

SysteemiHiili-hanke pähkinäkuoressa

Ilmastotoimenpiteiden kokonaisvaltainen arviointi valuma-alueilla – Systeemianalyysillä 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, systeemisyy, kokonaisvaltaisuus ja yhteiskehittäminen.

Toimintaympäristön muutoksia ennakoivia ratkaisuehdotuksia, joilla maa- ja metsätaloutta ja muuta maankäyttöä saadaan sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä suunnattua ilmastokestävämmäksi.

**Loppu-
seminaari
28.11.**

**Ilmoittaudu
13.11.
mennessä.**

Tulevat webinaarit

pe 17.11. Maankäytön ja ilmastomuutoksen vaikutukset metsien ja vesien hiilivirtoihin: **PREBAS- ja VEMALA-mallitarkastelujen tuloksia** (Virpi Junttila & Inese Huttunen, Suomen ympäristökeskus (Osittain englanniksi / Partly in English))

pe 8.12. Valuma-alueason 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)



Vedet tummuvat: Orgaanisen hiilen (TOC) muutokset Suomen vesistöissä

Antti Räike

SystemiHiili-hanke WP2:

Ahti Lepistö, Antti Räike, Pirkko Kortelainen, Laura Härkönen, Antti Taskinen

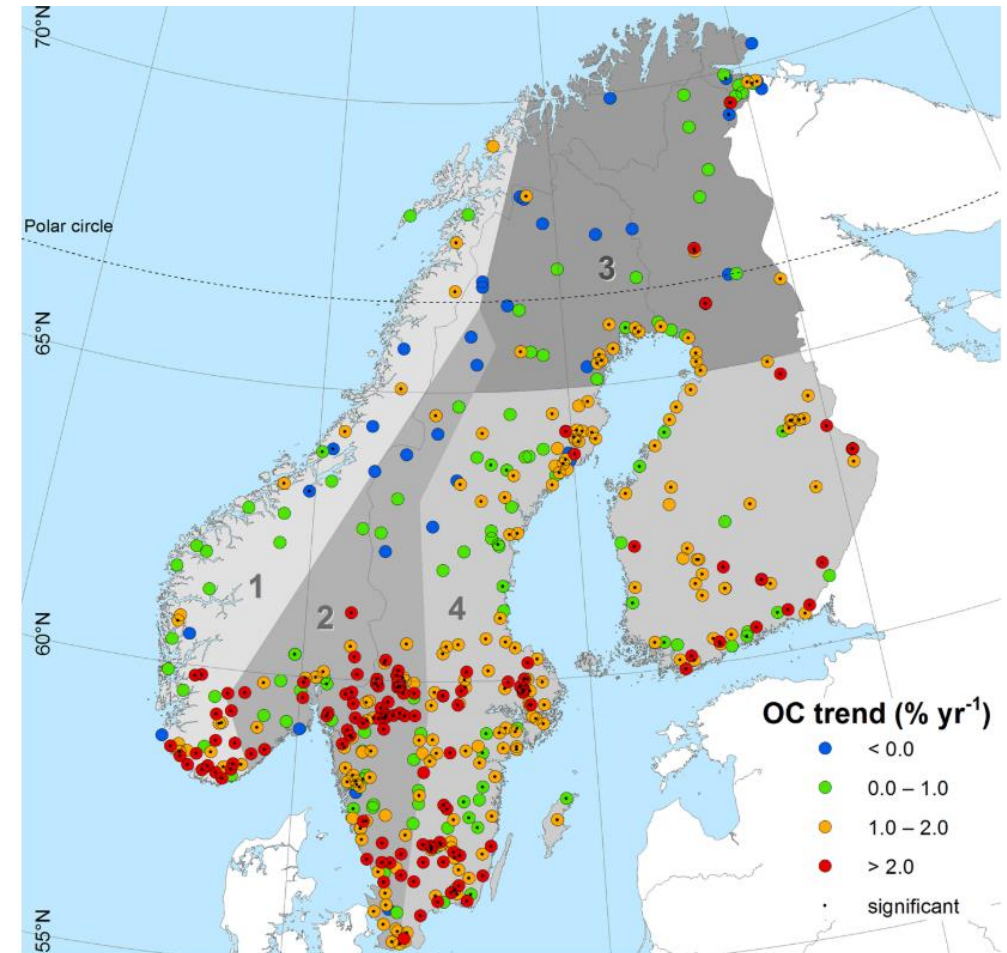


Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Sisältää muokattua Copernicus-dataa, SYKE (8.8.2022)

Tutkimuksen tausta

- Lukuisissa tutkimuksissa, etenkin boreaalisella vyöhykkeellä, on havaittu vesistöjen tummumista
- Tummumista pidetään yleisesti synonyyminä orgaanisen hiilipitoisuuden kasvulle vesistöissä (de Wit ym. 2017)
- Myös rauta vaikuttaa tummumiseen: keskimäärin 12 % järvien väristä aiheutuu raudasta (Xiao & Riise 2021) ja 29 % vastaavasti virtavesien väristä (Xiao ym. 2015,)



Lähde: de Wit ym. 2016

Tutkimuksen tavoite

Paljon on jo tutkittu miksi tarvitaan vielä lisätutkimuksia?

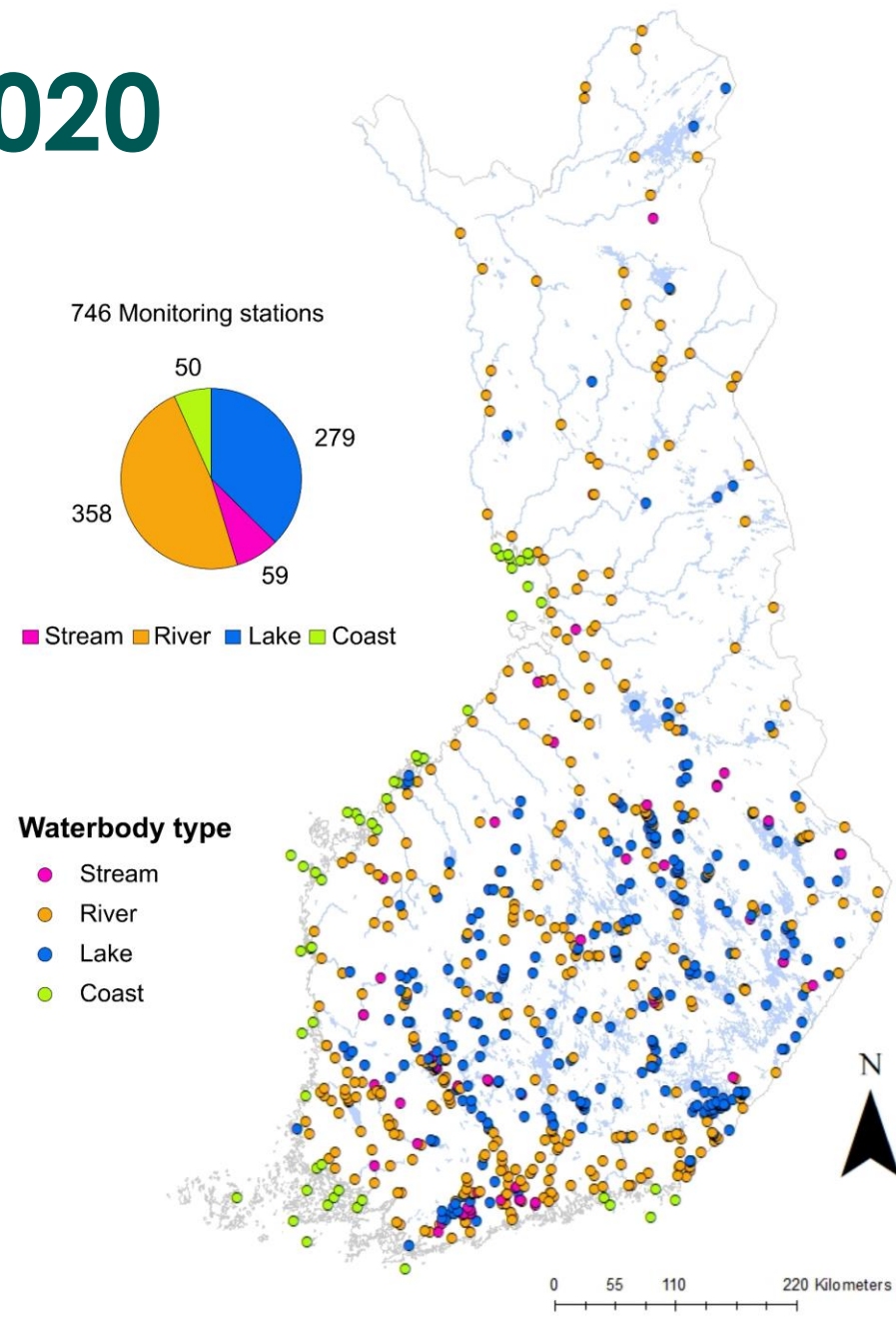
- Tutkimukset kohdistuneet joko pieniin valuma-alueisiin tai järviin, tietyn kuormituslähteen, kuten metsätalouden vaikutuksiin tai suurten jokien kuljettamaan hiilimäärään



- **Erityyppisten vesistöjen valtakunnallinen tummumiskehitys ei ole kattavasti selvillä**
 1. Tämän selvittäminen oli trenditarkastelun tärkein tavoite
 2. Lisäksi tavoitteena oli yrittää löytää, mitkä tekijät vaikuttavat vesistöjen TOC-pitoisuuksien muutoksiin

