



*Klimato ir klimato sistemos samprata.  
Klimato sistemos elementų fizinės  
savybės ir tarpusavio ryšiai.*

# Klimato kaita



*Saulės spinduliuotės prietaka į Žemę.  
Paklotinio paviršiaus spinduliuotės  
balansas.  
Bendroji atmosferos cirkuliacija.*

## KLIMATOLOGIJA

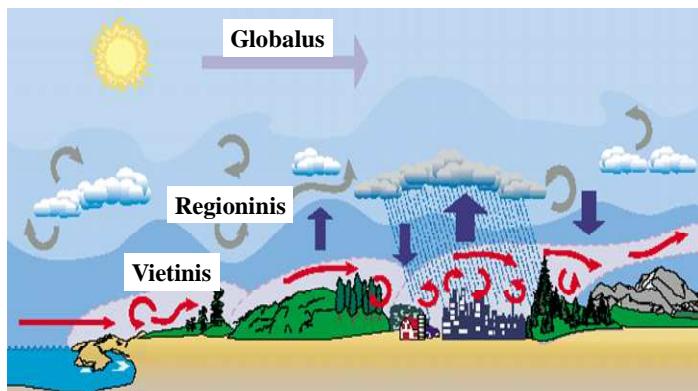
(gr. *klima – polinkis + logos – mokslas*) - mokslas apie Žemės klimatą, jo tipus, formavimosi veiksnius ir kaitą.

**Klimatologijos objektas** – astronominių ir geografinių sąlygų įtakoje vykstantys atmosferos procesai, šilumos, energijos ir masės apykaita tarp atmosferos, vandenyno ir žemės paviršiaus.

Procesų laiko skalė – nuo dienos iki mln. metų,  
erdvinė skalė – nuo lokalaus (vietinio) iki globalaus klimato.

**Klimatologijos** mokslas išsvystė geografijos ir meteorologijos mokslų sandūroje.

## Klimato procesų erdvinė skalė



## Klimato apibrėžimas:

Pasaulinės meteorologijos organizacijos klimato tyrimo programoje formuluojama, jog **klimatas** – statistinių savybių visuma tokios sistemas, kuri susideda iš sąveikaujančių geosferų (atmosferos, hidrosferos, kriosferos, sausumos paviršiaus ir biomasės), turinčių ilgus, bet baigtinius kitimo periodus.

Terminą **klimatas** (gr. *klima* – polinkis) pirmasis pasiūlė senovės graikų astronomas Hiparchas (190-150 m. pr. Kr.), nes tuomet klimato skirtumai buvo siejami su Saulės spindulių polinkio kampu į Žemės paviršių.

**Kokios nors teritorijos (šalies, žemyno, platuminės juostos ir pan.) klimatas** gali būti apibūdinamas kaip statistinių rodiklių apie orų sąlygas visuma, būdinga konkrečiam laikotarpiui (nuo kelių metų iki tūkstantmečių) ir priklausanti nuo geografinės padėties, Saulės spinduliuotės bei jos persitvarkymų veikliajame žemės paviršiaus sluoksnyje, atmosferos bei okeano cirkuliacijos ir su tuo susijusios šilumos bei drėgmės apykaitos.

## Klimato kaitą tiriantys mokslai

**Paleoklimatologija** – mokslas, tiriantis klimatą ir jo kintamumą praeityje.

**Dinaminė klimatologija** – tūria klimato kaitą ir jos priežastis.

## Klimatosferos (klimato sistemas) vidiniai elementai



## Klimatosferos (klimato sistemos) vidiniai elementai

Atmosfera Hidrosfera Litosfera Kriosfera Biosfera

Vidiniams Žemės klimato sistemos elementams nuolatos daro poveikį išoriniai veiksniai

Savoka "Žemės klimatas" apima tik bendrasias vidinių elementų savybes (regioniniai ypatumai čia neanalizuojami)

Žemės klimatas – labai sudėtinga ir teritoriskai marga, dinamiška fizinių ir cheminių procesų sistema.

Per Žemės geologinę istoriją klimatas daug kartų keitėsi, t.y., Žemės klimato sistema pereidavo iš vieno būvio į kitą (šiltus laikotarpiaus keitė atšalimai ir ledynmečiai, sausringus – drėgniai).

Klimato nepastovumo priežastis – nuolat kintantis astronominių bei geofizinių veiksnių poveikis vidiniams klimato sistemos elementams, pakeičiantis ne tik jų savybes, bet ir tarpusavio sąveiką.

Be to, nuo XIX a. ėmė stiprėti žmogaus veiklos poveikis klimatui: į atmosferą išmetama daug šiltnamio efektą stiprinančių dujinių priemaišų (anglies dvideginis, metano, freonų ozono suboksidas ir kt.), aerosolio dalelių, stiprėja atmosferos ir hidrosferos šiluminė bei cheminė tarša, keičiamas paklotinio paviršiaus danga (kertami miškai, didėja ariamu žemės ir urbanizuotų teritorijų plotai). Daugelio klimatologų nuomone dėl to prasidėjo globalus klimato šiltėjimas.

## Klimato sistemai darantys poveikį išoriniai veiksniai

### 1. Astronominiai:

- 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.

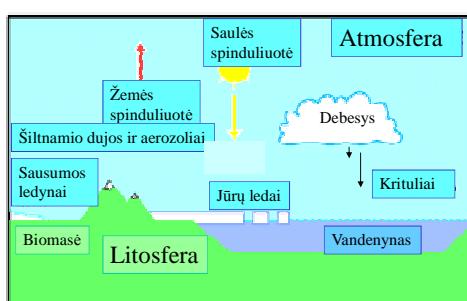
### 2. Geofiziniai:

- Žemės dydis ir masė,
- gravitacinis ir magnetinis Žemės laukai,
- globalinė tektonika,
- geoterminė šiluma ir vulkanizmas.

Kisdamas klimatas, savo ruožtu, veikia kitų gamtos procesų vyksmą ir socialinę ekonominę sferą. Apie tai žino ne tik klimatologai. Kasdieninėje veikloje į klimato nepastovumą nuolat turi atsižvelgti hidrologai, glaciologai, geologai, geografi, biologai, ekonomistai, medikai, žemdirbiai, statybininkai, verslininkai ir kitų sričių specialistai.

## Klimato sistemos vidinių elementų tarpusavio sąveika

Atmosfera Hidrosfera Litosfera Kriosfera Biosfera



Tarp klimato sistemos vidinių elementų vyksta energijos ir medžiagų mainai, judesio impulso perdavimas. Dėl tarpusavio sąveikos gali pasikeisti net sistemos elementų fizinės savybės.

### Klimato sistemos vidinių elementų tarpusavio sąveikos pavyzdžiai.

#### Teigiamas grįžtamasis poveikis:

- Šiltnamio dujų emisija stiprina šiltnamio efektą – kyla oro temperatūra – tirpsta amžinas įšalas – išsiskiria iš dirvožemio metanas ir CO<sub>2</sub> – šiltnamio dujų koncentracija dar sparčiau didėja.
- Šiltnamio dujų antropogeninė emisija stiprina šiltnamio efektą – kyla oro temperatūra – kyla vandenyno temperatūra – mažiau iš atmosferos absorbuojama CO<sub>2</sub> – šiltnamio dujų koncentracija dar sparčiau didėja.
- Kyla globali temperatūra – tirpsta jūrų ledai – mažėja planetos albedas – daugiau sugerama Saulės spinduliuotės – temperatūra dar sparčiau kyla.

#### Neigiamas grįžtamasis poveikis:

- Dideja CO<sub>2</sub> koncentracija ir stiprėja šiltnamio efektas – intensyvėja fotosintezė – CO<sub>2</sub> koncentracija ima mažėti.
- Kyla globali temperatūra – tirpsta kontinentiniai ledynai – mažėja poliarinių sričių vandenyno druskingumas – vandens užšalimo temperatūra artėja prie "0" – didėja jūrų ledų plotai – didėja planetos albedas – globali temperatūra krenta.
- Kyla globali temperatūra – intensyvėja hidrologinis ciklas – didėja debesuotumas – didėja planetos albedas – globali temperatūra krenta.

### Kiekybiniai klimato sistemos elementų fizinės savybės

Rodiklis	Atmosfera	Sausuma (10 m sluoksnis)	Vandenynas		Kriosfera	
			paviršinis iki 240 m	giluminis	žemynų ledas	jūrų ledas
Masė x10 <sup>18</sup> kg	5,3	3	79	1260	29	0,046
Masė, lyg. su atmosferos mase	1	0,55	15	238	5,4	0,009
Savitoji šiluma J/(kgxK)	1000	800	4200	4200	2100	2100
Įsilimas, gavus 5,3x10 <sup>21</sup> J šilumos (K)	1	2,2	0,015	0,01	0,089	2,85
Santykinis šilumos kiekis*	1	0,45	68,5	99,7	11,3	0,019

\*Rodiklis, parodantis kiek kartų skiriasi šilumos kiekis, kurio reikėtų klimato sistemos elementams, kad jų temperatūra pakiltų 1°K.

### Svarbiausi pasaulio klimato tyrimo ir modeliavimo centrai:

- JAV:** Nacionalinės okeanų ir atmosferos administracijos (NOAA) mokslinės laboratorijos ir centrai (Aeronomy laboratory, Climate Diagnostics Center, Climate Prediction Center, Climate Monitoring and Diagnostic Laboratory, national Climatic Data Center), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Goddard Institute for Space Studies,
- Didžioji Britanija:** Hadley Centre for Climate Prediction and Research,
- Vokietija:** Max Planck Institut für Meteorologie,
- Japonija:** Meteorological Research Institute,
- Kanada:** Canadian Centre for Climate,
- Australija:** Bureau of Meteorological Research Centre, GSIRO,
- ir kiti

**Tarptautiniai klimato tyrimo projektais** ir programos, kuriuos koordinuoja PMO, JT Švietimo, mokslo ir kultūros organizacija (UNESCO), Tarptautinė mokslo taryba (ICSU):  
Pasaulinė klimato programa (World Climate Programme),

Globali klimato stebėjimų sistema (The Global Climate Observing System),

Klimato kaita ir prognozavimas ([Climate Variability and Predictability \(CLIVAR\)](#)),

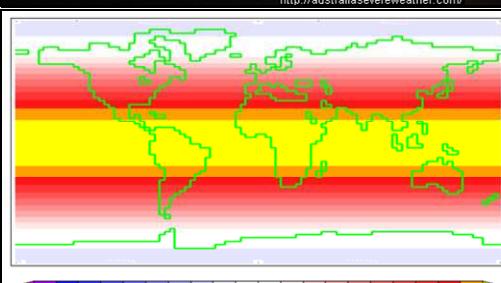
[Globalinis energijos ir vandens ciklo eksperimentas](#) (Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX)),

Stratosferos procesai ir jų poveikis klimatui (Stratospheric Processes and their Role in Climate (SPARC)),

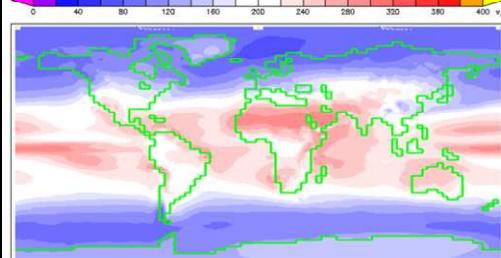
Klimatas ir kriosfera (Climate and Cryosphere) ir kt.

## Saulės spindulių prietaka į Žemę. Paklotinio paviršiaus spindulių balansas.

<http://australiasevereweather.com/>



Metinė insoliacija atmosferos viršuje:  
vidut.  $342 \text{ W/m}^2$   
kinta  $160\text{--}500 \text{ W/m}^2$

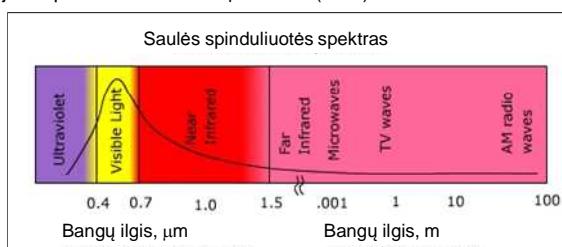


Metinė insoliacija ties Žemės paviršiumi  
( $40\text{--}360 \text{ W/m}^2$ )

Žemės paviršiu pasiekia vidutiniškai  
tik **40-60%** šios insoliacijos.

### Saulės energijos transformacija Žemės atmosferoje

Saulės spindulių spektrinė sudėtis ties viršutine atmosferos riba:  
UV spektro dalis  $0.1\text{--}0.39 \mu\text{m}$  (8%);  
matomoji spektro dalis  $0.39\text{--}0.76 \mu\text{m}$  (56%);  
artimoji IR spektro dalis  $0.76\text{--}4 \mu\text{m}$  (36%).



Skaidrėje: Metiniai Saulės insoliacijos kiekių atmosferos viršuje ir ties Žemės paviršiumi.

Atmosferoje Saulės spindulių sugeriamas, atspindima ir išsklaidoma, todėl Žemės paviršių, priklausomai nuo debesuotumo, per metus pasiekia tik 40–60 % insolacijos gaunamos ties atmosferos viršutine riba (daugiausia gauna giedros tropikų platumų sritys, kur vyrauja anticiklonai).

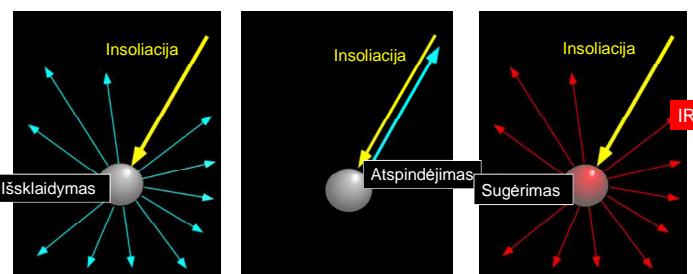
**Saulės spindulių (insoliacija)** – įvairaus ilgio elektromagnetinės bangos ir dalelės (Saulės vėjas), skleidžiamos Saulės. Saulės spindulių yra pagrindinis Žemės energijos šaltinis. Saulės spinduliavimo geba artima 5800 K tros absolūčiai juodo kūno spinduliavimui. Visas Saulės spindulių spektras pagal bangų ilgi ( $\lambda$ ) dalinamas į kelias sritis:

gama  $\lambda < 10^{-5} \mu\text{m}$ ;  
rentgeno  $10^{-5} < \lambda < 10^{-2} \mu\text{m}$ ;  
ultravioletinė (UV)  $0,01 < \lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ;  
matomoji  $0,4 < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$ ;  
infraraudonoji (IR)  $0,72 < \lambda < 1000 \mu\text{m}$ ;  
radio  $1 \text{ mm} < \lambda < 10^8 \text{ m}$ .

## Saulės energijos transformacija Žemės atmosferoje

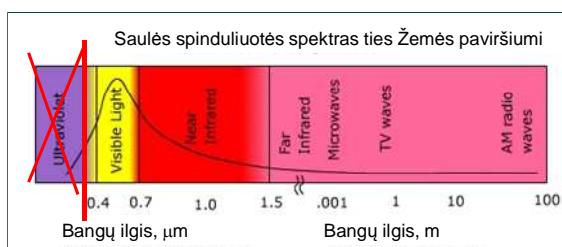
Atmosferoje Saulės spinduliai (elektromagnetinės bangos) saveikauja su:  
atmosferos dalelėmis,  
debesų dalelėmis  
aerozolio dalelėmis (kietos ir skystos būklės).

Saveikos metu vyksta trys fiziniai procesai:



## Saulės energijos transformacija Žemės atmosferoje

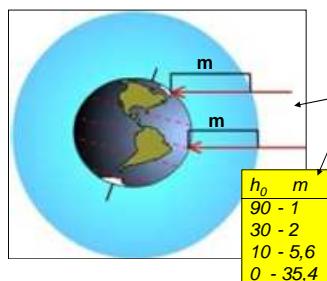
Žemės paviršių pasiekusių Saulės spindulių spektras  
nutrūksta ties  $0,36 \mu\text{m}$



## Bendroji Saulės spinduliutė (Q)

$$Q = S + I,$$

kur  $S$  – tiesioginė,  $I$  – išskaidytoji Saulės spinduliutė



Integraliniai  $S + I$  srautai priklauso nuo:  
Saulės kampinio aukščio  $h_0$ ,  
atmosferos optinės masės  $m$ ,  
debesuotumo.

Giedra atmosfera insoliaciją susilpnina ~20%,  
debesuotumas – dar 20-30%,  
todėl Žemės paviršių pasieka tik 50-60% insolacijos.

99 % energijos Saulė išspinduliuoja trumposiomis  $0,1\text{--}4 \mu\text{m}$  ilgio bangomis, todėl Saulės spinduliutė vadinama **trumpabangė spinduliutė**, o Žemės ir atmosferos spinduliutė – **ilgabangė** (ji vyksta ilgosiomis  $4\text{--}120 \mu\text{m}$  IR bangomis). Daugiausia energijos Saulė išspinduliuoja matomujų ir IR bangų diapazone.

Iš Saulės vainiko į kosminę erdvę nuolat srūva plazma (Saulės vėjas). Tai elektringosios dalelės (protonai, elektronai, helionai), kurios Žemės orbitą pasiekia  $400\text{--}2000 \text{ km/s}$  greičiu.

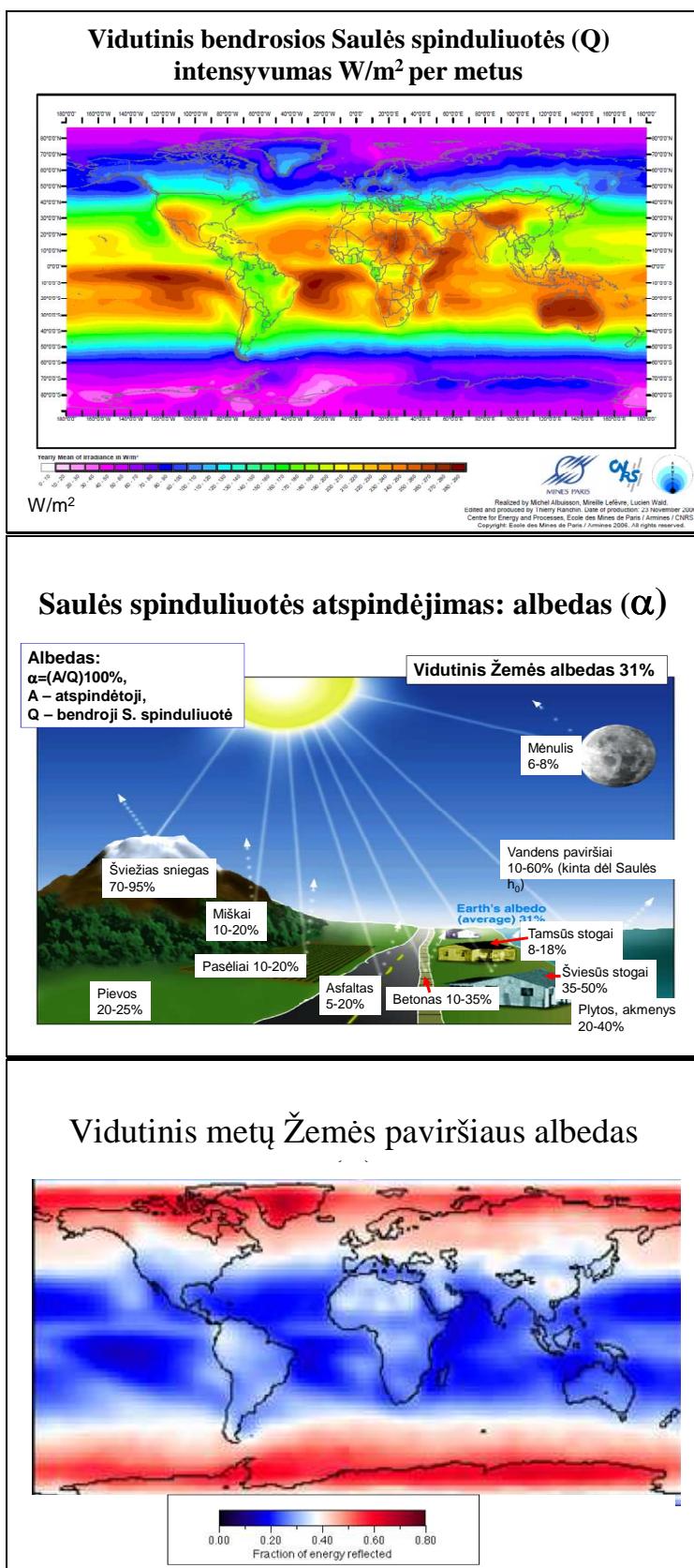
Atmosferos oras sugeria apie 16% Žemę pasiekusios Saulės spinduliutės, dar 3% sugeria debesys. Sugerdamas Saulės spinduliutę, oras jšyla apie  $0,5^\circ\text{C}$ . Be to, atmosfera sugeria apie tris ketvirtadalius Žemės paviršiaus ilgabangio spinduliavimo.

Trumpesnes nei  $0,36 \mu\text{m}$  bangas Žemės atmosfera beveik visiškai sugeria, todėl Žemės paviršiaus nepasiekia gyvybei pavojingi gama, rentgeno ir trumpieji UV spinduliai. Jiems tenka menka energijos dalis, tačiau jie reikšmingi viršutiniuose atmosferos sluoksniuose vykstantiems procesams.

Atmosferos šilumos apykaita vyksta tarp gretimų oro masių ar sluoksniių, tarp atmosferos ir kosminės erdvės bei paklotinio paviršiaus. Nuo atmosferos šilumos apykaitos priklauso atmosferos šilumos režimas – svarbus klimato rodiklis.

Atmosferos šilumos apykaita vyksta įvairiais būdais: spinduliniu, molekuliniu (dėl molekulinio bei turbulentinio šilumos laidumo) ir vykstant faziniams vandens virsmams. Oras sugeria Saulės, Žemės paviršiaus ir gretimų atmosferos sluoksniių spinduliutę ir pats spinduliuoja (spindulinė šilumos apykaita).

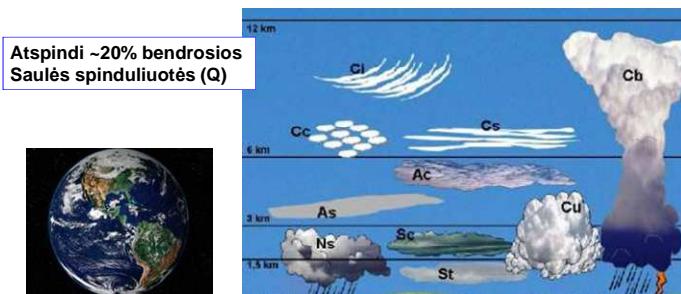
Žemė pasiekusi Saulės spinduliutė skirtstoma į **tiesioginę** ir **išskaidytąjā**.



Ne visa Žemės paviršių pasiekusi spinduliuotė sugerama, dalis jos atispindi. Atspindėtosios ir bendrosios spinduliuotės santykis, išreikštasis procentais arba vieneto dalimis vadinamas **albedu ( $\alpha$ )**.

## Debesų albedas

Cirrus 20-40	Stratus 40-65	Cumulus 75	Cumulonimbus 90%
-----------------	------------------	---------------	---------------------



## Albedo poveikis globaliam klimatui



Teorinis albedo poveikis globaliai oro temperatūrai.

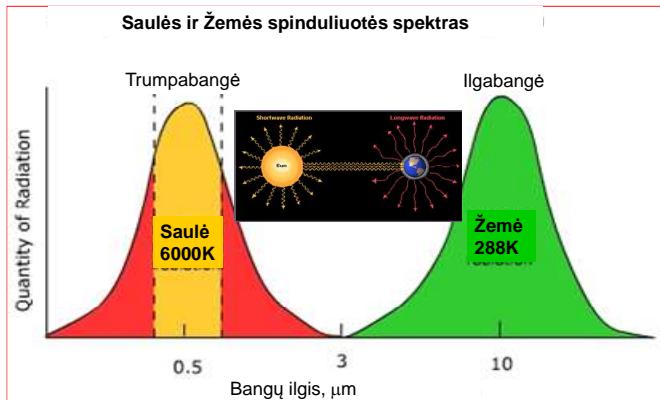
## Sugertoji Saulės spinduliuotė

$$\text{Sugertoji Saulės spinduliuotė } Q_s = Q(1 - \alpha),$$

$\alpha$  - albedas,  
 $Q$  - bendroji S. spinduliuotė

### Paklotinio paviršiaus spinduliavimas (E<sub>Z</sub>)

Žemė spinduliuoja IR spekto dalyje, bangų ilgis >4 μm



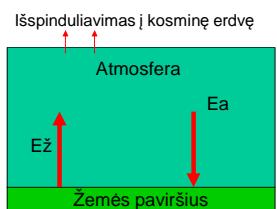
Bangų ilgis atvirščiai proporcingas kūno temperatūrai (Vyno dėsnis).

Todėl Saulės spinduliuotė yra trumpesnėmis bangomis nei Žemės spinduliuotė.

### Efektyvusis Žemės paviršiaus spinduliavimas E<sub>f</sub> (ilgabangės spinduliuotės balansas)

$$E_f = \uparrow E_Z - \delta \downarrow E_a$$

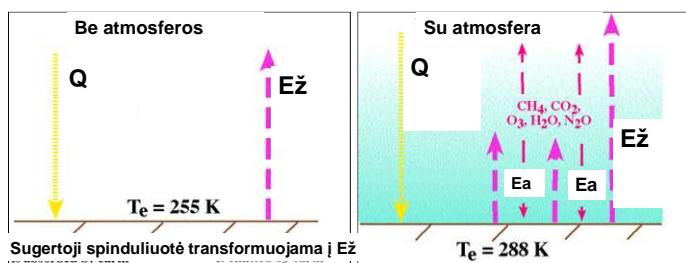
$E_Z$  – Ž. paviršiaus spinduliavimas,  
 $E_a$  – priešpriešis atmosferos spinduliavimas,  
 $\delta$  – ilgabangės spind. sugerties faktorius (0,85-0,99)



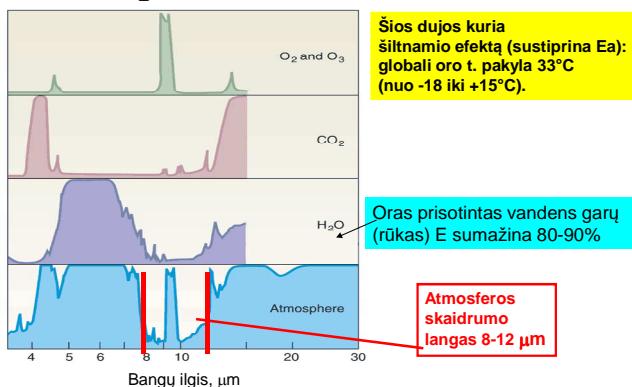
E<sub>f</sub> priklauso nuo:

- Žemės paviršiaus ir atmosferos t–ros;
- termodinamiškai aktyvių dujų koncentracijos atmosferoje;
- debesuotumo (kai 10 balų, E<sub>f</sub>~0) .

### Termodynamiškai aktyvių dujų poveikis E<sub>f</sub> ir E<sub>a</sub>



## Termodinamiškai aktyvių dujų poveikis Ef ir Ea



## Paklotinio paviršiaus spinduliuotės balansas (R):

Balanso "pajamų" dalis:  
bendroji spinduliuotė Q

Balanso "išlaidų" dalis:  
 $\alpha$  ir Ef

Spinduliuotės balanso lygtis:

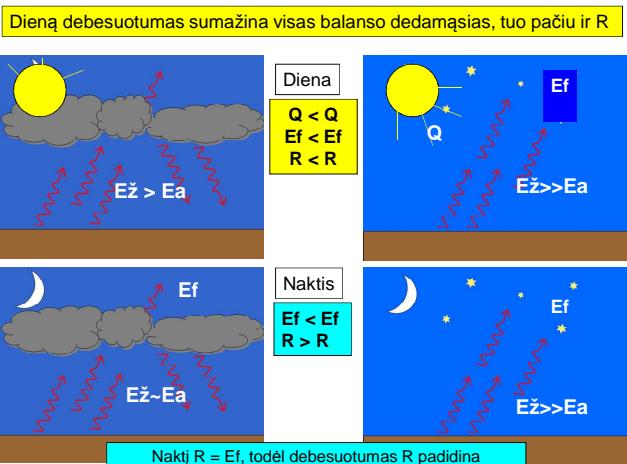
$$R = Q (1 - \alpha) - Ef$$

Ef – Žemės paviršiaus efektyvusis spinduliauvimas,  
 $\alpha$  – albedas

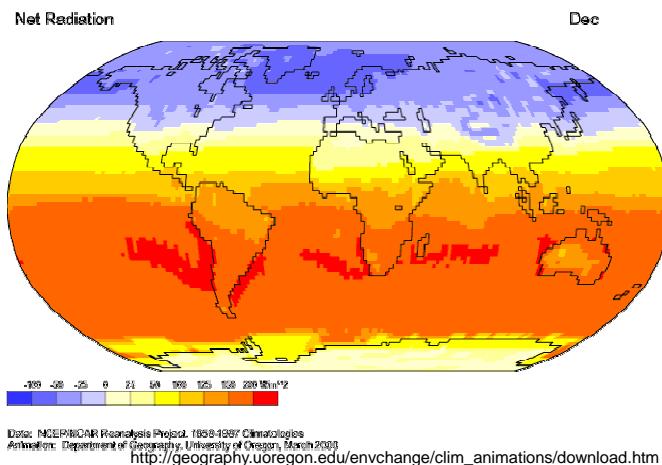
**SPINDULIUOTĖS BALANSAS (R)** – skirtumas tarp Žemės paviršiaus ir atmosferos sugertos bei atspindėtos ir išspinduliuotos energijos. R matuojamasis W/m<sup>2</sup>, J/m<sup>2</sup> arba kalorijomis 1 cm<sup>2</sup> per laiko vienetą (sekundę, minutę, valandą, parą, mėnesį, metus). **Žemės paviršiaus spinduliuotės balansas** gali būti neigiamas ir teigiamas, kinta priklausomai nuo geogr. platumos, debesuotumo, oro drėgnio, paros ir metų laiko. Žemės paviršiaus R įplaukos: bendroji (tiesioginė ir išsklaidytoji) Saulės spinduliuotė (Q), ilgabangis atmosferos spinduliauvimas į Žemės paviršių; išlaidos – Žemės paviršiaus atspindėtoji spinduliuotė ir efektyvusis spinduliauvimas į kosminę erdvę (Ef).

Vid. metų viso Žemės paviršiaus R yra teigiamas, apie 100 W/m<sup>2</sup>. Šie energijos ištekliai eikojami vandens garinimui ir šilumos apykaitai su atmosfera ir gilesniais vandenyno ir dirvožemio sluoksniais. Didžiausias R būdingas vasarą subtropinių platumų vandenynams (250–260 W/m<sup>2</sup>). Žiemą vid. ir poliarinėse platumose R neigiamas, nes Ef didesnis už sugertosios spinduliuotės kiekį (sausį – į šiaurę nuo 45° š. pl., liepą – į pietus nuo 50° p. pl.). Poliarinės nakties metu ledynų paviršiaus R pasiekia pačias žemiausias reikšmes – apie -60 W/m<sup>2</sup>. Abipus pusiaujo iki 45–50° pl. R apskritus metus teigiamas. Toje pačioje geogr. platumoje vandenynų R didesnis negu sausumoje, nes vandens vid. albedas ir paviršiaus t-ra žemesni. Lietuvoje R teigiamas kovą – spalį, o neigiamas lapkritį – vasarą. Didžiausios teigiamos R reikšmės gegužės – liepos mėnesiais (vid. po 135–140 W/m<sup>2</sup>).

### Debesuotumo poveikis spinduliuotės balansui



### Paklotinio paviršiaus spinduliuotės balansas



### Žemės radiacijos balansas palydovas (matavimai atliekami nuo 1985 m.)



The Earth Radiation Budget Satellite (ERBS)

Giedros metu, atviroje, lygioje vietovėje per parą  $R$  iš teigiamo virsta neigiamu vakare (ir atvirščiai rytą), Saulei nusileidus, o rytą pakilus, iki  $7\text{--}8^\circ$  aukščio virš horizonto.

Išilės Žemės paviršius jšildo žemutinius atmosferos sluoksnius. Jvairių Žemės rutulio vietų skirtinges jšilimas priklauso nuo geografinės padėties, žemynų ir vandenynų pasiskirstymo ir skirtinges jų šiluminės talpos.

Nuo nevienodo atmosferos jšilimo atsiranda oro tankio ir slėgio skirtumai, kurie kartu su Žemės sukimosi poveikiu sukelia oro masių judėjimą, vadinamą bendraja atmosferos cirkuliacija.

Spinduliuotės balanso kitimo per metus animacija:

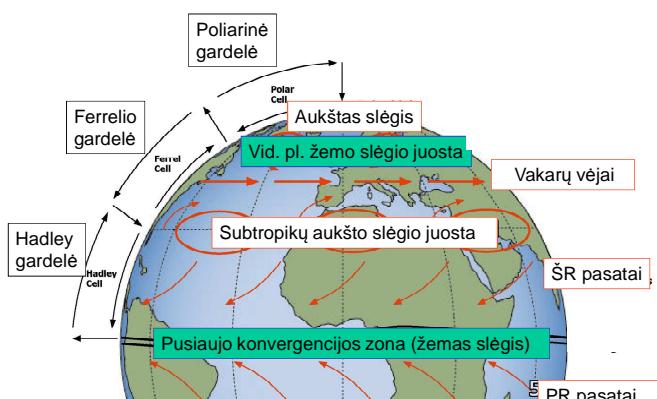
[http://geography.uoregon.edu/envchange/clim\\_animations/download.htm](http://geography.uoregon.edu/envchange/clim_animations/download.htm)

## Bendroji atmosferos cirkuliacija (BAC)

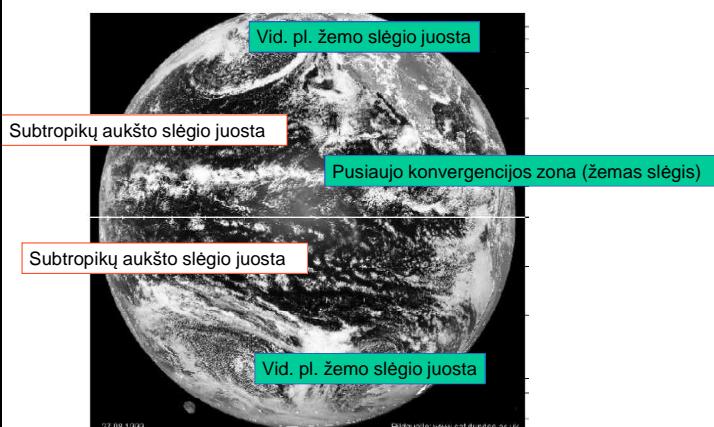
BAC – oro tėkmių visuma, kurių dėka vyksta horizontali ir vertikali oro masių apykaita.

Oro mases judėti verčia dėl nevienodo oro įsilimo atmosferoje atsirandantys tankio ir slėgio skirtumai bei Žemės sukimosi poveikis

### BAC schema



### Žemės nuotrauka rugpjūti



**ATMOSFEROS CIRKULIACIJA**, oro tėkmių visoje Žemės atmosferoje sistema (bendroji atmosferos cirkuliacija – **BAC**) arba oro tékmės virš nedidelio Žemės paviršiaus ploto (vietinė atmosferos cirkuliacija).

Iš atmosferos tyrimo apibendrintų duomenų (daugiaumečių vidurkių) sukurtoje BAC schemaje išskiriamos zonas su savitomis cirkuliacijos savybėmis bei vyraujančios krypties vėjais. Jos sudaro vadinamąsias cirkuliacines gardeles (Hadley, Ferrelio, poliarinė), beveik simetriškas pusiaujo atžvilgiu. Hadley gardelė – tarp pusiaujo ir 30° pl., Ferrelio – 30-60° pl., poliarinė – tarp ašigalių ir 60° pl. Šiomis gardelėmis vyksta **meridianinė oro masių pernaša**. Faktinė atm. cirkuliacija atitinka gardelių schemą tik virš Atlanto ir Ramiojo vand., kur ištisus metus išsilaičios tos pačios a. ir ž. slėgio sritys. Kituose regionuose šia schemą suardo sezoniškai aukšto ir žemo slėgio sričių kaita.

1835 metais prancūzų mokslininkas **G.Koriolis** paskelbė mokslinį veikalą, kuriame nurodė, kad Žemės sukimosi jėgos veikiamas, bet koks judantis kūnas šiauriniame pusutulyje nukrypsta į dešinę, o Pietų pusutulyje – į kairę.

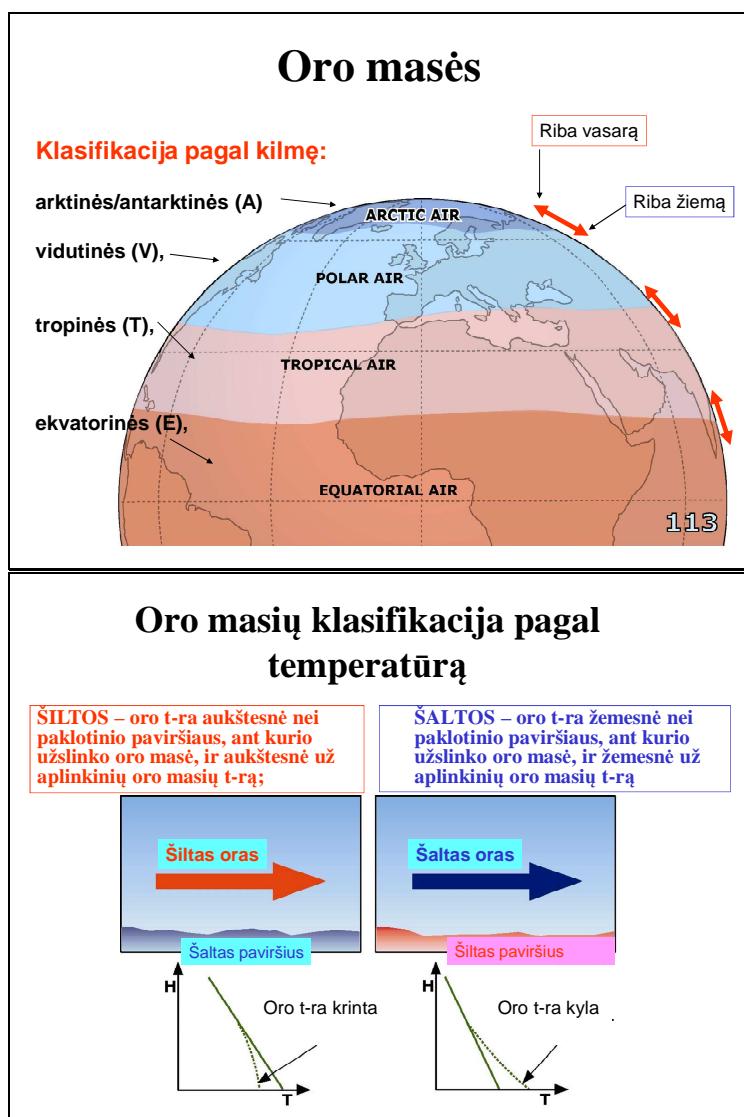
Atmosferoje šiluma iš šiltesnių vietų visada slenka į šaltesnes. Jeigu Žemė nejudėtų tai visi oro srautai – vėjai būtų tik dviejų kryptei. Pusiaujoje įkaitės oras plūstų link abiejų ašigalių. Kadangi Žemė suka ir jos paviršiuje kaitalojasi žemynai ir vandenynai, todėl abiejuose pusutulyuose šilto ir šalto oro masių srautai susiskirsto į tris minėtas gardeles (ratus).

Ties pusiaujo išgaruoja daug vandens. Įkaitės ir drėgnas, drėgme prisotintas oras pakyla aukštyn, atvėsta ir diduma susikaupusios drėgmės ten pat iškrinta lietaus pavidalu. Todėl daugiausia kritulių Žemėje iškrinta ties pusiaujo. Aukštai pakilęs oras slenka link ašigalių, bet maždaug ties 30° šiaurės ir pietų platumomis nusileidžia žemyn ir vėl išyla, čia susidaro galingi anticiklonai, iškrinta mažai kritulių. Kaip tik tose platumose yra didžiausios Afrikos, Australijos, ir Amerikos dykumos.

Apytikriai ties 60° šiaurės ir pietų platumomis oro masės kyla aukštyn ir atvėsta.

Tose platumose formuoja ciklonai, daug lyja. Lietuva kaip tik yra tarp  $53^{\circ}51'$  ir  $56^{\circ}27'$  šiaurės platumos todėl ir kritulių čia palyginti daug.

Tarp  $30^{\circ}$  ir  $60^{\circ}$  šiaurės ir pietų platumų vyrauja stiprus vakarų vėjai (zoninė vakarų pernaša).



Oro masė – didelės teritorijos (pvz., Vakarų ir Vidurio Europą) užimantis oro tūris, kurio savybės priklauso nuo kilmės regiono.

Oro masių susidarymo regionai ir savybės:

arktinės (antarktinės) – susidaro Arkties ir Antarktidos regionuose, šaltos, sausos;

vidutininės – tarp  $40$  ir  $60^{\circ}$  pl. abiejuose pus., savybės kinta priklausomai nuo metų laiko ir susiformavimo regiono;

tropinės – tarp  $20$  ir  $30^{\circ}$  pl. abiejuose pus., subtropinėse aukšto slėgio juostose, šiltos ir sausos – virš žemynų, šiltos ir drėgnos – virš vandenynų.

ekvatorinės – abipus ekvatoriaus tarp  $20^{\circ}$  p. pl. ir  $20^{\circ}$  š. pl., šiltos, drėgnos, nepastoviai stratifikuotos.

Svarbiausios oro masės savybės – t-ra ir drėgumas. Oro masės atslenka su cikloniniais arba anticikloniniais bariniais dariniais, kurie gali užsispildyti įvairių savybių oro masėmis.

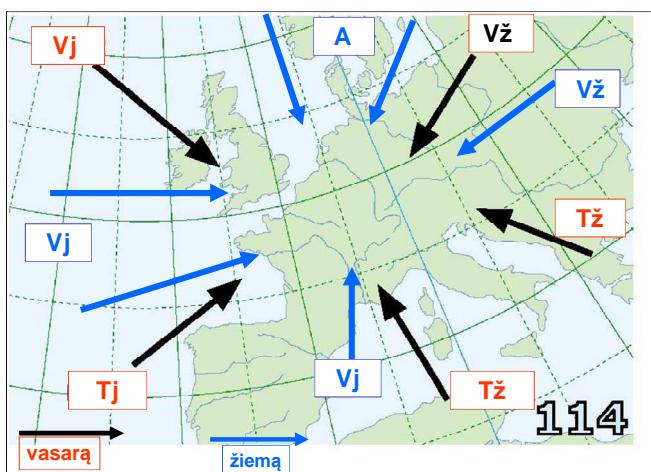
Gretimų oro masių t-ra vidut. skiriasi  $10$ - $15^{\circ}\text{C}$ .

Dėl oro masės transformacijos šiltos oro masės t-ra paribio sluoksnyje krinta, o šaltos – kyla.

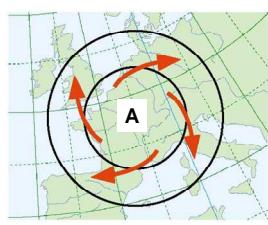
## Oro masių klasifikacija pagal drėgnumą

- **jūrinės (j)** – drėgnos, susidaro virš vandenynų;
- **žemyninės (ž)** – sausos, susidaro virš žemynų (žiemą būna šaltos ir sausos, o vasarą karštos ir sausos).

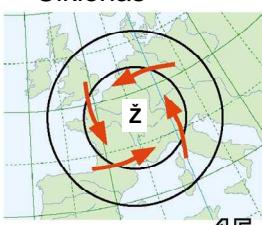
## Oro masės Europoje



Anticiklonas

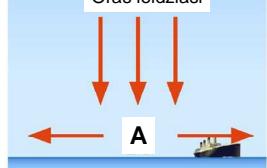


Ciklonas

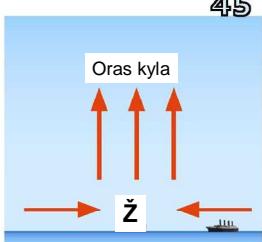


11.4

Oras leidžiasi

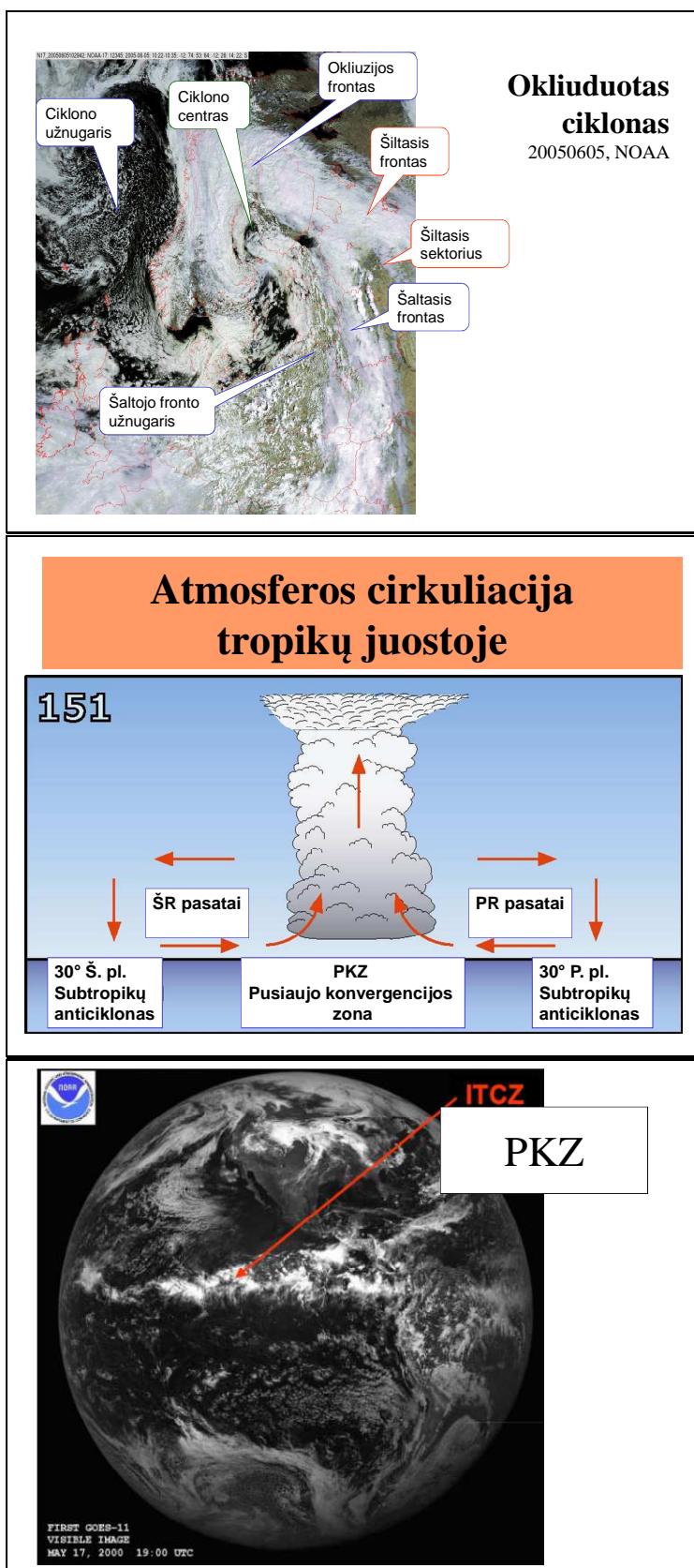


Oras kyla



Paklotinio paviršiaus ir atmosferos tros kontrastai skatina atmosferos sūkurių – *ciklonų* ir *anticiklonų* susidarymą. Jų veiklos zonose vyksta intensyvi horizontalioji ir vertikalioji oro masių apykaita. Ciklonai, judėdami iš V į R, krypsta ašigalių link, sudarydami  $60\text{--}65^{\circ}$  platumose žemo slėgio juostą, o anticiklonai – pusiaujo link, sudarydami subtropinę aukšto slėgio sritį.

Nuolatos susidarančios ir slenkant naujiems ciklonams ir anticiklonams, vyksta oro masių apykaita tarp platumų: šaltos oro masės veržiasi į žemesnes platumas, o šiltos – į aukštesnes.



Oro tėkmės ciklone, užuot judėjusios trumpiausiu keliu iš jo pakraščių į centrą (čia žemiausias slėgis) dėl Žemės sukimosi apie ašį įtakos nukrypsta nuo pradinės judėjimo krypties ir juda spirale, sudarydamos oro sūkuri, kuris Šiaurės pusrutulyje sukasi prieš laikrodžio rodyklę, o Pietų pusrutulyje – pagal laikrodžio rodyklę (tai Koriolis'o jėgos sukeltas efektas atmosferoje).

Anticiklonuose atvirščiai: Šiaurės pusrutulyje oras juda pagal laikrodžio rodyklę, o Pietų pusrutulyje – prieš laikrodžio rodyklę. Jei Žemė nesisuktų, tai oras judėtų iš anticiklono centro tiesiai į jo pakraščius.

Tropikų juosteje cirkuliacija vyksta Hadley makrogardelėje. PKZ konverguoja **pasatai**, karštas ir drėgnas oras pakyla iki tropopauzės (tai sukelia konvekcinę debesuotumą aplink visą Žemę).

Tropikų platumose iš subtropikų aukšto slėgio juostos, kurią sudaro anticiklonų virtinė virš vandenynų, pasatai (angl. *trade winds*) pučia link ekvatorinės žemo slėgio juostos.

Š. pusrutulyje pasatai pučia iš šiaurės rytų, o p. pusrutulyje – iš pietryčių.

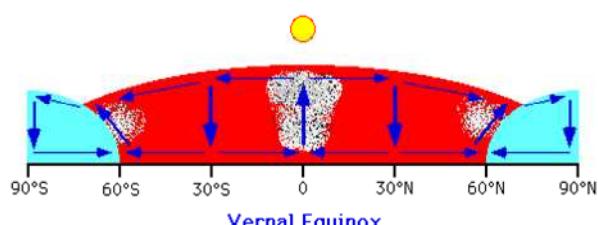
Ekvatorinėje žemo slėgio juosteje abiejų pusutuliu pasatai susitinka ir sudaro vadinamąjį **pusiaujo konvergencijos zoną (PKZ)**. Joje formuoja nedideli, bet turintys milžinišką energiją, tropikų ciklonai.

Aukštutiniuose troposferos sluoksniuose oras srūva ašigalių link (**antipasatai**), ties atogrąžomis atvésęs nusileidžia žemyn (susidaro subtropikų aukšto slėgio juostos) ir vėl grįžta pasatų pavidalu į pusiaujo žemo slėgio zoną.

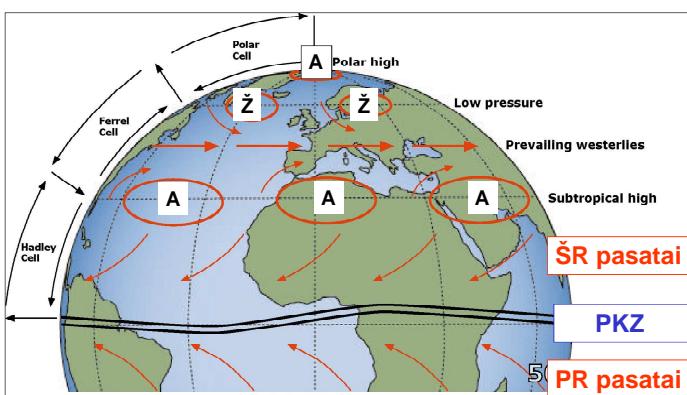
### PKZ virš Afrikos



### PKZ judėjimas per metus



### Pasatai



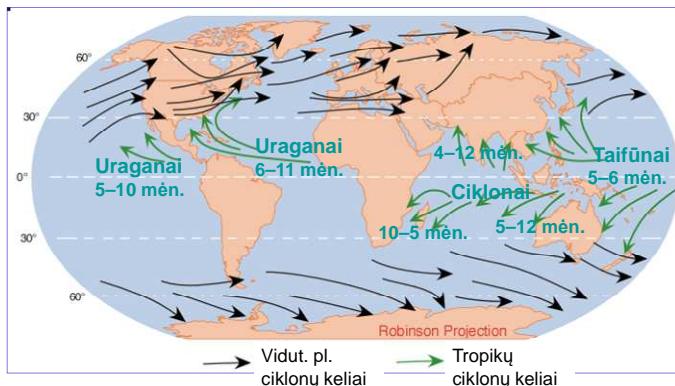
## Tropikų ciklonai

- susidaro 20–20° pl. juostoje, kur vandens t-ra  $>27^{\circ}\text{C}$ ,
- susidaro vienalytėje oro masėje, todėl neturi frontų,
- skersmuo 300–1000 km,
- egzistuoja 5–7 paros,
- maksimalus vėjo gr.  $>33 \text{ m/s}$  ( $40\text{--}70 \text{ m/s}$ ),
- iškrinta keli šimtai mm kritulių (maks. 300 mm/val.)

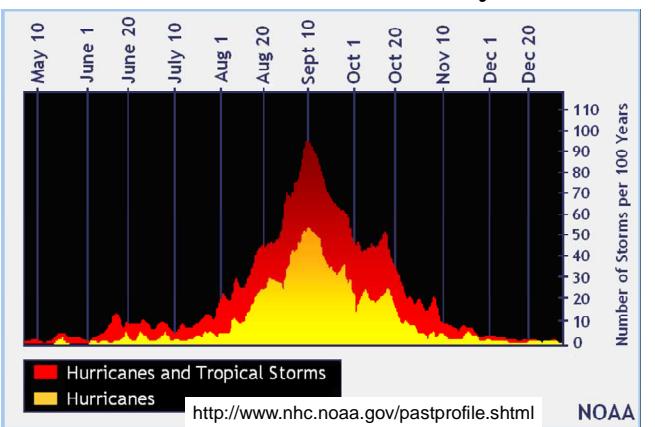


## Ciklonų keliai

Per metus susidaro vidut. 120 tropinių ciklonų, š. purv. jų būna 3 k. daugiau nei p. purv.



## Tropinių ciklonų pasikartojimas per metus Atlanto vandenye



**Tropiniai ciklonai** – galingi nelaimės nešantys sūkuriai – dažniausiai susidaro tik tam tikru nuotoliu nuo pusiaujo, paprastai tarp 5 ir 20 laipsnių platumos abiejuose pusrutiliuose, nes ties pusiaujo Koriolis'o jėga lygi nuliu. Virš jšilusių ( $> 27^{\circ}\text{C}$ ) vandenynų šimtų tūkstančių kvadratinių kilometrų plote susidaro aukštyn kylantis oro srautas, kuris kartais pasiekia net 15 kilometrų aukštį.

Orui pakilus, toje vietoje prie žemės paviršiaus susidaro žemesnio negu aplinkui atmosferos slėgio sritis. Oro srautas, atitekančius į žemesnio oro slėgio sritį, pradeda veikti Koriolis'o jėga. Taip susidaro tropinio ciklono užuomazga. Jeigu šilumos pritekėjimas nenutrūksta, tokia užuomazga greitai virsta galingu tropiniu ciklonu (dar vad. uraganu arba taifūnu).

Saffir-Simpson tropinių ciklonų stiprumo skalė (kategorija, vėjo greitis):

I kategorija: 119-153 km/h, 33,1-42 m/s,

II kategorija: 154-177 km/h, 43-49 m/s,

III kategorija: 178-209 km/h, 50-58 m/s,

IV kategorija: 210-249 km/h, 59-69 m/s (Dennis 2005 m.),

V kategorija: >249 km/h, >69 m/s (Katrina 2005 m.).

Šaltinis: NOAA, National Hurricane Center: <http://www.nhc.noaa.gov/>

## Tropinio ciklono kosminė nuotrauka



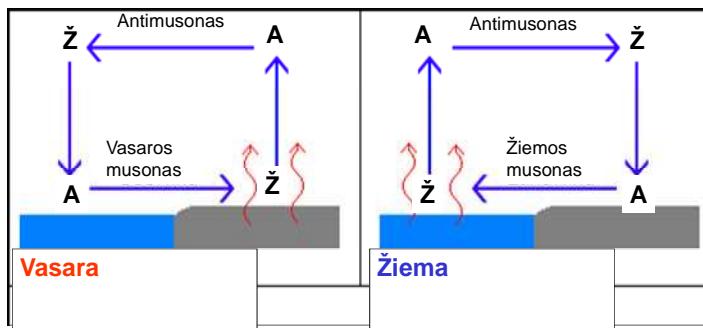
Debesų sienos  
vaizdas iš ciklono  
akies vidurio



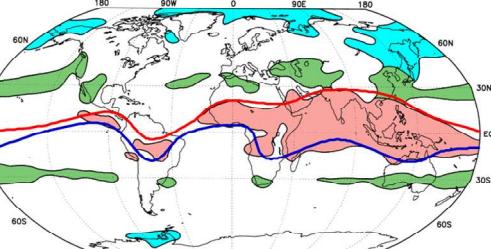
## Tropinio ciklono padariniai JAV pietuose



## Musoninės cirkuliacijos makrogardelė



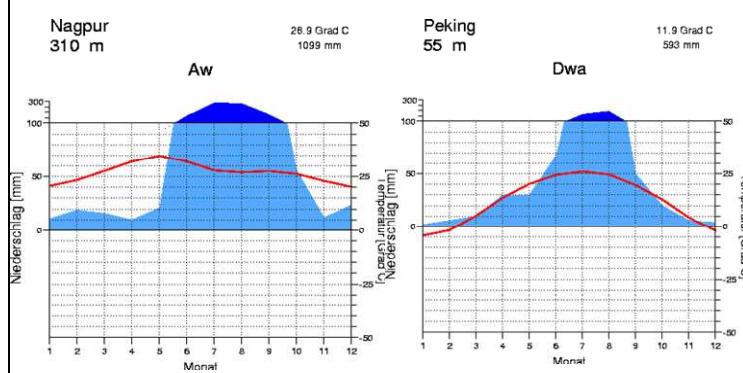
## Musonų zonas



The red, green, and blue areas indicate the tropical, subtropical, and temperate-frigid monsoons, respectively. The red and blue thick lines represent the ITCZ in summer and winter, respectively. (Li, J., and Q. Zeng, 2006)

- Tropikų – 20–20° pl. (ryškiausia tarp Afrikos ir Australijos),
- Dvi subtropikų – 30–40° pl.,
- Š. pusr. vidutinių platumų – 50–60° š. pl. (Eurazijoje),
- Polarinė ~70° š. pl. (Šiaurės Azijoje).

## Musoninis klimatas Rytų Azijoje: Nagpuras (Indija) Pekinas (Kinija)



**Musonai** formuojaose Žemės vietose, kur vieną metų dalį vyrauja žemo slėgio sritis, o kitą – aukšto slėgio. Dėl to vėjo kryptis, keičiantis atmosferos slėgiui, 2 kartus per metus tampa priešinga. Musoninė cirkuliacija ryškiausius bruožus turi Azijos ir Afrikos žemynuose.

**Musoninis klimatas.** Būdingas sritims, kur vyrauja musoninė atmosferos cirkuliacija. Žiemą vyrauja giedri, sausi orai (sausringas metų sezonas), vasarą – debesuoti, drėgniai ir lietingi orai (lietingas metų sezonas).

Ryškiausios tropinio musoninio klimato savybės būdingos Pietų ir Pietryčių Azijai. Per metus iškrenta vidut. 1000–2000 mm krituliu, t-ra svyruoja tarp 24 ir 32°C.

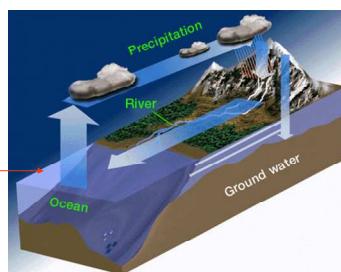
Subtropikų ir vidutinių platumų Δ būdingas Azijos rytinėms pakrantėms. Dėl vyraujančios šalto oro pernašos iš Azijos centrinių rajonų klimatas pasižymi šalta ir mažasniege žiema. Sausio t-ra nuo 0°C Geltonosios j. pakrantėse iki -20, -30 prie Ochotsko j.). Vasara šilta ir drėgna su liūtiniais lietumis. Liepos t-ra atitinkamai nuo 24 iki 12°C. Per metus iškrenta 500-800 mm krituliu, iš jų apie 60–80% per gegužę–spalį atneša R ir PR vasaros musonas iš Ramiojo vand. Netropinių musonų srityse sausieji ir drėgnieji sezoni ne tokie ryškūs, krituliu čia iškrenta ir žiemą.

Vasaros musonas Indostano pus. prasideda birželį ir tėsiasi iki rugsėjo pabaigos, o Indokinijos pus. balandį – spalį. Iš Indijos vandenyno slenkantčios oro masės prisotintos drėgme, todėl per tą laiką išskinta 85–90% metinių krituliu.

Vasaros musonas prasideda ne visada tuo pačiu metu, todėl užsišęs sausringas sezona nepalankiai atsiliepia šio regiono šalių žemės ūkiui, ima trūkti geriamo vandens. Be to, vasaros musonui būdinga pulsacija – susilpnėjimai ir sustiprėjimai. Juos lemia Azijos slėgio depresijos gilumas, centro padėtis.

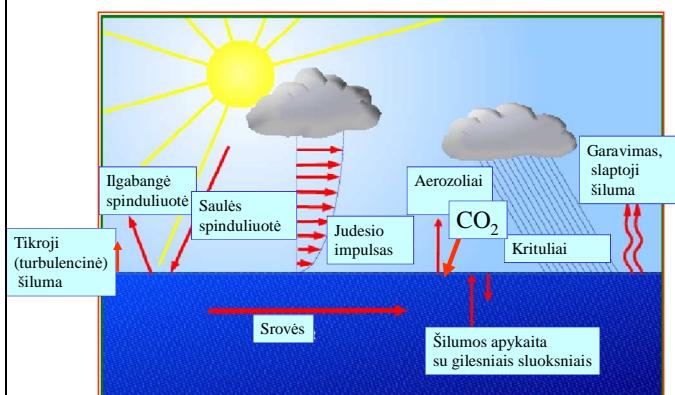
## Vandenyno vaidmuo klimato sistemoje

- lemia planetos evoliuciją (atmosferos dujinę sudėtį ir biosferos raidą);
- kaupia spindulinę energiją;
- formuoja globalų vandens apytakos ratą;
- dalyvauja globaliuose cirkuliacijos procesuose (kartu su atmosfera).



## Vandenyno ir atmosferos sąveika

Vyksta šilumos, drėgmės, judeisio kieko (impulso) ir biocheminė apykaita



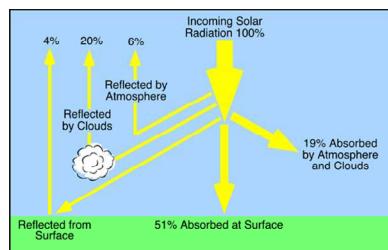
## Vandenyno vaidmuo globaliamame energetiniame cikle

Žemės paviršius sugeria ~51% Saulės spinduliutės;

vandenynas – 40% (65 PW/m.) sausuma – 11% (16 PW/m.).

Atmosfera sugeria 33 PW/m.

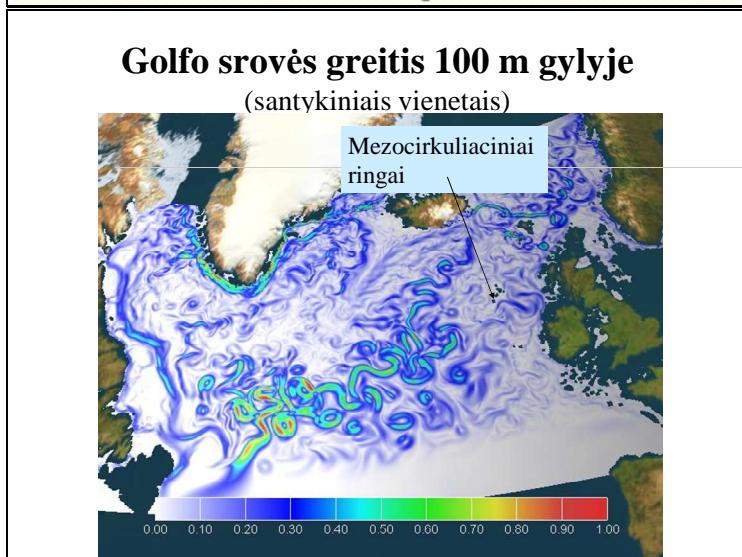
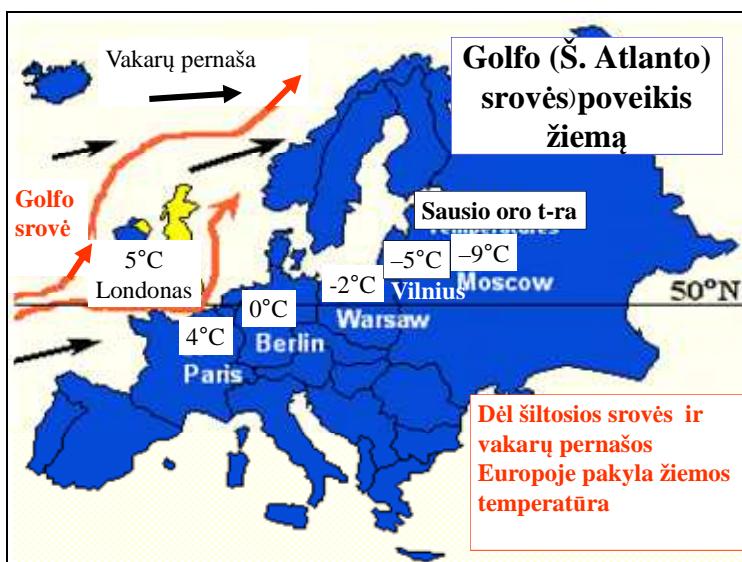
Šiluminė talpa:  
jūros vandens 4000 KJ/(m<sup>3</sup>\*K),  
oro 1 KJ/(m<sup>3</sup>\*K),  
sausumos (smėlio) 1300 KJ/(m<sup>3</sup>\*K).



Vandenynas akumuluoja šilumą, ją perskirsto Žemėje, atiduoda šilumą atmosferai (nes dažniausiai  $T_v > T_a$ ).

Atmosferos oro tėkmės sustiprina arba susilpnina vandenyno cirkuliaciją, debesuotumas sudaro nevienodas sulygas vandenyno įšilimui, todėl netolygiai pasiskirsto temperatūra, druskingumas.

1 petavatas (PW) =  $10^{15}$  W.



Šaltujų srovių:	Šiltujų srovių:
<ul style="list-style-type: none"> <li>formuoja pastovią atmosferos stratifikaciją ir slopina konvekciją,</li> <li>pažemina oro <math>T</math> 3-4, o vandens <math>6-8^{\circ}\text{C}</math> (izotermos priartėja prie pusiaujo),</li> <li>sumažina kritulių kiekį vandenye ir sausumoje,</li> <li>padidina santykinį oro drėgnumą, susidaro rūkai.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>formuoja nepastovią atmosferos stratifikaciją ir skatina konvekciją,</li> <li>padidina garavimą vandenye, debesuotumą, santykinį drėgnumą bei kritulių kiekį vandenye ir sausumoje,</li> <li>padidina oro <math>T</math> 3-8, o vandens <math>6-8^{\circ}\text{C}</math> (izotermos nutolsta nuo pusiaujo),</li> <li>poveikis ryškiausias žiemą.</li> </ul>

**Golfo srovė** į Vakarų Europą atneša šilumą, o šaltosios srovės, priešingai, neša vėsą. Šaltoji Humbolto srovė, tekanti palei Pietų Amerikos vakarinę pakrantę, atneša vėsą ir sausras į Pietų Ekvadorą, Peru ir Šiaurės Čilę. Visiškai kitaip Humbolto srovė veikia gyvenimo sąlygas vandenyno priekrantėse. Srovė iškelia gausų maisto medžiagų vandenį į vandenyno paviršių ir sukuria puikias sąlygas vandenyno gyventojams. Šios teritorijos – geriausia pasaulyje žvejybos zona. Joje taip pat pagunaama daugiausia pasaulyje ančiuvių – nuo šešių iki dešimties milijonų tonų per metus.

Vandenynų ir jūrų srovės - didžiulės upės vandeniniais krantais, judančios bekraščio vandens plotuose.

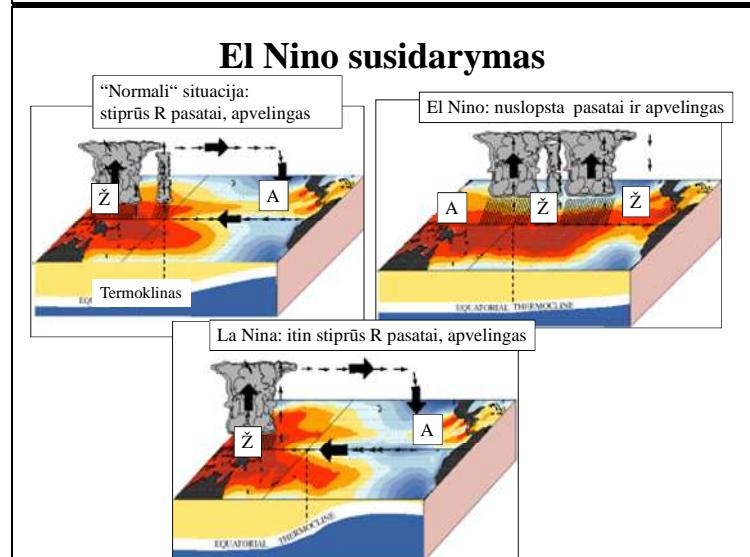
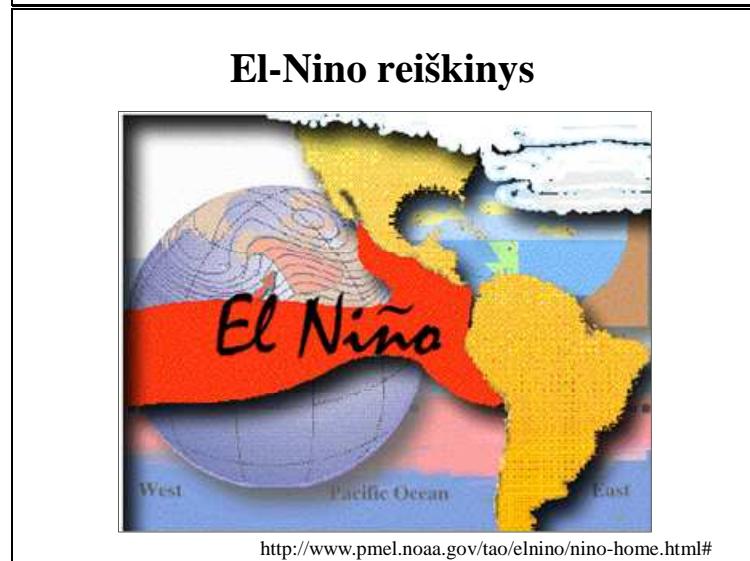
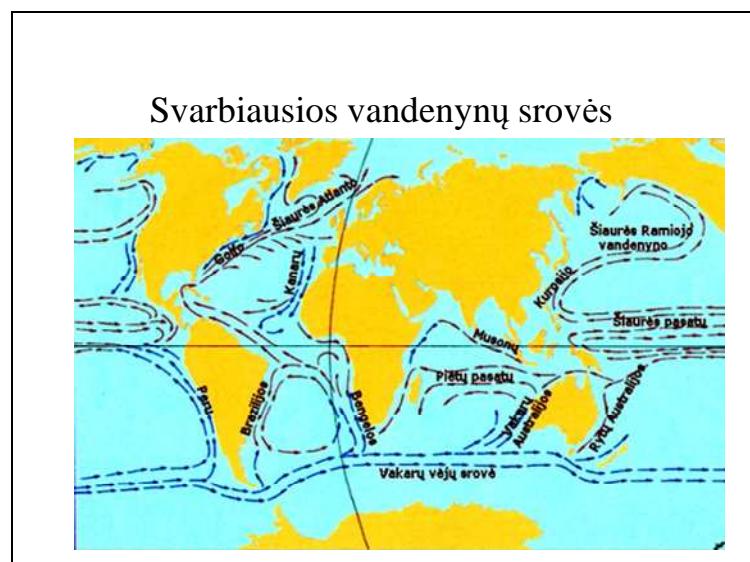
Pagrindinis jūros srovių energijos šaltinis - saulės radiacija. Saulė ne tik skirtinai išildo atmosferą, bet nulemia ir skirtingo tankio vandens masių susidarymą. Ten, kur vandens masė didesnio tankio, vandenyno lygis šiek tiek pažemėja, o ten, kur tankis mažesnis - pakyla. Tačiau vanduo stengiasi išlaikyti vienodą lygį. Tad iš aukštesnio lygio sričių vanduo ima tekėti žemesnio lygio sričių link. Taip dėl skirtingo vandens tankio jis ima judeti sudarydamas sroves.

**Pagal temperatūrą srovės skirstomos į šiltasias ir šaltasias.** Šiltujų srovių vanduo šiltesnis už aplinkinius ir paprastai teka vakariniuose žemynų pakraščiuose. Šios srovės yra palyginti greiti ir gilūs vandens srautai su ryškiomis ribomis. Šiltosioms srovėms priskiriamos: Golfo, Kurosių, Brazilijos, Rytų Australijos ir kt. srovės.

Saltyju srovių vanduo šaltesnis už aplinkinius. Šaltosios srovės teka gerokai lėčiau negu šiltosios ir plukdo mažiau vandens. Net ryškiausios - Kalifornijos, Bengalos, Peru srovės - tai platūs, negilūs ir silpni, į šonus palengva išnykstantys, nepastovaus greičio srautai.

Pati galingiausia Pasaulinio vandenyno srovė - Vakarų vėjų srovė. Ji juosia Žemės rutulį ir teka Ramiojo, Atlanto ir Indijos vandenynų pietinėmis dalimis. Per septynias valandas Vakarų vėjų srovė perneša 4000 milijardų tonų vandens. Tieki vandens per metus sunaudoja visa žmonija. Golfo srovė į Šiaurės

Vakarų Europą atplukdo didžiuliai kiekius šilto vandens. Golfo srovės išskiriamas šilumas kiekis šimtą kartų didesnis už bendrą energijos suvartojimą pasaulyje.



Svarbus srovių susiformavimo veiksny - pastovūs vėjai. Jeigu ilgesnį laiką vėjas pučia viena kryptimi, tai dėl oro trinties į vandens paviršių susidaro srovės, tekančios vėjo kryptimi. Pastoviausios srovės susiformuoja dėl pasatinių vėjų įtakos ir teka abipus pusiaujo vakarų kryptimi.

Zemės sukimosi jėgos veikiamas, bet koks vandenynje judantis kūnas šiauriniame pusrutulyje nukrypsta į dešinę, o Pietų pusrutulyje - į kairę. Todėl ir vandenynų srovės Šiaurės pusrutulyje dažniausiai nukrypsta į dešinę, o Pietų pusrutulyje - į kairę. Be to, srovės kryptis ir greitis priklauso nuo vandens baseino dydžio, gylio, krantų apybraižos ir kitokiu gamtinį aplinkybių.

**El Nino** – tai kvaziperiodinis centrinės ir rytinės tropinės Ramiojo vandenyno dalies temperatūros padidėjimas. *El Nino* metu keičiasi ne tik vandenyno temperatūra, bet ir atmosferos cirkuliacija šioje vandenyno dalyje.

Atmosferinis *El Nino* komponentas vadinamas **pietų osciliacija**. Tai atmosferos slėgio pokyčiai Ramiojo vandenyno rytinėje ir vakarinėje tropinės juostos dalyse. Iki šiol priežastys, lemiančios tokius atmosferos slėgio ir vandens temperatūros svyravimus, nėra iki galo aiškios.

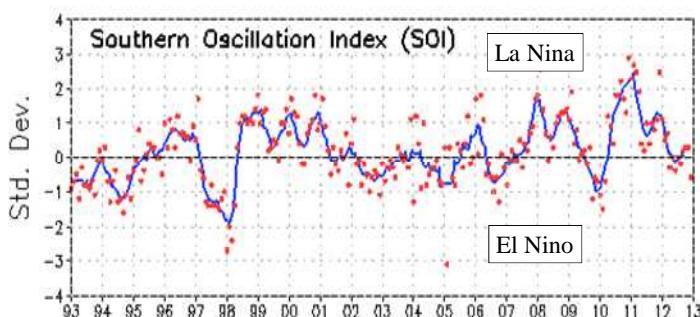
Iprastomis sąlygomis šiaurinėje Australijos dalyje ir Indonezijoje atmosferos slėgis jūros lygyje yra žemesnis nei pietrytinėje Ramiojo vandenyno dalyje. Tai lemia pasatiniai rytių vėjų vyrimą, o oro srautai verčia šiltą paviršiaus vandenį judeti vakarų link.

*El Nino* metu krenta atmosferos slėgis pietrytinėje ir kyla vakarinėje Ramiojo vandenyno dalyje. Šiuo atveju pasatinė cirkuliacija labai susilpnėja arba visai nutruksta, o šilto vandens srautas pasuka rytių link. Pasibaigus *El Nino*, orų sąlygos vėl tampa iprastomis. Tačiau kai kuriais metais pasatiniai vėjai itin sustiprėja – formuoja **La Niña**.

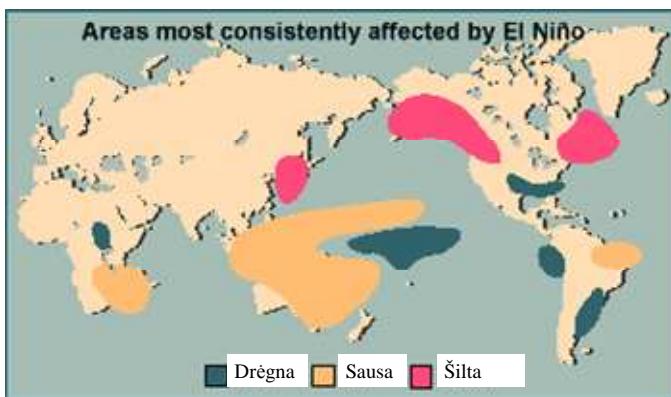
**La Niña** yra priešinga nei *El Nino* anomalija. Sustiprėjus pasatinei cirkuliacijai tropinėje Ramiojo vandenyno dalyje, dideliuose vandenyno plotuose fiksuojama anomalija žema paviršinio vandens temperatūra.

Pietų Amerikos pakrantės ispaniškai kalbančius žvejus stebindavo kas kelerius metus Kalėdų laikotarpiu pasirodanti šilto vandens srovė. Jie ją pavadino *El Nino* (isp. kūdikėlis berniukas).

## Pietų osciliacijos indeksas



## El Niño poveikis



El Niño/ La Niña reiškinio stiprumas dažniausiai vertinamas Pietų osciliacijos indeksu (SOI). Jis yra nustatomas, remiantis atmosferos slėgio skirtumu Taityje ir Darvine (Australija). El Niño metu indekso reikšmės būna neigiamos, t. y. slėgis Taityje yra santykinai žemas, palyginti su Darwinu.

ENSO – El Niño and the Southern Oscillation (Pietų osciliacija)

El Niño metu sustiprėja konvekciniai procesai ir padidėja debesuotumas centrinėje Ramiojo vandenyno dalyje (maksimalaus debesuotumo ir kritulių židinys pasilenka į rytus). Vakarų vėjai į Pietų Amerikos pakrantės dykumas atneša drėgnas oro mases, o gausūs krituliai lemia potvynių, nuošliaužų bei selių formavimąsi. Tuo tarpu priešingoje Ramiojo vandenyno pusėje (Australijoje ir Indonezijoje) prasideda sausros, kurių metu kyla gaisrai, nukenčia pasėliai, krinta gyvulių bandos.

El Niño poveikis jaučiamas visame pasaulyje. Kintanti oro sraujymui padėtis, uraganų trajektorijos bei besikeičiantis musonų režimas lemia žymius orų pokyčius visame Žemės rutulyje. Kadangi El Niño gali lemti poliarinės oro sraujymės padėtį, jaučiamas ryškus poveikis Šiaurės Amerikos bei Europos orams. Tai, jog 1998 metai buvo šilčiausi per pastaruosius 150 metų, siejama su 1997–1998 metų El Niño.

El Niño pasikartoja kas 3–7 metai. Vidutiniškai jis trunka apie 18 mėnesių, nors atskiri El Niño gali būti daug trumpesni (trukti mažiau nei metus) ar ilgesni (trukti kelerius metus iš eilės).

Plačiau:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/recip/CWlink/MJO/enso.shtml#history>