

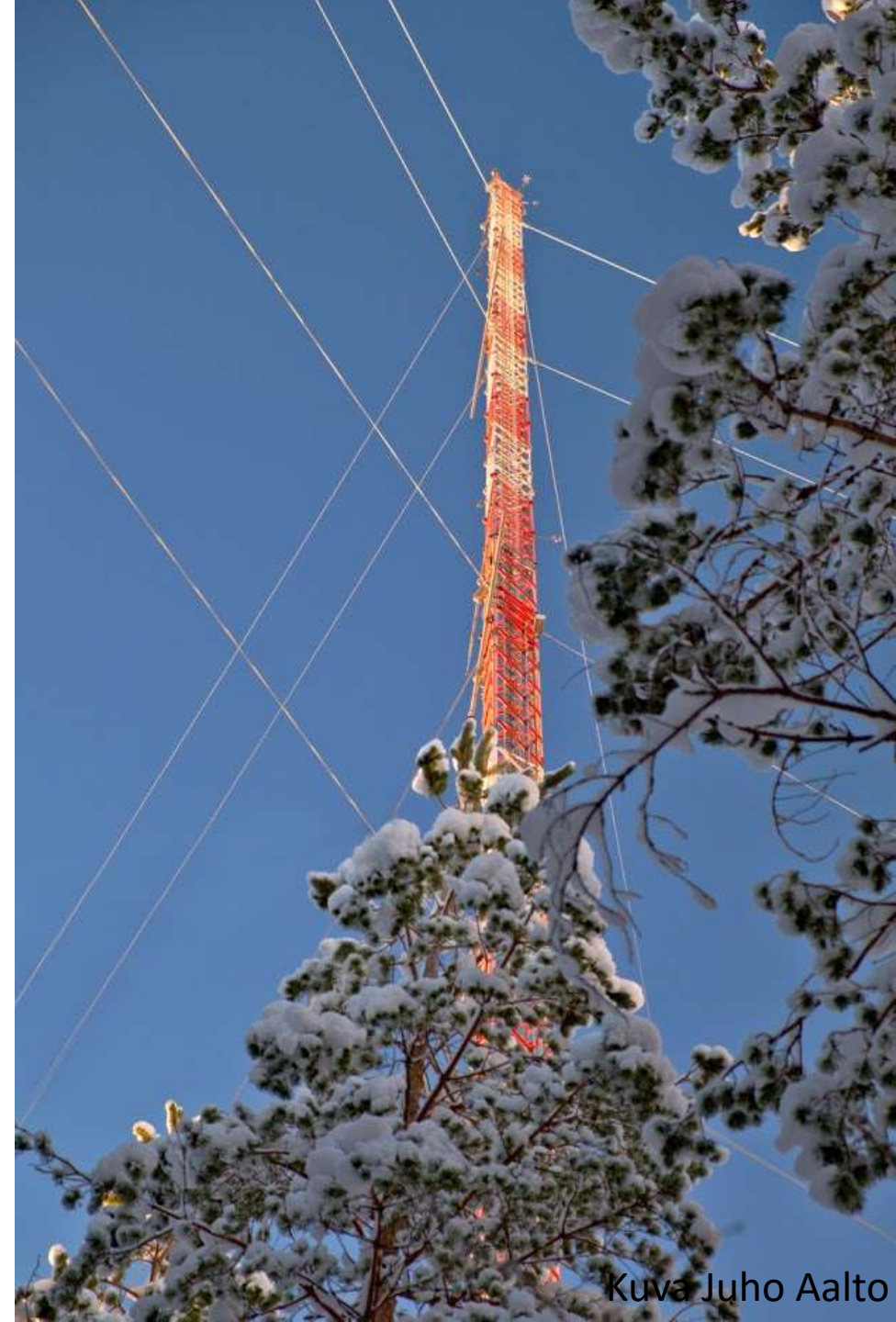
Ilmastonmuutos ja Suomen metsät

18.9.2021 Pauliina Schiestl-Aalto



Sisältö

1. Ilmastonmuutoksen perusteet
2. Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsiin
3. Metsien vaikutukset ilmastonmuutokseen
4. Metsien ja ilmakehän välisten vuorovaikutusten tutkiminen ja mittaaminen



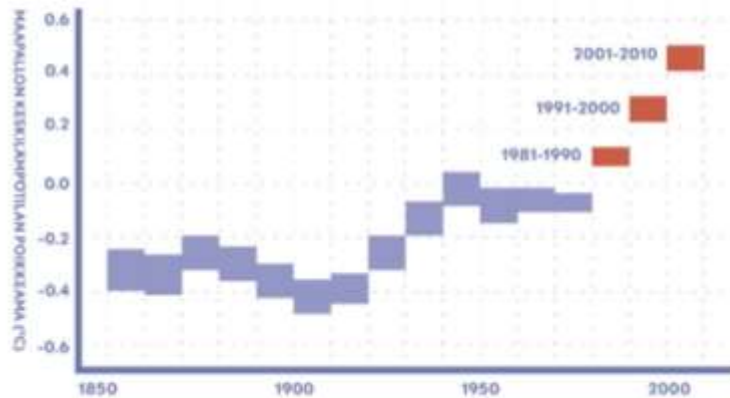
1. Ilmastonmuutoksen perusteet



Lämpötila:

Maailmanlaajuisesti

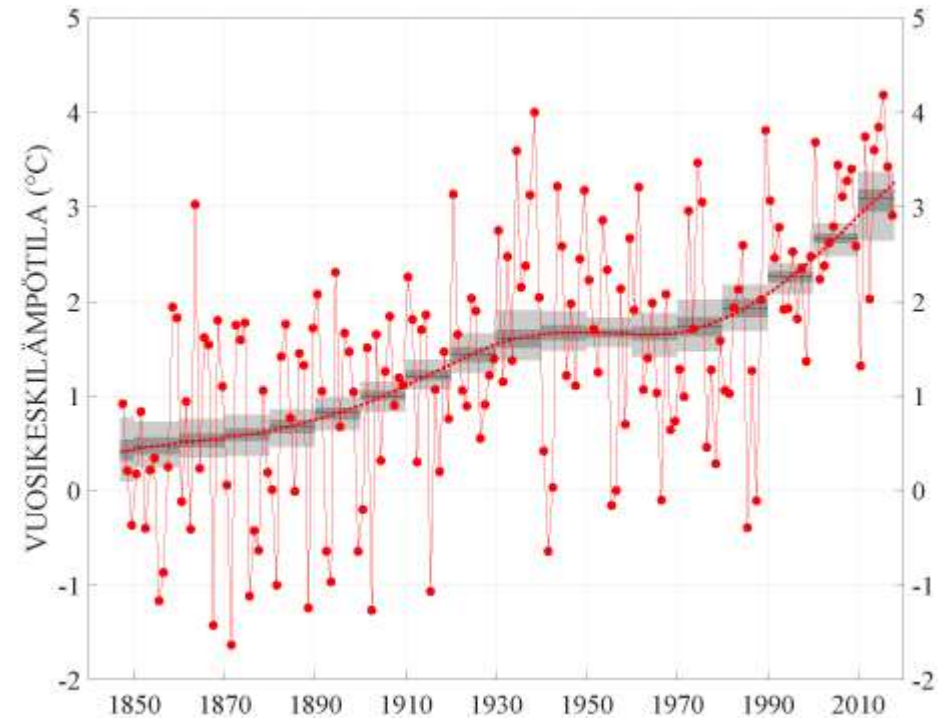
JOKAINEN KOLMESTA EDELLISESTÄ VUOSIKYMMENESTÄ ON OLLUT LÄMPIMÄMPI KUIN MIKÄÄN AIKAISEMPI VUOSIKYMMEN VUODESTA 1850 LÄHTIEN.



MAAPALLON KESKILÄMPÖTILA ON KOHONNUT

↑ **+0,85 °C**
1880-2012

Suomessa



Kasvihuonekaasut:

KASVIHUONEKAASUPITOISUUDET OVAT LISÄÄNTYNEET VUODESTA 1750.

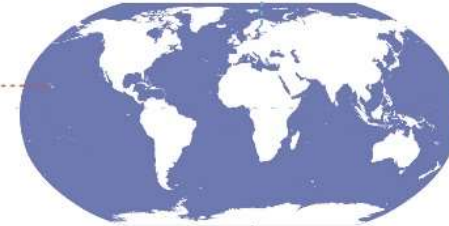


Teollistumista edeltävästä ajasta nykyaikaan.

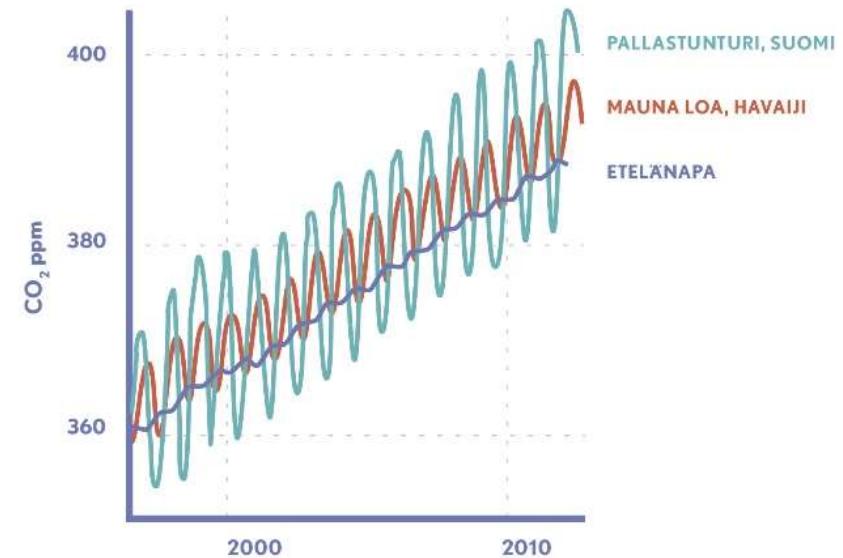
ILMAKEHÄN HIILIDIOKSIDIPITOISUUDEN KEHITYS:

PALLASTUNTURI, SUOMI

MAUNA LOA, HAVAIJI



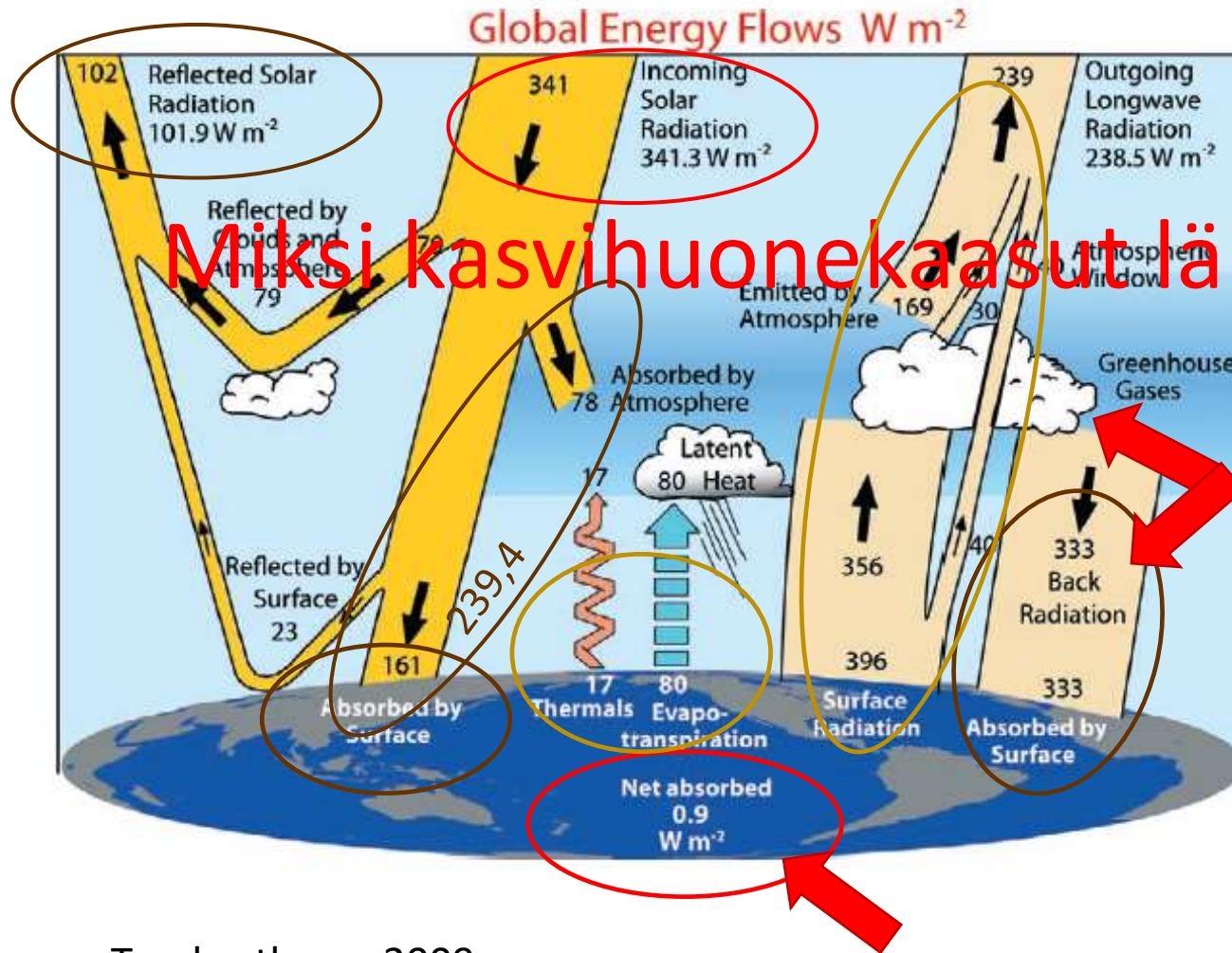
ETELÄNAPA



Perustuu IPCC:n 5. arviointiraportin WG1-osaraportin tietoihin.

Pallaksen lukuarvojen lähde: Ilmatieteen laitos

Globaali säteilytase:



*ENERGIA*auringosta

= *ENERGIA*heijastunut + *ENERGIA*maapallolle

Miksi kasvihuonekaasut lämmittävät maapalloa?

*ENERGIA*maapallolle

= *ENERGIA*ulos + *ENERGIA*jäävä

Säteilypakote:

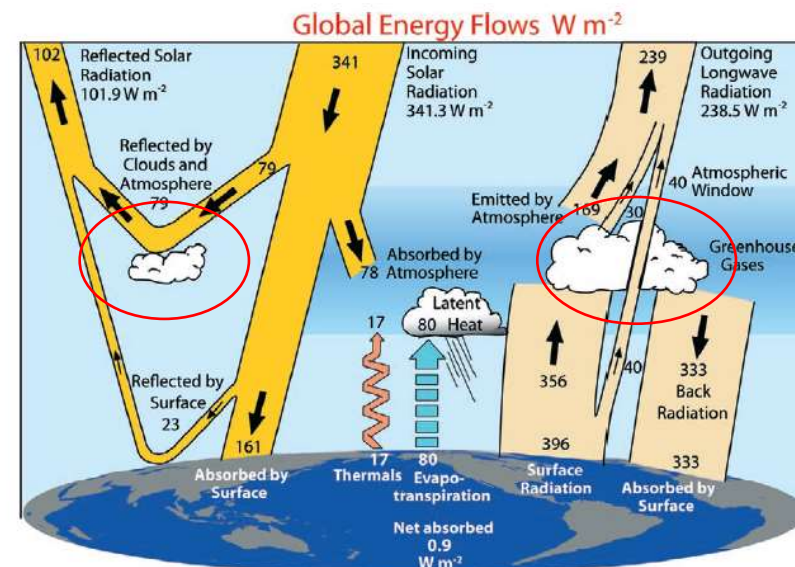
ILMASTOA LÄMMITTÄVIEN JA VIILENTÄVIEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS



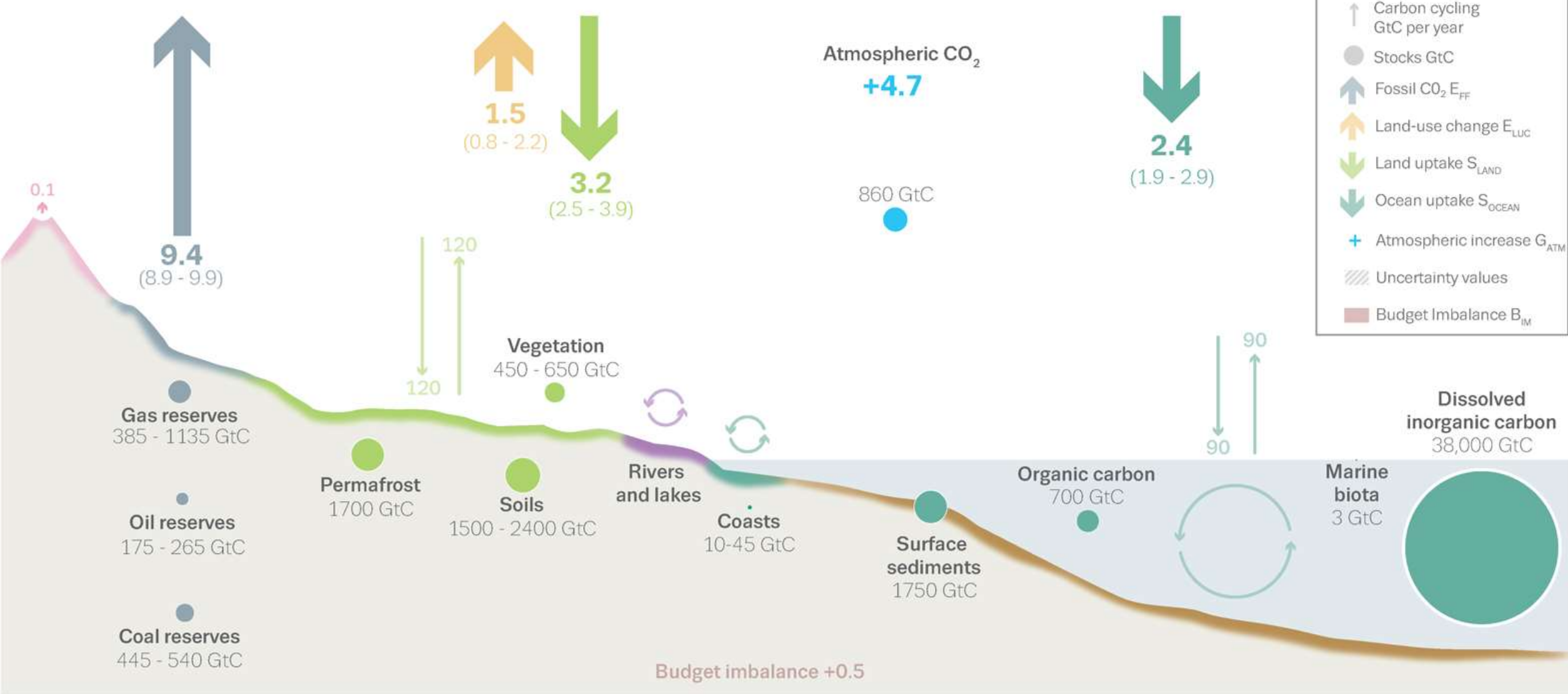
! Säteilypakotteella kuvataan maapallolle tulevan ja sieltä lähtevän säteilyn välistä eroa. Positiivisen säteilypakotteen vaikutus on ilmastoa lämmittävä, negatiivisen viilentävä.

- Lisäksi lämpötila heilahtelee satunnaisesti $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ilma luonnollisista vaihteluista johtuen.
- Muista pienhiukkasista poiketen noki eli musta hiili lämmittää ilmastoa.

Perustuu IPCC:n 5. arviointiraportin WG1-osaraportin tietoihin.

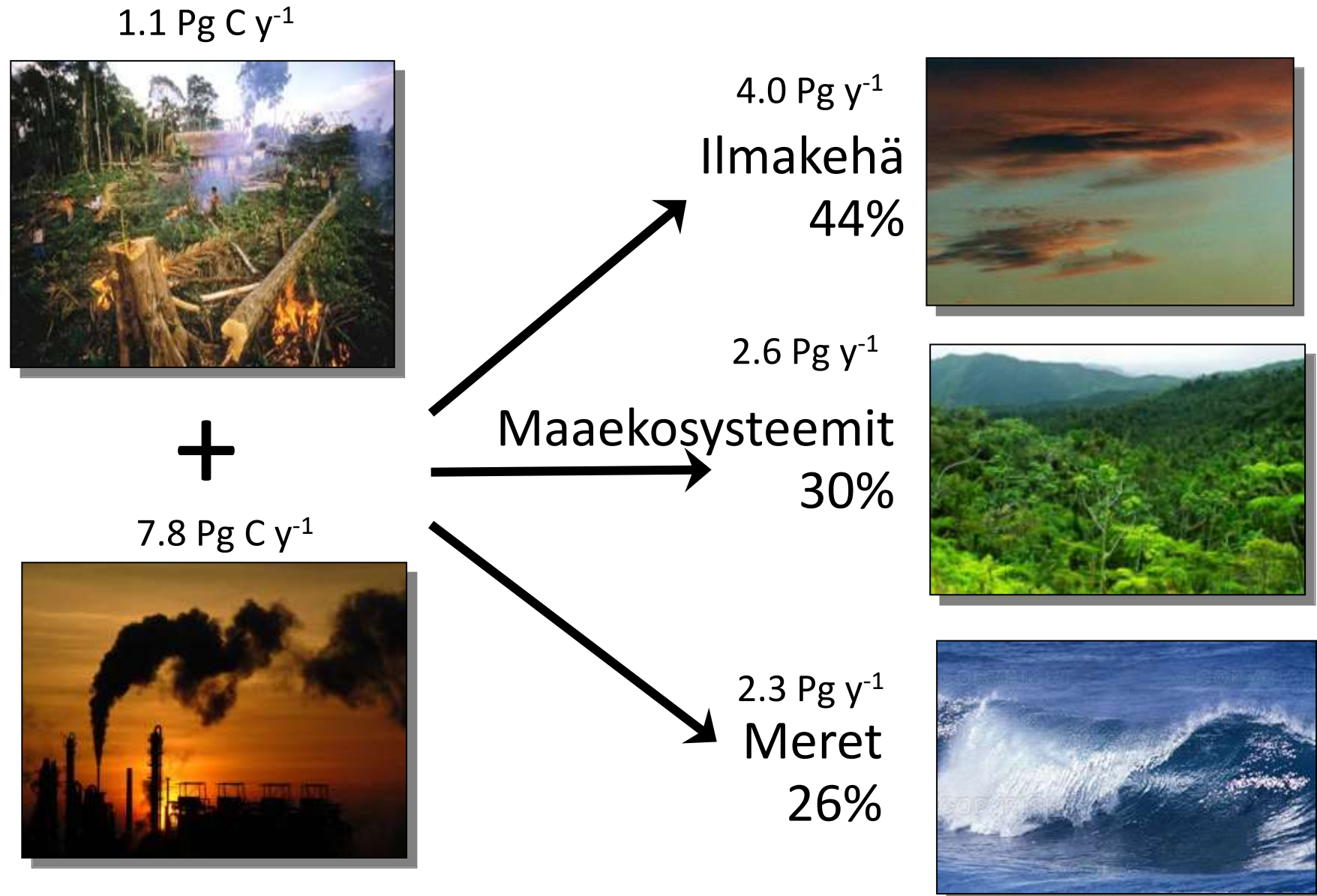


The global carbon cycle



- Anthropogenic fluxes 2008-2017 average GtC per year
- Carbon cycling GtC per year
- Stocks GtC
- Fossil CO₂ E_{FF}
- Land-use change E_{LUC}
- Land uptake S_{LAND}
- Ocean uptake S_{OCEAN}
- Atmospheric increase G_{ATM}
- Uncertainty values
- Budget Imbalance B_{IM}

Ilmastonmuutos ja hiilen nielut



Ilmastonmuutoksen vaikutukset globaalisti

Maapallon keskilämpötilan väliaikainenkin nousu yli 1,5 asteen aiheuttaa muutoksia, joista osa on pysyviä.

VÄLIAIKAISTA VAHINKOJA

Sään ääri-ilmiöt yleistyvät



Kuumuuden terveyshaitat lisääntyvät



Maatalous ja kalastus vaikeutuvat



Pohjautuu IPCC:n 1,5 asteen raportin tuloksiin. © Ilmatieteen laitos ja ympäristöministeriö, 2018. Ilmasto-opas.fi.

PERUUTTAMATONTA VAHINKOJA

Koralliriuttoja tuhoutuu



Lajeja kuolee sukupuuttoon



Jäätiköt sulavat, rannikotulvat yleistyvät



Maailman köyhät kokevat ilmastonmuutoksen pahimmat seuraukset.



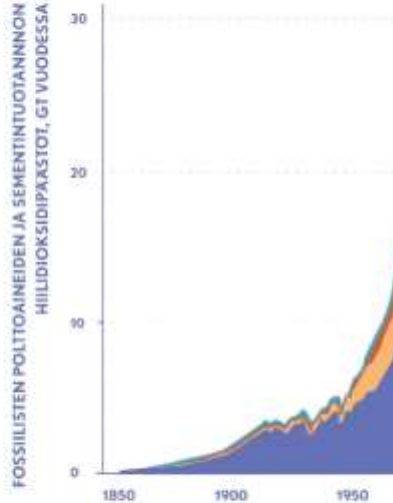
Pohjautuu IPCC:n 1,5 asteen raportin tuloksiin. © Ilmatieteen laitos ja ympäristöministeriö, 2018. Ilmasto-opas.fi.

An atlas of pollution: the world in carbon dioxide emissions

Maailman hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet huomattavasti vuodesta 1990.

Latest data published by the US Energy Information Administration provides a unique picture of economic growth - and decline. China has sped ahead of the US, as shown by this map, which reuses each country according to CO2 emissions. And, for the first time, world emissions have gone down.

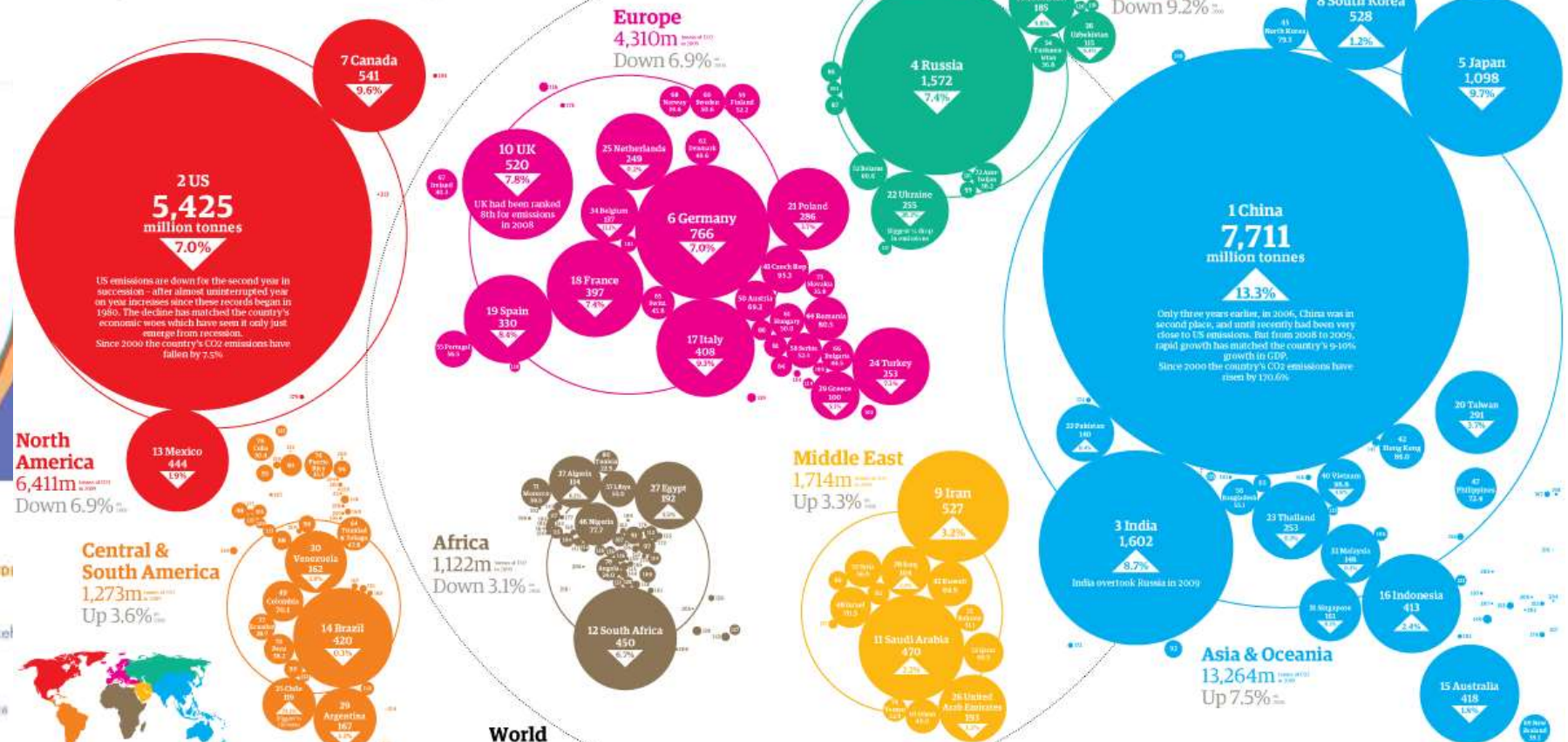
FOSSILISETEN POLTTOAINEIDEN JA SEMENTTITUOTANNON HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT, GT VUODESSA



■ OECD 1990 ■ SIIRTYMÄTALOUDI
Gt = miljardia tonnia
OECD = Taloudellisen yhteistyön ja keh.

Perustuu IPCC:n 5. arviointiraportin WG3-osaraportin tietoihin. VTT ja ympäristöministeriö

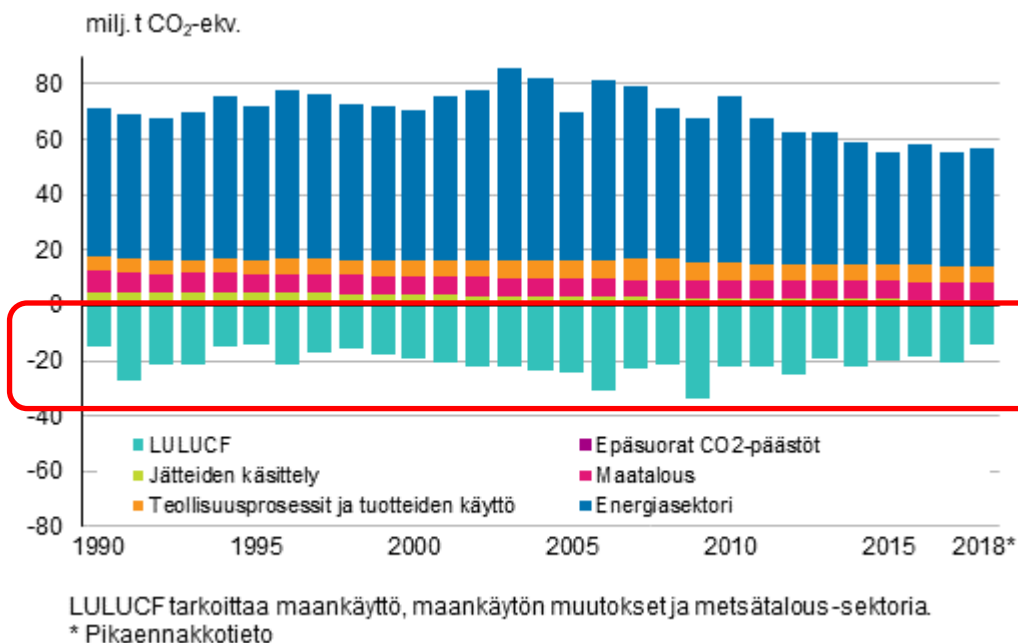
Ilmasto-opas.fi



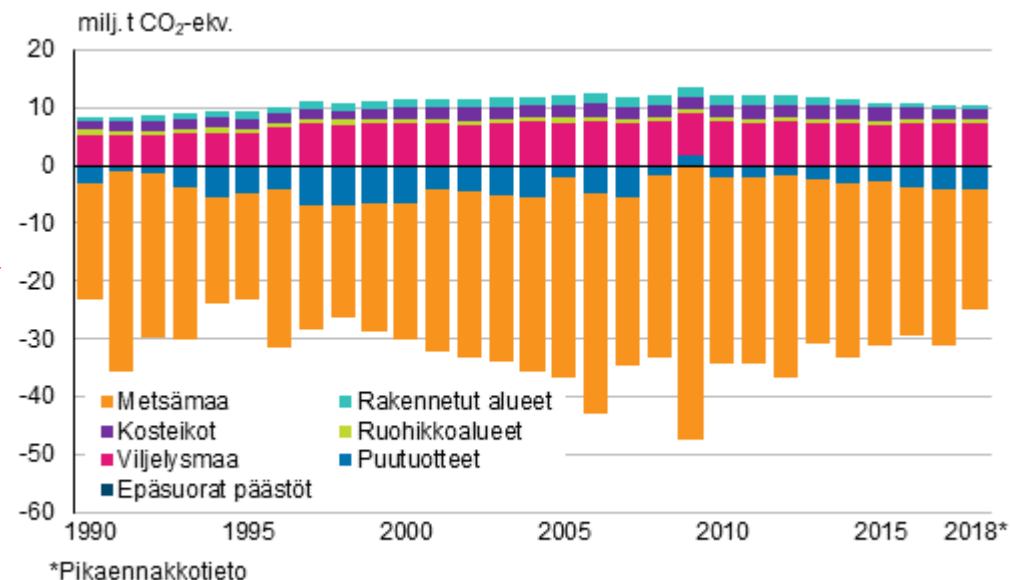
Detailed data
Full list of each country's CO2 emissions and movement in the world emissions league table

Rank	Country	Million tonnes	Percent change	Rank	Country	Million tonnes	Percent change	Rank	Country	Million tonnes	Percent change	Rank	Country	Million tonnes	Percent change
1	China	7,711	13.3%	11	Canada	541	9.6%	21	Poland	296	3.1%	31	Ukraine	253	2.0%
2	USA	5,425	7.0%	12	South Africa	450	0.3%	22	Ukraine	253	2.0%	32	Vietnam	245	1.0%
3	India	1,602	8.2%	13	Mexico	444	1.9%	23	Ukraine	253	2.0%	33	Thailand	233	0.0%
4	Russia	1,572	7.4%	14	Brazil	420	0.3%	24	Turkey	251	2.5%	34	Malaysia	148	0.0%
5	Japan	1,098	9.7%	15	Argentina	167	0.0%	25	Turkey	251	2.5%	35	Indonesia	413	2.2%
6	Germany	766	7.0%	16	UK	520	7.8%	26	Iran	527	3.3%	36	Australia	418	1.8%
7	Canada	541	9.6%	17	Italy	408	9.1%	27	Egypt	192	0.0%	37	Philippines	124	0.0%
8	South Korea	528	1.2%	18	France	397	7.8%	28	Saudi Arabia	470	0.0%	38	Malaysia	148	0.0%
9	Japan	1,098	9.7%	19	Spain	330	8.4%	29	Iran	527	3.3%	39	Indonesia	413	2.2%
10	UK	520	7.8%	20	Netherlands	249	7.8%	30	Venezuela	152	0.0%	40	Australia	418	1.8%

Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa



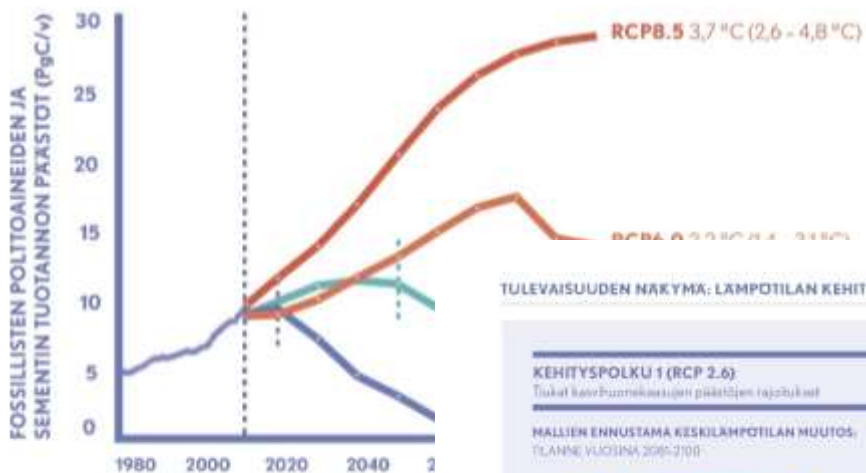
Kuvio 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat sektoreittain. Tilastokeskus.



Kuvio 3. Kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektorilla 1990–2018 (päästöt positiivisia ja poistumat negatiivisia lukuja). Tilastokeskus.

RCP-KASVIHUONEKAASUSKENAARIOT

IPCC on määritellyt uudessa raportissaan neljä uutta päästöskenaariota.

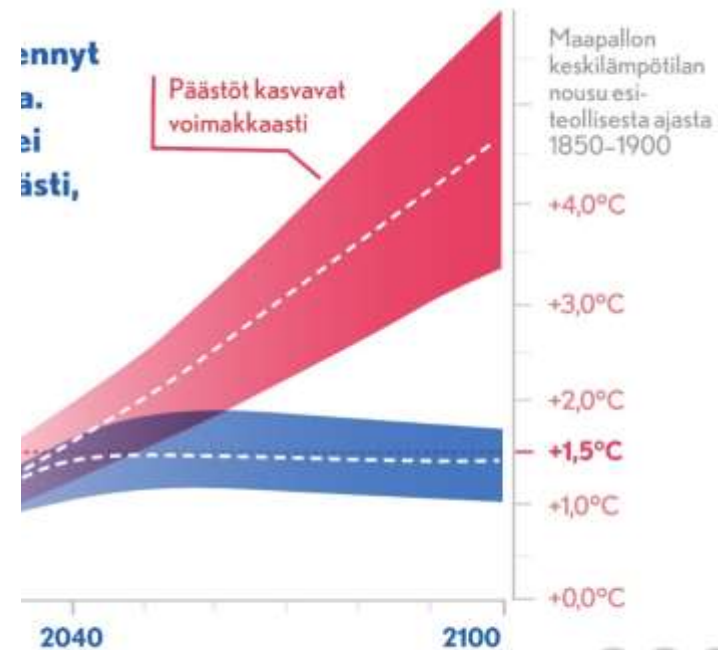
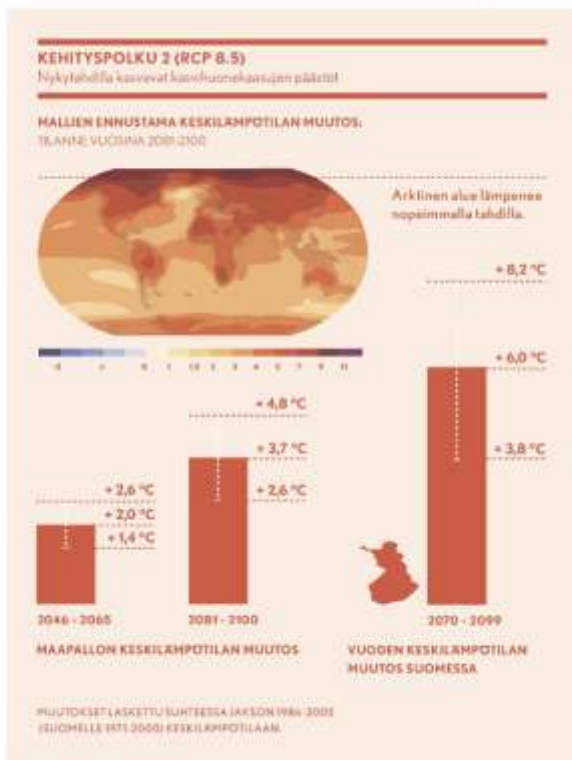
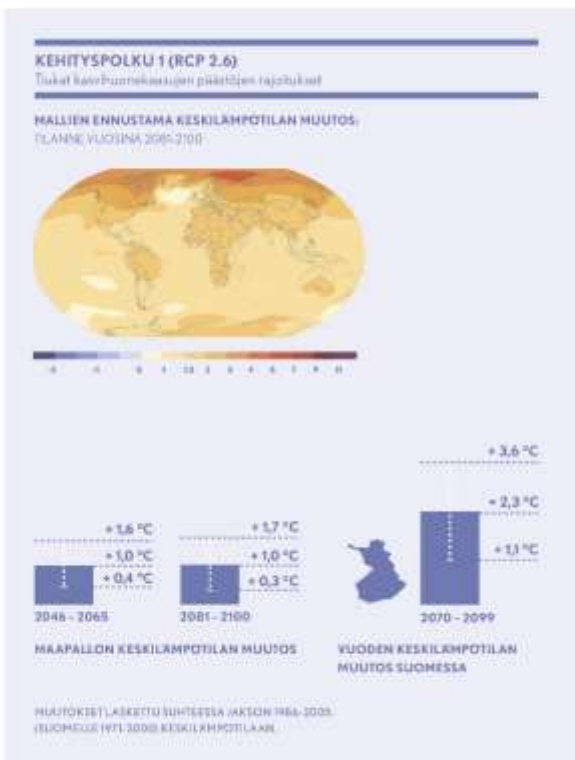


RCP8.5 3,7 °C (2,6 - 4,8 °C)

KEHITYSPOLKU 2 (RCP 8.5)
Nykytahdilla kasvavat kasvihuonekaasujen päästöt

RCP 6.0

TULEVAISUUDEN NÄKYMÄ: LÄMPÖTILAN KEHITYS



Tulevaisuutta koskevista arvioista annetaan niiden laskennallinen paras arvio ja todennäköinen luotettavuusväli. Perustuu IPCC:n B-ennustetietoon (WG1-scenariotietoihin). Suomen tulevaisuuden lämpötilatietojen laskenta.

Ilmasto- ja ympäristöministeriö, 2018. Ilmasto-opas.fi.



Hiilen nielut

“There is general agreement that the technical potential for sequestration of carbon in soil is significant, and some consensus on the magnitude of that potential

between 0.90 and 1.85 Pg C

- Zomer ym. 2017. Nature S

“The majority of studies suggest

global biophysical potential

the longer-term, if frontier technologies are successfully deployed, the

global estimate might grow to 8 GtCO₂/y”

- Paustian ym. 2019. Frontiers in Climate 16.

“The global technical potential of terrestrial C sequestration is some 333 Pg C by the end of the

ry [≈ 4.2 Pg C / yr], equivalent to

drawdown of 156 ppm. This must

effectively by policymakers and those

planning and management.”

Journal of Soil and Water Conservation

**Nielujen potentiaali
suuri!**

HUOM!

- Pg = ”petagrammaa” = Gt = ”gigatonnia”
- 1 kg C \approx 4 kg CO₂

2. Metsien vaikutukset ilmastonmuutokseen

Metsän vaikutukset ilmastonmuutokseen

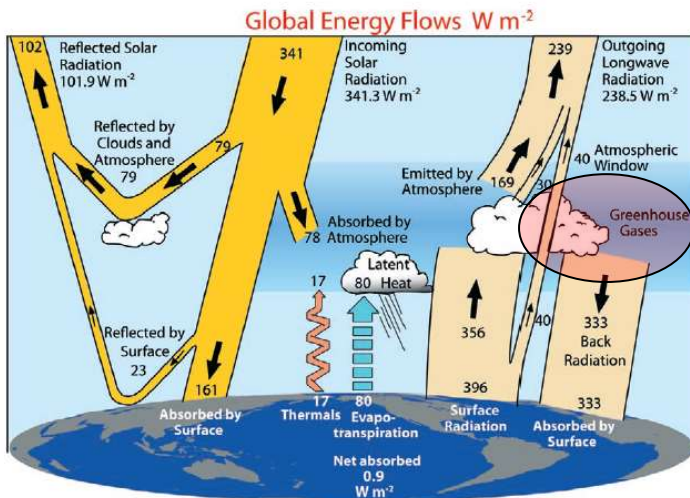
1) Metsä sitoo ja vapauttaa hiilidioksidia

- Tärkein vaikutus, usein ainoa huomioitu tekijä

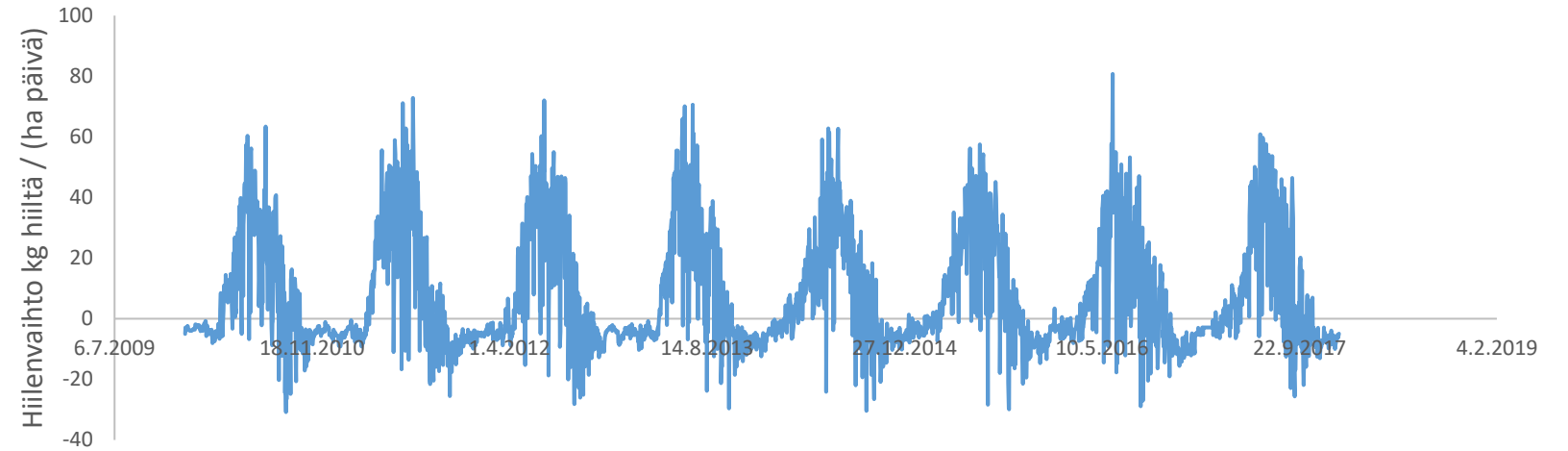


1) Hiilensidonta

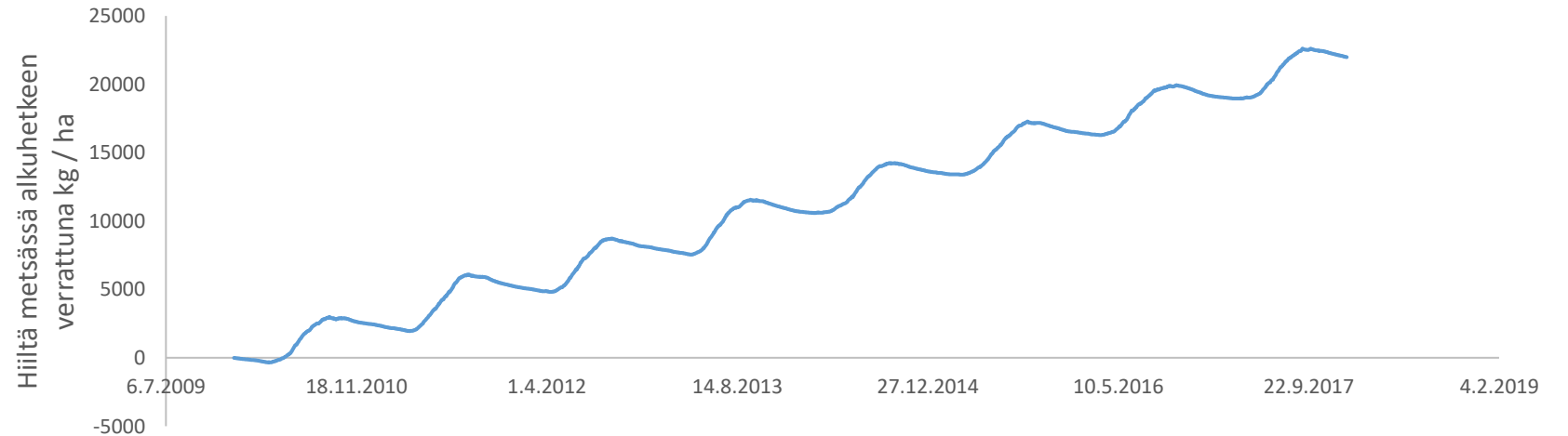
SMEAR II, Hyytiälä,
Juupajoki



Metsikön hiilenvaihto

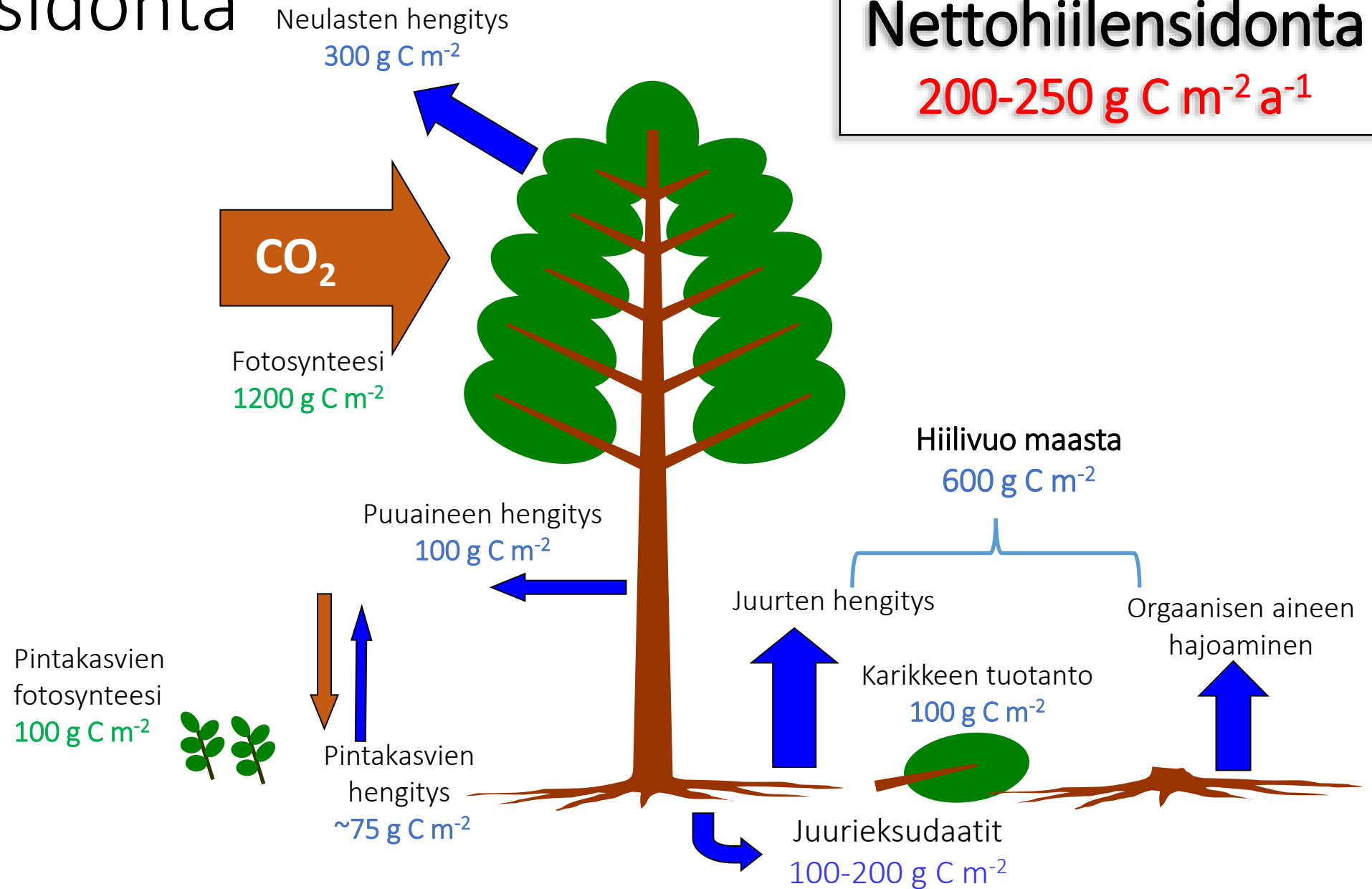


Metsikön hiilensidonta



1) Hiilensidonta

SMEAR II, Hyytiälä,
Juupajoki



Pasi Kolari

1) Hiilensidonta

Kasvihuonekaasut erilaisissa ekosysteemeissä

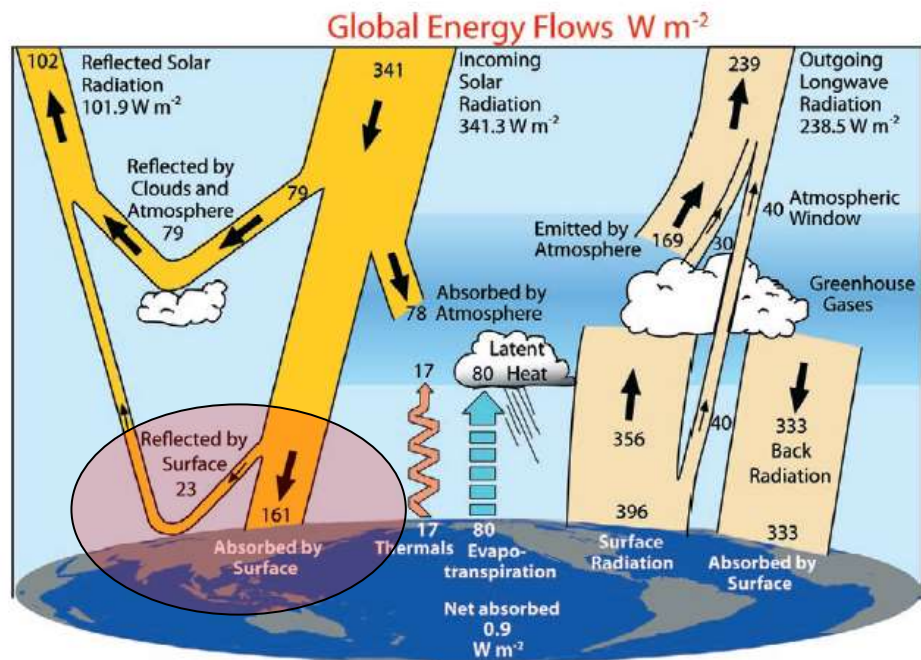
CO₂ ja metaani, keskimääräinen vuotuinen nettovuo, CO₂-ekvivalentteina, g CO₂ m⁻² year⁻¹ :

- Metsä: - 1100
- Järvi: + 400
- Suo: + 150



2) Albedo

”Albedo eli heijastuvuus tai heijastuskyky on jonkin kappaleen kyky heijastaa siihen osuvaa säteilyä” Wikipedia

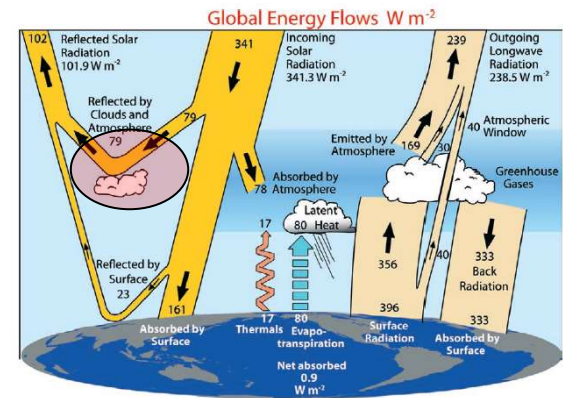


Reflectances of Vegetation and Soil Types

Surface	Reflectivity
Grass	0.17-0.28
Wheat	0.16-0.26
Maize	0.18-0.22
Beets	0.18
Potato	0.19
Rain Forest	0.12
Deciduous forest	0.10-0.20
Coniferous forest	0.05-0.15
SubArctic	0.09-0.20
Savanna	0.16-0.21
Steppe	0.20
Fresh snow	0.75-0.95
Old snow	0.40-0.70
Wet dark soil	0.08
Dry dark soil	0.13
Dry sand	0.35
Boreal forest with snow	0.12-0.30

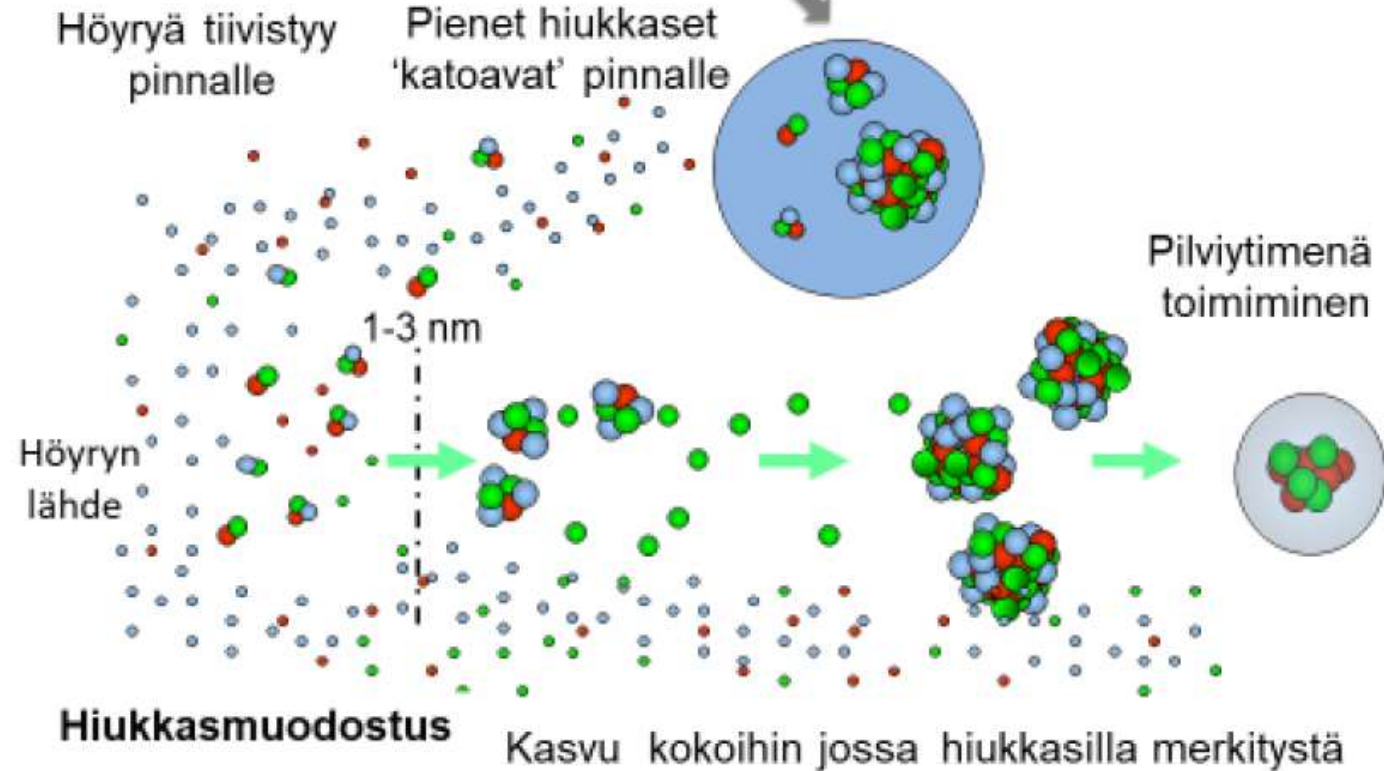
(Campbell and Norman, 1998, Davies and Idso, 1979, Oke, 1987)

3) Pienhiukkasten synty metsässä



Hiukkasten muodostuminen ja kasvu

Olemassa olevat isommat hiukkaset

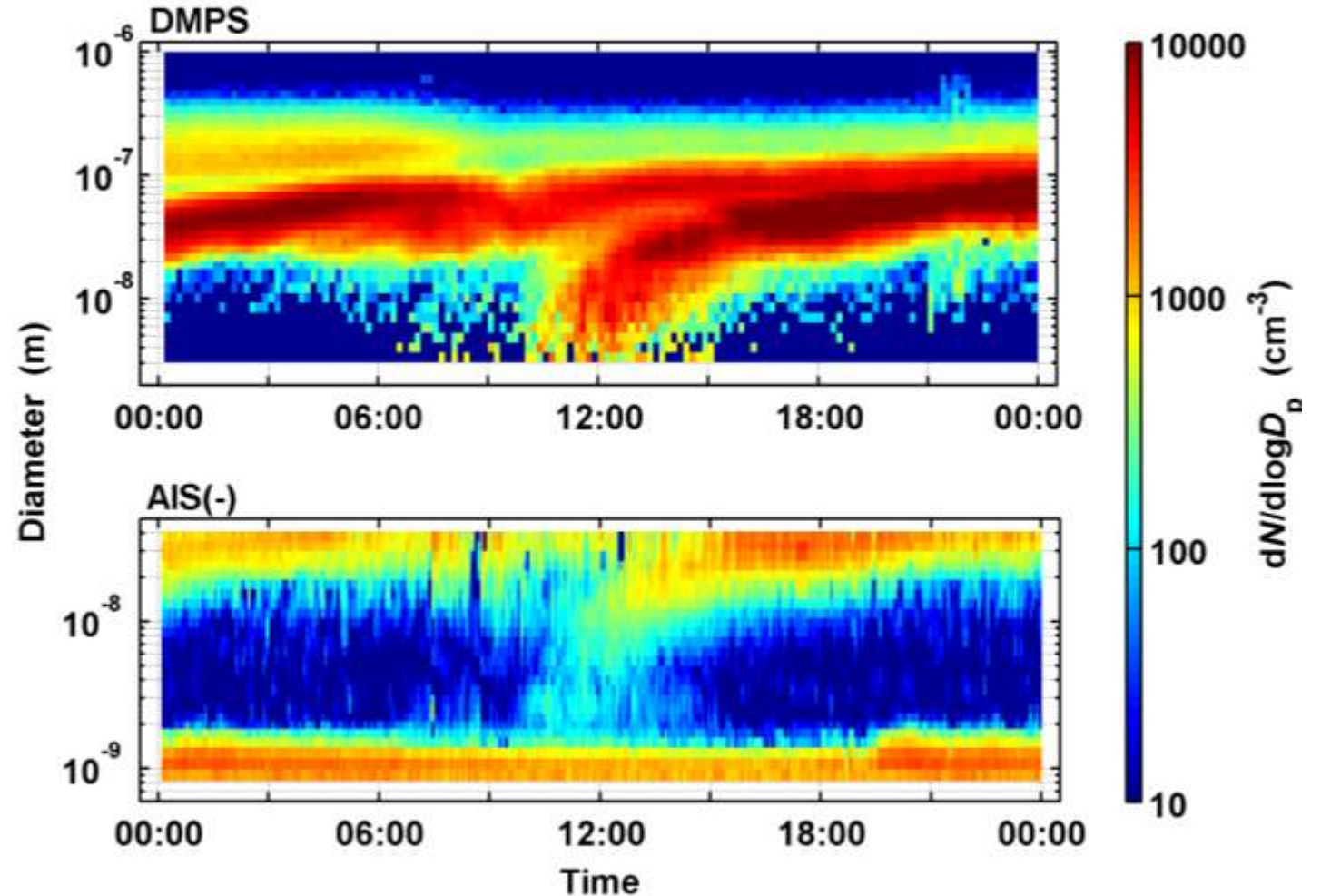


3) Pienhiukkasten synty metsässä

Uusien pienhiukkasten muodostuminen. Globaali ilmiö - havaittu ensimmäisenä boreaalisissa metsissä.

Ensimmäiset havainnot Hytiälässä (Mäkelä et al. 1997 GRL), minkä jälkeen >1000 tieteellistä julkaisua.

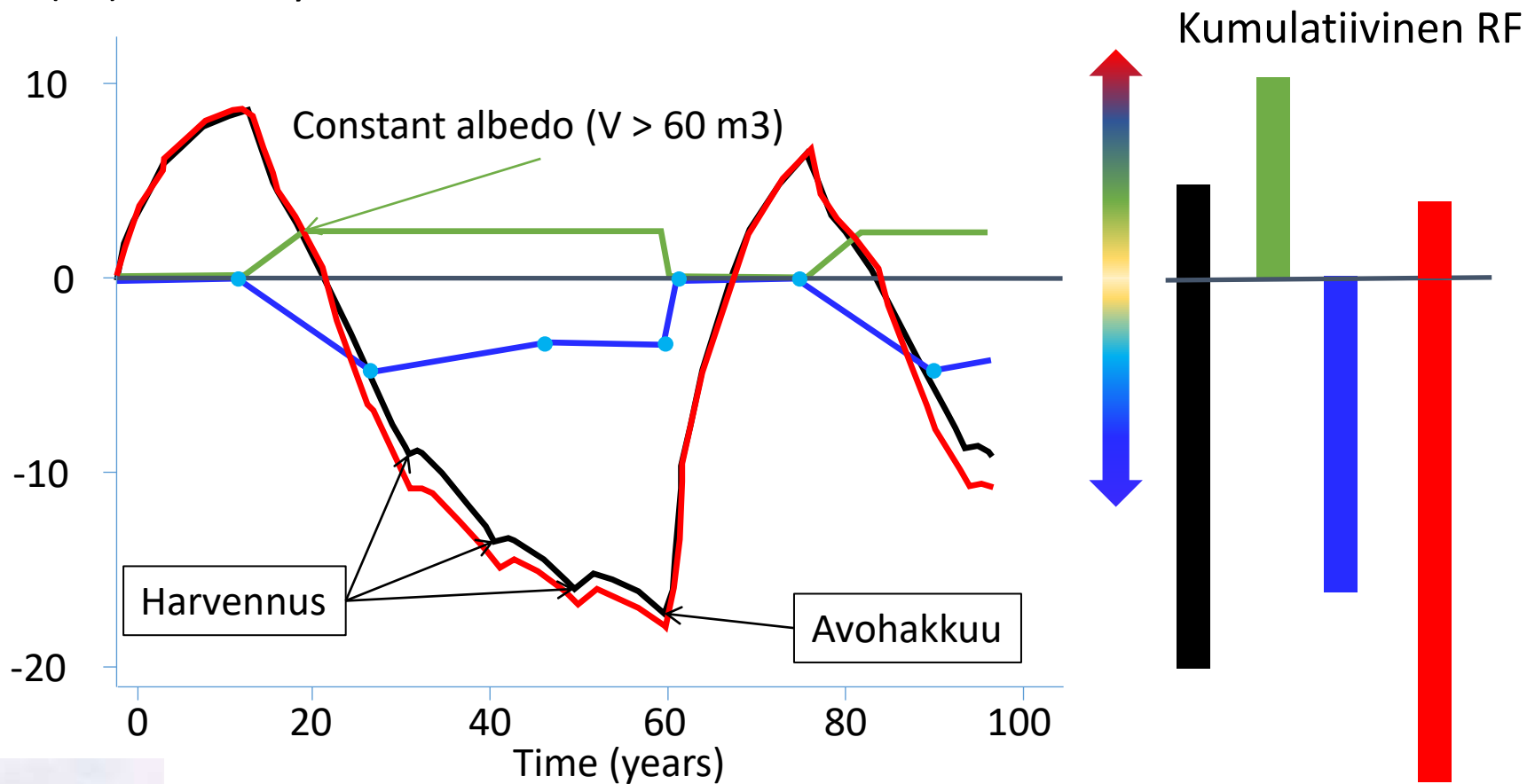
Pienhiukkasten raaka-aineena ovat kasvien haihduttamat hiilivedyt.



Metsien käytön ”kokonaisilmastovaikutus” Yksi metsikkö

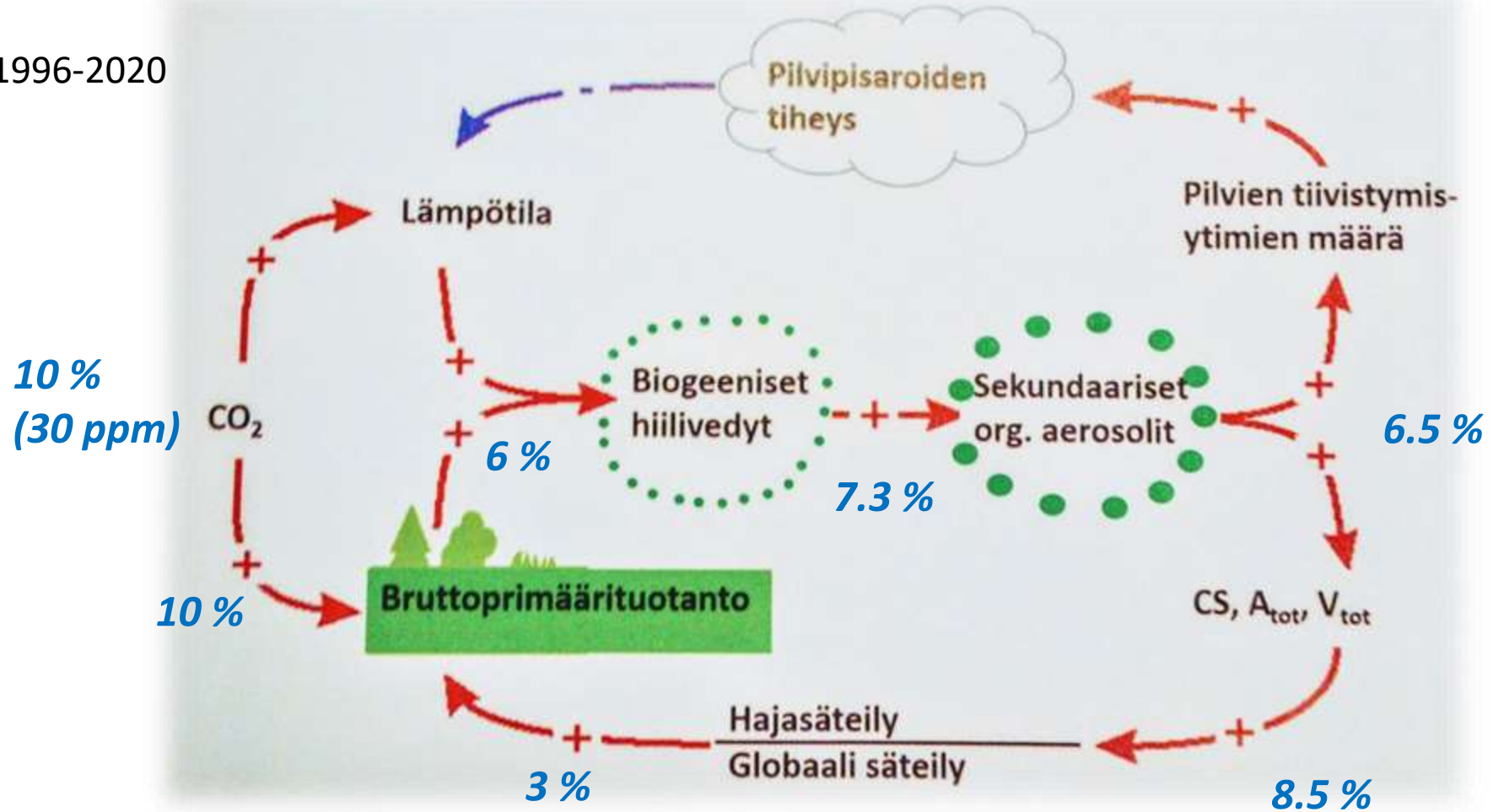
- CO₂
- Albedo
- Aerosols
- SUM effect

Säteilypakotteen (RF) muutos yhdessä metsikössä

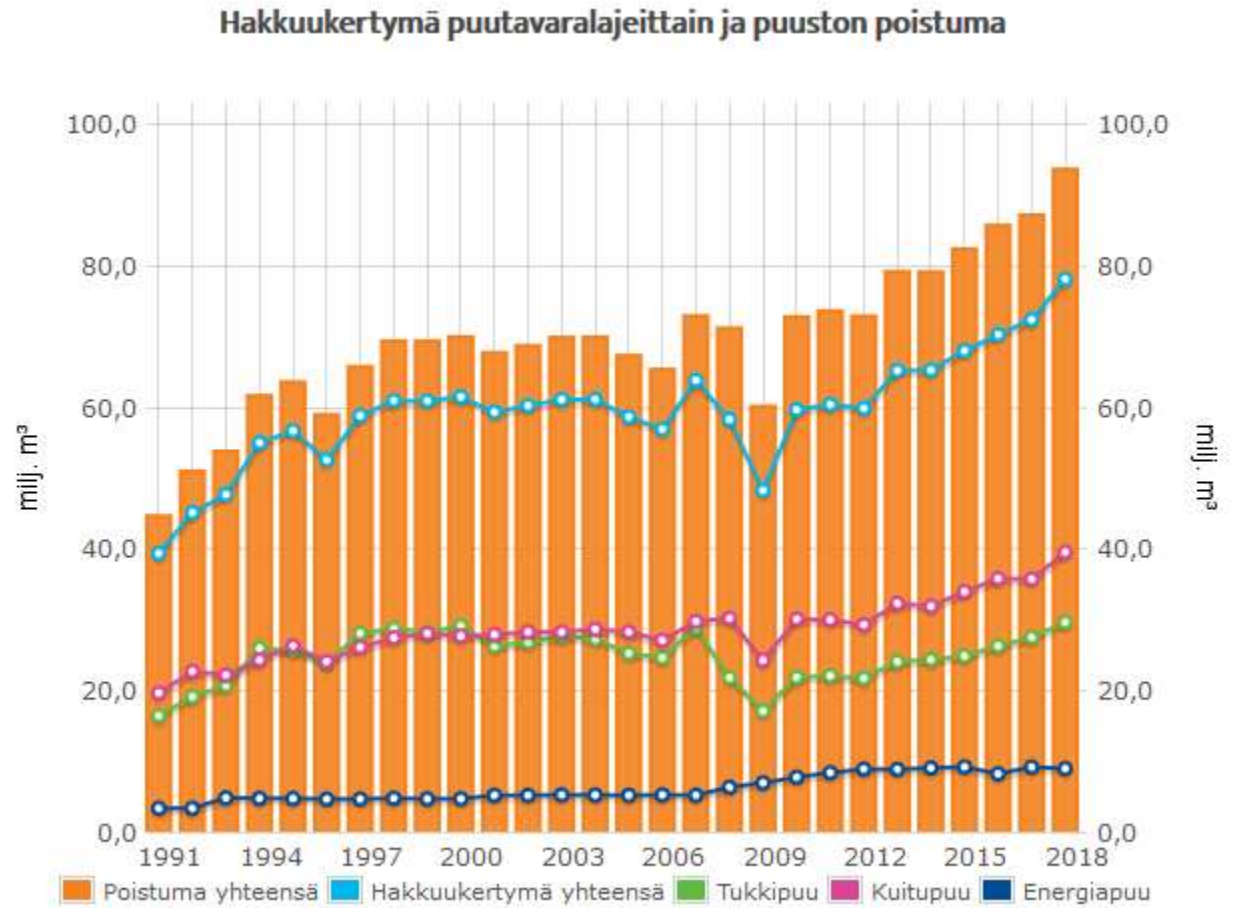
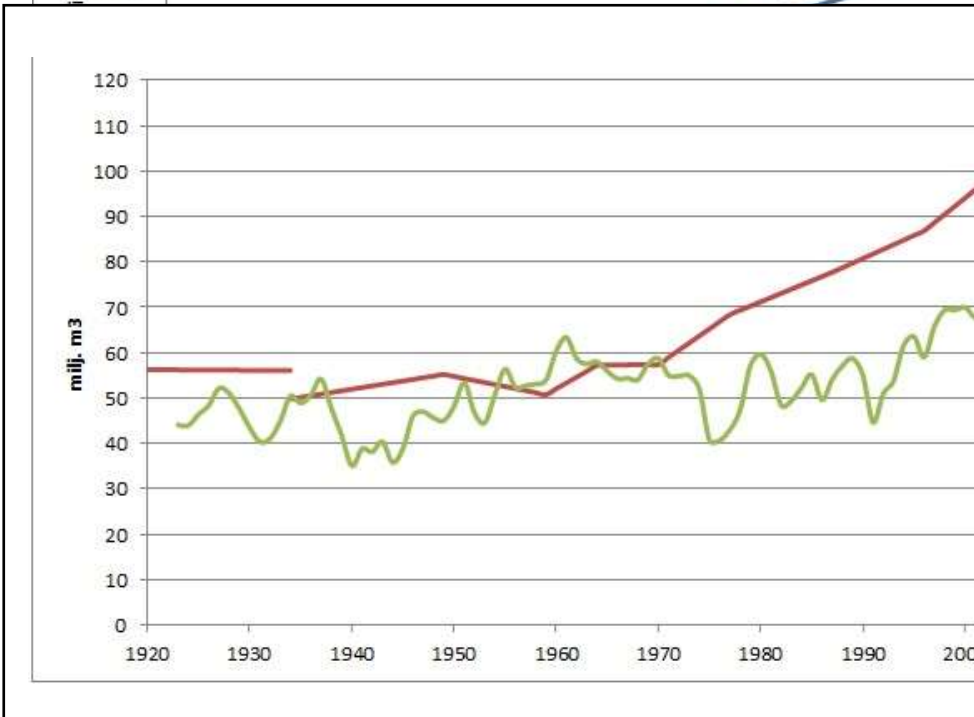
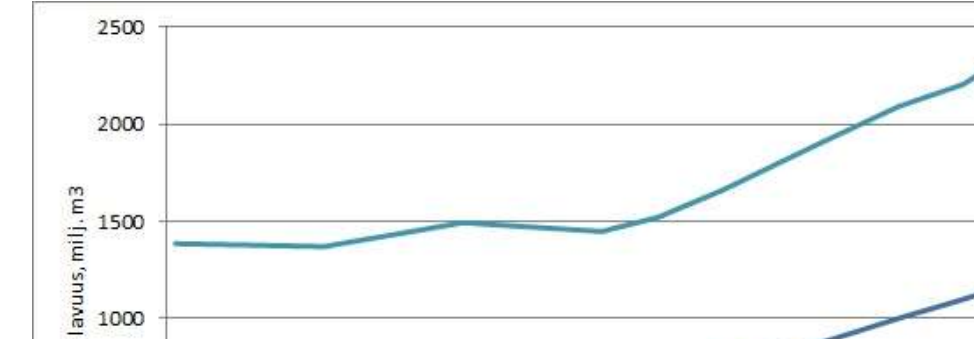


Esimerkki: Metsä – ilmakehä -takaisinkytkentä

SMEAR II: 1996-2020



Suomen puuvarojen kasvu ja hakkuumäärät



Lähde: SVT: Luonnonvarakeskus, Hakkuukertymä ja puuston poistuma.

Hiili ja Suomen metsäsektori

- Suomen metsät sitovat vuosittain 30-60% Suomen antropogeenisista kasvihuonekaasupäästöistä.
- Metsäteollisuustuotteiden osuus Suomen vientituloista on n. 20%. Tärkeimmät metsäteollisuuden vientituotteet ovat sellu ja paperi.
- Näiden tuotteiden elinkaari on 2-10 vuotta.
 - ⇒ Puuaineeseen sitoutunut hiili vapautuu metsäteollisuuden tuotteista muutamassa vuodessa ilmakehään, lukuun ottamatta rakennusmateriaaleja.

Lisää lyhytkestoisia tuotteita? Lisää puuta rakentamiseen? Hiilen kerryttäminen metsiin?

Mitä näistä pitäisi tavoitella?

?

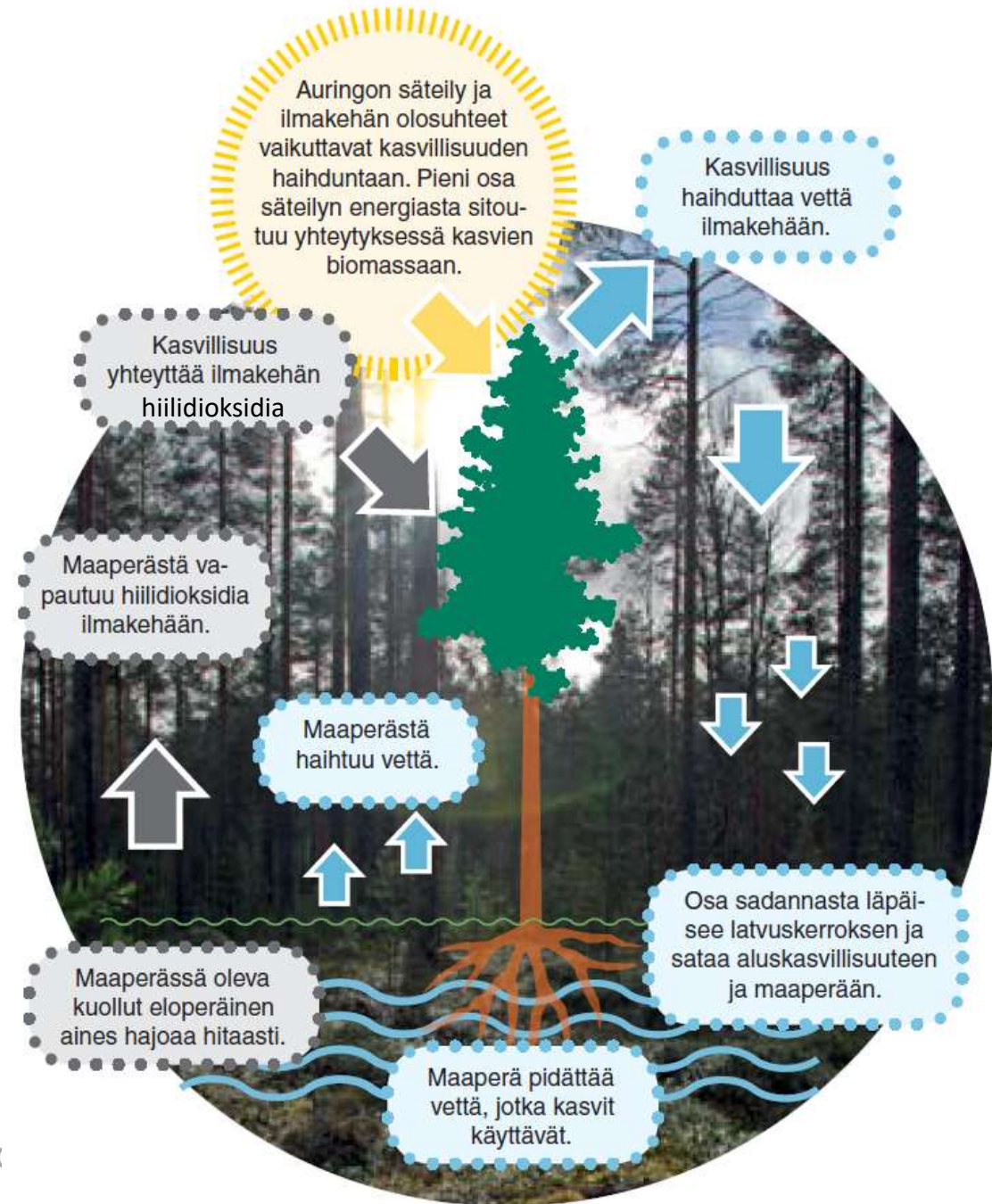


3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsiin



Ilmastonmuutos vaikuttaa metsiin vaikuttamalla metsässä vallitseviin olosuhteisiin.

Miten käy metsien kasvun tulevaisuudessa kun olosuhteet muuttuvat?

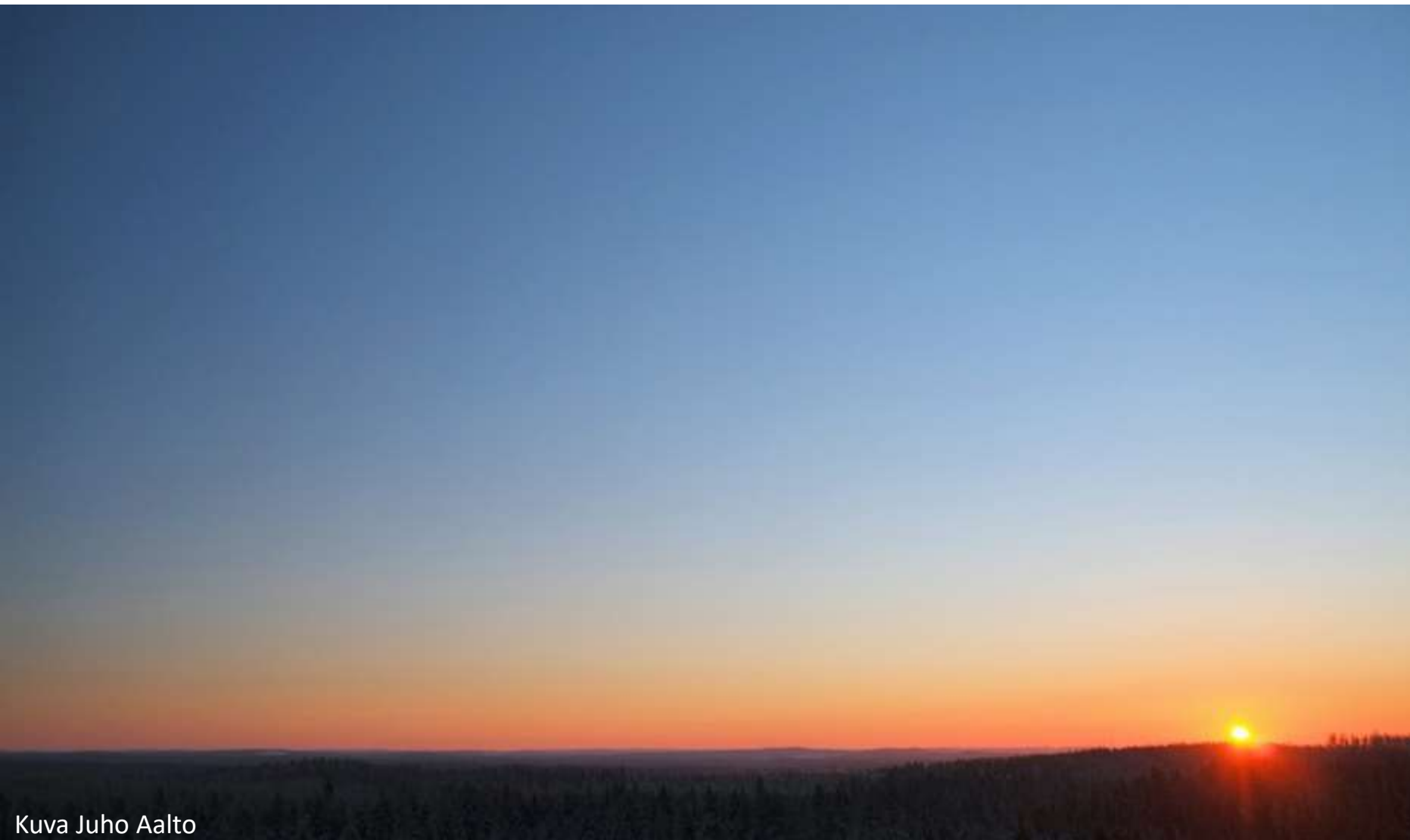


Ympäristötekijät 1/4: Lämpö

Keskilämpötila nousee



Ympäristötekijät 2/4: Valo



Ei vaikutuksia!!!



Ympäristötekijät 3/4: Sadanta ja tuuli



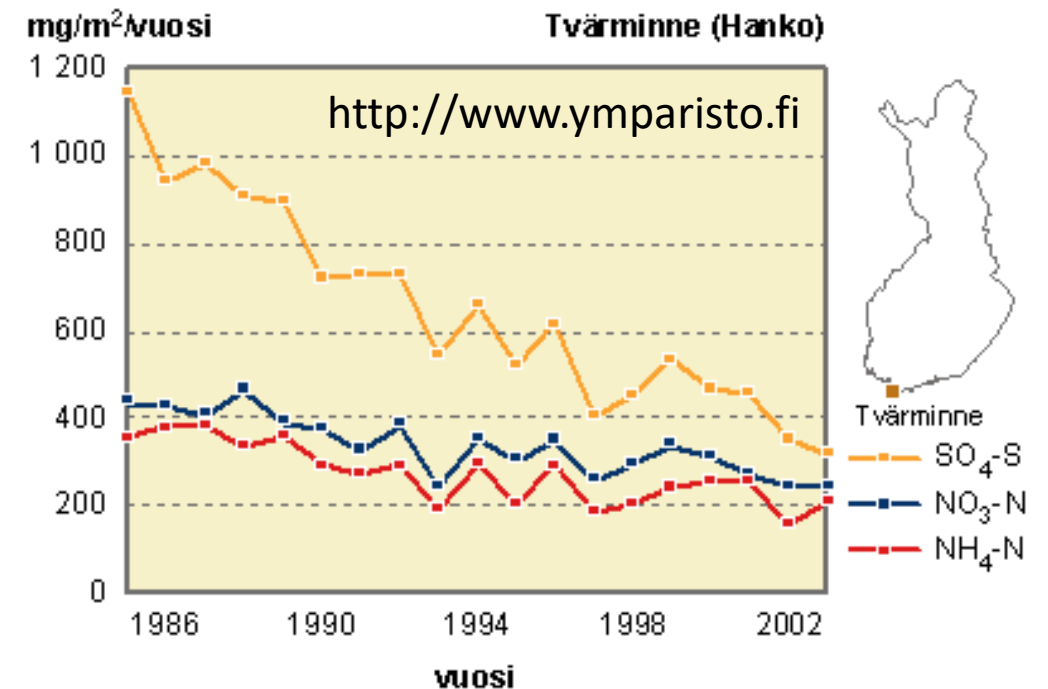
- Tämänhetkisten ennusteiden mukaan sadanta lisääntyy etenkin talvella
- Koko vuoden sademäärän ennustetaan kasvavan → kuivien jaksojen lisääntyminen kesällä kuitenkin mahdollista
- Myrskytuhojen lisääntyminen mahdollista
 - Myrskytuulien lisääntyminen etelä- ja länsirannikolla todennäköistä ja mahdollista myös keskiosissa Suomea (Gregiw et al. 2017)



Ympäristötekijät 4/4: Ravinteet



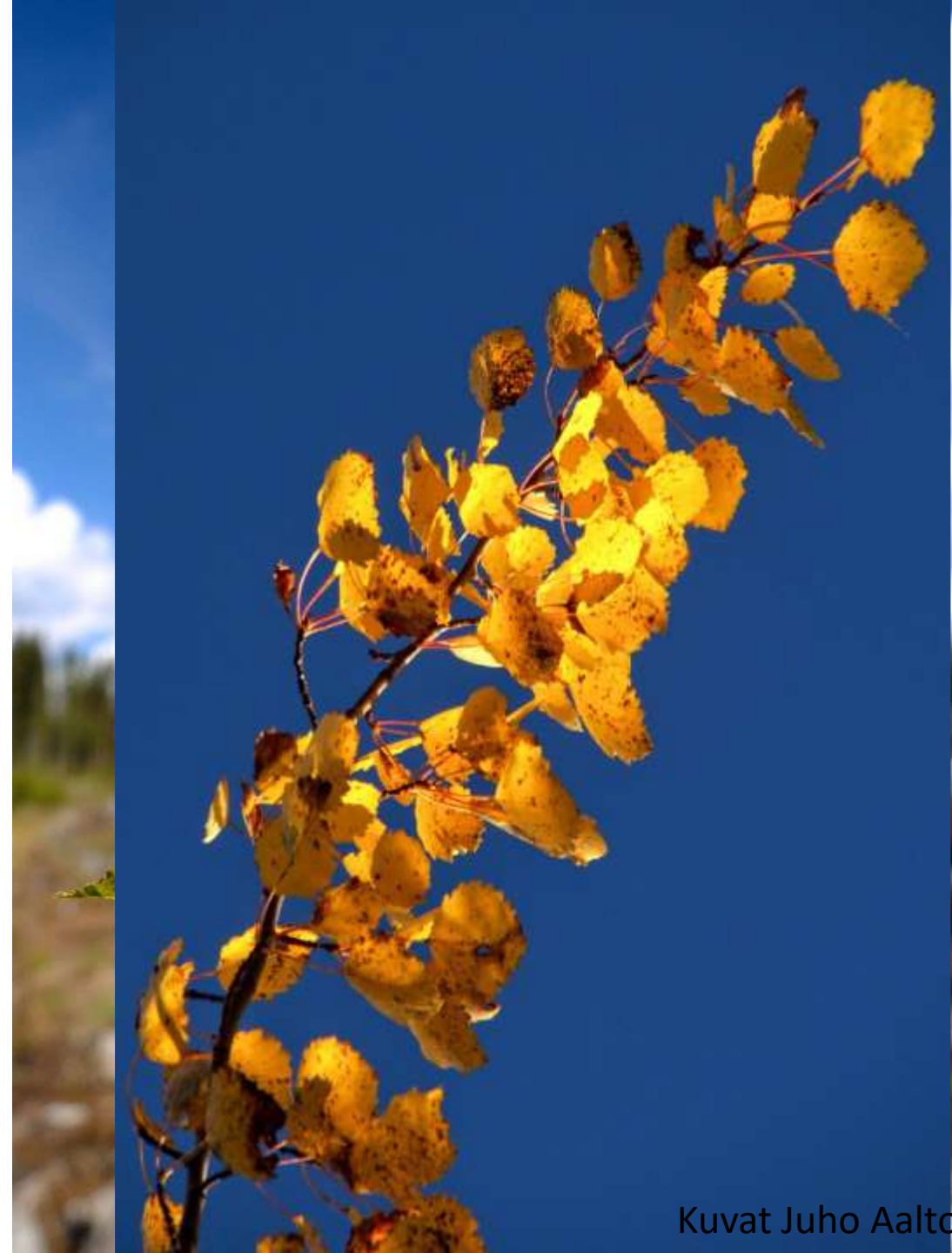
- Typpi on borealisissa metsissä pääasiallinen kasvua rajoittava tekijä
- Typen kierron muutoksista ilmastonmuutoksen seurauksena ei ole erityisen paljon tietoa. Teoriassa lämpö nopeuttaa typen mineralisaatiota, mutta käytännössä tilanne voi olla toinen ja joidenkin uusimpien tutkimusten mukaan maan lämpötilan nousu ei lisää puiden käytettävissä olevan typen määrää (Duran et al. 2016, Lim 2017)
- Typen lisääminen maahan voi lisätä pitkäaikaisen (heikosti hajoavan) hiilen määrää maassa.



500 mg/m² = 5 kg / ha
Vrt. yhden vuoden männyn
neulaset n. 20 kg typpeä / ha

Prosessit 1/5: Fenologia

- Fenologiaa eli vuosirytmää ohjaavat Suomessa lämpö ja valo
- Terminen kasvukausi pitenee -> miten tämä näkyy puiden kasvujakson pituudessa?
 - Kasvu alkaa karkeasti ottaen silloin, kun lämpökertymä on riittävän paljon -> kasvun alku aikaistuu
 - Toistaiseksi lehden puhkeaminen aikaistunut n. 12 vrk
 - Hallatuhojen lisääntyminen erityisesti lehtipuilla?
 - Kasvun loppuminen syksyllä monimutkaisempi prosessi kuin sen käynnistyminen keväällä

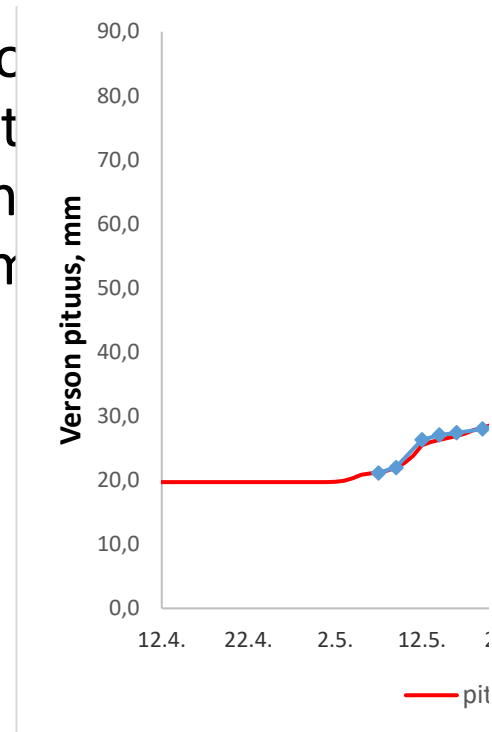


Prosessit 2/5

Kasvu

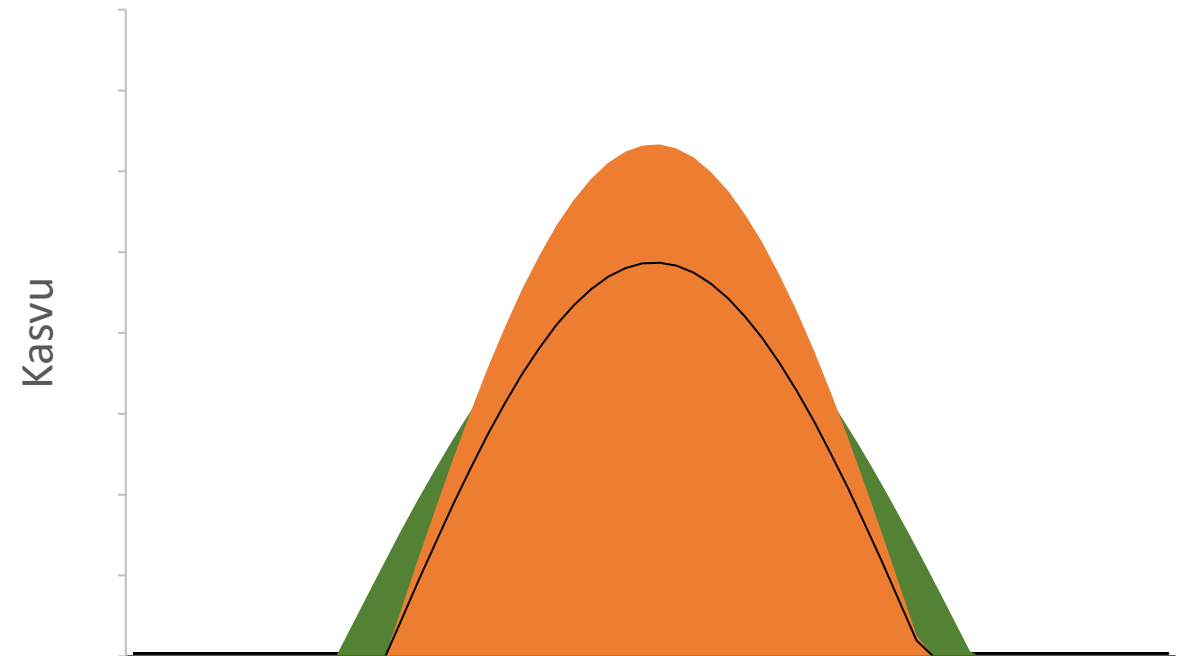
- Lämpö säätelee bio-
prosessien nopeuttavia
toiminnot, mukaan
nopeutuvat lämpimässä

Kasvun vaihtelu lyhyellä aikaskaalalla (päivissä)



SMEAR II-aseman mitta

- Kasvun vaihtelu pidemmällä aikaskaalalla



Kesä

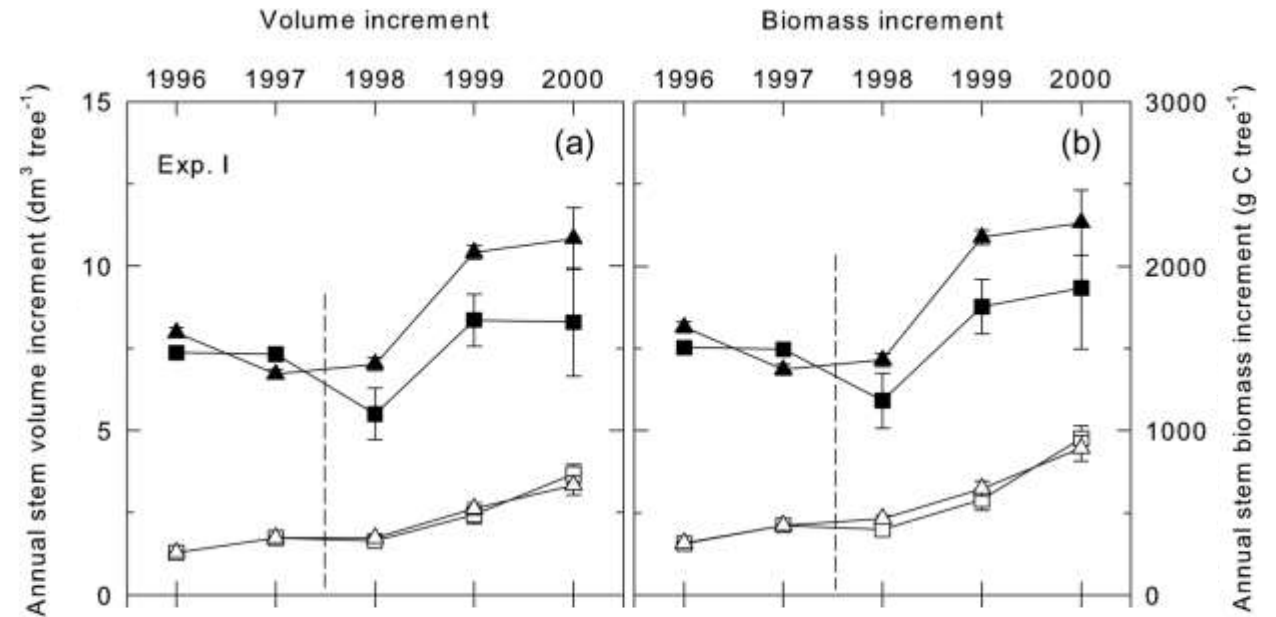
kuusi

männi

Franke ym. 2015: Puu
vuoden aikana (1983 – 2003). Eri symbolit kuvaavat eri
tutkimuspaikkoja.

Prosessit 3/5: Yhteytys / kasvu

- Yhteytyksessä sidottu hiili on kasvun raaka-aine
- Yhteytystuotos lisääntyy, kun ilman hiilidioksidipitoisuus kasvaa
- Keväällä lämpö aikaistaa fotosynteesin käynnistymistä
- **Lisääntynyt yhteytystuotos ei kuitenkaan välttämättä suoraan lisää kasvua**
 - Ravinteet -> Lannoituksen merkitys?
 - Sopeutuminen



Kuva 3. Kuusikon runkotilavuuden kasvu (a) ja runkobiomassan kasvu (b) vuosina 1996-2000. Mustat symbolit kuvaavat typpilannoitettuja/kasteltuja puita, valkoiset symbolit lannoittamattomia kontrollipuita. Neliöt kuvaavat normaali CO₂-pitoisuudessa kasvaneita puita ja kolmiot korotetussa CO₂-pitoisuudessa kasvaneita puita.

Sigurdsson et al. 2013

Prosessit 4/5: Taudit

- Etenkin juurikäpää kuusella ja männyllä hyötyy lämmöstä
 - Itiöinti ja kasvu
 - Leviäminen hakkuissa, kun maa on sula
 - -> lehtipuiden suosiminen / torjunnan lisääminen?
- Myös hyönteiset pääsevät leviämään pohjoisempaan – nykyisten lajien parempi menestyminen ja uusien lajien tulo Suomeen Baltiasta ja Keski-Euroopasta
- Tarkkaa (taloudellista) vaikutusta vaikea ennustaa, mutta todennäköisesti merkitys huomattava. Huomioidaan harvoin laskelmissa ilmastonmuutoksen aiheuttamasta kasvunlisäyksestä.



Juurikäpää

Prosessit 5/5: Puulajien menestyminen

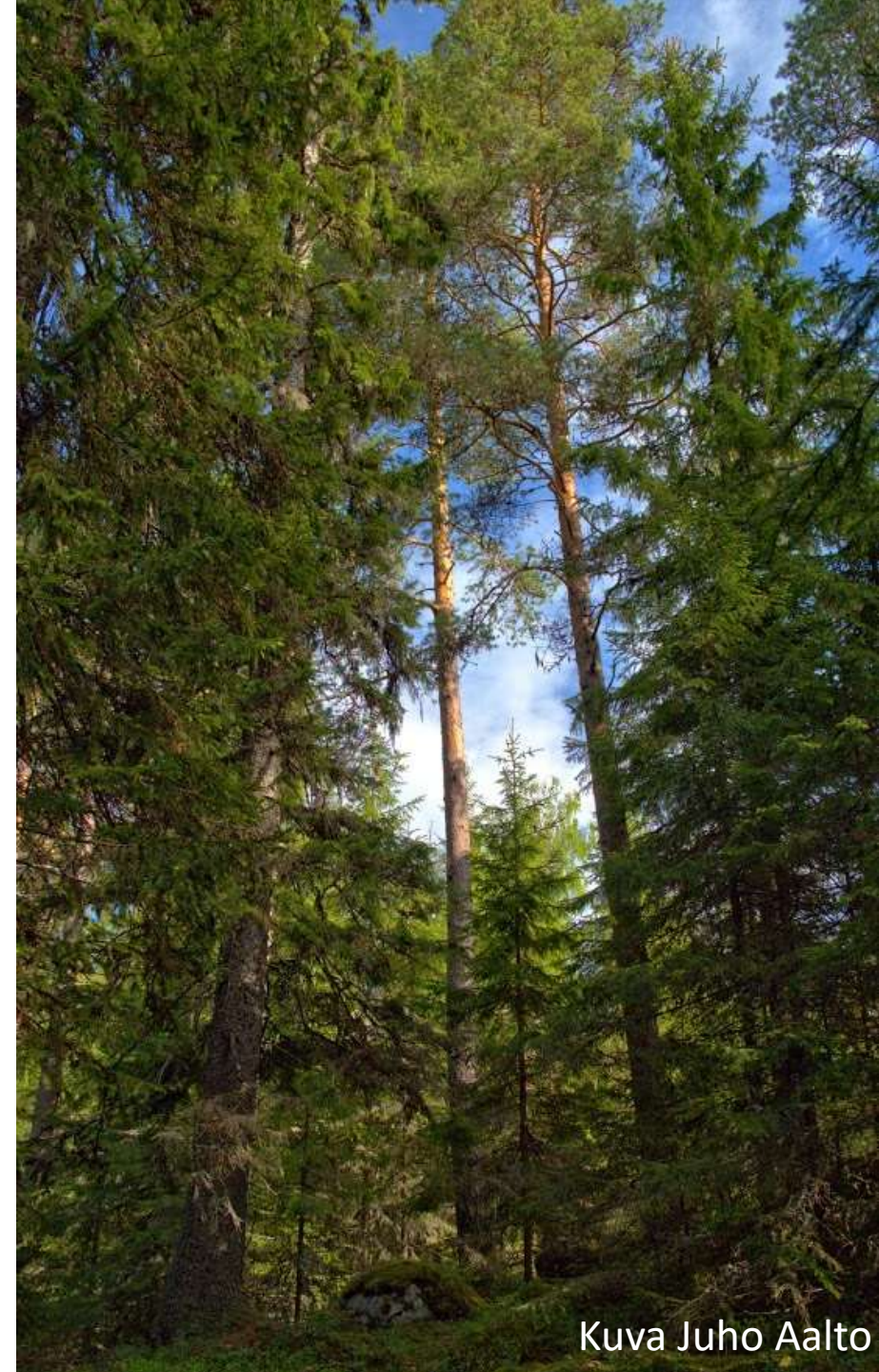
- Aiemmin ennusteita kuivuuden lisääntymisestä -> haitallista kuuselle.
- Havupuilla, etenkin kuusella riskinä myös em. tautien lisääntyminen.
- Lehtipuut saattavat hyötyä muuttuvista olosuhteista havupuita enemmän.
- Jalojen lehtipuiden (tammi, vaahtera, pyökki) menestyminen yhä pohjoisempina -> pyökkimetsiä Etelä-Suomeen?



Kuva Sten Forse, Tanska


Yhteenveto

- Ilmastonmuutoksella on sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia metsän elinvoimaan ja tuottoon / tuotokseen
 - Se, kuinka paljon kasvu lisääntyy, on vielä epäselvää
- Metsät hillitsevät ilmastonmuutosta
 - Hillintävaikutuksen voimakkuuteen voidaan vaikuttaa metsänhoitotoimenpiteillä
- Tutkimuksella selvitetään näitä monimutkaisia vuorovaikutuksia



An aerial photograph of a school campus situated on a peninsula next to a large, calm lake. The campus features several red wooden buildings with blue roofs, a larger modern building with a red roof and large windows, and a green field with a soccer goal. The surrounding area is densely forested with tall evergreen trees. The sky is blue with scattered white clouds. A white rectangular box with the word 'KIITOS!' in red capital letters is overlaid on the upper part of the image.

KIITOS!

An aerial photograph of a vast, forested landscape. The terrain is a mix of green and brown, indicating different types of vegetation and possibly some cleared areas. A prominent river flows through the lower-left portion of the image. In the center-right, there is a small cluster of buildings, likely a village or farmstead. The overall scene is a typical rural or semi-rural landscape in a forested region.

4. Metsien ja ilmakehän välisten
vuorovaikutusten tutkiminen ja
mittaaminen:

SMEAR-asetat

Station for Measuring Ecosystem

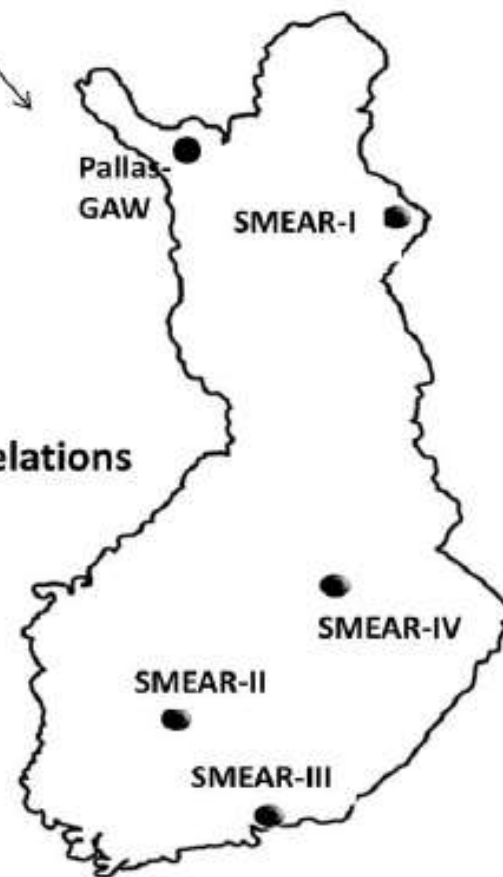
Atmosphere Relations



Stations for Measuring Forest Ecosystem-Atmosphere Relations

- SMEAR-I Värriö 67°46' N, 29°35' E
- SMEAR-II Hyytiälä 61°51' N, 24°17' E
- SMEAR-III Helsinki 60° 12' N, 24° 57' E
- SMEAR-IV Puijo 62°54' N, 27 °39' E

SMEAR-Estonia; Järvselja, hemiboreal forest
SMEAR-China; Nanjing, urban, subtropical
Beijing



SMEAR II

Tutkimuskysymykset:

- **Miten ilmasto vaikuttaa ekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan?**
 - Luonnollinen vaihtelu
 - Muuttuva ilmasto
- **Miten ekosysteemit vaikuttavat ilmastoon?**
 - Hiilen, typen ja veden kierrot
 - Reaktiivisten yhdisteiden synteesi
 - Albedo
- **Miten biogeokemialliset kierrot yhdistävät ekosysteemit ja ilmaston?**

- Ekosysteemin ja ilmakehän vuorovaikutukset ja takaisinkytkennät

- Kattavat, jatkuvat mittaukset (~1200 suuretta)

- Energia- ja ainevirrat ja niihin liittyvät prosessit

- Mallinnus

- Prosessien kuvaaminen ja ymmärtäminen

- Pitkäaikainen dynamiikka

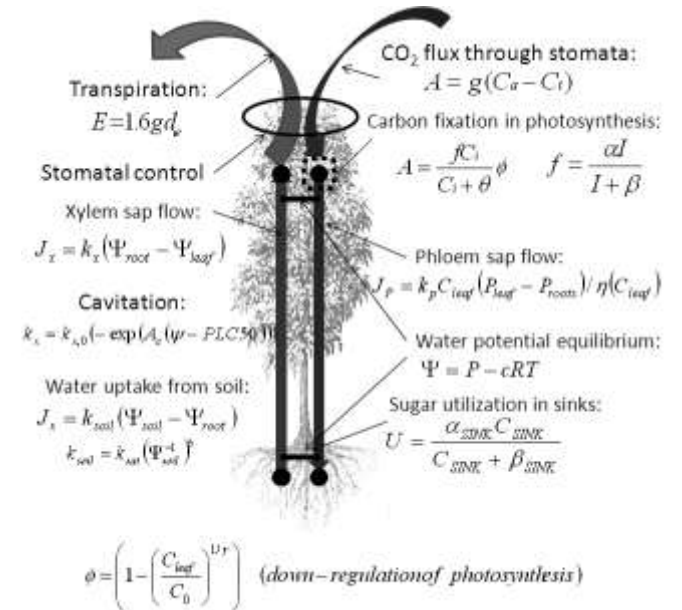
- Skaalaus karkeammalle tasolle

- Käsittelykokeet

- Laboratoriokokeet

- Monialainen tutkijayhteisö: biologia, metsätieteet, kemia, ilmakehäfysiikka, matematiikka, insinööritieteet...

-> Fysikaalinen, fysiologinen ja ekologinen ymmärrys



Source: Teemu Hölttä

Tiede SMEAR-asemilla - esimerkki: SMEAR II –metsikön hiilitase

1. Suorat mittaukset hiilenvaihdosta

2. Prosessipohjainen lähestymistapa:

metsikön hiilitaseen muodostaminen aliprosesseista, jotka riipuvat ympäristöstä ja metsän tilasta

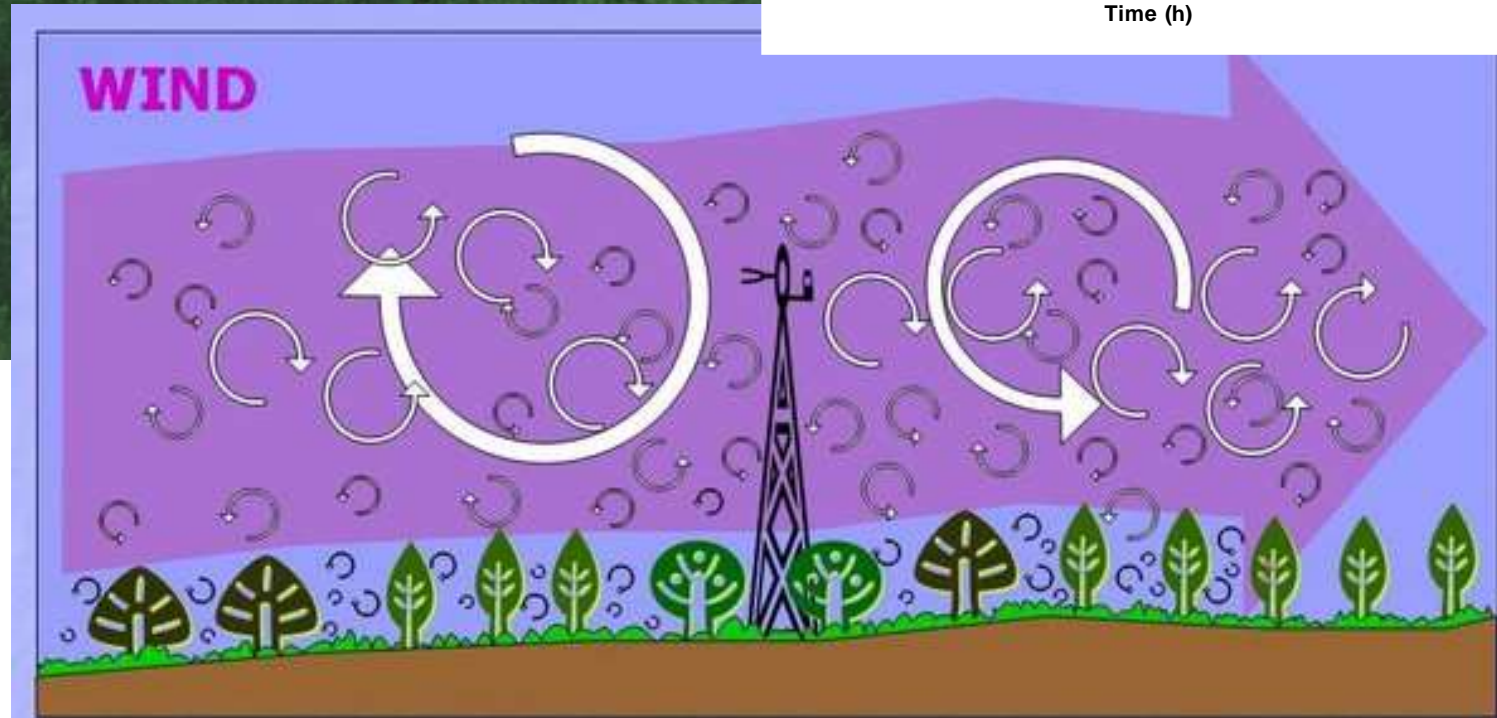
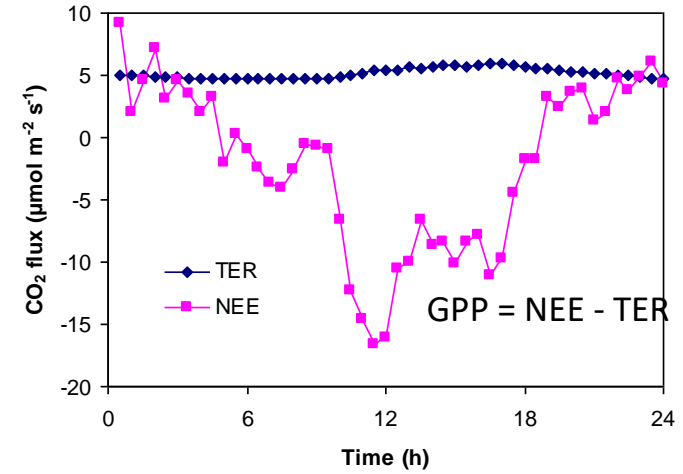
- Yhteytys
- Kasvien hengitys
- Maan hengitys
- Kasvu
- Maan hiilivaraston muutokset

3. Biomassan kertymisen mittaaminen

-> **Hiilitasetta määrittelevien prosessien ymmärtäminen**

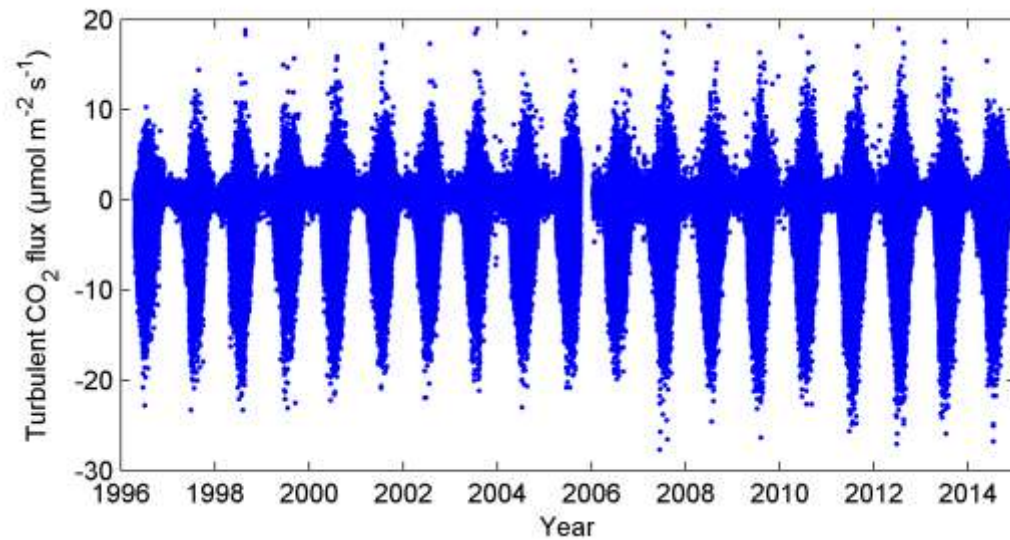
-> **Hiilitaseen kvantifiointi**

1. Suorat mittaukset hiilenvaihdosta: eddy covariance - nettohiilenvaihto

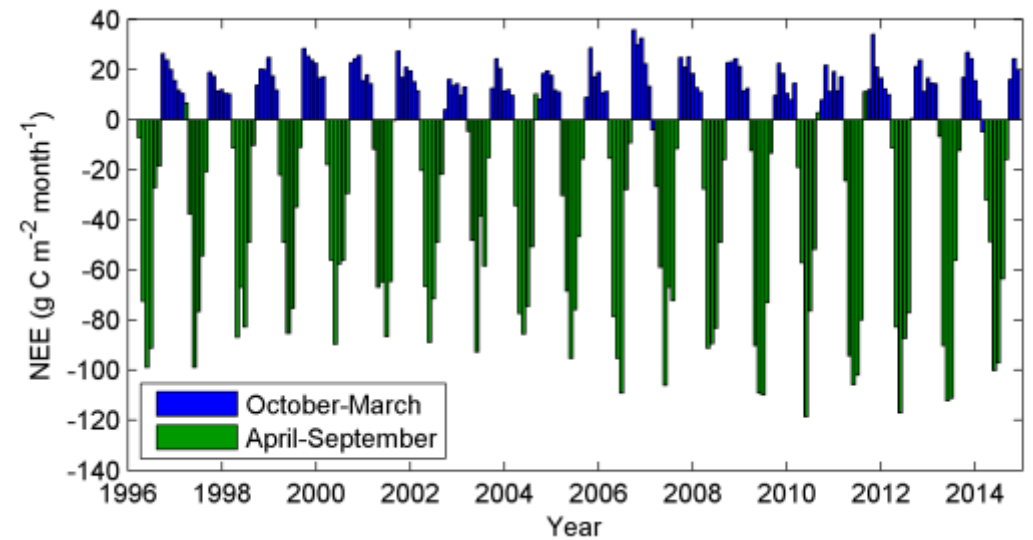


1. Suorat mittaukset hiilenvaihdosta: eddy covariance - nettohiilenvaihto

1/2 h vuo

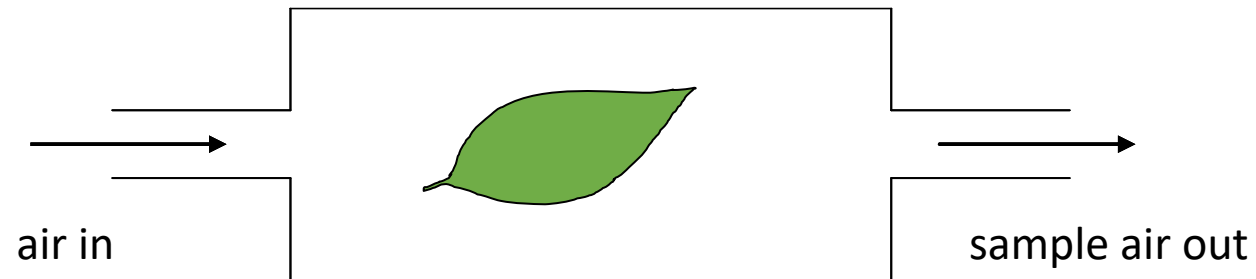


Kuukausittainen
nettohiilenvaihto



2. Prosessipohjainen lähestymistapa: CO₂-vaihdon pienemmän mittakaavan mittaukset kyveteillä

- CO₂:n sitominen fotosynteesissä ja vapautuminen hengityksessä
- > yhteytys ja hengitysnopeudet määräävät CO₂ – pitoisuuden kyvetissä

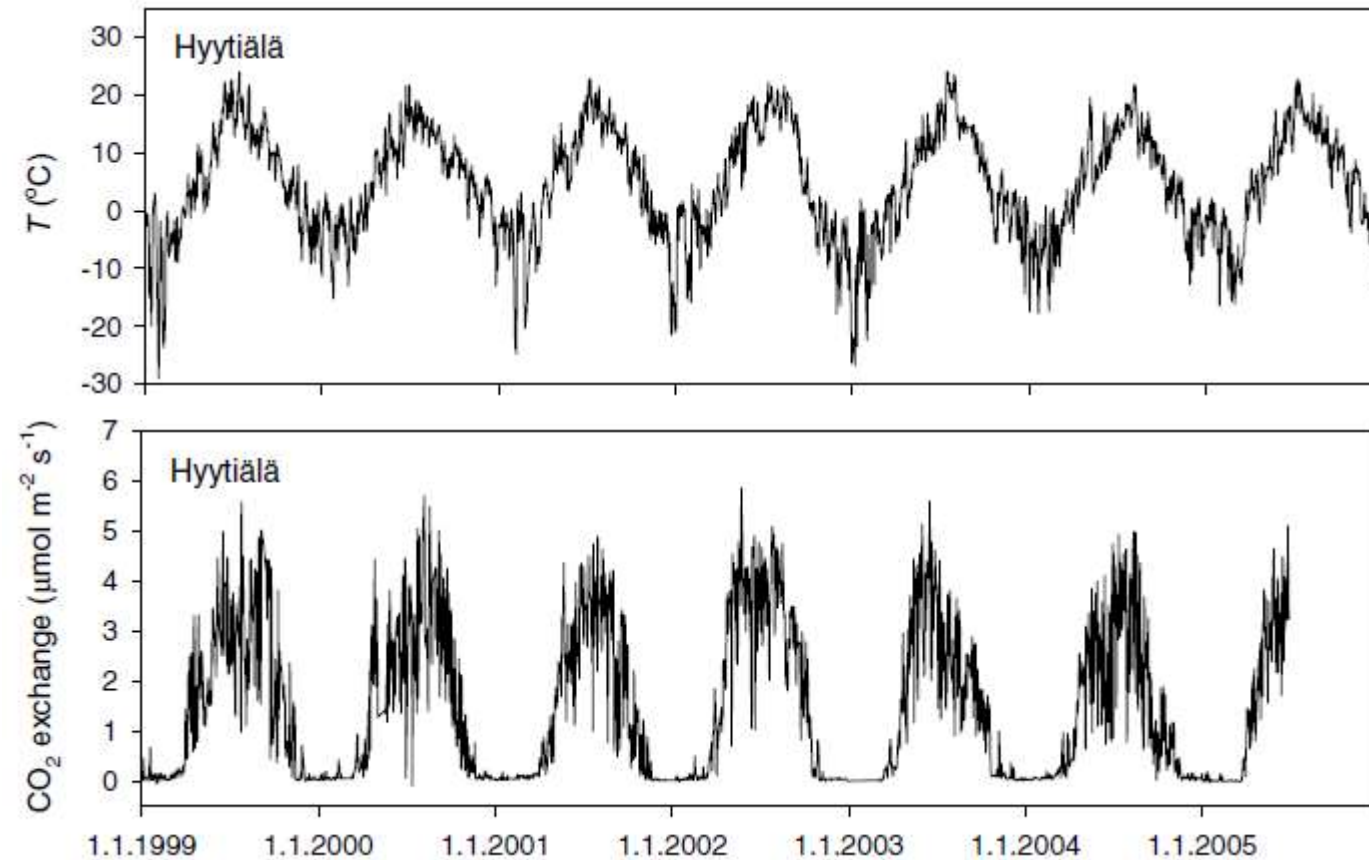


2. Prosessipohjainen lähestymistapa: CO₂-vaihdon pienemmän mittakaavan mittaukset kyveteillä



Kuvat: Juho Aalto

2. Prosessipohjainen lähestymistapa: CO₂-vaihdon pienemmän mittakaavan mittaukset kyveteillä



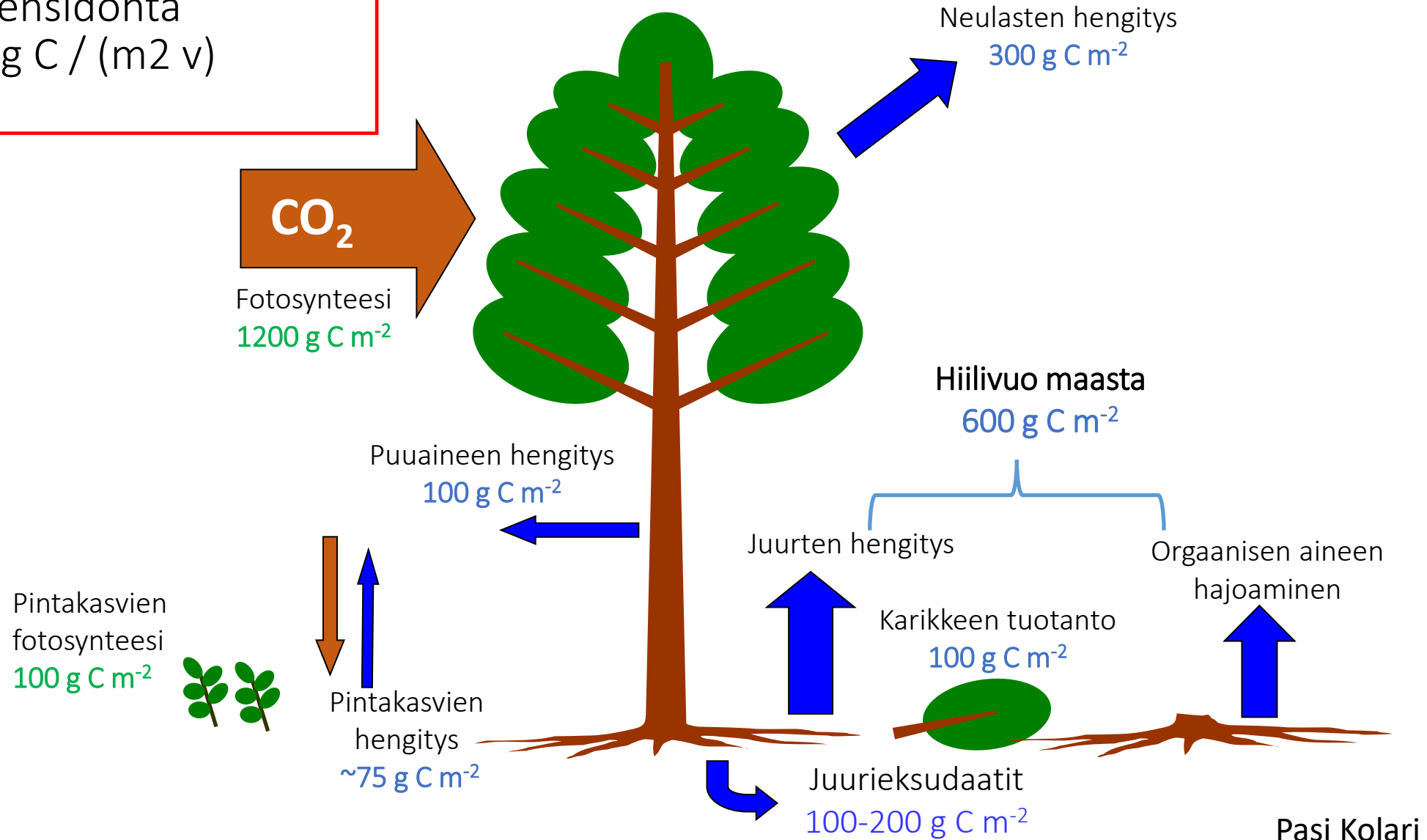
3. Biomassamittaukset

- Maastakäsin tehtävät mittaukset
- Kaukokartoitus
 - Muutokset metsän rakenteessa

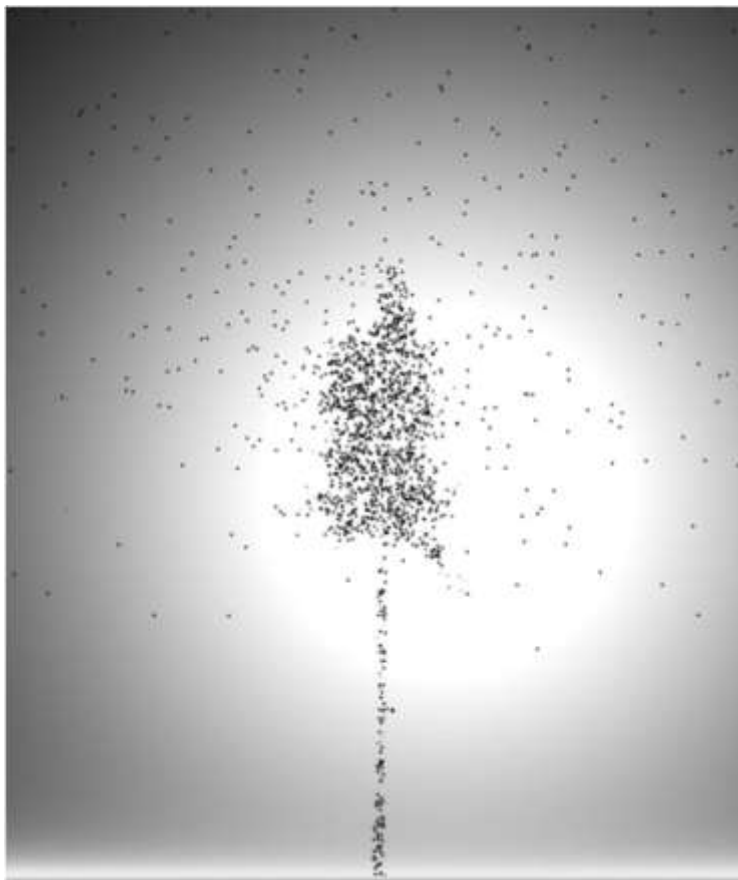


1 - 3:  Kokonaisuus:

Nettahiilensidonta
200-250 g C / (m² v)



Carbontree
<http://www.hiilipuu.fi/>



Keskustelua

- Mitä yhteistä mielipidekirjoitusten näkemyksissä on?
- Miten näkemykset poikkeavat toisistaan?
- Miten mielipidekirjoitusten mukaan Suomen metsiä pitäisi hoitaa?
- Mitä osa-alueita metsien käsittelyssä pitäisi sinun mielestäsi painottaa? Onko joku näistä tärkeämpi kuin muut näkökohdat?
 - Ilmastonmuutoksen hillintä
 - Virkistyskäyttö
 - Yksityistalous
 - Kansantalous
 - Monimuotoisuus