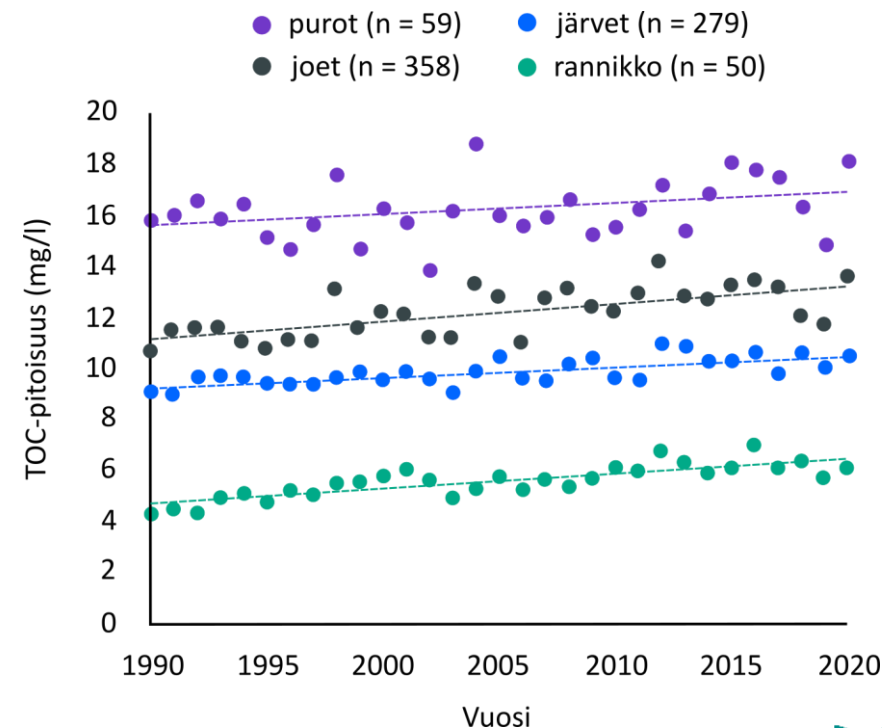
Vedenlaatuaineisto 1990-2020

- Kaikki Syken VESLA-tietokannassa olevat vedenlaadun havaintopaikat, joista on riittävästi (> 50 kpl) TOC/COD-havaintoja koko jaksolla
 - Sekamallinnuksen avulla TOC-aikasarjoja täydennettiin COD_{Mn} -datalla
- Yhteensä 746 paikkaa
 - Yli puolet (55 %) paikoista virtavesissä
- Maantieteellinen kattavuus hyvä, mutta Lapissa paikkoja muuta maata vähemmän
- Vedenlaatunäytteitä yhteensä yli 132 000 kpl



TOC-trendit vesistötyypeittäin

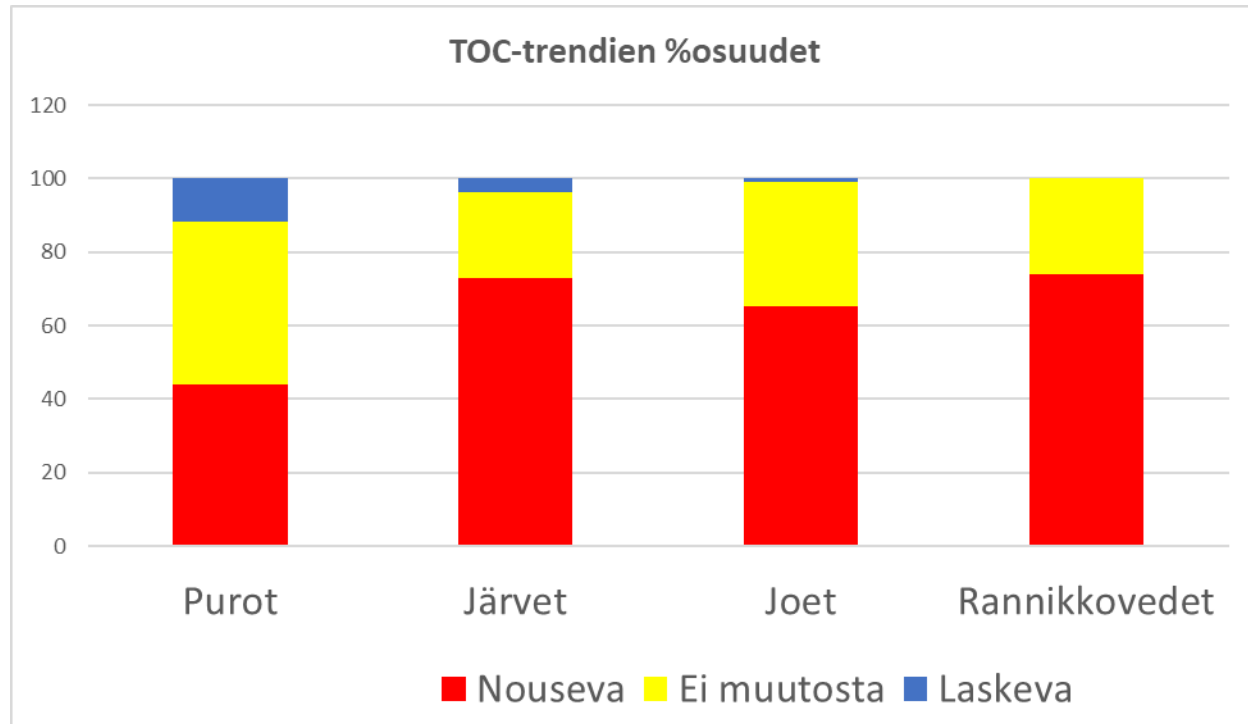
- Aikasarja 1990-2020 osoittaa, että vesistöjen orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuus on noussut
 - Puroissa nousu ei tilastollisesti merkitsevä
- Samansuuntaista pitoisuuksien nousua kaikissa vesityypeissä
- Pitoisuustaso vähenee pienimmistä vesistä, puroista, jokien ja järvien kautta rannikkovesiin. Eli kun vesitilavuudet ja viipymät kasvavat.
- Samalla vuosien välinen vaihtelu tasaantuu



Räike, A., Lepistö, A., Härkönen, L.H., Taskinen, A. & Kortelainen, P. 2022. Eteneekö Suomen vesistöjen tummuminen? Vesitalous 5/2022: 5–9.

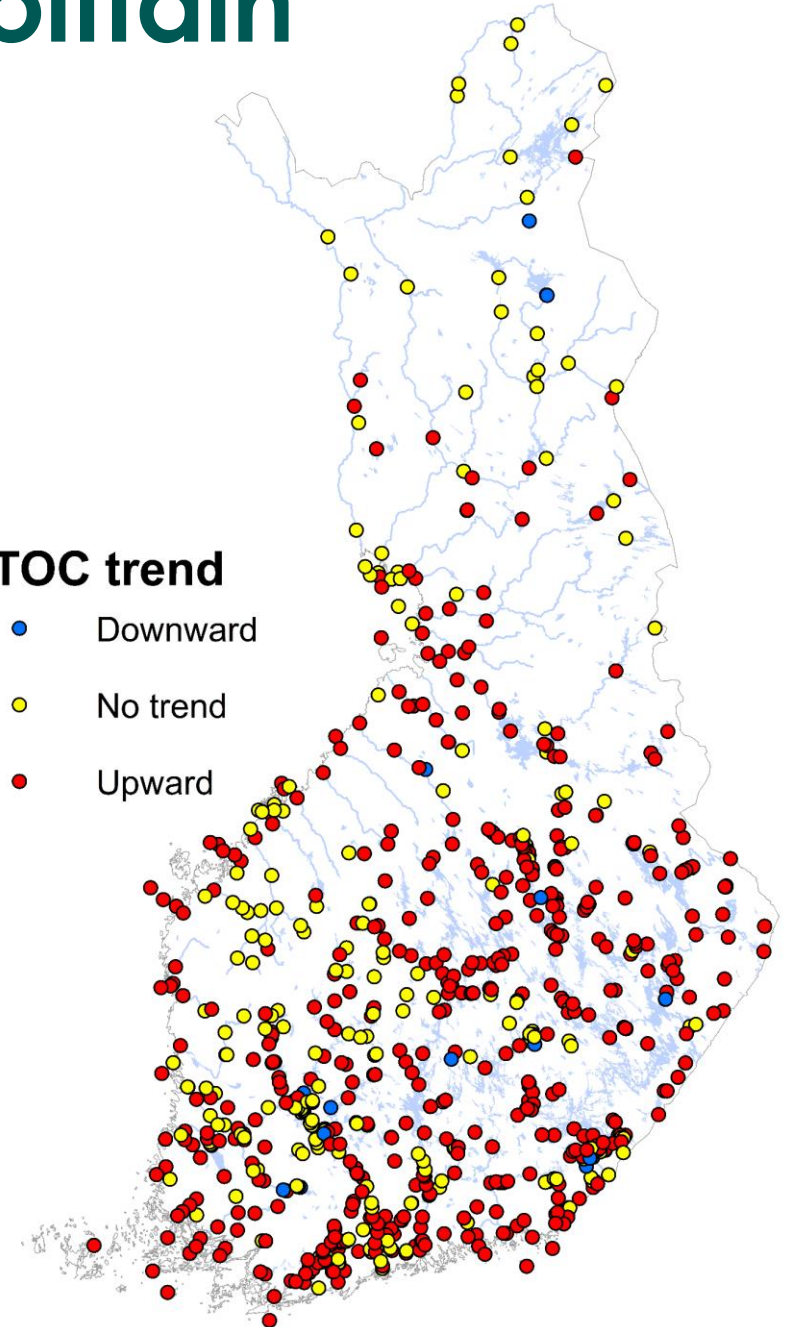
TOC-trendit näytteenottoapaikoittain

- Muutoksia kaikkialla Suomessa, Lapissa muuta maata vähemmän
- Suhteellisesti eniten nousevia TOC-pitoisuuksia havaittiin järvissä ja rannikkovesissä
 - Rannikkovesissä ei laskevia trendejä
- Tässä on esitettyä monotoniset trendit koko ajanjaksolle, mutta trendit eivät usein ole monotonisia...



TOC trend

- Downward
- No trend
- Upward

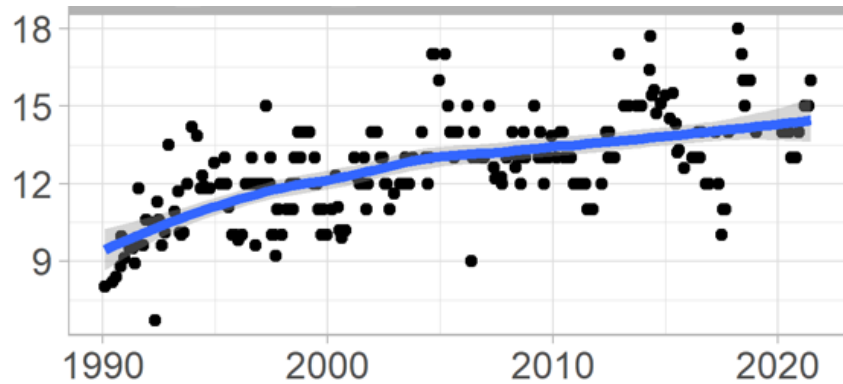


GAM-analyysi

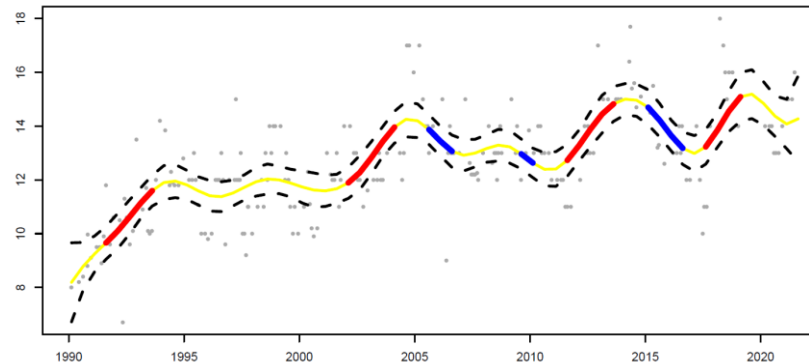
- Riittääkö koko pitkän ajanjakson kattava trendi? Driverit ja vasteet muuttuvat ajan myötä ja vuosien välillä on paljon vaihtelua.

Lake Valkea-Kotinen

Mann-Kendall test: slope 0.136, $p < 0.0001$



GAM: — Decrease — No change — Increase

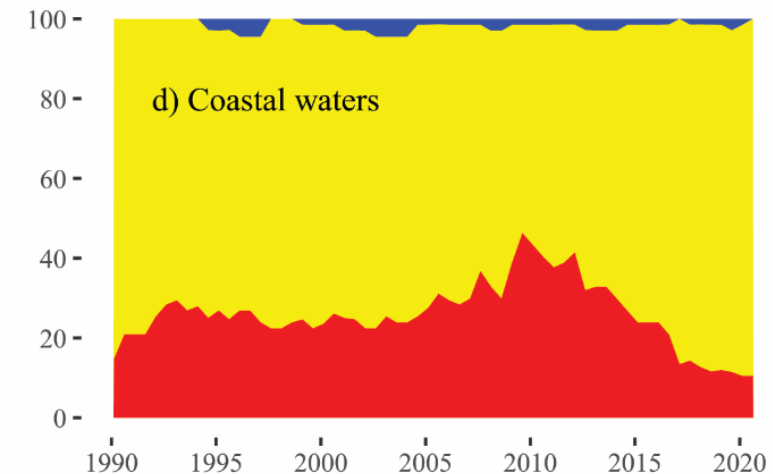
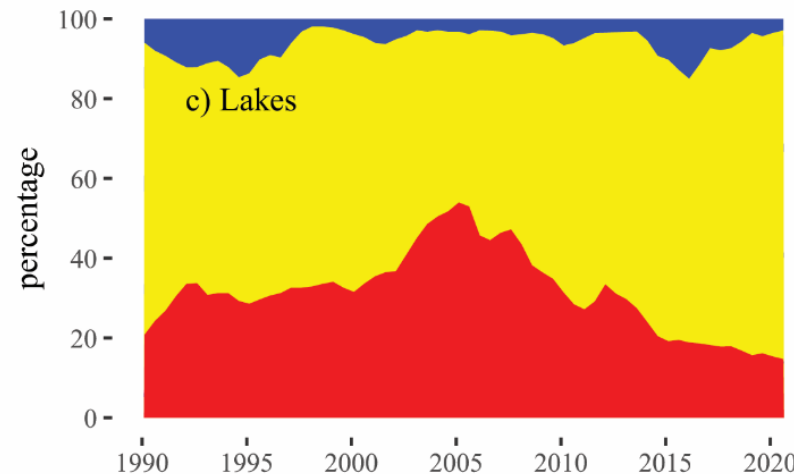
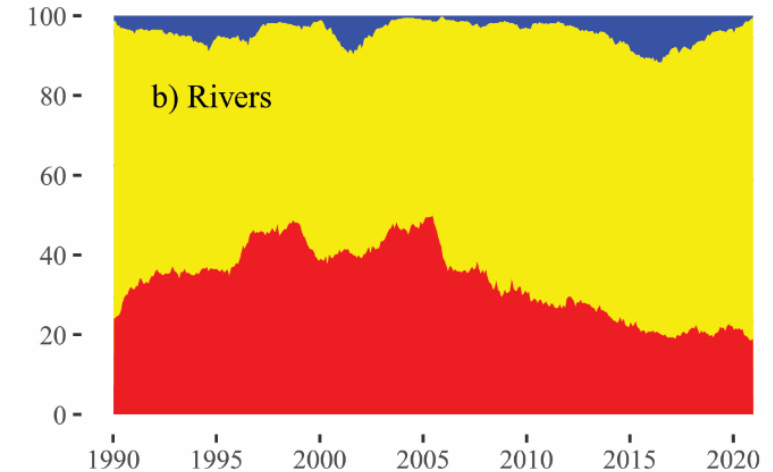
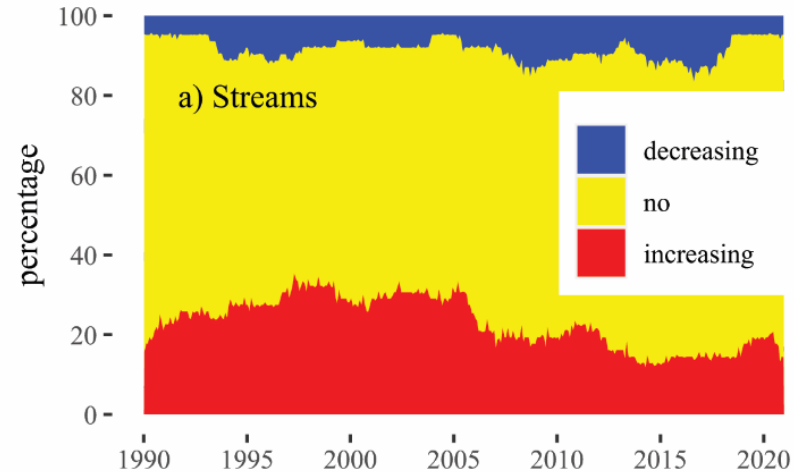


GAM = Generalized
Additive Models

- GAM tuottaa paljon informaatiota
 - Ongelmaksi saattaa muodostua tiedon jatkokäyttö
 - Tarvitaan menetelmiä saatavan tiedon yhdistämiseksi

GAM-analyysi: TOC-trendit vesistötyypeittäin

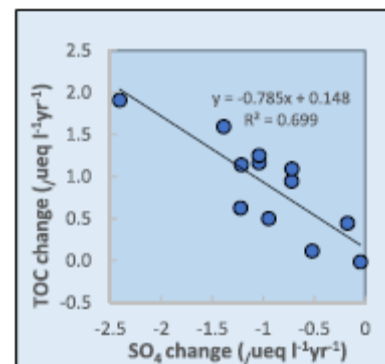
- Puroissa nousevia trendejä vähemmän ja kasvun huippu aikaisemmin, jo 1990-luvun loppupuolella
- Järvissä ja joissa kasvun huippu oli vuonna 2005
- Rannikkovesissä huippu saavutettiin myöhemmin: 2010
- Laskevaa suuntausta ei ole juurikaan havaittavissa: pitoisuudet ovat jääneet ("pysyvästi") korkeammalle tasolle



Tummumisen moninaiset syyt

Happaman laskeuman vähentyminen

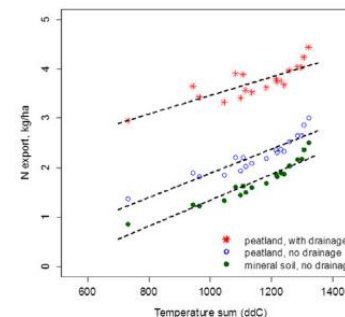
- Maaperän orgaanisen hiilen liukoisuus lisääntyy kompensoimaan vähentyntä huokosveden happamuutta



Lähde: Lepistö ym. 2021

Ilmastonmuutos

- Sadannan muutokset
- Lämpeneminen lisää maaperässä tapahtuvia mineralisaatioprosesseja
- Roudan vähentyminen
- Vähälumisuus



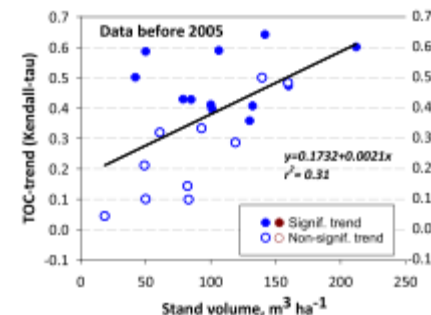
Lähde: Finér ym. 2021

Maankäyttö

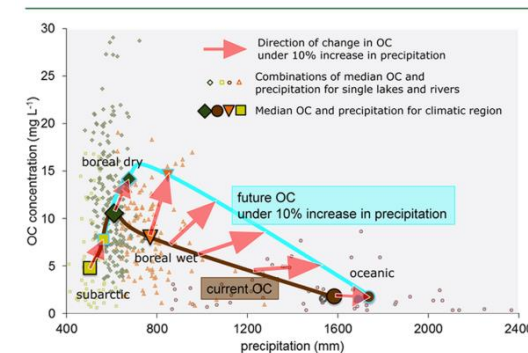
- Suomessa metsätalous ja erityisesti turvemaiden ojitukset lisänneet humuskuormaa

Puusto

- Tilavuus ja havupuiden osuus



Lähde: Nieminen ym. 2021



Lähde: de Wit ym. 2016

TOC-pitoisuuksien nousun taustalla olevien tekijöiden selvittäminen jokivaluma-alueilla

- Tätä varten valittiin 100 jokivaluma-aluetta
 - Sekä nousevan että ei muutoksen alueita
 - Kaikille pystyttiin määrittämään valuma-alue
 - Alueille määritettiin maaperää, maankäyttöä, puustoa ja hydrometeorologiaa kuvaavia tunnuslukuja: yhteensä 33 muuttujaa
 - Pistekuormituksen vaikutus on huomioitu

Paikkatiedot	Tyyppi
	Päävesistö
	Seuranta-asema
	Id
	Järvinumero
	Järven nimi
	VesiAla_ha
	Tilavuus_10³m³
	Suurin syvyys_m
	Viipymä_vrk
	PintaAla_ha
TOC-trendi	Trendi
	slope
	p
	mgmuutos
	%muutos
CORINE 2018	urban%
	pelto%
	metsä%
	turve%
	avoin%
	vesi%

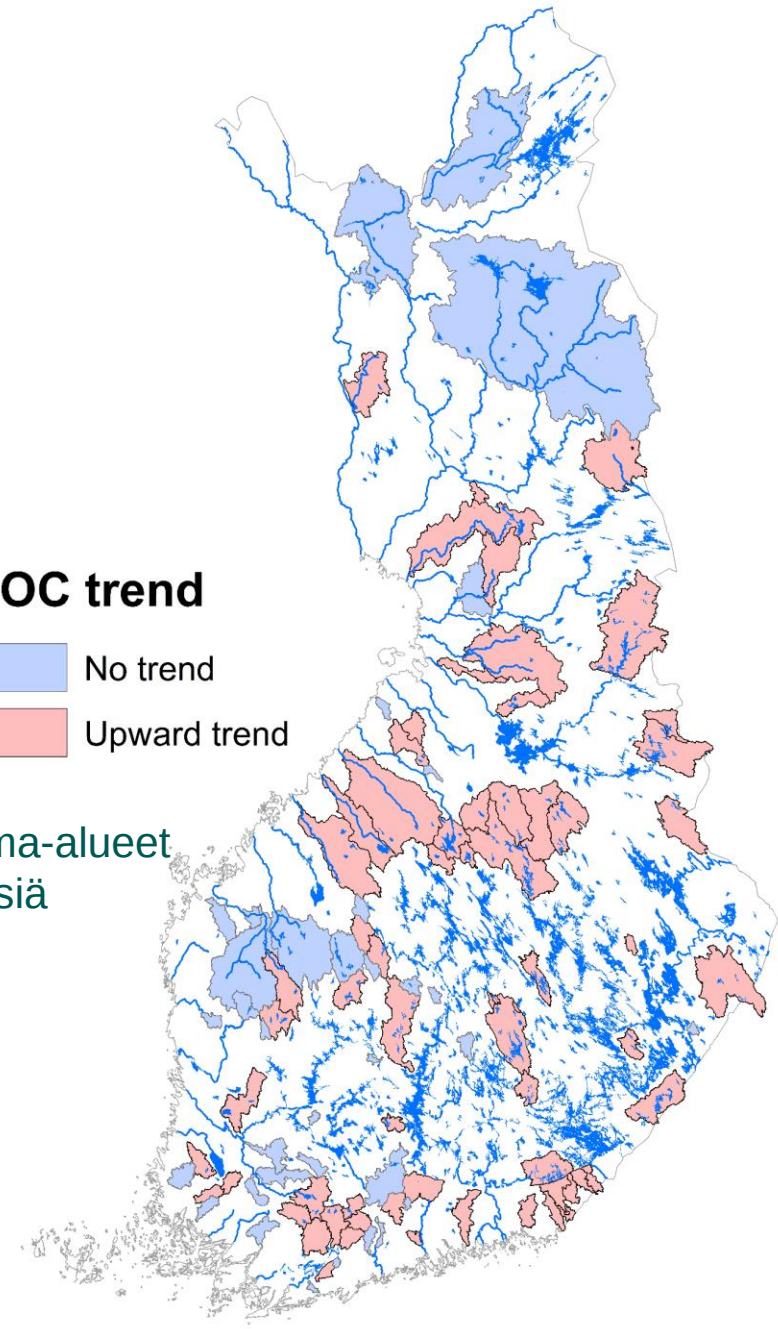
Soiden ojitustilanne	turve%
	ojittamaton%
	ojitettu%
	turvetuotanto%
Kasvupaikkatiedot	mineral%
	korpi%
	räme%
Puustotiedot	avosuo%
	Tilavuus
	Manty
	Kuusi
	Koivu
	manty%
	kuusi_%
	koivu_%
	ika
Hydrometeorologia	Valunta_mm
	q_muutos%
	sade_mm
	sade_muutos%
	temp_mean
	t_muutosasteina

TOC trend



Kohde valuma-alueet heterogeenisiä

TOC-trendien suhdetta selittäviin muuttujiin tutkittiin random forest & boruta-algoritmien avulla...



Miksi tummuminen etenee Suomen vesissä?

Tärkeimmät muuttujat / interaktiot TOC-trendien taustalla boruta-algoritmin perusteella arvioituna

Variable / interaction	Median Impact	Decision
Temperature change (°C) * Water area (ha)	6.17	Confirmed
SO4 change (mg/m ²) * Catchment area (ha)	5.96	Confirmed
Temperature change (°C) * Temperature (°C)	5.49	Confirmed
Temperature change (°C) * Drainage%	5.40	Confirmed
Temperature change (°C) * Water%	5.40	Confirmed
Temperature change (°C) * Precipitation	5.39	Confirmed
Temperature change (°C) * Longitude	5.16	Confirmed
SO4 change (mg/m ²) * Water area (ha)	5.05	Confirmed
SO ₄ change (mg/m ²) * Water%	4.91	Confirmed
Runoff_change (mm) * Water area (ha)	4.86	Confirmed
Temperature change (°C) * SO ₄ (mg/m ²)	4.50	Confirmed
Temperature change (°C) * Latitude	4.20	Confirmed
SO ₄ change (mg/m ²) * Forest%	4.16	Confirmed
Temperature change (°C) * Forest%	4.03	Confirmed
Temperature change (°C) * Spruce peat mire%	3.99	Confirmed
Temperature change (°C) * Catchment area (ha)	3.87	Confirmed
SO ₄ change (mg/m ²) * SO ₄ (mg/m ²)	3.72	Confirmed
Runoff_change (mm) * Water%	3.32	Confirmed

Tämän tutkimuksen perusteella TOC-pitoisuuksien muutoksiin vaikuttivat etenkin:

- Lämpötilan muutos (%)
- Vesiala
- Happaman laskeuman väheneminen
- Ojitusten osuus (%)
- Korpien osuus (%)
- Metsien osuus (%)
- Valunnan muutos (%)

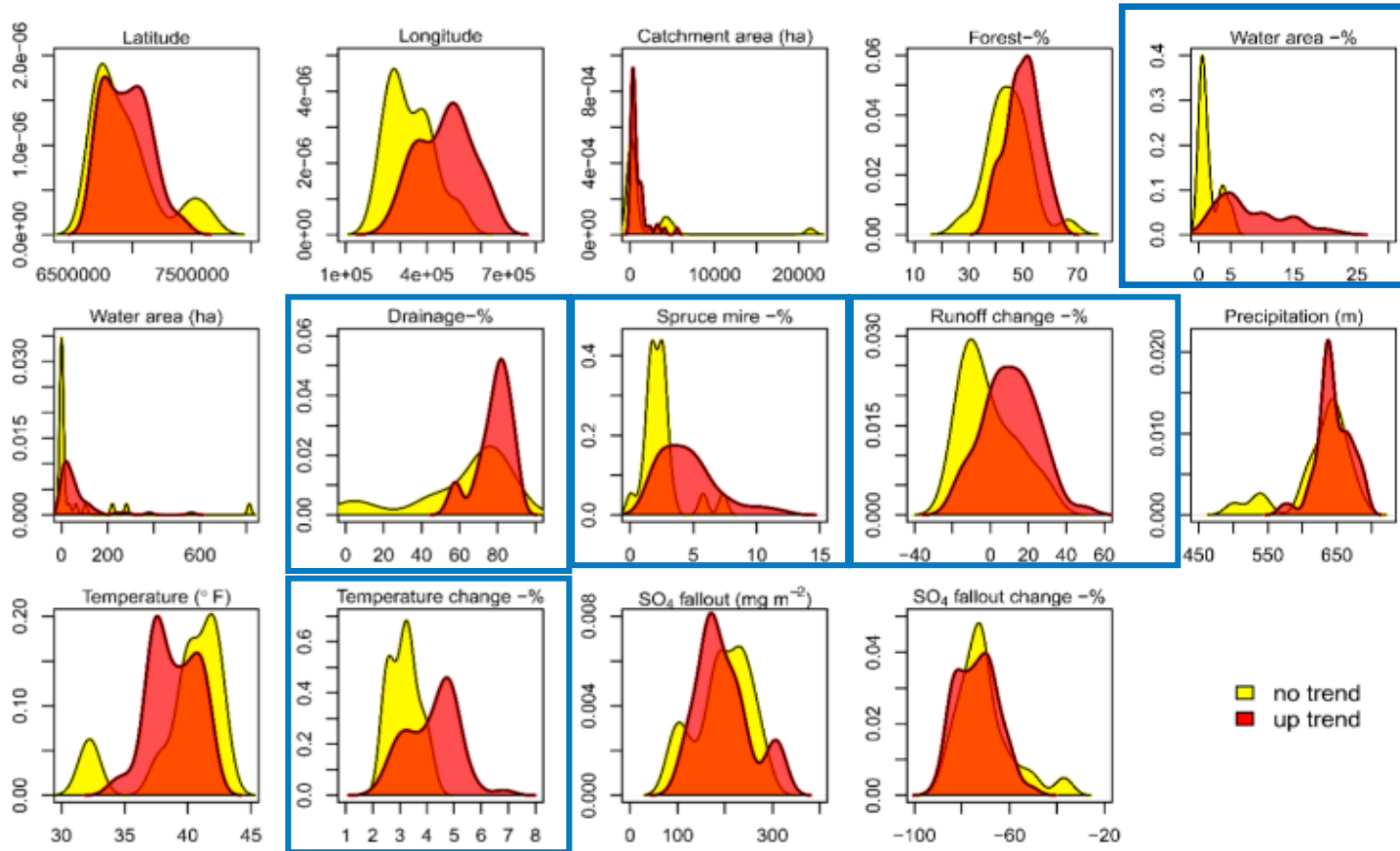
Lämpötilan nousun merkitys TOC-pitoisuuksien kasvun selittäjänä korostui

Räike et al. 2023. Browning from headwaters to coastal areas in the boreal region: Trends and drivers. SciTotEnv (submitted)

Tämän perusteella ei vielä voi päätellä miten nämä muuttujat vaikuttavat TOC-trendiin...

Miten merkitsevät muuttujat vaikuttavat TOC-trendin suuntaan?

Tiheysfunktioiden kuvaajat kaikille boruta-analysissä saaduille merkitseville muuttujille: nouseva trendi (punainen) ja ei-trendiä (keltainen)



Tiheysfunktioiden kuvaajien perusteella voi päätellä, että seuraavien muuttujien kasvaessa nouseva TOC-trendi on todennäköisempi:

- Lämpötilan muutos
- Valunnan muutos,
- Ojitus%
- Korpi%
- Vesi%

Räike et al. 2023. Browning from headwaters to coastal areas in the boreal region: Trends and drivers. SciTotEnv (submitted)

Johtopäätökset

- Vesistöjen tummuminen ilmentyy laajamittaisesti kaikissa vesistötyypeissä, lukuun ottamatta pohjoisinta Suomea
- TOC-pitoisuuksien nousun voimakkain vaihe on ohi
- Ilmastonmuutoksen myötä humuspitoisuuksien odotetaan tulevaisuudessa kasvavan
- Tummumisen takana on monia samanaikaisesti vaikuttavia tekijöitä
- Maankäytön, erityisesti ojitusten rooli hiilikuormituksen ja tummumisen aiheuttajana on merkittävä
- Lämpötilan nousun merkitys korostunut TOC-pitoisuuksien kasvun taustalla

Kiitos!



Kirjallisuusviitteet

- de Wit, H.A. ym. 2016. Current Browning of Surface Waters Will Be Further Promoted by Wetter Climate. Environ. Sci. Technol. Lett. 3, 430–435.
- Finér, L. ym. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. Sci. Total Environ. 762.
- Lepistö, A. ym. 2021. Increases in organic carbon and nitrogen concentrations in boreal forested catchments — Changes driven by climate and deposition. Sci. Total Environ. 780.
- Nieminen, M. ym. 2021. Peatland drainage - a missing link behind increasing TOC concentrations in waters from high latitude forest catchments? Sci. Total Environ. 774.
- Räike, A. ym. 2022. Eteneekö Suomen vesistöjen tummuminen? Vesitalous 5/2022: 5–9.
- Räike, A. et al. 2023. Browning from headwaters to coastal areas in the boreal region: Trends and drivers. SciTotEnv (submitted)
- Xiao, Y. ym. 2015. Iron as a source of color in river waters. Sci. Total Environ. 536, 914-923
- Xiao, Y., Riise, G., 2021. Coupling between increased lake color and iron in boreal lakes. Sci. Total Environ., 767, 145104.



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute