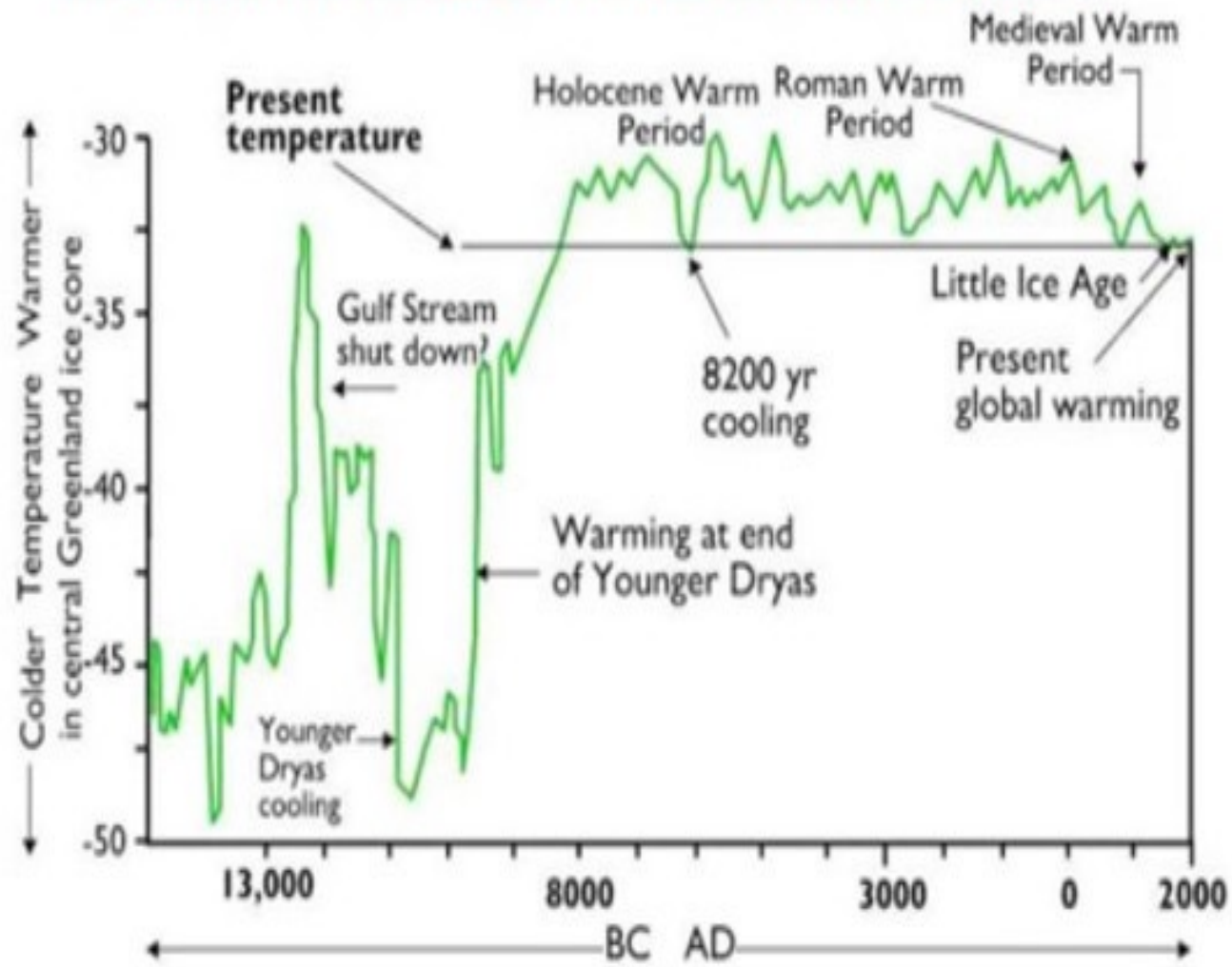


**KLIIMA MUUTUS
JA
KASVUHOONEGAASID**

Toomas Lausmaa

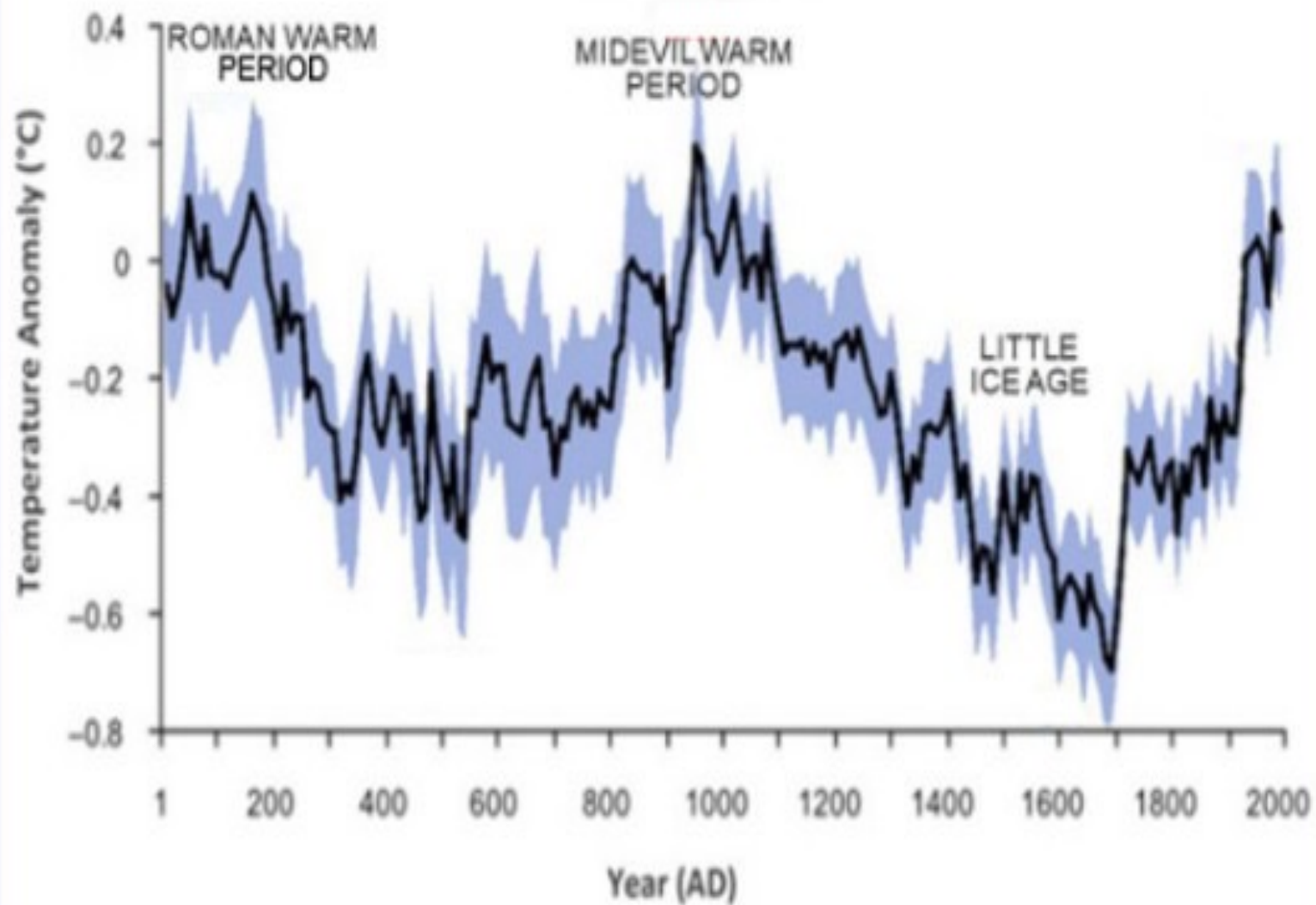
ESTIS'e seminar 22.01.2024

TEMPERATURE CURVE LAST FIFTEEN THOUSAND YEARS

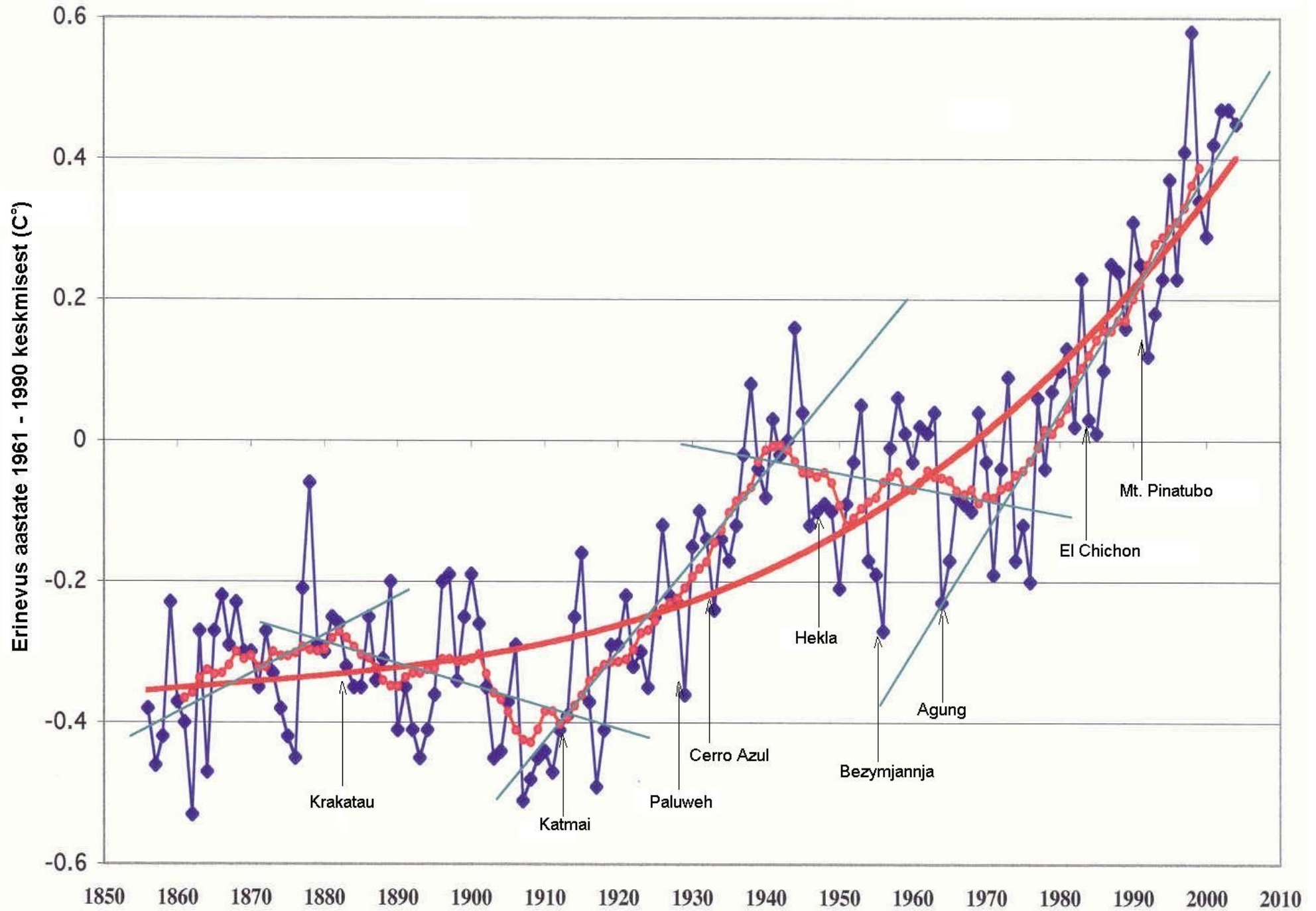


Extra-Tropical Northern Hemisphere (30-90°N) Decadal Mean Temperature

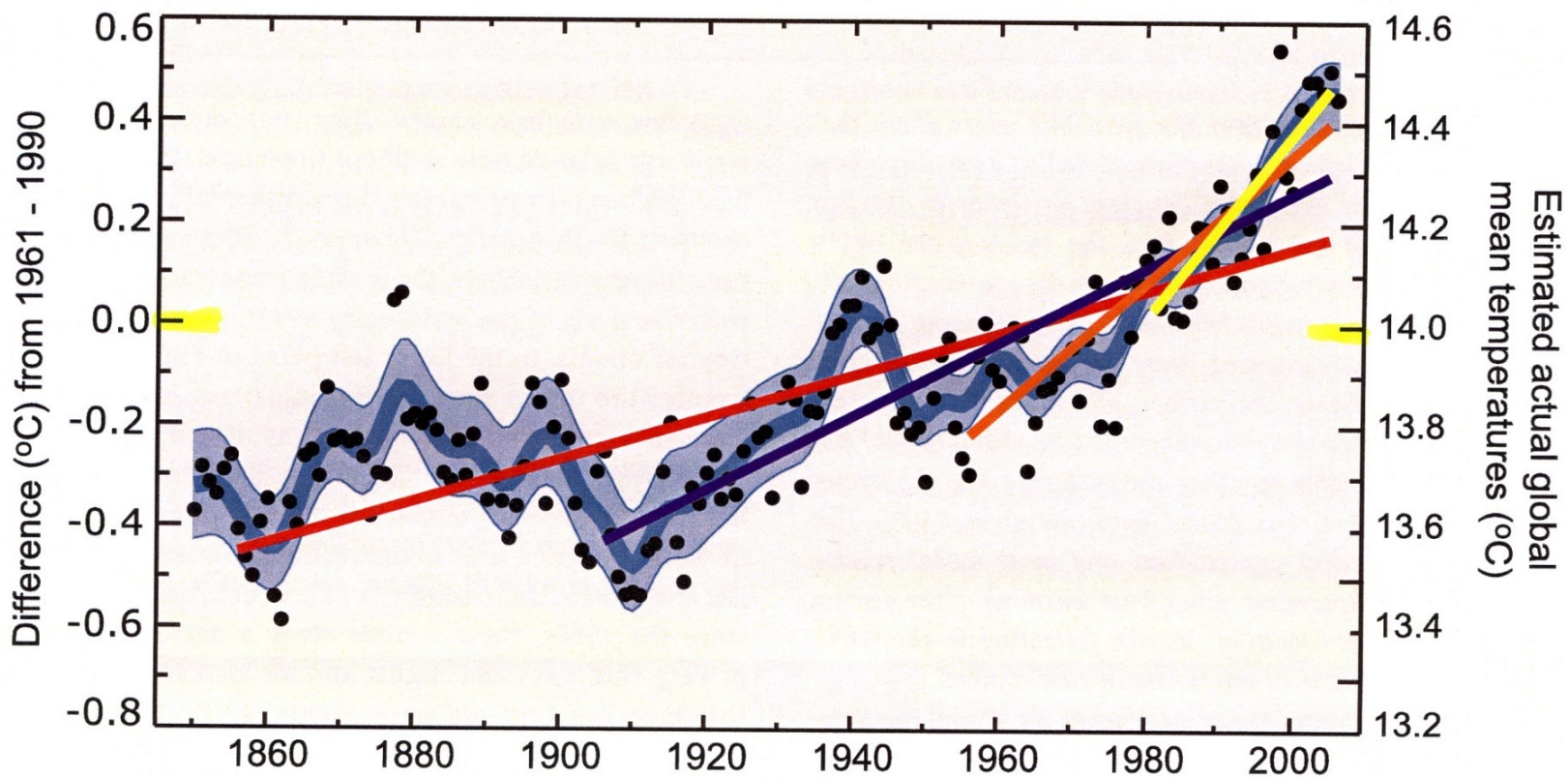
Adapted from Ljungqvist, 2010



Maakera keskmine õhutemperatuur



Global Mean Temperature



- Annual mean
- Smoothed series
- 5-95% decadal error bars

| Period | Rate |
|--------|-------------------|
| Years | °C per decade |
| 25 | 0.177 ± 0.052 |
| 50 | 0.128 ± 0.026 |
| 100 | 0.074 ± 0.018 |
| 150 | 0.045 ± 0.012 |

Satelliitidelt otseselt mõõdetud solaarkonstant on $1362 \div 1374 \text{ W/m}^2$

Solaarkonstant muutub 11 aastase tsükli jooksul 0,1 % ja puude kasvurõngaste järgi hinnatult sajandite jooksul $0,2 \div 0,6$ %.

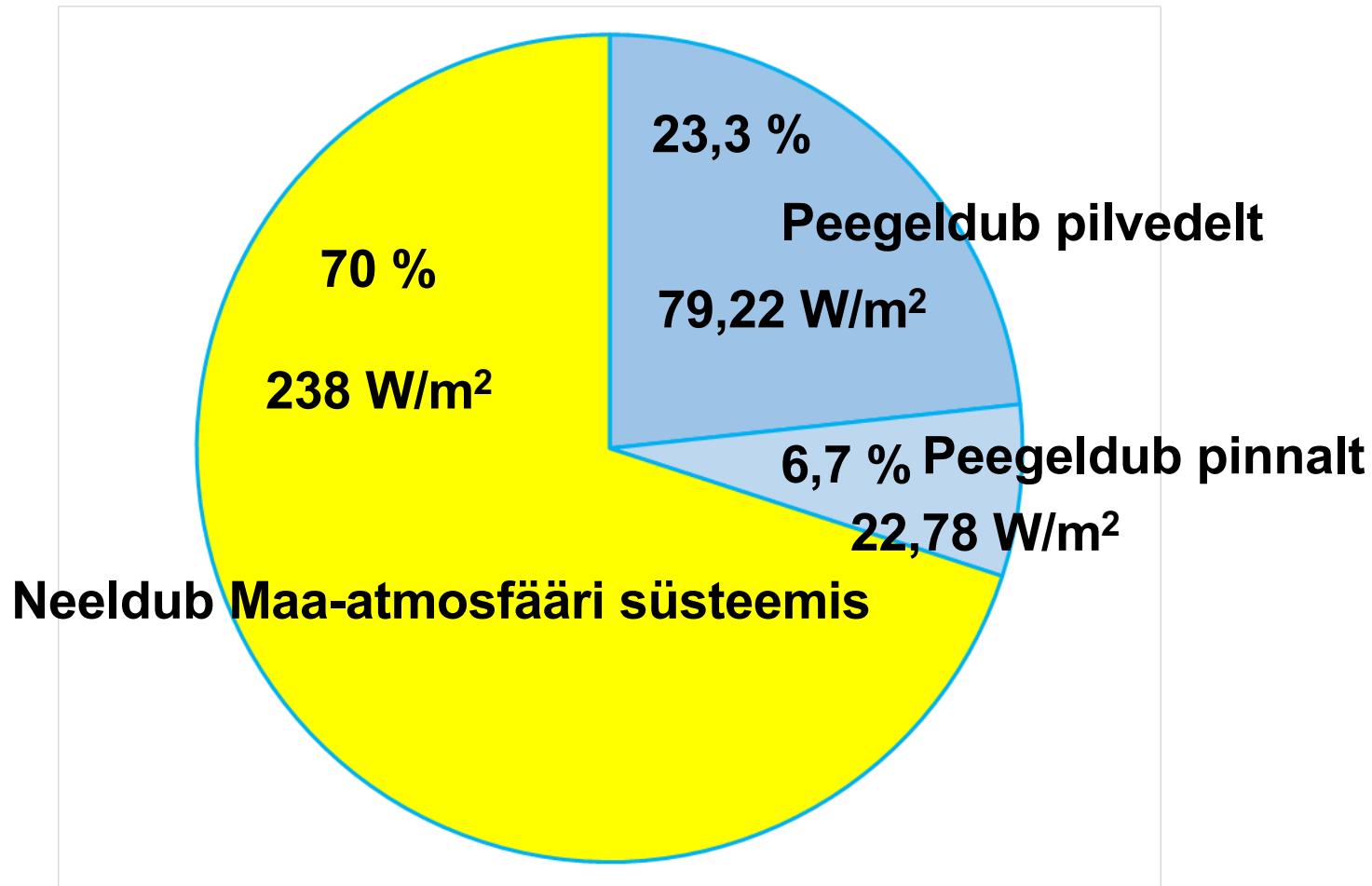
Solaarkonstant sõltub

- 1. Päikesest kui energiaallikast, aktiivsus – plekkide arv**
- 2. Maa elliptilise orbiidi karakteristikutest**
- 3. Maa ekvaatori tasapinna kaldenurgast orbiidi tasandi suhtes, $23^\circ 27'$**

Päevane päikese kiirgushulk sõltub ainult kahest parameetrist:

- 1. Laiuskraadist**
- 2. Aastaajast**

Atmosfääri välispiirile langeva päikese keskmine globaalne kiirgus on 340 W/m^2

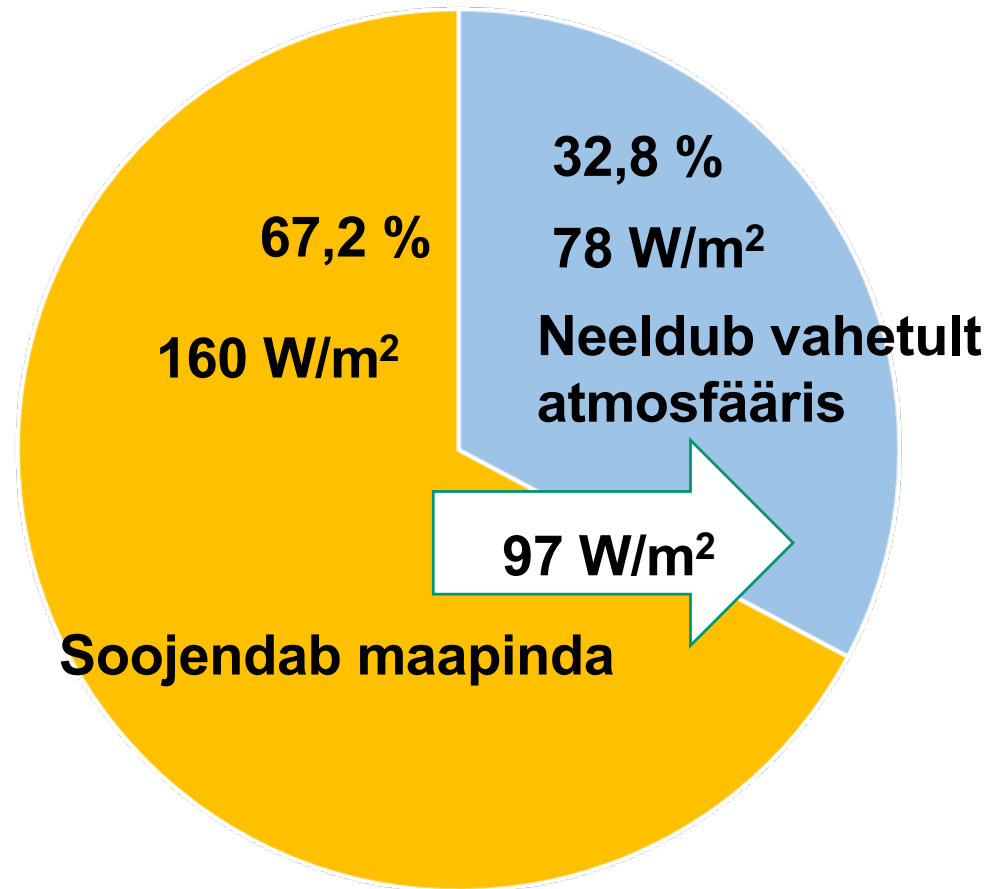


Maa albedo on ligikaudu 0,3

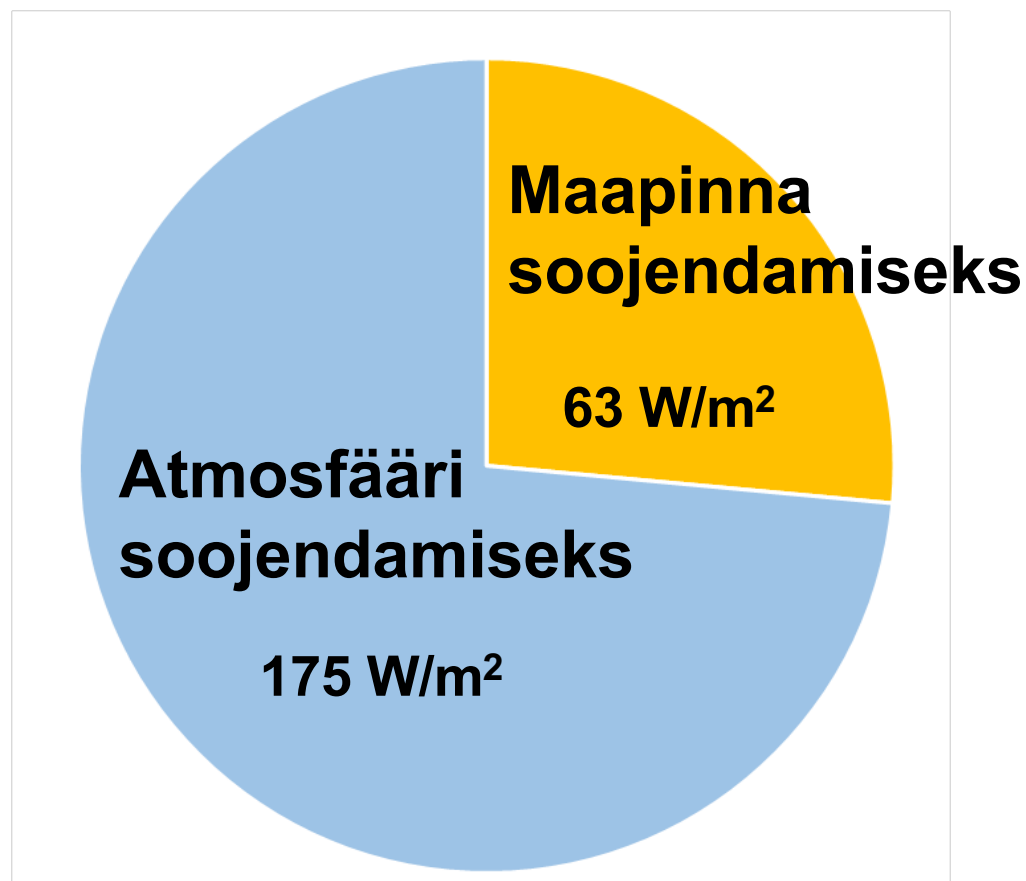
Kuu albedo on 0,12

Veenuse albedo on 0,77

Maa-atmosfäär süsteemi soojendamiseks jääb 238 W/m²



Kokkuvõtvalt



Maapind kaotab soojust vahetult ilmaruumi põhiliselt akna kaudu infrapunases osas spektrivahemikus

8,3 μm ÷ 12,5 μm

See spektrivahemik sisaldab ainult osooni neeldumisriba 9,6 μm

Don J. Easterbrook

Päikese magnetväli kui kliimamuutuse tegelik põhjustaja

**Päikese suur aktiivsus, tugev magnetväli
kosmilise kiirguse väike intensiivsus**

**Vähe kondensatsioonituumi ja pilvi, mis peegeldavad
kiirgust**

Maa soojeneb

**Päike vähe aktiivne, nõrk magnetväli
kosmilise kiirguse suur intensiivsus**

**Palju kondensatsioonituumi ja pilvi, mis peegeldavad
kiirgust**

Maa jahtub

Kasvahooneefekti seletus:

Maa kiirgab ilmaruumi, mis on külm, soojust. Et Maa temperatuur ei muutuks, peab Maa poolt ilmaruumi kiiratav soojushulk võrduma Päikeselt saadava soojushulgaga.

Pinnalt lähtuv infrapunane soojuskiirgus neeldub mõnedes atmosfääris olevates gaasides, mis soojenevad ja kiirgavad igas suunas. Maa poole langev kiirgus liitub otse päikeselt tuleva kiirgusega ja suurendab maale langeva kiirguse koguhulka.

Gaasis neeldunud ja kiiratav soojushulk sõltub gaasi kontsentratsioonist. Mida tihedam on atmosfääris leiduva gaasi kiht, seda rohkem ta maapinnalt lähtuvat kiirgust neelab ja seda suurem on ka tagasi maale langev kiirgus. Tekib uus tasakaal, kus Maa temperatuur on kõrgem.

**Maapinna keskmine temperatuur on 14÷15 °C
Ilma kasvahooneefektita oleks Maa keskmine
temperatuur ligikaudu -18 °C ja elu praegusel
kujul oleks võimatu.**

Kiirgussund (Radiative forcing)

**on kliima-muutuste looduslike või inimtekkeliste
tegurite põhjustatud energiavoo muutus
atmosfääris, mõõdetuna W/m^2**

**Vahe päikeselt saadud ja ilmaruumi kiiratava
energia vahel**

.

Globaalne soojenduspotentsiaal (global greenhouse potential) näitab gaasi mõju kliimale. Koosneb kolmest komponendist:

- 1. Gaasi soojusfüüsikalised omadused, kiirgus/neeldumisvõime**
- 2. Püsivus atmosfääris**
- 3. Neeldumisjoonte asukoht spektris**

| Gaas | Globaalne potentsiaal | Kestus atmosfääris | Konts. enne tööst | Konts. praegu |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | aasta | 10^9 ndik osa | 10^9 ndik osa |
| CO₂ | 1 | 100 | 278000 | 390000 |
| CH₄ | 25 | 12 | 722 | 1803 |
| N₂O | 298 | 114 | 271 | 324 |
| CCl₂F₂ | 10900 | 100 | 0 | 0,527 |

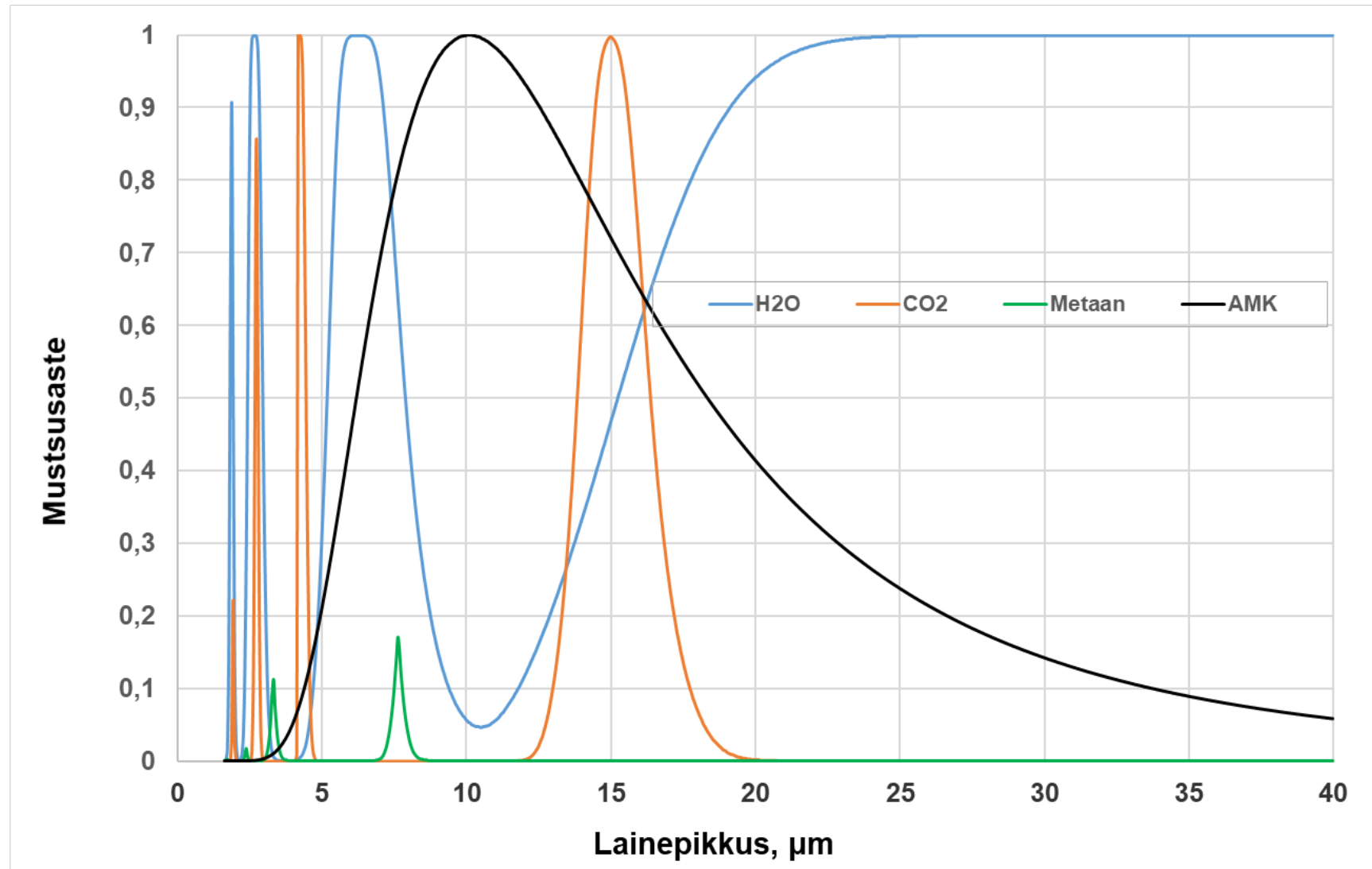
Veeauru, CO₂ ja metaani spektrid atmosfääris

CO₂ osamaht 0,041%; t = 10 °C; L = 1000 m

Veeauru osamaht 0,8%; t= 10 °C; L = 1000 m

Metaani osamaht 0,00018 % t=10 °C; L = 1000 m

AMK t=14 °C



Vee aur

Vee aur on põhiline kasvuhooonegaas,

Veeauru panus Maa atmosfääri kasvuhoooneefekti on

60 % kuni 95 %

99,999 % atmosfääris olevast veeaurust on loodusliku tekkega.

Veeauru kontsentratsioon atmosfääris on ebaühtlane nii vertikaal, kui ka horisontaalsuunas.

Keskmine osamaht maa lähedal 0,8 % (0 - 4 %)

Pool veeaurust on allpool 1,5 km

Vähem kui 5 % ülalpool 5 km

Veeaur praktiliselt puudub ülalpool 8 km

Kõrbete ja polaaralade kohal vee aur praktiliselt puudub.

Süsihappegaas

Süsihappegaasi CO₂ kontsentratsioon on kogu atmosfääri ulatuses ühesugune olenemata asukohast ja kõrgusest.

CO₂ panus Maa atmosfääri kasvahooneefekti on 3,6 ÷ 4 %

Süsihappegaasi kontsentratsiooni tõus atmosfääris

| | |
|-------------------|--------------------------|
| 200 aastat tagasi | 0,028 % |
| 1950 | 0,032 % |
| 2000 | 0,036 % |
| 2017 | 0,041 % |
| 2100 | 0,045 % ennustatav tase. |

Viimase 35 aasta jooksul on CO₂ kontsentratsioon kasvanud 60 ppm võrra, 0,006 %

Mauna Loa observatooriumi andmetel kasvab CO₂ kontsentratsioon aastas umbes 2,5 ppm võrra (0,00025 %).

Inimtegevuse tagajärjel aastas atmosfääri paisatud CO₂ kogus moodustab atmosfääris olevast CO₂ kogusest 0,85 % ja on järgu võrra väiksem CO₂ kogusest, mida atmosfäär vahetab ookeani ja maapinnaga, kaasaarvatud biosfäär.

Atmosfääri paisatud CO₂ jääb sinna ligikaudu 100 aastaks.

Metaan

Metaan CH₄ on gaas, mille aurumistemperatuur on -162 °C sulamistemperatuur -182 °C.

Õhuga moodustab metaan plahvatusohtliku segu kontsentratsioonidel 5÷14 %.

Viimase 260 aasta jooksul on metaani kontsentratsioon Maa atmosfääris suurenenud 150 %.

Metaani kontsentratsioon tõuseb ligikaudu 1,5 % aastas,

Põhilised metaani atmosfääri paiskajad:

Riisikasvatus, kariloomad ning Siberi ja muude polaaralade igikelts.

Ka hüdroenergia põhjustab metaani heitmeid atmosfääri. Pärast maa-alade üle ujutamist eraldub sealt veel 100 aasta jooksul metaani

Metaani eluiga atmosfääris on ligikaudu 10 kuni 12 aastat

.

Dilämmastikoksiid N₂O

Dilämmastikoksiid ehk naerugaas on õhust poolteist korda raskem, värvitu, mittesüttiv gaas, millel on kergelt magus lõhn ja maitse.

Reageerib veega

Kasutatakse meditsiinis tuimasti ja valu vaigistajana.

On tugev osooni lõhustaja atmosfääris

N₂O sulamistemperatuur on -90,86 °C

N₂O keemistemperatuur on -88,48 °C

2020. a. oli kontsentratsioon atmosfääris 333 ppb

N₂O kontsentratsioon atmosfääris tõusis eelnevatel kümnenditel kiirusega 1 ppb aastas, millest 40 % on inimõjuline.

Kestus atmosfääris 114 aastat.

CCl_2F_2 Diklorodifluorometaan

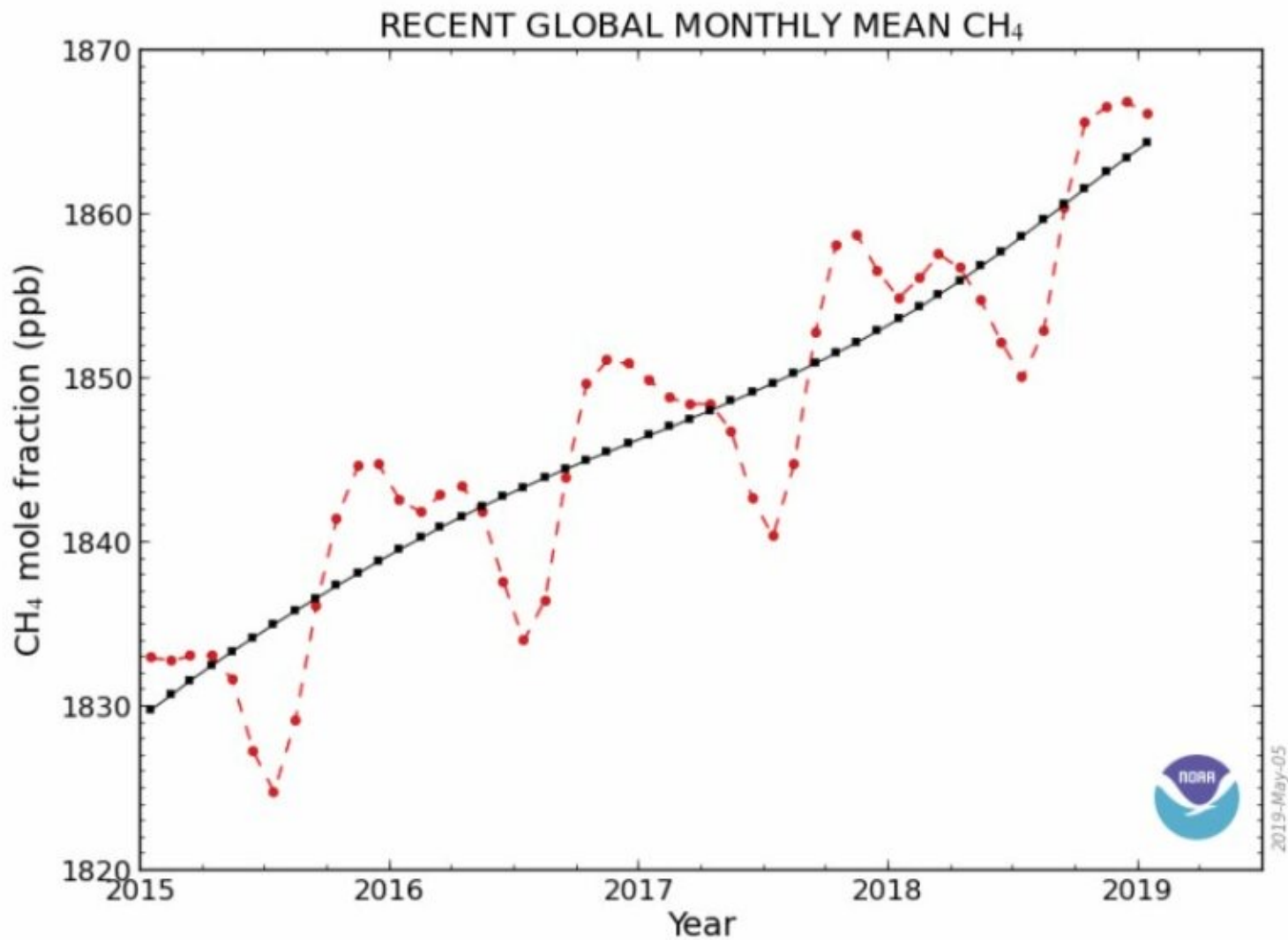
Freoon 12

Tihedus 1490 kg/m^3

Keemistemperatuur $-29,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Lahustub vees

Kestus atmosfääris 100 aastat



**Globaalne keskmine metaani hulk atmosfääris
Aastaga on kasvanud 10,77 ppb. NOAA andmed**

Metaani spektraalsed kiirgus/neeldumis ribad

| Galašev | Edwards |
|----------------|----------------|
| μm | μm |
| 11,49 | |
| 10,3 | |
| 8,5 | |
| 7,56 | 7,65 |
| | 3,31 |
| | 2,7 |

Metaani eksperimentaalne mustsusaste

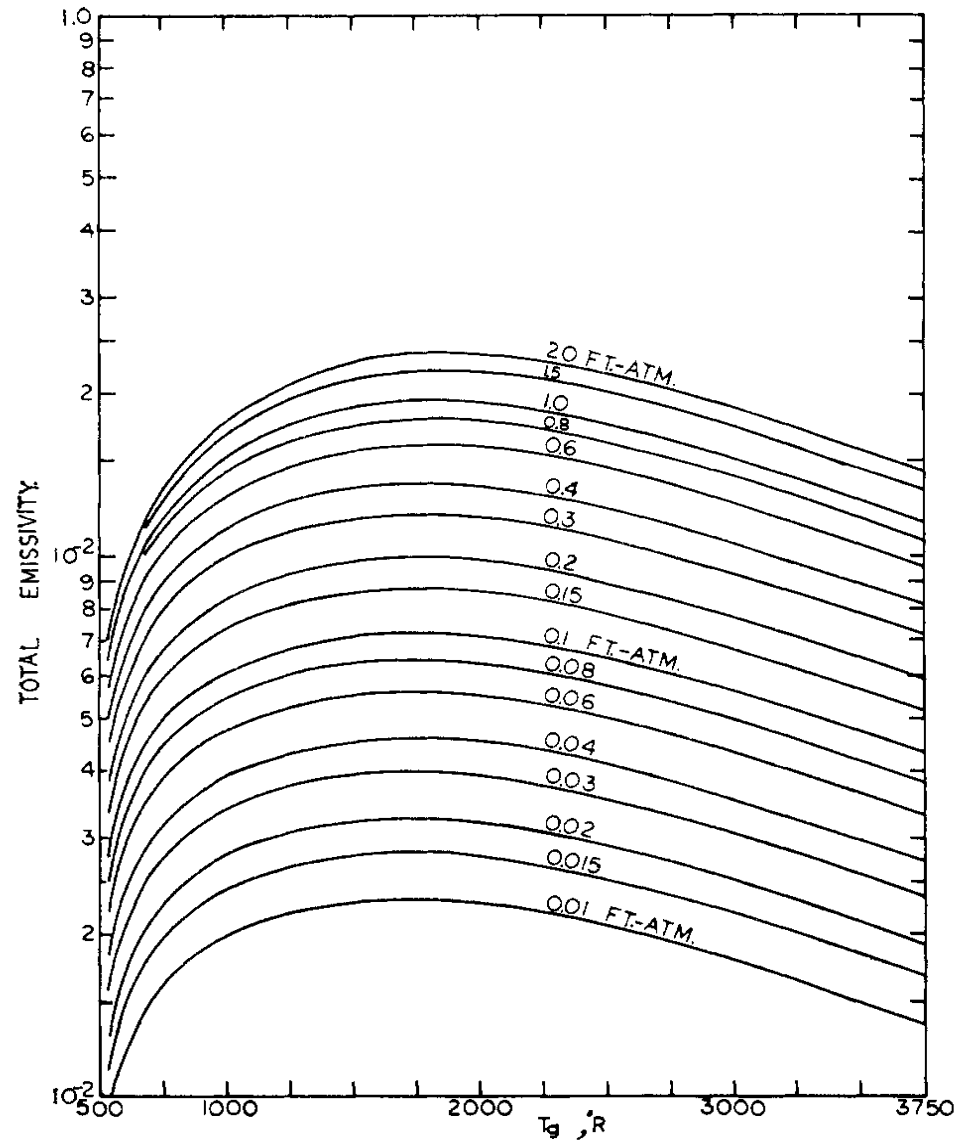


Figure 6. Total emissivity of methane

CO₂ eksperimentaalne mustsusaste

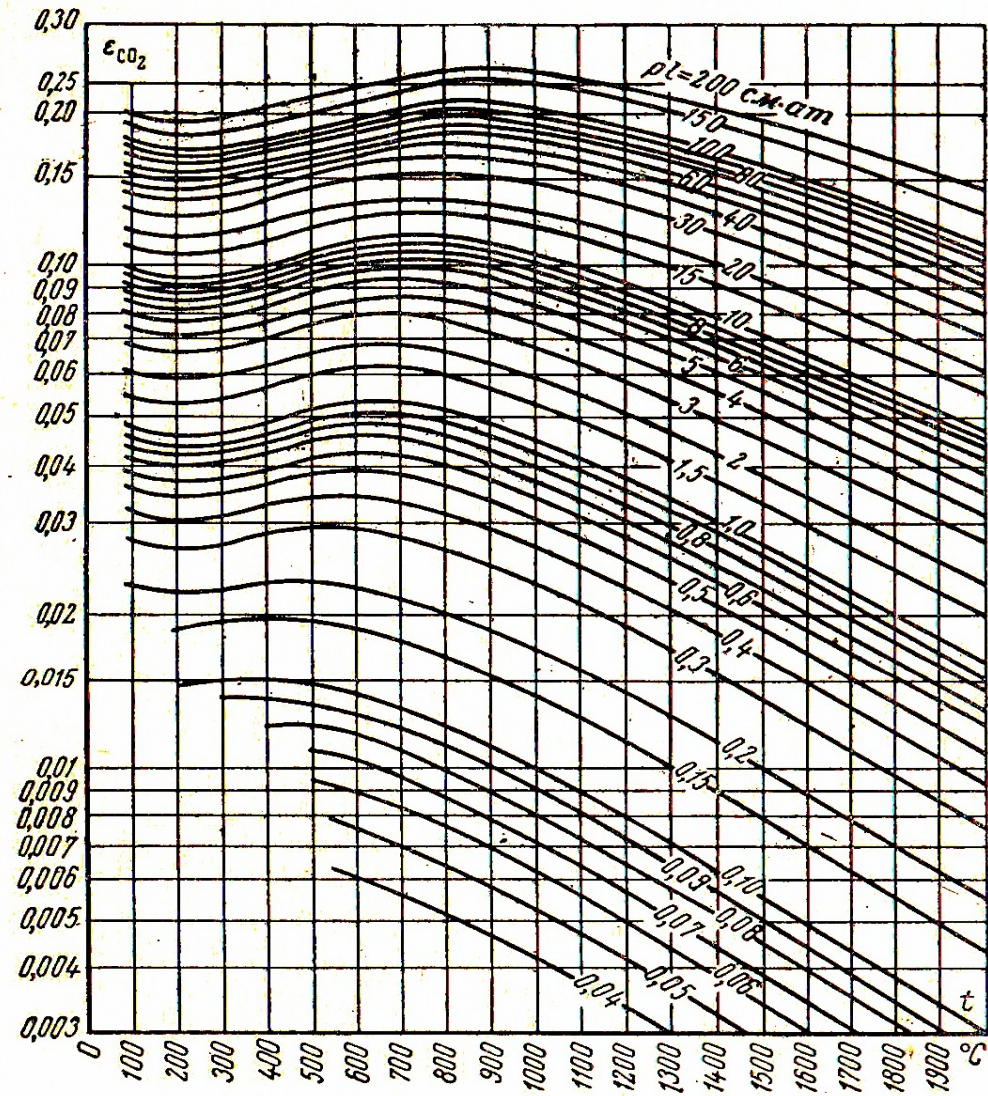


Рис. 17-4. Степень черноты в зависимости от температуры для CO₂.

Veeauru eksperimentaalne mustsusaste

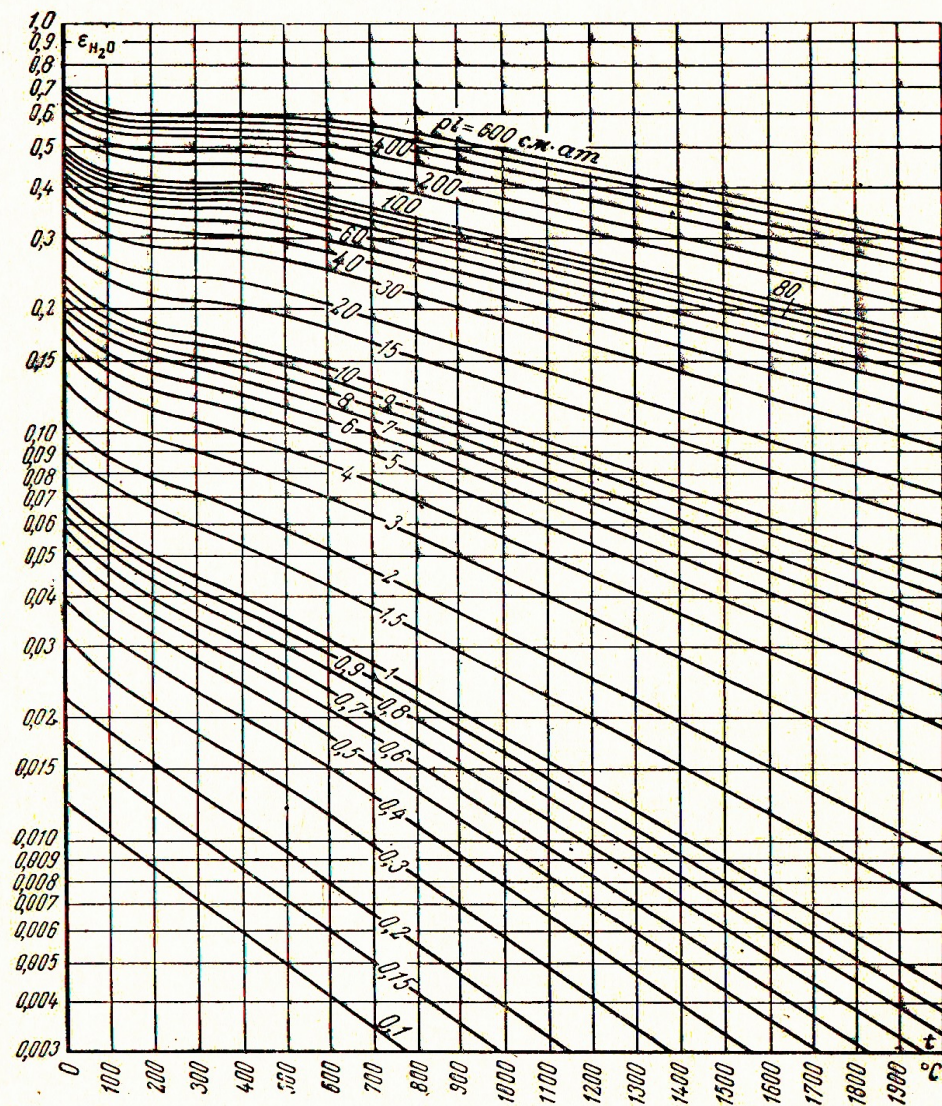


Рис. 17-3. Степень черноты в зависимости от температуры для H_2O .

Arvutused

Edwards'i laia riba eksponentmudeliga

**CO₂ ja veauru neeldumisvõime
võrdlemiseks atmosfääri tingimustes**

Gaaside kiirguse täpne arvutamine nõuab kõigi kiirgusjoonte arvesse võtmist, neid on aga 4000÷400000. Suure arvutustöö tõttu loobuti varem spektrijoonte detailsest vaatlemisest ja kasutati nn. ribamudeleid. Ribamudelid on lihtsustatud matemaatilise struktuuriga hüpoteetilised mudelid, kus reaalse spektririba omadused esitatakse viisil, mis tagab minimaalse arvutustööde mahu. Üldjuhul mudel koosneb spektrijoonte hulgast mingis spektrivahemikus, mille omadused sõltuvad joonte intensiivsusest, kujust, arvust ja jaotusest.

Reaalsete gaaside korral on tarvis teada riba parameetrite sõltuvust temperatuurist, kiirgava gaasi partsiaalrõhust, gaasisegu kogurõhust ja kiire tee pikkusest.

Käesoleval ajal võimaldab arvutite võimsus vaadelda gaaside kiirgust spektrijoonte kaupa. Üheks andmebaasiks on **HITRAN**.

Gaasisegu koosneb kolmest komponendist

1. Neutraalne, läbipaistev gaas

2. Vee aur kontsentratsiooniga 0,008

3. CO₂ kontsentratsiooniga 0,00037

Gaasisegu temperatuur on 8,6 °C

Kogurõhk 1 kG/cm²

Veeauru ja CO₂ kiirgus- neeldumisribad

spektrivahemikus 1 kuni 100 μm,

kuhu mahub 99,5 % AMK kiirgusest

temperatuuril 14 °C

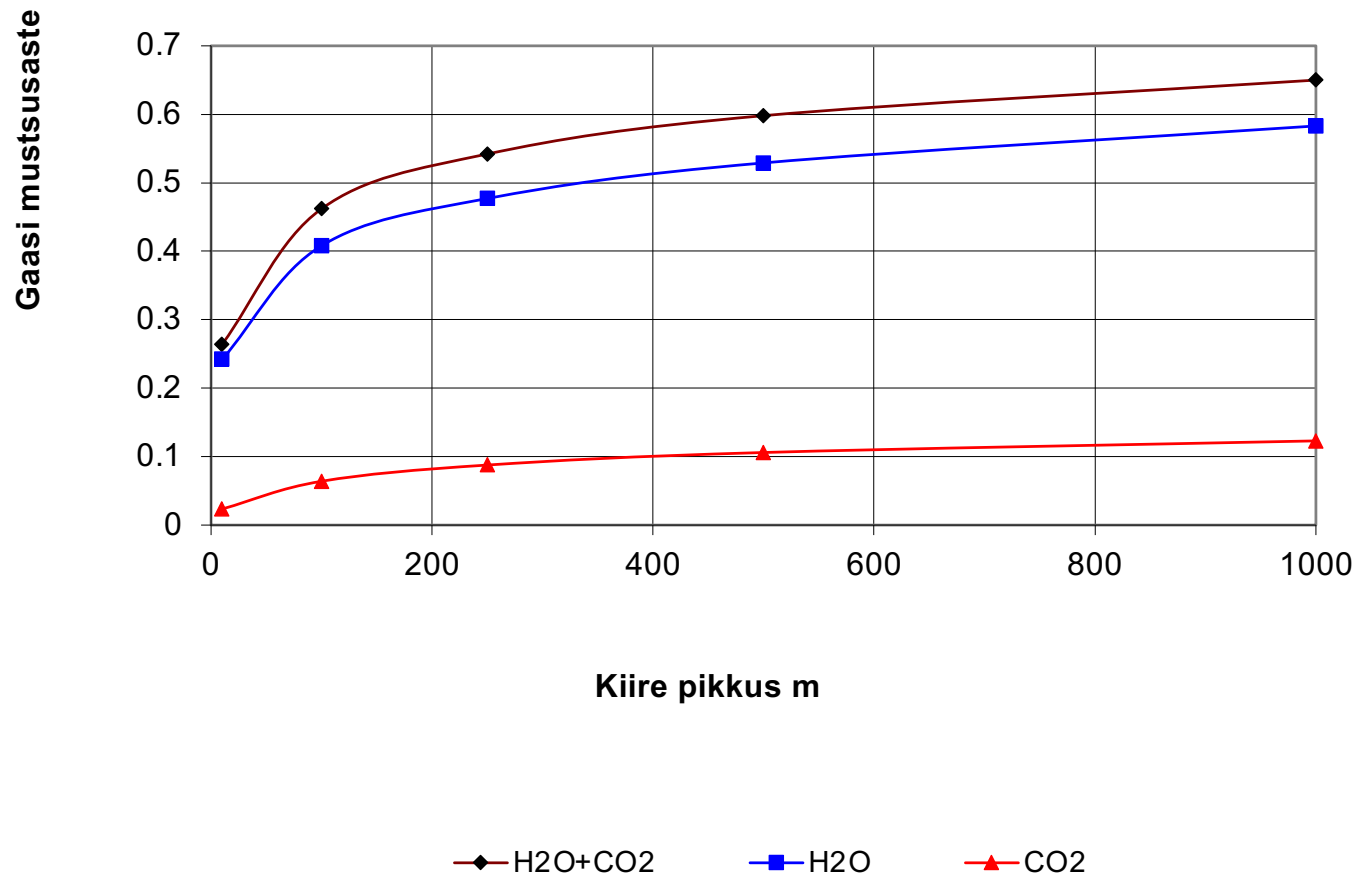
Atmosfääri mustsusaste ühe kilomeetri ulatuses sõltuvalt gaasisegu koostisest ja kiire pikkusest.

Temperatuur 8,6 °C

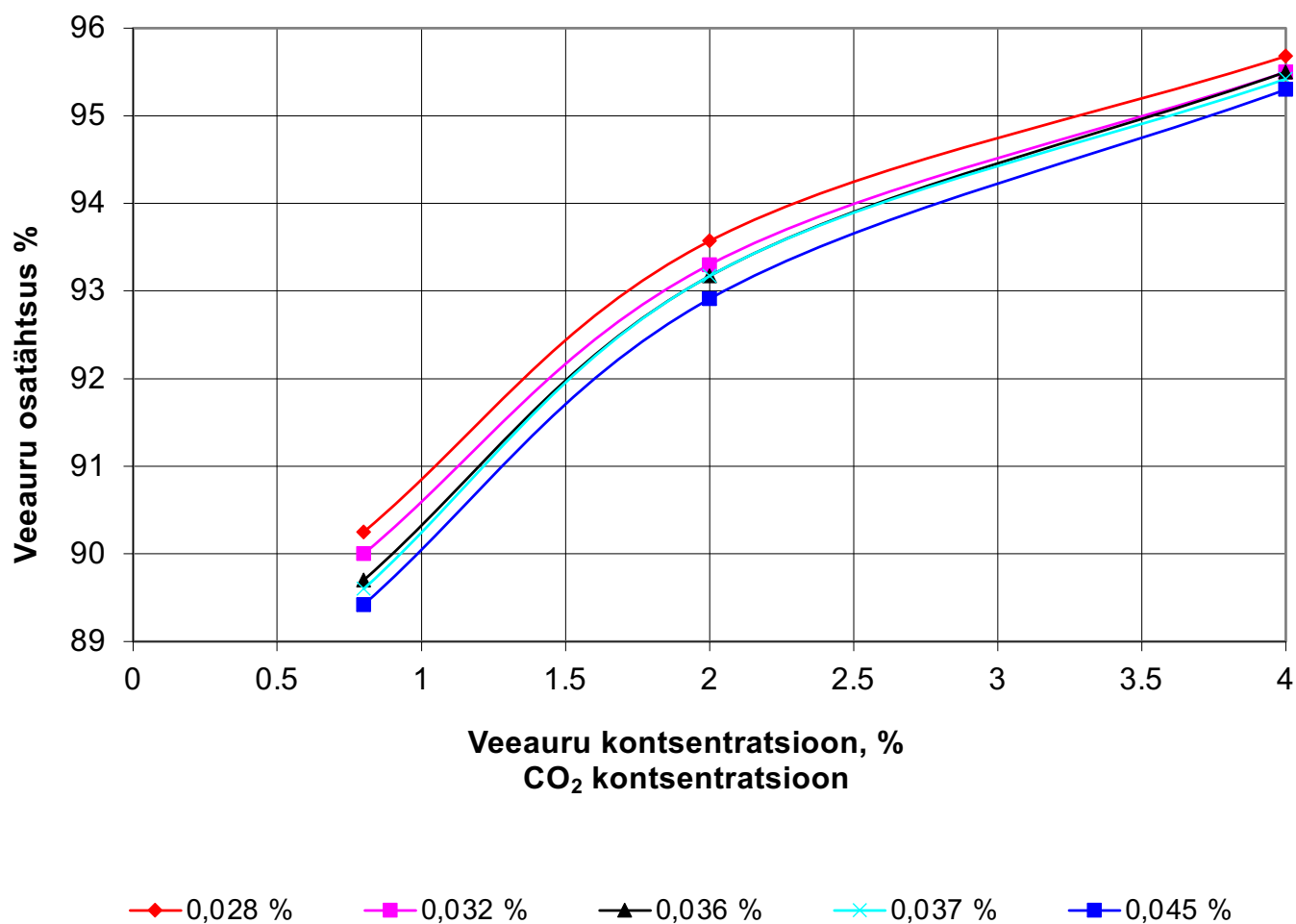
Kogurõhk 1 kG/cm²

Veeauru osamaht 0,008

CO₂ osamaht 0,00037



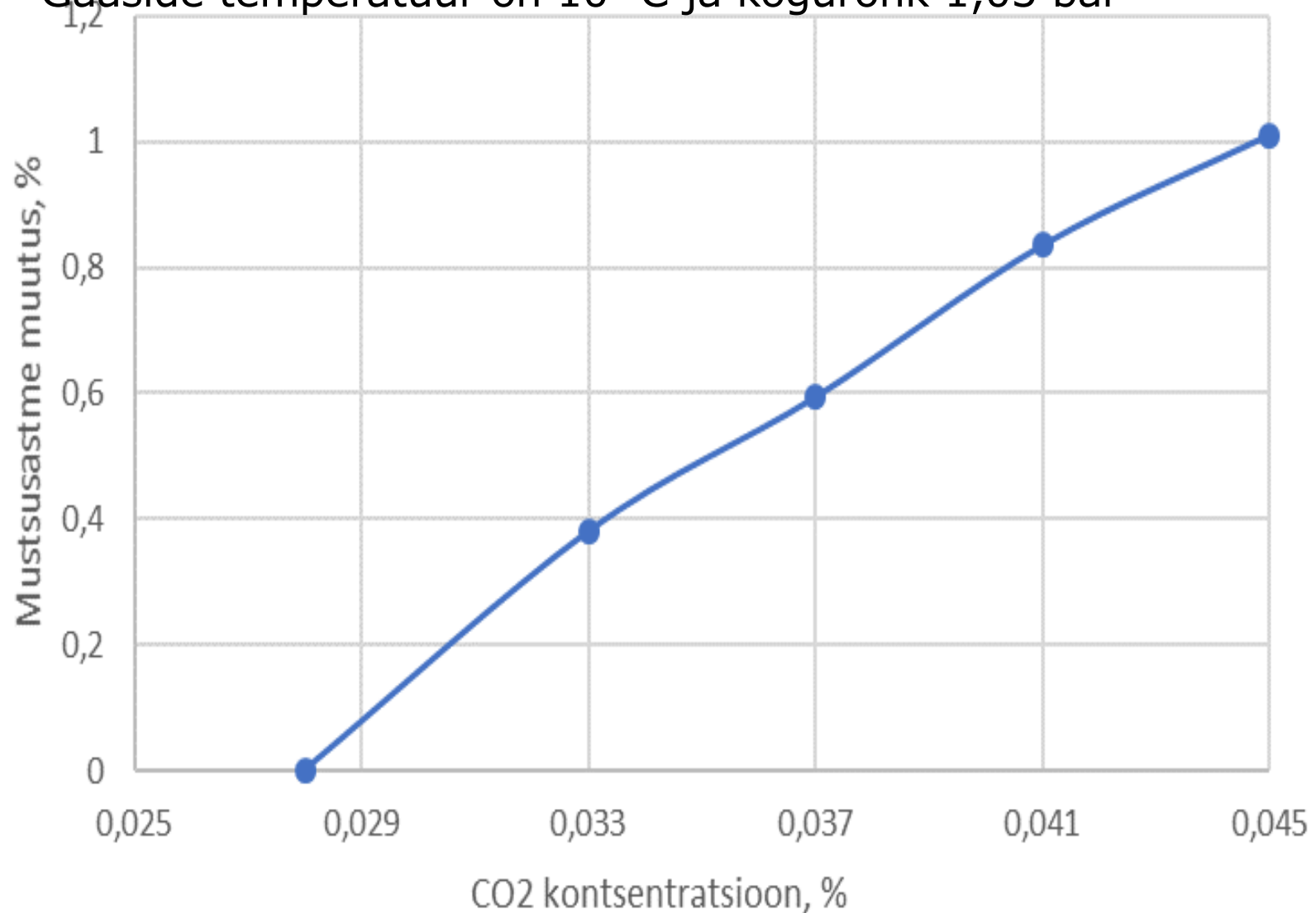
Veeauru suhteline panus 1 km paksuse gaasikihi mustsus-
astmele sõltuvalt tema enda ja CO₂ kontsentratsioonist,
Gaasi kogurõhk on 1 kG/cm², temperatuur 8,6 °C



Süsihappegaasi osamahu suurenemise mõju kolmekomponendilise gaasisegu mustsusastmele

H₂O osamaht 0,8 %, kiire tee pikkus 1000 m.

Gaaside temperatuur on 10 °C ja kogurõhk 1,03 bar



Puit ja CO₂

Ühe soojusühiku saamisel eraldub puidu põletamisel 1,8 korda rohkem CO₂ kui maagaasi põletamisel.

Kui põlevkivi kütteväärtuseks võtta 8,1 MJ/kg, siis eraldub põlevkivi põletamisel 1,2 korda rohkem CO₂ kui puidu põletamisel.

Kui põlevkivi kütteväärtuseks võtta 10 MJ/kg, siis eraldub põlevkivi põletamisel sama palju CO₂ kui puidu põletamisel.

Nendes hinnangutes on puidu niiskus 20 % ja kütteväärtus 14 MJ/kg.

Milanković

Maa orbiidi ekstsentrilisus 0,0167 muutub vahemikus 0,005÷0,058 perioodiga 100 ka.

Maa ekvaatori tasapinna kaldenurk orbiidi tasandi suhtes 23,44° muutub vahemikus 22,1°÷24,5° perioodiga 41 ka

Pretsessioon, Maa telje siht muutub perioodiga 23 ka.

Ühe kuu keskmine langev kiirgushulk juulis põhjalaiusel 65° kõigub vahemikus 388 W/m²÷502 W/m² perioodidega 19 ka, 22 ka, 24 ka ja 41 ka

Ühe kuu keskmine langev kiirgushulk jaanuaris lõunalaiusel 65° kõigub vahemikus 388 W/m²÷498 W/m² perioodidega 19 ka, 22 ka, 24 ka ja 41ka

Berger, A., Loutre, M.F. (1991) Insolation values for the climate of the last 10000000 years. Quaternary Science Reviews, 10, 297-317

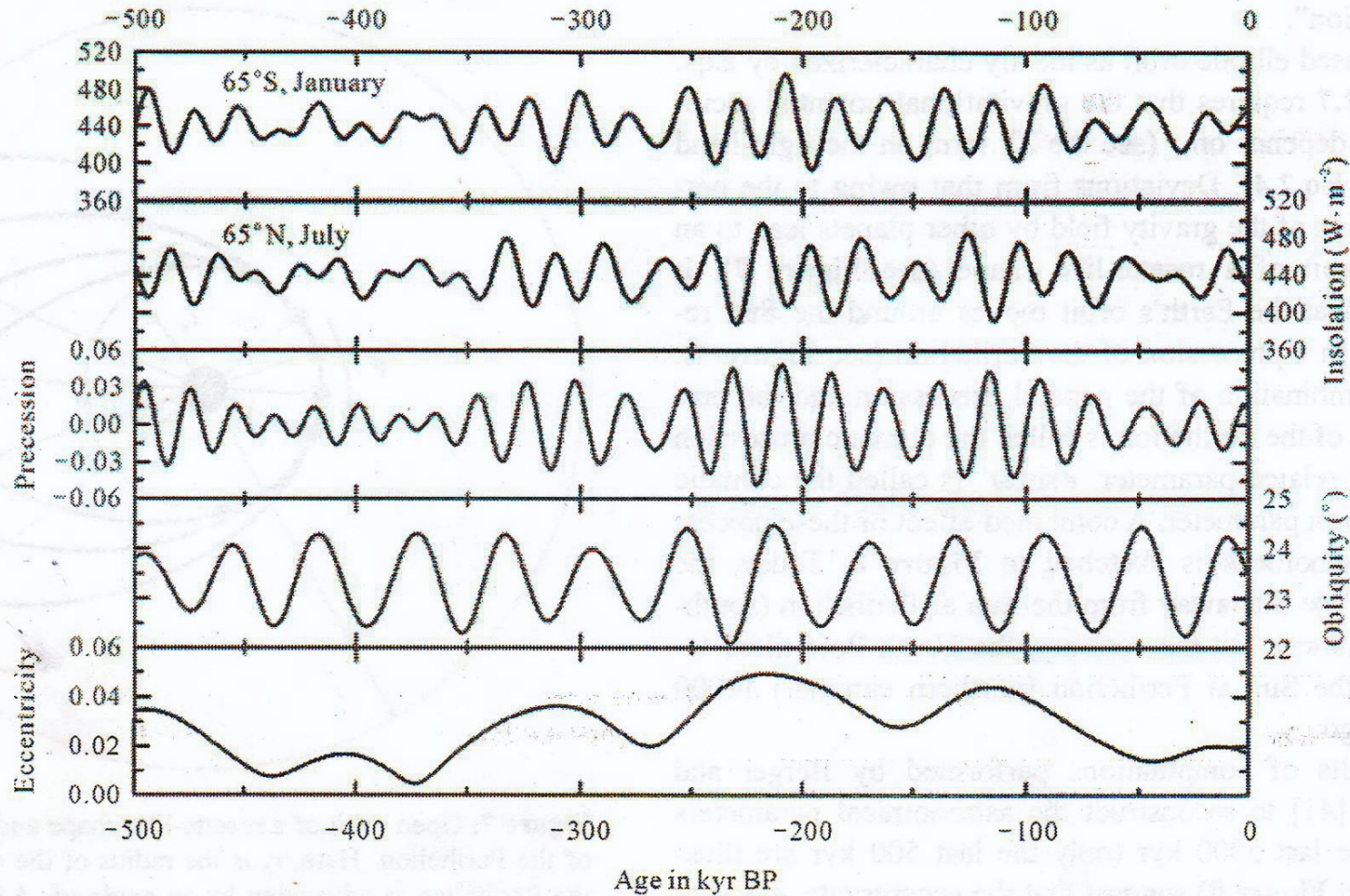


Figure 9. Long-term variations of eccentricity, obliquity, climatic precession (characterized by the climatic precession parameter, $e \sin \varpi$), the mid-month insolation for the latitudes 65°N , July and 65°S , January, from 500 kyr BP to present (1950.0 A.D.). Note that a solar constant of $S = 1360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ was considered (all data are taken from Berger and Loutre [41,105]).

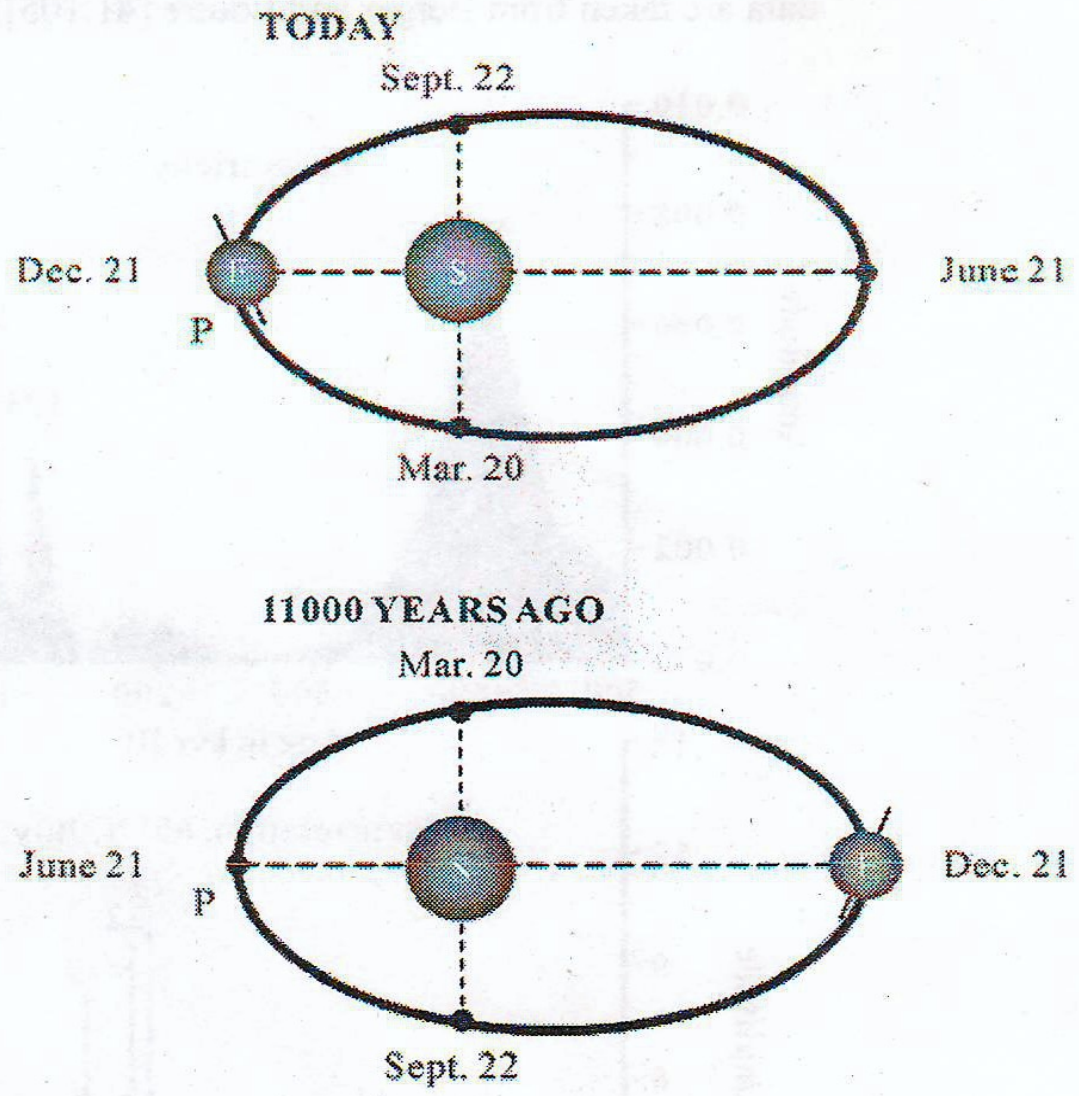


Figure 8. Combined effect of the precession phenomena (with reference to Crowley and North [36]). The symbol P stands for the Perihelion.

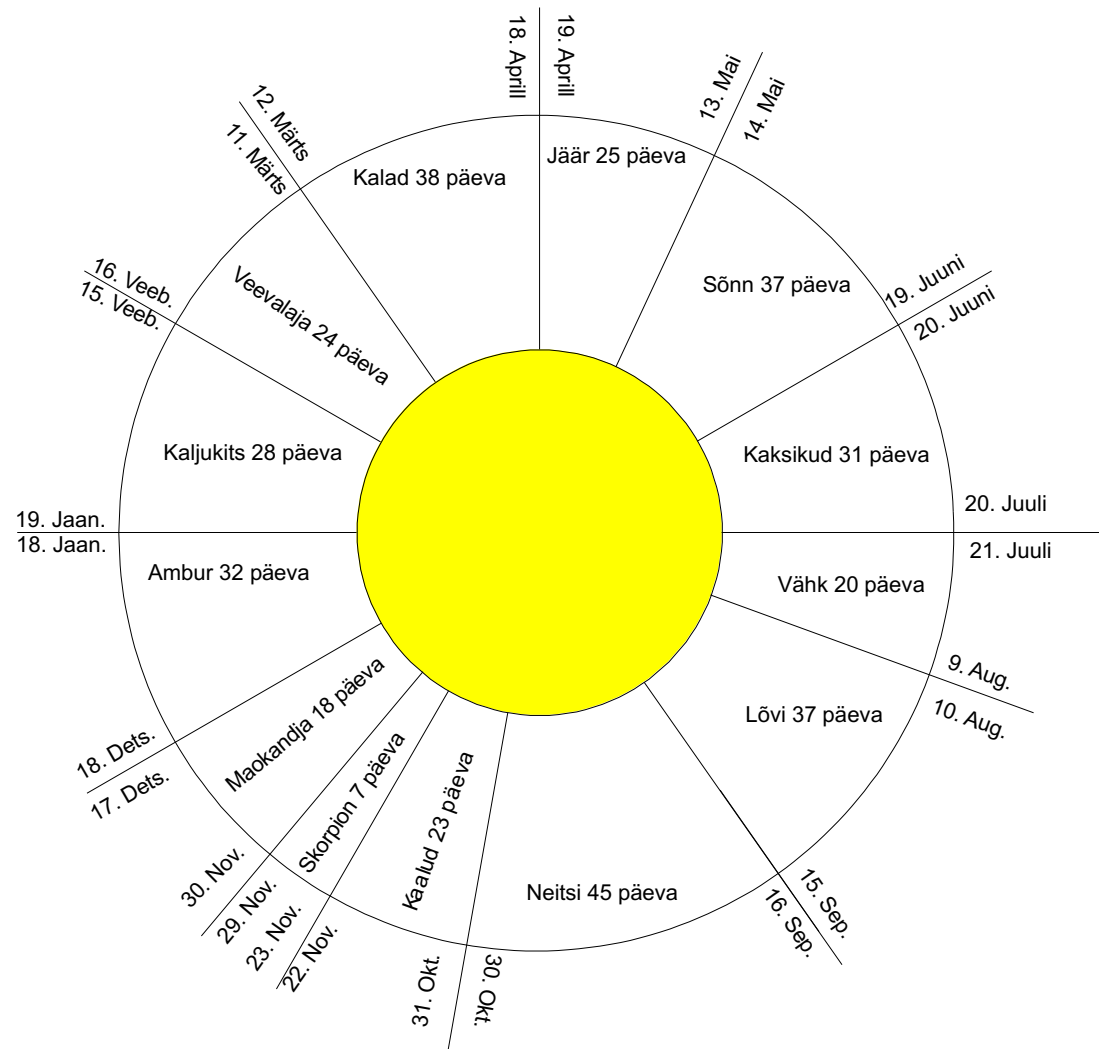
Kas kütame ilma soojaks?

Atmosfääri temperatuuri tõstmiseks 1 K võrra on tarvis $5,2 \cdot 10^{18}$ kJ ehk $5,2 \cdot 10^{15}$ MW.

Selleks on tarvis $2 \cdot 10^{12}$ soojuselektrijaama elektrilise võimsusega 1000 MW kasuteguriga 0,4.

Kui Maa temperatuur tõuseb 1 K võrra, siis suureneb Maa kiirgus ilmaruumi $2,5 \cdot 10^9$ MW

Tähtkujud, mida ekliptika läbib



24 Sodiaagi tähtkujud, mida Päike, Kuu ja Planeedid läbivad

Jäär, Sõnn, Orion, Veomees, Kaksikud, Väike Peni, Vähk, Hüdra, Lövi, Sekstant, Karikas, Kaalud, Skorpion, Maokandja, Madu, Ambur, Kilp, Kaljukits, Veevalaja, Vaal, Kalad, Pegasus

Täna tähelepanu eest