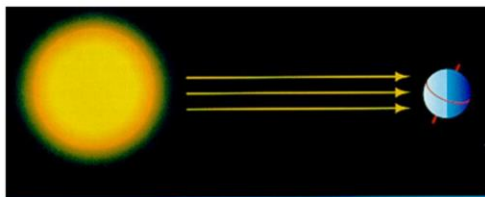
Klaudijaus-Klapeirono dėsnis (1834)
Stefano-Bolcmano dėsnis (1879)

$$4\pi R^2 \sigma \varepsilon T^4 = S(1 - \alpha)\pi R^2$$

$$4 \sigma \varepsilon T^4 = S(1 - \alpha)$$

$$T = -18.6^\circ\text{C} (\varepsilon=1)$$

$$T_T = 14.9^\circ\text{C} (\varepsilon=0.6)$$



a – vidutinis Žemės paviršiaus albedas (apie 0,36);
 S – Saulės konstanta (apie 1370W/m^2);
 πr^2 - Žemės paviršiaus plotas pasiekiamas tiesioginių Saulės spindulių;
 $4\pi r^2$ - visas Žemės paviršiaus plotas;
 σ – Stefano-Boltzmano konstanta ($5,67 \times 10^{-8}$);
 T – Žemės paviršiaus temperatūra ($^\circ\text{K}$);
 ε – daugiklis parodantis absorbcines atmosferos savybes.

Dėl to, jog atmosfera sugeria didelę dalį Žemės paviršiaus spinduliuojamos energijos bei dalį jos vėl grąžina Žemei ($\epsilon = 0,6$), Žemės paviršiaus temperatūra išauga nuo $-18,6$ iki $14,9^{\circ}\text{C}$. Šis $33,5^{\circ}$ skirtumas susidaro dėl vadinamojo natūralaus šiltnamio efekto.



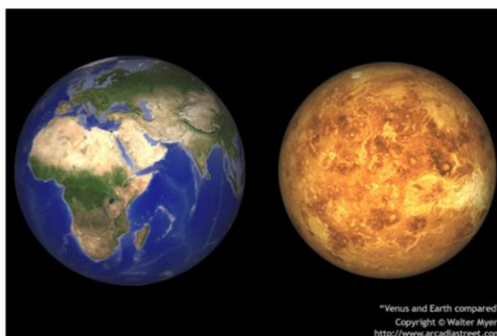
Žemė

Anglies dvideginis – 0,04 %
Paviršiaus temperatūra – 15 °C
Šiltnamio efektas - 33 °C

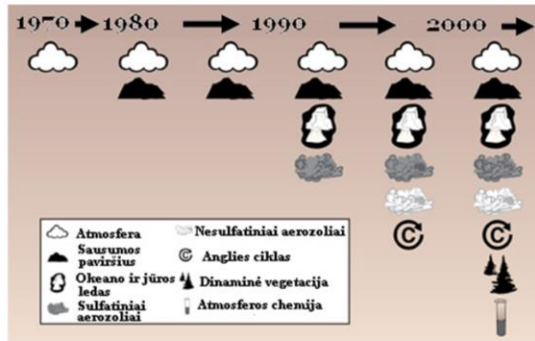


Venera

Anglies dvideginis – 96,5%
Paviršiaus temperatūra – 467 °C
Šiltnamio efektas - 285 °C



Atskirų klimato komponentų įtraukimas į modelių struktūrą



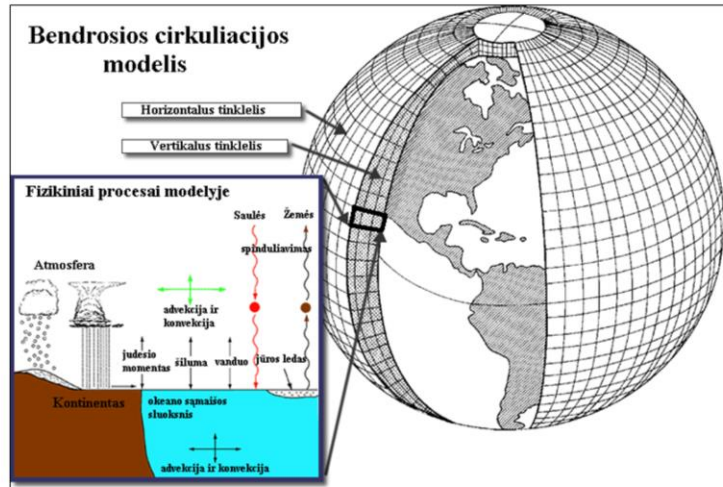
Lewis Fry Richardson (1881 - 1953)

Naujausiuose modeliuose
įtraukiami ir biogeocheminiai
ciklai

Anglų mokslininkas, kuris XX amžiaus 3-ojo dešimtmečio pradžioje pagrindė svarbiausius skaitmeninių orų prognozių sudarymo remiantis diferencialinių lygčių sprendimu principus

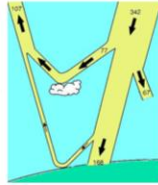
Bendrosios cirkuliacijos modeliai

Trijų dimensijų modelis į kurio schemas įtraukta ne tik atmosfera bei paklotinis paviršius, bet ir procesai vykstantys okeane.

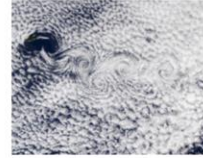


Svarbiausieji šiuolaikinių klimato modelių komponentai:

☄ **Spinduliuotė** – spindulių sklaidimo klimato sistemoje įvertinimas



☄ **Dinamika** – horizontalioji bei vertikalioji energijos pernaša



☄ **Drėgmė ir debesuotumas**

☄ **Paviršiniai procesai** vykstantys vandenyno, sausumos ar ledo paviršiuje



☄ **Chemija** – atmosferos cheminės sudėtis ir sąveika su kitais komponentais



Šiuolaikiniuose klimato modeliuose įvertinamas spinduliuotės sklaidimas klimato sistemoje, horizontalūs bei vertikalūs energijos mainai, paviršiniai procesai vykstantys vandenyno, sausumos ar ledo paviršiuje, vandens apytakos ratas, anglies ciklas ir kt. Labai svarbu tiksliai įvertinti procesus vykstančius vandenyne, nes jis gali sukaupti ir srovių pagalba pernešti milžinišką šilumos kiekį, mažina terminius kontrastus, yra svarbiausia drėgmės apykaitos dedamoji dalis. Taip pat klimato sąlygoms prie žemės paviršiaus didelį poveikį daro ir procesai aukštesniuose atmosferos sluoksniuose. Klimato modeliuose itin daug dėmesio skiriama tiksliam išorinio (Saulės aktyvumo kaita, orbitinių parametrų svyravimai) ir vidinio (vulkanizmas, antropogeninė veikla) poveikio klimato sistemai vertinimui.

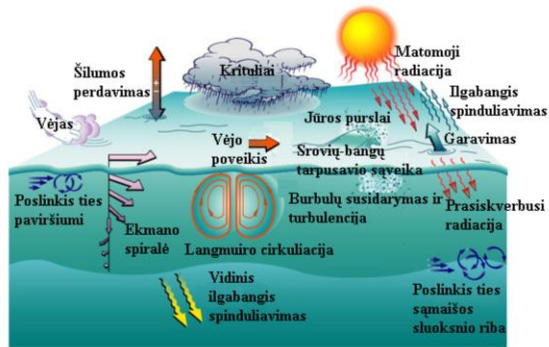
Vandenyne vykstančių procesų modeliavimas

Milžiniškos masės vandenynas, galintis sukaupti ir srovių pagalba pernešti daug šilumos, stabilizuoja klimatą ir aktyviai dalyvauja šilumos ir drėgmės apykaitoje.



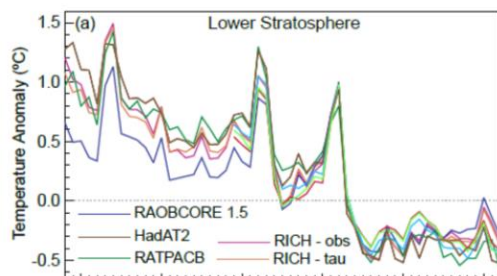
Problemos

- Priekrantinės srovės
- Vertikali sąmaiša



<https://www.youtube.com/watch?v=6vgvTeuoDWY>

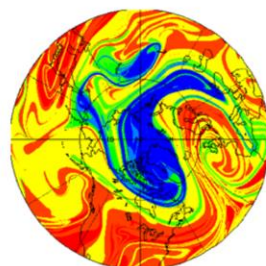
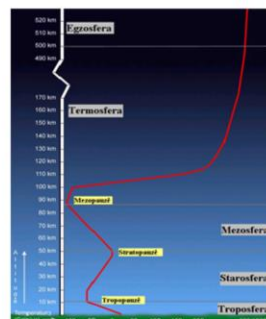
Stratosferoje vykstančių procesų modeliavimas



Stratosferos temperatūros kaita pagal AR 5

Oro temperatūros stratosferoje mažėjimo priežastys:

- Oro temperatūros troposferoje augimas
- Ozono sluoksnio plonėjimas
- Vandens garų kiekio stratosferoje augimas
- Planetinio masto bangų pobūdžio pasikeitimas



Temperatūros stratosferoje augimas aiškinamas tuo, kad šiame sluoksnyje ultravioletinę Saulės spinduliuotę intensyviai sugeria ozonas. Stratosferoje yra daugiau kaip 90 %, viso atmosferos ozono kiekio.

Anot Tarptautinės klimato kaitos komisijos remiantis skirtingais informacijos šaltiniais stratosfera nuo 1979 metų vėso 0,3-0,6 °C per dešimtmetį, o tai gerai atvirkščiai koreliuoja su pokyčiais apatinėje troposferoje. Panašios tendencijos išryškėjo ir analizuojant duomenis nuo 1958 metų. Temperatūros žemėjimas nebuvo tolygus. Jis dažnai pertraukiamas galingų vulkanų išsiveržimų. Jų metu į stratosferą patenka milžiniškas aerosolių kiekis, kurių smulkiausi elementai ore gali išbūti keletą mėnesių ar net metų. Jie sugeria Saulės spinduliuotę, todėl apatinė stratosferos dalis šyla, o žemės paviršių pasiekia mažesnis spinduliuotės srautas. Galingų vulkanų išsiveržimų metu (Tambora, 1815; Krakatau, 1883; Pinatubo, 1991) poveikį patyrė viso pasaulio klimatas – vidutinė globali temperatūra buvo laipsnio dalimis ar net keliais laipsniais žemesnė. Kita vertus, pastaruosius dvidešimt metų stratosferos temperatūra beveik nekinta.

Yra keli mechanizmai aiškinantys, kodėl oro temperatūra stratosferoje mažėjo. Pats paprasčiausias iš jų aiškina temperatūros žemėjimą ozono kiekio stratosferoje sumažėjimu. Mažiau ozono – mažiau ultravioletinės spinduliuotės yra sugerama, taigi atmosfera šiame lygyje šyla silpniau. Kitas mechanizmas sietinas su tuo, jog daugiau šiltnamio dujų sugeria daugiau ilgabangės žemės spinduliuotės troposferoje. Todėl troposfera šyla, o stratosferą pasiekia vis mažiau žemės spinduliuotės ir ji palaipsniui

vėsta (tai pastebima ir Veneroje, kur dėl šiltnamio dujų prie paviršiaus atmosferos temperatūra yra labai aukšta, tuo tarpu aukštesniuose sluoksniuose ji yra žemesnė nei Žemėje). Ozono koncentracijos mažėjimas lemia vėsimą apie 20 km aukštyje, o šiltnamio efekto stiprėjimas – 40-50 km aukštyje.

JAV ir Šveicarijos mokslininkai nustatė, jog stratosferos temperatūros žemėjimą galėjo sukelti vandens garų kiekio šiame atmosferos sluoksnyje didėjimas. Ir šis poveikis yra palyginamas su ozono kiekio mažėjimu. Tai, jog nuo XX amžiaus paskutiniojo dešimtmečio vidurio stratosfera nebevėsta sutampa su oro drėgmės pokyčių stratosferoje tendencijomis: jų kiekis pradėjo mažėti. Manoma, jog tai įvyko dėl pasikeitusių vertikalios oro maišymosi tropikuose sąlygų. Kol kas neaišku ar tai yra grįžtamasis klimato kaitos atsakas ar natūralus dešimtmečių trukmės ciklas.

Visa tai lėmė ne tik pokyčius stratosferoje, bet ir globalios oro temperatūros augimo lėtėjimą XXI amžiaus pradžioje. Savo ruožtu, staigus oro temperatūros didėjimas 1980-2000 metais galėtų būti didele dalimi (apie 30%) aiškinamas vandens garų kiekio pokyčiai stratosferoje. T.y. didėjant stratosferos vandens garų kiekiui apatinė stratosfera vėsta (nes didėja jos į tarpplanetinę erdvę išspinduliuojamas energijos kiekis), o oro temperatūra prie žemės paviršiaus auga (stiprėja šiltnamio efektas).

Nors mechanizmai reguliuojantys stratosferos temperatūrą nėra iki galo aiškūs, neabejotina, jog pokyčiai šiame atmosferos sluoksnyje yra glaudžiai susiję su klimato pokyčiais prie žemės paviršiaus.

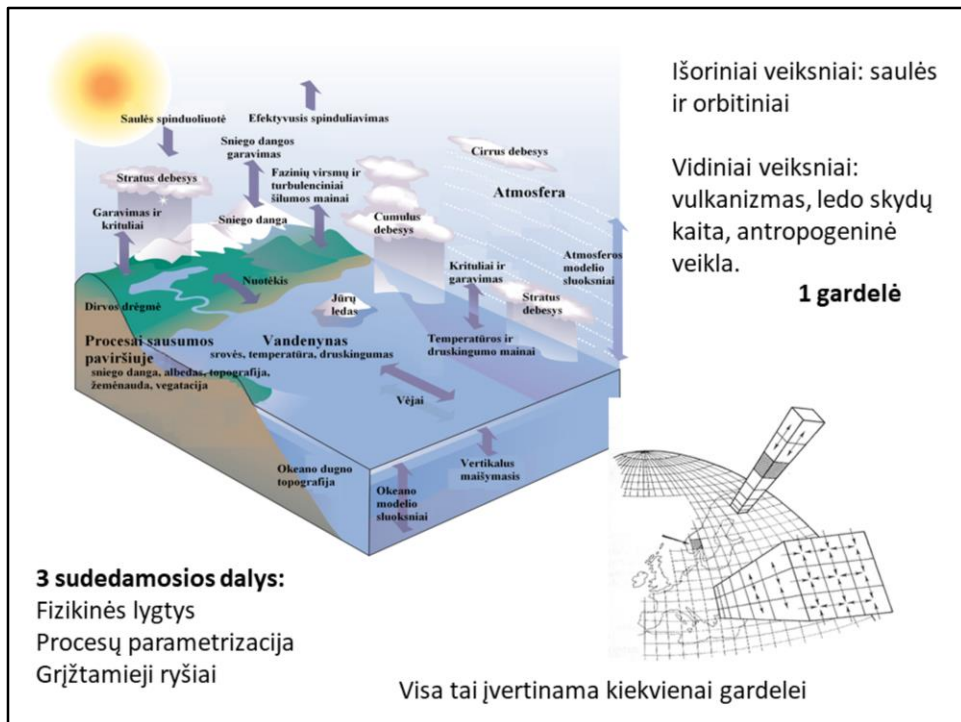
Ribinės ir pradinės modelių sąlygos

Ribinės sąlygos (*boundary conditions*) – tai svarbiausia informacija įvedama į klimato modelį: sausumos-vandenyno pasiskirstymas, kalnų aukštis, upių tinklas, Žemės orbita. Standartiniuose modeliuose taip pat įvedama informacija apie vegetacijos tipus, dirvos savybes, kalnų ledynus, ežerus ir šlapynes.



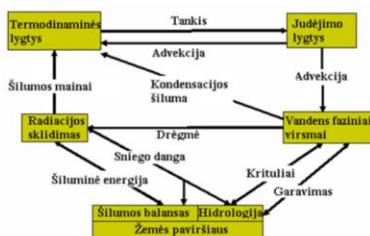
Pradinės sąlygos (*initial conditions*) - tai daugiausia vietovės klimatinės ir meteorologinės sąlygos (temperatūra, drėgmė, vėjo parametrai ir t.t.) modeliavimo pradžios laikotarpiui

Moderniuose modeliuose tai kas buvo ribinėmis sąlygomis anksčiau, gali tapti prognostiniais dydžiais. Pavyzdžiui, vegetacija kinta kaip klimato funkcija. Arba atmosferos cheminės sudėties kaita skaičiuojama kaip antropogeninės emisijos rezultatas. Vėlgi pasikeitusi vegetacija ar atmosferos sudėtis veikia visą klimato sistemą. Net nežymūs pasikeitimai ilginiui (modeliuojant klimato pokyčius daugeliui metų į priekį) gali daryti nemažą poveikį. Pavyzdžiui, ozono kiekio svyravimai lemia temperatūros, troposferos storio, stratosferinių vėjų režimo. Sausumos-vandenyno pasiskirstymo pokyčiai (dėl jūros lygio kilimo) veikia srovių režimą, konvekciją atmosferoje, energijos mainus.



Fizikinės lygtys

Bendrosios cirkuliacijos modelis grindžiamas pagrindiniais fizikos dėsniais: energijos, judesio momento bei masės tvermės dėsniais, o taip pat dujų būvio lygtimi.



Primitive equations for climate models

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -U \frac{\partial U}{\partial x} - V \frac{\partial U}{\partial y} - \omega \frac{\partial U}{\partial P} + fV - \frac{\partial \Phi}{\partial x} + F_x$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -U \frac{\partial V}{\partial x} - V \frac{\partial V}{\partial y} - \omega \frac{\partial V}{\partial P} - fU - \frac{\partial \Phi}{\partial y} + F_y$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial P} = -\frac{RT}{P} \quad \leftarrow \text{Hydrostatic Balance}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial P} = 0$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -U \frac{\partial T}{\partial x} - V \frac{\partial T}{\partial y} + \omega \left(\frac{RT}{c_p P} - \frac{\partial T}{\partial P} \right) + \frac{H}{c_p}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -U \frac{\partial q}{\partial x} - V \frac{\partial q}{\partial y} - \omega \frac{\partial q}{\partial P} + e - p$$

U, V, and omega are the three components of the wind (in pressure coordinates).

T is temperature, **P** is pressure, **q** is specific humidity, **F** is friction (surface drag and momentum transport of unresolved eddies)

R is the dry air gas constant, **c_p** is the heat capacity at constant pressure, **e** is the net evaporation, and **p** is the net precipitation

H is the net diabatic heating term, and **H=H_L+H_c+H_r+H_s**

where **H_L**=latent heating from condensation/evaporation

H_c=heating caused by convection/vertical motion

H_r=radiative heating

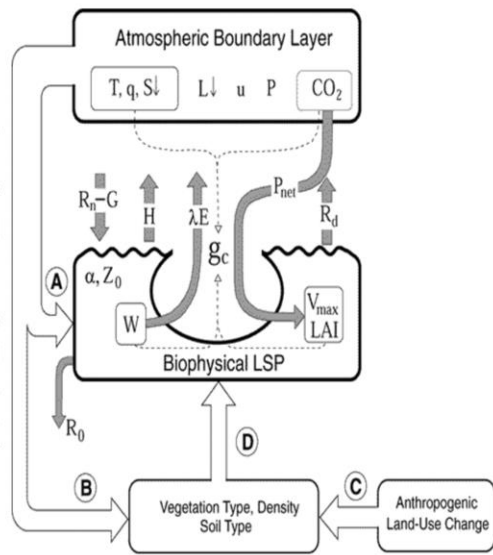
H_s=sensible heating from the Earth's surface



Parametrizacija

Parametrizacija – tai procesas, kurio metu apibrėžiami parametrai būtini tiksliam arba apytiksliam reiškinių ir procesų apibūdinimui itin jų nedetalizuojant.

Pvz. garavimas nuo vandenyno paviršiaus dideliame plote gan tiksliai apibrėžiamas, kaip temperatūros, drėgnumo ir vėjo greičio funkcija, nors jo intensyvumas labai kisti laike ir erdvėje.



Labai svarbu kuo tiksliau parametrizuoti į modelio schemas įtraukiamus atmosferoje ar vandenyne vykstančius procesus. Tai dažniausiai atliekama gamtiniams procesams pritaikant teorines arba pusiau empirines matematines išraiškas, kurių tikslumas priklauso nuo proceso pažinimo lygio bei turimos empirinės informacijos apie procesą pakankamumo.

Grįžtamieji ryšiai

Klimato sistemoje vykstantys procesai lemia natūralią klimato kaitą bei klimato sistemos reakciją į įvairius pokyčius. Didelę įtaką ateities klimato modeliavimo rezultatams daro vadinamieji grįžtamieji ryšiai. Grįžtamieji ryšiai gali **sustiprinti (teigiamas grįžtamasis ryšys)** arba **susilpninti (neigiamas grįžtamasis ryšys)** pokyčius atsirandančius dėl pradinio išorinių ir vidinių veiksnių poveikio klimato sistemai.



Bene svarbiausias teigiamas grįžtamasis ryšys yra susijęs su vandens garų kiekio atmosferoje pokyčiais. Dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimo augant oro temperatūrai, ore (ypač apatinėje troposferoje) daugės ir vandens garų. Kadangi vandens garai veikia kaip šiltnamio dujos, tai sustiprės į Žemės paviršių nukreiptas atmosferos spinduliavimas, o tuo pačiu ir šiltnamio efektas.

Kitas svarbus teigiamas grįžtamasis ryšys atsiranda dėl paviršiaus albedo (atspindėjimo gebos) mažėjimo tirpstant sniegui ar ledui. Sniegas ir ledas atspindi labai didelę dalį ant jo krentančios Saulės spinduliuotės. Augant oro temperatūrai vis mažesni sausumos ar pasaulinio vandenyno plotai yra sniego arba ledo dengiami, o po jais esantys paviršiai sugeria daug didesnę Saulės spinduliuotės dalį ir savo ruožtu šildo orą taip sustiprindami pradinį poveikį.

Daugelis teigiamų grįžtamųjų ryšių yra susiję su pokyčiais anglies cikle. Pavyzdžiui, šylant klimatui į atmosferą gali patekti daug nuolatinio įšalo zonos pelkėse (daugiausia Vakarų Sibire) sukaupto metano. Ilgėjant vasaros sezonui bei didėjant jos temperatūrai nutirpsta vis storesnis paviršiaus ledo sluoksnis ir pelkėse sukauptas metanas veržiasi į aplinką. Todėl šiltnamio dujų koncentracija dar labiau padidėja. Pats stipriausias neigiamas grįžtamasis ryšys susidaro dėl to, jog bet kokio kūno spinduliavimo intensyvumas yra tiesiogiai proporcingas jo temperatūrai, t. y. kuo kūnas šiltesnis, tuo daugiau netenka energijos spinduliuodamas. Žemės paviršiaus spinduliavimas taip pat priklauso nuo jo vidutinės temperatūros, todėl kuo jis bus šiltesnis tuo daugiau energijos bus išspinduliuojama į tarpplanetinę erdvę.

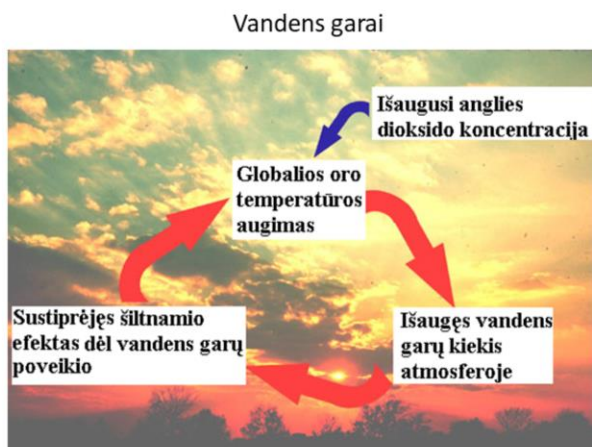
Kito neigiamo grįžtamojo ryšio pavyzdys yra augalų biomasės didėjimas dėl to, jog

atmosferoje yra daugiau anglies dioksido, kuris dalyvauja augalų fotosintezės procese. Didėjant augalų biomasei dar daugiau anglies dioksido yra panaudojama fotosintezėi. Vienas sunkiausiai klimato sistemoje įvertinamų grįžtamųjų ryšių yra sietinas su debesuotumo pokyčiais šylančio klimato sąlygomis. Debesys gali sugerti ir atspindėti Saulės spinduliuotę ir taip mažinti jos prietaką į paklotinį paviršių. Kita vertus, debesys patys spinduliuoja ilgabangę spinduliuotę paklotinio paviršiaus link. Kuris iš šių dviejų procesų vyraus, lemia debesų aukštis, storis bei struktūra. Viršutinėje troposferos dalyje esantys debesys sukuria teigiamą grįžtamąjį ryšį, kadangi jie atspindi mažiau Saulės spinduliuotės bei būdami šaltesni mažiau spinduliuoja energijos į išorinę erdvę. Tuo tarpu netoli paviršiaus esantys šiltesni ir tankesni debesys tiek daugiau Saulės spinduliuotės atspindi, tiek daugiau patys spinduliuoja. Taigi kol kas nėra iki galo aišku koks yra suminis su debesuotumo kaita susijusio grįžtamojo ryšio pobūdis: teigiamas ar neigiamas.

Svarbiausi teigiami grįžtamieji ryšiai

- Priešpriešinio atmosferos spinduliavimo stiprėjimas dėl didesnio vandens garų kiekio apatinėje troposferoje
- Žemės albedo mažėjimas dėl sniego ir ledo tirpimo
- Silpnėjančio anglies dvideginio sugėrimas vandenyne dėl vandens temperatūros augimo
- Šylant klimatui papildomas anglies kiekis gali išsiskirti į atmosferą dėl:
 - metano išsiskyrimo tundros pelkėse;
 - metano išsiskyrimo tirpstant metano klatratams
 - organinių medžiagų irimo tirpstant amžinajam įšalui
 - džiūstant durpynams greitėja jų irimas, be to didėjant jų gaisrų skaičiui į atmosferą patenka papildomas anglies kiekis
 - dėl visžalių miškų degradacijos, susijusios su klimato sausėjimu, gali į atmosferą patekti juose sukauptos anglies atsargos
 - dažnėjančių miškų gaisrų metu į atmosferą patenka papildomas anglies kiekis

Teigiami grįžtamieji ryšiai

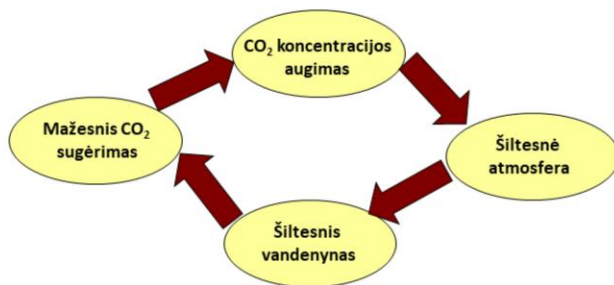


Vandens garai padvigubina didėjančios anglies dioksido koncentracijos poveikį

Žemės albedo mažėjimas dėl sniego ir ledo tirpimo



Silpnėsnis anglies dvideginio sugėrimas vandenyje. Antra vertus, kuo daugiau atmosferoje CO₂ tuo daugiau jos sugeriama.



Papildomas anglies kiekis



Metanas yra antros pagal svarbą šiltnamio dujos. Milžiniški metano (apie 400 GT) kiekiai sukaupti užšalusioje tundroje. Čia jis yra kristalinėje būsenoje. Augant temperatūrai šie dariniai tampa nestabiliais ir išsilaisvinęs metanas patenka į atmosferą.

Miškų gaisrai



Durpynų džiuvimas ir gaisrai



Tropinių miškų degradacija



Svarbiausi neigiami grįžtamieji ryšiai

- Stiprėjantis Žemės paviršiaus spinduliavimas
- Didėjantis anglies dvideginio sugėrimas vandenyne, stiprėjantis cheminis dūlėjimas, stiprėjantis biologinis surišimas, didėjantis vegetacijos kiekis.
- Dėl kintančio vertikalios temperatūros gradiento stiprės ilgabangis spinduliavimas iš atmosferos

Svarbiausias iki galo neaiškus grįžtamasis ryšys

- Debesuotumo pokyčiai. Apatinio debesuotumo didėjimas yra neigiamas grįžtamasis ryšys, o viršutinio – teigiamas.

Pats stipriausias neigiamas grįžtamasis ryšys susidaro dėl to, jog bet kokio kūno spinduliavimo intensyvumas yra tiesiogiai proporcingas jo temperatūrai, t. y. kuo kūnas šiltesnis, tuo daugiau netenka energijos spinduliuodamas. Žemės paviršiaus spinduliavimas taip pat priklauso nuo jo vidutinės temperatūros, todėl kuo jis bus šiltesnis tuo daugiau energijos bus išspinduliuojama į tarpplanetinę erdvę.

Neigiami grįžtamieji ryšiai

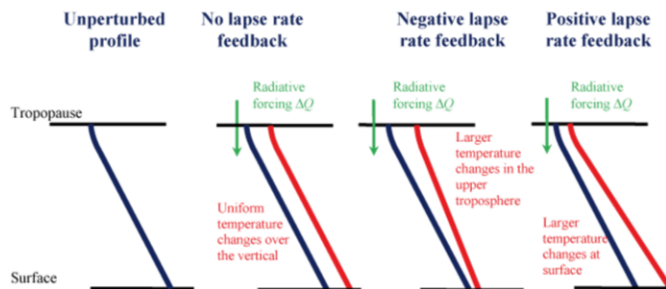
Stiprėjantis Žemės paviršiaus

spinduliavimas. Pagal Stefano-Bolcmano dėsnį kuo aukštesnė spinduliuojamo kūno temperatūra, tuo didesnis energijos kiekis išspinduliuojamas

$$B = \sigma T^4$$

Vertikalus temperatūros gradientas

Vertikalus temperatūros gradientas troposferoje sumažės tropikuose, todėl didės stiprūs ilgabangis spinduliavimas (neigiamas grįžtamasis ryšys), o aukštesiose platumose gradientas didės, o ilgabangis spinduliavimas mažės (teigiamas grįžtamasis ryšys). Sumoje tai neigiamas grįžtamasis ryšys.



Kuo šiltesnis oras viršutinėje troposferoje, tuo didesnis energijos kiekis gali lengvai išspinduliuojamas iš Žemės atmosferos.

Didėjantis anglies dvideginio sugėrimas atmosferoje.

La Šatelje principas. Jeigu pusiausvyrinę sistemą veikia išoriniai veiksniai keisdami vieną iš sistemos komponentų, tai sistemoje stiprėja procesai nukreipti kompensuoti išorinį poveikį. Kuo daugiau į klimato sistemą patenka anglies dvideginio, tuo jo daugiau sistema stengiasi absorbuoti.

Augantis anglies sugėrimas
vandenynė.

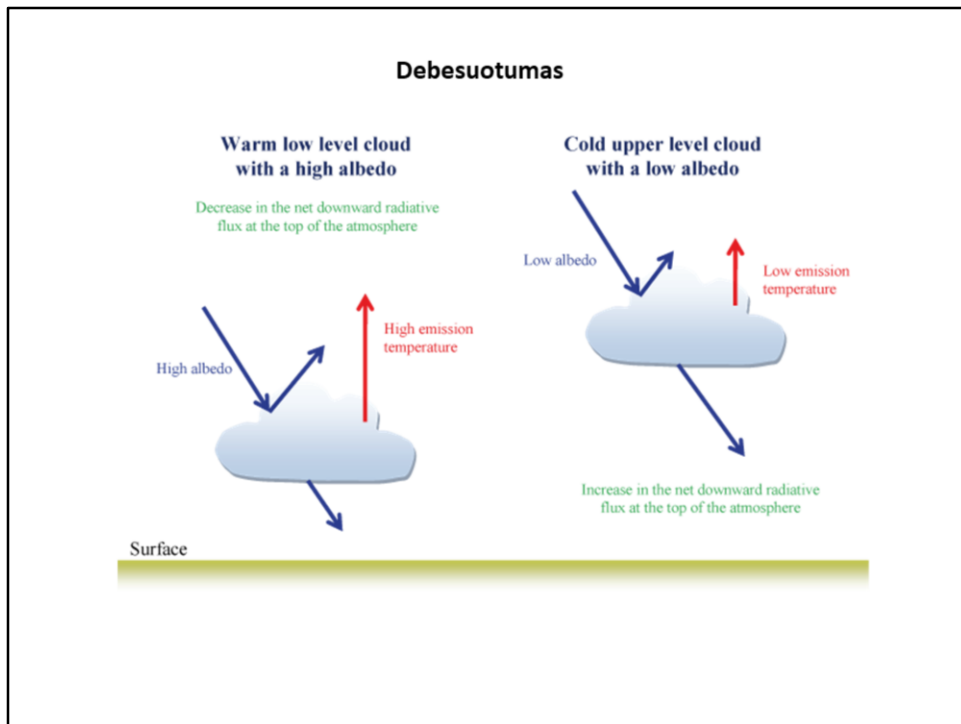


Stiprėjantis cheminis
dūlėjimas. Jo
metu lietaus vanduo,
praturtintas anglies
dioksidu reaguoja su
kalcio karbonatu ir sudaro
kalcio bikarbonatą.

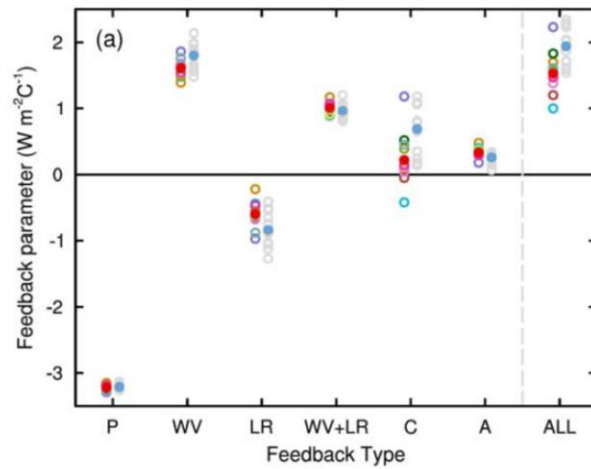


Stiprėjantis anglies surišimas
biologinių procesų metu, (pvz.
kriauklių formavimasis) bei
fotosintezės stiprėjimas.

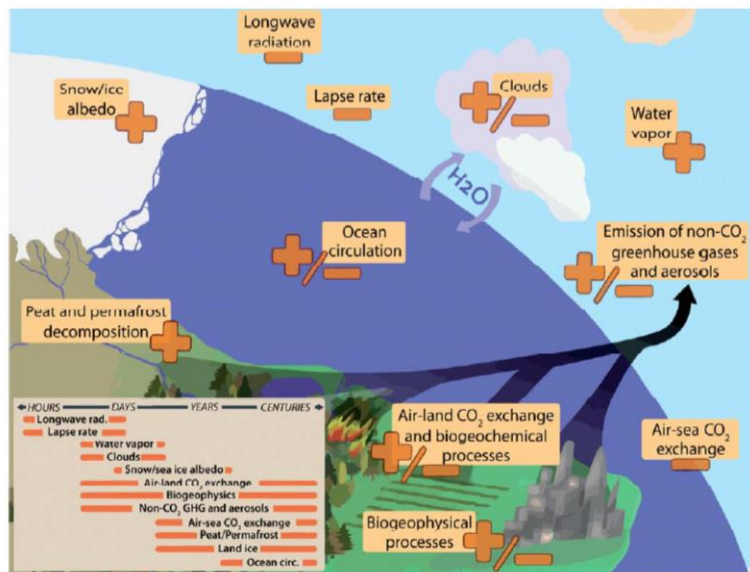




Vienas sunkiausiai klimato sistemoje įvertinamų grįžtamųjų ryšių yra sietinas su debesuotumo pokyčiais šylančio klimato sąlygomis. Debesys gali sugerti ir atspindėti Saulės spinduliuotę ir taip mažinti jos prietaką į paklotinį paviršių. Kita vertus, debesys patys spinduliuoja ilgabangę spinduliuotę paklotinio paviršiaus link. Kuris iš šių dviejų procesų vyraus, lemia debesų aukštis, storis bei struktūra. Viršutinėje troposferos dalyje esantys debesys sukuria teigiamą grįžtamąjį ryšį, kadangi jie atspindi mažiau Saulės spinduliuotės bei būdami šaltesni mažiau spinduliuoja energijos į išorinę erdvę. Tuo tarpu netoli paviršiaus esantys šiltesni ir tankesni debesys tiek daugiau Saulės spinduliuotės atspindi, tiek daugiau patys spinduliuoja. Taigi kol kas nėra iki galo aišku koks yra suminis su debesuotumo kaita susijusio grįžtamojo ryšio pobūdis: teigiamas ar neigiamas.



Kai kurių svarbiausių grįžtamųjų ryšių poveikis, pagal skirtingų modeliavimų rezultatus, P – paviršiaus spinduliavimas WV- vandens garai, C – debesys, A – albedas, LR – temperatūros gradientas, ALL – viskas išskyrus P (pagal AR5)



Teigiami ir neigiami grįžtamieji ryšiai



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE



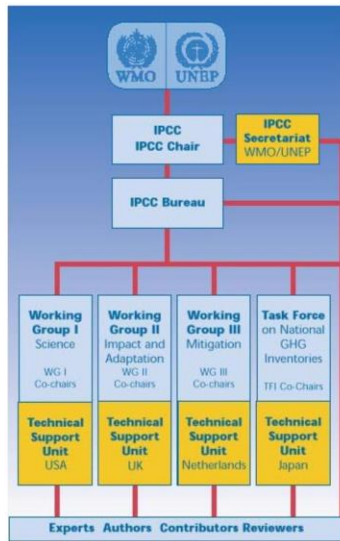
Tarpyvyriausybė klimato kaitos komisija – TKKK
(Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC).

Įsteigta 1988 metais

<http://www.ipcc.ch/>

Tikslas – visapusiškai bei objektyviai įvertinti ir apibendrinti mokslinę, techninę bei socialinę ir ekonominę informaciją, susijusią su klimato pokyčiais, jų pavojingumu žmonijai, tų pokyčių sušvelninimu ir prisitaikymo prie jų priemonėmis. Pagrindinės ataskaitos 1990, 1995, 2001, 2007, 2013.





●I darbo grupė vertina mokslinius klimato sistemos bei klimato pokyčių aspektus

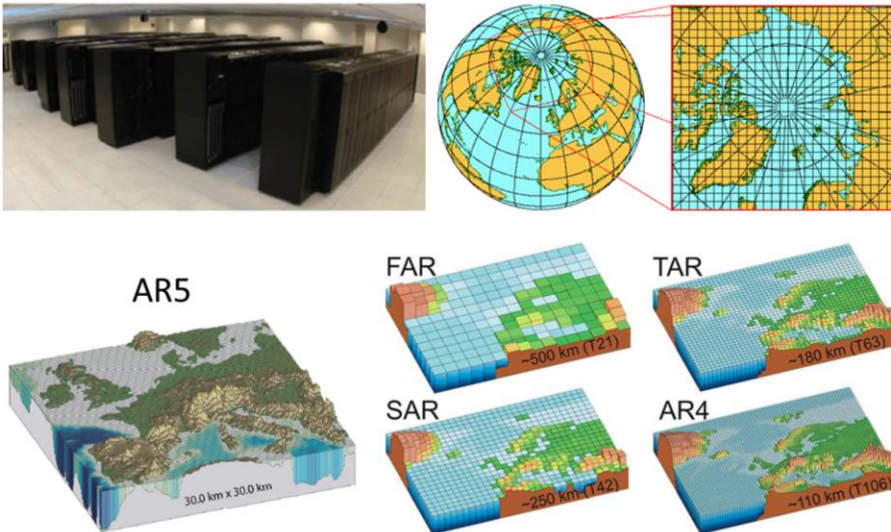
●II grupė – socialinių ir ekonominių bei gamtinių sistemų jautrumą klimato pokyčiams, teigiamas bei neigiamas šių pokyčių pasekmės bei galimas adaptacijos priemonės

●III grupė – galimus šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos ribojimo būdus bei kitas klimato kaitos švelninimo priemones

●Specialios paskirties padalinys skirtas vadinamųjų šiltnamio dujų inventorizacijos klausimams spręsti.

Klimato modeliai

Sukūrus šiuolaikinius labai galingus kompiuterius, atsirado galimybė gerokai padidinti į klimato modeliavimą įtrauktų parametrizuotų procesų atmosferoje ir vandenyne skaičių bei sutankinti modelio horizontalųjį ir vertikalųjį erdvinį tinklėlį.

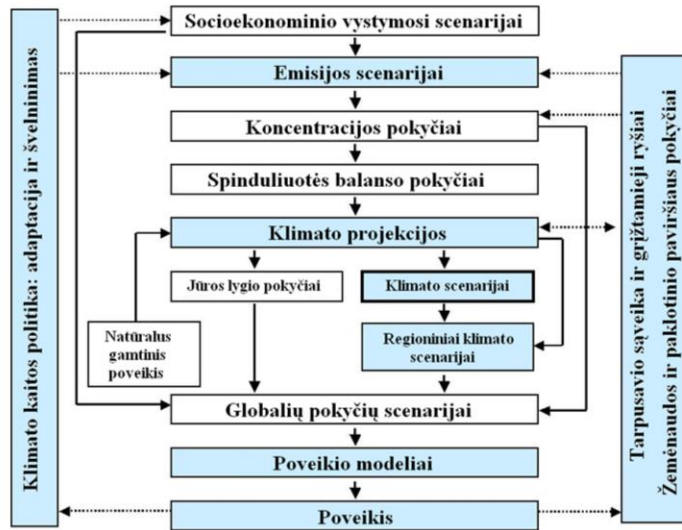


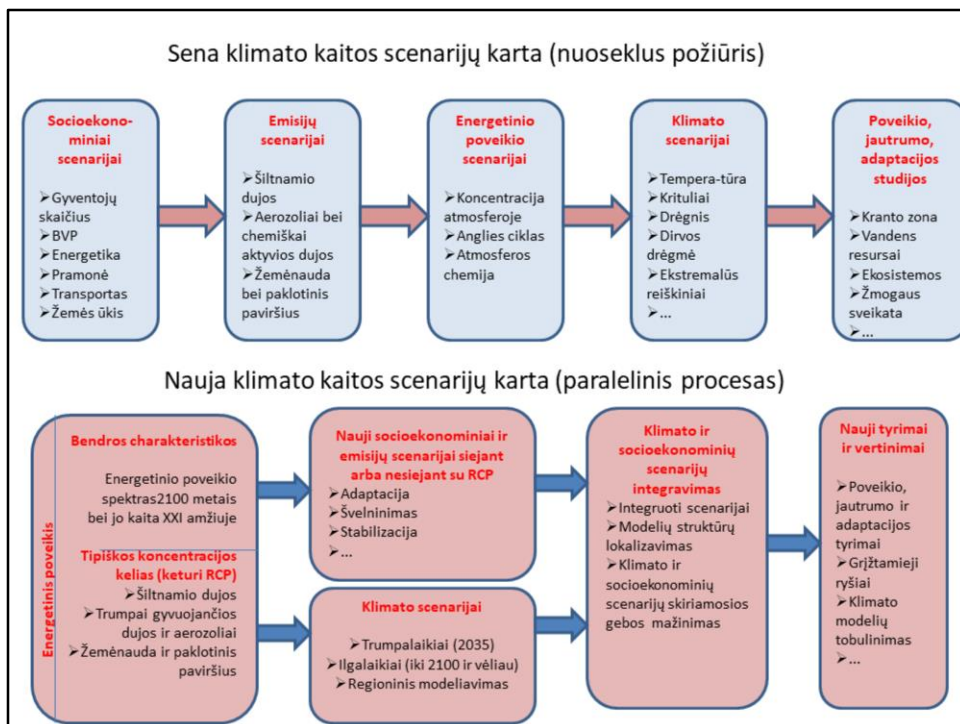
Jei pirmuosiuose klimato modeliuose gardelės kraštinės ilgis buvo apytiksliai lygus 500 km (tai reiškia, jog modelis apskaičiuodavo vidutines klimato rodiklių charakteristikas 250 000 km² teritorijai), tai šiuo metu gardelės kraštinės ilgis kai kuriuose regioniniuose modeliuose nesiekia nei 20 km. Tokiu būdu mes galime geriau atskleisti teritorinius dabarties ir ateities klimato aspektus.

Modeliai, kurių sudaro CMIP5 (Climate Model Intercomparison Project) AR5 ataskaitoje

	Model name		AOGCM				ESM				
			Atmos	Land	Ocean	Sea-ice	FC	Aerosol	Atmos	Land	Ocean
			Surface						Chem	Carbon	BGC
CMIP5	ACCESS1.0, ACCESS1.3	Australia									
	BCC-CSM1.1, BCC-CSM1.1m	China									
	BNU-ESM	China									
	CanCM4	Canada									
	CanESM2										
	CCSM4										
	CCSM1 (RGCM)										
	CCSM1 (WACCM)	USA	HT								
	CCSM1 (FASSTHEM)										
	CCSM1 (CAM5)										
	CCSM1 (CAM5.1-FV2)	USA									
	CMCC-CM, CMCC-CMS	Italy	HT								
	CMCC-CMS										
	CNRM-CM5	France	HT								
	CSIRO-Mk3.6.0	Australia									
	EC-EARTH	Europe									
	FGOALS-g2	China									
	FGOALS-g2										
	FIO-CM v1.0	China									
	GFDL-CM2.1, GFDL-CM2.3	USA									
	GFDL-CM3		HT								
	GISS-E2-H, GISS-E2-H	USA	HT								
	GISS-E2-R-CC, GISS-E2-H-CC		HT								
	HadGEM2-ES										
	HadGEM2-CC	UK	HT								
	HadCM3										
	HadGEM2-AO	Korea									
	INM-CM4	Russia									
	IPSL-CM5A-LR / CM5A-MR / CM5B-LR	France	HT								
	MIROC4, MIROC5		HT								
	MIROC-ESM	Japan	HT								
	MIROC-ESM-CHEM		HT								
	MPI-ESM-LR / ESM-MR / ESM-P	Germany	HT								
	MRI-CGCM3	Japan	HT								
	NCEP-CFSv2	USA									
	NorESM1-M	Norway									
	NorESM1-ME										
AMIP	RFDL-HIRAM C180 / HIRAM C160	USA									
	MRB-AGCM3.25 / AGCM3.2H	Japan									

Teršalų emisijos scenarijai ir šiuolaikiniai klimato modeliai





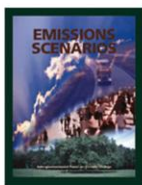
Koks bus ateities klimatas daugiausia priklauso nuo šiltnamio dujų emisijos. Didele dalimi nuo emisijos bei nuo to kaip mes keisime absorbcines planetos galias (pvz., didinsime ar mažinsime miškų plotus) priklauso ir šiltnamio dujų koncentracija atmosferoje. Jei ji didės, tai stiprės ir šiltnamio efektas, t.y. vis daugiau spindulinės energijos pasieks paviršių ir stipriau sušils oras prie jo. Todėl dabartiniai šiltnamio dujų emisijų scenarijai yra išreiškiami galimu spindulinio poveikio prie Žemės paviršiaus sustiprėjimu W/m^2 .

Numatyti šiltnamio dujų emisijos bei spindulinio poveikio pokyčius yra labai sudėtingas uždavinys. Pirmiausia reikia išsiaiškinti kaip ateityje keisis gyventojų skaičius, koks bus ekonominis bei socialinis vystymasis, energijos suvartojimas, globalizacijos laipsnis, kaip vystysis technologijos. Itin svarbūs žemėnaudos pokyčiai bei aplinkosaugos priemonės.

Gyventojų skaičiaus kaita yra bene svarbiausias nežinomas. Žvelgiant į tolimą perspektyvą netinka remtis vien dabartine dinamika. Manoma, jog ekonomikos augimas sulėtins gyventojų skaičiaus didėjimą daugelyje šalių. Antra vertus, stambūs, planetos masto, įvykiai (kariniai konfliktai, gimstamumo protrūkiai, epidemijos ir kt.) gali labai staigiai padidinti ar sumažinti gyventojų skaičių. Nuo gyventojų skaičiaus tiesiogiai priklauso ir energetiniai žmonių poreikiai. Ekonominė bei socialinė žmonių raida priklauso nuo išsivysčiusių šalių gebėjimo palaikyti technologinį bei institucinį kūrybinį potencialą ir nuo kitų šalių gebėjimo perimti bei adaptuoti modernias technologijas ar institucines naujoves. Nuo to priklauso globalizacijos laipsnis bei skirtumai tarp atskirų regionų.

Ypač didelį vaidmenį reguliuojant šiltnamio dujų emisiją vaidina aplinkosaugos politika. Labai svarbu, kokie bus pasirašyti, ratifikuoti bei, svarbiausia, įgyvendinti tarptautiniai susitarimai dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos mažinimo. Todėl Tarpyvyriausybės klimato kaitos komisijos (IPCC) iniciatyva yra parengti galimi šiltnamio dujų emisijos scenarijai, kurie priklauso nuo žmonijos raidos krypties ir apima visą galimą pokyčių spektrą. Anot komisijos, šių pokyčių pasekmė būtų vienas iš tipiškos koncentracijos kelių (*RCP – representative concentration pathway*), pagal kuriuos vystantis, Žemės paviršius patirtų skirtingo masto spindulinio poveikio sustiprėjimą. Yra išskiriami keturi pagrindiniai keliai RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ir RCP8.5 (skaičius rodo spindulinio poveikio pasikeitimą W/m^2 XXI amžiuje).

SENAS KELIAS



Special Report on Emissions Scenarios, SRES 2000

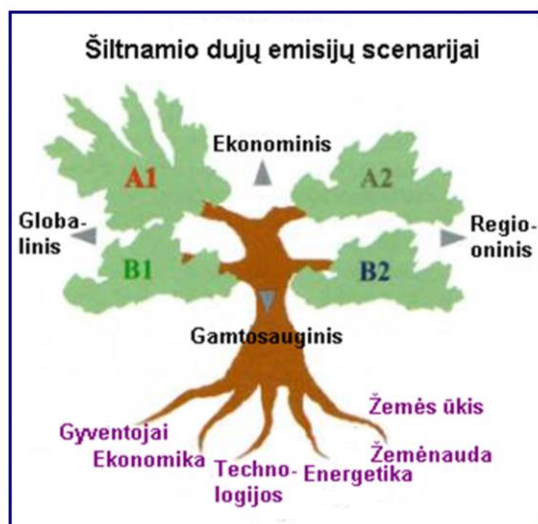
Emisijos scenarijai paremti socialinėmis ir ekonominės
žmonijos raidos prognozėmis.

Svarbiausieji veiksniai

- Gyventojų skaičiaus kaita
- Ekonominis bei socialinis vystymasis
- Energijos suvartojimas
- Technologijų raidos ypatybės
- Žemėnaudos pokyčiai
- Aplinkosaugos politikos įgyvendinimas



Ketrios pagrindinės scenarijų grupės



A1 – numatomas labai greitas ekonomikos augimas, gyventojų skaičiaus didėjimas iki XXI amžiaus vidurio, o po to mažėjimas, greitas modernių technologijų diegimas. Dažnai šioje grupėje skiriami trys pogrupiai: A1FI – tarp energijos resursų vyraus fosilinis kuras; A1T – vyraus nefosilinis kuras; A1B – numatomas subalansuotas kuro vartojimas.

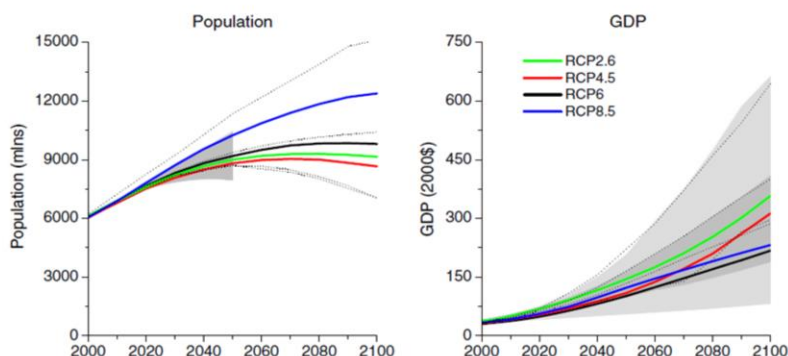
A2 – prognozuojamas vis dar labai heterogeniškas pasaulis su nuolat didėjančiu gyventojų skaičiumi. Ekonomikos augimas lėtas, naujos technologijos diegiamos tik kai kuriuose, labiau išsivysčiusiuose regionuose.

B1 – tikėtina staigi globalizacija, gyventojų skaičiaus kaita panaši, kaip numatyta A1 scenarijuje, bet vyksta ypač greitas ekonominės sistemos vartimas informacine bei mažiau vartotojiška visuomene, intensyvus naujų švarių technologijų diegimas.

B2 – ateities pasaulis orientuotas į vietos ekonominių, socialinių ir aplinkosauginių problemų sprendimą. Nuolat augantis gyventojų skaičius (lėčiau nei A2 scenarijuje) ir vidutiniškai intensyvus ekonomikos vystymasis.

NAUJAS KELIAS

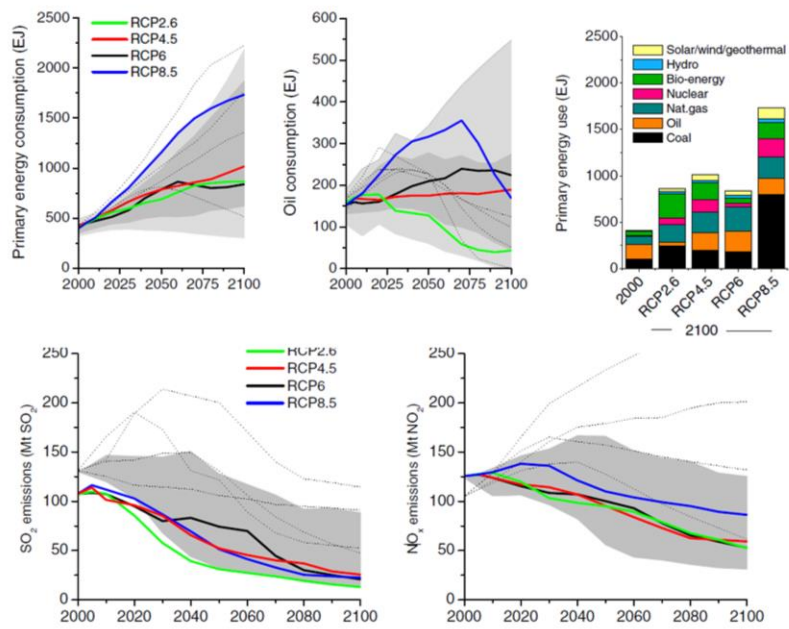
Tipiškos koncentracijos keliai (van Vuuren et al, 2011).

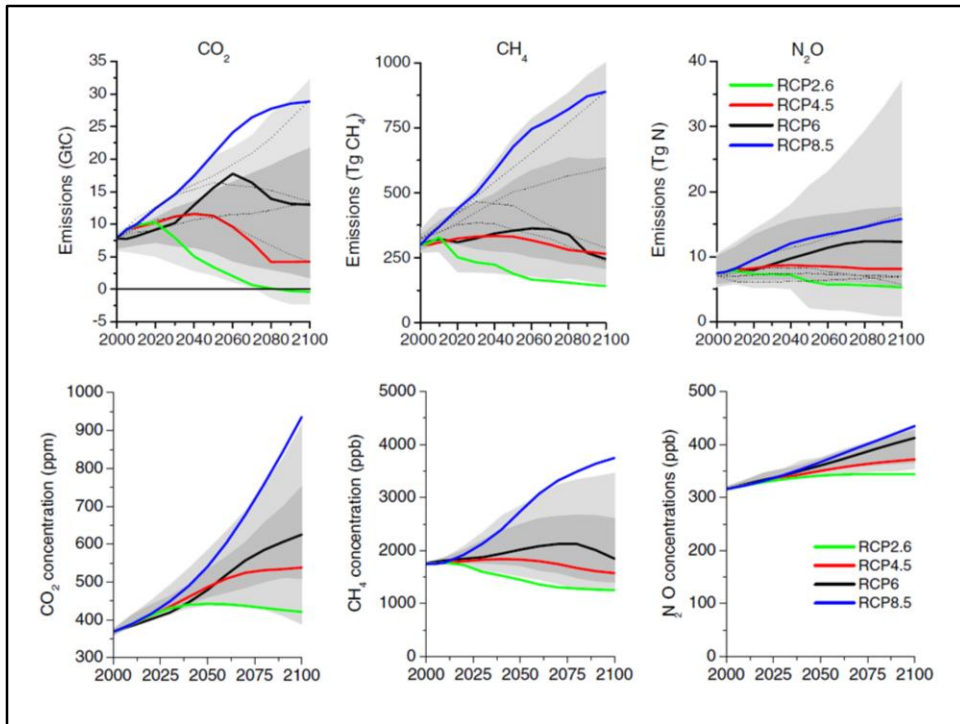


Visi paveikslai van Vuuren et al, 2011

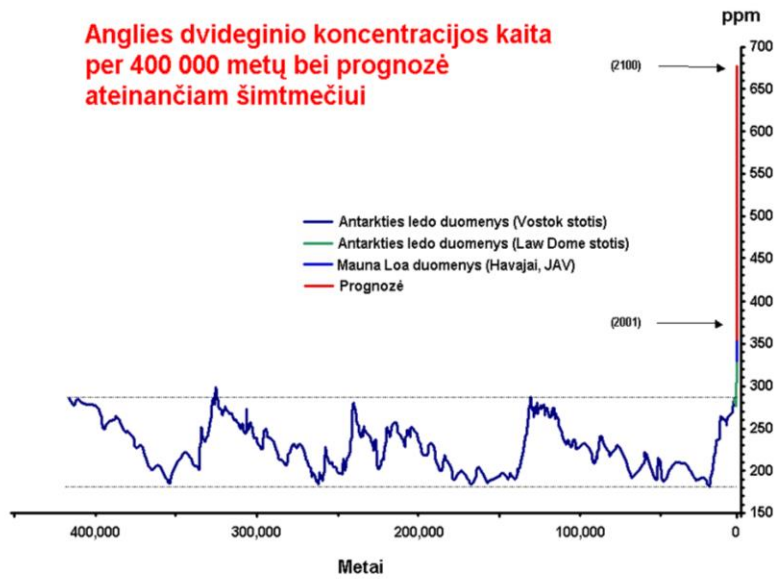
Pagal optimistinį (arba mažiausius pasikeitimus klimato sistemoje numatantį) RCP2.6 energetinio poveikio pikas bus apie 3 W/m^2 ($\sim 490 \text{ ppm}$ šiltnamio dujų koncentracija anglies dioksido ekvivalentu) dar prieš 2100 m., o iki 2100 m. sumažės iki $2,6 \text{ W/m}^2$. Norint pasiekti tokį energetinio poveikio lygį, dabartines šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas būtina gerokai sumažinti. Pagal RCP4.5 sukurtas energetinis poveikis ($4,5 \text{ W/m}^2$) stabilizuosis iki 2100 m., o šiltnamio dujų koncentracija anglies dioksido ekvivalentu sieks $\sim 630 \text{ ppm}$. Bus plačiai taikomos naujos technologijos ir įgyvendinamos strategijos skirtos mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. RCP6.0 yra stabilizacinis scenarijus, kai energetinio poveikio sustiprėjimas ($6,0 \text{ W/m}^2$) stabilizuosis po 2100 m., panaudojus technologijas ir strategijas, skirtas mažinti ŠESD emisijas. Šiltnamio dujų koncentracija anglies dioksido ekvivalentu bus lygi $\sim 800 \text{ ppm}$. Pesimistinis RCP8.5 charakterizuojamas didėjančiomis ŠESD emisijomis, vedančiomis prie didžiausių energetinio poveikio reikšmių ($8,5 \text{ W/m}^2$). ŠESD koncentracija amžiaus pabaigoje anglies dioksido ekvivalentu pasieks $\sim 1300 \text{ ppm}$. Šie RCP scenarijai yra naudojami kaip įvesties duomenys globalaus klimato modeliuose. Jais remiantis sudaromos oro temperatūros bei kitų svarbių rodiklių klimatinės prognozės. Kadangi galimų ŠESD emisijos pokyčių spektras yra didelis, tai didėja ir globalaus klimato prognozių neapibrėžtumas.

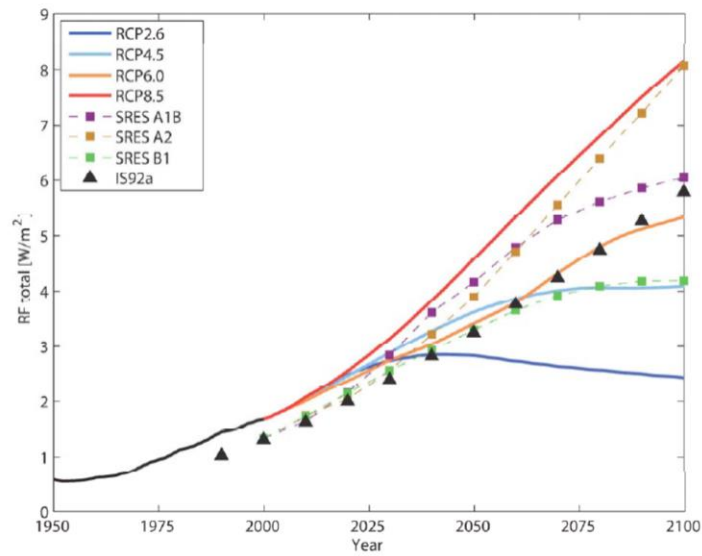
van Vuuren et al. (2011). *The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change* (2011) 109:5–31. DOI 10.1007/s10584-011-0148-z





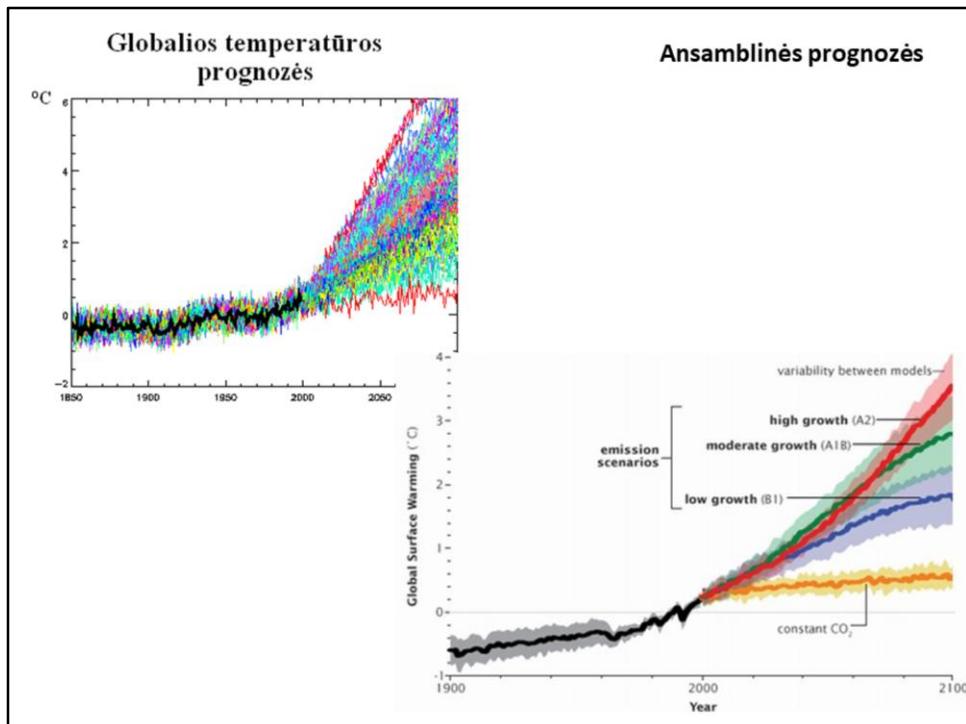
**Anglies dvideginio koncentracijos kaita
per 400 000 metų bei prognozė
ateinančiam šimtmečiui**





AR4 ir AR5 scenarijų palyginimas

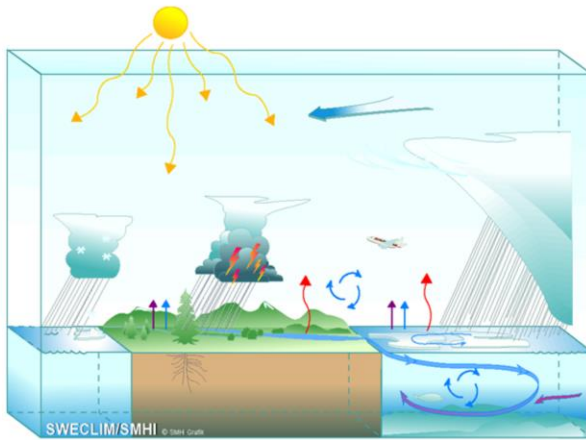
AR5 pabrėžiama, jog vertinant prognostinių nepibrėžtumų dydį didelio progreso nuo AR4 laikų nėra



Ansamblinės bendrosios cirkuliacijos modelių prognozės plačiai naudojamos klimato prognozavime. Kadangi modeliavimo netikslumai ir klaidos kiekviename modelyje yra individualūs, teigiama jog prognostinio daugelio modelių ansamblio vidurkis yra patikimesnis dydis nei dydžiai pavienėje prognostinėje kreivėje. Taip pat prognostinis ansamblis gali būti gaunamas iš vieno modelio išvesties duomenų keičiant ribines ir pradines sąlygas.

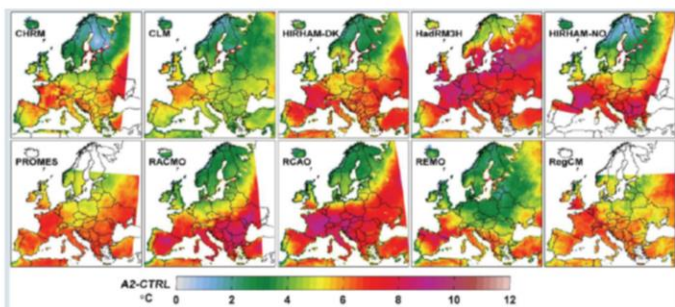
Regioniniai klimato modeliai

Klimatologijoje regioniniais laikomi tie modeliai, kurių dengiama teritorija kinta nuo 10^4 iki 10^7 km².



Juose bendrosios cirkuliacijos ypatybės turi būti derinamos su vietos topografija, žemėnauda, vandens telkinių pasiskirstymu ir kt.

- ❖ Kai kuriuose modeliuose tinkelio gardelės kraštinė sumažėja iki keliasdešimt ar net keliolikos kilometrų.
- ❖ Galima daug tikslesnė prognozė konkrečiai vietai.
- ❖ Dydžiai prognozuojami įvertinant vietinius faktorius.



- ❖ Bendrosios cirkuliacijos modeliuose padarytos klaidos dar labiau išryškėja
- ❖ Nėra grįžtamojo ryšio, vertinančio modeliutų regioninių pokyčių įtaką globaliems procesams ir padedančio palaipsniui keisti RKM įvesties sąlygas.



Regioniniai klimato modeliai

HIRHAM

HadRM

CHRM

CLM

REMO

RCAO

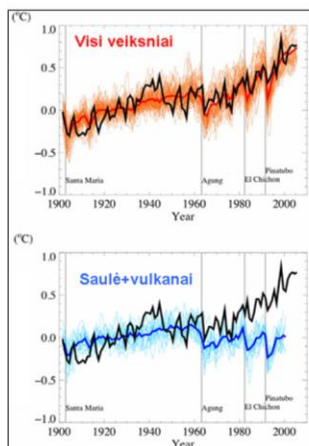
PROMES

RegCM

RACMO

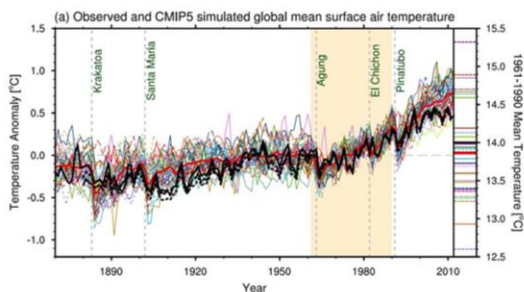
Arpege

Tik tie klimato modeliai, kuriais pakankamai tiksliai sumodeliuotas praeities klimatas, gali būti tinkami ir ateities klimato pokyčiams prognozuoti



2007

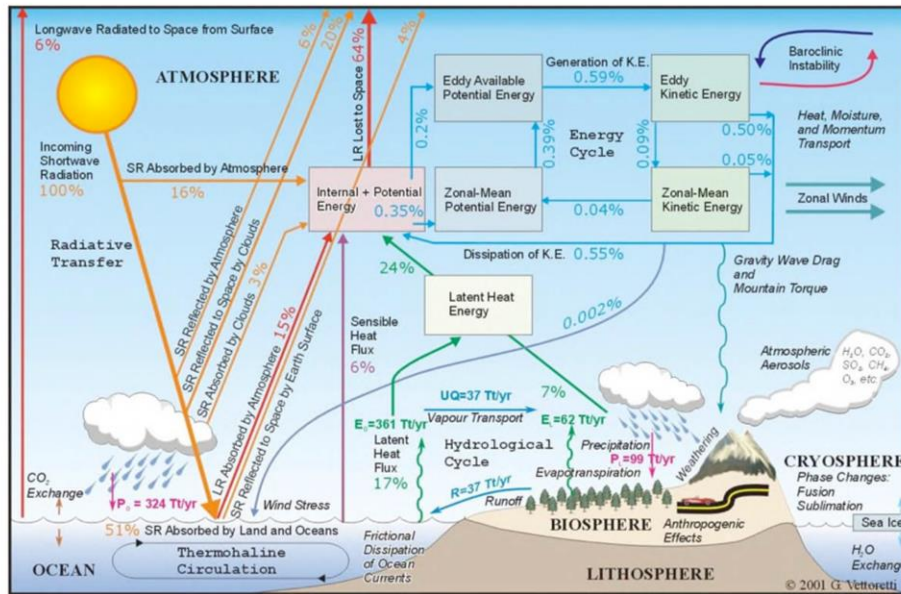
Globalios temperatūros modeliavimo rezultatų palyginimas su matavimo duomenimis



2013

Ar klimato modelis tinka ateities klimato prognozėms sprendžiama pagal tai kaip jis geba imituoti praeities klimatą. Modeliavimo rezultatai rodo, jog vien kintančiu gamtinių klimato veiksnių (Saulės aktyvumo bei vulkanizmo) poveikiu neįmanoma paaiškinti staigaus globalios paviršiaus temperatūros augimo prasidėjusio XX amžiaus pabaigoje, nors pirmoje 1860–2000 m. laikotarpio pusėje jų poveikis akivaizdus, o apie 1950 metus prasidėjęs klimato vėsimas turėjo trukti iki XX amžiaus pabaigos. Tuo tarpu įvertinus bendrą gamtinių ir antropogeninių veiksnių įtaką beveik visiškai tiksliai pavyko modeliuoti pastarųjų 100 metų globalaus klimato pokyčius. Tai teikia pagrindo manyti, jog klimato modelių teikiamos ateities pokyčių prognozės, nepaisant modelių skirtumų, pakankamai tiksliai atspindės bent jau pagrindines pokyčių tendencijas. Kitas būdas (daug lėtesnis) vertinti prognozių patikimumą yra anksčiau prognozuotų dydžių palyginimas su dabartinėmis klimato rodiklių reikšmėmis. Nuo 2005 metų prasidėjęs prognostinis laikotarpis rodo, kad pirmuosius dešimt metų realios klimato rodiklių reikšmės buvo artimos mažiausius pokyčius prognozavusių modelių išvesties rezultatams. Tačiau itin šilti pastarieji (2014-2016) metai „pastūmėjo“ išmatuotus dydžius į prognostinių dydžių intervalo vidurį. Tikėtina, jog pirmaisiais XXI amžiaus dešimtmečiais vidinių klimato sistemos svyravimų nulemtos oro temperatūros fluktuacijos vis dar gali būti didesnės už pokyčius atsiradusius dėl išorinių veiksnių (daugiausia antropogeninės kilmės ŠESD) poveikio, todėl prognozė šiam laikotarpiui yra mažiau tiksli, tačiau ilgainiui išorinis poveikis vis stiprės ir ateities klimato sąlygos pateks į prognozuojamų reikšmių intervalą.

Klaikiai jdomu, bet komplikuota



Klimato prognozės

Globalinės ir regioninės prognozės pateikiamos pagal IPCC AR5 bei BACC ataskaitas

"On the Influence of Carbon Acid in the Air upon the Temperature of the Ground"
Philosophical Magazine 41, 237-276 (1896)

Padvigubėjus anglies dvideginiui atmosferoje



Svante August
Arrhenius

1859-1927

Platuma	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	Metinė
60 to 70	6.0	6.1	6.0	6.1	6.05
50 to 60	6.1	6.1	5.8	6.1	6.02
40 to 50	6.1	6.1	5.5	6.0	5.92
30 to 40	6.0	5.8	5.4	5.6	5.7
20 to 30	5.6	5.4	5.0	5.2	5.3
10 to 20	5.2	5.0	4.9	5.0	5.02
0 to 10	5.0	5.0	4.9	4.9	4.95
-10 to 0	4.9	4.0	5.0	5.0	4.97
-10 to -20	5.0	5.0	5.2	5.1	5.07
-20 to -30	5.2	5.3	5.5	5.4	5.35
-30 to -40	5.5	5.6	5.8	5.6	5.62
-40 to -50	5.8	6.0	6.0	6.0	5.95
-50 to -60	6.0	6.1	--	--	--

The BACC Author Team (2008). *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, Springer (474 psl.).

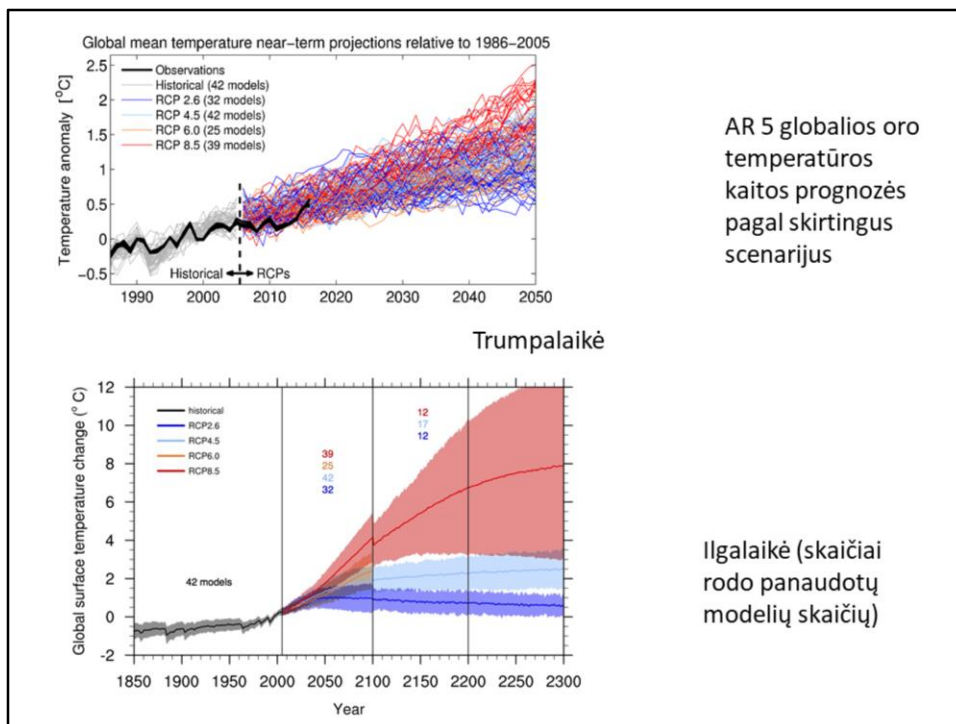
AR 5 prognozės skirstomos į trumpalaikę „near-term“ (iki 2035 metų) ir ilgalaikę „long-term“ (iki amžiaus pabaigos).

Sudarant trumpalaikę prognozę ypač svarbu tiksliai įvertinti pradinės sąlygas (*initial conditions*) bei jų natūralius svyravimus (sezoninius, metinius ar daugiamečius), tuo tarpu ilgalaikėje prognozėje lemiamą įtaką įgauna išorinis poveikis (toks kaip šiltnamio dujų poveikis), o pradinės sąlygos ne tokios svarbios.



Trumpalaikių klimato prognozių skaičiavimuose taip pat vertinama ir okeanų terminė inercija (kokį poveikį artimiausiems pokyčiams klimato sistemoje darys okeane jau anksčiau akumuliuota energija), ir išorinių poveikių stiprumo kaita. Itin trumpos prognozės (dešimtmečiui ar kiek ilgesniam laikotarpiui) itin stipriai priklauso nuo vidinio sistemos variatyvumo.

Trumpalaikės projekcijos palyginus mažai reaguoja į šiltnamio dujų emisijų scenarijus, tačiau itin jautrios neapibrėžtumams susijusiems su aerozolių emisija (ypač regioninėje skalėje) bei su hidrologinio ciklo dedamųjų svyravimais. Kai kuriuose regionuose žemėnaudos poveikis krituliams ar temperatūrai bus didesnis nei šiltnamio dujų ar aerozolių daroma įtaka. Šiose projekcijose laikomasi prielaidos, jog nebus galingų vulkanų išsiveržimų, o į orą patekę aerozoliai greit iš jo pasišalins.



Klimato modeliai yra matematinis sąveikos tarp atmosferos, vandenyno, sausumos paviršiaus, ledo bei Saulės atspindys. Tiksliai nusakyti šiuos ryšius yra labai sudėtinga, todėl ir modelių pateikiami rezultatai pasižymi tam tikru neapibrėžtumu. Dar daugiau neapibrėžtumo įneša ir tikslų modelio įvesties sąlygų nebuvimas. Mes negalime tiksliai žinoti kiek XXI amžiaus pabaigoje Žemėje gyvens žmonių, kiek jie išmes į aplinką šiltnamio dujų, kokia bus šių dujų koncentracija atmosferoje. Kol kas nėra aišku kaip keisis ir planetos paviršiaus veidas, o kartu ir jos absorbcinės galios. Todėl klimato prognozės pateikiamos kaip galimų reikšmių intervalas, kuris plečiasi tostant prognostiniam laikotarpiui. Pavyzdžiui, Tarptautinės klimato kaitos komisijos ataskaitoje nurodoma, jog iki 2035 metų globali oro temperatūra išaugs 0,4-1,0 °C, tuo tarpu amžiaus pabaigos prognozių neapibrėžtumas išauga – 0,3-4,8 °C. Šiuolaikiniai klimato modeliai modeliavimo išvesties rezultatus pateikia kiekvienam šešių valandų intervalui iki pat prognostinio laikotarpio pabaigos (pvz., iki 2100 metų). Pasikapstę tarp rezultatų galime rasti netgi atsakymą į klausimą - kokia bus oro temperatūra Vilniuje 2074 metų birželio 17 dienos rytą. Tačiau vargu ar ši prognozė yra tiksli... Klimato modeliai skirti ne orų prognozėms sudarinėti, o bendrosioms klimato tendencijoms nustatyti. Būsimi pokyčiai pateikiami kaip tam tikro laikotarpio vidurkis (10, 20 ar 30 metų), nes tik toks informacijos pateikimas turi aiškią prasmę. Dažniausiai yra prognozės yra sudaromos artimajai (2016-2035 metų vidutinės reikšmės) ar tolimajai (2081-2100) ateičiai. Vertinti prognozių patikimumą galima ir lyginant anksčiau prognozuotus dydžius su dabartinėmis klimato rodiklių reikšmėmis. Nuo 2005 metų prasidėjęs prognostinis

laikotarpis rodo, kad pirmuosius dešimt metų realios klimato rodiklių reikšmės buvo artimos mažiausius pokyčius prognozavusių modelių išvesties rezultatams. Tačiau itin šilti pastarieji (2014-2016) metai „pastūmėjo“ išmatuotus dydžius į prognostinių dydžių intervalo vidurį. Tikėtina, jog pirmaisiais XXI amžiaus dešimtmečiais vidinių klimato sistemos svyravimų nulemtos oro temperatūros fluktuacijos vis dar gali būti didesnės už pokyčius atsiradusius dėl išorinių veiksnių (daugiausia antropogeninės kilmės šiltnamio dujų) poveikio, todėl prognozė šiam laikotarpiui yra mažiau tiksli, tačiau ilginiui išorinis poveikis vis stiprės ir ateities klimato sąlygos nedaug skirsis nuo dabarties prognozių.

Remiantis naujausių klimato modelių išvesties rezultatais globali oro temperatūra XXI amžiuje turėtų augti. Dažnai yra atskiriamos artimos ateities (2016-2035 metai) bei amžiaus pabaigos (2081-2100 metais) prognozės.

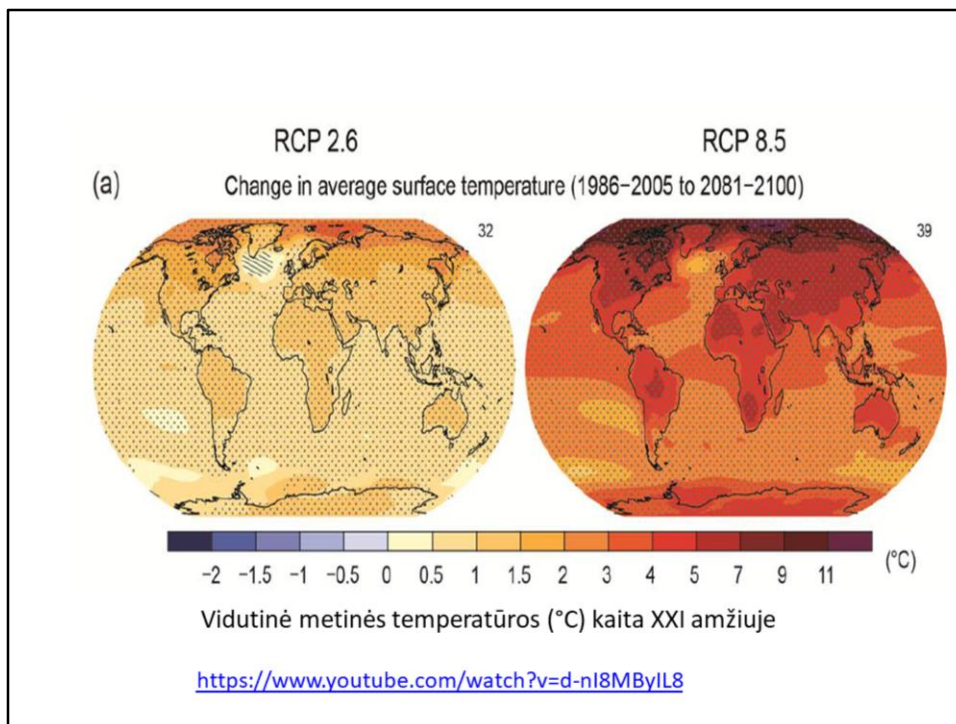
Per artimiausius 20 metų globali temperatūra pagal visus RCP scenarijus turėtų padidėti 0.3-0.7 °C (lyginant su 1986-2005 metų vidutine reikšme). Prognozuojama, jog tropikuose ir subtropikuose oro temperatūra turėtų augti greičiau nei vidutinėse platumose. Taip pat didesnis nei vidutiniškai pasaulyje oro temperatūros padidėjimas numatomas Arkties regionui. Tačiau numatomas pokyčių tendencijas gali iškreipti itin galingų vulkanų išsiveržimai (galimas laikinas globalaus klimato atvėsimas) ar didelės Saulės spinduliuotės intensyvumo anomalijos. Labai tikėtina, jog per artimiausius dešimtmečius daugelyje regionų išaugs šiltų dienų ir naktų skaičius, o šaltų dienų ir naktų bus mažiau.

Daugelis tyrimų rodo, jog pirmaisiais XXI amžiaus dešimtmečiais vidinių klimato sistemos svyravimų nulemtos oro temperatūros fluktuacijos vis dar gali būti didesnės už pokyčius atsiradusius dėl išorinių veiksnių (daugiausia antropogeninės kilmės ŠESD) poveikio, todėl didelių skirtumų tarp scenarijų nėra. Tačiau nuo XXI amžiaus vidurio oro temperatūros prognozės pagal skirtingus RCP pradės skirtis. Amžiaus pabaigoje išorinio poveikio nulemti oro temperatūros pokyčiai bus žymiai stipresni nei atsirandantys dėl vidinių klimato sistemos svyravimų. Todėl klimato rodiklių pasikeitimai tiesiogiai priklausys nuo prognozuojamo spindulinio poveikio klimato sistemai stiprumo ir skirtumai tarp RCP scenarijų bus dideli.

Prognozuojama, jog 2081–2100 metais (lyginant su 1986–2005) oro temperatūra pagal RCP2.6 scenarijų išaugs 0.3–1.7 °C, , pagal RCP4.5 scenarijų 1.1–2.6 °C, , pagal RCP6.0 scenarijų 1.4–3.1 °C, o pagal RCP8.5 scenarijų net 2.6–4.8 °C (). Temperatūros padidėjimas 1,5 °C mažai tikėtinas pagal RCP2.6, o padidėjimas 4°C nėra tikėtinas pagal visus RCP išskyrus RCP8.5. Tik pagal RCP2.6 scenarijų globali oro temperatūra neaugs viso XXI amžiaus metu.

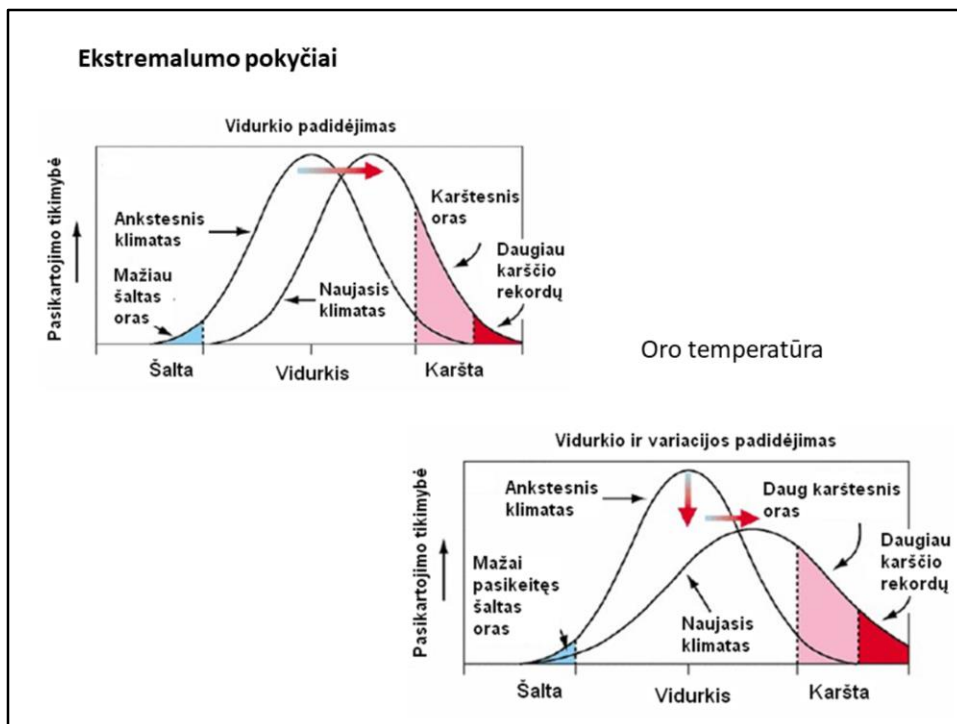
Prognozuojama, jog temperatūros pokyčiai nebus vienodi regioniniu požiūriu. Labai tikėtina, kad pokyčiai sausumoje viršys pokyčius vandenyne 1,4-1,7 karto. Jei nebus stiprių pasikeitimų srovių režime (ypač jei nesusilpnės Golfo srovė), Arktis šils labiausiai. Tuo tarpu poliarinėse Pietų pusrutulio platumose pokyčiai nebus tokie ryškūs. Mažiausi pokyčiai numatomi Šiaurės Atlante ir Antarktidą supančiame vandenyne. Čia vandens paviršiaus ir oro temperatūrai augti neleis nuo tirpstančių

Grenlandijos ir Antarktidos ledo skydų tekančio šalto gėlo vandens srautai (mažesnio tankio vanduo lieka paviršiuje) ir silpnėjanti termohalininė cirkuliacija. Oro temperatūros turėtų augti visoje troposferos stovymėje (iki 8-16 km aukščio).



Daugelis tyrimų rodo, jog pirmaisiais XXI amžiaus dešimtmečiais vidinių klimato sistemos svyravimų nulemtos oro temperatūros fluktuacijos vis dar gali būti didesnės už pokyčius atsiradusius dėl išorinių veiksnių (daugiausia antropogeninės kilmės šiltnamio dujų) poveikio, todėl didelių skirtumų tarp scenarijų nėra. Tačiau nuo XXI amžiaus vidurio oro temperatūros prognozės pagal skirtingus RCP pradės skirtis. Amžiaus pabaigoje išorinio poveikio nulemti oro temperatūros pokyčiai bus žymiai stipresni nei atsirandantys dėl vidinių klimato sistemos svyravimų. Todėl klimato rodiklių pasikeitimai tiesiogiai priklausys nuo prognozuojamo spindulinio poveikio klimato sistemai stiprumo ir skirtumai tarp RCP scenarijų bus dideli.

Prognozuojama, jog temperatūros pokyčiai nebus vienodi regioniniu požiūriu. Labai tikėtina, kad pokyčiai sausumoje viršys pokyčius vandenyne 1,4–1,7 karto. Jei nebus stiprių pasikeitimų srovių režime (ypač jei nesusilpnės Golfo srovė), Arktis šils labiausiai. Tuo tarpu poliarinėse Pietų pusrutulio platumose pokyčiai nebus tokie ryškūs. Mažiausi pokyčiai numatomi Šiaurės Atlante ir Antarkty supančiame vandenyne. Čia vandens paviršiaus ir oro temperatūrai augti neleis nuo tirpstančių Grenlandijos ir Antarktidos ledo skydų tekančio šalto gėlo vandens srautai (mažesnio tankio vanduo lieka paviršiuje) ir silpnėjanti termohalinė cirkuliacija. Oro temperatūros turėtų augti visoje troposferos stromėje (iki 8–16 km aukščio).



Keičiantis klimatui, didžiausią grėsmę kels ne pakitę vidutinė oro temperatūra ar kritulių kiekis, bet didėjantis ekstremalių su orais susijusių įvykių skaičius, kurie kelia ir kels grėsmę tiek žmonėms, tiek juos supančiai aplinkai.

IPCC ataskaitose teigiama, jog augant vidutinei oro temperatūrai daugelyje pasaulio regionų bus daugiau šilumos ir mažiau šalčio ekstremumų. Šie pokyčiai vienodai tikėtini tiek kalbant apie kelių dienų, tiek apie sezonines temperatūros anomalijas. Labai tikėtina, jog karščio bangų dažnis, trukmė bei stiprumas vis didės. Todėl tokios karščio bangos, kaip 2003 metais Vakarų Europoje, bus vis dažnesnės.

Nepaisant to, jog orai šils, tačiau vis dar išliks ir ekstremalių šalčių tikimybė. Besniegėmis žiemomis, staigūs stiprūs šalčiai gali padaryti labai didelę žalą infrastruktūrai (pavyzdžiui, sutrikdyti centralizuotą šilumos tiekimą), žemės ūkio pasėliams bei kelti pavojų žmonėms.

Numatoma, jog didžiojoje pasaulio sausumos dalyje šiltų naktų skaičius augs greičiau nei šiltų dienų. Ekstremaliai šaltų naktų skaičius labiausiai sumažės šiaurinėse platumose. Vidutinėse ir subtropinėse platumose labiau nei kitur augs ekstremalių karščių tikimybė, tuo tarpu šiltų dienų ir naktų skaičius labiausiai didės tropikuose. Visuose regionuose mažės dienų su šalčiais (t.y. kai oro temperatūra nukrenta žemiau 0 °C) skaičius. JAV mokslininkai nustatė, jog jų šalyje teigiami paros temperatūros rekordai fiksuojami dvigubai dažniau nei neigiami. Tuo tarpu XXI amžiaus viduryje maksimalios temperatūros rekordų bus dvidešimt kartų, o pabaigoje – penkiasdešimt kartų daugiau, nei kad minimalios temperatūros.

Augant temperatūrai ir stiprėjant garavimui daugelyje pasaulio vietovių išaugs sausrų

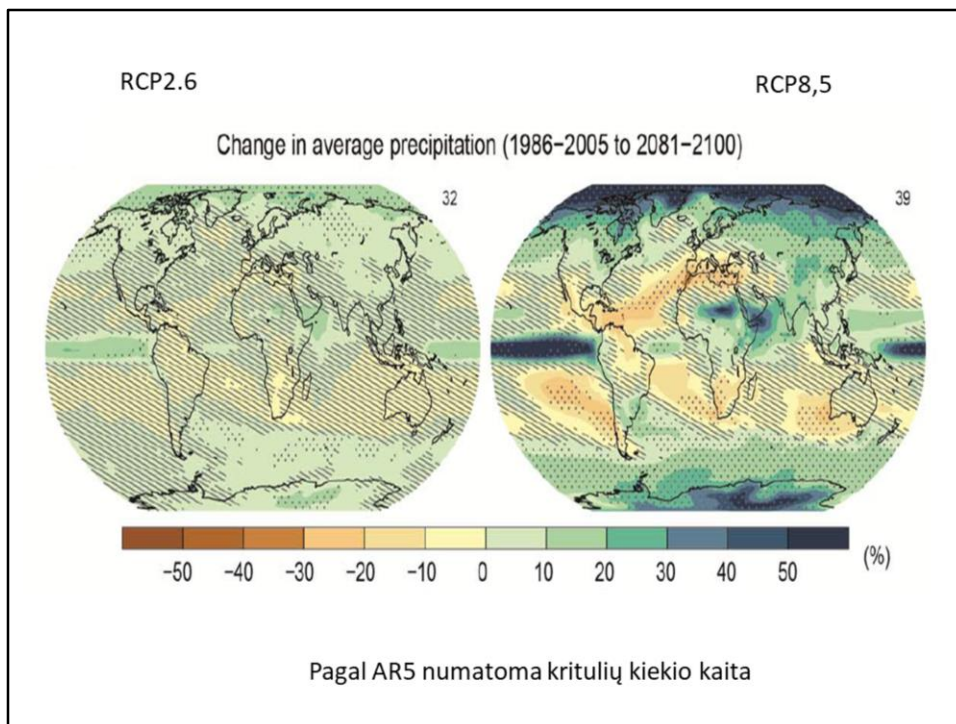
tikimybė. Itin stipriai sausrų tikimybė išaugs vidutinėse platumose.

Globaliu mastu dažnės trumpalaikės, bet itin intensyvios liūtys. Apskaičiuota, jog temperatūrai išaugs 1 °C metinis paros kritulių maksimumas vidutiniškai išaugs 5 %. Numatoma jog XXI amžiaus pabaigoje virš sausumos per patį lietingiausią metuose penkių dienų laikotarpį iškris 5-20 % daugiau kritulių nei dabar. Augs ir labai stiprių kritulių tikimybė drėgnuojų metų periodu musoninėse srityse. Numatoma, jog daugelyje pasaulio regionų dažniau formosis palankios sąlygos perkūnijoms formuotis.

Vis dar daug neaiškumų lieka tiriant galimus audrų bei uraganų skaičiaus pokyčius. Tikėtina, jog maksimalus vėjo greitis bei kritulių kiekis tropiniuose ciklonuose augs. Tačiau numatoma, jog bendras tropinių ciklonų skaičius gali mažėti arba išliks nepakitęs. Prognozuojama, jog audrų skaičius vidutinėse abiejų pusrutulių platumose mažės.

Numatoma, jog klimato pokyčiai (kalnų ledynų bei nuolatinio įšalo tirpimas, ekstremalūs krituliai ir kt.) lems kalnų šlaitų nestabilumą, todėl augs kalnų griūčių bei nuošliaužų tikimybė.

Taip pat labai tikėtina, jog dėl Arkties ledynų (daugiausia Grenlandijos skydo) tirpimo Golfo srovės greitis (o taip pat ir šildantis poveikis) Šiaurės Atlante sulėtės. Nepaisant to, oro temperatūra Šiaurės Atlante bei Europoje augs, nors mažiau nei kad galėtų kintančio globalaus klimato sąlygomis. Visiškas Golfo srovės sustojimas yra vargiai įmanomas.



Drauge su oro temperatūra kritulių kiekis yra svarbiausias vietovės klimato sąlygas apibūdinantis rodiklis. Ir šiuo atveju yra svarbu ne vien tai kaip keisis metinis kritulių kiekis, bet ir jo pasiskirstymo per metus kaita. Kita vertus nedidelis kritulių kiekio padidėjimas dar nereiškia, jog vietovėje drėgmės bus daugiau, nes augant temperatūrai didėja ir garavimas nuo paviršiaus.

Skirtingų globalių klimato modelių prognozuojama kritulių kiekio kaita gana gerai dera tarpusavyje, kai analizuojamos bendros pokyčių tendencijos didelėse teritorijose. Tačiau regioninėse prognozėse dažnai skiriasi ne tik prognozuojamų pokyčių dydis, bet ir ženklas.

Globaliu mastu kritulių kiekis augs. Šiltesniame ore būna daugiau išgaravusio vandens, kuris gali kondensuotis ir iškristi kaip krituliai. Tačiau kritulių kiekis nedidės taip stipriai kaip vandens garų ore kiekis, kadangi santykinis drėgnumas (dydis parodantis oro prisotinimo vandens garais laipsnį) augs lėčiau. Kritulių kiekis gali keistis ir dėl aerozolių kiekio ore didėjimo (jie yra vandens lašelių kondensacijos branduoliai) kai kuriuose regionuose.

Pagal skirtingus RCP scenarijus globaliu mastu kritulių kiekis iki XXI amžiaus pabaigos padidės nuo 0,5 iki 4 %. Antra vertus artimiausiais dešimtmečiais vidiniai klimato sistemos svyravimai bus ryškesni nei išorinių veiksnių poveikis, t.y. atmosferos sudėties pokyčių iššaukti pasikeitimai.

Pokyčių XXI amžiuje dydis ir ženklas bus itin nevienodai pasiskirstęs Žemės rutulyje. Kai kuriuose regionuose kritulių kiekis stipriai išaugs, o kituose – sumažės. Daug kur

kritulių kiekis visai nepakis. Numatoma, jog dar labiau padidės kontrastingumas tarp regionų su drėgmės pertekliumi ir stoka, t.y. drėgni regionai bus dar drėgnesni, o sausuose – kritulių bus mažiau.

Virš sausumų plotų aukštosiose platumose (Šiaurės Eurazijoje ir Šiaurės Amerikoje) kritulių kiekis turėtų stipriai išaugti (ypač pagal RCP 8.5 scenarijų) dėl augančio oro masių drėgnumo bei stiprėjančios vandens garų pernašos iš tropinių platumų. Ypač stipriai šiuose regionuose kritulių kiekis padidės šaltuoju metų laiku. Šaltesnėse vietovėse daugiau snigs ir storės sniego danga, šiltesnėse ir žiemą vis dažniau lis lietus, o sniego bus mažiau. Kritulių kiekis turėtų didėti ir perteklinio drėkinimo vidutinių platumų regionuose. Tuo tarpu aridinėse bei pusiau aridinėse vidutinių ir subtropinių platumų srityse kritulių kiekis dar labiau sumažės. Tropikuose kritulių kiekis labiausiai augs virš ekvatorinės Ramiojo ir Indijos vandenyno dalies, tuo tarpu kritulių kiekis iškrentantis ant vandenyno paviršiaus subtropikuose - mažės.

Daug kur didės kritulių pasiskirstymo netolygumas per metus. Tai bus itin pastebima srityse, kur aiškiai išsiskiria sausasis ir drėgnasis metų sezonai. Pavyzdžiui, musoninio klimato zonose.

Tikėtina, jog didžiojoje pasaulio dalyje gausių kritulių atvejų skaičius didės, o taip pat didės ir gausių kritulių dalis bendrame jų kiekyje. Trumpalaikiai, tačiau didelio intensyvumo krituliai derės kartu su ilgėjančiais sausringais periodais. Ekstremalių kritulių atvejų skaičiaus ir intensyvumo didėjimas itin tikėtinas vidutinėse platumose bei drėgnuosiuose tropikuose. Apskaičiuota, jog išaugus vidutinei temperatūrai vienu laipsniu paros kritulių iškrentančių kartą per 20 metų maksimumas vidutiniškai išaugs 4-5%.

Svarbiausi numatomi atmosferos ir okeano cirkuliacijos kaitos bruožai

- Labai tikėtina, jog termohalininės cirkuliacijos greitis Šiaurės Atlante sulėtės XXI amžiuje (20 RCP4.5 - 44% RCP8.5). Nepaisant to, dėl kitų poveikių oro temperatūra Šiaurės Atlante bei Europoje augs. Visiškas termohalininės cirkuliacijos nutrūkimas yra labai mažai tikėtinas.
- Tikėtina, jog maksimalus vėjo greitis bei kritulių kiekis tropiniuose ciklonuose augs. Tačiau numatoma, jog bendras tropinių ciklonų skaičius gali mažėti arba išliks nepakitęs.
- Tikėtina, jog audrų vidutinėse abiejų pusrutulių platumose mažės.
- XXI amžiuje galimi ENSO pasikeitimai yra neaiškūs ir skirtinguose modeliuose labai skiriasi.

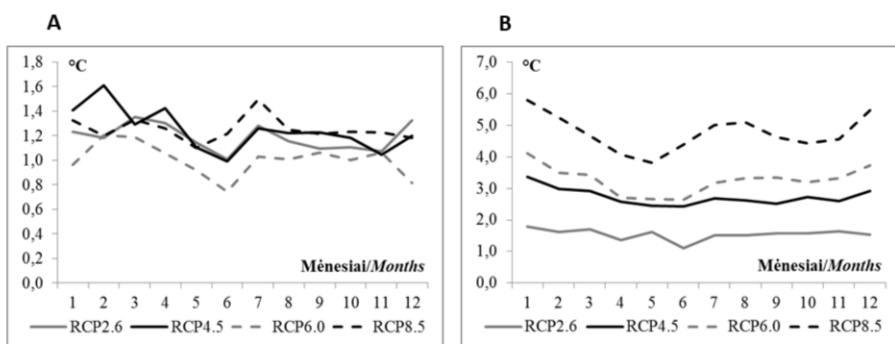


Numatoma jog XXI amžiaus pabaigoje virš sausumos per patį lietingiausią metų penkių dienų laikotarpį iškris 5-20% daugiau kritulių nei dabar. Augs ir labai stiprių kritulių tikimybė drėgnuosiu metų periodu musoninėse srityse. Numatoma, jog daugelyje pasaulio regionų dažniau formosis palankios sąlygos perkūnijoms formotis.

Vis dar daug lieka tiriant galimus audrų bei uraganų skaičiaus pokyčius. Tikėtina, jog maksimalus vėjo greitis bei kritulių kiekis tropiniuose ciklonuose augs. Tačiau numatoma, jog bendras tropinių ciklonų skaičius gali mažėti arba išliks nepakitęs. Prognozuojama, jog audrų skaičius vidutinėse abiejų pusrutulių platumose mažės. Numatoma, jog klimato pokyčiai (kalnų ledynų bei nuolatinio įšalo tirpimas, ekstremalūs krituliai ir kt.) lems kalnų šlaitų nestabilumą, todėl augs kalnų griūčių bei nuošliaužų tikimybė.

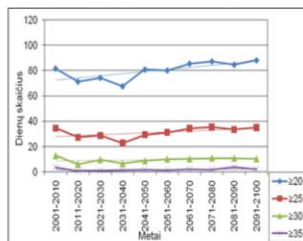
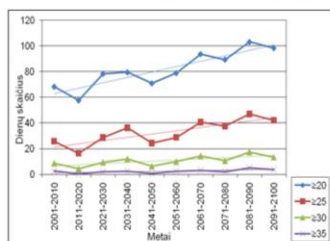
Taip pat labai tikėtina, jog dėl Arkties ledynų (daugiausia Grenlandijos skydo) tirpimo Golfo srovės greitis (o taip pat ir šildantis poveikis) Šiaurės Atlante sulėtės. Nepaisant to, oro temperatūra Šiaurės Atlante bei Europoje augs, nors mažiau nei kad galėtų kintančio klimato sąlygomis. Visiškas Golfo srovės sustojimas yra vargiai įmanomas.

Lietuvos klimato prognozės

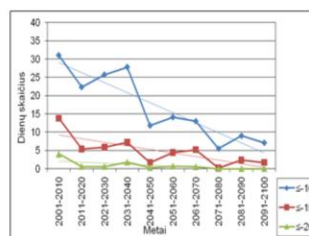
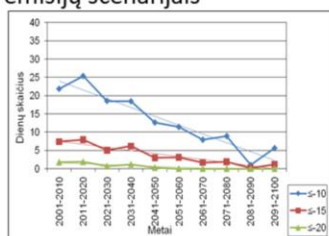


Numatomi oro temperatūros pokyčiai Lietuvoje iki 2035 m. (A) ir iki 2100 m. (B) remiantis RCP scenarijais.

Ekstremalios temperatūros pagal CCLM modelį (Margelytė, 2011)

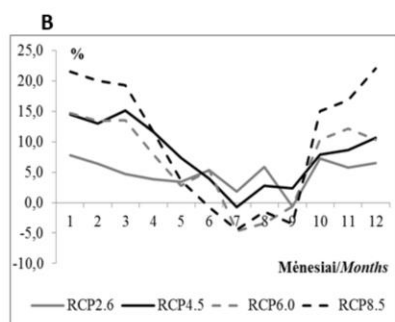
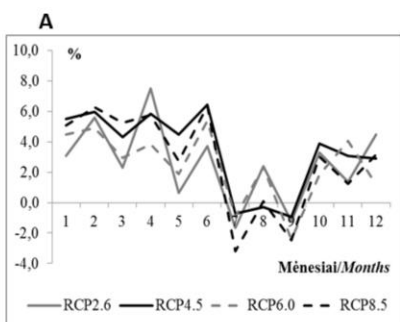


Dienų skaičius per metus su skirtinga šiltojo sezono maksimalia oro temperatūra 2001-2100 m. laikotarpiu Vilniuje remiantis A1B (kairėje) ir B1 (dešinėje) šiltnamio dujų emisijų scenarijais

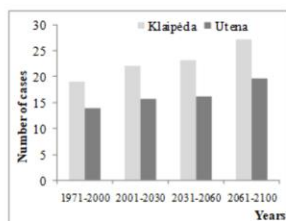


Dienų skaičius per metus su skirtinga šaltojo sezono minimalia oro temperatūra 2001-2100 m. laikotarpiu Vilniuje remiantis A1B (kairėje) ir B1 (dešinėje) šiltnamio dujų emisijų scenarijais

Krituliai



Numatomi oro temperatūros pokyčiai Lietuvoje iki 2035 m. (A) ir iki 2100 m. (B) remiantis RCP scenarijais.



Atvejų skaičiaus, kai vienos dienos kritulių suma viršija 10 mm prognozė

Ar gera mūsu „klimatinē atmintis“?

Mūsu vaikystēs ir paauglētās

Vasaros -šiltos ir saulētos

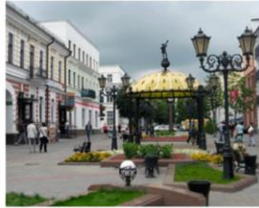


Žiemos -šaltos ir sniegingos

Dabar mes jau gyvename naujo klimato sąlygomis ir atitinkamai jį vertiname

Tai koks gi klimatas mūsu laukia ateityje?

RCP 2.6 - Brestas



RCP 4.5 - Niurnbergas



RCP 6.0 - Užhorodas



RCP 8.5 - Pečas



O kur dabartinėmis sąlygomis
lietuviams būtų komfortiška?

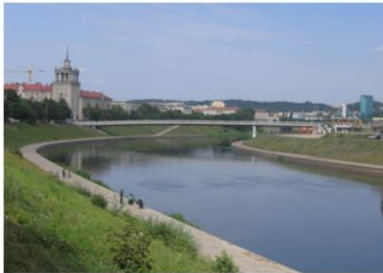


„Prognozės paprastai daugiau
pasako apie patį prognozuotoją
negu apie ateitį.“ W. Buffett.



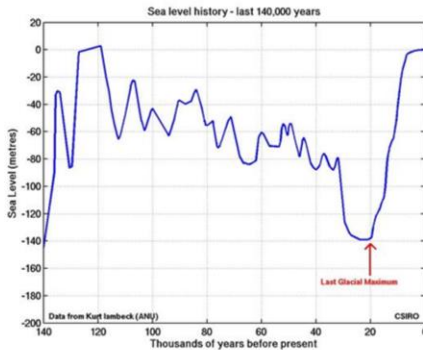
57

Hidrosferos pokyčiai matavimų laikotarpiu

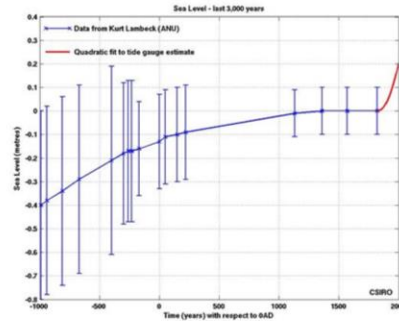


Pasaulinio vandenyno lygio kaita

- Per paskutinius 140 000 metų jūros lygis svyravo 120 metrų diapazone. Jūros lygis išaugo 120 metrų nuo paskutinio ledynmečio pabaigos.
- Jūros lygis stabilizavosi per kelis pastaruosius tūkstantmečius.
- Jūros lygis vėl pradėjo augti XIX amžiuje, o XX amžiuje augimo tempas padidėjo.
- Remiantis palydovine informacija nuo XX amžiaus paskutinio dešimtmečio pradžios vandens lygis auga apie 3 mm/per metus.

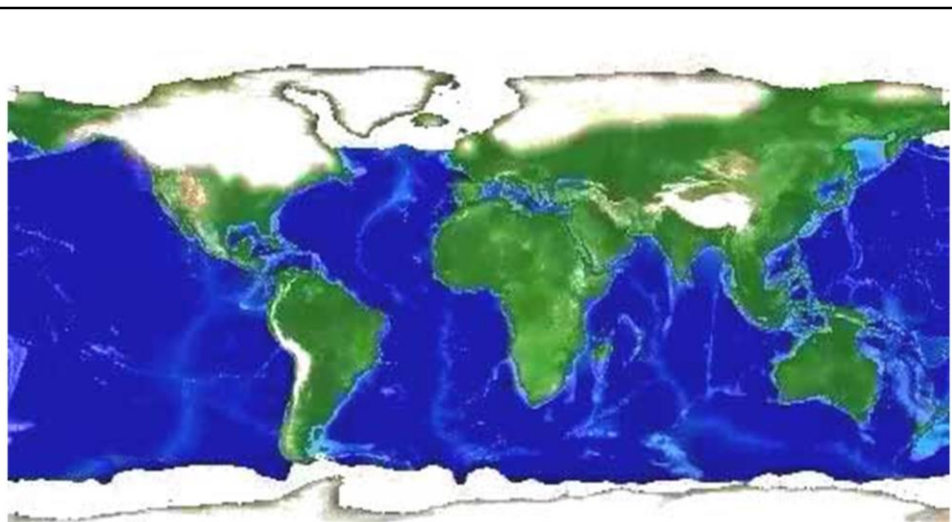


Pasaulinio vandenyno lygio kaita per 140000 metų



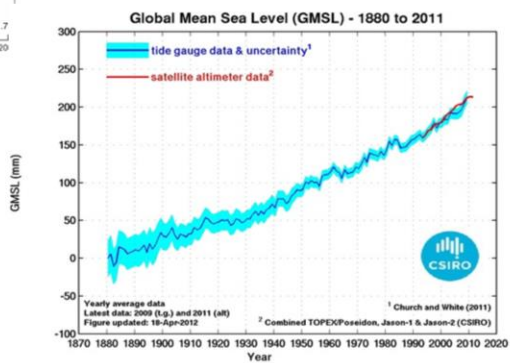
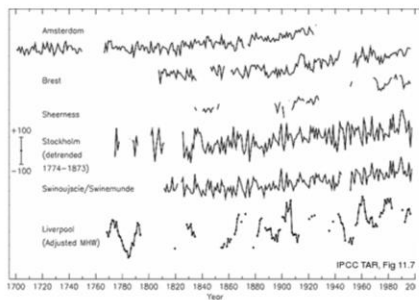
Pasaulinio vandenyno lygio kaita per 3000 metų

http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl_drives_longer.html

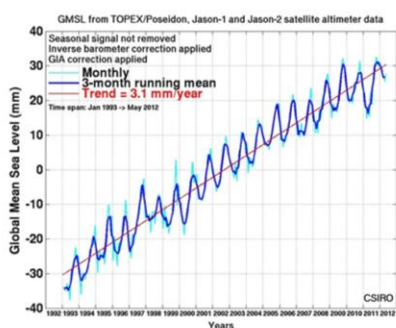


Rice University

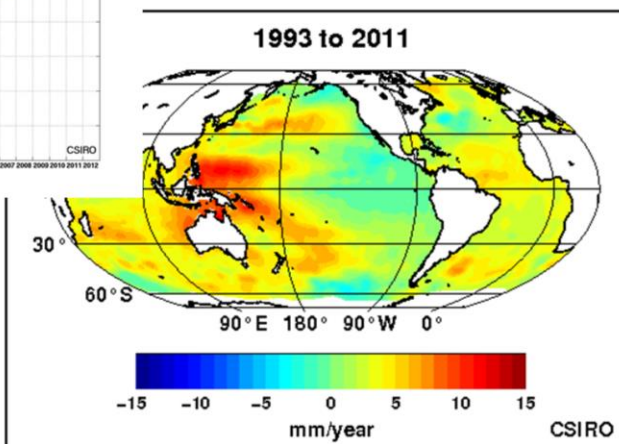
Maksimalus ledo dangos išplitimas paskutinio ledynmečio Šiaurės pusrutulyje metu



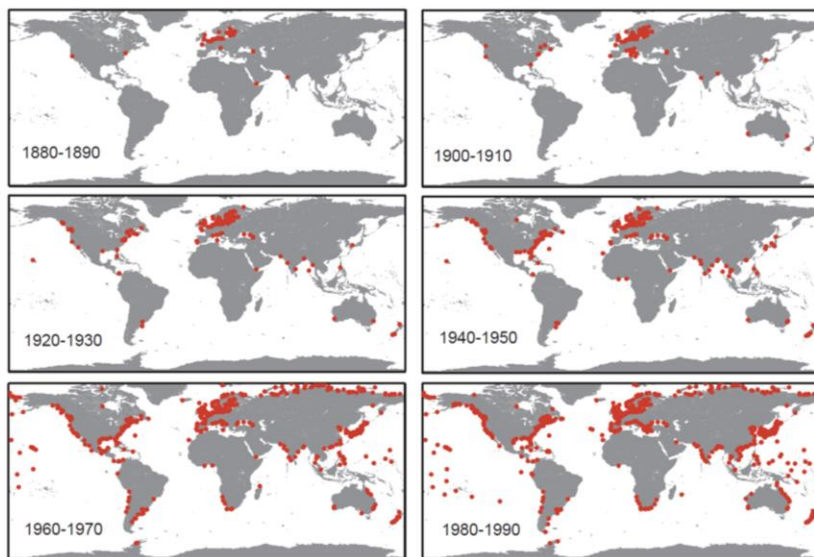
XX amžiuje jūros lygis vidutiniškai kilo 1,7 mm/metus (pokytis statistiškai reikšmingas). O 1901-2010 metais išaugo 19 cm.



XX amžiaus pabaigoje jūros lygio kilimas sustiprėjo. 1993-2012 metais pokytis siekė 3,1 mm/metus.



Jūros Žemės rutulyje lygis kinta nevienodai. Priklauso nuo temperatūros kaitos bei vėjų režimo



Jūros lygio matavimo postų skaičiaus kaita pagal AR5

Ilgalaikių svyravimų priežastys



<https://www.youtube.com/watch?v=VEuEggdJXHg>

Vandenyno lygio kaitą galima skirstyti į trumpalaikius svyravimus bei ilgalaikius pokyčius. Ilgalaikiai pokyčiai formuojasi dėl vandens tūrio ir masės pokyčių vandenyne. Vandens masė daugiausiai kinta dėl ledynų ir ledo skydų tirpimo, o tūris taip pat ir dėl vandens terminio plėtimosi augant jo temperatūrai. Tai yra dvi svarbiausios vandenyno lygio kilimo priežastys.

Augant globaliai oro temperatūrai sausumoje esantis ledas (daugiausia kalnų ledynai bei ledo skydai) tirpsta ir tirpsmo vanduo suteka į vandenyną. Šis procesas stiprėja ir jei anksčiau (prasidėjus šiuolaikiniams klimato pokyčiams) ledo tirpsmo vandenys lėmė tik kiek daugiau nei pusę viso vandenyno lygio kilimo, tai manoma, jog 2005-2011 metais šio proceso indėlis siekė net 75 %.

Būtina paminėti, jog dauguma ledynų vasaros metu nežymiai aptirpsta, o žiemą ant ledyno krentantis sniegas kompensuoja netektis. Tačiau dėl klimato atšilimo dauguma ledynų vasarą tirpsta greičiau, o žiemą sniego iškrenta mažiau. Todėl ledynų masė mažėja, o vandenyno lygis auga.

Kalnų ledynų vanduo į vandenyną yra atnešamas sausumos upių, kurių nuotėkis dėl stiprėjančio ledynų tirpsmo auga. Poliarinių ledo skydų vanduo į vandenyną patenka laikinomis vasarą susidarantiomis vandentėkmėmis, be to šylant klimatui nuo ledo skydų vis dažniau atskyla stambūs ledo gabalai (ledkalniai). Yra manoma, jog dalis tirpsmo vandens kaupiasi po ledo skydais, kur jis sąveikaudamas su vandenyno vandeniu labai pagerina ledo slydimą į vandenyną. Tokiu būdu ledo skilimo procesas dar labiau susistiprėja. Be to, iš apačios augant vandens temperatūrai pradeda tirpti ir skilinėti milžiniški nuo Antarktidos krantų nutįsę šelfiniai ledynai (jie pristabdo

sausumos ledynų slydimą).

Kita svarbi vandenyno lygio kilimo priežastis yra terminis vandens plėtimasis. Augant vandens temperatūrai, jo tankis mažėja ir vanduo, kaip ir bet kuris kitas skystis, plečiasi bei užima didesnę tūrį. Apie pusę vandenyno lygio pokyčių XX amžiuje gali būti siejami su terminiu vandens plėtimusi, tačiau pastaraisiais metais sustiprėjus ledynų tirpimui santykinis terminio plėtimosi indėlis sumažėjo. Apskaičiuota, jog jeigu 4000 metrų vandens stulpas sušiltų 1°C, tai vidutiniškai jūros lygis išaugtų 50 cm. Tačiau šilumos apykaita su gilesniais vandenyno sluoksniais yra labai lėta ir tokio didelio vandens sluoksnio terminių savybių pokyčiai vyksta itin lėtai. Todėl daugiausiai kinta tik viršutinio sluoksnio temperatūra. Tačiau būtent dėl lėtos šilumos apykaitos terminis plėtimasis gali vykti ir po to kai vandens paviršiau temperatūra nebesikeis. Vandenyno lygio pokyčiai skirtingose pasaulio vietose skiriasi. Tam didelę įtaką daro vėjo režimo pasikeitimai: dėl to kinta vandenyno srovių režimas, gali sustiprėti bangavimas ir kt. Upių deltose vandenyno lygis gali augti dėl sąnašų kaupimosi. Dėl intensyvaus požeminio vandens naudojimo gausiai apgyvendintose teritorijose, sausumos paviršius gali pažemėti, o vandenyno vanduo užlieti pakrantės plotus. Vandenyno lygis nežymiai gali sumažėti dėl didelių sausumos vandens saugyklų įrengimo. Labai svarbūs yra ir tektoniniai judesiai.

Trumpalaikiai jūros lygio svyravimų priežastys

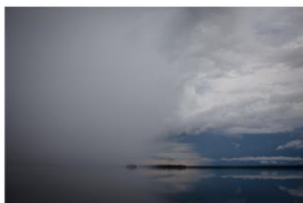
Potvyniai ir atoslūgiai



Vėjo (audrų) patvankos



Krituliai ir garavimas

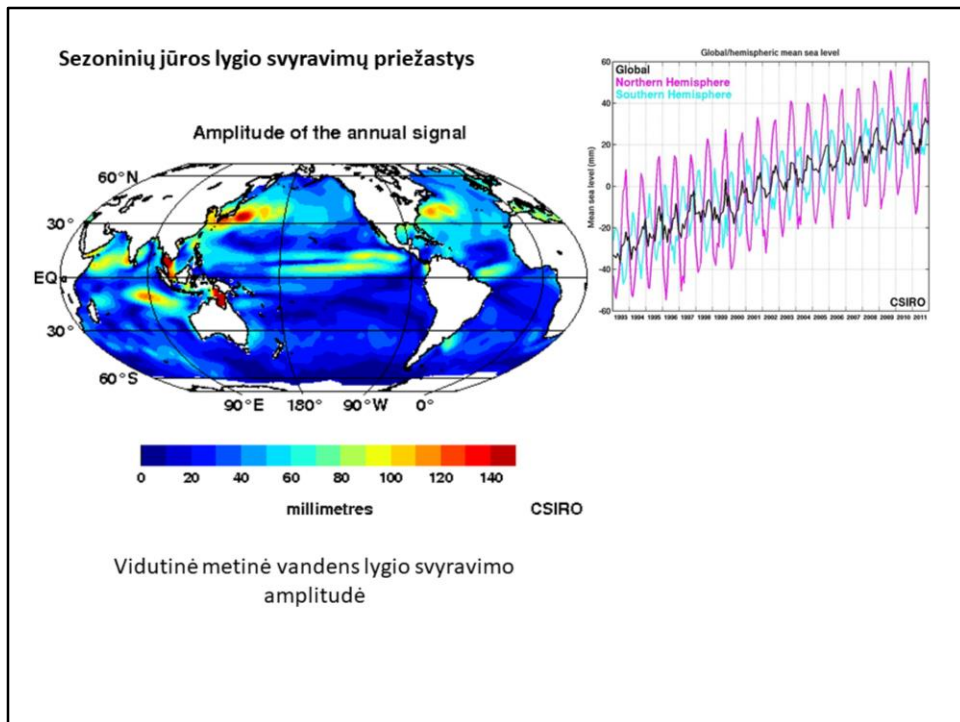


Seišos



Cunamis





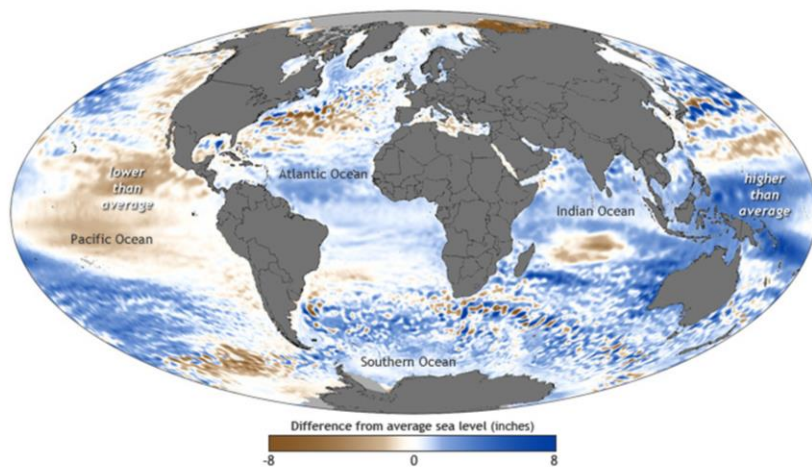
Vasarą vandens lygis jūrose yra aukštesnis.

Sezoniniai svyravimai susiję su:

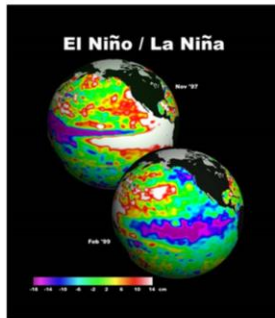
1. Sezoniniu vandens terminiu plėtimusi;
2. Šiaurės pusrutulyje žiemą sukauptu didesniu vandens kiekiu;
3. Sezoniniais srovių režimo pokyčiais.

Svarbus veiksnys – potvynių režimas stambiose upėse

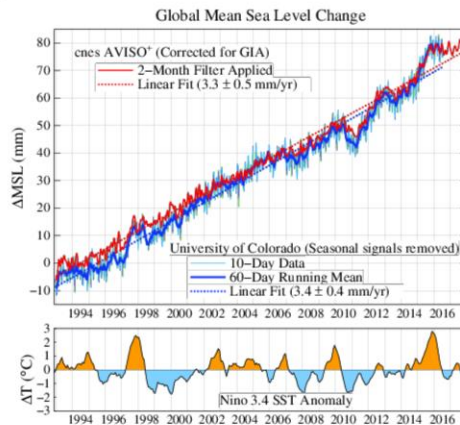
Jūros lygis ne visur yra vienodas. Paveiksle vidutinis jūros lygis 2011 metais.



ENSO ir jūros lygio svyravimai



Dėl skirtingos krypties
vėjų režimo ryškūs ir
regioniniai jūros lygio
skirtumai skirtingų
ENSO fazių metu



ENSO indekso (SOI) ir pasaulinio jūros lygio kaita

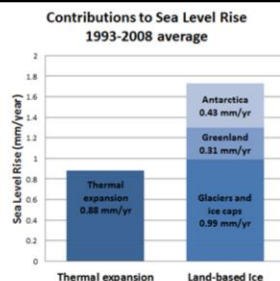
Pasaulinis jūros lygis gerai koreliuoja su ENSO. El Nino metu lygis kyla, o La Nina metu leidžiasi. Tą lemia viršutinio vandens sluoksnio temperatūros kaita ir su tuo susiję terminio išsiplėtimo svyravimai bei atmosferos cirkuliacijos pasikeitimai (persiskirsto krituliai virš vandenyno bei sausumos).

Manoma, jog pasaulinio jūros lygio kritimas 2010-2011 metais (5 mm) buvo sukeltas itin stipraus La Nina. Jo metu dėl pasikeitusio kritulių režimo išaugo vandens atsargos sausumoje (Australijoje, Pietų Amerikoje, Pietryčių Azijoje) (Boening et al., 2012).

Boening, C., J. K. Willis, F. W. Landerer, R. S. Nerem, and J. Fasullo (2012), The 2011 La Niña: So strong, the oceans fell, Geophys. Res. Lett., 39, L19602, doi:10.1029/2012GL053055.

**Vandens masė pokyčiai dėl ledo skydų,
ledynų bei ledo kepurių kaitos**

Indėlis į jūros lygio augimą 1993-
2008 metais (Church et al., 2011)



Atskirų komponentų indėlis į jūros lygio augimą pagal AR5

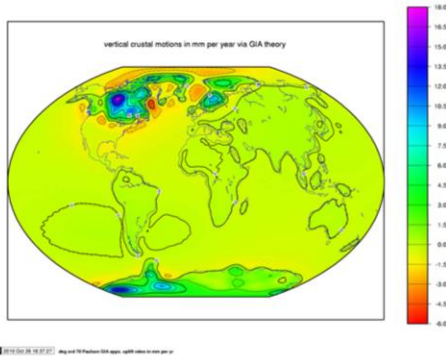
Source	1901–1990	1971–2010	1993–2010
Observed contributions to GMSLR			
Thermal expansion		0.8 [0.5 to 1.1]	1.1 [0.8 to 1.4]
Glaciers except in Greenland and Antarctica	0.54 [0.48 to 0.61]	0.62 [0.25 to 1.00]	0.76 [0.39 to 1.13]
Glaciers in Greenland ^b	0.15 [0.10 to 0.19]	0.06 [0.03 to 0.09]	0.10 [0.07 to 0.13]
Greenland ice sheet			0.33 [0.25 to 0.41]
Antarctic ice sheet			0.27 [0.16 to 0.38]
Land water storage	−0.11 [−0.16 to −0.06]	0.12 [0.03 to 0.22]	0.38 [0.26 to 0.49]
Total of contributions			2.8 [2.3 to 3.4]
Observed GMSLR	1.5 [1.3 to 1.7]	2.0 [1.7 to 2.3]	3.2 [2.8 to 3.6]
Modelled contributions to GMSLR			
Thermal expansion	0.37 [0.06 to 0.67]	0.96 [0.51 to 1.41]	1.49 [0.97 to 2.02]
Glaciers except in Greenland and Antarctica	0.63 [0.37 to 0.89]	0.62 [0.41 to 0.84]	0.78 [0.43 to 1.13]
Glaciers in Greenland	0.07 [−0.02 to 0.16]	0.10 [0.05 to 0.15]	0.14 [0.06 to 0.23]
Total including land water storage	1.0 [0.5 to 1.4]	1.8 [1.3 to 2.3]	2.8 [2.1 to 3.5]
Residual^b	0.5 [0.1 to 1.0]	0.2 [−0.4 to 0.8]	0.4 [−0.4 to 1.2]

Apskaičiuoti Antarktidos ir Grenlandijos ledo masės balansą yra ganėtinai sunku, todėl tik atsiradus šiuolaikinei modernių palydovų teikiamai informacijai buvo nustatyta, jog Grenlandijos ledo skydas pačioje XX amžiaus pabaigoje bei XXI amžiaus pradžioje tirpo. Ar tokie pokyčiai tęsiasi jau seniai nėra žinoma. Nors tikėtina, kad Antarktidoje ledo skydas taip pat tirpsta, tačiau informacijos neapibrėžtumas yra toks didelis, jog tikėtina ir ledo dangos akumuliacija.

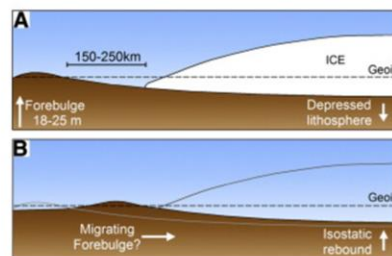
Kalnų ledynai ir ledo kepurės traukiasi. Teigiama, jog didelė dalis jūros lygio pokyčių XX amžiuje gali būti aiškinami jų tirpimu. Jei ištirptų visi kalnų ledynai ir ledo kepurės – jūros lygis pakiltų 15-37 cm.

Church, J.A., J.M. Gregory, N.J. White, S.M. Platten, and J.X. Mitrovica. 2011. *Understanding and projecting sea level change. Oceanography* 24(2):130–143, doi:10.5670/oceanog.2011.33.

Tektoniniai judesiai



Izostazinio kilimo greitis

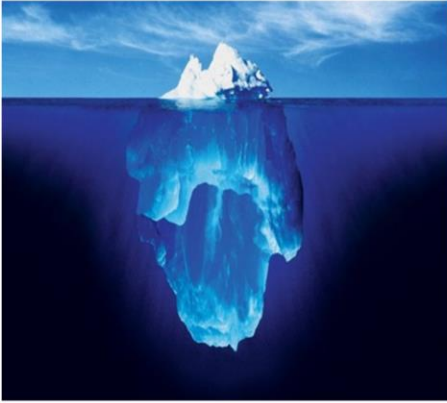


Glacioizostazija – litosferos izostazinės pusiausvyros atsikūrimas ištirpus ledynui. Dingus milžiniškam ledo masės poveikiui ne tik kyla suspausta žemės pluta, bet ir leidžiasi aplinkinės teritorijos, kurios buvo pakilusios ledynmečio metu. Pvz., Skandinavijos pusiasalis vis dar stipriai kyla, pietinė Baltijos jūros regiono dalis ne taip ženkliai leidžiasi.

Nemaža geologinių procesų gali lemti gan staigius jūros lygio pokyčius. Pavyzdžiui:

- Žemės drebėjimai
- Sedimentaciniai procesai upių deltose
- Naudingųjų iškasenų gavyba

Ar arkties jūros ledo tirpimas veikia pasaulinio vandenyno lygį?



Dažniausiai teigiama.

Tirpstantys jūrų ledai tiesiogiai nelemia pasaulinio vandenyno lygio pokyčių, kadangi toks ledas plūduriuoja vandenyje ir jam ištirpus vandens lygis nepasikeistų.

Gėlo vandens tankis ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$) – 1000 kg/m^3
Ledo tankis – $916,7\text{ kg/m}^3$

Tai ne visa tiesa!

Minėtas teiginys pilnai tinka gėlam vandeniui, tačiau druskingame pasauliniame vandenyne tirpstant ledui nesikeičia tik vandens masė, bet ne tūris!



Gėlo vandens tankis (4 °C) – 1000 kg/m^3
Vidutinis pasaulinio vandenyno vandens tankis – 1026 kg/m^3
Artimo 0 °C vandenyno vandens tankis apie 1028 kg/m^3

Kadangi ledas yra gėlas, o susidaręs vandens tūris yra apie 2,8% didesnis nei vandens tūris kurį išstumia plūduriuojantis ledas.

Ledas yra beveik gėlas, nes jūros druska nėra įjungiamą į besiformuojančius ledo kristalus¹. Tai reiškia, jog formuojantis jūros ledui vandens tankis auga ir vandens lygis žemėja. Tuo tarpu ledui tirpstant, mažėja vidutinis vandens tankis, o vandens lygis kiek išauga. Masė nesikeičia, o susidaręs vandens tūris yra apie 2,8% didesnis nei vandens tūris kurį išstumia plūduriuojantis ledas.

¹ - ką tik susiformavęs jūros ledas yra gana sūrus, nes druskos kristalai, išlieka tarpuose tarp ledo kristalų. Laikui bėgant druskos pasišalina iš ledo ir daugiametis ledas gali būti naudojamas gėrimui.

Ar tai daro įtaką globaliems vandens lygio pokyčiams?

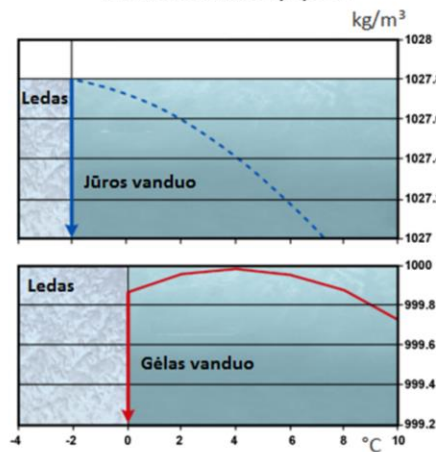
Poveikį mažinantis efektas.

Kadangi jūros ledas pasižymi dideliu albedu (saulės spinduliai jį menkai tirpdo), tai ledo tirpsmui daugiausia naudojama aplinkinio vandens vidinė energija. Vanduo vėsta. Tankis didėja (jūros vandens tankio maksimumas yra ne 4°C). Vandens lygis mažėja.

Summa Summarum.

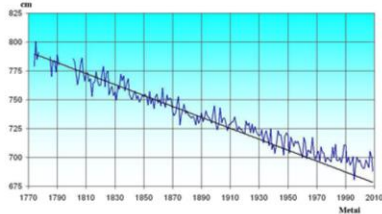
Taigi poveikis egzistuoja tačiau jis labai nedidelis. Didžiosios Britanijos mokslininkų grupė nustatė, jog laikotarpiu nuo 1994 iki 2004 metų jūros ledo tirpimas lėmė vos 1,6% nuo viso (3,1 mm/per metus) jūros lygio kilimo. Taigi apie 0,049mm/per metus (Shepherd et al, 2010).

Jūros (druskingumas 35‰) ir gėlo vandens tankio ryšys su

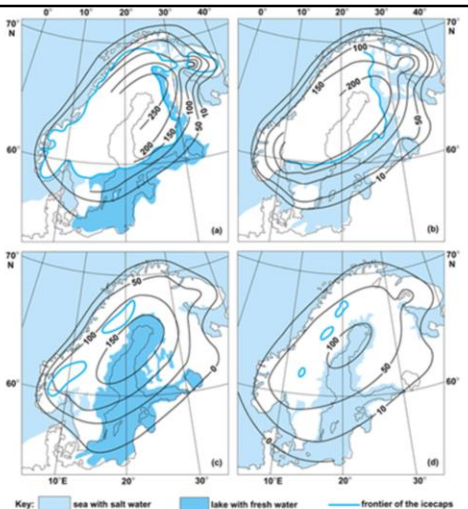
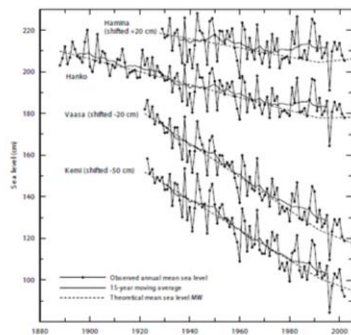


Shepherd, A., D. Wingham, D. Wallis, K. Giles, S. Laxon, and A. V. Sundal (2010), Recent loss of floating ice and the consequent sea level contribution, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13503, doi:10.1029/2010GL042496.

Baltijos jūras līdņa kaita



Jūras līdņa kaita Stokholme 1770–2009
(Hammarklint, 2009) bei keturiuose
Suomijos stotyse (Johansson et al. 2004)



Poledynmetinis Baltijos jūras vystymasis:
(a) Baltijos ledyninis ežeras, 12000–8000
B.C.; (b) Joldijos jūra 8000–7250 B.C.; (c)
Ancyliaus ežeras 7250–2000 B.C.; (d)
Litorinos jūra 2000–A.D. 500.

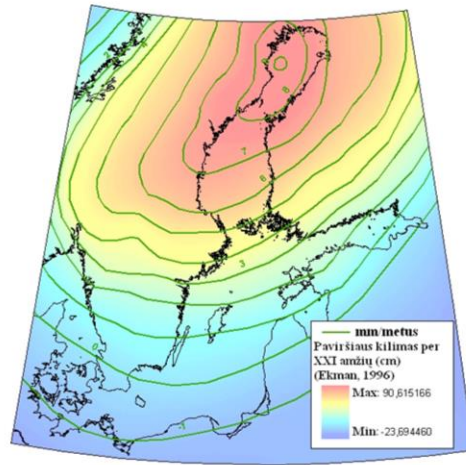
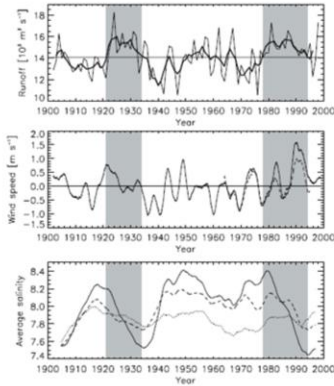
Johansson M, Kahma KK, Boman H, Launiainen J (2004) Scenarios for sea level on the Finnish coast. *Boreal Env Res* 9:153–166

K. Grasshoff, in S. P. Riley and G. Skirrow, eds., *Chemical Oceanography*, vol. 2: *The Hydrochemistry of Landlocked Basins and Fjords*, Academic Press, 1975)

Hammarklint, T. 2009: *Swedish Sea Level Series - A Climate Indicator*. SMHI Report.

Baltijos jūros lygio kitimo priežastys

1. Eustatiniai jūros lygio pokyčiai
 - a) Dėl terminio plėtimosi
 - b) Dėl kontinentinių ledynų tūrio keitimosi
 - c) Dėl sausumos nuotėkio svyravimų
2. Tektoniniai judesiai
3. Vėjo greičio ir krypties pokyčiai



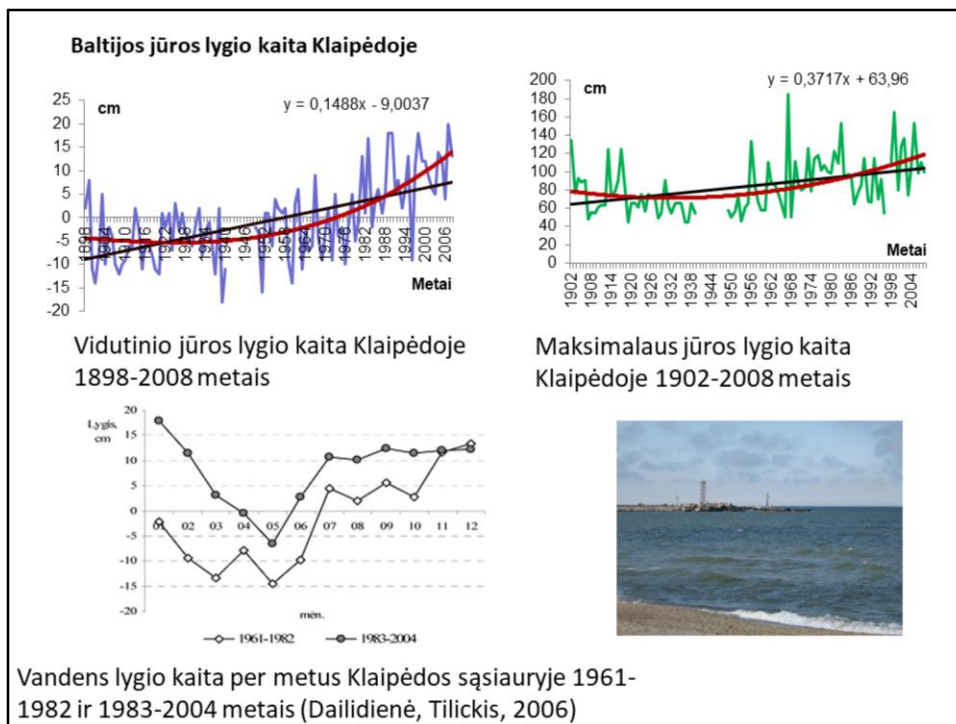
Numatomas paviršiaus kilimas ar leidimasis
Baltijos jūros regione XXI amžiuje

Vidutiniai upių nuotėkio, vėjo greičio ir druskingumo svyravimai
Baltijos jūroje XX amžiuje (Meier, Kauker 2003)

Meier HEM, Kauker F (2003) Modeling decadal variability of the Baltic Sea: 2. Role of freshwater inflow and large-scale atmospheric circulation for salinity. J Geophys Res 108(C11) 3368doi:10.1029/2003JC001799

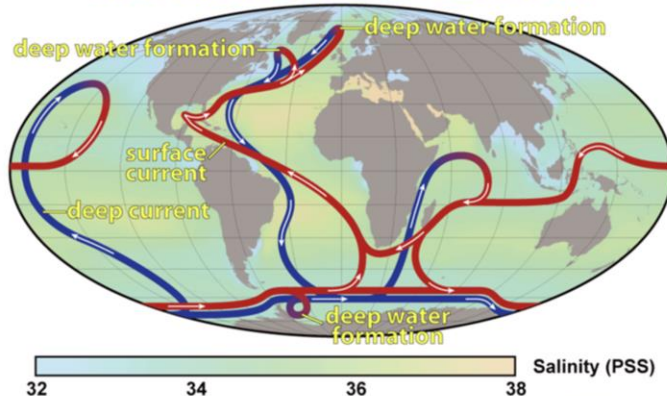
Baltijos jūra neatsiejama pasaulinio vandenyno dalis, nors jos jūros lygio svyravimai pasižymi tam tikra specifika. Pavyzdžiui, šiaurinėje Baltijos jūros dalyje jūros lygis krenta dėl litosferos izostazinės pusiausvyros atsikūrimo po paskutinio ledynmečio (t.y. į viršų kyla sausumos paviršius, kurio nebespaudžia ledynas). Lietuvos pakrantei didelę įtaką daro vėjų režimo pokyčiai. Čia vidutinis jūros lygis auga didėjant vakarų vėjų pasikartojimui.

Vidutinis Baltijos jūros druskingumas sumažėjo XX amžiaus pabaigoje, bet panašūs pokyčiai buvo fiksuoti ir anksčiau.



Dailidienė I. Tilickis B. (2006). Kuršių marių hidrologinio režimo kitimo ypatumai. Vandens inžinerija: šiuolaikiniai tyrimo metodai ir technologijos. Mokslinės konferencijos HYDRO-06 straipsnių rinkinys. 21-25.

Thermohaline Circulation



Termohalininė cirkuliacija

<http://www.youtube.com/watch?v=LkRQjTdTvFE>

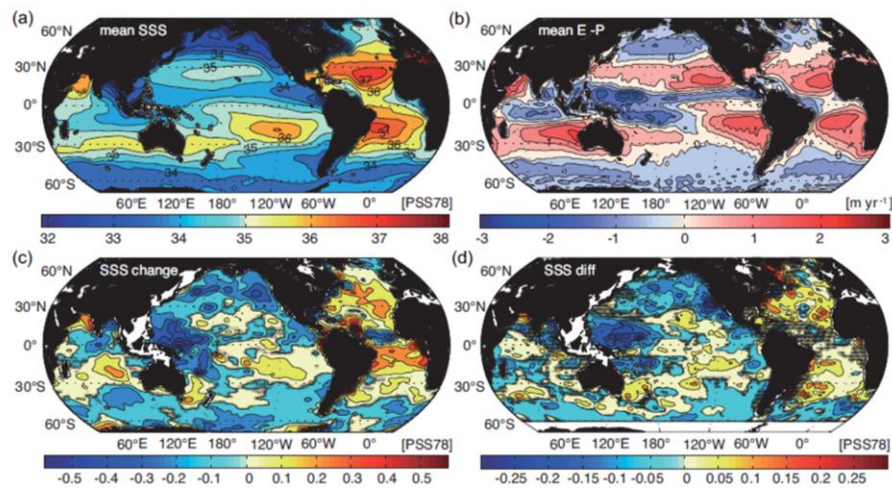


Golfo srovė neša į šiaurę šiltą vandenį, kuriam garuojant auga jo druskingumas. Be to jis palaipsniui vėsta ir jo tankis paviršiuje auga. Ledo formavimasis dar labiau didina tankį ir tankus paviršinis vanduo pradeda grimzti gilyn ir jau gilesniuose vandenyno sluoksniuose susidaro pietų link nukreipta srovė. Dėl globalinio atšilimo gali išaugti gėlo vandens prietaka į vandenyną ir dėl to sutrikti termohalininė cirkuliacija. Gėlo vandens prietaka gali išaugti dėl Grenlandijos ledo skydo tirpimo, kritulių kiekio didėjimo vandenyną ir dėl to sutrikti ar net sustoti termohalininė cirkuliacija. Gėlo vandens prietaka gali išaugti dėl Grenlandijos ledo skydo tirpimo, kritulių kiekio didėjimo ir su tuo susijusiu Sibiro upių nuotėkio didėjimo.

Kol kas nėra pilnai įrodyta jog itin didelė gėlo vandens prietaka gali visiškai sustabdyti arba labai susilpninti termohalininę cirkuliaciją ir tuo pačiu šilumos prietaką į Vakarų bei Šiaurės Europą. Kai kuriose Europos šalyse dėl to oras yra 4-6 °C šiltesnis.

Termohalininės cirkuliacijos sutrikimas ne tik atvėsintų Europą (nesutariama kaip stipriai) bet ir padidintų galingų potvynių ir audrų tikimybę, paveiktų planktono populiacijas, augtų oro temperatūra bei keistųsi kritulių kiekis Aliaskoje bei Antarktidoje, dažnėtų bei intensyvėtų El Nino reiškinys ir kt. Tikėtina, jog šylant klimatui termohalininė cirkuliacija XXI amžiuje gali sulėtėti 10- 50%. Šiuo metu nėra patvirtintos informacijos apie Golfo srovės lėtėjimą (trumpalaikiai svyravimai labai stiprūs).

Globali vandenyno druskingumo kaita.



Vandenyno paviršiaus druskingumas 1955 -2005 metais ir jo kaita pagal AR5

Viršutiniame 500 m sluoksnyje poliarinėse platumose vanduo tampa gėlesnis. Dėl ledo tirpimo, kritulių kiekio augimo bei poliarinių upių nuotėkio didėjimo.

Viršutiniame 500 m sluoksnyje subtropinėse platumose tampa druskingesnis. Dėl didėjančio garavimo (IPCC AR4).

Sausumos vandenys

Svarbiausi sausumos vandenų režimą lemiantys veiksniai (pagal IPCC AR4)

Gamtiniai veiksniai

Svarbiausi klimato veiksniai lemiantys upių, ežerų, pelkių bei požeminio vandens režimą yra krituliai, temperatūra ir garavimas.

Fizinės geografinės baseino charakteristikos (ežeringumas, miškingumas ir kt.)

Hidrogeologinės baseino charakteristikos

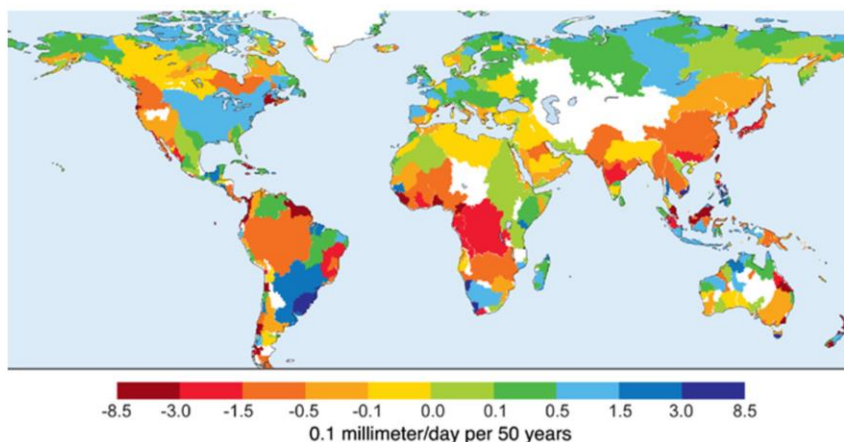


Antropogeniniai veiksniai

- ☐ Žemėnaudos pokyčiai
- ☐ Tvenkinių įrengimas bei valdymas;
- ☐ Vandens sunaudojimas;
- ☐ Teršalų emisija bei vandenvalos priemonės.
- ☐ Upių vagų tinklo performavimas

Upės

Didžiausi pokyčiai užfiksuoti upėse kuriose didelę dalį maitinimo sudaro ledynų ar sniego tirpsmo vanduo.



Upių nuotėkio kaita 1948 -2004 metais (UCAR paveikslas)

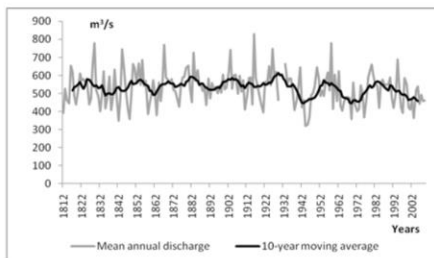
Analizuojant globalių klimato pokyčių poveikį upėms, dažniausiai tiriami vidutinio metinio nuotėkio pasikeitimai. Pastarasis dydis yra ne kas kita, o skirtumas tarp upės baseine iškritusio kritulių ir nuo paviršiaus išgaravusio vandens kiekio, kuris savo ruožtu priklauso nuo oro temperatūros. Upių nuotėkio dydis labai kinta laike ir erdvėje, o jo daugiamečiai pokyčiai gerai dera su regioniniais kritulių ir temperatūros trendais.

Pavyzdžiui, Europoje metinis upių nuotėkis sumažėjo pietuose ir rytuose, o kitur (ypač šiaurėje) jis išaugo. Šiaurės Amerikoje jis išaugo Misisipės baseine, tuo tarpu daugumoje aplinkinių baseinų jis sumažėjo. Vis daugiau vandens nuteka šiaurinėmis Azijos kontinento upėmis, tuo tarpu Azijos pietuose ryškios neigiamos pokyčių tendencijos. Afrikoje upių vandeningumas daugiausia auga rytuose, o vakaruose upės sausėja. Mažėja nuotėkis ir Pietų Amerikos šiaurėje.

Vaizdas yra itin margas, kadangi upių baseinai pasižymintys skirtingomis fizinėmis-geografinėmis charakteristikomis (reljefas, dirvožemis ir kt.) nevienodai reaguoja į klimato sąlygų (kritulių kiekio bei oro temperatūros) pokyčius. Šį vaizdą dar labiau komplikuoja žmogaus ūkinė veikla lemianti upių nuotėkio pasikeitimus: žemėnaudos kaita, irigacija, didėjantys vandens poreikis pramonei bei gyventojams ir kt. Daugelyje tankiau apgyvendintų regionų (ypač kur vanduo yra naudojamas irigacijai) antropogeninis poveikis upių režimo pokyčiams yra daug didesnis nei besikeičiančio klimato.

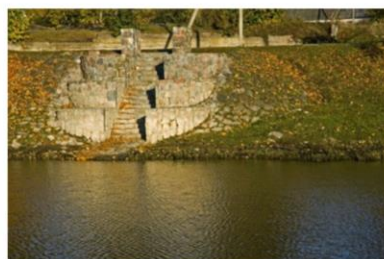
Regionuose, kuriuose didelę nuotėkio dalį suformuoja sniego tirpsmas, būdingas gan ryškus sezoninis nuotėkio persiskirstymas. Dėl ankstyvesnio sniego tirpsmo, pavasario

potvynių maksimumas daugelyje upių labai paankstėjo. Plonėjant sniego dangai sumažėjo ir potvynių dydis. Didėjant sniego dangos nepastovumui bei augant skystų kritulių santykinei daliai šaltuoju metų laiku, vis daugiau vandens šiomis upėmis nuteka žiemos mėnesiais. Tuo tarpu nuotėkis vasarą ir rudenį daug kur sumažėjo bei išaugo hidrologinių sausrų tikimybė. Didėjant klimato (tame tarpe ir kritulių) ekstremalumui, auga trumpų tačiau itin stiprių poplūdžių tikimybė, kurie pastaraisiais metais daro vis daugiau žalos prie didžiųjų upių įsikūrusiems miestams. Keičiasi ne tik upių nuotėkis, bet ledo režimas jose. Daugelyje upių, kurioms būdinga ledo danga, ledas nutirpsta vis anksčiau, o ledo dangos trukmė mažėja.

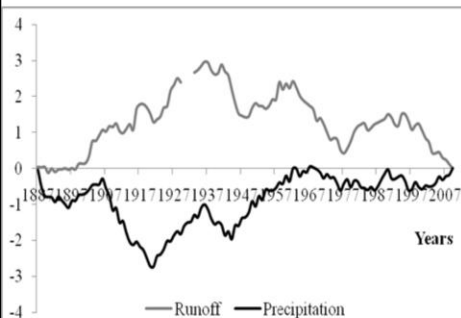


Vidutinio metinio Nemuno debito kaita ties Smalininkais 1812-2009 metais

Lietuvos upių nuotėkio kaita



Smalininkų vandens matavimo stotis (nuo 1811)



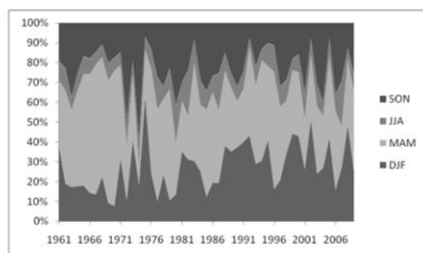
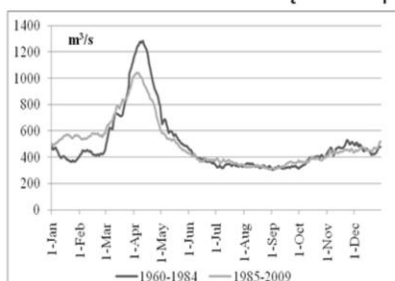
Nemuno ties Smalininkais vidutinio metinio debito ir metinio kritulių kiekio Vilniaus MS integralinės kreivės.

Pagrindinių hidrologinių charakteristikų pokyčių tendencijos analizuotose Lietuvos upėse 1960-2009 m. Paryškintos – statistiškai reikšmingos ($\alpha < 0,05$) Mann-Kendall testo reikšmės.

Upė (HS)	Rodiklio kaitos tendencijos statistinis reikšmingumas pagal Mann-Kendall testą						Reiškinių datos persislinkimas 1960-2009 m. laikotarpiu, dienomis	
	Vidutinis debitas	Maks. 7 d. pavasario potvynio debitas	Min. 10 d. šaltojo sezono debitas	Min. 30 d. šiltojo sezono debitas	Pavasario potvynio data	Min. 10 d. šaltojo sezono debito data	Pavasario potvynio data	Min. 10 d. šaltojo sezono debito data
Dubysa (Lyduvėnai)	1,03	-2,10	3,86	0,49	-1,21	-2,00	-17	-28
Jūra (Tauragė)	1,00	-0,01	3,82	2,06	-2,11	-1,04	-27	-33
Merkys (Puvočiai)	1,53	-2,02	2,22	0,88	-0,54	-0,97	-3	-15
Minija (Kartena)	1,08	-0,66	2,97	-0,75	-2,45	-2,17	-23	-16
Mūša (Ustukai)	1,16	-2,27	3,89	0,84	-1,92	-1,77	-26	-36
Šventoji (Ukmergė)	2,13	-1,85	2,87	2,06	-1,49	-1,79	-9	-31
Žeimenė (Pabradė)	0,26	-1,56	0,80	-0,86	-0,36	-1,62	-10	-38
Nemunas (Smalininkai)	-0,44	-2,59	3,00	0,76	-1,89	-0,43	-23	-27



Hidrografo formos kaitos Dubysoje ties Lyduvėnais (viršuje) ir Nemune ties Smalininkais (apačioje) palyginimas 1960-1984 ir 1985-2009 metų laikotarpiais.



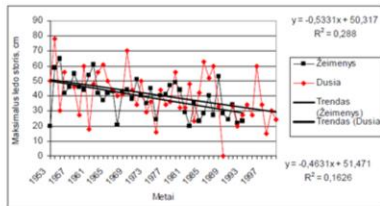
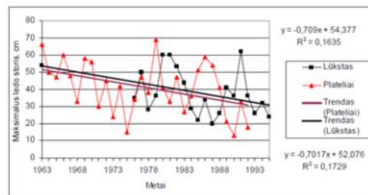
Sezoninis nuotėkio pasiskirstymas Dubysoje ties Lyduvėnais 1960-2009 metais.



Dubysa ties Lyduvėnais

Lietuvos upės priskiriamas prie tų upių, kuriose intensyvaus sniego tirpimo metu nuotėkis labai išauga, o kitu metų laiku jis yra santykinai žemas. Daugumoje mūsų šalies upių nustatyti bendras regionines kaitos tendencijas per pastaruosius 50 metų atitinkantys pokyčiai: nežymiai padidėjo vidutinis metinis nuotėkis; sumažėjo pavasario potvynio nuotėkis, be to jo pikas pasiekiamas anksčiau; padidėjo nuotėkis žiemos laikotarpiu, o vasaros nuotėkis nežymiai sumažėjo.

Ežerai



Ledo dangos storio dinamika
Lietuvoje (Vikelytė, 2010).

Ežeruose pastaraisiais dešimtmečiais užfiksuotas vandens temperatūros augimas, kai kur statistiškai reikšmingi lygio pokyčiai bei ledo dangos trukmės ir storio mažėjimas.



Ežerų dydžio svyravimai daugiausiai susiję su vandens panaudojimu. Tačiau kritulių režimo svyravimai gali būti papildomas svarbus faktorius. Atskiruose žemės regionuose yra užfiksuoti ežerų lygio pokyčiai ir svyravimai gali būti sietini su klimatiniais pasikeitimais. Arktinėse platumose tirpstant daugiamečiui įšalui formuojasi laikini ežerai, kurie gali išnykti dėl drenažo neištisinio įšalo zonoje. Kartu su vandens temperatūros kaita bei ledo režimo pokyčiais kinta ežerų stratifikacija ir hidrodinamika. Kai kuriuose Europos ir Šiaurės Amerikos ežeruose ežerai tapo termiškai stabilesni, o žieminės stratifikacijos laikas sutrumpėjo. Nuo 1960-ųjų Europos ežeruose ir upėse vidutinė temperatūra išaugo 0.2-2°C.

Matavimai Baltijos regione parodė, jog nors daugelyje ežerų vandens lygis kinta, tačiau statistiškai reikšmingų pokyčių nėra. Taip pat nežymiai augo ir vandens paviršiaus temperatūra.

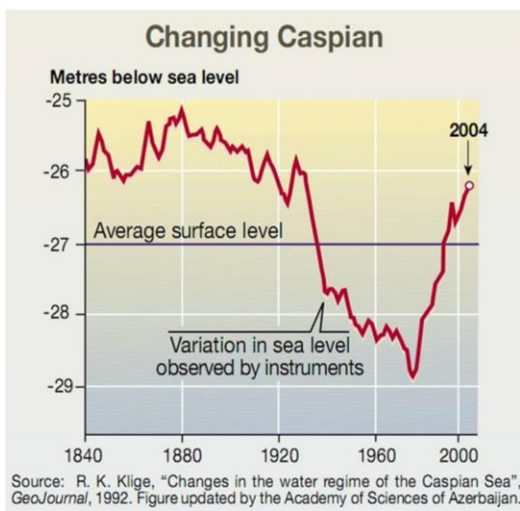
Maksimalus ledo storis bei ledo dangos trukmė didžiojoje regiono dalyje mažėjo, nors kai kuriuose Suomijos ežeruose nustatyta priešinga tendencija. Panašios tendencijos nustatytos ir Lietuvoje. D. Vilkelytė bakalauriniame darbe nustatė, jog visuose tirtuose Lietuvos ežeruose 1953 – 2009 metais išryškėjo ledo dangos plonėjimo tendencija.

Korhonen J (2002) Water temperature conditions of lakes and rivers in Finland in the 20th century (Ch 8) In: Suomen vesistöjen lampoolot 1900-luvulla. Suomen Ymparisto 566

Vilkelytė D. (2010). Ledo dangos storio Lietuvos ežeruose daugiametė kaita, Bakalaurinis darbas, Vilniaus universitetas.

Kaspijos jūra

Kaspijos jūra didžiausias pasaulio ežeras, pasižymintis vandens lygio svyravimų ciklišku.



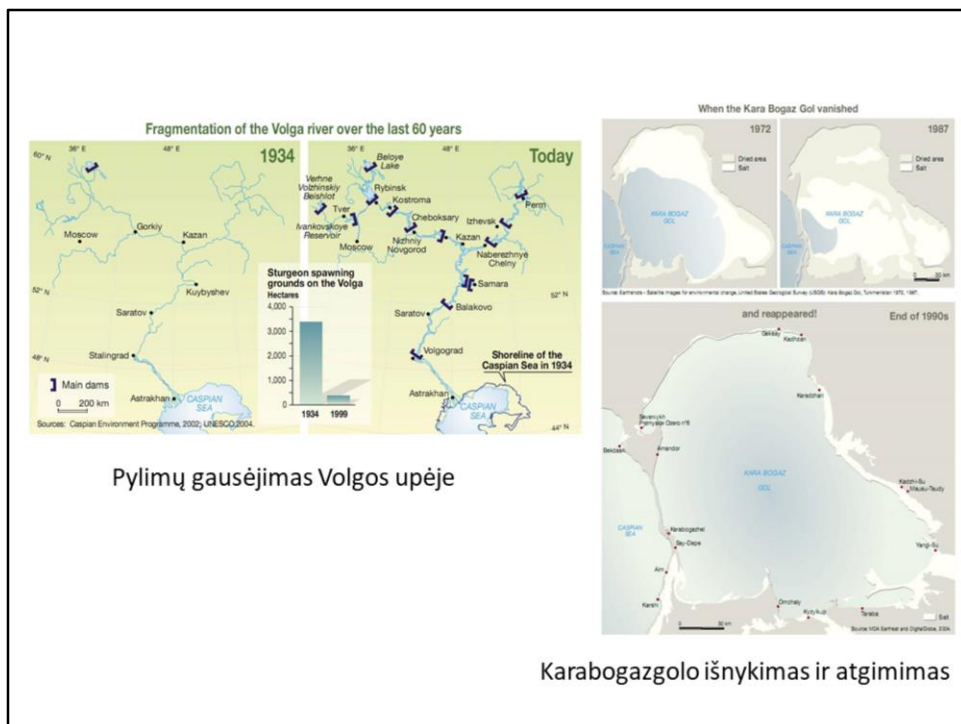
Annual discharge into the Caspian Sea



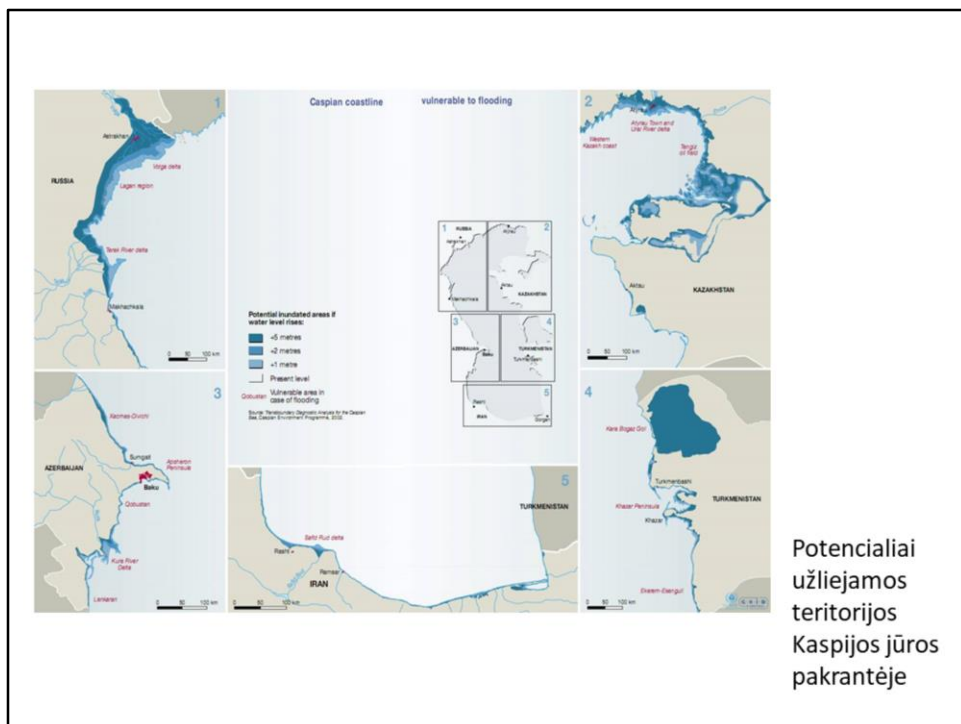
Vandens lygio svyravimai Kaspijoje

UNEP paveikslai Metinis nuotėkis į Kaspijos jūrą

Didžiausias intakas yra Volga atnešantis apie 80% upių vandens. Vidutiniškai upės į Kaspijos jūrą šiuo metu atneša 300-310 km³/metus. Tačiau šis kiekis amžiaus bėgyje dėl natūralių priežasčių, o labiausiai dėl žmogaus ūkinės veiklos (pvz., užtvankų hidroenergjai statybų) labai stipriai kito (260-400 km³/metus). Volgoje pastačius daug užtvankų, labai išaugo garavimas nuo vandens paviršiaus, be to tam tikra dalis vandens buvo naudojama irigacijai. 1880-1977 metais jūros lygis sumažėjo 4 metrais.



Tada buvo priimtas sprendimas atskirti Karabogazgolą nuo Kaspijos pylimu. Manoma, jog ši Kaspijos dalis yra nereikalinga, vandens lygis jame žemesnis, be to joje vyksta itin intensyvus garavimas nuo vandens paviršiaus (vanduo labai druskingas). Tai padaryta 1983 metais. Vos per metus Karabogazgolas beveik pilnai išgaravo. Be to buvo pažeista hidrologinė savireguliacinė sistema ir pradėjo labai stipriai augti Kaspijos druskingumas. Todėl 1992 metais pylimas buvo sugriautas ir per kelis mėnesius Karabogazgolas užsipildė



Kai po 1977 metų pradėjo vandens lygis palaipsniui kilti (daugiau nei 2 metrais), kilo problemos susijusio su jau pastatytos infrastruktūros (gyvenamosios vietovės, keliai, pramonės įmonės ir net apleisti naftos gręžiniai) užtvindymu. Kol kas priežastys nėra iki galo aiškios. Tai siejamas ir su tektoniniais judesiais ir su sedimentaciniais procesais. Tačiau greičiausiai didžiausią įtaką padarė antropogeniniai ir klimatiniai veiksniai. Labiausiai tai siejama su kritulių kiekio didėjimu Šiaurinėje Kaspijos jūros baseino dalyje. Manoma, kad vandens lygis Kaspijoje toliau kils

Aralo jūra

Aralas ilgą laiką tarpą buvo ketvirtas pagal dydį pasaulio ežeras.



Aralo jūros dydžio kaita

<http://www.youtube.com/watch?v=NC5UIEx83fo>

Septintajame XX amžiaus dešimtmetyje Tarybų Sąjungoje pradėtas vykdyti projektas, kurio metu dideli Syrdarjos ir Amudarjos (pagrindinių Aralo intakų) vandens kiekiai buvo pradėti itin intensyviai naudoti žemdirbystei (daugiausiai medvilnės auginimui). Aralas palaipsniui seko, kol pagaliau persiskyrė į dvi dalis, o vėliau ir dar daugiau dalių. Tai sukėlė ekologinę aplinkinių teritorijų katastrofą: likęs vanduo tapo druskingas, žvejybos pramonė žlugo, vyko dirvožemių degradacija (kuo toliau tuo daugiau vandens reikia drėkinimui), vandenyje labai išaugo užterštumas pesticidais ir kitais žemės ūkio chemikalais, aplinkinis klimatas tapo labiau ekstremalus ir t.t. Norėdama išsaugoti šiaurinę Aralo dalį Kazachija 2005 metais pastatė pylimą pilnai atskirianti jį nuo pietinės dalies (tai yra mirties nuosprendis pastarajai). Visas Syrdarjos vanduo lieka šiaurinėje dalyje. Amudarjos vanduo Aralo beveik nepasiekia.



Vandens kokybė



Nėra patikimų įrodymų, jog klimato pokyčiai pakeitė vandens kokybę globaliu mastu. Tačiau pokyčiai gan ryškūs kai kuriose pasaulio upėse. Dėl augančios vandens temperatūros (tai siejasi ne vien su oro temperatūros augimu, bet ir su didėjančiu jo poreikiu aušinimui bei didėjančiu vandens talpyklų skaičiumi) keičiasi deguonies režimas, ežerų stratifikacija, biotos vystymasis. Mažėja ir vandens telkinių savaiminio apsivalymo potencialas (mažiau deguonies ištirpsta ir gali būti panaudota biodegradacijos procesui). Didėjant kritulių intensyvumui auga teršalų (nitrato, toksiškų medžiagų) išplovimas į vandens telkinius. Augantis jūros lygis bei perteklinis požeminio vandens naudojimas gali lemti druskingo jūros vandens įsiveržimą į požeminio vandens horizontus pakrantės zonoje. Kylant jūros lygiui druskingumas auga ir upių deltose.

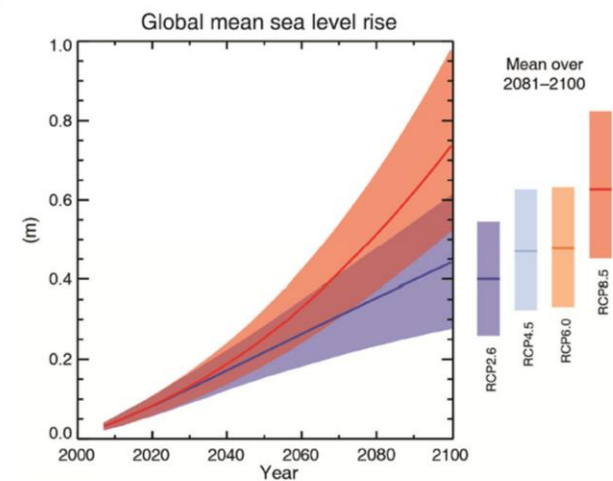


http://www.youtube.com/watch?v=dsDTJ__jio
o

Hidrosferos pokyčių projekcijos

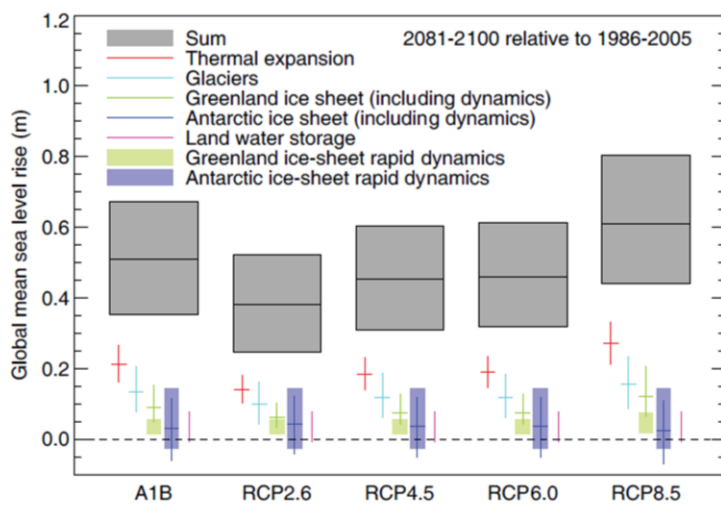


Jūros lygis



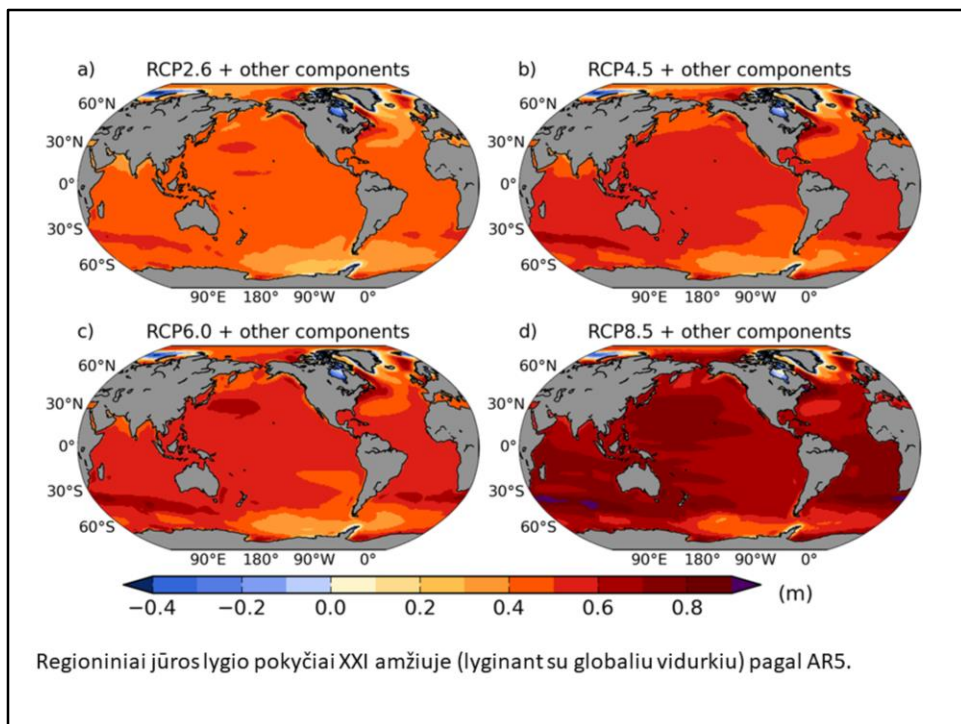
AR5 pateiktos jūros lygio kaitos prognozės

Javairūs klimato scenarijai (AR5) prognozuoja 26-98 cm jūros lygio augimą XXI amžiuje, (t.y. 2,6-9,8 mm per metus). Labai tikėtina, jog pokyčiai bus didesni nei 1993-2012 metais (3,1 mm per metus).



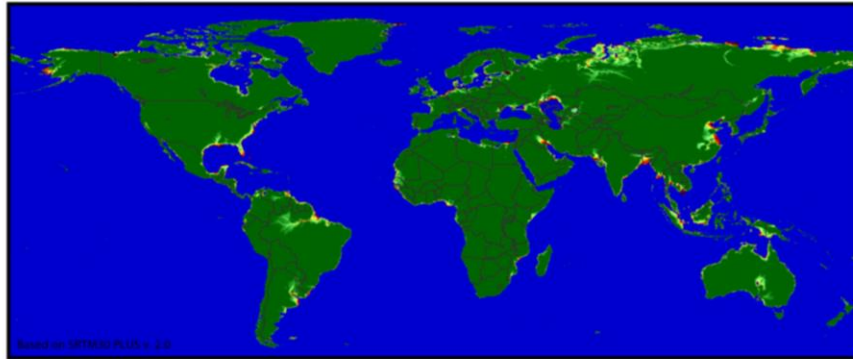
Atskirų sudedamųjų dalių įtaka bendram jūros lygio kilimui pagal AR5

<http://www.youtube.com/watch?v=GbBvqhzeNbM>



Geografiniai jūros lygio pokyčių ypatumai priklauso nuo vandenyno tankio struktūros bei cirkuliacijos, kurie savo ruožtu priklauso nuo šilumos balanso, gėlo vandens prietakos bei laikotarpio.

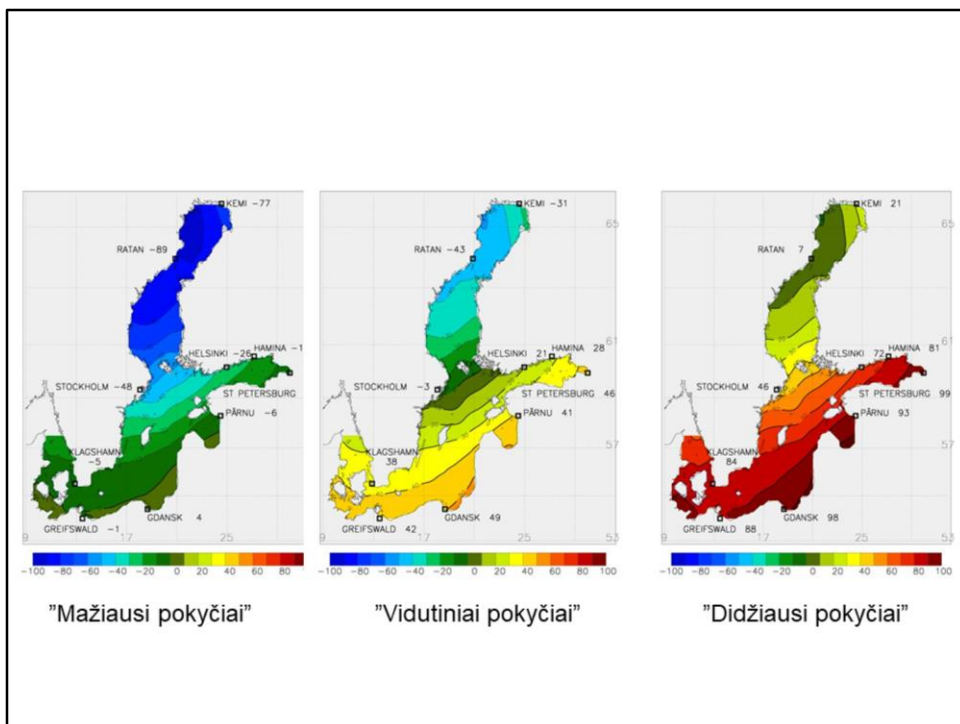
Regions Vulnerable to Sea Level Rise



Height Above
Sea Level (m)

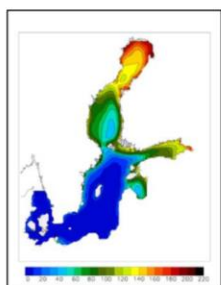


Jūros līmeņa paaugstinājumam jutīgas teritorijas

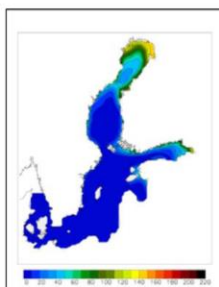


Vandens lygio kaitos XXI amžiuje prognozės Baltijos jūra. Vėjo režimo pasikeitimai ir vertikalūs tektoniniai judesiai lems, kad vandens lygio pokyčiai skirtingose Baltijos jūros dalyse bus labai nevienodi. Labiausiai vandens lygis pakils pietrytinėje pakrantėje. Čia pagal kai kuriuos klimato scenarijus pokyčiai gali siekti ir vieną metrą. O Botnijos įlankoje dėl neotektoninių žemės plutos judesių vandens lygis gali ir nukristi.

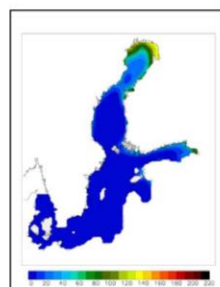
Esamas ir prognozuojamas dienų su ledo danga skaičius Baltijos jūroje



1961-1990

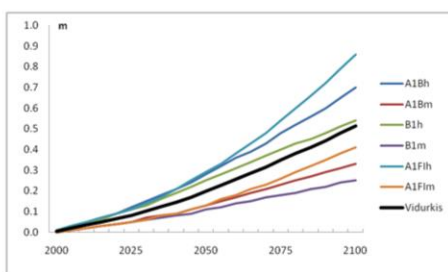


2071-2100



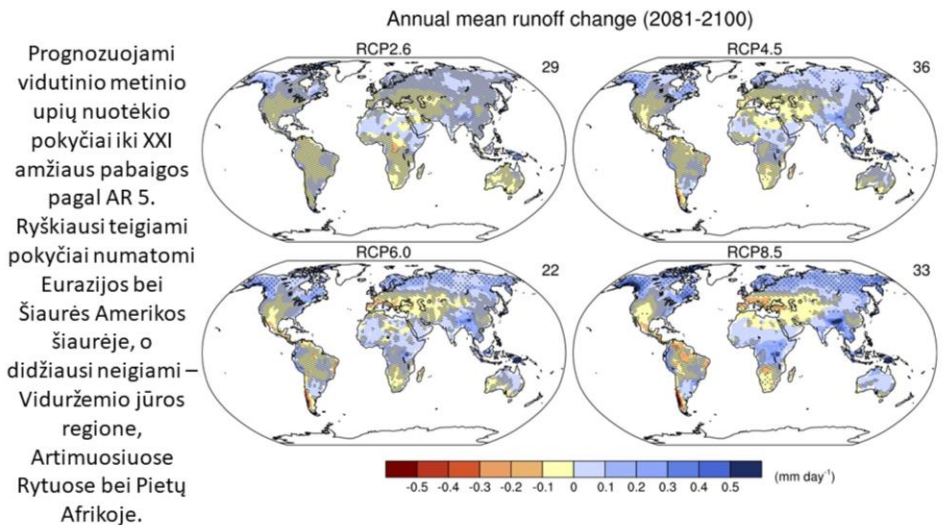
A2

B2



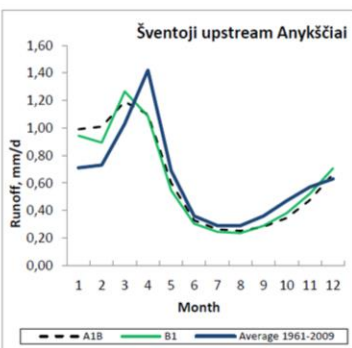
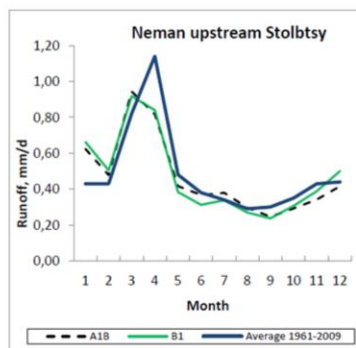
Jūros vandens lygio kaitos
Klaipėdoje prognozės, sudarytos
pagal skirtingus emisijų scenarijus
ir jų vidutinė reikšmė (CLIMBER
modelis)

Paviršinis nuotėkis



- Sniego maitinimo upės: potvyniai bus ankstesni (ir mažesni), žiemos nuotėkis augs, o vasaros nuotėkis gali mažėti.
- Ne sniego maitinimo upėse daugiausia turėtų išaugti poplūdžių debitas, o nuosėkio debitas dar labiau sumažėti.

Ledo storis ir trukmė ant upių ir ežerų ateityje turėtų mažėti dėl augančios žiemos temperatūros



Prognozuojami nuotėkio pasiskirstymo per metus kaita Lietuvoje:

1. Potvyniai bus mažesni ir ankstesni;
2. Žiemos nuotėkis labai išaugs;
3. Nuosėkio laikotarpiu debitas nežymiai sumažės.

Vandens kokybė

Pasaulis

- ☐ Dėl kritulių ekstremalumo didėjimo didėjantis nuosėdų bei išsklaidytos taršos patekimas į vandens telkinius;
- ☐ Jei mažės ežerų bei tvenkinių lygis ar upių vandeningumas augs teršalų koncentracija juose;
- ☐ Augant vandens temperatūrai bei didėjant fosforo ir azoto kiekiui mažės deguonies kiekis vandenyje, be to geriau augs dumbliai;
- ☐ Augant temperatūrai kils vandens stratifikacija, todėl keisis vandens vertikalios sąmaišos sąlygos. Gali stiprėti teršalų išsiskyrimas iš sedimentų.
- ☐ Dėl jūros lygio kilimo didės vandens druskingumas upių deltose bei priekrantės gruntiniuose vandenyse;
- ☐ Trumpėjant įšalo laikotarpiui į vandens telkinius pateks daugiau įvairių medžiagų, o tai skatins eutrofikaciją;

Lietuva

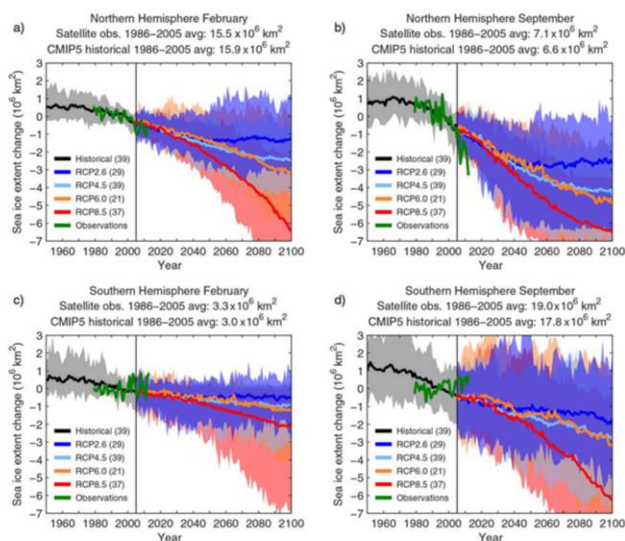
- Augant vandens temperatūrai Lietuvoje žiemą gali sumažėti deguonies vandenyje kiekis. Vasarą pokyčiai bus mažesni;
- Didėjant ekstremalių kritulių pasikartojimui, daugiau maistingų medžiagų bei teršalų pateks į vandens telkinius, gali išaugti vandens telkinių eutrofikacijos tikimybė;
- Mažėjant upių nuotėkiui bei ežerų vandens lygiui antroje vasaros pusėje gali išaugti cheminių medžiagų koncentracija;
- Tuo metu vandens kokybė rekreaciniuose telkiniuose gali dažniau neatitikti keliamų reikalavimų.



KRIOSFEROS PROJEKCIJOS

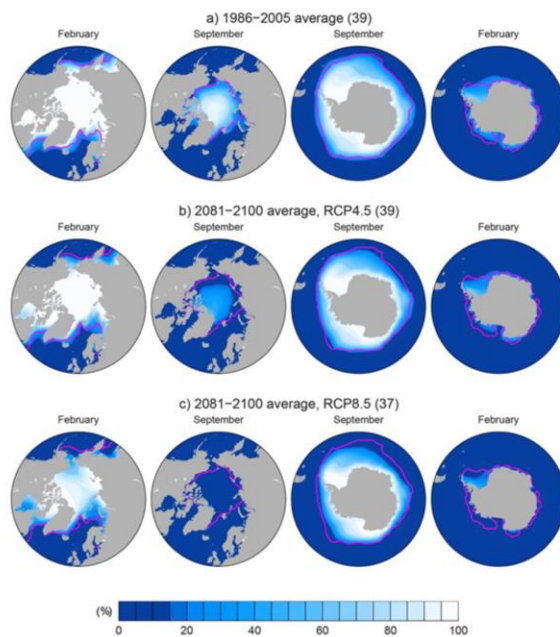
Prognozuojama jūros ledo paplitimo kaita

Labai tikėtina, jog
Arkties jūrų
ledynų plotai
toliau trauksis,
taip pat
prognozuojamas
ir Antarkties jūrų
ledynų ploto
mažėjimas, tačiau
pastarųjų pokyčių
prognozė mažiau
patikima.

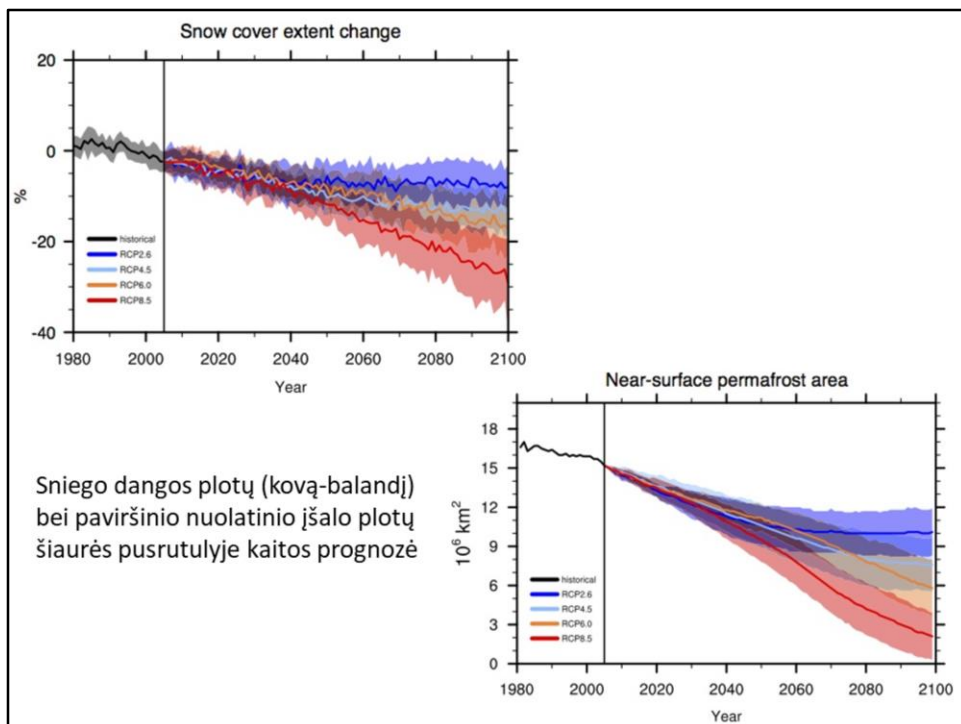


Arkyje 2081–2100 metais lyginant su 1986–2005 range ledynų plotai mažės nuo 8% pagal RCP2.6 iki 34% pagal RCP8.5 vasarį ir nuo 43% pagal RCP2.6 iki 94% pagal RCP8.5 rugsėjį. Pagal RCP8.5 jau iki XXI amžiaus vidurio rugsėjį galima tikėtis Arkties vandenyno beveik laisvo nuo ledo.

Antarktidoje ledynų plotai mažės nuo 16% pagal RCP2.6 iki 67% pagal RCP8.5 vasarį ir nuo 8% pagal RCP2.6 iki 30% pagal RCP8.5 rugsėjį. Tačiau pastarųjų prognozių patikimumas yra menkas, kadangi nei vienas modelis nesugeba imituoti Antarktį supančių ledynų plotų svyravimų palydovinių matavimų laikotarpiu.



Jūros ledo koncentrācijas prognozē pagal AR5



Labai tikėtina, jog augant temperatūrai šiaurės pusrutulio sniego dangos plotai mažės. Taip pat mažės ir nuolatinio įšalo plotai. Prognozuojama jog sniego danga pavasarį mažės (7-25%), o nuolatinio išalo paviršiniai plotai nuo 37 iki 81%.

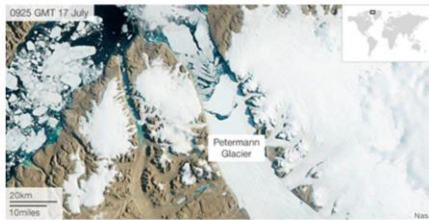
Ledkalniai



Ledkalnių išplitimo ribos

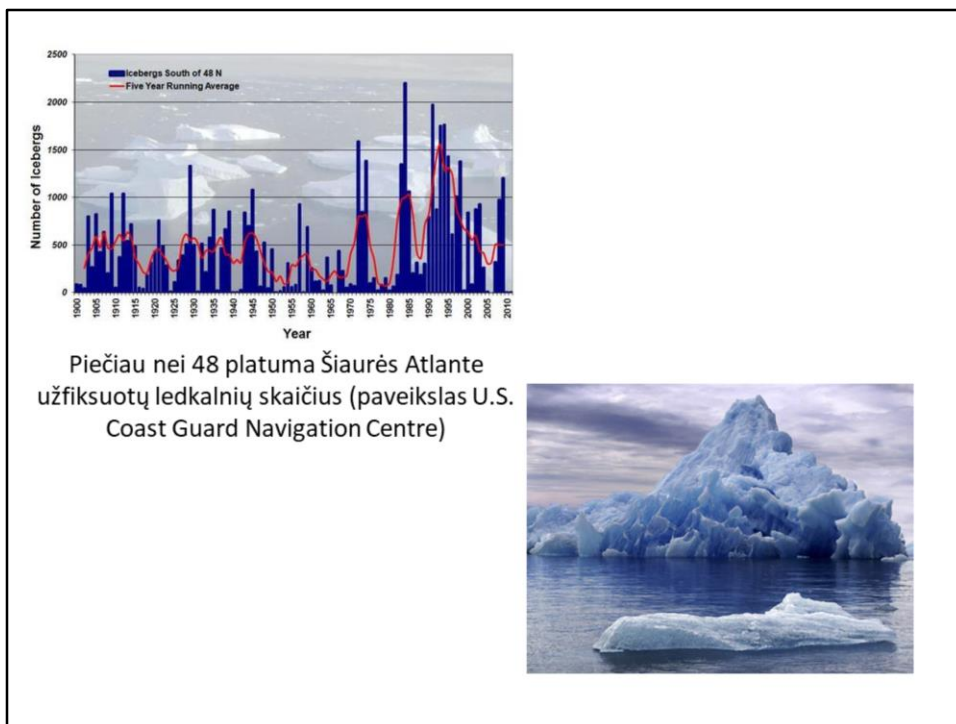


Ledkalniai daugiausiai formuojasi Antarktidoje bei Grenlandijoje. Nuo besiplečiančių ledynų atskilus labiausiai į priekį išsikišusiom dalims.



Petermano ledyno skilimas 2012 metais. NASA nuotrauka.

Kiekvienais metais nuo Grenlandijos ledynų į aplinkinius vandenis patenka 15 000 – 30000 ledkalnių.



Apskaičiuota, jog globalios oro temperatūros padidėjimas 1°C lemia ledkalnių maksimalios išplitimo ribos Atlanto vandenyne atsitraukimą 1 platumos laipsniu. Tai teigiamas efektas vandenyno dugno pramoninio naudojimo plėtrai. Nėra iki galo aišku, kaip klimato pokyčiai lemia ledkalnių skaičiaus dinamiką. Tirpstant ledynams jų skilimo atskilimo intensyvumas, tačiau mažėjantis ledynų masė mažina ir ledkalnių formavimosi tikimybę.

Papildomas efektas

Kai ledkalniai judėdami tirpsta jie atskiedžia ir atvėsina vandenį, todėl ten didėja chlorofilo kiekis, kuris savo ruožtu didina anglies dvideginio sugėrimą iš atmosferos.

Ledynai

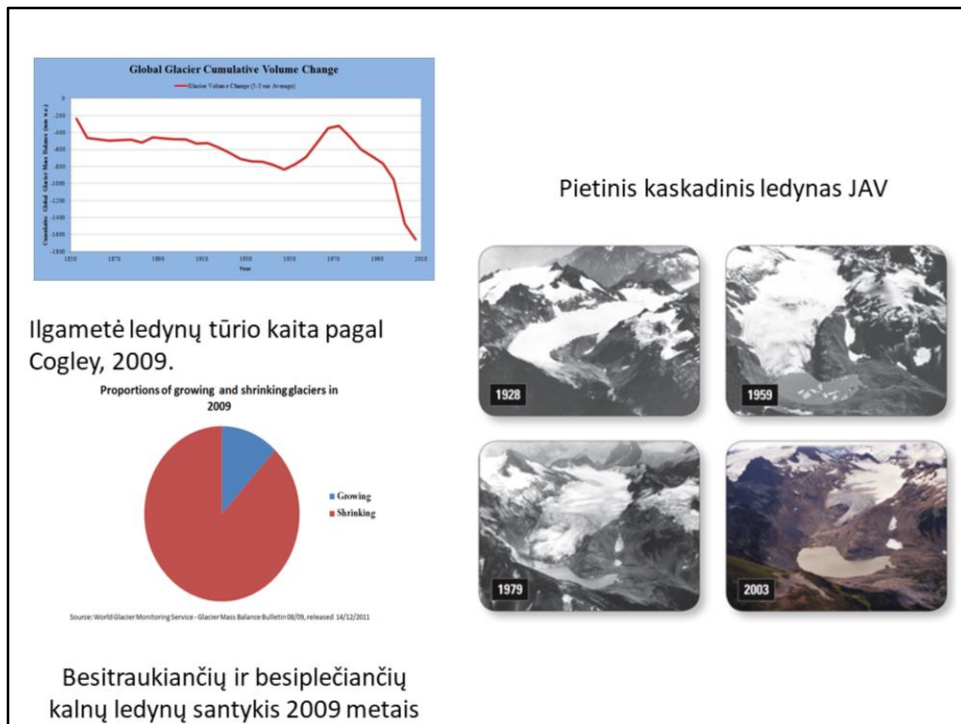
Ledynai – Žemės paviršiuje susitelkusi arba juo slankanti didelė ledo masė, susidariusi iš nespėjusios ištirpti ir išgaruoti sniego dangos, plytinčios aukščiau sniego ribos.



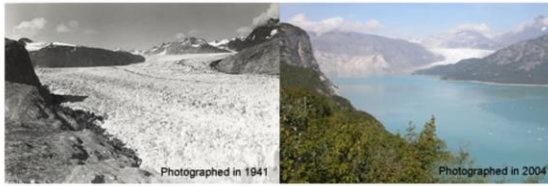
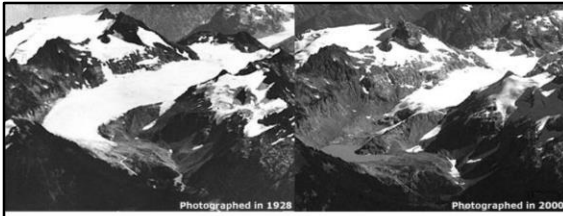
Apie 11% Žemės sausumos (daugiau nei 16 mln. km²) plotų dengia ledynai (tame tarpe ir Grenlandijos bei Antarktidos ledyniniai skydai).

Dėl didelės ledyno masės apačioje suslėgtas ledas virsta melsvos spalvos plastišku ledu (glečerinis ledas). Pastarasis pradeda slinkti iš aukštesnės vietos į žemesnę arba iš ledyno centrinės dalies į periferiją. Vieta, kurioje susidaro ledyno branduolys, vadinamas mitybos sritimi, o kur jis ima tirpti – abliacijos sritimi. Jei mitybos greitis yra didesnis už tirpimo ledynas plečiasi, jei priešingai – traukiasi.

Antarktidoje ledo storis kai kur viršija 4 km. Jei visas sausumos ledas ištirptų, jūros lygis pakiltų apie 66 metrus. Nuo ledynų atskylantys ledkalniai gali būti virš 80 km ilgio



Cogley, J.G., 2009, A more complete version of the World Glacier Inventory, Annals of Glaciology, 50(53), 32-38.



Pakartojimai



Elena Glacier



Gamtinių ir socialinių sferų jautrumas klimato kaitai ir pažeidžiamumas

Jautrumas parodo klimato poveikio (teigiamo ar neigiamo) analizuojamai sistemai laipsnį.

Poveikis gali būti:

- tiesioginis
- netiesioginis

Sistemos pažeidžiamumas yra jautrumo bei gebėjimo adaptuotis funkcija.



Gamtinės sistemos klimato pokyčiams yra jautresnės nei antropogeninės

Atskirų regionų jautrumo klimato kaitai ir pažeidžiamumo pobūdis labai skiriasi.



Didžiausios grėsmės pasauliui



- ☐ Poveikis žmogaus sveikatai
- ☐ Su klimato kaita susijusi bado ir geriamo vandens trūkumo grėsmė
- ☐ Klimato kaitos poveikis socialiniams procesams ir tarptautiniam saugumui
- ☐ Poveikis ekosistemoms
- ☐ Pakrančių užliejimas

Žmonių sveikata

Stichinės nelaimės



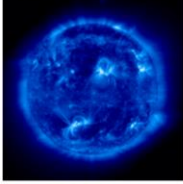
Terminiai ekstremumai



Konfliktai



UV spinduliuotė



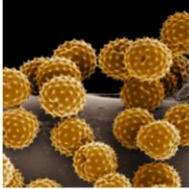
Oro ir vandens tarša



Aprūpinimas maistu ir vandeniu



Aeroalergenai



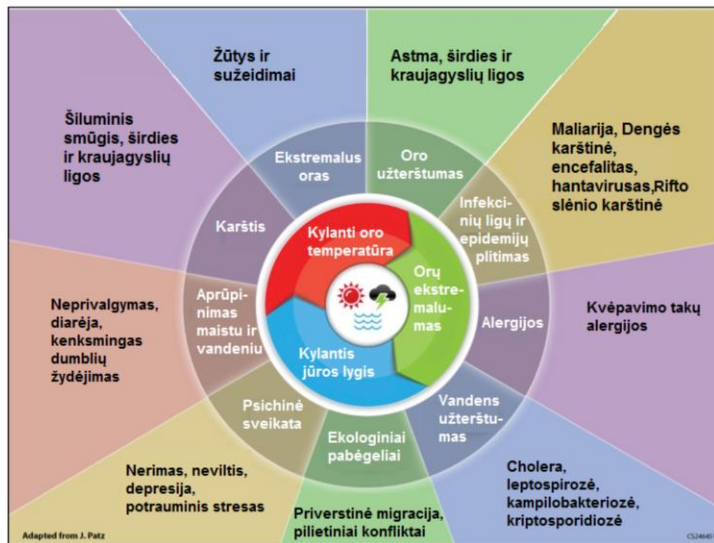
Pavojingi reiškiniai



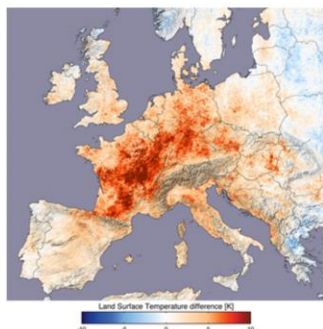
Infekcijų ir epidemijų plitimas



Klimato kaitos įtaka žmonių sveikatai



Terminiai ekstremumai (karštis, šaltis)

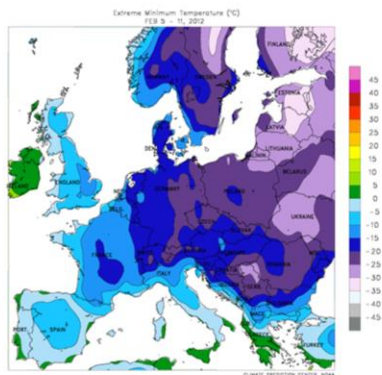


Karščio banga Europoje 2003 metais. >50 000 aukų. Sudegė 650 000 ha miško



2007 metų
karščio banga
Pietų
Europoje.
Gaisrai
Graikijoje



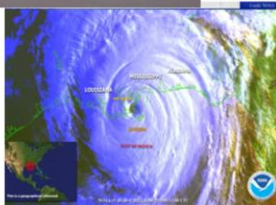


2012 metų šalčiai Europoje 824 mirtys





Uraganas Katrina



2005 rugpjūčio 25-31
Sausumoje 3 kategorija

1800 žmonių žuvo
250 000 neteko namų
Apie 125 mlrd. \$
nuostolių



Pagal AR4 iki 2050 metų dėl tiesioginio klimato kaitos poveikio daugiau nei 250 milijonų žmonių visam laikui paliks savo namus. Dar 645 milijonų dėl užtvankų statybos ir kitų infrastruktūros projektų. Viso apie 1 milijardas žmonių.

Amžiaus pabaigoje 1-3 milijardai žmonių kės troškulį, 200-600 milijonų badą, 2-7 milijonai kasmet dėl jūros lygio kilimo neteks savo namų



Pabėgėlių išlaikymui bei asimiliacijai kasmet bus skiriama vis daugiau ES bei nacionalinių lėšų. Aštrės konkurencija darbo rinkoje, augs socialinė įtampa.

Socialiniai procesai

Klimato kaita lems:

- ❖ Gyventojų migraciją
- ❖ Karus
- ❖ Ekonominės krizes
- ❖ Politinius procesus
- ❖ Terorizmo grėsmės didėjimą



Priežastys:

- ❖ Badas
- ❖ Troškulys
- ❖ Ligos
- ❖ Gamtinės ir ekologinės katastrofos

Pagal AR4 iki 2050 metų dėl tiesioginio klimato kaitos poveikio daugiau nei 250 milijonų žmonių visam laikui paliks savo namus. Dar 645 milijonų dėl užtvankų statybos ir kitų infrastruktūros projektų. Viso apie 1 milijardas žmonių.

Amžiaus pabaigoje 1-3 milijardai žmonių kės troškulį, 200-600 milijonų badą, 2-7 milijonai kasmet dėl jūros lygio kilimo neteks savo namų

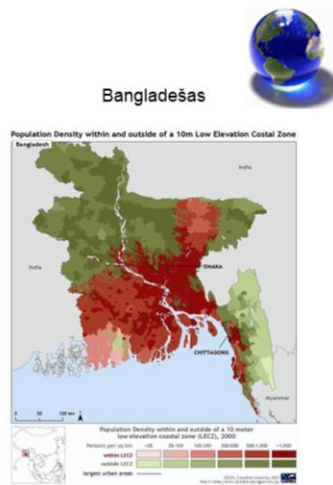


Pabėgėlių išlaikymui bei asimiliacijai kasmet bus skiriama vis daugiau ES bei nacionalinių lėšų. Aštrės konkurencija darbo rinkoje, augs socialinė įtampa.

Kas nukentės labiausiai?

	Šalis	Gyventojų skaičius, mln.
1	Kinija	1,388
2	Indija	1,343
3	JAV	326
4	Indonezija	264
5	Brazilija	211
6	Pakistanas	197
7	Nigerija	192
8	Bangladeša	165
9	Rusija	143
10	Meksika	130

Bangladešo plotas net dvigubai didesnis negu Lietuvos



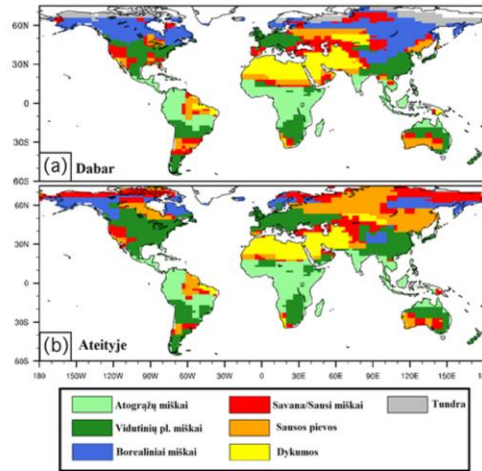
Poveikis biologinei įvairovei

- Ištyrus daugiau nei 500 faunos ir floros rūšių buvo nustatyta, kad 80 % visų rūšių biologinių pasikeitimų sietini su klimato pokyčiais. Tik penktadalis biologinių pasikeitimų nesiejami su klimato kaita.
- Fenologiniai pokyčiai, migracijos laiko ir kelių pasikeitimai, rūšių arealų judėjimas link polių, rūšių elgsenos pokyčiai, kenkėjų ir ligų protrūkiai.



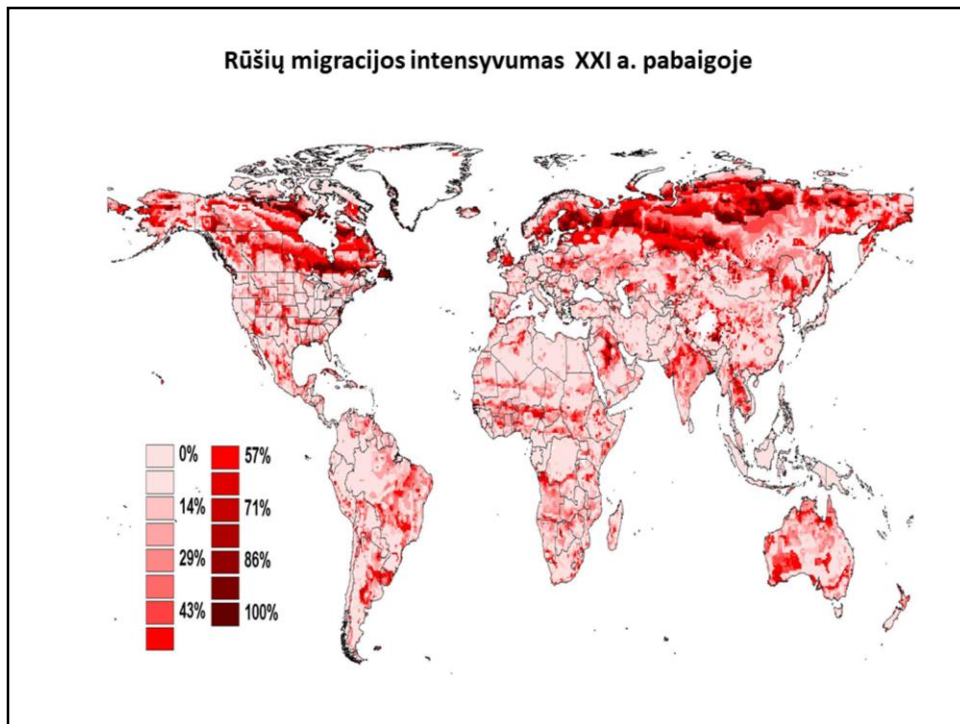
Biomų pasiskirstymas

Biomas – sritys, kurioms būdingas tam tikras vyraujantis augalijos ir gyvūnijos tipas



Skaidrėje pavaizduotas biomų pasiskirstymas Žemės rutulyje šiuo metu ir ateityje. Apatiniame žemėlapyje matome esminius pokyčius. Borealiniai miškai tiek Šiaurės Amerikos, tiek Azijos žemyne ateityje beveik išnyks. Juos pakeis pievos, savanos ir sausi miškai. Ateityje ekosistemos slenkant į šiaurę, numatomas ir tundros išnykimas. Tundros ekosistemų beveik neliks Šiaurės Amerikos ir Azijos kontinentuose, čia įsivyras savanos ir sausi miškai. Afrikos žemyne numatomi teigiami pokyčiai - miškų plotai čia turėtų išsiplėsti.

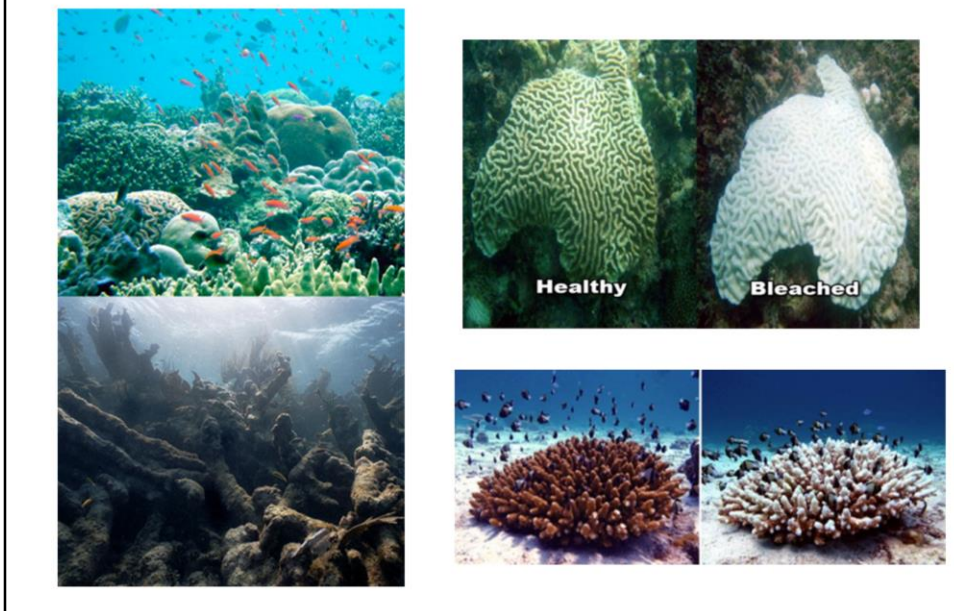
https://www.wisc.edu/mnotaro/web/future_foam.png



Žemėlapis iliustruoja rūšių migracijos intensyvumą XXI a. pabaigoje su prielaida, kad anglies dvideginio koncentracija išaugs du kartus ir dauguma rūšių praras savo gyvenamąsias buveines. Didžiausias migracijos intensyvumas numatomas Šiaurės pusrutulio aukštose platumose, kur jau ir dabar ekosistemos yra labai pažeidžiamos klimato kaitos poveikio. O rūšių nykimas globaliu mastu šiuo metu apskritai yra 10 kartų didesnis nei kada buvo per pastaruosius 10000 metų.

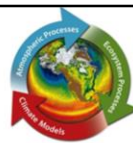
<http://www.utoronto.ca/imap/collections/integration/biodiversity.htm>

Masinis koralų blukimas

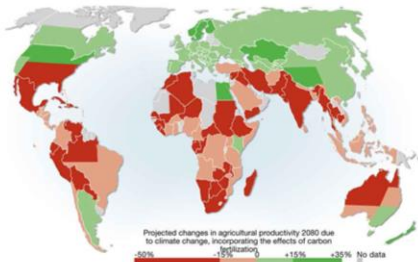


Ryškus klimato pokyčių poveikio vandenynų ekosistemoms pavyzdys – koralinių rifų nykimas. Šiuo metu pasaulyje stebimas masinis koralų blukimas. Manoma, kad tai yra susiję su klimato kaita. Dėl pakilusios vandenyno paviršiaus temperatūros nyksta žalieji dumbliai, sutrinka koralų simbiozė – jie ne tik negauna maisto medžiagų, bet ir jų formavimuisi taip reikalingo kalcio karbonato. Jie taip pat veikiami ir didėjančios atmosferinio anglies dvideginio koncentracijos, dėl ko mažėja kalcio kiekis vandenyje ir koralų skeletas silpnėja. Numatoma, kad per ateinančius 20-25 metus, šiltamėgių koralų gali sumažėti 30 ar net daugiau procentų. Išnykimas gresia net ir Didžiajam Barjeriniam rifui, kuris yra didžiausias pasaulio koralinis rifas.

Žemės ūkis



Dėl labai skirtingų žemės ūkio tradicijų, vietinių žemėtvarkos ypatumų, klimato kaitos poveikis žemės ūkiui bus ypač teritoriškai margas.



Numatomas produktyvumo pokytis iki 2050 metų

Svarbiausi globalūs poveikiai

- Agrokultūrinės zonos pasislinks į šiaurę (Šiaurės pusrutulyje)
- Augant temperatūrai kils kultūrų produktyvumas
- Trumpėjantis vegetacijos periodas gali pabloginti kultūrų kokybę
- Didėjant anglies dvideginio kiekiui didės kultūrų produktyvumas, augs natūralios kilmės nitratų kiekis dirvoje
- Didelį pavojų kels kritulių režimo pokyčiai bei stiprėjantis orų ekstremalumas
- Stiprės dirvos erozija dėl kritulių ir vėjo poveikio
- Gali sustiprėti piktžolių, grybų, kenkėjų, ligų poveikis (keisis žiemojimo sąlygos ir pan.)

Miškininkystė



- Medienos prieaugio didėjimas
- Ilgesnis vegetacijos periodas
- Mažesnė nušalimo rizika žiemą
- Mažesnės išvartos dėl stipraus snygio
- Galimas naujų rūšių introdukavimas

- Gaisringumo didėjimas
- Palankesnės sąlygos augalų kenkėjų žiemojimui
- Naujų ligų bei kenkėjų atsiradimas
- Medienos kokybės blogėjimas
- Sumažėjęs atsparumas pavasario ir rudens šalnomis
- Gruntinio vandens lygio žemėjimas antroje vasaros pusėje
- Greitesnis kenkėjų vystymasis
- Palankesnės sąlygos ligų plitimui
- Sausrų poveikio stiprėjimas
- Vėjo išvartų plotų miškuose didėjimas
- Rūšinė sudėties kaita



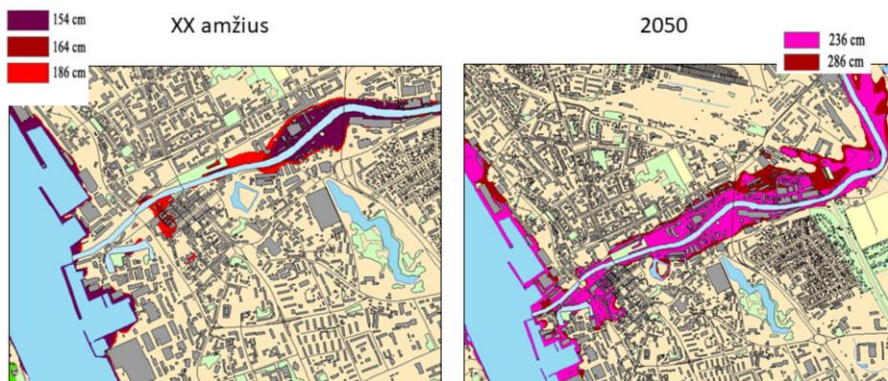
Gyvenvietės ir infrastruktūra

- ☀ Dažnėjantys ir stiprėjantys ekstremalūs reiškiniai (audros, sausras, liūtys, rūkai, staigūs šalčiai ir kt.) trikdydys miestų funkcionavimą kels pavojų antžeminėms komunikacijoms ir sausumos, oro bei jūrų transportui
- ☀ Dažnėjant sausroms augs gaisrų miesto teritorijoje pavojus
- ☀ Stiprės gyvenviečių aprūpinimo kokybišku vandeniu problemos



- ☀ Pakrantės infrastruktūra bus stipriai paveikta jūros lygio kilimo ir audringumo didėjimo
- ☀ Globaliniam atšilimui ypač jautrios amžino įšalo zonoje esančios gyvenvietės

Potencialus Klaipėdos miesto užliejimas audrų metu



Klaipėda po uragano Ervinas 2005 metais



Piarnu (Estija) po uragano Ervinas 2005 metais



Pirita (Estija) uragano Ervinas metu 2005 metais



Klaipėdos miestas ir regionas po ekstremalių kritulių 2005 metais

Didelė miestų teritorija padengta vandeniu nelaidžia ir kritulių nesulaikančia danga. Tuo tarpu lietaus kanalizacijos sistema nepakankamo pralaidumo arba užsikemša



Ar išliks salos?



Maldyvai
Gyventojų – 330 000
Sostinė- Male (75 000)
Aukščiausias taškas 3m virš jūros
lygio
Daugiau nei pusė teritorijos ne
aukščiau nei 70 cm virš jūros lygio



išnyks per artimiausius 50-75 metus



Tuvalu
Gyventojų – 11 500
Aukščiausias taškas 5m virš jūros
lygio



Klimato skola

Daugiau penkiasdešimt neturtingiausių ir labiausiai pažeidžiamų pasaulio valstybių pateikė „klausimus“ išsivysčiusioms šalims

- ❓ Kas turėtų joms padengti dėl klimato kaitos patiriamus nuostolius?
- ❓ Kas turėtų apmokėti jų prisitaikymo prie klimato kaitos kaštus?
- ❓ Kas kompensuos jų ekonominius nuostolius jei jie drauge su kitais prisidės prie pastangų mažinti emisijas?



Ar klimato kaita yra naudinga Lietuvai?

Trys didžiausios naudos Lietuvai

- a) Mažėjančios sąnaudos šildymui
- b) Ilgėjantis vasaros (rekreaciniu požiūriu) laikotarpis
- c) Žemės ūkio derlingumo didėjimas



Trys didžiausios grėsmės Lietuvai

- a) Gamtinės aplinkos degradacija
- b) Didėjantys nuostoliai dėl dažnesnių audrų, liūčių, sausrų, potvynių ir kitų ekstremalių klimato įvykių
- c) Poveikis žmonių sveikatai (karščio bangos, naujos ligos, atsparumo mažėjimas ir kt.)



Energetinių resursų kainos didėjimas

Didėjantis ekologinių emigrantų į ES ir Lietuvą (???) skaičius

Skola besivystančiom šalim

Ką daryti?

Apsimesti, kad nieko nevyksta ir laukti



„Tai tiesiog natūrali klimato kaita“

„Kai suprasime priežastis, galėsime ją sustabdyti“

„Mažinti išmetamųjų dujų kiekį turi kiti“

„Tai ne svarbiausia problema“

Après moi, le déluge



Liudvikas XV



Globalizacijos amžiuje ir
tvanas globalus

Klimato kaitos politika



Klimato kaitos politika – tai yra veiksmų kompleksas skirtas mažinti šiltnamio dujų koncentracijos didėjimą atmosferoje bei adaptuotis prie klimato pokyčių.

- 1969 metais Ričardo Niksono (JAV) iniciatyva NATO įvardijo rūgštinius lietus ir šiltnamio efektą kaip iššūkius reikalaujančius tarptautinės visuomenės dėmesio;
- 1972 metais Jungtinių Tautų konferencijoje Vilis Brandtas (Vokietija) įvardijo kaip būtinybę tarptautinę kooperaciją šiltnamio efekto srityje;
- 1979 metais Ženevoje įvyko pirmoji pasaulinė klimato konferencija, kurios metu įkurtos “Pasaulinė klimato programa” ir “Pasaulinė klimato tyrimų programa”;
- 1987 metais pasirašytas Monrealio protokolas ribojantis ozono sluoksnį niokojančių dujų emisiją;
- 1988 įsteigta IPCC, kurios tikslas koordinuoti mokslinę veiklą skirtą žmogaus įtakos klimato pokyčiams įvertinimui;
- 1992 metais Rio de Žaneire pasirašyta klimato kaitos konvencija, kurios pagrindinis tikslas buvo stabilizuoti šiltnamio dujų koncentraciją tokiame lygyje, jog žmogaus įsikišimas stipriai nepaveiktų klimato sistemos;

- Įsigaliojo klimato kaitos konvencija;
- 1996 metais Europos Sąjunga išskėlė tikslą pasiekti, jog globali temperatūra nepadidėtų daugiau nei 2 °C;
- 1997 metais JAV senatas atsisakė pasirašyti Kioto protokolą, kol nebus didesnių besivystančių šalių įsipareigojimų;
- 1997 metais pasirašytas Kioto protokolą;
- 2001 metais JAV nutraukė derybas dėl Kioto protokolo pasirašymo;
- 2005 metais Kioto protokolą įsigaliojo, jį ratifikavus Rusijai (ratifikavo šalys, kurių suminė emisija 1990 metais sudarė 55%);
- 2005 metais Europos Sąjungoje įsigaliojo prekybos taršos šiltnamio dujomis leidimų schema;
- 2006 metais publikuota N. Šterno apžvalga. Joje įvertintas klimato kaitos poveikis pasaulinei ekonomikai;

- 2007 metais Europos taryba patvirtino tikslą iki 2020 sumažinti ES šiltnamio dujų emisiją 20% lyginant su 1990 metais (30%, jei procese adekvačiai dalyvaus besivystančios šalys);
- 2009 metais JAV Atstovų rūmai priėmė pirmąjį įstatymą JAV skirtą šiltnamio dujų emisijos mažinimui;
- 2009 metais vykusioje 15 COP (*Conference of Parties*) konferencijoje Kopenhagoje nesėkmingai buvo bandoma pratęsti Kioto protokole iškeltų uždavinių vykdymą. Tam labai pakenkė taip vadinamas "Klimatgeitas".
- 2012 metais Kioto protokolo galiojimo pabaiga; Rusija, Japonija ir daugelis kitų šalių pareiškė jo nepratęs. Kinija ir Indija nemažins emisijų, kol to nedarys JAV, Australija ir kt.
- 2015 metais Paryžiuje įvyko jau 21 JT Klimato kaitos konvencijoje dalyvaujančių šalių konferencija.



1992 metais 150 valstybių atstovai JTO priėmė Jungtinių Tautų Bendrąją klimato kaitos konvenciją, kuri įsigaliojo 1994 metais. 2007 balandį ją buvo ratifikavusi 191 šalis



1995 metais ją
ratifikavo Lietuva.

<http://unfccc.int>

Šios konvencijos tikslas – pasiekti, kad šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija atmosferoje stabilizuotųsi tokiu lygiu, kuris netrikdytų klimato sistemos. Šis lygis turi nusistovėti per tam tikrą laikotarpį, kad ekosistemos natūraliai prisitaikytų prie klimato pakeitimo, nenukentėtų maisto produktų gamyba ir būtų stabilus ekonominis vystymasis.

Kioto protokolas

Kioto protokolas – JT Bendrosios klimato kaitos konvencijos protokolas (priimtas 1997 metais (COP-3)), nurodantis, jog ratifikavusios konvenciją šalys užtikrina, kad bendras jų išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis neviršys joms nustatytų normų bei įsipareigoja laikotarpyje nuo 2008 iki 2012 metų sumažinti bendrą šiltnamio dujų kiekį (palyginti su 1990 m.) bent 5%.





ES Ministrų Taryba pareiškė „mananti, kad vidutinė pasaulio temperatūra neturi būti daugiau nei 2 °C didesnė už priešindustrinio laikotarpio temperatūrą“. Tam būtina, kad emisijos iki 2050 metų globaliu mastu sumažėtų apie 50 %. Tai reiškia, kad išsivysčiusioms šalims teks sumažinti savo emisijas 80 %.



Kiotas 1997



Paryžius 2015

Ar tai realu?

- ☐ Globalus pokytis <2 °C;
- ☐ Kuo greičiau pasiekti emisijos piką;
- ☐ Išsivysčiusios šalys turi šiam tikslui skirti 100 mlrd. USD per metus





Tai irgi klimato kaitos politika



Klimato kaitos politika Lietuvoje

1996 metais buvo patvirtinta Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvencijos įgyvendinimo nacionalinė strategija

2008 metais buvo patvirtinta Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvencijos įgyvendinimo iki 2012 nacionalinė strategija

www.am.lt/VI/files/0.383371001205409509.doc

2012 metais LR seimas patvirtino Nacionalinę klimato kaitos valdymo politikos strategiją 2013-2050 m. laikotarpiui ir nustato trumpalaikius (iki 2020 m.), vidutinės trukmės (iki 2030 m. ir iki 2040 m.) ir ilgalaikius (iki 2050 m.) su klimato kaita susijusius tikslus ir uždavinius. Jie skirti klimato kaitos švelninimui ir prisitaikymui prie šios kaitos.

http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=437284&p_query=klimato%20kaitos&p_tr2=2

Klimato kaitos švelninimo priemonės

Klimato kaitos švelninimas yra veiksmai, kuriais siekiama sumažinti antropogeninės kilmės globalinį atšilimą sukeliantį spindulinį poveikį klimato sistemai.

Švelninimo politikos veiksmingumas priklauso nuo nacionalinių sąlygų bei išorinio spaudimo (pvz., ES direktyvos), tačiau galimų instrumentų spektras yra labai didelis:

- Klimato politikos integravimas į platesnę plėtros politiką
- Reglamentai ir standartai
- Mokesčiai
- Prekybos leidimai
- Finansinės paskatos
- Savanoriški susitarimai
- Informaciniai instrumentai
- Moksliniai tyrimai ir plėtra



Dažniausiai klimato kaitos švelninimas įtraukia priemones skirtas šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos mažinimui (mažinant emisiją arba didinant sugėrimą). Pagrindinis švelninimo tikslas stabilizuoti šiltnamio dujų koncentraciją atmosferoje, o vėliau ir ją sumažinti. Tai ne tas pats kas stabilizuoti šiltnamio dujų emisiją. Šiltnamio dujų emisijos stabilizavimas dar nereiškia, kad stabilizuosis koncentracija. Jei emisija stabilizuotųsi dabartiniame lygyje, koncentracijos augimas tęstųsi viso XXI amžiaus bėgyje ir net vėliau. Taigi būtina emisijas mažinti bei didinti jų sugėrimą.

Du pagrindiniai klimato kaitos švelninimo keliai

Mažinti emisiją



Didinti absorbcines galias

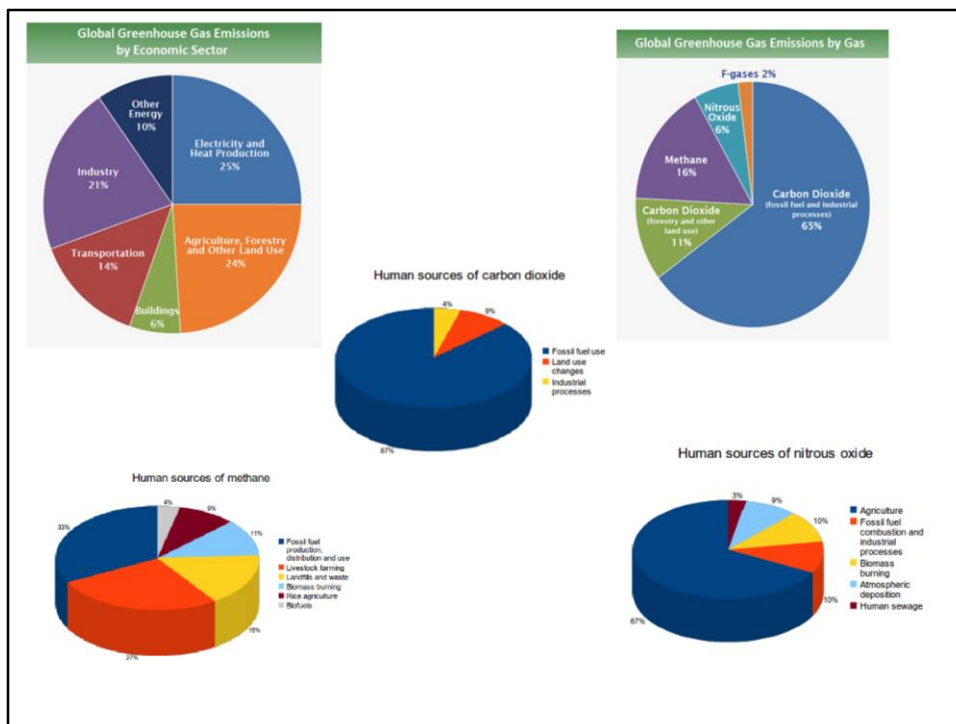


Emisijos mažinimas

Yra keletas būdų mažinti šiltnamio dujų emisiją:

- sumažinti emisijai imlių prekių ir paslaugų paklausą;
- didinti visų sektorių energetinį efektyvumą;
- vystyti mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančias technologijas;
- mažinti iškastinio kuro emisijas, keičiant jas kitomis energijos formomis.





Svarbiausios šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD): vandens garai, anglies dioksidas, metanas, diazoto monoksidas bei fluorintos dujos. Pačių gausiausių iš jų – vandens garų – koncentracija tiesiogiai nesisieja su žmogaus ūkine veikla, tačiau augant globaliai oro temperatūrai šių dujų kiekis taip pat gali išaugti. Tai yra vienas iš klimato sistemos grįžtamųjų ryšių. Vandens garų koncentracija atmosferoje labai kinta laike ir erdvėje bei priklausomai nuo temperatūros svyruoja 10-50000 ppm diapazone.

Tuo tarpu kitų ŠESD koncentracija atmosferoje didele dalimi yra žmogaus veiklos produktas. Daugiausiai šiltnamio dujų į aplinką patenka gaminant elektros energiją ir šilumą - 25%. Pramonei tenka 21%, o transportui – 14 % šiltnamio dujų emisijos. Dar 24% emisijos siejama su žemės ūkiu bei žemėnaudos pokyčiais.

Daugiausiai rūpesčių kelia anglies dioksido koncentracijos didėjimas (CO_2). 2017 metų pradžioje šių dujų koncentracija atmosferoje buvo 406 ppm. Anglies dioksido kiekis atmosferoje auga deginant fosilinį kurą (87%), gaminant cementą (4%) bei dėl miškų kirtimo ir kitų žemėnaudos pokyčių (9%), kurie mažina absorbcines planetos galias.

Antropogeninės kilmės metanas (CH_4) į atmosferą patenka išgaunant, transportuojant, perdurbant bei deginant fosilinį kurą (33%), o taip pat gyvulininkystėje (gyvuliams atrajojant, be to jo yra mėšle; 27%) bei auginant ryžius (ryžių laukuose metanas gaminasi pūvant organinėms medžiagoms; 9%), jo išsiskiria pūvant organinėms atliekoms sąvartynuose (16%) ar deginant biomasę (11%).

Nemažai metano patenka į aplinką sausinant pelkes ar tirpstant nuolatiniam įšalui.

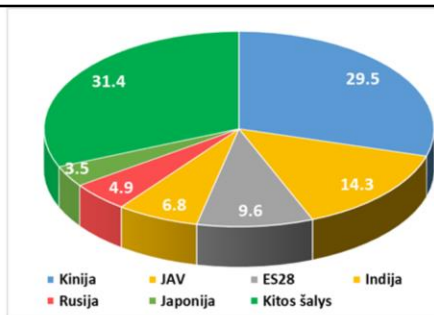
Nors metano koncentracija ore yra daug mažesnė (1,8 ppm), tačiau metano globalaus

atšilimo potencialas per 100 metų yra 28-36 kartus didesnis nei anglies dioksido. Tai reiškia, jog viena į orą patekusių metano dujų tona daro 28-36 kartus didesnę poveikį formuojant šiltnamio efektą nei viena anglies dioksido tona. Šiltnamio dujos vienos nuo kitų skiriasi savo gebėjimu sugerti Žemės spinduliavimą bei išsilaikymo atmosferoje trukme. Globalaus atšilimo potencialas skaičiuojamas apjungiant šias dvi savybes. Gyvavimo trukmė yra laikas per kurį į atmosferą dėl antropogeninio poveikio patekę teršalai iš jos yra pašalinami cheminių virsmų metu ar dėl to jog jie yra sugeriami. Nors metanas greičiau pasišalina iš atmosferos nei anglies dioksidas, tačiau jis sugeria daug daugiau žemės paviršiaus spinduliavimo.

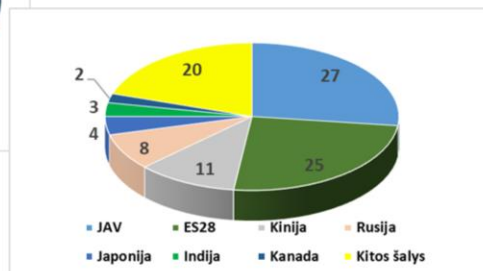
Diazoto monoksidas (N_2O) pasižymi dar didesniu globalaus atšilimo potencialu. Šimto metų laikotarpiu jis 265–298 karto didesnis nei anglies dioksido. Pagrindiniai antropogeniniai diazoto monoksido šaltiniai yra žemės ūkis (gyvulininkystė bei trąšos; 67%), fosilinio kuro deginimas bei pramonės gamyba (10%), o taip pat biomasės deginimas (10%). Šių dujų koncentracija atmosferoje – apie 0,3 ppm.

Fluorintų šiltnamio dujų koncentracija yra itin maža, tačiau jų globalaus atšilimo potencialas yra dar didesnis ir tūkstančius ar net dešimt tūkstančių kartų viršija anglies dioksido. Beveik visos fluorintos dujos yra vien tik antropogeninės kilmės ir aplinką patenką pramoninių procesų metu. Hidrofluorangliavandeniliai (HFCs) (91% nuo visų fluorintų dujų) yra naudojami šaldikliuose, oro kondicionieriuose, gesintuvuose bei aerozoliniuose balionėliuose. Perfluorangliavandeniliai (PFCs) (6%) į aplinką patenka aliuminio bei puslaidininkių gamybos metu. Sieros heksafluoridas (SF_6) daugiausiai naudojamas elektros prietaisų gamyboje.

Įvertinus globalaus atšilimo potencialą (100 metų laikotarpiui) anglies dioksidas (kartu su žemėnaudos pokyčiais) sudaro 76% šiltnamio dujų, metanas – 16%, diazoto monoksidas – 6% ir fluorintos dujos – 2%.



Anglies dioksido emisija 2015 metais pagal Europos komisijos Jungtinio tyrimų centro duomenis. Prie kitų šalių įtrauktos ir emisijos tarptautinėje aviacijoje bei laivyboje (3,2%).



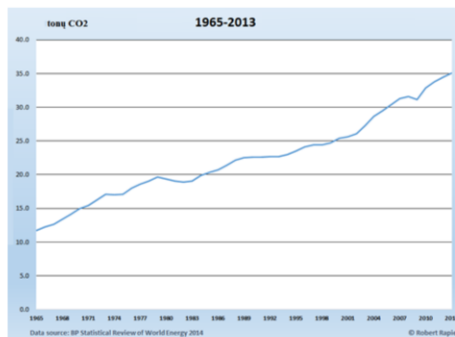
Suminė anglies dioksido emisija 1850-2011 metais pagal Pasaulio išteklių instituto duomenis.

CO₂ emisijos (tonomis vienam gyventojui) 2013 metais

1	Kataras	40,5
2	Trinidadas ir Tobagas	34,5
3	Kuveitas	27,3
4	Bahreinas	23,7
5	Brunėjus	18,9
6	Liuksemburgas	18,7
7	Jungtiniai Arabų Emiratai	18,7
8	Saudo Arabija	17,9
9	JAV	16,4
10	Australija	16,3
14	Estija	15,1
41	Kinija	7,6
80	Lietuva	4,3
131	Indija	1,6

Source: European Commission, Joint Research Centre (JRC)

Situacija 1965-2015 metais

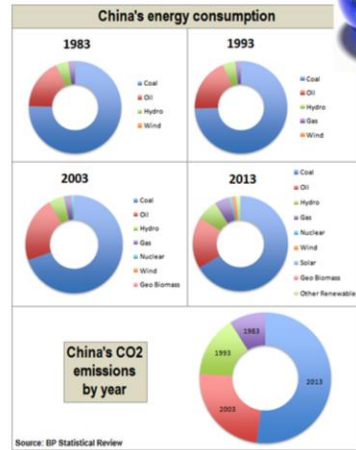
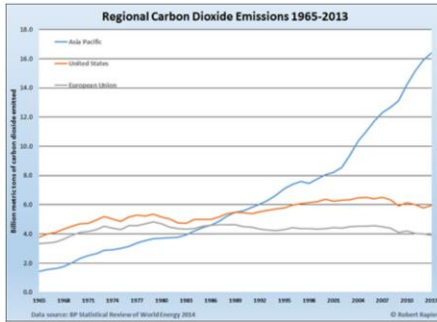


Kadangi pagrindinis klimato teršalas yra šiltnamio dujos (ŠESD), tai į šį klausimą galima atsakyti trimis būdais. Visų pirma galima apskaičiuoti kiekvienos valstybės indėlį į kasmetinę bendrą šiltnamio dujų emisiją. Taip pat galima būtų apskaičiuoti šiltnamio dujų kiekį, kurį į aplinką vidutiniškai išmeta vienas konkrečios šalies gyventojas ir tokiu būdu palyginti skirtingo dydžio valstybių indėlį. Galų gale labai svarbu įvertinti ir tai, kokia yra atskirų šalių suminė emisija per visą laikotarpį nuo industrializacijos pradžios, kadangi dabartinė šiltnamio dujų koncentracija atmosferoje yra ne vien tik pastarųjų metų žmogaus ūkinės veiklos pasekmė. Dažniausiai vertinami anglies dioksido išmetimai, kadangi tai pagrindinės šiltnamio dujos, sudarančios apie tris ketvirtadalius visos emisijos. Iki 2005 metų neabejotina anglies dioksido išmetimų lyderė buvo JAV. Tačiau vėliau į priekį išsiveržė Kinija ir jos vis auganti dalis 2015 metais sudarė beveik trečdalį nuo globalios emisijos. Kinija šiuo metu daugiau nei dvigubai lenkia JAV, kurios emisijos pastaraisiais dešimtmečiais kito nedaug, o po 2008 metų ekonominės krizės netgi sumažėjo. Visų 28 ES valstybių emisija 2015 metais sudarė beveik 10%, o pastaraisiais metais ES emisijos gana ženkliai mažėja. Didžiausia teršėja tarp ES valstybių yra Vokietija 2,2%, o Lietuva 2015 metais užėmė 96 vietą pasaulyje (0,035%). Kiek kitoks vaizdas susidaro perskaičiavus emisijas vienam gyventojui (x lentelė). Pirmajame dešimtuکه daugiausia šalių, kurios vykdo fosilinio kuro gavybą ar perdirbimą. Šios veiklos metu į aplinką patenka labai didelis anglies dioksido kiekis. Septintoje vietoje 2013 metais buvęs Liuksemburgas yra lyderis tarp Europos valstybių, nedaug atsilieka ir Estija. Liuksemburge didelis elektros energijos

(daugiausia gaunamos iš dujų ar anglies) kiekis yra sunaudojamas plieno gamybai, o Estijoje energijos gamybai naudojami vietoje išgaunami klimatinių požiūriu itin taršūs degieji skalūnai. JAV šiame reitinge užėmė devintą vietą, tačiau vienam gyventojui perskaičiuotos emisijos vis dar daugiau nei dvigubai buvo didesnės nei kito globaliu mastu didžiausio teršėjo – Kinijos. Tuo tarpu gyventojų skaičiumi milžiniškoje Indijoje, kurioje taip pat vyksta spartūs industrializacijos procesai, emisijos vienam gyventojui yra santykinai labai mažos. Lietuva pagal šį rodiklį liko 80 vietoje.

Sunku visiškai tiksliai apskaičiuoti koks yra kiekvienos šalies indėlis į suminę viso industrinio laikotarpio emisiją, tačiau Pasaulio išteklių instituto duomenimis net 27 % visos anglies dioksido emisijos 1850-2011 metais sudarė išmetimai JAV, nedaug atsilieka dabartinės ES šalys (25%), o Kinija šiame sąraše kol kas dar lieka trečioje vietoje (11%) ir gan nedaug lenkia Rusiją (8%). Ko gero būtent šiems šalims ir turėtų tekti ir didžiausia finansinė našta sprendžiant su klimato kaita susijusias problemas.

Kinja



Ar tikrai kalti tie kur gamina?

Ekologinis pēdsakās
2007 metų duomenys

*Jei visi gyventume kaip
JAV, pasaulinės metinės
produkcijos užtektų tik iki
kovo mėnesio pabaigos*

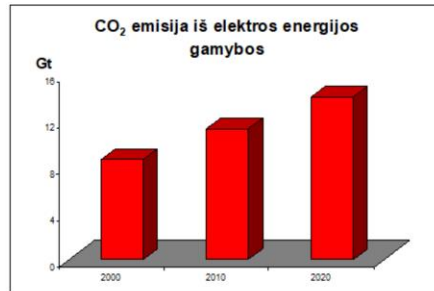
*Beje, jei visi gyventų kaip
lietuviai, pasaulis vos
prateptų iki liepos
pabaigos*

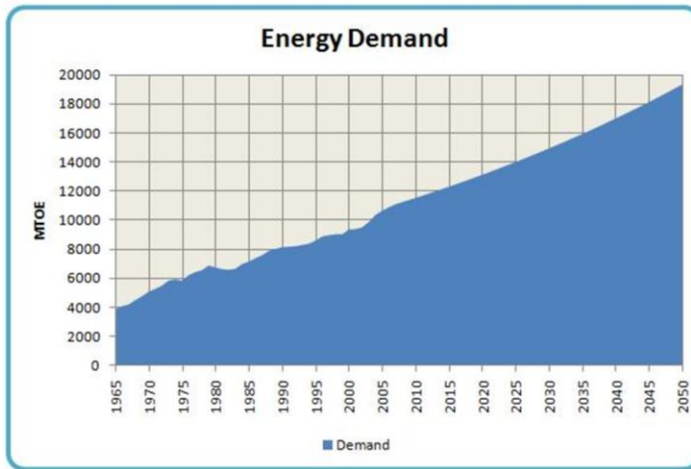
1	JAE
2	Kataras
3	Bachreinas
4	Danija
5	Belgija
6	JAV
7	Estija
8	Kanada
9	Australija
10	Islandija
11	Kuveitas
12	Airija
13	Olandija
14	Suomija
15	Švedija
16	Čekija
17	Makedonija
18	Latvija
19	Norvegija
20	Mongolija
39	Lietuva
42	Rusija
77	Kinija
146	Indija
159	Puerto Rikas



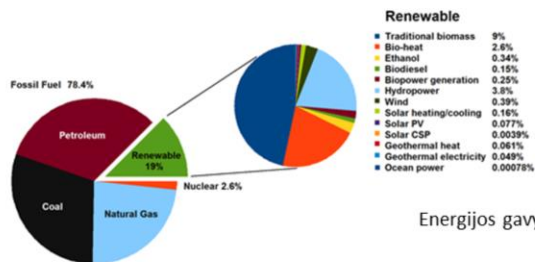
Energetika. Emisijos mažinimas

- Energetikos įmonių modernizavimas bei „švarių“ technologijų diegimas
- Energijos tiekimo bei paskirstymo sistemos modernizavimas
- Naftos ir anglies keitimas gamtinėmis ir skalūninėmis dujomis
- Diegti kombinuotą elektros ir šilumos energijos gamybą
- Atominės energetikos plėtra
- Atsinaujinančių energijos išteklių (tame tarpe ir biokuro) panaudojimas
- Šiltnamio dujų „pagavimas“ ir saugojimas
- Lanksčios finansinės paramos bei lengvatų sistemos kūrimas

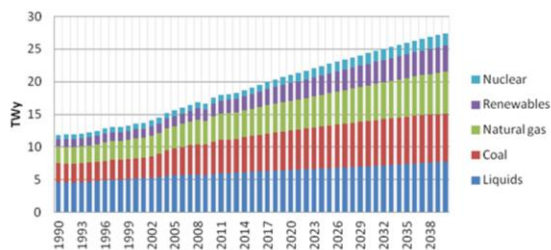




BP Statistical Review of World Energy 2007



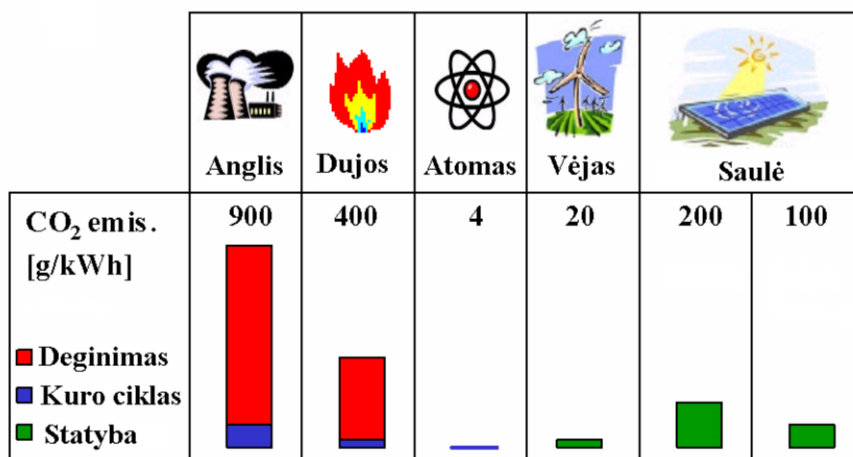
Energijos gavyba pasaulyje 2013 metais



2040 metais pagal
Tarptautinės energijos
agentūros duomenis
atsinaujinantys šaltiniai
sudarys tik 5%

Energijos gavybos dinamika

CO₂ emisija reikalinga elektros energijos gamybai





Apskaičiuoti anglies resursai (mln. t.)

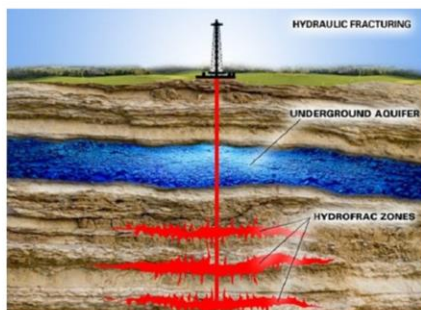
Šalis	Kiekis
JAV	249994
Rusija	157010
Kinija	114500
Indija	84396
Australija	82090
Vokietija	66000
Pietų Afrika	49520
Ukraina	34153
Kazachstanas	34000
Lenkija	22160
Serbija ir Juodkalnija	16256
Brazilija	11929
Kolumbija	6648
Kanada	6578
Čekija	5678
Indonezija	5370
Viso	984453

Atominės energetikos problemos

1. Katastrofų pavojus
 - a) aplaidumas
 - b) pikta valia
 - c) gamtinės nelaimės
2. Atliekų saugojimas
3. Branduolinio ginklo gamyba
4. Dideli statybos kaštai



Skalūnų dujos!?



Atsinaujinantys alternatyvūs energijos šaltiniai. Problemos

<http://www.youtube.com/watch?v=-1ElhowgtgA>



Hidroenergija

Užliejamos derlingiausios žemės ir gyvenvietės. Paveikiama aplinkinė ekosistema, sustabdoma žuvų migracija, palaipsniui užsipildo nuosėdomis



Saulės energija

Ribota saulės spindėjimo trukmė (ypač ne tropikuose), vis dar nedidelis baterijų naudingumo koeficientas, reikalingi dideli žemės plotai, nėra efektyvių energijos akumuliatorių.



Vėjo energija

Triukšmas???, kyla pavojus paukščiams???, bjauroja kraštovaizdį???. Tai bene perspektyviausia alternatyvios energijos forma artimiausioje ateityje

Atsinaujinantys alternatyvūs energijos šaltiniai. Problemos



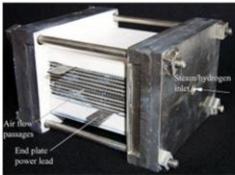
Mediena ir kita biomasė

Miškų kirtimas, žemės plotai skiriami ne maisto gamybai.



Termobranduolinė sintezė

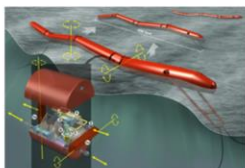
Kol kas nevaldoma. Bet tik kol kas.



Vandenilis ir kuro elementai

Vandeniliui išgauti reikalinga energija, gali sprogti, turi būti labai suspaustas, kuro elementų veikimas turi būti palaikomas išorinio energijos šaltinio.

Atsinaujinantys alternatyvūs energijos šaltiniai. Problemos



Bangų energija

Kol kas elektrinių efektyvumas menkas, bangavimas yra kintantis procesas.



Potvynių energija

Nedaug vietų kur gali būti naudojama (apie 9 pasaulyje), negatyvus efektas žuvininkystei, laivybai bei pakrančių ekosistemoms.

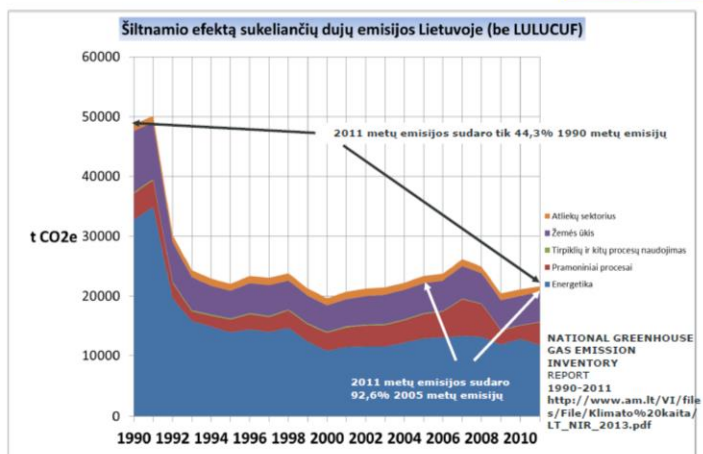


Vandenynų terminė energija

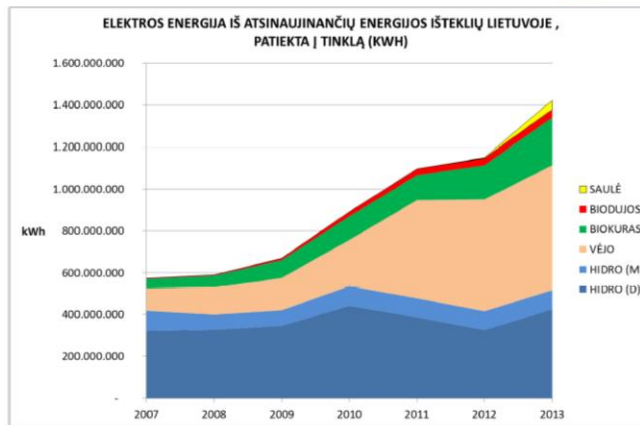
Didelės elektrinės turi būti pritvirtintos dideliame gylyje, gali būti veikiamos bangų, vėjo ir korozijos, efektyvumas labai mažas.

Vandens šildymas saulės energija





© Nagevičius, 2014



© Nagevičius, 2014

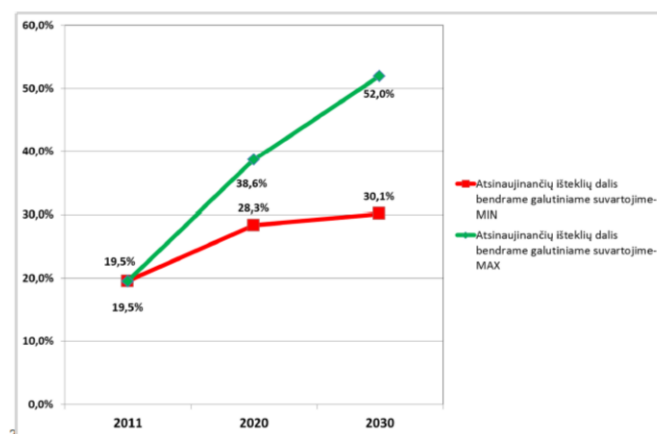
Atsinaujinančios energetikos plėtra



	Minimalus scenarijus		Maksimalus scenarijus	
	2020	2030	2020	2030
Biokuro elektrinės (MW)	271	317	422	467
Biodujų elektrinės (MW)	84	125	150	300
Vėjo elektrinės (on-shore) (MW)	500	800	1000	1500
Vėjo elektrinės (off-shore) (MW)	0	0	0	1000
Saulės elektrinės (MW)	100	200	300	996
Hidroelektrinės (MW)	130	130	141	141
CŠT sistemose šiluma, pagaminta iš atsinaujinančių išteklių (proc)	60%	76%	83%	91%
Šilumos gamyba saulės kolektoriais (GWh)	20	40	100	200
Biometano gamyba (mln m3)	0	0	100	200
Šilumos siurblių pagaminama šiluma (GWh)	75	150	150	300

© Nagevičius, 2014

Atsinaujinančių išteklių dalis bendrame galutiniame suvartojime



© Nagevičius, 2014

Pramonė. Emisijos mažinimas

- Lanksčių finansinių skatinimo mechanizmų diegimas
- Energijos ir panaudojimo naudingumo koeficiento didinimas
- Beatliekinės gamybos skatinimas. Atliekų perdirbimas.
- Švarių gamybinių technologijų diegimas ir tobulinimas
- Šiltnamio dujų emisijos sugavimas ir saugojimas
- Ne šiltnamio dujų emisijų mažinimas



Transportas. Emisijos mažinimas

- Ⓢ Naujo kuro rūšių paieškos bei variklių tobulinimas (hibridiniai benzininiai (dyzeliniai) ir elektriniai varikliai).
- Ⓢ Ekologiškai švaresnio biokuro naudojimas
- Ⓢ Dujų vartojimo skatinimas
- Ⓢ Efektyvus kelių bei transporto sistemos valdymas
- Ⓢ Viešojo transporto bei geležinkelių plėtra
- Ⓢ Jūrų transporto plėtra
- Ⓢ Aviatransporto keitimas į geležinkelio ar autotransportą
- Ⓢ Naudojimosi dviračiais skatinimas



Svarbiausia - atliekų mažinimas ir atliekų perdirbimas

- ◆ Skatinti daugkartinės taros ir daugkartinių medžiagų gamybą bei naudojimą
- ◆ Sukurti ekologiškai švarią komunalinių atliekų tvarkymo sistemą
- ◆ Ekonomiškai skatinti ir plėsti antrinių žaliavų perdirbimo įmones
- ◆ Šiuolaikiškai tvarkyti biodegrazuojamąsias atliekas (kompostavimas, biologinių dujų gamyba ir naudojimas energetikai)
- ◆ Mažinti bei tvarkyti vandens nuotėkas (dumblo naudojimas tręšimui ir pan.)



Sausumos absorbcinio potencialo didinimas

Išsaugojimas: esamų anglies atsargų sausumos ekosistemose apsauga siekiant sumažinti jos emisiją į atmosferą;

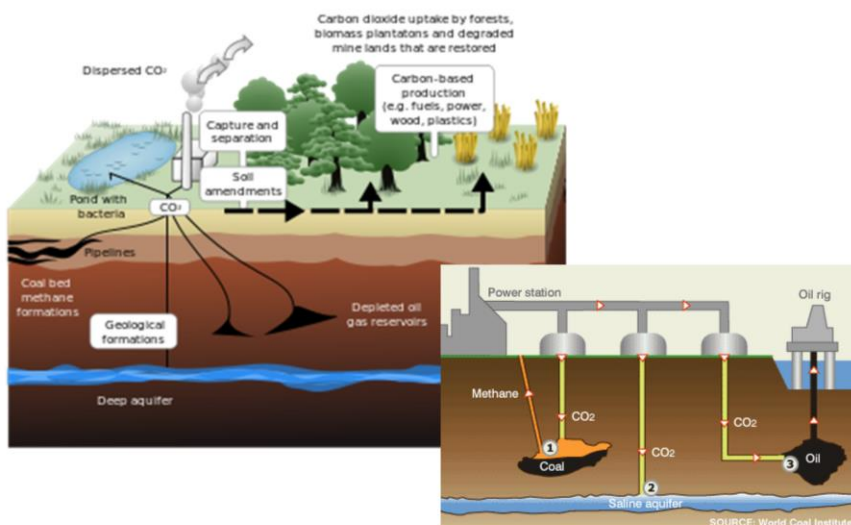


Didinimas: esamų anglies atsargų papildymas, didinant absorbcinę sausumos ekosistemų galią;

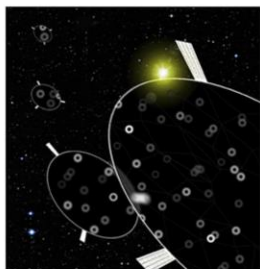
Pakeitimas: biologinių produktų (pvz., biodegalų) panaudojimas vietoj iškastinio kuro, siekiant sumažinti CO₂ emisiją į atmosferą.



Šiltnamio dujų „sandėliavimas“



Klimato kaitos švelninimo priemonės. Įdomūs projektai



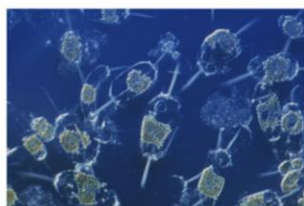
Saulės skrybėlė



Dirbtinis ugnikalnis



Dirbtiniai medžiai



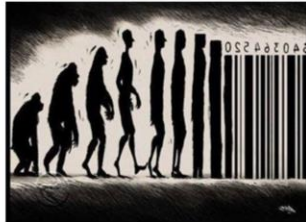
Planktono auginimas

Ką daryti?

Pradėti reiktų nuo savęs



Ar tikrai tai mūsų kelias



© Bob Seger

O gal tai?



Adaptacija

Adaptacija yra sistemos gebėjimas prisitaikyti prie kintančių klimato sąlygų: sušvelninti galimus nuostolius (sumažinus jautrumą bei padidinus atsparumą), gauti naudos iš teikiamų galimybių arba kovoti su pasekmėmis.

Potencialių adaptacijos priemonių spektras yra labai platus:

- ❖ Techninės (pvz., pylimai jūros pakrantėje)
- ❖ Elgesio (pvz., kintantys mitybos ar poilsio ypatumai)
- ❖ Vadybiniai (pvz., kintanti žemės ūkio produkcija bei agrokultūrų auginimo praktika)
- ❖ Politinės (pvz., planinis reguliavimas)



Per visą savo istoriją, žmonija nuolat susidurdavo su grėsmėmis, atsirandančiomis dėl ekstremalių klimato pasireiškimų ar cikliškų klimato svyravimų. Todėl žmonija yra sukaupusi didelę pavykusių ar nepavykusių bandymų kovoti su klimato pavojais patirtį. Nesėkmės atveju klimato pokyčiai versdavo dideles žmonių grupes migruoti iš vienos vietos į kitą ar net lemdavo tam tikrų bendruomenių išnykimą. Šiuolaikiniai klimato pokyčiai taip pat kelia didelę grėsmę, tačiau mūsų tankiai apgyvendintame pasaulyje vis mažiau galimybių išvengti klimato grėsmių pasitraukiant į šalį. Todėl tenka prisitaikyti prie jų.

Prisitaikymas (arba adaptacija) prie klimato kaitos yra gebėjimas prisitaikyti prie kintančių klimato sąlygų: sušvelninti galimus nuostolius, gauti naudos iš teikiamų galimybių arba kovoti su pasekmėmis. Gerai suplanuotas išankstinis prisitaikymas gali labai sumažinti dėl klimato kaitos patiriamus nuostolius bei išsaugoti žmonių gyvybes. Skiriamos šios adaptacijos formos:

Išankstinis prisitaikymas – priemonės, kurių imamasi dar prieš išryškėjant klimato kaitos poveikiui;

Atsakomasis prisitaikymas – priemonės, kurių imamasis jau išryškėjus klimato kaitos poveikiui;

Spontaniškasis prisitaikymas – tai natūralus nereguliuojamas gamtinių bei antropogeninių sistemų prisitaikymas prie kintančio klimato.

Prisitaikymo priemonės varijuoja priklausomai nuo sferos, kurioje jos gali būti taikomos. Nereguliuojamose gamtinėse sistemose prisitaikymas būna spontaniškas bei atsakomasis. Tai procesas, kai atskiros rūšys bei visa ekosistema pačios prisitaiko

prie kintančių klimato sąlygų. Antropogeninėse sistemose galimos visos prisitaikymo formos, o jų įgyvendinimas priklauso nuo privačių asmenų, visuomeninių organizacijų arba valdžios organų iniciatyvumo ir veiklos.

Prisitaikymo formų ir būdų pasirinkimas priklauso nuo paveiktos sistemos galimybių. Antropogeninėse sistemose jas lemia socialiniai ir ekonominiai veiksniai. Pagrindiniai jų – ekonominiai ištekliai, technologinis išsivystymas, visuomenės informatyvumas bei įgūdžiai, infrastruktūra, instituciniai resursai ir kt. Be jokios abejonės, turtingų, technologijų atžvilgiu išsivysčiusių bei labiau išsilavinusių visuomenių adaptacinės galimybės yra žymiai didesnės. Prisitaikymo priemonės dažnai yra gana brangios, o norint lėšas panaudoti efektyviai, reikia gerai pažinti sistemą bei aiškiai suvokti galimą grėsmę.

Prie dažniausiai pasaulyje taikomų prisitaikymo priemonių galime priskirti priemones skirtas efektyviam vandens panaudojimui sausringuose kraštuose, pastatų konstrukcijų priderinimui prie kintančio klimato sąlygų, molų ir krantinių statybas siekiant apsaugoti nuo stiprėjančių audrų bei kylančio jūros lygio poveikio, sausroms atsparių kultūrų išvedimą ir auginimą, miškų užsodinimą medžiais atsparesniais gaisrams bei audroms, gyvūnų rūšims migruoti skirtų specialių „koridorių“ kūrimą ir daugelį kitų.

Be to, tinkamas prisitaikymas padeda iš klimato pokyčių gauti ir naudos. Pavyzdžiui didėjant pavasario oro temperatūrai galima anksčiau pradėti sėjos darbus. Anksčiau pasodintos kultūros jau bus pilnai pribrendusios antroje vasaros pusėje, būtent tada, kada ypač padidėja didelių karščių bei sausrų tikimybė. Gali stipriai išaugti ir kai kurių valstybių (pavyzdžiui, Lietuvos) rekreacinis potencialas. Todėl investicijos į rekreacinių zonų infrastruktūrą gali būti labai finansiškai naudingos.

Gamtinės sistemos klimato pokyčiams yra ypač jautrios, kadangi jų prisitaikymo galimybės ribotos, lyginant su didesnio adaptacinio potencialo antropogeninėmis sistemomis. Todėl daugeliu atveju žmogaus įsikišimas padedant gamtai prisitaikyti bus neišvengiamas.

Svarbu atsiminti, jog klimato kaitos poveikis priklauso nuo regiono, todėl prisitaikymo priemonių efektyvumas skirtinguose vietose gali labai skirtis. Klimato kaitos poveikis atskiroms demografinėms grupėms (pvz., vyresnio amžiaus žmonėms) taip pat gali skirtis ir į tai būtina atsižvelgti. Lengviausia adaptuotis tuo atveju, jei jau egzistuoja reali grėsmė, o pačios priemonės įtraukiamos į vykdomą arba besirengiamą vykdyti žemėnaudos planavimą, infrastruktūros dizainą ir kt. Be to, netinkamai parinktos priemonės, gali kelti dar didesnę grėsmę, nei pati klimato kaita.

Prisitaikymo priemonėms pagrįsti yra vykdoma kaštų ir naudos analizė, t.y. finansiškai įvertinami būsimi dėl klimato kaitos patiriami nuostoliai ar gaunamas pelnas bei tai lyginama su prisitaikymo priemonių įgyvendinimo kaina.

Skiriamos kelios adaptacijos formos:

- ❖ *prevenicinė adaptacija* – adaptacijos priemonės, kurių imamasi dar prieš atsirandant klimato poveikiui;
- ❖ *atsakomoji adaptacija* – priemonės, kurių imamasis jau išryškėjus klimato poveikiui;
- ❖ *spontaniškoji adaptacija* – tai natūralus nereguliuojamas gamtinių bei antropogeninių sistemų prisitaikymas prie kintančio klimato.

Taip pat gali būti skiriama planinė, asmeninė arba visuomeninė adaptacija.

Planinė



Planinė-atsakomoji



Atsakomoji



Siekiant pagerinti visuomenės adaptacines galimybes reikia:

- ☐ Gerinti prieigą prie finansinių ir kitokių išteklių būtinų adaptacijai
- ☐ Mažinti skurdą
- ☐ Mažinti turtinę nelygybę
- ☐ Gerinti infrastruktūrą
- ☐ Gerinti švietimą ir visuomenės informavimą
- ☐ Gerinti institucinius gebėjimus ir jų veiksmingumą

Adaptacijos priemonės dažnai yra gana brangios, nors tinkama adaptacija padeda iš klimato pokyčių gauti daugiau naudos.



Adaptacija privatus
kiekvienos valstybės
reikalas.

Antropogeninėse sistemose galimos visos adaptacijos formos, o jų įgyvendinimas priklauso nuo privačių asmenų, organizacijų arba valdžios organų iniciatyvumo ir veiklos.

Adaptacijos formas lemia socialiniai ir ekonominiai veiksniai. Pagrindiniai jų – ekonominiai ištekliai, technologinis išsivystymas, visuomenės informatyvumas bei įgūdžiai, infrastruktūra, instituciniai resursai ir kt. Turtingų, technologijų atžvilgiu išsivysčiusių bei labiau išsilavinusių visuomenių adaptacinės galimybės yra žymiai didesnės.

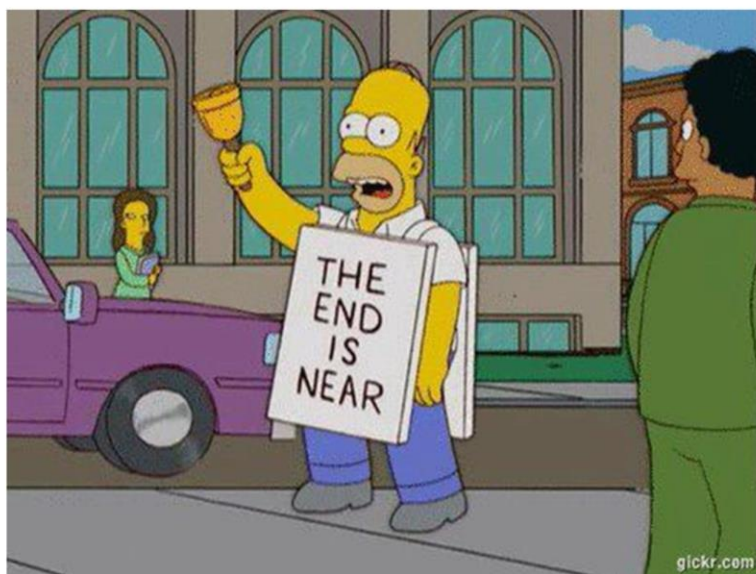
Adaptacija yra brangi!



Svarbiausi aspektai į kuriuos reiktų atsižvelgti, rengiant adaptacijos priemones yra šie:

1. Klimato kaitos poveikis priklauso nuo regiono
2. Klimato kaitos poveikis gali skirtis skirtingose demografinėse grupėse
3. Klimato kaita tai ne tik grėsmės, bet ir galimybės
4. Analizuojant klimato kaitos poveikį, reikia atsižvelgti į daugelį veiksnių, kurie svarbūs tiek vertinant jautrumą, tiek adaptacines galimybes
5. Adaptacijos priemonės dažniausiai yra brangios
6. Adaptacijos priemonių efektyvumas skirtinguose regionuose gali labai skirtis
7. Netinkamai parinktos priemonės, gali kelti dar didesnę grėsmę, nei pati klimato kaita
8. Lengviausia adaptuotis tuo atveju, jei kalbama apie jau egzistuojančias grėsmes, o pačios priemonės įtraukiamos į vykdomą arba besirengiamą vykdyti žemėnaudos planavimą, infrastruktūros dizainą ir kt.

Kol kas adaptacijos procesai pasaulyje vyksta vangiai ir ji daugiau deklaratyvaus nei realių veiksmų pobūdžio. Daug susitikimų, konferencijų, dokumentų, strategijų, projektų, o realios adaptacijos pavyzdžių labai maža.



Europos Sąjungoje adaptacijos prie klimato kaitos priemonės turėtų būti labiau integruotos daugelyje sričių: nelaimių rizikos mažinime, pakrančių zonos tvarkyme, žemės ūkio ir kaimo plėtroje, sveikatos priežiūroje, teritorijų planavime, regioninėje plėtroje, ekosistemų ir vandens išteklių valdyme.

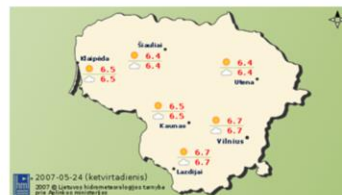
Lietuvoje pagal Nacionalinę klimato kaitos valdymo politikos strategiją prisitaikymo prie klimato kaitos keliame aplinkos pokyčių politikos strateginis tikslas – sumažinti gamtinių ekosistemų ir ūkio sektorių pažeidžiamumą, diegiant priemones, kurios leidžia išlaikyti bei padidinti jų atsparumą klimato kaitos pokyčiams, ir užtikrinant palankias visuomenės gyvenimo ir ūkinės veiklos sąlygas.

Galima didelė prisitaikymo priemonių įvairovė, pavyzdžiui, techninės priemonės, ekosisteminės priemonės, priemonės skirtos elgesio pokyčiams. Prisitaikymo priemonės taip įtraukia efektyvų vandens išteklių naudojimą, statybinių normų keitimą, apsauginių konstrukcijų nuo potvynių ir jūros užliejimų statymą, sausrų atsparių kultūrų kūrimas, audrų ir gaisrų mažiau pažeidžiamų medžių rūšių auginimas, sausumos koridorių palikimas rūšių migracijai.

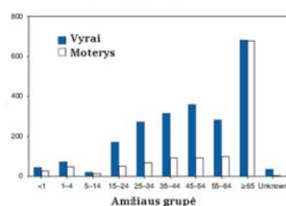
Europos Komisija paskelbė Žaliąją knygą 2007 (Prisitaikymas prie klimato kaitos Europoje - galimi ES veiksmai) ir Baltąją knygą 2009 m. (Prisitaikymo prie klimato kaitos Europos veiksmų programos kūrimas).

Adaptacijos prie klimato pokyčių Lietuvoje galimybės. Žmonių sveikata

- Karščio valdymo veiksmų planų sukūrimas;
- Perspėjimo sistemų įdiegimas ir informavimas kaip elgtis;
- Teisingas miestų planavimas siekiantis išvengti "karščio salų" susidarymo, šilumos apkrovos mažinimas, miestą apsodinant medžiais;
- Viešų vietų kur galima atsigerti vandens mieste įrengimas;
- Viešų kondicionuojamų (šildomų) patalpų įrengimas;
- Būstų ir pastatų projektavimas pasitelkiant alternatyvias kondicionavimo ir ventiliacijos sistemas;
- Pažeidžiamų gyventojų grupių išskyrimas ir jų stebėjimas.



Mirčių dėl karščio bangų skaičius JAV priklausomai nuo amžiaus ir lyties 1999-2003 metais



O ar visada pavyks adaptuotis?



PABAIGA

https://putlockerhd.co/watch?v=Chasing_Ice_2012#video=i7U-UC9z2Q6t0xhYDEkQz7ZGifQuYUPbXLUEoJuy8Q