



# Orgaanisen hiilen merkitys vesistöissä

Laura Härkönen

Erikoistutkija

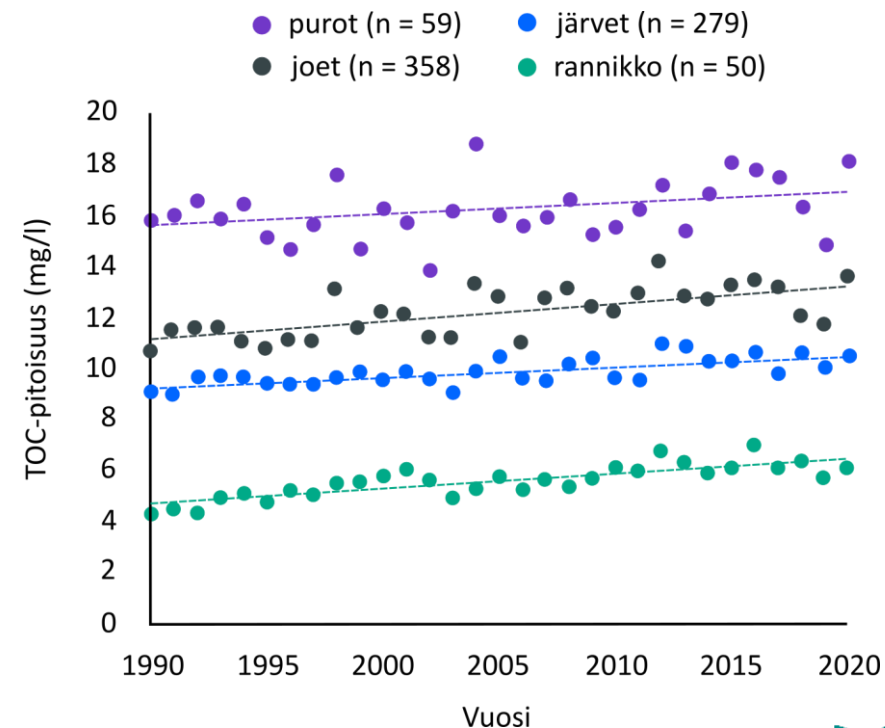
Koitajoki-Koitere-Foorumi, Ilomantsi 25.10.2023



Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute

# Suomen vesistöt tummumassa

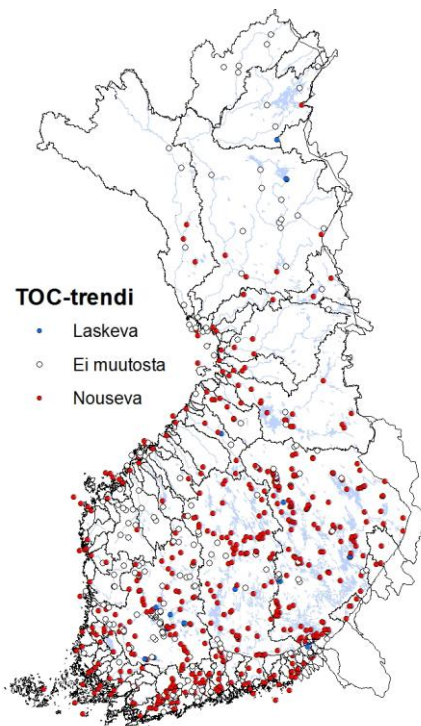
- Tumma väri tyypillinen monille Suomen vesistöille
  - Orgaanisen hiilen pitoisuus korkea
    - Arviolta 88 % järvien väristä peräisin pääosin orgaanisesta hiilestä, loput raudasta
- Aikasarja 1990-2020 osoittaa, että vesistöjen orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuus on noussut
- Tummumista kaikissa vesistötyypeissä
  - Vuoden 2005 jälkeen havaittu tasaantumista korkeammille pitoisuuksille



