

# SystemiHiili-hanke pähkinänkuoressa

## Ilmastotoimenpiteiden kokonaisvaltainen arviointi valuma-alueilla – Systemianalyysillä kohti hiilineutraalia maankäyttöä

- Parannetaan menetelmällisiä valmiuksia ja ymmärrystä maankäytön muutosten vaikutusketjuista ja kokonaisvaikutuksista
- Tuetaan ilmastoviisaiden, kestävien ja kustannustehokkaiden ratkaisujen käyttöönottoa kansallisella, alueellisella, valuma-alue- ja paikallisella tasolla.
- Läpileikkaavina teemoina ovat valuma-alueenäkökulma, systeemisyys, kokonaisvaltaisuus ja yhteiskehittäminen.
- Toimintaympäristön muutoksia ennakoivia ratkaisuehdotuksia, joilla maa- ja metsätaloutta ja muuta maankäyttöä saadaan sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä suunnattua ilmastokestävämmäksi.

# Tulevat webinaarit

- **pe 8.12.** Valuma-alueen vesienhallinta- ja ilmastotarkastelut –  
**Kiuruveden pilotin kokemuksia** (Miika Kajanus, Teija Rantala ja Tuomo Eskelinen, Savonia)
- **pe 15.12.** Monitavoitearviointi valuma-alue suunnittelussa:  
**Käytännön esimerkkejä** (Jyri Mustajoki & Mika Marttunen, Suomen ympäristökeskus)

**Loppuseminaari 28.11.**

# PREBAS- ja Vemala-mallien hyödyntäminen maankäyttösektorin ilmasto- ja vesistövaikutusten arvioinnissa

Inese Huttunen ja Virpi Junttila, SYKE



Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute

# Työn taustaa

- Suomen vesistöt tummuvat
- Tummuminen seuraa pääosin orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuuksien noususta. Myös raudan pitoisuuksien nousu aiheuttaa tummumista.
- Avohakkuut ja ojitus turvemaille lisäävät hiilen huuhtoutumista vesistöihin
- Ilmastonmuutos vaikuttaa hydrologisiin prosesseihin ja hiilenkierron prosesseihin
- Mallinnuksen avulla saadaan lisää ymmärrystä monimutkaisiin prosesseihin ja voidaan kuvata erilaisia tulevaisuuden skenaarioita

## Maankäyttösektorin ilmasto- ja vesistövaikutusten arviointi mallinnuksella:

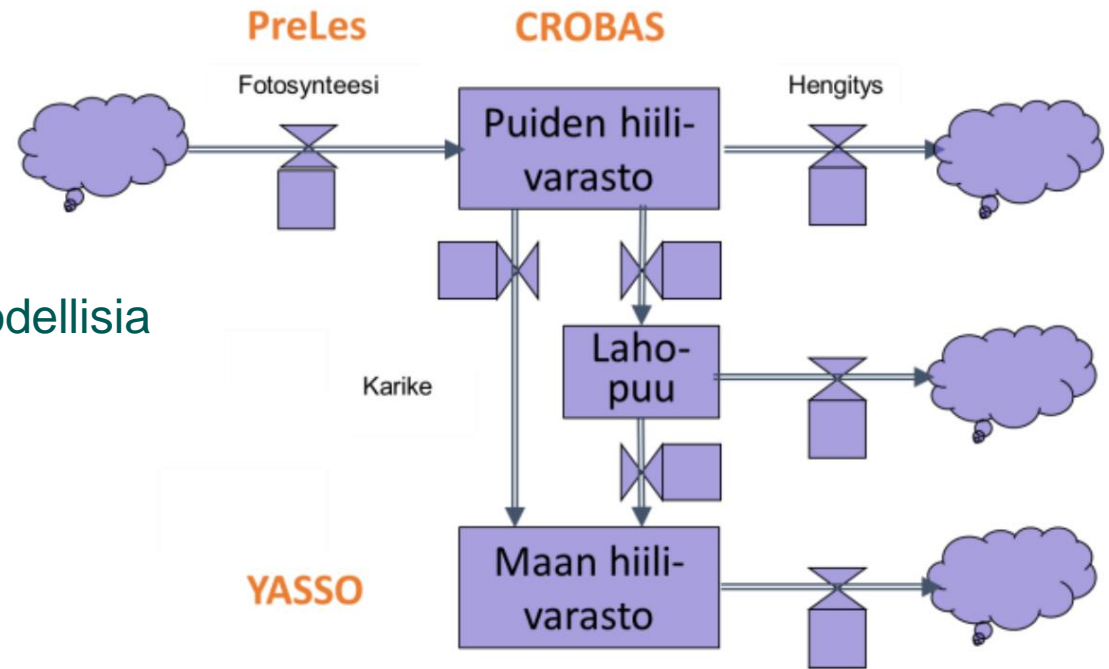
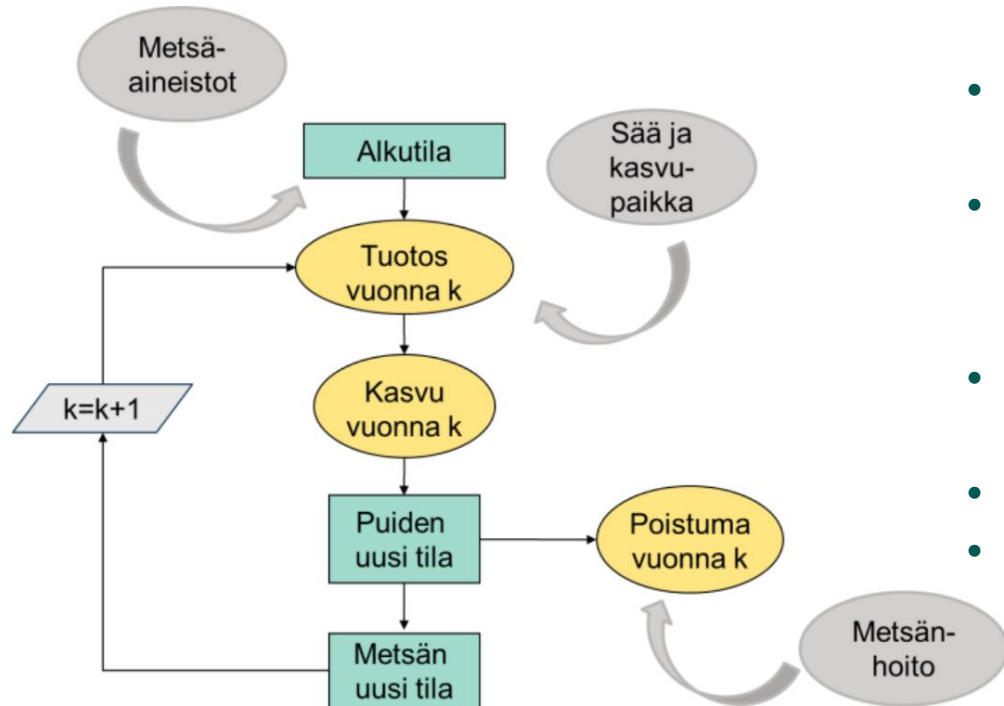
- Metsien hiiliprosessien PREBAS-mallinnuksella saadaan tietoa niissä tapahtuvasta hiilen kierrosta puuston, aluskasvillisuuden, karikkeen ja maaperän osalta
- Vemala-mallia on kehitetty hydrologisten ja liukoisen hiilen (TOC) maaperästä huuhtoutumiseen liittyvien prosessien osalta
- PREBAS-mallin karikesyöte on kytketty mukaan Vemala-malliin
- Uutta Vemala-TOC –mallia yhteenkytkettynä PREBAS-malliin on käytetty erilaisten ilmasto- ja maankäyttöskenaarioiden vaikutusten arviointiin pilottialueilla



# Metsäekosysteemien hiilitaseet PREBAS- mallilla

# PREBAS: Metsien kasvua ja hiilensidontaa kuvaava malli

- Prosessi-pohjainen, dynaaminen malli: Jäljittelee metsän todellisia biologisia prosesseja yksinkertaistettujen yhtälöiden avulla
  - Soveltuu erilaisten skenaarioiden mallintamiseen
- Metsien yhteyttämisen, hiilitaseen ja kasvun malli
- Tässä työssä ei vielä häiriödynamiikkaa mukana



- PREBAS toimii todellisten metsän rakennetietojen ja päivittäisten säätietojen pohjalta
- Hakkuut voidaan mallintaa esimerkiksi pohjautuen Tapion suositukseen jaksollisesta kasvatuksesta (harvennukset ja päätehakkuut metsien kulloisenkin rakenteen perusteella)
- Hakkuille voidaan asettaa maakunnallinen tavoitetaso tai hakkuut toteutetaan aina suositusten mukaan
- Soveltuu ilmastomallien vaikutusten testaamiseen!
- Epävarmuuksien arviointi mahdollista!

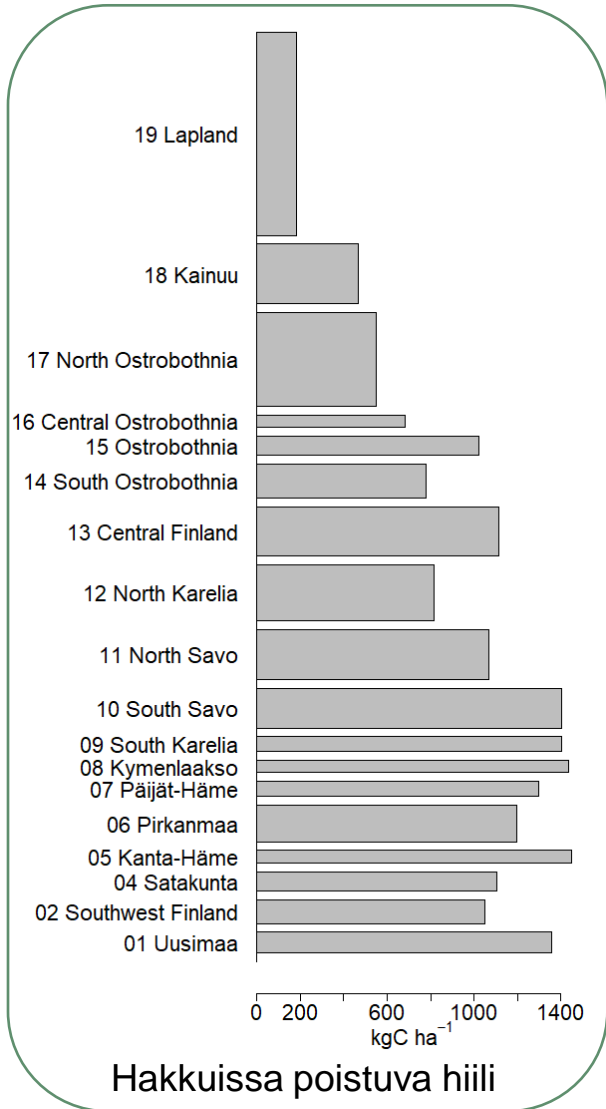


UNIVERSITY OF HELSINKI

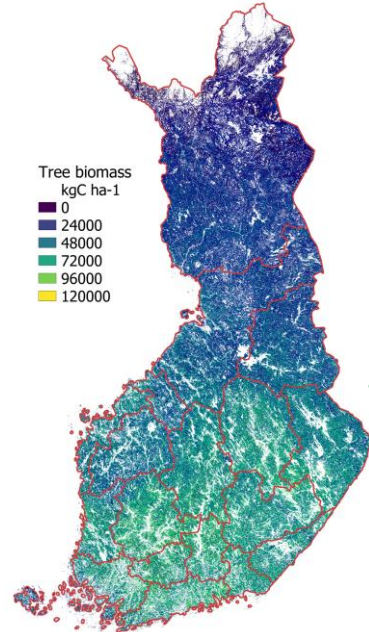


Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute

# PREBAS: Puuston hiilivaraston mallinnus

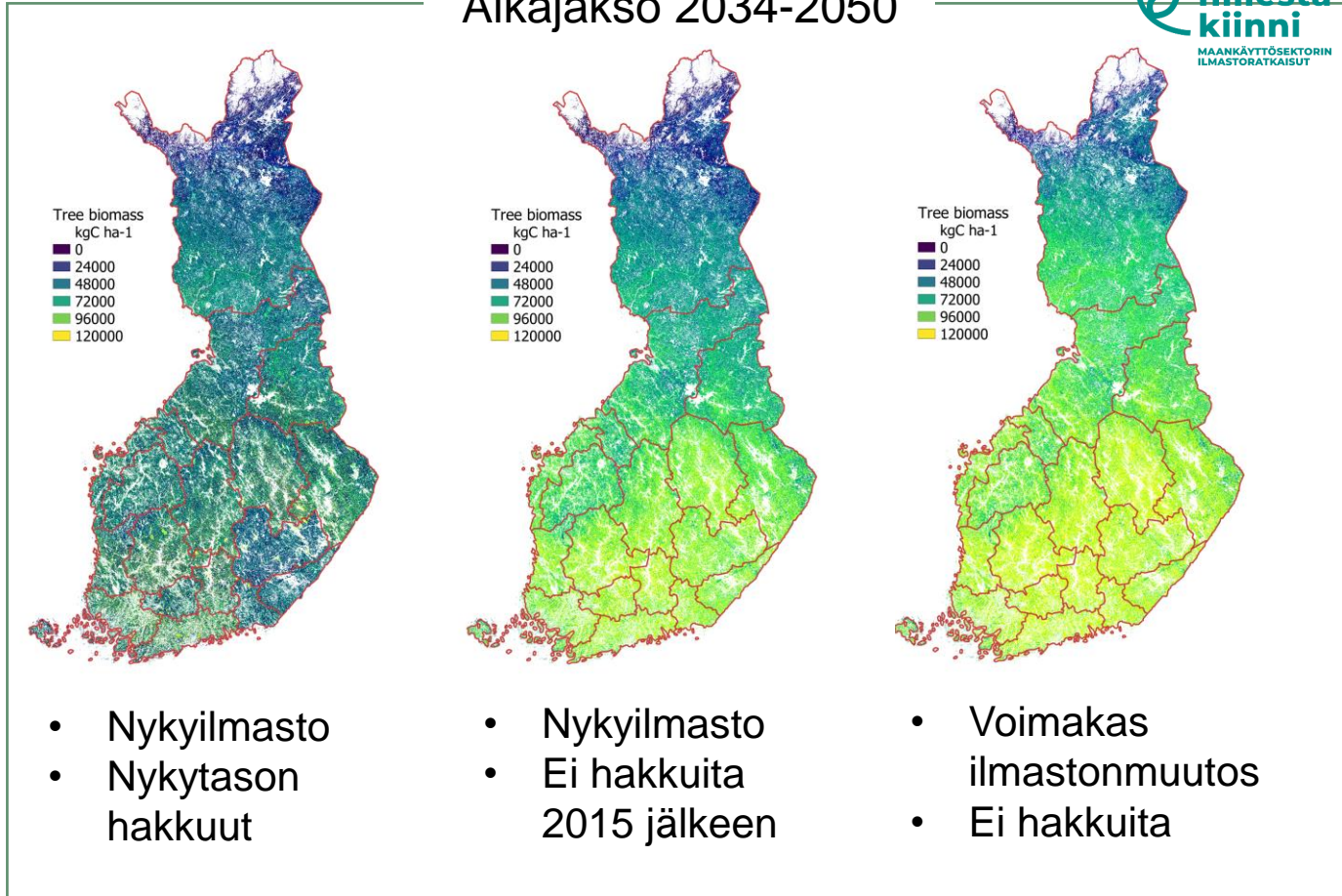


Aikajakso 2017-2025



- Nykyilmasto
- Nykytason hakkuut

Aikajakso 2034-2050



- Nykyilmasto
- Nykytason hakkuut

- Nykyilmasto
- Ei hakkuita 2015 jälkeen

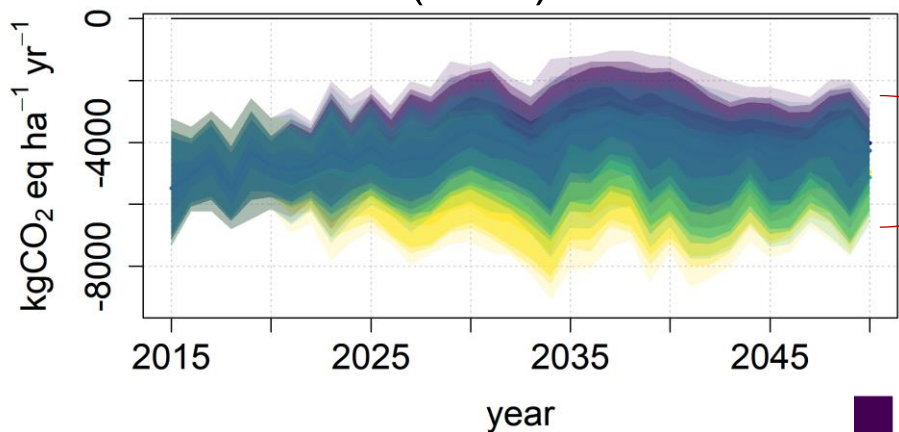
- Voimakas ilmastonmuutos
- Ei hakkuita

Huom!: Mallinnuksessa ei ole mukana erilaisia satunnaisia häiriöitä eikä typen saatavuuden rajoitteita -> Kasvu ja hiilivarastot todennäköisesti yliarvioitu

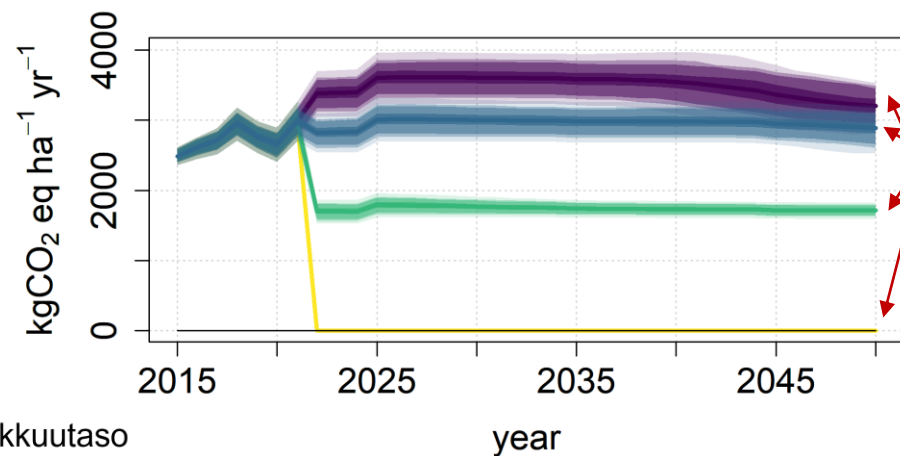


# Manner-Suomen metsien KHK-tase epävarmuuksineen

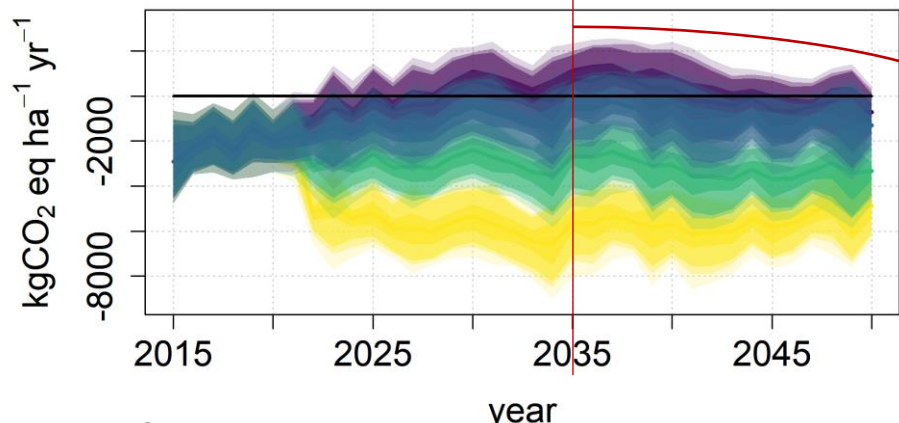
a) Hiilensidonta (NEE)



b) Hakkuissa poistunut hiili (Wharv)

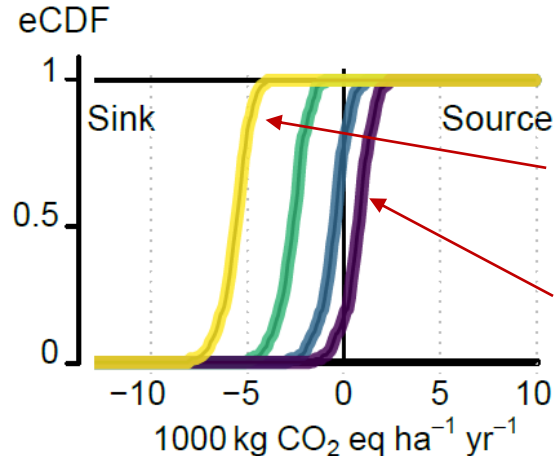


c) Nettohiilitase (NBE = NEE + Wharv)



- Nykyistä suurempi hakkuutaso
- Nykyinen hakkuutaso
- Nykyistä pienempi hakkuutaso
- Ei hakkuita

Nettohiilitase, vuosi 2035



NoHarv: varma nettonielu

MaxHarv: nettolähde  
~90% todennäköisyydellä



# Esimerkkieroja maakuntien välillä:

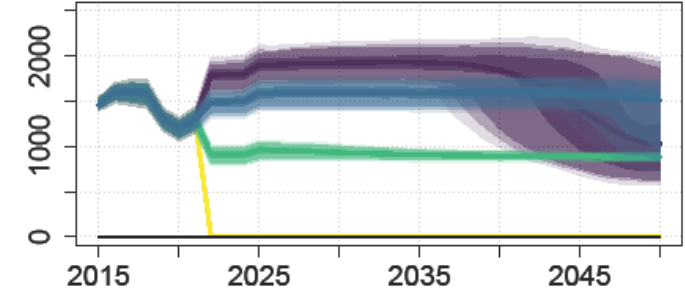
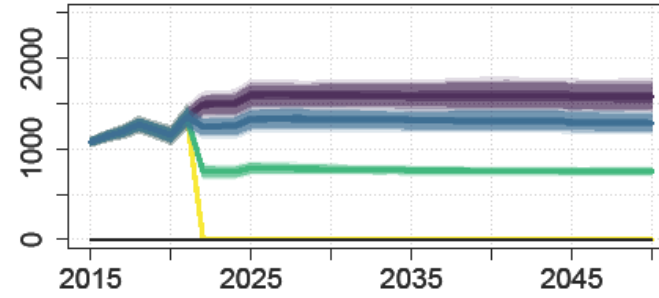
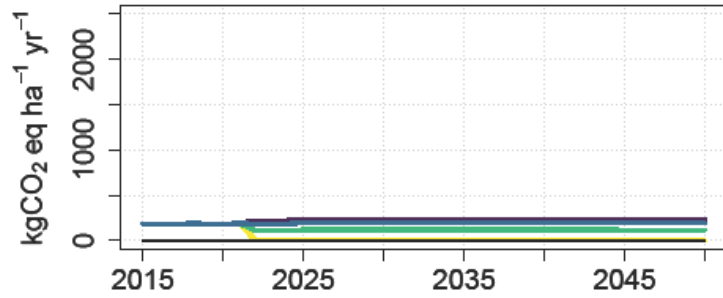
NoHarv LowHarv BaseHarv MaxHarv

## Lappi

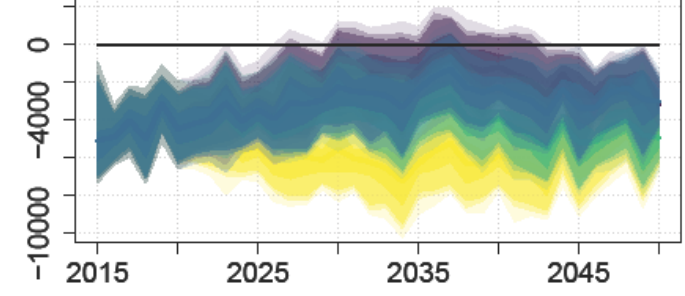
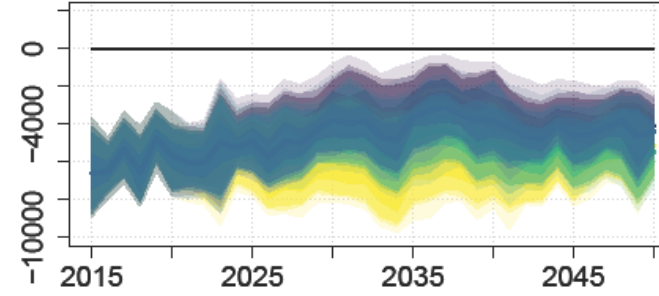
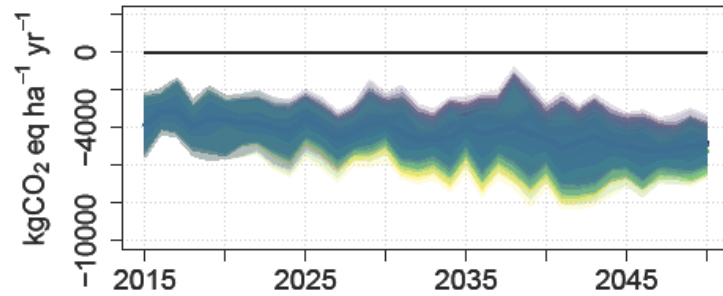
## Pirkanmaa

## Kymenlaakso

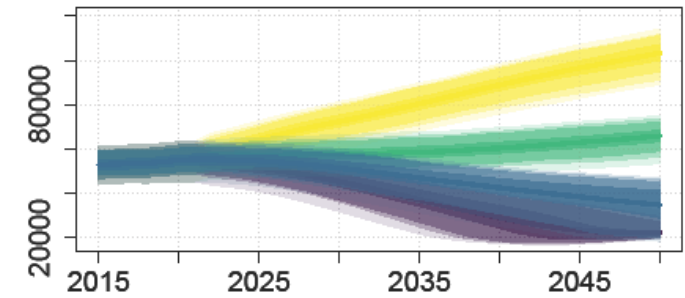
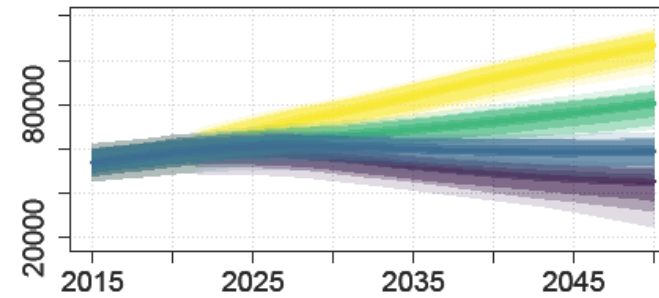
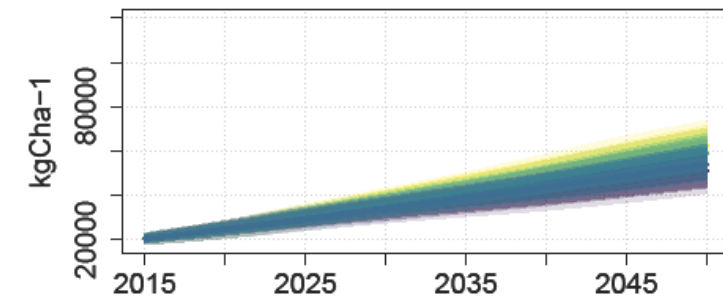
Hakuissa  
poistuva  
biomassa



Hiilensidonta



Puuston  
hiilivarasto



vuosi

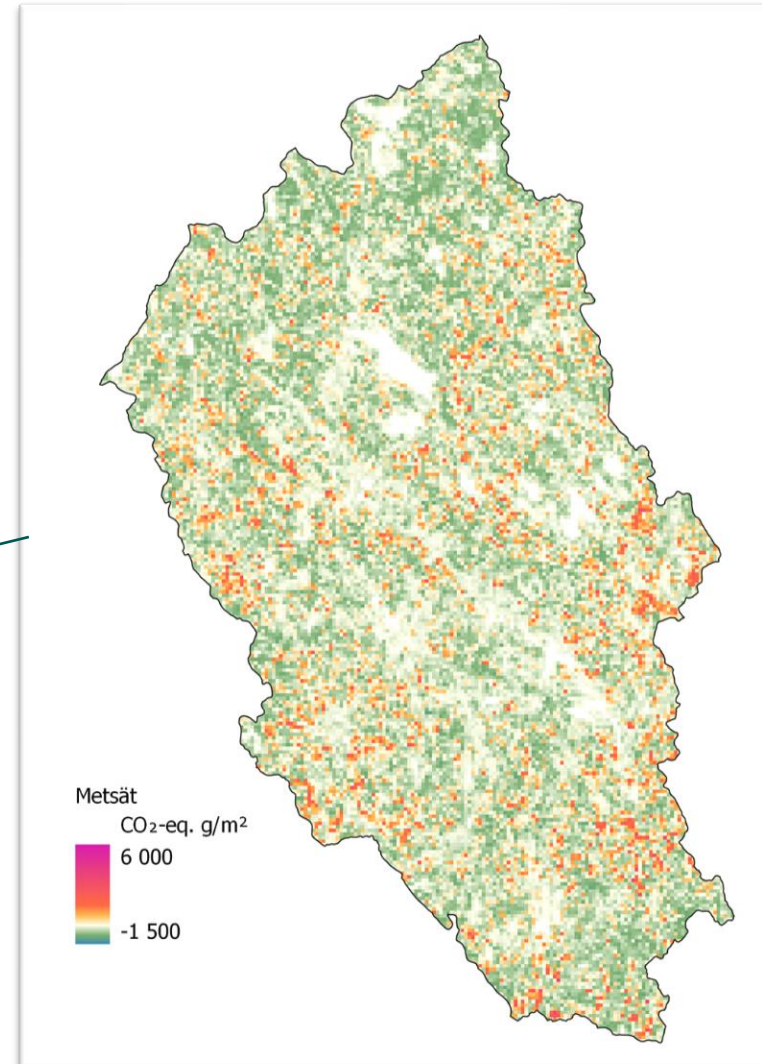
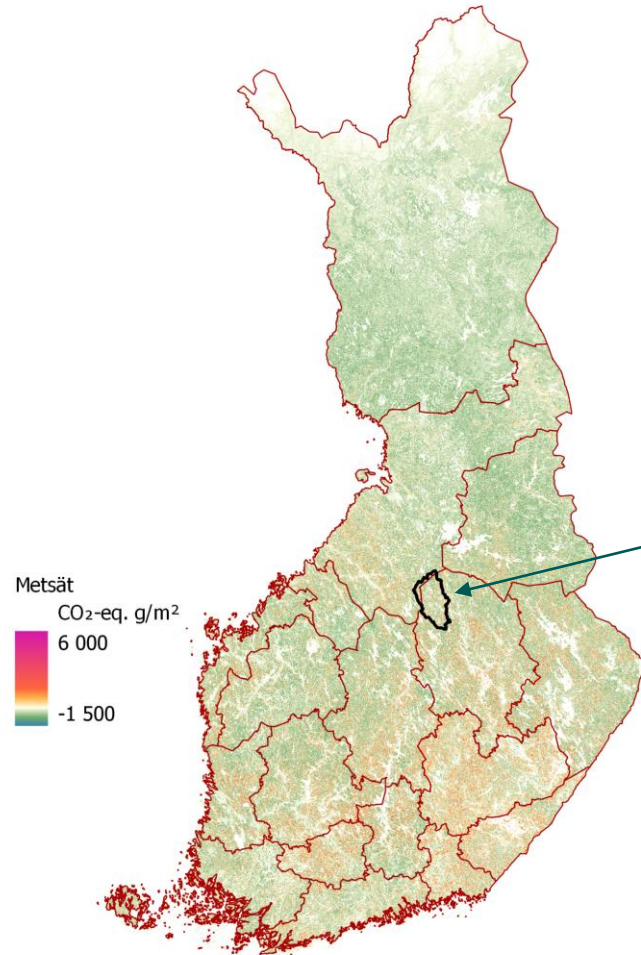
vuosi

vuosi

# Maakunnalliset nettonielupotentiaalit

- Maakuntien nettonielupotentiaaleissa suuria eroja johtuen esim.
  - alueen kasvuolosuhteista
  - historiallisesta metsänkäytöstä -> metsien nykyinen tila (tilavuus, ikä, kasvu, ...)
  - tulevaisuuden hakkuupaineesta
  - ilmastonmuutoksen vaikutuksista
- Tulevina vuosikymmeninä nettonielun kehitys riippuu paljon hakkuutasoista:
  - Pohjois-Suomen maakunnissa nettonielut mahdollista säilyttää nykyisillä hakkuutasoilla
  - Useimmissa maakunnissa nettonielujen säilyttäminen edellyttää hakkuiden vähentämistä
  - Maakunnissa, joissa hakkuutaso ollut aiemmin suurta, on hakkuita vähennettävä merkittävästi nykyisestä metsien pitämiseksi todennäköisinä nettonieluina tulevina vuosikymmeninä
- Ilmastonmuutos vaikuttaa kasvua ja hiilensidontaa lisäävästi kaikissa maakunnissa, mutta:
  - Tässä työssä ei vielä mallinnettu erilaisten häiriöiden (tuuli, palot, hyönteiset, ...) ja ravinteiden niukkuuden vaikutusta!
  - Metsätuhojen vaikutus tuo lisää epävarmuutta tulevaisuuden nettonielujen arviointiin

# Esimerkki pilottialueelta: Kiuruveden valuma-alueen metsien keskimääräinen nettohiilitase 2017-2025 kartalla




# Mallinnustulosten hyödyntäminen

## Yhteenkytkentä hiilen huuhtoutumiseen:

- Metsien karikesyötteen määrä (hiiltä/pinta-ala) riippuu monesta tekijästä, esim: puuston biomassa, hakkuutähteiden määrä, hiiliprosessien nopeus lämpenevässä ilmastossa, jne.
- PREBAS-mallin tuottamat arviot karikkeen määrästä eri skenaarioissa Vemala-mallin syötetietoina

## Suosituksia:

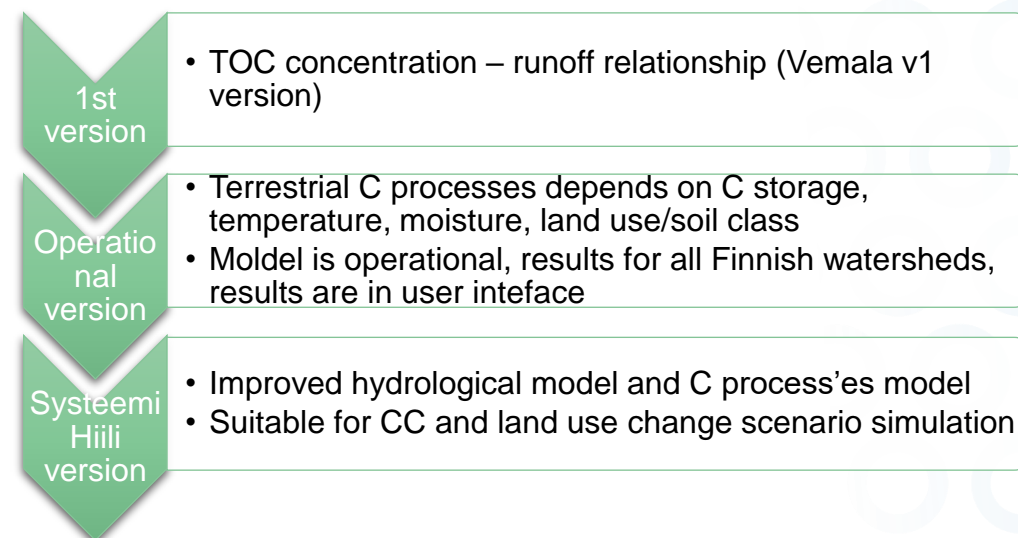
- Alueellisia ja valtakunnallisia hiilineutraaliustavoitteita suunniteltaessa on huomioitava eri maakuntien erilaiset mahdollisuudet lisätä tai ylläpitää metsien nettonielua
- Annettavia hiilitasetavoitteita tukevia tiekarttoja laadittaessa on huomioitava tiedon ja mallinnuksen epävarmuudet -> varovaisuusperiaatteella valittava keinot, joilla tavoiteltu lopputulos saavutetaan riittävällä varmuudella!



# Modelling of total organic carbon loading by Vemala-TOC

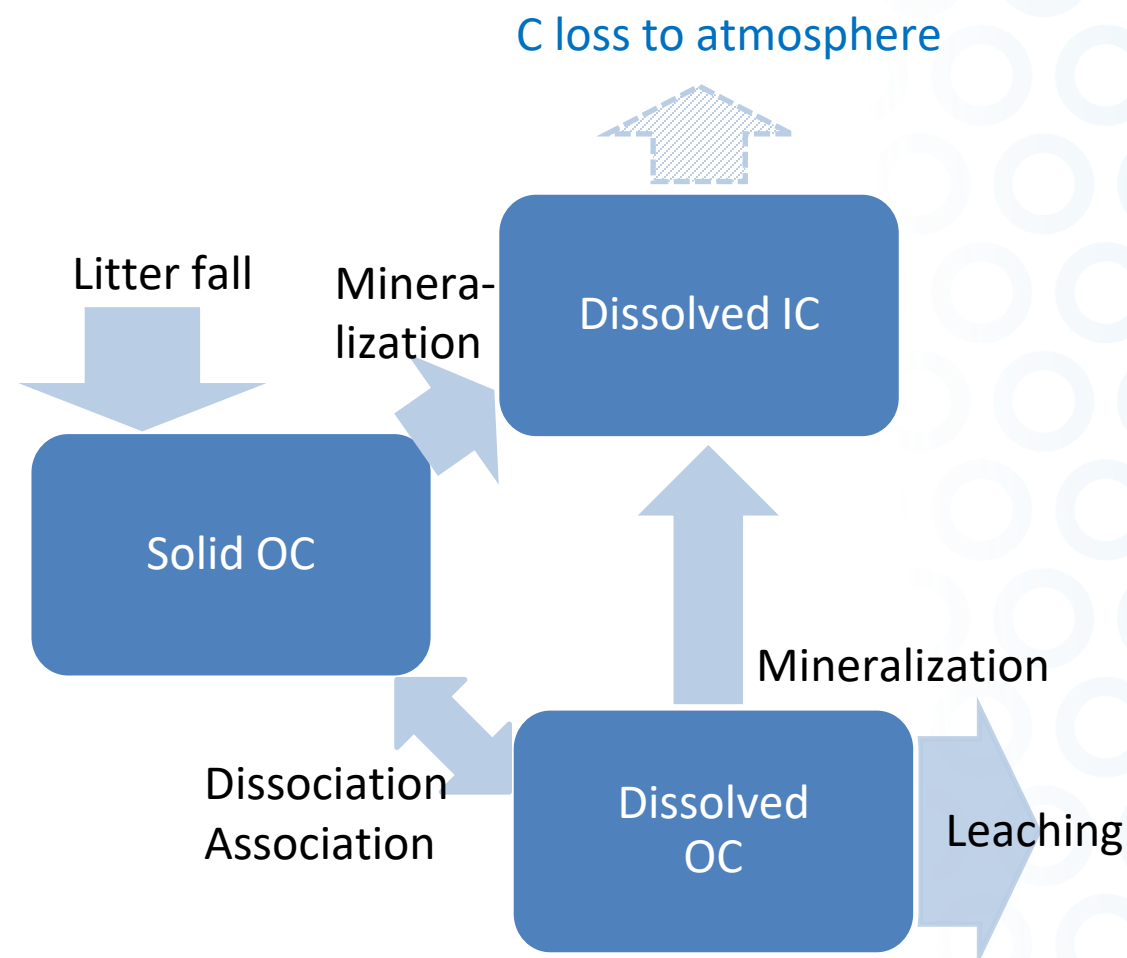
# WSFS-Vemala TOC model versions

- WSFS-Vemala modelling system:
  - national scale nutrient loading tool used in WFD implementation
  - VEMALA model is simulating TN, TP (and their fractions), SS, TOC (total organic carbon) loading for all Finnish watersheds,
  - Consists of several submodels – hydrological model, terrestrial models, river transport model, lake model
  - Catchment scale model, spatial unit: 3rd level sub-catchment (60 km<sup>2</sup>) and 4th level sub-catchment (around 2 km<sup>2</sup>), Time step – one day
- Aim of the **SysteemiHiili** project was to further develop and apply the Vemala modelling tool for TOC loading and CO<sub>2</sub> emissions from inland waters simulation in present conditions, climate change and land use scenarios at catchment scale
- Vemala TOC model was developed by using Lammi Biological Station (HY) data for Pääjärvi catchment and lake

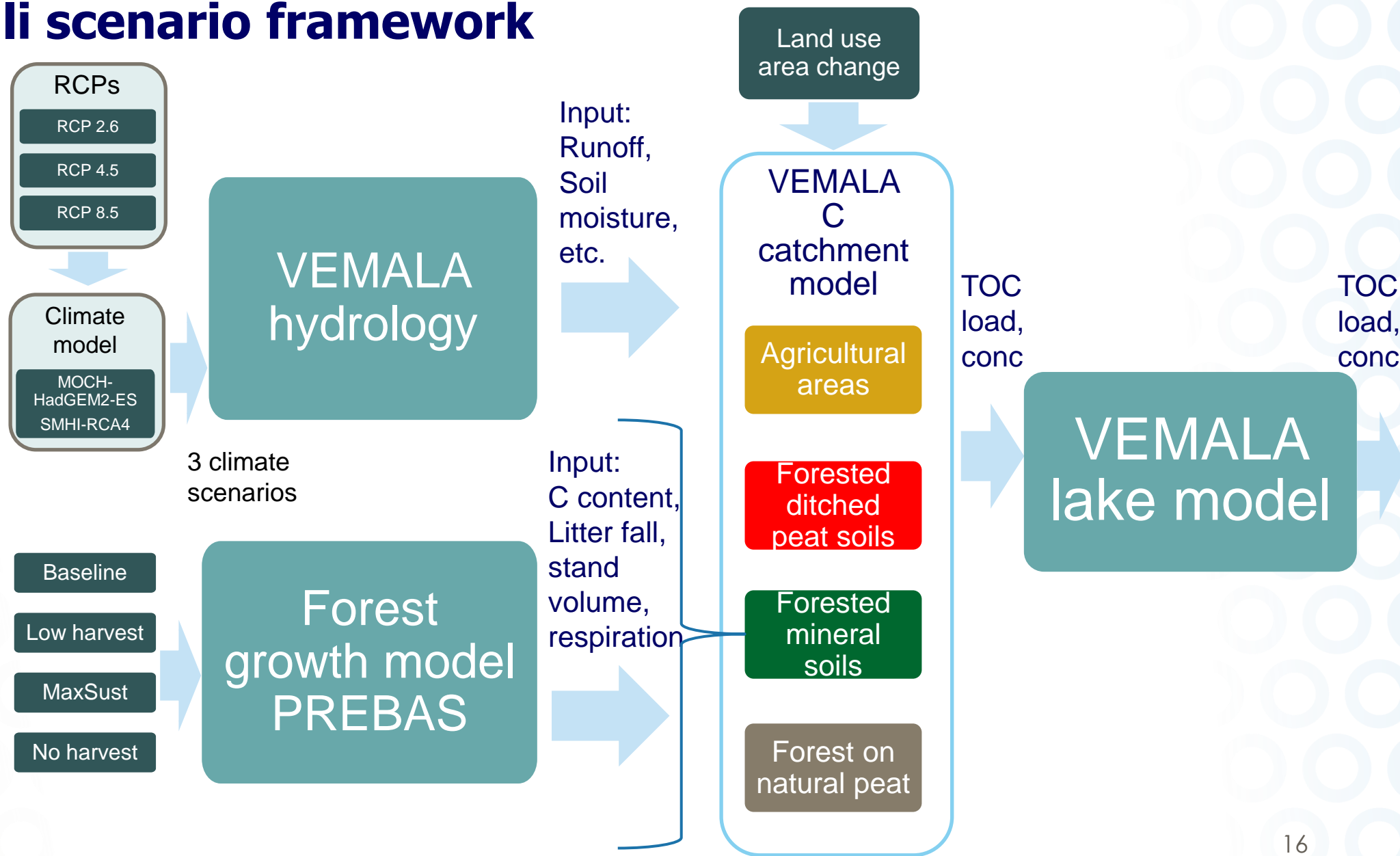


## Vemala TOC processes in the soil

- Based on INCA-C model (Futter et al., 2007)
- 3 C storages in the soil – solid organic carbon (SOC), dissolved organic carbon (DOC), dissolved inorganic carbon (DIC)
- Processes described in the model:
  - Mineralization of SOC and DOC (depends on T and soil moisture (SM))
  - Dissociation of SOC, Association of DOC
  - Leaching, Transport of DOC with subsurface runoff and baseflow
  - Process transformation rates are calibrated against TOC concentrations in streams
- 6 land use classes – agriculture on clay, coarse and peat soils, forest on mineral soils, forest on undrained peat soils, forest on drained peatlands
- Input data – C in litter fall, C storage in soil



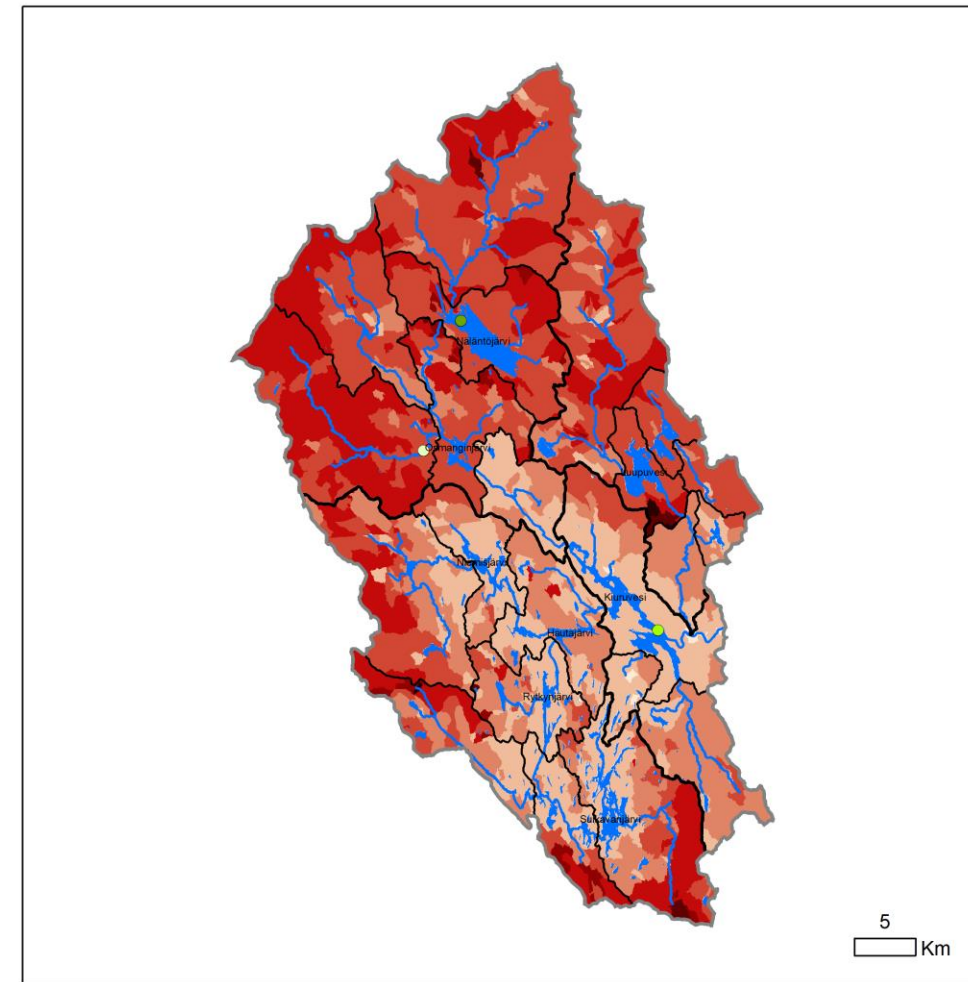
# SystemeHiili scenario framework



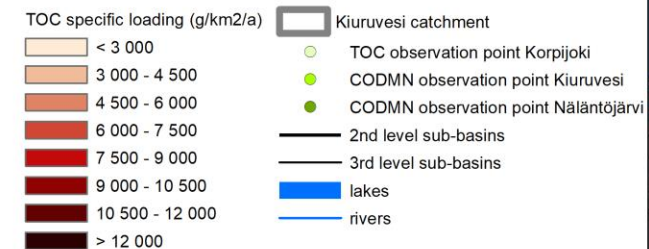


# Kiuruvesi case study, map, background information

- Kiuruvesi catchment is situated in upper part of Vuoksi catchment.
- Kiuruvesi catchment area is 1419 km<sup>2</sup>,
- surface area of the lake is 14.2 km<sup>2</sup>,
- mean depth 1,4 m.
- Low residence time, 14 days.
- Dominant land use type in Kiuruvesi catchment is forests on mineral soils (52%),
- the next largest class is forests on drained peat lands (26%).
- High share of drained peatlands in the catchment effects on high TOC concentrations in surface waters.



**TOC specific loading in Kiuruvesi catchment mean for 1990-2022**



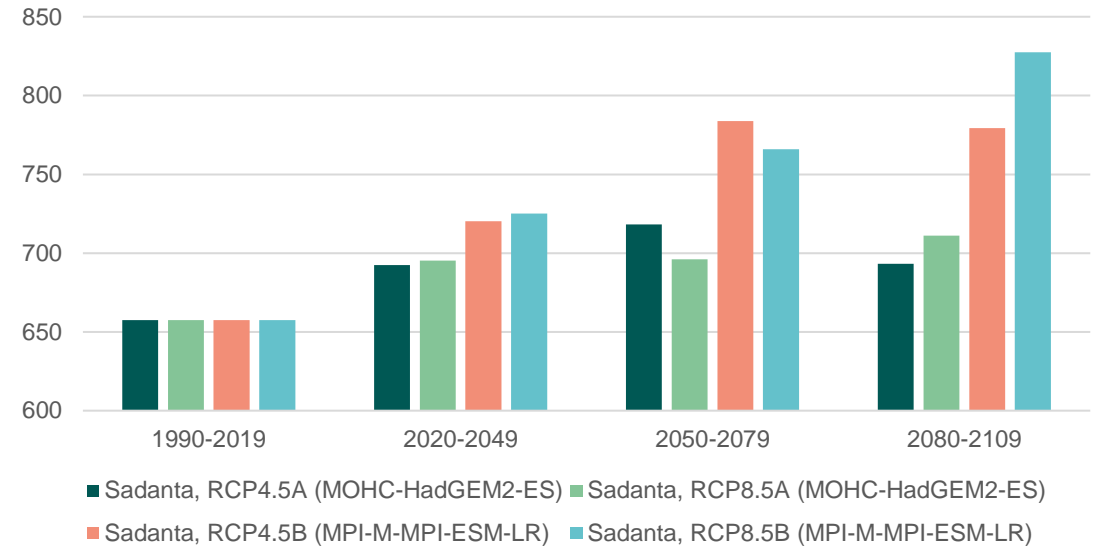


# Changes in hydrology

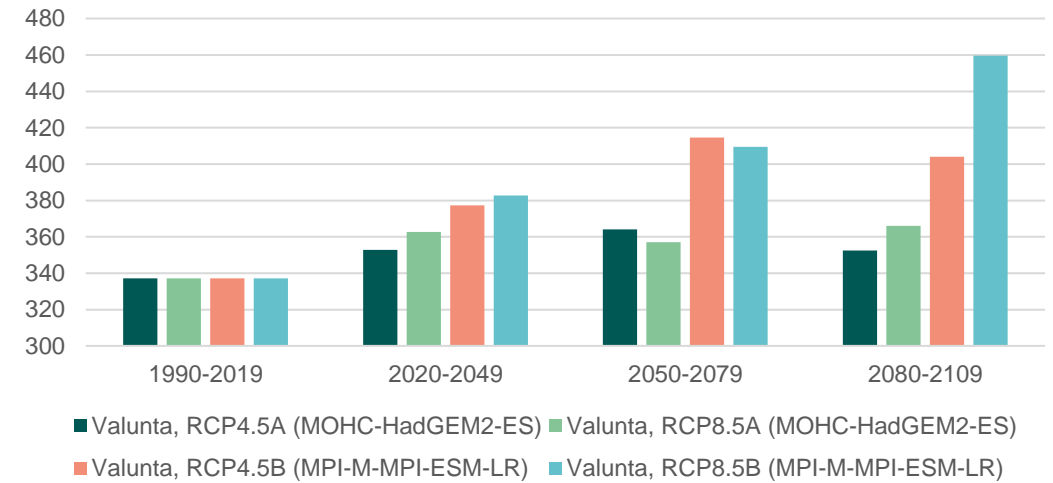
# Changes in runoff (in Kiuruvesi catchment)

- RCP4.5A: keskimääräinen ilmastonmuutosskenaario
- RCP8.5A: voimakas ilmastonmuutosskenaario
- RCP4.5B: keskimääräinen ilmastonmuutosskenaario
- RCP8.5B: voimakas ilmastonmuutosskenaario
- MPI Climate model is more wet and more moderate temperature increase
- Runoff is increasing in wide range from 5 to 36% by 2080-2109
- Precipitation change is governing the runoff changes (increasing from 5 to 26% by 2080-2109), also evapotranspiration matters

Sadannan muutos



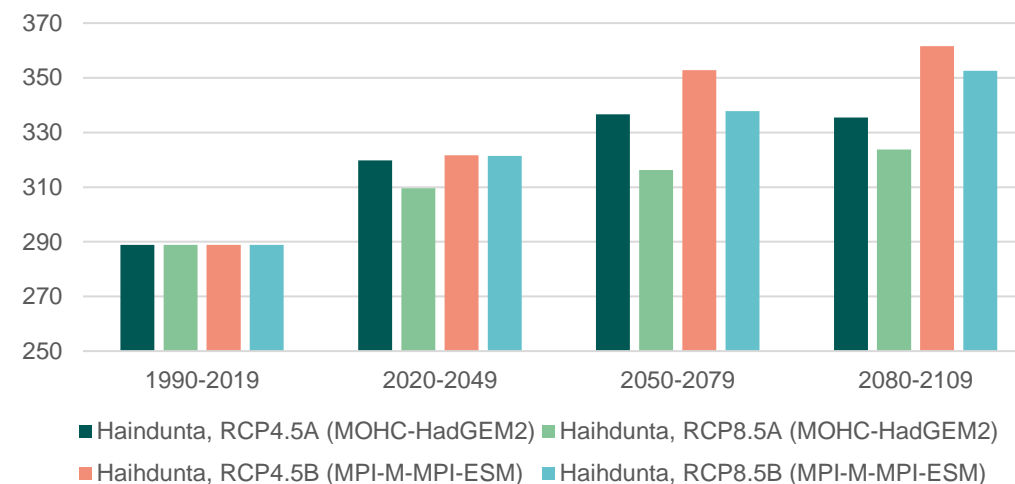
Valunnan muutos



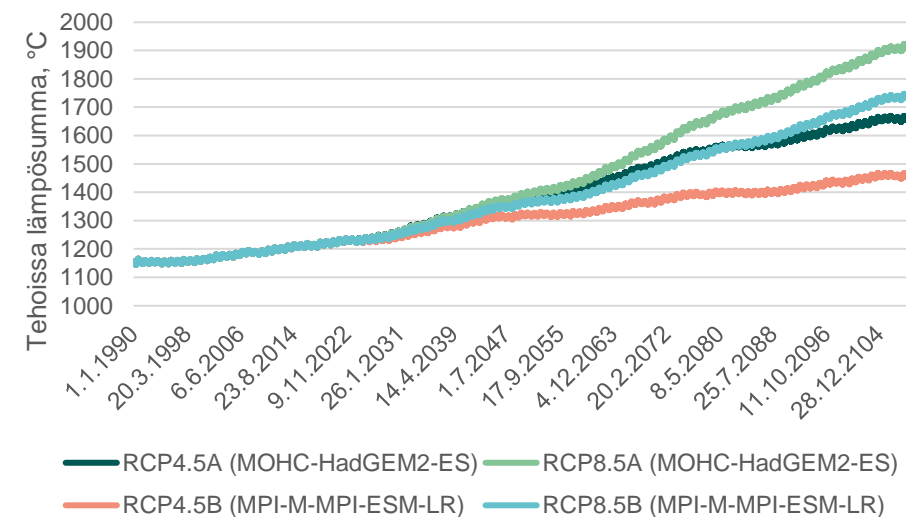
# Changes in climate

- Evapotranspiration increase depends on P and T increase:
  - Evapotranspiration is increasing the most in wet scenarios
- Growing degree-day (GDD) are calculated by taking the integral of warmth above a base temperature (5 °C)
- GDD has already increased by about 90 °C, which prolongs the growing season

Haihduksen muutos

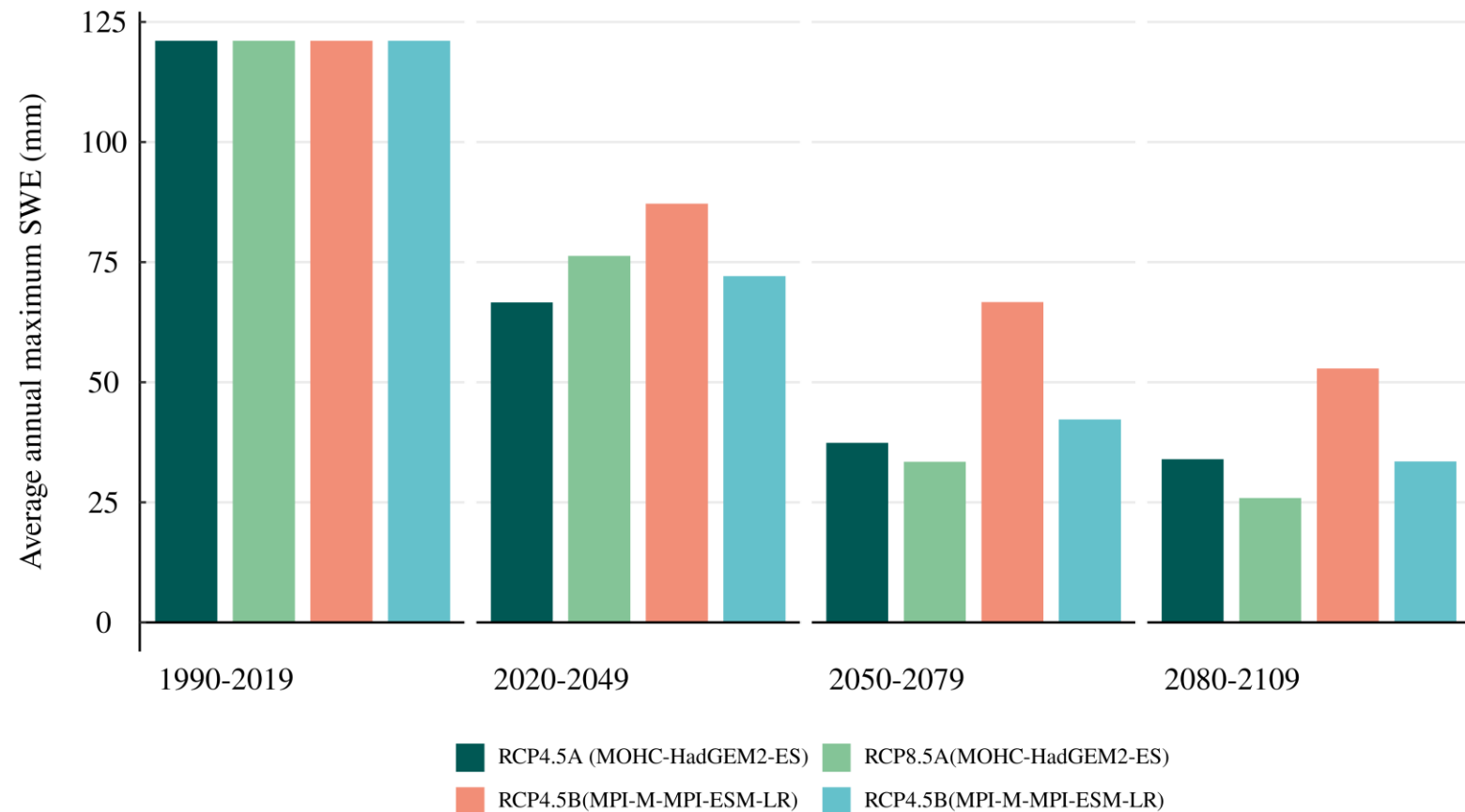


Tehoisan lämpösomman muutos



# Changes in snow cover

- Snow cover depth will drastically decrease in climate change scenarios
- Days with snow cover will also decrease considerably
- Due to changes in snow cover spring flood peak will be lower, which affects on TOC loading

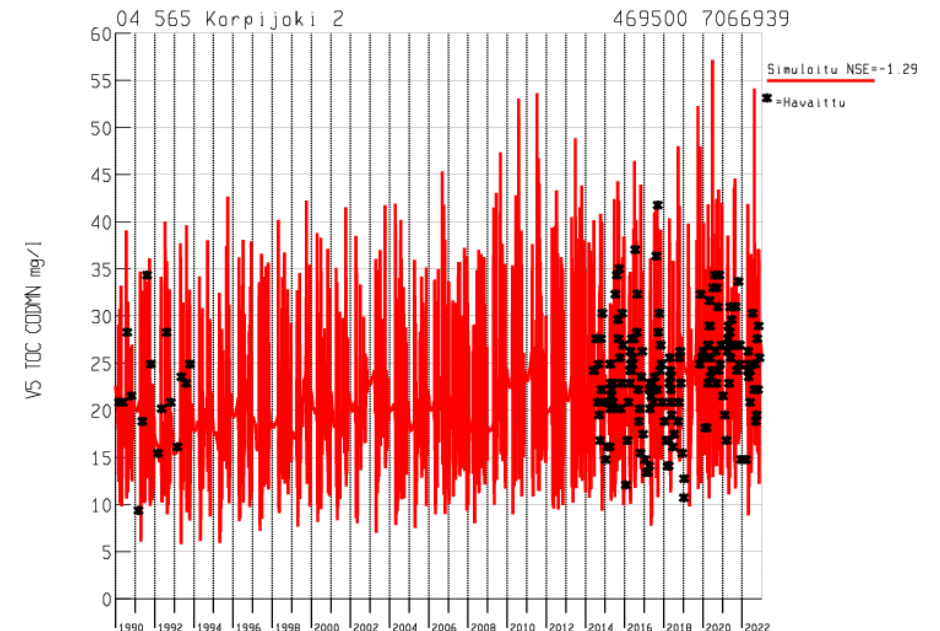
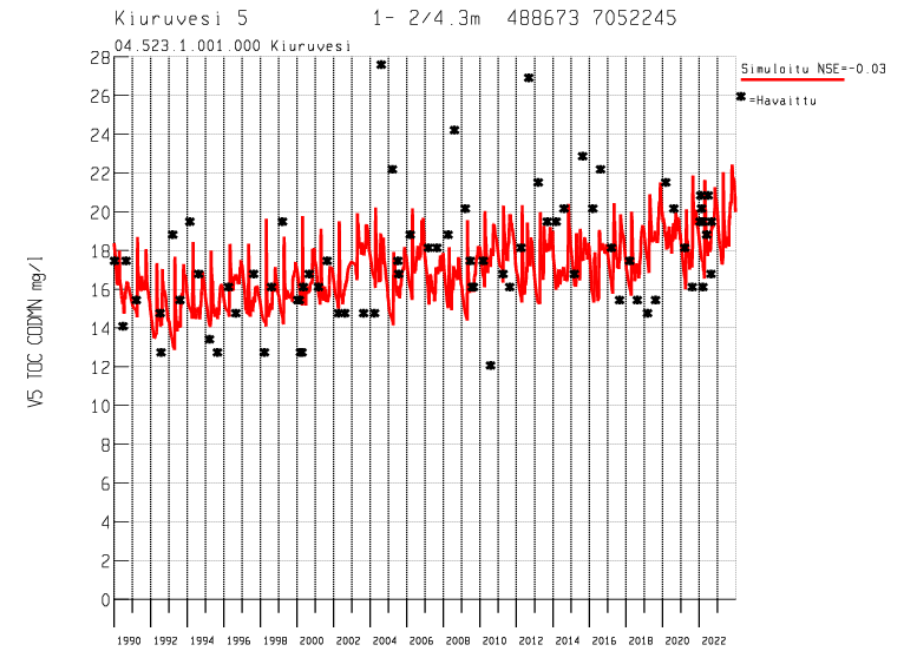


# Changes in TOC loading



# TOC concentration increase (1990-2022)

- Reasons for increasing trend of TOC concentrations:
  - Temperature increase
  - Tree stand volume (litter fall) increase
  - Peatland drainage is increasing TOC concentrations in waters (Nieminen et al., 2021; Finer et al., 2021)
- In the model empirical coefficient is added to increase TOC specific loading ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) for drained peat soils
- Empirical coefficient is increasing linearly for 1990-2022
- Drained peatland area is constant in the model



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](https://www.elsevier.com/locate/scitotenv)




Peatland drainage - a missing link behind increasing TOC concentrations in waters from high latitude forest catchments?



Mika Nieminen <sup>a,\*</sup>, Sakari Sarkkola <sup>a</sup>, Tapani Sallantausta <sup>b</sup>, Eliza Maher Hasselquist <sup>c</sup>, Hjalmar Laudon <sup>c</sup>

# Combined climate change, forest harvest and peat soil management scenarios

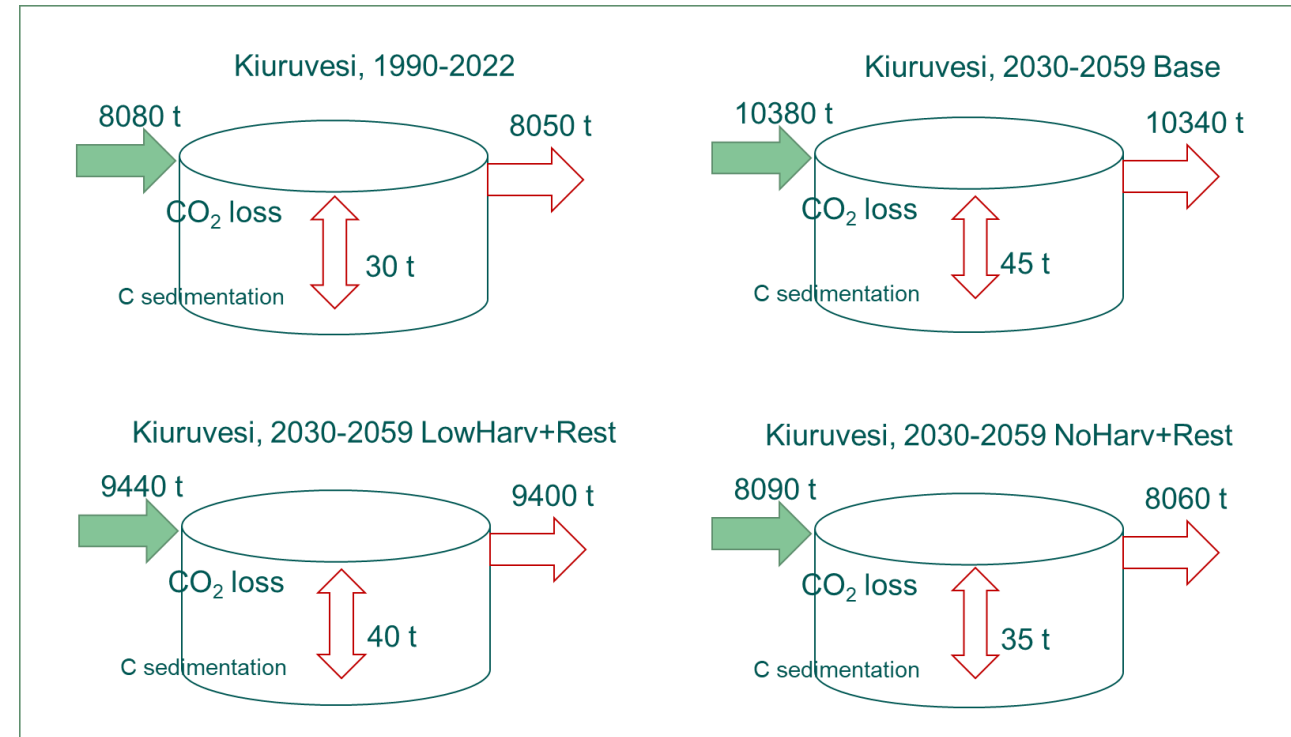
- In PREBAS forest harvest scenarios on peat soils also changes in soil management should be considered
- 16 scenarios has been run:
- 4 Climate change scenarios (Temperature, Precipitation)
- 4 PREBAS harvest scenarios (litter fall input)
- Combined PREBAS harvest scenarios + peat soil management scenarios

PREBAS harvest scenarios		Peat soil management scenarios	
Harvest scenario (PREBAS)	Harvest levels (PREBAS)	Empirical increase of peat drainage effect	Peat restoration assumptions
Applicability	<i>Applies to peat and mineral forests</i>	<i>Applies to drained peat soils</i>	<i>Applies to drained peat soils</i>
Base	stays the same	Increase slows down by 50%	no peat restoration
LowHarv	minus 40% of present	Increase slows down by 50%	40% of drained peat soils are restored in 2030. Assumption: in 10 years TOC loading decrease back to natural peat land loading
NoHarv	no harvest	Increase slows down by 50%	100% of drained peat soils are restored in 2030. Assumption: in 10 years TOC loading decrease back to natural peat land loading
MaxHarv	plus 20% to present	DOC production rate is increasing by 20% more than in Base, LowHarv, NoHarv	no peat restoration



# Kiuruvesi lake TOC balance in combined scenarios

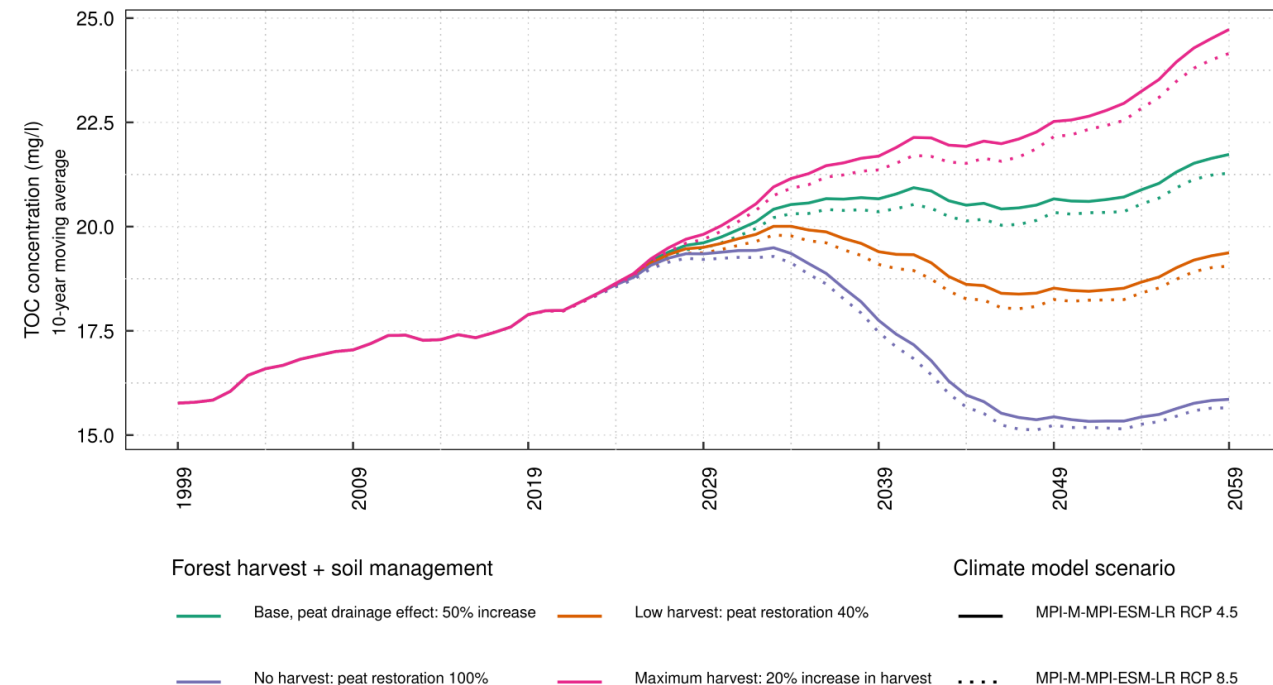
- Kiuruvesi, low residence time – 14 days, low TOC in-lake losses 0.4%
- TOC balance and concentration in lakes depends on inflow load, outflow load and TOC in-lake losses.
- In the scenarios all these 3 components will change due to the multiple changes (hydrology, C processes in the soils, etc.)
- In Base and LowHarvest+Restoration scenario TOC loading is predicted to increase by 28% and 17%
- Only in 100% drained peat soil restoration scenario TOC loading would decrease to mean for 1990-2022



- Base – CC + business as usual scenario.
- LowHarv+Rest – CC + 40% lower harvest, 40% of drained peat soils are restored
- NoHarv+Rest – CC + no harvest, 100% of drained peat soils are restored

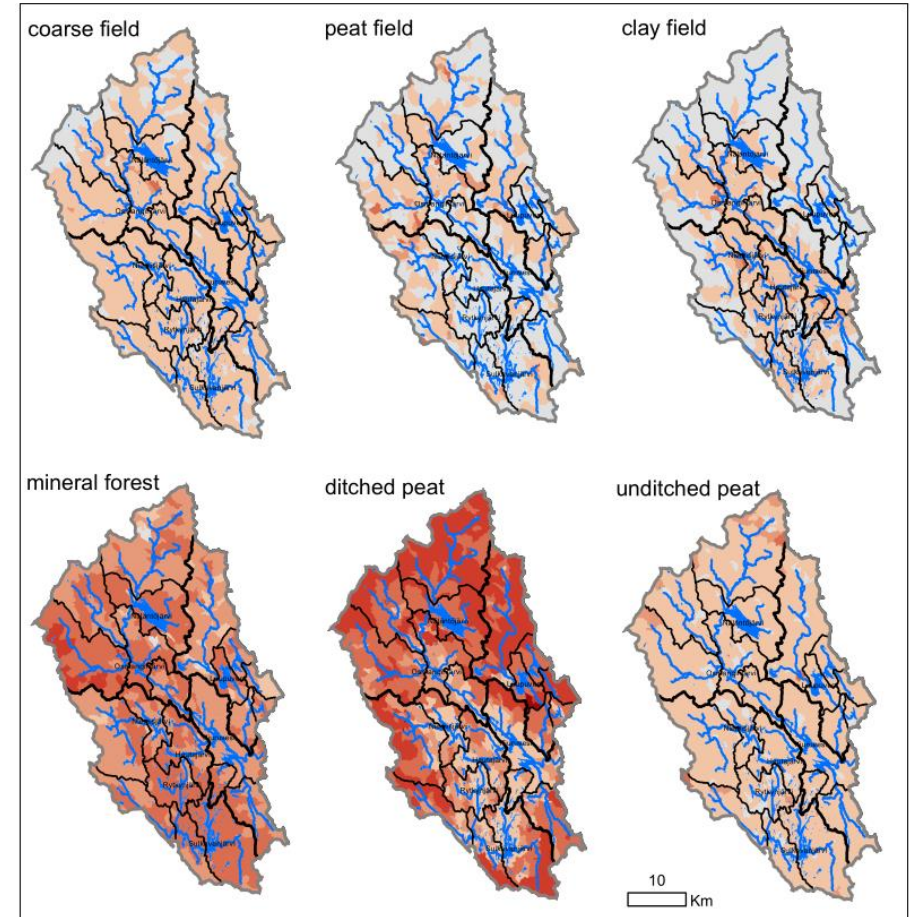
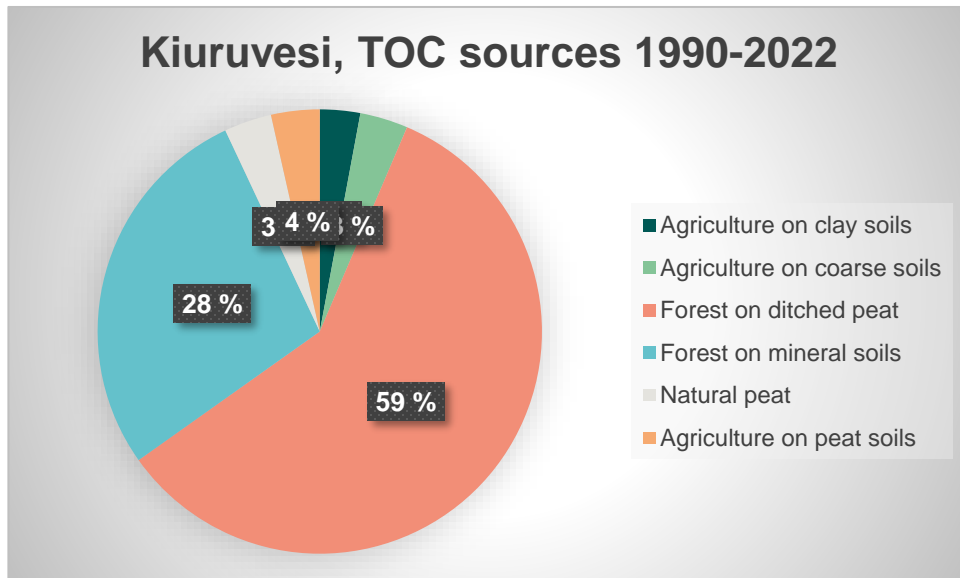
# TOC concentrations in Kiuruvesi lake

- Only climate change is slightly increasing TOC concentrations (until 2059)
- Litter fall change in forest harvest scenarios has slight effect on TOC loading
- Peat soil management has the most effect in scenarios
- Harvest scenarios on peat soils definitely should consider peat soil management changes:
  - Realistic range is between green (Base) and orange lines (Low harvest, 40% restoration)
  - Red (Max Harvest) and blue (No harvest) are extreme, quite unrealistic scenarios, which give the perspective of maximum limits

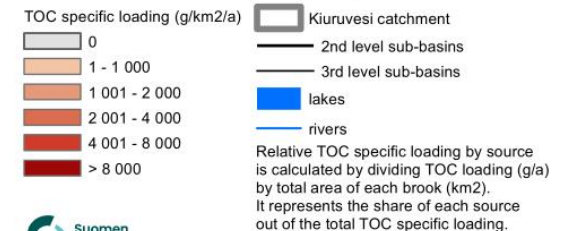


# Source apportionment of TOC loading

- Main source of TOC loading for Kiuruvesi is ditched peatlands
- We also simulate spatial differences of the TOC loading
- TOC loading maps can be used to detect the hot-spot areas, where the measures should be done

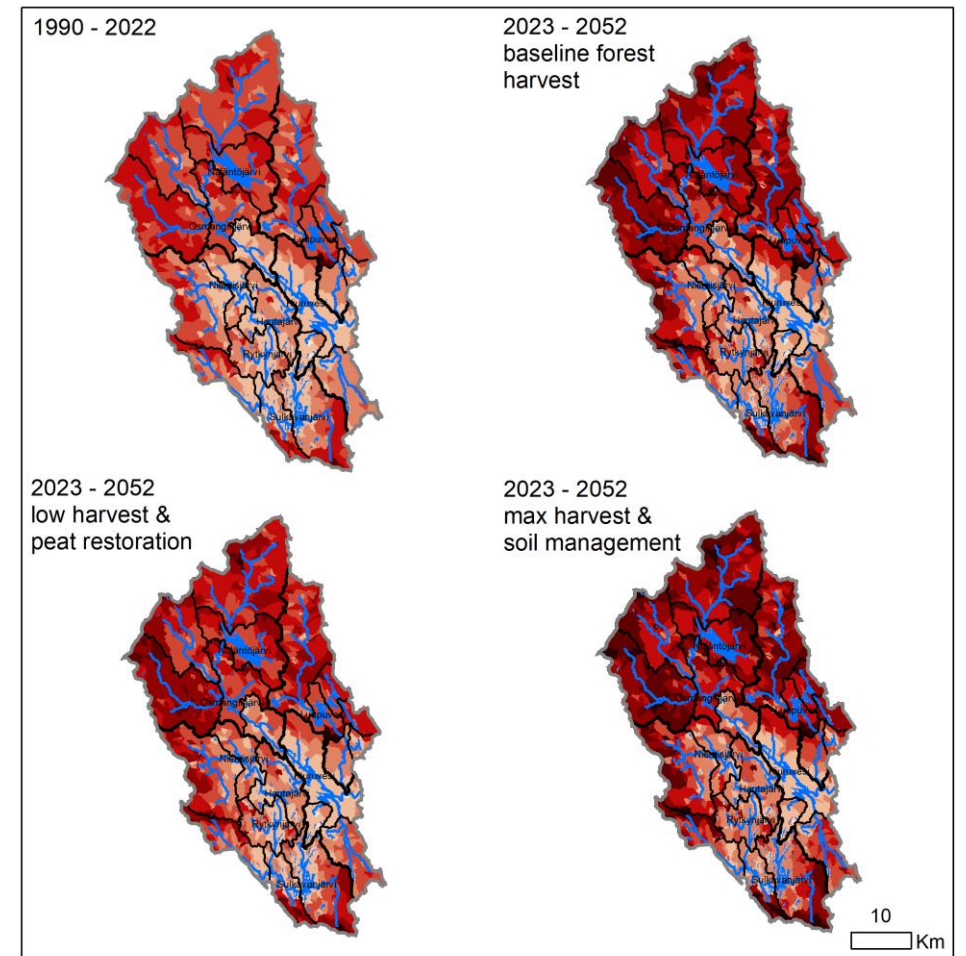


**Kiuruvesi catchment: Relative TOC specific loading by source 1990-2022**

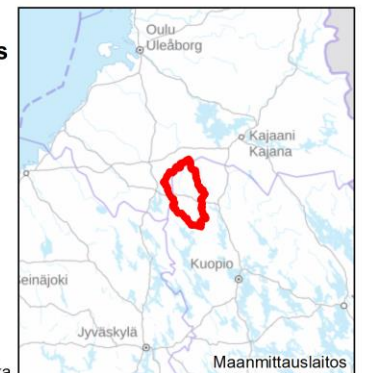
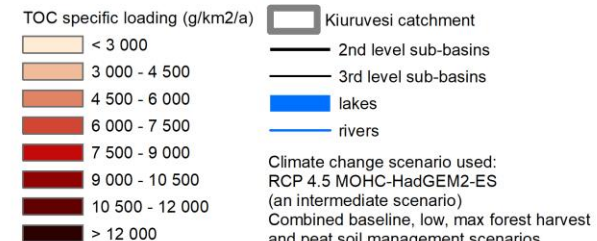


# Spatial variation of TOC loading

- Model also simulates spatial variation of TOC loading
- Provides changes of TOC loading in scenarios
- In Base, MaxHarvest+noRestoration and LowHarvest+Restoration scenario TOC loading is predicted to increase
- Only in 100% drained peat soil restoration scenario TOC loading would decrease to mean for 1990-2022 (not shown as a map)



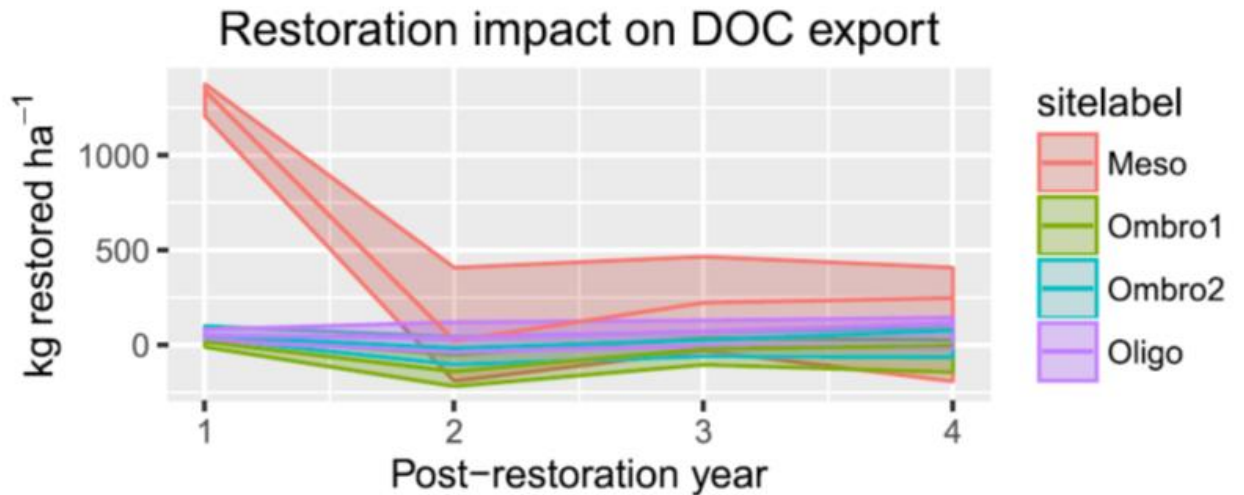
**TOC specific loading in Kiuruvesi catchment in forest harvest and peat soil management scenarios**



# Uncertainties in the scenario implementation

- In general: it is important to take into account changes in peat soil management in forest harvest scenarios
- Uncertainty in peat restoration scenarios:
  - Peat restoration is increasing TOC loading few years after the restoration from nutrient rich sites
  - It is unknown, which are nutrient rich peat soils
  - Instead, in the model it is assumed that TOC loading is decreasing linearly
- The biggest uncertainty is caused by empirical coefficient of linear increase of peat drainage effect and how it will change in future scenarios

## GRAPHICAL ABSTRACT



Koskinen et al. 2017.

[Science of the Total Environment 586 \(2017\) 858–869](#)

# Conclusions

- TOC concentrations are increasing since 1990s in catchments with high drained peat soil areas.
- The reasons for increasing TOC concentrations are climate change, increase in litter fall back to the soils and peat soil drainage.
- Linking forest growth model (PREBAS) to Vemala TOC is important and provides carbon inputs to the soils in climate change scenarios
- TOC loading and TOC concentrations are predicted to increase in Base (climate change + business as usual) scenario in Kiuruvesi and Pääjärvi catchments.
- TOC loading and TOC concentration can be slowed down by restoration of drained peat soils simulated in LowHarvest+Restoration and NoHarvest+Restoration scenarios.
- **Drained peat soil restoration is the only land-use option which eventually puts an end to water emissions** occurring from drained peatlands (Juutinen et al. 2020)

# Recommendations and summary

Status of Vemala TOC versions:

- New Vemala TOC version is applied to Pääjärvi catchment and Kiuruvesi catchment
- Future task is to evaluate can new Vemala TOC to all Finnish watersheds, challenges with large lake-chain catchments
- Older Vemala TOC model is applied to all watersheds in Finland and results are available to environmental administration personell through Vemala user interface
- We support and **recommend including TOC as one of the criteria for lake ecological classification**, as the increased TOC concentrations are causing brownification, which effects on lake ecology
- Vemala TOC can provide simulated TOC concentrations to take into account in ecological classification
- Vemala TOC is providing source apportionment of TOC loading on coarse spatial scale
- Model can be used for combined climate change, forest harvesting and peat soil management scenario assessments

# Thank you!

More information: [https://www.syke.fi/en-US/Research\\_\\_development/Water/Models\\_and\\_tools/Models\\_for\\_river\\_basin\\_management\\_planning/A\\_water\\_quality\\_and\\_nutrient\\_load\\_model\\_system\\_for\\_Finnish\\_watersheds\\_VEMALA](https://www.syke.fi/en-US/Research__development/Water/Models_and_tools/Models_for_river_basin_management_planning/A_water_quality_and_nutrient_load_model_system_for_Finnish_watersheds_VEMALA)



Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute