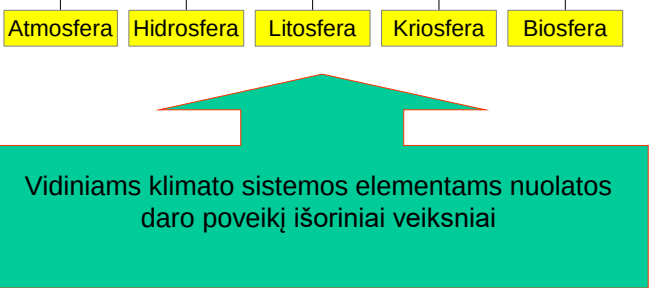


 <i>Išorinės ir vidinės klimato svyravimo priežastys. Astronominė klimato svyravimų teorija. Litosferos plokščių mobilizmas.</i> Klimato kaita  <i>Heliofizinių faktorių poveikis klimatui. Atmosferos dujinės sudėties evoliucija. Antropogeninių faktorių poveikis klimatui.</i>	Klimato svyravimų tyrimas yra labai sudėtingas, su daug nežinomųjų uždavinys. Globalinės klimato svyravimų priežastys susipina su regioninėmis, dažnai vienos kitas nustelbia, arba, atvirkščiai, sustiprina. Ši neapsakomai sudėtinga įvairaus rango klimato sistemos veiksnių sąveika konkrečiame regione išryškėja savitai. Industrinėje eroje klimato sistema tapo dar sudėtingesnė, nes stiprėja antropogeninių veiksnių poveikis aplinkai (miškai paverčiami dirbami žemių plotais, keičiasi atmosferos dujų sudėtis, stiprėja „šiltnamio efektas“, didėja dirvožemio bei vandenų tarša).
Klimatosferos (klimato sistemos) vidiniai elementai  Vidiniams klimato sistemos elementams nuolatos daro poveikį išoriniai veiksniai	Ilgalaikių ir lėtų klimato svyravimų, kuriuos sukelia determinuoti veiksniai (Žemės orbitos parametrų ir atmosferos cheminės sudėties kitimas, kalnodara, litosferos plokščių dreifas), fone veikia daug atsitiktinių jėgų (Saulės aktyvumo pulsacija, geomagnetinio lauko įtampa, vulkanizmas ir kt.), sukeliančių trumpalaikių klimato svyravimų ir fluktuacijų. Kisdamas klimatas, savo ruožtu, veikia kitų gamtos procesų vyksmą ir socialinę-ekonominę sferą. Apie tai žino ne tik klimatologai. Atlikdami tyrimus į klimato nepastovumą nuolat turi atsižvelgti hidrologai, glaciologai, geologai, geografs, biologai ir kitų krypties mokslininkai. O kasdieniniame gyvenime klimato kaita praktiškai veikia visus žmones, nepriklausomai nuo jų veiklos pobūdžio, amžiaus ar lyties.
Klimato svyravimo priežastys Išorinės • astronominės: • Saulės ir galaktikos spindėjimo intensyvumas, • Žemės orbitos padėtis Saulės sistemoje, • Žemės judėjimo savo orbitoje rodikliai (ekscentricitetas ir precesija), • Žemės ašies polinkis į orbitos plokštumą, • Žemės apsisukimo greitis aplink savo ašį; • geofizinės: • Žemės dydis ir masė, • gravitacinis ir magnetinis Žemės laukai, • globalinė tektonika, • geoterminė šiluma ir vulkanizmas; Vidinės: • atmosferos dujinė sudėtis ir aerozolių kiekis, • sausumos reljefas, • paklotinio paviršiaus struktūra.	Klimato sistemos (klimatosferos) atžvilgiu visas klimato svyravimo priežastis galima suskirstyti į išorines ir vidines. Išorės veiksniai lemia energijos prietaką į klimatosferą. Šiai veiksnių grupei priklauso astronominės (Saulės ir galaktikos spindėjimo intensyvumas, Žemės orbitos forma ir Žemės judėjimo savo orbita parametrai, Žemės ašies polinkis į orbitos plokštumą, Žemės sukimosi aplink savo ašį greitis) ir išorės geofizikinės (gravitacinis ir magnetinis Žemės laukai, vulkanizmas ir geoterminė šiluma) klimato svyravimo priežastys. Vidinės klimato svyravimo priežastys kyla ir veikia vienos kurios klimato sistemos dalies viduje, bet jos gali paveikti ir kitas klimato sistemos dalis. Vidiniams klimato svyravimo veiksniams priskiriama: atmosferos dujų sudėtis ir aerozolių kiekis, sausumos reljefas ir paklotinio paviršiaus struktūra. Klimato svyravimus kuriame nors regione gali sukelti ir atmosferos bei vandenyno cirkuliacijos pokyčiai.

Klimato kaitos teorijos

1. Astronominė teorija
2. Litosferos plokščių mobilizmo teorija
3. Heliofizinių faktorių teorija
4. Atmosferos sudėties ir antropogeninių faktorių teorija

1. Astronominė klimato svyravimų teorija

*Šios teorijos autorius - serbų astrofizikas
 Milutin Milankovič (1879-1958)*

Teorijos esmė:

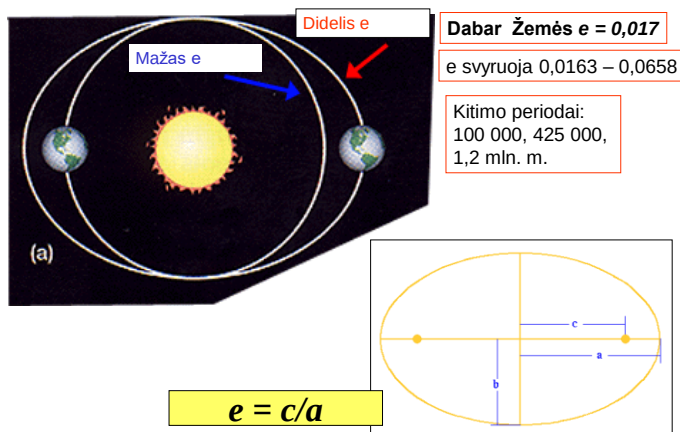
Žemę pasiekianti Saulės insoliacija nėra pastovi.

Insoliacijos svyravimai siejami su Žemės orbitos trimis parametrais:

- ekscentriciteto kaita,
- Žemės ašies precesija,
- Žemės sukimosi ašies polinkio į orbitos plokštumą kaita.

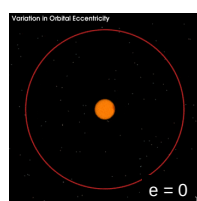
Nuo astronominių veiksnių priklauso Saulės energijos srauto (insoliacijos) intensyvumas ties viršutine atmosferos riba. Šis visų ilgių bangų bendrasis Saulės spindulių srautas, esant vidutiniam Žemės nuotoliui nuo Saulės, vadinamas **meteorologine Saulės konstanta**, kuri lygi 1370 W/m^2 .

Ekscentriciteto (e) kaita



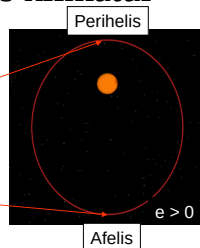
Šiuo metu e mažėja ir dar mažės apie 25 tūkst. metų, kol pasieks minimumą – 0,016.

Ekscentriciteto (e) poveikis klimatui



$$I_p^* = 1420 \text{ W/m}^2$$

$$I_a^* = 1328 \text{ W/m}^2$$



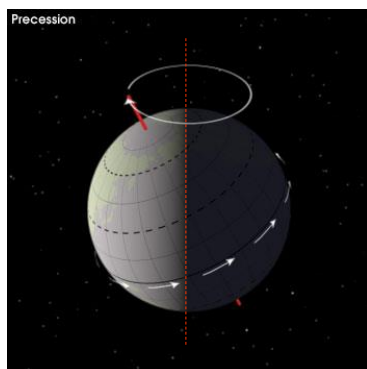
$$I_p^* - I_a^* = \Delta I^*$$

ΔI^* gali sudaryti nuo 7 iki 26 % Saulės konstantos I_0 .

Dabar Saulės konstanta $I_0 = 1370 \text{ W/m}^2$

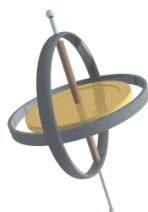
e pasikeitimas nulemia Žemės atstumo iki Saulės pasikeitimus ir tuo pačiu energijos prietaką į ploto vnt. ties viršutine atmosferos riba, esant Žemei įvairiuose orbitos taškuose.

Žemės ašies precesija



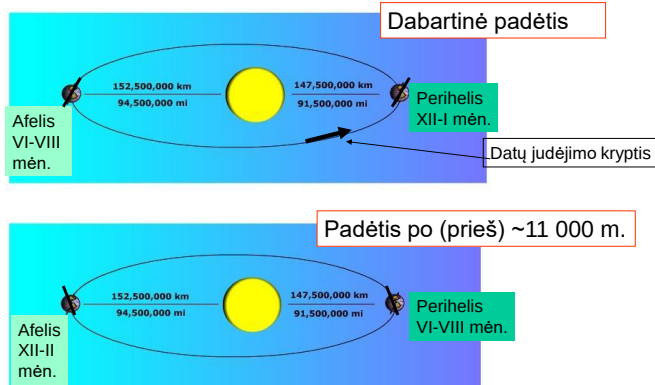
Tai Žemės ašies sukimasis apie statmenį į orbitos plokštumą

Precesijos periodas ~ 21 000 m.



Dėl Žemės ašies precesijos keičiasi žiemos ir vasaros saulėgrįžų vieta orbitoje perihelio atžvilgiu. Pvz., žiemos saulėgrįža nuo perihelio nutolsta per 57,5 metus viena diena.

Žiemos ir vasaros saulėgrįžų kaita orbitoje dėl precesijos

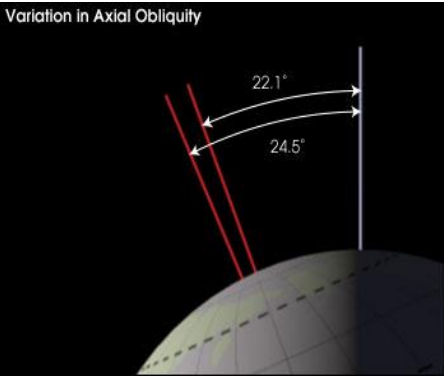
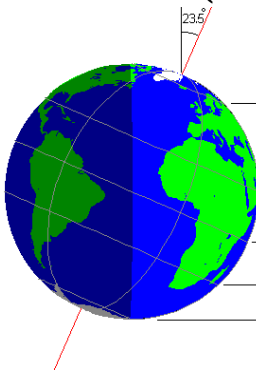


Kaip žinoma, perihelio trajektorijos dalyje Žemė skrieja greičiau, o Saulės energijos gauna daugiau. Afelyje Žemė skrieja lėčiau, o Saulės energijos gauna mažiau (J. Keplerio antrasis dėsnis).

Todėl, **kai Žemė XII-II mėn. perihelyje**, Š. pusr. trumpesnė ir šiltesnė žiema, o vasara vėsesnė ir ilgesnė (lyg. su P. pusr. atitinkamais sezonais).

Kai **Žemė perihelyje VI-VIII mėn.**, atvirkščiai – Š. pusr. šiltesnė trumpesnė vasara, o žiema ilgesnė ir vėsesnė; P. pusr. - trumpesnė ir šiltesnė žiema, o vasara vėsesnė ir ilgesnė.

Saulės energijos prietakos ir t-ros pokyčiai tuo ryškesni, kuo didesnis ekscentricitetas.

Žemės sukimosi ašies polinkio į orbitos plokštumą kaita (arba kampas tarp statmens į orbitos plokštumą ir sukimosi ašies)  Variation in Axial Obliquity Dabar: 23°26' (~23,5°) Kinta nuo 22,1 iki 24,5° Kitimo priodas 41 000 m.	
Žemės sukimosi ašies polinkio į orbitos plokštumą kaitos poveikis klimatui Padidėjus polinkio kampui: • vasarą poliarinėse ir vidutinėse platumose padidėja saulės h virš horizonto bei spinduliuotės prietaka, pakyla t-ra; • žiemą – atvirkščiai: sumažėja saulės h, žiema tampa šaltesnė; • vidutinėse ir poliarinėse platumose padidėja tarpsezoniniai spinduliuotės ir t-ros skirtumai; • tarpplatuminiai spinduliuotės ir t-ros skirtumai vasarą sumažėja, o žiemą – padidėja; • poliariniai ratai (jų platumą) pasislenka link pusiaujo, o tropikų ratai – link ašigalių.	Pavyzdžiui, padidėjus Žemės ašies polinkio kampui 1°, Lietuvos platumose Saulės spinduliuotės prietaka vasarą išaugtų 1,5–2%, o žiemą sumažėtų 3,5–4%. Taigi, padidėjęs Žemės ašies polinkis į orbitos plokštumą išryškina sezoninius, bet sušvelnina tarpplatuminius Saulės spinduliuotės ir oro temperatūros Žemėje skirtumus.
Žemės ašies polinkio kampas 23°26' (~23,5°)  Š. poliarinis ratas (90 - 23°26' = 66°34' š. pl.) Š. tropikų ratas 23°26' š. pl. Pusiaujas P. tropikų ratas 23°26' p. pl. P. poliarinis ratas (90 - 23°26' = 66°34' p. pl.)	

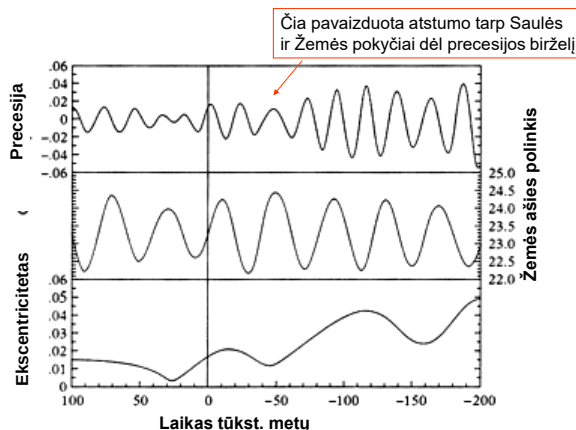
Žemės sukimosi ašies polinkio į orbitos plokštumą kaitos poveikis klimatui

Sumažėjus polinkio kampui:

- **vasarą** poliarinėse ir vidutinėse platumose sumažėja saulės h virš horizonto bei spinduliuotės prietaka, vasara tampa vėsesnė;
- **žiemą** – atvirkščiai: padidėja saulės h , žiema tampa šiltesnė;
- vidutinėse ir poliarinėse platumose sumažėja **tarpsezoniniai** spinduliuotės bei t -ros skirtumai;
- **tarpplatuminiai** spinduliuotės ir t -ros skirtumai vasarą padidėja, o žiemą – sumažėja;
- **poliariniai ratai** (jų platumą) pasislenka link ašigalių, o **tropikų ratai** – link pusiaujo.

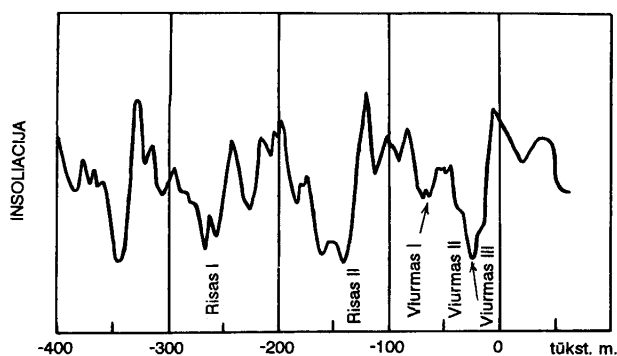
Dėl poliarinių ir tropikų ratų platumos pasikeitimų keičiasi teritorijų, kur susidaro poliarinės dienos ir naktys, plotai. Atitinkamai keičiasi pusiaujo konvergencijos zonos (PKZ) judėjimas abipus pusiaujo: pvz., padidėjus ašies polinkiui, PKZ gali labiau nutolti nuo pusiaujo, prasiplečia zona, kurioje iškrinta jos lemiami krituliai (mažėjant ašies polinkiui, ši zona siaurėja).

Žemės orbitos trijų parametų kaita



Dabar Žemės orbitos parametrai yra apskaičiuoti 30×10^6 metų į praeitį ir 1×10^6 metų į ateitį.

Vasaros insoliacijos svyravimai dėl Žemės orbitos parametų nepastovumo (bendras visų trijų parametų poveikis)



Šiame pav. parodyta visų trijų orbitos parametų bendra įtaka insoliacijos intensyvumui. Silpnos insoliacijos laikotarpiai sutampa su senaisiais Europos apledėjimais. Saulės insoliacija aukštosiose platumose vasarą svyravo 30% diapazone, o tai prilygsta Saulės konstantos 10–15% pokyčiui. Todėl toks insoliacijos susilpnėjimas galėjo būti apledėjimo priežastis.

2. Litosferos plokščių mobilizmo teorija

Remiantis paleoklimatiniais indikatoriais nustatyta, kad visais laikais geologinėje praeityje egzistavo E, T, ST, o kartais ir vidutinė klimato juostos.

Kodėl dabartiniuose žemynuose paleoklimato juostos nesudaro vieningos zoninės sistemos – kertasi, turi meridianinę kryptį, suskaidytos ir pan.?

Pirmasis į šį klausimą XX a. pradžioje atsakė A. Vegeneris, sukurdamas **žemynų dreifo (mobilizmo) teoriją**.

Mobilizmo teorijos mokslinis pagrindas

- Paleomagnetiniai duomenys – dėl masės persiskirstymo Žemėje keitėsi geografinių ir magnetinių ašigalių padėtis.
- Paleomagnetiniu metodu nustatyta senųjų magnetinių laukų kryptys ir ašigaliai.
- Panašūs žemynų kontūrai – žemynų dreifo požymis (pvz., P. Amerika ir Afrikos, jei lyginsim 1800 m izobatas).
- Žemynų dreifo teoriją patvirtina ir kiti paleoklimatiniai indikatoriai (augalų ir gyvūnų liekanos, nuosėdinės uolienos).

Gondvana ir Laurazija prieš 200 mln. metų



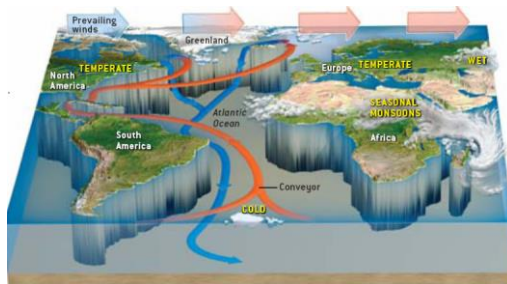
Pangėja susiformavo prieš 300 mln. metų ir skilo į Gondvaną ir Lauraziją prieš 200-180 mln. metų jūros periode. Klimatas, dėl didelių sausumos plotų žemyno viduje, turėjo būti labai sausas ir kontinentinis. Dar po 30 mln. metų pati Gondvana pradėjo skilti į šiuolaikinius kontinentus – prasideda mezozojinė era.

Litosferos plokščių mobilizmo poveikis klimatui

- Skilus dideliems Pangėjos ir Gondvanos kontinentams į mažesnius, **sumažėjo klimato kontinentalumas** žemynuose.
- **Atslinkus žemynui į poliarinę sritį, prasidėjo jo apledėjimas ir globalus klimato atvėsimas** (pvz., kainozojaus atvėsimas dėl Antarktidos padėties P. poliarinėje srityje, Gondvanos apledėjimas karbone.).



- **Dreifuojant žemynams keitėsi vandenyno srovių sistema**, pvz., prieš 3,5 mln. m. susidarius Panamos sąsmaukai, sustiprėjo šilto vandens tekėjimas į Š. Atlantą, sustiprėjo garavimas, padaugėjo kritulių Grenlandijoje, Kanadoje ir Š. Europoje – ėmė progresuoti ledynai.



3. Heliofizinių faktorių teorija

- **Heliofizika** – Saulės fizika (*Heliophysics*) – astrofizikos šaka, tirianti Saulės atmosferos darinius ir reiškinius, jų įtaką tarpplanetinės medžiagos ir Žemės atmosferos būsenai.

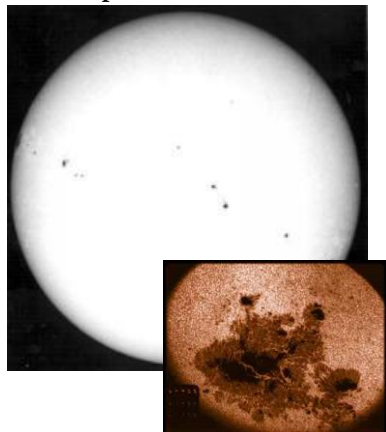
Iš heliofizinių tyrimo duomenų sužinoma Saulės atmosferos medžiagos temperatūra, tankis, judėjimo greitis, chem. sudėtis, magn. laukų stipris, aktyvių darinių matmenys, sandara, spinduliavimo stipris, spektrai; iš jų išryškėja Saulės gelmių sandara, energijos šaltiniai ir visos Saulės raida. Tiriama iš aukštuminių astr. observatorijų Žemės paviršiuje, balionų, raketų ir orbitinių observatorijų.

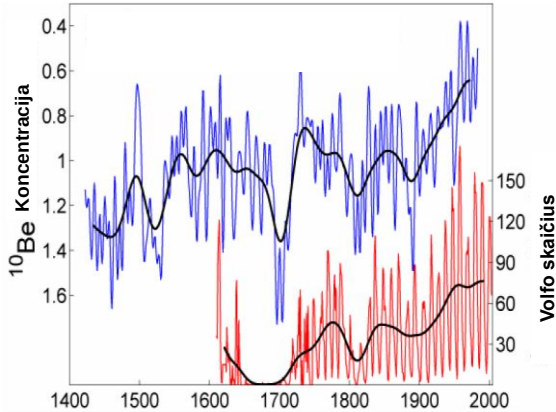
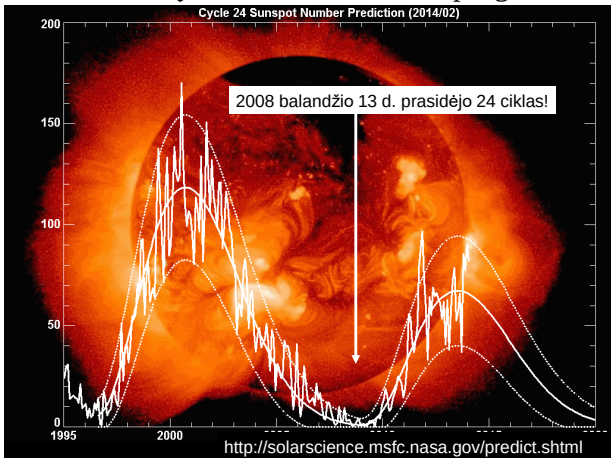
Saulė 	Saulė yra nevienalytis plazmos rutulys. Jo centre yra 0.35 R spindulio šerdis, kurioje vyksta termobrand. protoninio ciklo reakcijos ir išsiskiria energija. Dėl spinduliavimo Saulė netenka ~4.5 mln. tonų masės per 1 s. Maždaug tiek pat masės nusineša Saulės vėjas. Centre medžiagos tankis 160 g/cm³, slėgis 2·10¹⁶ Pa, t-ra 15 mln. K. Virš branduolio yra ~0.5 R storio sluoksnis, kuriame energija pernešama spinduliais. Toliau eina išorinis ~0.15 R storio konvekcijos sluoksnis, kurio t-ra ties apatine riba yra ~1.1 mln. K. Šiame sluoksnyje energija nešama į Saulės atmosferą konvekciniu būdu, maišantis skirtingos t-ros medžiagos srautams. Saulės paviršius per teleskopą atrodo grūduotas. Plika akimi matomas blizgantis Saulės paviršius - apatinis Saulės atmosferos sluoksnis vadinamas fotosfera. Virš fotosferos plyti chromosfera. Viršutinis Saulės atmosferos sluoksnis vadinamas Saulės vainiku. Saulės atmosfera susideda iš vandenilio (74.7% atmosferos masės), helio (23.7%) ir 1.6% kitų chem. elementų (jų atrasta 73).
---	---

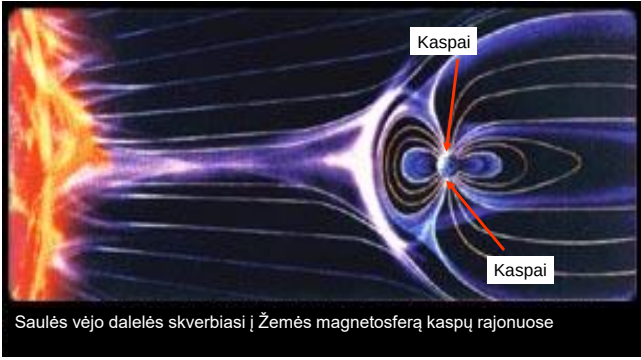
Pro teleskopą geriausiai matomi Saulės fotosferos dariniai yra **Saulės dėmės**, **Saulės žibintai** ir **granulės**. Tam tikro bangos ilgio šviesoje chromosferos aktyviose srityse galima matyti **flokulus** ir **Saulės žybsnius**. Vainiko fone galima matyti **protuberantus**. Iš vainiko į tarpplanetinę erdvę srūva Saulės vėjas, sklinda radijo bangos ir rentgeno spinduliai. Saulėje matomų dėmių, žibintų, protuberantų ir kitų aktyvių darinių kiekis periodiškai kinta (kinta **Saulės aktyvumas**). Saulė turi kintamą magn. lauką (*Astronomijos enciklopedinis žodynas*, <http://www.astro.lt/enciklopedija/>).

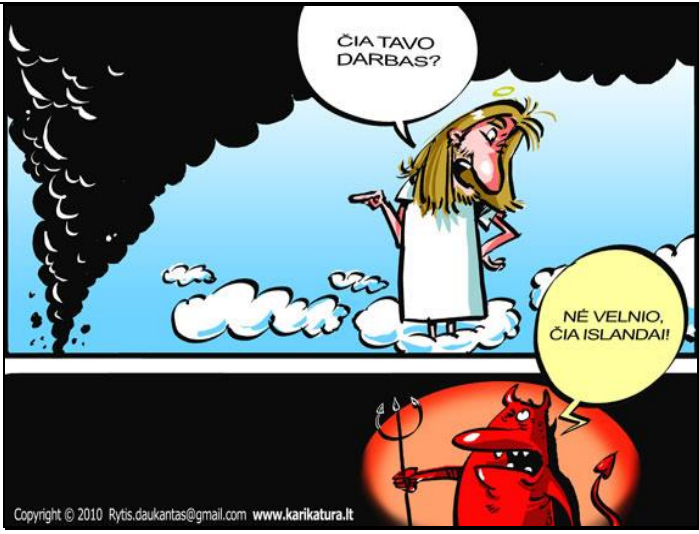
Šiuolaikinėje klimatologijoje vis dažniau reiškiamos nuomonės apie ryšius tarp klimato ir Saulėje vykstančių procesų. Šia tema daug diskutuojama, nes dar ne iki galo aiškūs šių ryšių fizikiniai mechanizmai, be to, ne visuose Žemės rutulio regionuose pavyksta nustatyti jų apraiškas.

Anksčiausiai imta fiksuoti Saulės aktyvumą pagal dėmių Saulėje skaičių. Šis rodiklis vadinamas **Volfo skaičiumi**, jo tikslūs matavimo duomenys yra nuo 1700 metų. Volfo skaičius nėra vienintelis, taip pat ne pats tiksliausias Saulės aktyvumo rodiklis, tačiau klimatologų itin vertinamas dėl duomenų sekos ilgumo.

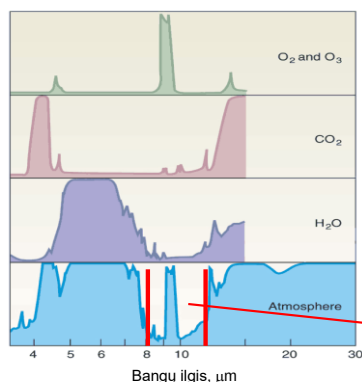
Saulės dėmės Sunspots  Volfo skaičius – Saulės dėmėtumo skaitmeninis rodiklis. Apskaičiuojamas iš formulės $W = k(10g + f)$; čia g - dėmių grupių skaičius, f - dėmių skaičius, k - konstanta, priklausanti nuo stebėjimo prietaiso ir sąlygų. Didžiausio Saulės aktyvumo metu W kinta nuo 100 iki 200, mažiausio aktyvumo metu kartais sumažėja iki 0.	Saulės dėmės - Saulės fotosferos dariniai, tamsesni už fotosferą. Susideda iš tamsesnės centr. srities (šešėlio) ir ją supančio šviesesnio pusšėšėlio. T-ra 1000-2000 K žemesnė už fotosferos t-rą, dėl to Saulės dėmės yra 2-5 kartus tamsesnės už fotosferą. Gyvavimo trukmė nuo kelių valandų iki kelių dešimčių dienų, skersmuo nuo kelių šimtų iki kelių tūkstančių kilometrų. Susidaro skirtingo magn. poliškumo poromis arba grupėmis. Prasidėjus Saulės aktyvumo stiprėjimo ciklui, pirmosios dėmės pasirodo 30-40 heliografinėse platumose abipus Saulės pusiaujo, vėliau jos pasirodo vis arčiau pusiaujo. Daugiausia dėmių būna 10-20 heliografinėse platumose. Ciklo pabaigoje dėmės telkiasi siauroje juostoje prie pusiaujo.
--	--

Volfo skaičiaus seka 	Nustatyta, jog dėmių skaičius Saulėje kinta ciklais, kurių trukmė yra vidutiniškai 11, 22 ir 90 metų. Visiems 11 metų ciklams suteikiamas eilės numeris nuo 1-ojo (1756–1766 m.) iki 24-ojo, kuris prasidėjo 2008 m. 22-jų metų ciklą sudaro du 11 metų ciklai, turintys lyginį ir nelyginį numerį. 22 m. ciklą lemia Saulės magn. lauko poliškumas.
Saulės aktyvumo 23 ciklas ir 24 prognozė 	Svarbiausi Saulės aktyvumo ciklai pagal Volfo skaičių: 11 m., 22 m., 90 m., 160-170 m., 300 m., 600 m., 1500-2000 m. NASA: http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml
Saulės aktyvumo poveikis Žemės klimatui • Kinta Saulės konstanta (~0,3% diapazone). • Saulės vėjo dalelės tampa kristalizacijos branduoliais ir padidina Ci debesuotumą. • Sustiprina atmosferos elektrizaciją. • Daro poveikį ozonosferai (esant S. aktyvumo min., O₃ sumažėja) • Saulės plazma, prasiskverbusi į Žemės magnetosferą, sukelia magnetines audras. • Saulės vėjas jonizuoja viršutinius atmosferos sluoksnius ir pakelia jų t-rą.	Aiškaus ryšio tarp Saulės aktyvumo (jei pastarasis apibūdinamas Volfo skaičiumi) ir Saulės insoliacijos stiprumo nėra, nes nuo dėmių skaičiaus Saulėje daugiausia priklauso korpuskulinis spinduliavimas, kuriam tenka tik menka Saulės energijos dalis. Tai aiškinama tuo, kad esant didžiausiam dėmių skaičiui, padaugėja fakelių, kurie iš dalies kompensuoja sumažėjusį Saulės šviesį ir dėl to meteorologinė Saulės konstanta (1367 W/m²) beveik nepakinta.

Saulės vėjo dalelių poveikis Žemės atmosferai  Saulės vėjo dalelės skverbiasi į Žemės magnetosferą kaspų rajonuose	Saulės plazma, prasiskverbusi į Žemės magnetosferą, sukelia magnetines audras. Saulės aktyvumo poveikio atmosferos slėgio laukui mechanizmas gali būti toks: esant dideliame Saulės aktyvumui korpulkulių srautai stiprėja ir prasiskverbia į viršutinę Žemės atmosferą ties magnetiniais ašigaliais, kur sukelia aukštųjų atmosferos sluoksnių jonizaciją ir įšilimą. Iš įšilusių poliarinių sričių oro masės nuteka, todėl tai gali būti Islandijos depresijos gilėjimo priežastis. Be to, nustatyta, kad per aštuonių ciklų (Nr. 13–20) laikotarpį lyginių ciklų fazėje Islandijos depresija žiemą pasislinkdavo link Skandinavijos. Tačiau ir šis, ir kiti Saulės–Žemės atmosferos sistemos ryšiai nėra pastovūs, pirmiausia dėl to, kad juos gali nustelbti kiti, klimato svyravimus sukeliantys, veiksniai. Video: <i>THE SUN Encyclopedia of Secrets # part 4 of 5</i>
4. Atmosferos sudėties ir antropogeninių faktorių teorija • Prieš 4.2 mlrd. m. susidaro vandenilio ir helio pirminė atmosfera. Prieš 3.5 mlrd. m. ji išsisklaido. • Lavos degazacija ir ugnikalniai iš vandens garų, CO₂, CH₄, NH₃, N, SO₂, H₂, H₂S, HCl ir kt. dujų formuoja antros kartos atmosferą. • Tokia atmosfera lėmė spindulinės pusiausvyros temperatūrą (sugertosios ir atspindėtosios spinduliuotės kiekiai lygūs). • Aktyvus vulkanizmas, kaupiasi CO₂, vandens garai – stiprėja šiltnamio efektas. 	
Galingi vulkanų išsiveržimai (Etnos vulk. Sicilijoje 2002 m. spalį)  • Pelenai pakyla net į 35 km aukštį; • Dujose gausu CO₂, SO₂, H₂SO₄, Cl, NH₃; • <i>Drumsta atmosfera mažiau praleidžia Saulės spinduliuotę;</i> • <i>Krinta oro t-ra;</i> • <i>Ardomas ozono sluoksnis.</i>	

 Islandijos Grimsviotno ugnikalnio išsiveržimas 2011 m. gegužę © Scanpix nuotr.	Ugnikalnis išmetė dūmų ir vulkaninių pelenų debesis, kurie pakilo jau į 20 km aukštį. Grimsviotno ugnikalnis laikomas aktyviausiu ugnikalniu šalyje. Per pastaruosius šimtą metų užregistruota per 20 ryškesnių šio ugnikalnio išsiveržimų, paskutinis buvo užfiksuotas 2004 metais.
 Copyright © 2010 Rytis.daukantas@gmail.com www.karikatura.lt	
Pagrindinės termodinamiškai aktyvios (šiltnamio) dujos ir priemaišos: • vandens garai, • anglies dvideginis (CO_2), • ozonas (O_3), • azoto suboksidas (N_2O), • metanas (CH_4), • aerozolis, • antropogeninės kilmės: Sieros heksafluoridas (SF_6); Hidrofluorangliavandeniliai (HFC's); Perfluorangliavandeniliai (PFC's); Chlorfluorangliavandeniliai (CFC).	Šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD) – tai gamtinės ir antropogeninės kilmės dujiniai atmosferos komponentai, dėl kurių atmosferoje susidaro vadinamasis šiltnamio efektas. ŠESD kartais sutrumpintai vadinamos tiesiog „šiltnamio dujomis“.

Termodinamiškai aktyvios dujos kuria šiltnamio efektą

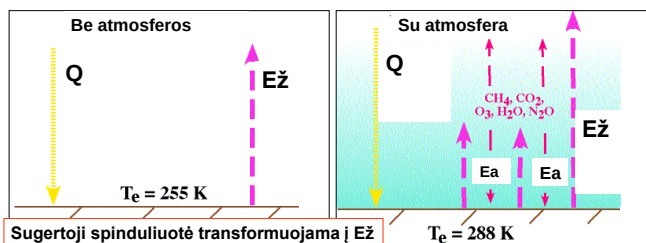


Šios dujos kuria šiltnamio efektą (sustiprina Ea): globali oro t. pakyla 33°C (nuo -18 iki +15°C).

Atmosferos skaidrumo langas 8-12 μm

Dabartinė atmosfera praleidžia 48% Saulės spinduliuotės ir sugeria 93 % ilgabangės (IR) spinduliuotės.

Termodinamiškai aktyvių dujų poveikis E_f , E_a ir temperatūrai



Didžiausią indėlį kuriant šiltnamio efektą įneša vandens garai (21°C), toliau seka anglies dioksidas (7°C), troposferos ir stratosferos ozonas (2°C), azoto suboksidas (1,4°C), metanas (0,8°C) ir visoms likusioms šiltnamio dujoms tenka taip pat 0,8°C. Žmonių ūkinė veikla tiesioginio poveikio nedaro tik vandens garų kiekiui, tačiau reikia nepamiršti, kad šylant troposferai vandens garų taip pat daugėja – pasireiškia vadinamasis teigiamas grįžtamasis efektas.

Jei atmosfera nesukurtų šiltnamio efekto, mūsų planetoje vidutinė metų oro temperatūra prie žemės paviršiaus tesiektų – 18 °C, o dabar ji yra +15 °C. Taigi, šiltnamio efekto terminis rezultatas žemutinėje troposferoje – plius 33 °C.



Pagrindinė atšilimo priežastis – antropogeninis poveikis ir šiltnamio efekto stiprėjimas

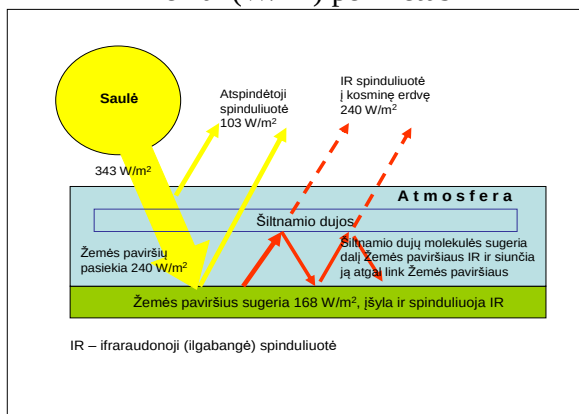
Šiltnamio efekto susidarymas

Šiltnamio efekto pirmieji požymiai atsirado jau daugiau kaip prieš 3 milijardus metų, kai susidarė pakankama atmosferos masė. Vėliau ŠESD koncentracija atmosferoje nuolat keitėsi, kartu kito ir Žemės klimatas.

Akivaizdu, jog augant ŠESD koncentracijai, stiprėja šiltnamio efektas, todėl kyla žemutinių troposferos sluoksnių temperatūra. Apskaičiuota, jog nuo 1850 metų šiltnamio dujų link žemės paviršiaus spinduliuojama energija sustiprėjo 2,5 W/m² ir dabar siekia 324 W/m².

Dabar jau neabejojama, kad tai pagrindinis veiksnys, lemiantis pasaulinį atšilimą: nuo XIX a. vidurio globalioji oro temperatūra žemutinėje troposferoje pakilo 0,8 °C, o Lietuvoje per tą patį laiką klimatas atšilo 1–1,5 °C. Gamtinių veiksnių (pavyzdžiui, sustiprėjusios Saulės spinduliuotės) vaidmuo vykstančiame pasauliniame atšilime nepalyginamai menkesnis ir sudaro tik apie 10 %. Šiltnamio dujų į Žemės paviršių nukreipta IR spinduliuotė ne tik pakelia priežeminę oro temperatūrą, bet ir sušvelnina temperatūros paros svyravimus: dieną oras lėčiau įkaista, o naktį lėčiau ir mažiau atvėsta.

Šiltnamio efekto susidarymas ir energijos kiekiai (W/m^2) per metus



Kaip Žemėje susidaro šiltnamio efektas? Ties viršutine atmosferos riba 1 m^2 vidutiniškai tenka 342 W/m^2 Saulės energijos. Mūsų planeta sugeria apie 70 % tos energijos (sugėrimas vyksta atmosferoje ir Žemės paviršiuje), o atspindi 30 %. Žemės paviršių pasiekia vos pusė pradinio Saulės energijos kiekio, t.y., apie 170 W/m^2 (1 pav.). Gavęs tokį energijos kiekį Žemės paviršius išslyja ir ima spinduliuoti energiją ilgosiomis infraraudonosiomis (IR) bangomis. 90 % jų vėl grįžta atgal į žemės paviršių, nes atmosferoje esančios ŠESD molekulės Žemės paviršiaus IR spinduliuotę sugeria ir neleidžia jai iškart patekti į kosmosą, todėl žemutinių troposferos sluoksnių temperatūra pakyla.

Viršutiniai troposferos sluoksniai ir stratosfera energiją į kosmosą išspinduliuoja netrukdomai, todėl visos planetos mastu nusistovi energijos balansas: kiek Saulės energijos planetoje per metus buvo sugerta, tiek jos išspinduliuojama atgal į kosmosą (240 W/m^2).

Panašus efektas susidaro paprastame daržininkų šiltnamyje (taip ir atsirado terminas „šiltnamio efektas“), tik čia šiltnamio dujų vaidmenį atlieka stiklas arba polietileno plėvelė. Į šiltnamio vidų prasiskverbianti trumpabangė Saulės spinduliuotė, tačiau ją sugėrusio ir įšilusio dirvožemio spinduliuojami IR spinduliai stogo trumpam sulaikomi – šiltnamio viduje oro temperatūra dieną pakyla.

Klimato tyrinėtojų dėmesio centre – **šiltnamio efektą** sukeliančių dujų koncentracijos didėjimas atmosferoje, daugiausia susijęs su kuro deginimu ir augančiais atmosferos teršimo tempais. Ypač sparčiai atmosferoje daugėja CO_2 , CH_4 , CO , NO , NO_2 , NH_3 , SO_2 , CCl_4 , CFCl_3 , CFCl_2 , CH_3Cl ir kt. Šios dujinės priemaišos intensyviai sugeria Žemės skleidžiamą infraraudonąją spinduliuotę (daugiausia 4–15 μm ilgio bangas) ir taip sustiprina Žemėje šiltnamio efektą (dėl to jos ir vadinamos **terminamiškai aktyviomis priemaišomis**). Be to, kai kurie komponentai (freonai, azoto, chloro junginiai) dar chemiškai ardo ozono sluoksnį.

Antropogeninių veiksnių poveikis klimatui

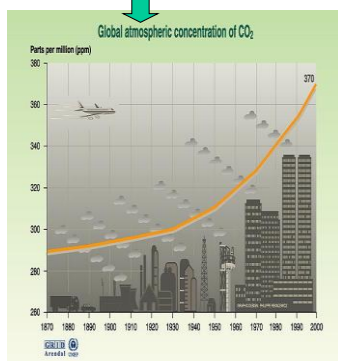
Globaliniai:

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimas (CO_2 , CH_4 , N_2O , CO , NO , NO_2 , NH_3 , SO_2 , CCl_4 , CFCl_3 , CF_2Cl_2 , CHClF_2 , CClF_2 , CClF ir kt);

Regioniniai:

antropogeninės kilmės aerosoliai, atmosferos ir hidrosferos „šiluminė tarša“, paklotinio paviršiaus keitimas, vandens saugyklų kūrimas.

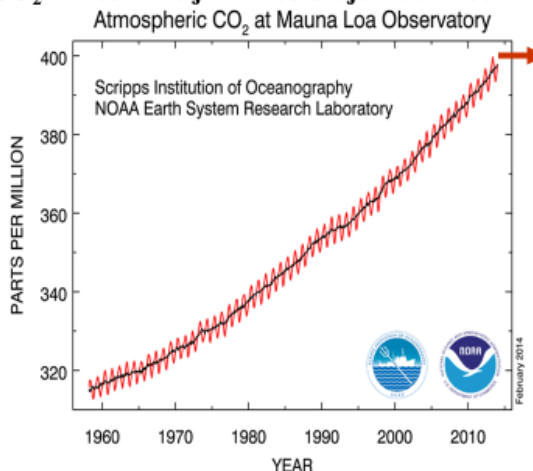
Antropogeninės kilmės dujos (CO_2 , CH_4 , N_2O , freonai ir kt.)



- Į atmosferą patenka deginant kurą, iš pramonės įmonių, transporto priemonių ir t.t.;
- Stiprina šiltnamio efektą;
- Ardo ozono sluoksnį;

Dėl termodinamiškai aktyvių atmosferos dujinių priemaišų buvimo troposferos temperatūra kyla, o aukštesnių atmosferos sluoksnių dėl stiprėjančio spinduliavimo ir mažėjančios stratosferinio ozono koncentracijos – krinta. Be to, šį efektą sustiprina atsirandantys grįžtamieji klimatosferos ryšiai: 1) kylant oro temperatūrai, stiprėja garavimas, o vandens garai taip pat stiprina šiltnamio efektą; 2) šylant klimatui traukiasi poliariniai ledai ir mažėja Žemės aukštųjų platumų albedas, todėl dar sparčiau kyla oro t-ra.

CO_2 koncentracija atmosferoje nuo 1960 m.



2016 sausį:
402.52 ppm

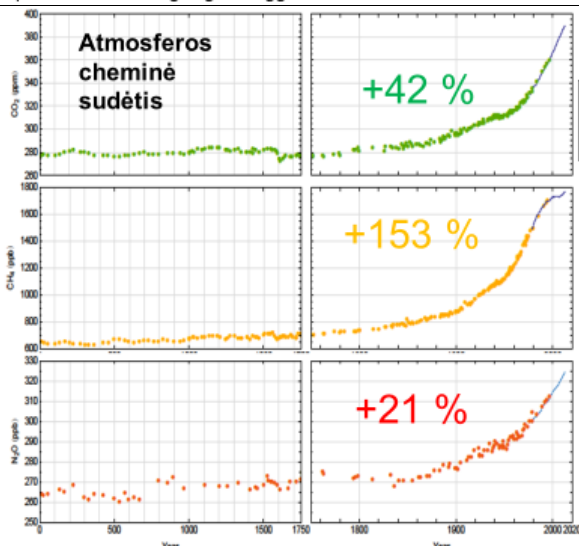
2015 sausį:
399.96 ppm

2014 sausį:
397.80 ppm

2013 sausį:
395.54 ppm

<http://www.esri.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Mauna Loa observatorija Havajuose priklauso JAV Nacionalinei vandenynų ir atmosferos administracijai (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA). Toli nuo pasaulio pramonės centrų, centrinėje Ramiojo vandenyno dalyje įkurtoje Mauna Loa observatorijoje nuolat stebimi ir renkami duomenys apie globalius atmosferos sudėties pokyčius ir įvairių šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją. Ji atmosferoje išreiškiama milijoninėmis dalimis (*angl.*, *parts per million* (10^6) – ppm), milijardinėmis dalimis (*parts per billion* (10^9) – ppb) arba trilijonosiomis dalimis (*part per trillion* (10^{12}) – ppt). Pavyzdžiui, 1 ppm reiškia vieną tam tikrų dujų molekulę 1 000 000 visų esamų dujų molekulių.



CO_2
Didžiausia per 800 000 metų !!!

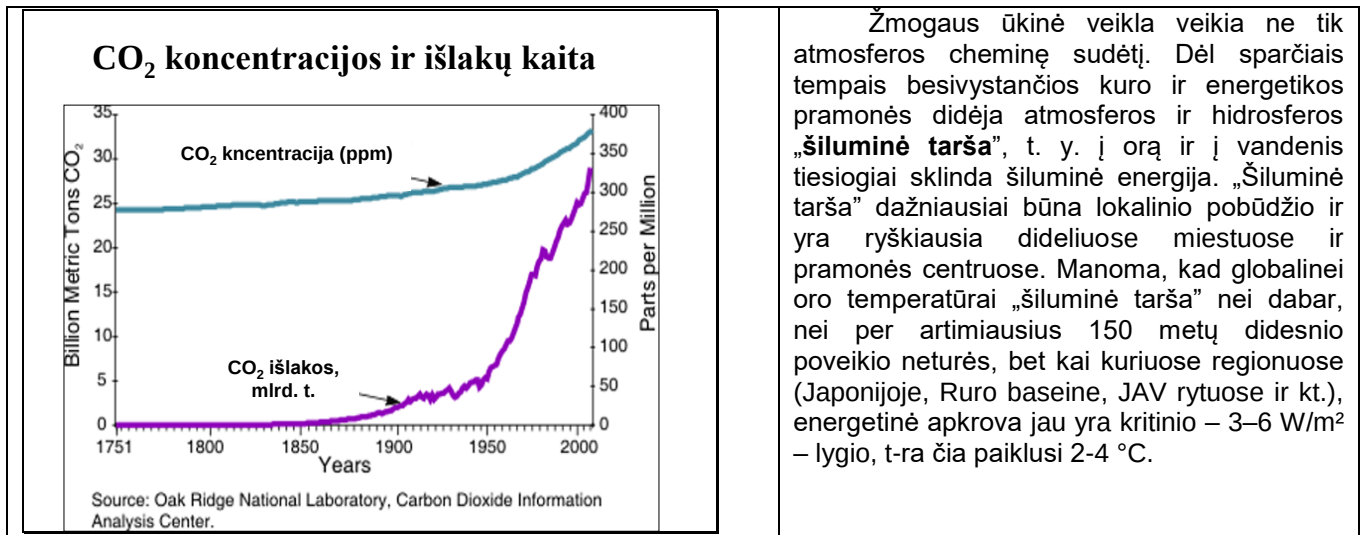
CH_4

N_2O

ATMOSFEROS SUDĖTIES POKYČIAI PER 2000 METŲ (IPCC ATASKAITA, 2013)

Atmosferoje ypač sparčiai daugėja metano – 1–2%, azoto suboksido – 0,2–0,4%, o freonų – net 7–10% per metus.

Dėl žmogaus ūkinės veiklos atmosferoje daugėja ir antropogeninės kilmės aerozolio dalelių (pvz., SO_2 , SO_4). Tačiau šie aerozoliai yra pasiskirstę labai netolygiai, ore išsilaiko tik kelias dienas, todėl jų koncentracija ir cheminė sudėtis nepastovi. Net ir didelė antropogeninių aerozolių koncentracija greičiausiai sukelia tik trumpalaikį, sinoptinio masto, oro temperatūros pažemėjimą (nes nepraleidžia Saulės spindulių). Ilgai atmosferoje gali išsilaikyti sieros oksidai, kurių randama net Grenlandijos ir Antarktidos ledynuose.



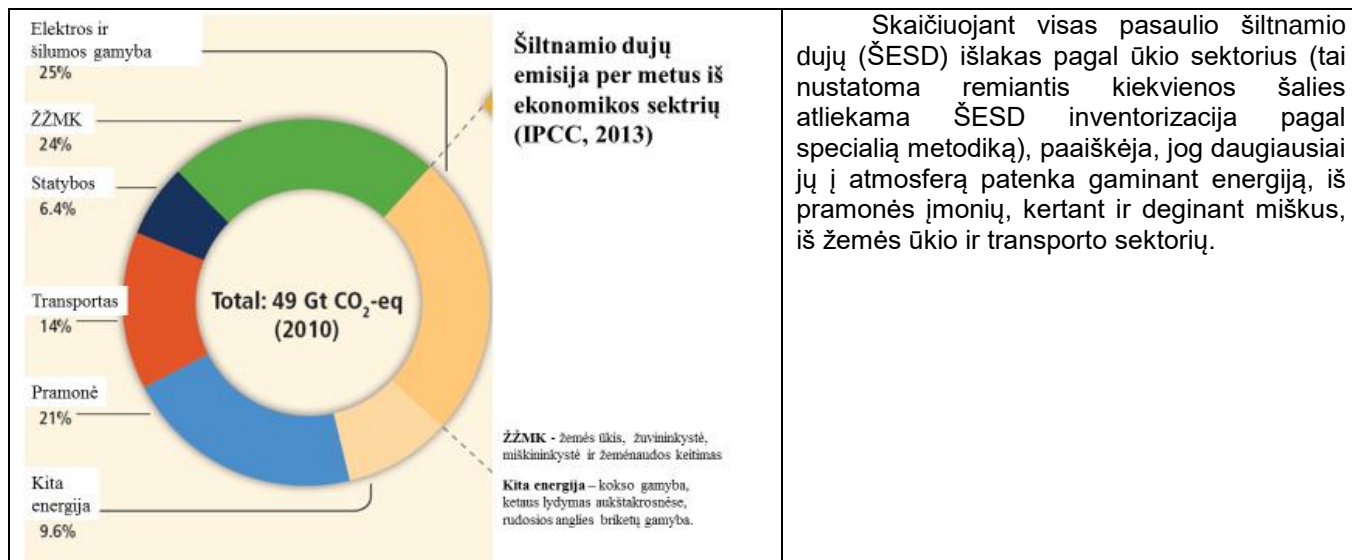
Nuo spartaus pramonės augimo pradžios XIX amžiuje ŠESD koncentracija atmosferoje nuolat auga. Anglies dioksido koncentracija atmosferoje daugiausia didėja dėl iškastinio kuro (akmens anglies, dujų, naftos) deginimo energetikos ir transporto sektoriuose, įvairių pramonės technologinių procesų, miškų, ypač atogrąžų, naikinimo (jie yra svarbūs šiltnamio dujų absorbentai), žemėnaudos pakeitimų. Per pastaruosius 800 000 metų CO₂ koncentracija Žemės atmosferoje svyravo tik tarp 180 ir 300 ppm (tai nustatyta tiriant Antarktidos ir Grenlandijos ledynų storymes). Taigi, dabartinė CO₂ koncentracija gerokai viršija ne tik holoceno, bet ir vėlyvojo pleistoceno lygį.

Sparčiai atmosferoje daugėja ir kitų ŠESD. Nuo XVIII a. vidurio metano padaugėjo daugiau kaip 2,5 karto (nuo 700 iki 1800 ppb) ir taip pat, kaip ir anglies dioksido, jau viršijamas pastarųjų 800 000 tūkst. metų lygis. Metanas išsiskiria išgaunant, transportuojant ir naudojant gamtines dujas ir anglį, gyvulininkystėje, iš ryžių laukų, sąvartynų.

Azoto suboksido koncentracija per tą patį laikotarpį išaugo 21 % (nuo 270 iki 327 ppb). Šiai dujinei komponentei būdinga dar viena svarbi savybė: nors jos yra kur kas mažiau nei anglies dioksido, tačiau 289 karto efektyviau sugeria IR spinduliuotę nei CO₂. Tai reiškia, jog vienos N₂O molekulės indėlis kuriant šiltnamio efektą prilygsta 289 CO₂ molekulių indėliui. Azoto suboksido daugiausiai išsiskiria gaminant sintetinį pluoštą bei žemės ūkyje naudojant azotines trąšas.

Kitų ŠESD komponentių (SF₆, HFC's, PFC's ir kt.) koncentracija atmosferoje taip pat sparčiai auga, nes jos yra naudojamos kaip alternatyvos ozono sluoksnį ardantiems chlorofluorangliavandeniliams (CFC), kurių pagal Monrealio protokolą yra palaipsniui atsisakoma. Be to, HFC's, PFC's ir CFC komponentių iki XX a. amžiaus vidurio atmosferoje apskritai nebuvo, nes tai išimtinai žmogaus veiklos produktas. Jų išlakų į atmosferą atsirado ėmus plėtoti chemijos ir elektronikos pramonę. Sparčiausias augimas per pastaruosius 15 metų nustatytas hidrofluorangliavandenilių HFC-134a, HFC-125 ir HFC-152a, jų koncentracija atmosferoje atitinkamai siekia 35, 3,7 ir 3,9 ppt. Atmosferoje daugėja ir troposferinio ozono, jo koncentracija pramoniniuose rajonuose jau siekia 100 ppb ir daugiau.

Šiltnamio dujos labai skiriasi dar ir pagal savo išsilaikymo atmosferoje trukmę. Pavyzdžiui, CO₂ atmosferoje gali išbūti 5–200 metų, metanas – 12, azoto suboksidas – 114, o kai kurių fluoruotų šiltnamio dujų (SF₆, CF₄) gyvavimo trukmė gali siekti net kelias dešimtis tūkstančių metų. Todėl viena tona į atmosferą išmestų šiltnamio dujų daro nevienodą poveikį šiltnamio efektui, t. y., turi skirtingą šiltnamio efekto kūrimo potencialą. Jeigu minėtąjį CO₂ potencialą prilyginsim 1, tai per 100 metų (įvertinus išsilaikymo atmosferoje trukmę ir IR spinduliuotės sugėrimo gebą) globalinis metano potencialas bus 23 kartus didesnis už CO₂, azoto suboksido – 296 kartus, SF₆ – 22 200 kartų, įvairių HFC – nuo 12 iki 12 000 kartų, PFC – 5700–11900 kartų. Taigi, net jei visame pasaulyje staiga būtų stipriai sumažintos šiltnamio dujų išlakos, prireiktų kelių šimtmečių, kol šių dujų koncentracija ore pasiektų ikipramoninį lygį.



Remiantis Europos sąjungos Jungtinių tyrimų centro ataskaitomis (Joint Research Centre), ypač sparčiai CO₂ išlajos didėja per pastaruosius du dešimtmečius. Nuolatinis ekonomikos augimas Kinijoje ir Indijoje bei ekonomikos atsigavimas Europoje ir Šiaurės Amerikoje 2009–2010 m. lėmė rekordinį pasaulio CO₂ emisijų padidėjimą (5,8 proc.). Atsinaujinančių energijos šaltinių bei branduolinės energijos plėtra nespėjo vyti vis augančios energijos bei transporto paklausos.

Pagal CO₂ emisijas pirmauja Kinija, antroje vietoje įsitvirtino JAV. Šios dvi šalys į atmosferą išmeta 44 % viso CO₂ kiekio, atitinkamai 10,2 ir 5,3 mlrd. tonų (2013 m. duomenys). Todėl jų pozicija siekiant tarptautinio susitarimo mažinti poveikį klimatui yra labai svarbi. Po JAV rikiuojasi ES28 (dvidešimt aštuonios Europos Sąjungos šalys) – į atmosferą išmetė 3,9 mlrd. tonų CO₂, Indija (2,1 mlrd. tonų), Rusija (1,8 mlrd. tonų), Japonija (1,4 mlrd. tonų). Šis rodiklis iš dalies rodo, koks yra ekonomikos potencialas, tačiau tai gali būti ir neracionalaus bei neefektyvaus energijos vartojimo rodiklis. Pavyzdžiui, remiantis Pasaulio banko duomenimis, šalys pagal indėlį į pasaulio ekonomiką išsidėsto jau visai kitaip: pirmauja ES28 – 17 %, toliau eina JAV – 16 %, Kinija – 15 %, ir gerokai žemiau Indija (7 %), Rusija bei Brazilija (po 3 %).

Tačiau skaičiuojant, kiek CO₂ išlakų tenka vienam gyventojui per metus, nepralenkami lyderiai tarp didžiųjų šalių yra Australija (16,9 t), JAV ir Brazilija (po 16,6 t.). Tai 2,3 karto daugiau negu Kinijoje (7,4 t) bei ES28 (7,3 t) ir beveik 10 kartų daugiau negu Indijoje (1,7 t). Antra vieta atitenka Kanadai (16,2 t), trečia – Rusijai (12,8 t). Matyt dėl to šie „lyderiai“ iki šiol laikėsi skeptiškos pozicijos šiltnamio dujų emisijų mažinimo klausimu. Lietuva pagal šį rodiklį (5,9 t) yra greta Šveicarijos ir Prancūzijos. Neracionalaus bei neefektyvaus energijos vartojimo mastai dar labiau išryškėja skaičiuojant, kiek BVP (JAV doleriais, \$) sukuria vienai tonai CO₂ emisijos. Paaiškėja, kad emisijų lyderės atrodo gana kukliai: JAV – 2 300 \$, Kanada – 2 350 \$, Rusija – 632 \$. Pažangiausias šioje gretoje yra Šveicarija (9 300 \$), Norvegija (8 400 \$), Švedija (7 800 \$) ir Islandija (7 540 \$). Lietuvoje vienai CO₂ tonai tenka apie 2 120 \$ BVP.

Lietuvoje išmetamų į atmosferą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis 2000 m. siekė 19,365 mln. tonų. Lietuvoje išmetamų į atmosferą ŠESD kiekis nuo 2000 m. iki 2013 m. išaugo kiek daugiau nei 2 proc., o šalies BVP per tą patį laikotarpį išaugo daugiau nei 78 proc. Tai atitinka klimato kaitos švelninimo politikos strateginį tikslą. Analizuojant pokyčius 2012–2013 m. matyti, kad 2013 m. į aplinkos orą išmetamų ŠESD kiekis sumažėjo 1115 tūkst. tonų, o Lietuvos BVP tuo pačiu laikotarpiu išaugo 1661 mln. eurų, arba 5 proc. Atsižvelgiant į 2000–2013 m. laikotarpio vidutinius metinius augimo tempus galima teigti, kad ekonomika auga sparčiau, nei į aplinkos orą išmetama ŠESD, todėl tikėtina, kad išmetamų ŠESD kiekio kaitą ir toliau pavyks sėkmingai atsieti nuo šalies ekonomikos augimo (pagal leidinį „Aplinkos būklė. Tik faktai 2014. AAA, 2015).

Žemėnaudos pasikeitimai  • Miškų kirtimas; • Urbanizacija; • Dirbamų laukų ir ganyklų plėtimas; <i>Tai sukelia dirvų eroziją, skatina dykumų plitimą;</i> <i>Pažeidžia natūralią ekosistemų pusiausvyrą;</i> <i>Nyksta augalų ir gyvūnų rūšys.</i>	Paklotinio paviršiaus keitimas yra, ko gero, seniausias antropogeninės veiklos poveikio aplinkai pavyzdys. Iš pradžių buvo kertami miškai, plečiami ariamų žemių ir ganyklų plotai. Vėliau buvo įrengiamos vandens saugyklos, tiesiami keliai, įrengiami atviri karjerai – visa tai neišvengiamai keičia vandens apytaką, paviršiaus albedą ir šiuurkštumą. Kokie gali būti tokios veiklos padariniai, aiškiausiai atsiskleidžia aridiniuose rajonuose, nes čia, pavyzdžiui, suarus dirvas, padidėja albedas ir prasideda nesustabdomas dykumėjimo procesas.
---	---

Anksčiausiai drastiškas miškų naikinimas prasidėjo Europoje, maždaug prieš 5000 metų, o kituose žemynuose – prieš 300–400 metų. Miškams dar žalos daro dėl klimato atšilimo pasireiškiantis drėgmės stygius. Dėl to dažnėja sausrų ir gaisrų, lėtėja medžių vystymasis ir augimas, plinta kenkėjai.

Ypač pražūtingų pasekmių sukelia drėgnųjų **tropikų miškų kirtimas**: padidėja paklotinio paviršiaus albedas, žemės paviršius atvėsta, sumažėja garavimas, susilpnėja konvekcinė veikla ir kritulodara, slopsta cirkuliacija Hadlėjaus makrogardelėje, vėsta tropikų juostos vidurinė ir viršutinė troposfera, padaugėja kritulių 5–25° platumos juostoje, sumažėja temperatūros gradientas tarp ašigalių ir ekvatoriaus, susilpnėja meridianiniai drėgmės ir šilumos srautai, prasideda globalinis klimato atvėsimas ir mažėja kritulių 45–85° platumos juostoje.

Drėkinamuose žemės plotuose sumažėja paklotinio paviršiaus albedas, iš esmės pasikeičia energijos pasiskirstymas tarp šilumos balanso dedamųjų, susilpnėja terminė konvekcija, nukrinta apatinės troposferos temperatūra.

Gamtinių ir antropogeninių veiksnių indėlis į atšilimą (a) Globali temperatūra (b) Saulės spinduliuotė (c) Vulkanų indėlis (d) Tarpmetiniai svyravimai (e) Antropogeninis veiksnys	Dabartinį klimato šilimą sukeliantis pagrindinis veiksnys – žmogaus veikla (atmosferos tarša šiltnamio efektą stiprinančiomis dujomis).
--	---

Apibendrinimas.

Žemės klimatas – labai sudėtinga, teritoriškai marga ir dinamiška fizikinių bei cheminių procesų sistema. Ši klimato sistema aprėpia atmosferos, hidrosferos, litosferos, kriosferos ir biosferos visumą bei šių sferų jų sąveiką. Ilgalaikių ir lėtų klimato svyravimų, kuriuos sukelia Žemės orbitos parametrų ir atmosferos cheminės sudėties kitimas, kalnodara, litosferos plokščių dreifas, fone veikia daug atsitiktinių jėgų (aukšto dažnio Saulės aktyvumo pulsacija, geomagnetinio lauko įtampa, vulkanizmas ir kt.), sukeliančių trumpalaikius klimato svyravimus ir fluktuacijas.

Keisdamasis klimatas veikia kitų gamtos procesų vyksmą: kraštovaizdžio formavimosi, dirvodaros ir egzogeninius geologinius procesus, vandens ir sausumos organinį pasaulį. Pastaraisiais dešimtmečiais vis akivaizdžiau pasireiškianti klimato kaita kelia grėsmę aplinkai, ūkinei veiklai ir kartu pasaulio ekonomikos plėtrai. Žmonių ūkinė veikla didina atmosferos šiluminę taršą: didėjanti šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija stiprina natūralų šiltnamio efektą ir lemia globalios oro temperatūros kilimą. Tačiau atšilimas įvairiose Žemės rutulio vietose vyksta nevienodu intensyvumu: tropikų platumose – lėčiau, o vidutinėse ir poliarinėse platumose – sparčiau.