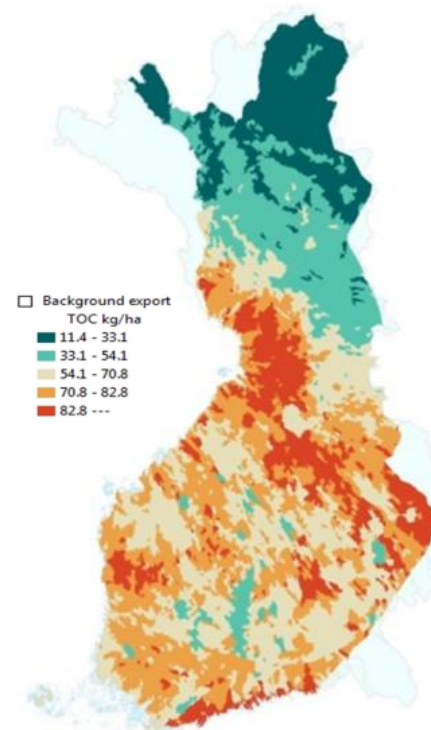
Räike, A., Lepistö, A., Härkönen, L.H., Taskinen, A. & Kortelainen, P. 2022. Eteneekö Suomen vesistöjen tummuminen? Vesitalous 5/2022: 5–9.

# Tummumista kaikkialla Suomessa

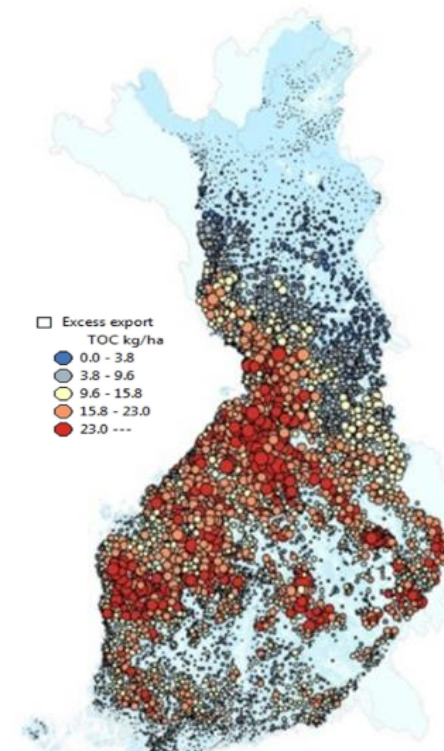
- Nousevan TOC-trendin vesistöjä etenkin napapiirin eteläpuolella
- Nousevan TOC-trendin vesistöjä siellä, missä TOC:n taustakuorma ja metsätalouden aiheuttama lisäkuormitus korkeita
- Turvemaat ja havupuuvaltaiset metsät merkittäviä luontaisia hiilen lähteitä vesistöihin



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



Finér ym. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. Science of the Total Environment 762: 144098.



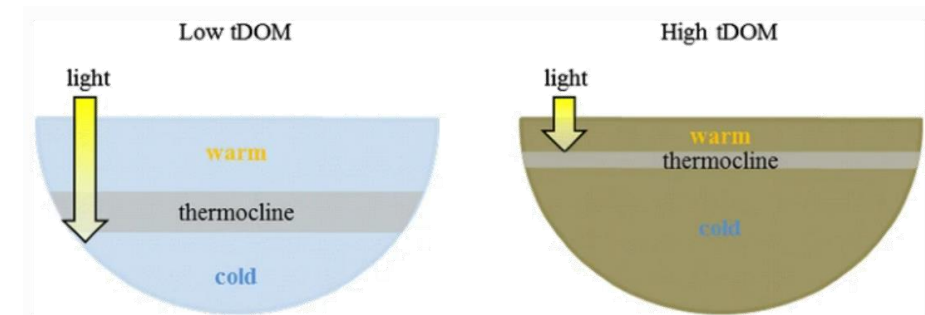
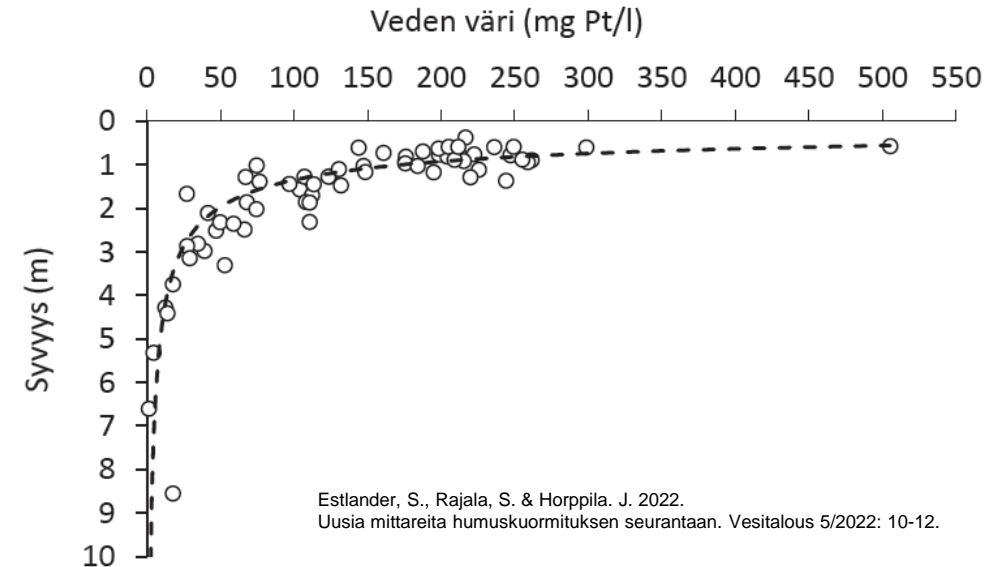
# Tummumisen taustalla useita mekanismeja

- Ei yksittäistä hiilipitoisuuksien nousua selittävää tekijää
- **Ilmastonmuutos**
  - Lämpötilan kohoaminen, muutokset sadannassa ja valunnassa sekä roudattomien kausien pituudessa
- **Happaman laskeuman väheneminen**
  - Hiilen lisääntyvä liukeneminen maaperästä
  - Laskeuman vaikutus vähenemässä, ilmastonmuutoksen vastaavasti kasvamassa
- **Turvemaiden maankäyttö**
  - Turvemaiden metsätalous, ojitus, havupuiden dominanssi
- Kaikki edellä mainitut tekijät nousivat esille myös trenditarkastelussa
- Hiilen huuhtoutuminen turvemaavaltaisilta valuma-alueilta herkkä ilmastossa tapahtuville muutoksille



# Orgaaninen hiili ja abioottinen vesiympäristö

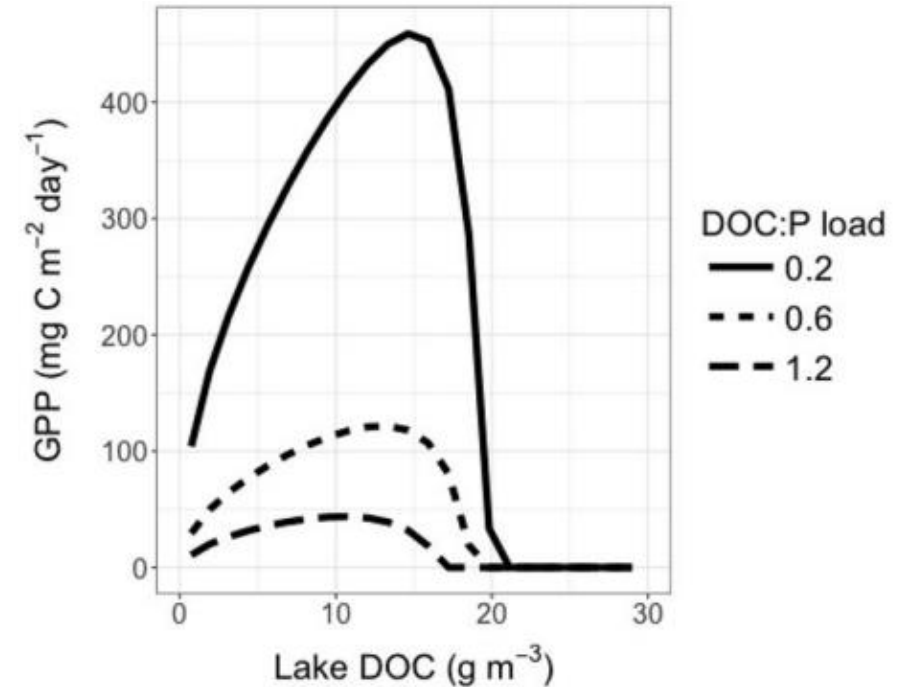
- Tummuminen vaikuttaa merkittävästi vesiekosysteemin toimintaan
  - Orgaaninen hiili ja humusyhdisteet absorboivat tehokkaasti auringon säteilyä →
    - Järvissä valaistu, tuottava päällysvesikerros ohenee
    - Päällysveden lämpötila nousee, lämpötilakerrostuneisuus jyrkkenee
    - Alusveden happiongelmat lisääntyvät
    - Virtavesissä valaistusolosuhteet heikkenevät ja lämpötila nousee
- Valaistun vesikerroksen paksuus muuttuu väriluvun nousun myötä kirkkaassa järvessä absoluuttisesti enemmän kuin tummassa
  - Suhteellinen muutos tummassakin järvessä voi kuitenkin olla merkittävä



Solomon ym. 2015.  
<https://doi.org/10.1007/s10021-015-9848-y>

# Orgaaninen hiili ja vesien perustuotanto

- Orgaanisen hiilen pitoisuuden nousun myötä valo alkaa rajoittaa perustuotantoa ravinteiden sijaan
  - Tutkimusten<sup>[1,2,3]</sup> mukaan 10-15 mg/l saattaisi olla raja-arvo valorajoitteisuuteen siirtymiselle
    - Vastaa värilukuja ~70-130 mg Pt/l
  - Valorajoitteisuuden lisääntyessä kasviplanktonituotanto vähenee
    - Ekologinen luokitus ei ota huomioon
  - Kasviplanktoniyhteisö ja lajikoostumus muuttuu
    - Virtavesissä erityisesti piilevät kärsivät<sup>[4]</sup>
    - Järvissä kultalevät vähenevät, siimalliset ja liikkumiskykyiset lajit kuten limalevä yleistyvät<sup>[5]</sup>
    - Molemmissa vesiekosysteemeissä kasviplanktoniyhteisö muuttuu rasvahappotuotannon kannalta epäsuotuisammaksi<sup>[4,5]</sup>
    - Myös heterotrofiset bakteerit yleistyvät
  - Vesikasvillisuus vähenee, pohjalla kasvavat lajit kärsivät<sup>[6]</sup>

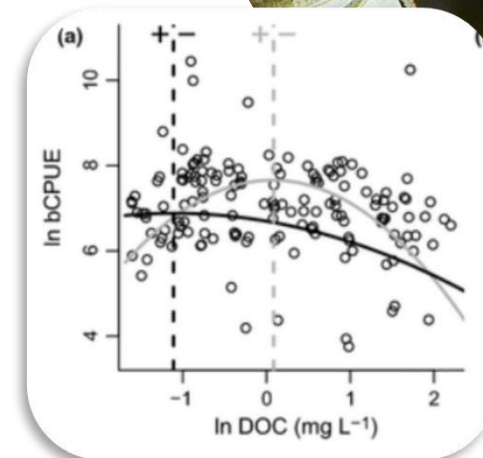
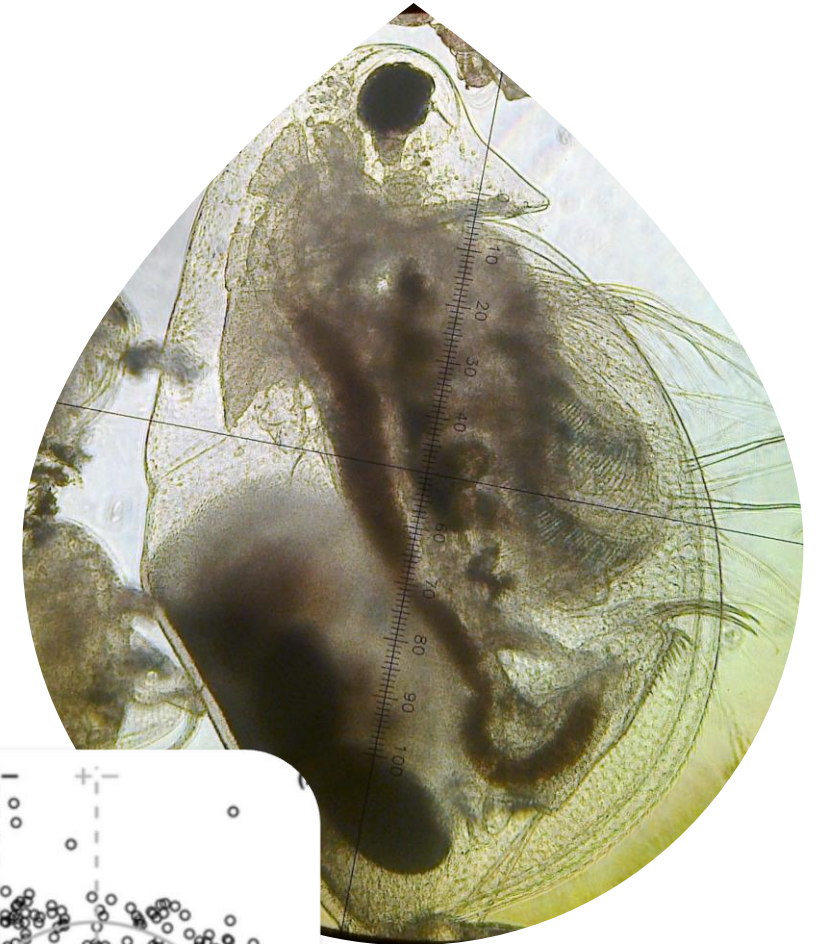


Kelly ym. 2018.  
<https://doi.org/10.1007/s10021-018-0226-4>

1. Horppila ym. 2022. <https://doi.org/10.1111/fwb.14083>  
2. Bergström, & Karlsson, 2019. <https://doi.org/10.1111/gcb.14623>  
3. Solomon ym. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9848-y>  
4. Jyväsjärvi ym. 2022. <https://doi.org/10.1111/gcb.16279>  
5. Vuorio ym. 2022. Järvien tummumisen vaikutus kasviplanktoniyhteisöön. Vesitalous 5/2022: 21-23.  
6. Reizema ym. 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00629>

# Orgaaninen hiili ja ylemmät trofiatasot

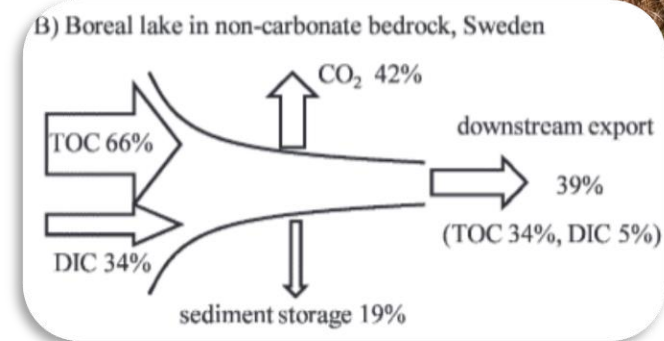
- Päivän-, ja koskikorentojen sekä vesiperhosten lajirunsaus 50 % pienempi tummissa (DOC>25 mg/l) kuin kirkkaissa puroissa (DOC ~5 mg/l)<sup>[1]</sup>
- Järvissä eläinplanktonin diversiteetti laskee<sup>[2]</sup> ja vaelluskäyttäytyminen muuttuu<sup>[3]</sup>, pohjaeläinrunsaus vähenee<sup>[4]</sup>
- Kalabiomassa laskee, kalasto yksipuolistuu<sup>[5,6]</sup>, kalojen saalistustehokkuus heikkenee valaistusolosuhteiden huonontuessa<sup>[7]</sup>
  - Vaikutukset peto-saalissuhteisiin
  - Tummavetisten järvien kalat kasvavat hitaasti
  - Ekologinen luokittelu ei ota huomioon tummumisen vaikutusta kalabiomassaan



1. Jyväsjärvi ym. 2022. Ruskistuminen uhkaa virtavesien ravintoverkkoja ja monimuotoisuutta. Vesitalous 5/2022: 17-20.  
2. Estlander ym. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05284-6>  
3. Estlander ym. 2017. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2017.1564>  
4. Arzel ym. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138199>  
5. Finstad ym. 2014 <https://doi.org/10.1111/ele.12201>  
6. Rask ym. 1999. Chapter 6: Humic lakes as fish habitats. Teoksessa: Keskitalo, J. & Eloranta, P. (toim.): Limnology of humic waters. s. 209-224  
7. Estlander ym. 2017. <http://hdl.handle.net/10138/228144>

# Vesien orgaaninen hiili ja ihmiset

- Tummuminen heikentää vesistöjen virkistyskäyttöarvoa<sup>[1]</sup>
  - Limalevä, kalastus
- Tummuminen nostaa raakaveden käsittelykustannuksia<sup>[2]</sup>
- Vesistöt prosessoivat valuma-alueelta tulevaa hiiltä ja vapauttavat sitä ilmakehään
  - Tummuminen vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöihin<sup>[3]</sup>
  - Kevät- ja syystäyskierrat oleellisia: jään alle tai alusveteen kerääntyneiden kaasujen vapautuminen

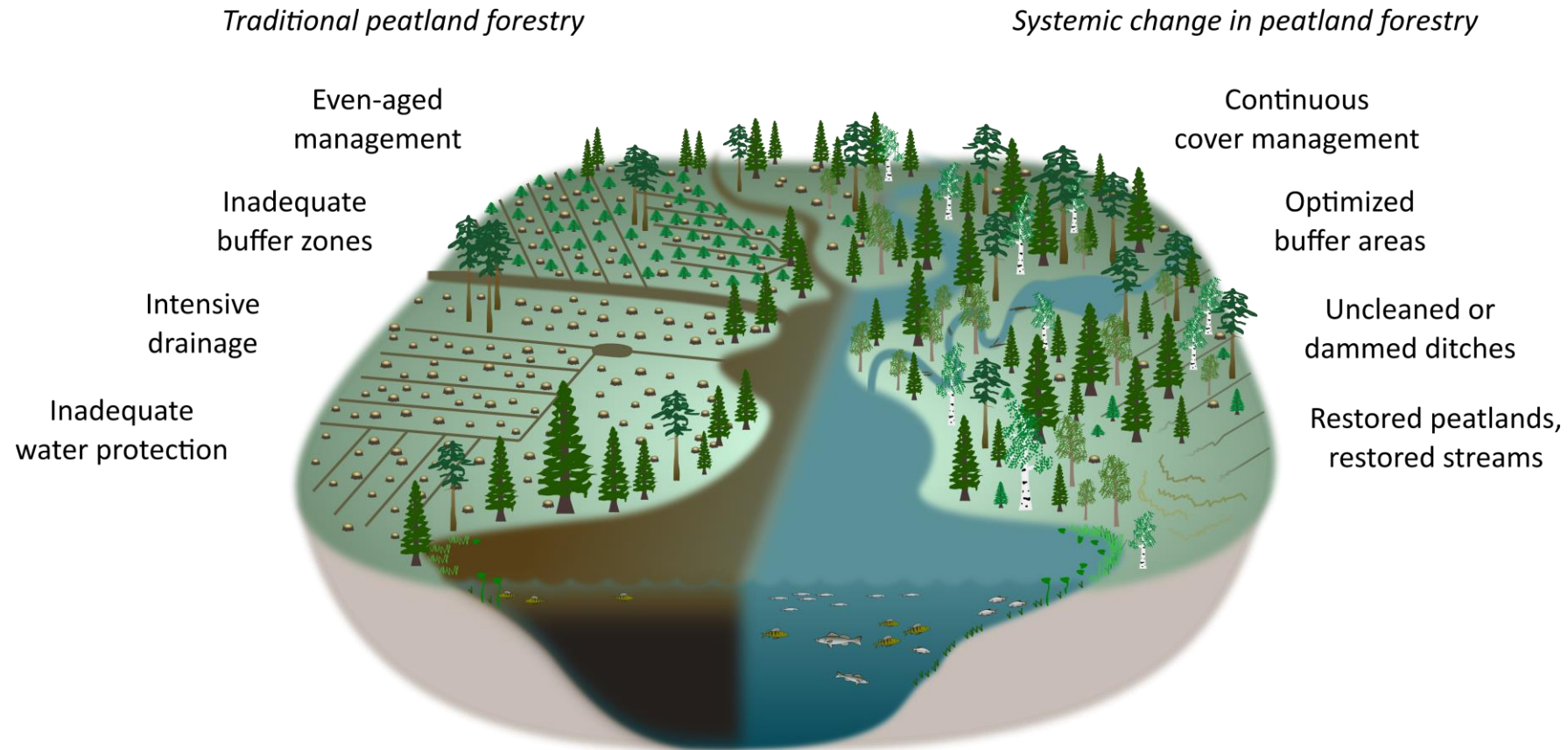


Tranvik ym. 2006. [https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\\_part\\_2.2298](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2298)

8 1. Kritzberg ym. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>  
2. Forsius ym. 2017. <https://www.borenv.net/BER/archive/pdfs/ber22/ber22-317-336.pdf>  
3. Blanchet ym 2022. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05284-6>



# Kirjallisuuskatsaus: turvemaiden metsätalous aiheuttaa vesistöjen lisätummumista, hillintä edellyttää systeemistä muutosta



Härkönen ym. 2023 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120776>

# Kiitos!

[laura.harkonen\(at\)syke.fi](mailto:laura.harkonen(at)syke.fi)



Suomen ympäristökeskus  
Finlands miljöcentral  
Finnish Environment Institute