

Metsätalouden kuormitus ja vesiensuojelutoi- menpiteet

Sakari Sarkkola

Erikoistutkija, Luonnonvarakeskus (Luke)

Meidän metsät ja vedet, Sodankylä
10.12.2025



Mistä vesistökuormitus syntyy metsätaloudessa?

- Metsätalouden vesistökuormitusta syntyy kahdella tavalla:

1) Metsänhoitotoimien yhteydessä

- Ojien kunnostus 8000-12000ha/v (90% metsätalouden kiintoainekuormasta)
- Uudistushakkuut ja maanmuokkaus: n. 150 000 ha/v, joista
n. 20 000-50 000 ha/v turvemailla (kuormitus turvemailta yli 2-kert./ha)
➡ *lisäkuormitusta tulee 4-10 vuotta toimenpiteen jälkeen*
- Metsien typpilannoitus

2) Ojituksesta aiheutuva pitkäaikainen ravinnekuormitus (nk. ojituslisä)

➡ *Ravinnekuormitus ojitetuilta soilta on pysyvästi suurempaa kuin luonnontilaisilta soilta.*

Tärkeimmät kuormittavat aineet:

- Typpi, fosfori, kiintoaine, orgaaninen hiili



Kuva: Sakan Särnkola

Kuvat: Mika Nieminen

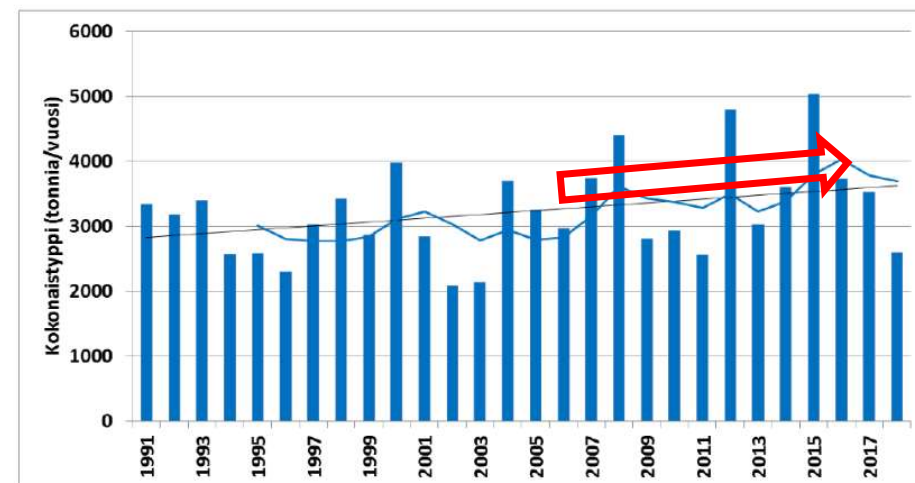
- Ojitusalueiden kuormitus: ennen 1-3% ➡ nyt jopa 15-20%
- Varsinaisen ojitustoimenpiteen aiheuttama kuormitus melko lyhytaikaista (20v.) ➡ Kuormitus edelleen kasvaa
- **Vesistöjen tummuminen** seurausta ilmaston muutoksesta ja happaman laskeuman vähenemisestä
➡ Metsät ja metsätalous lisäävät tummumista

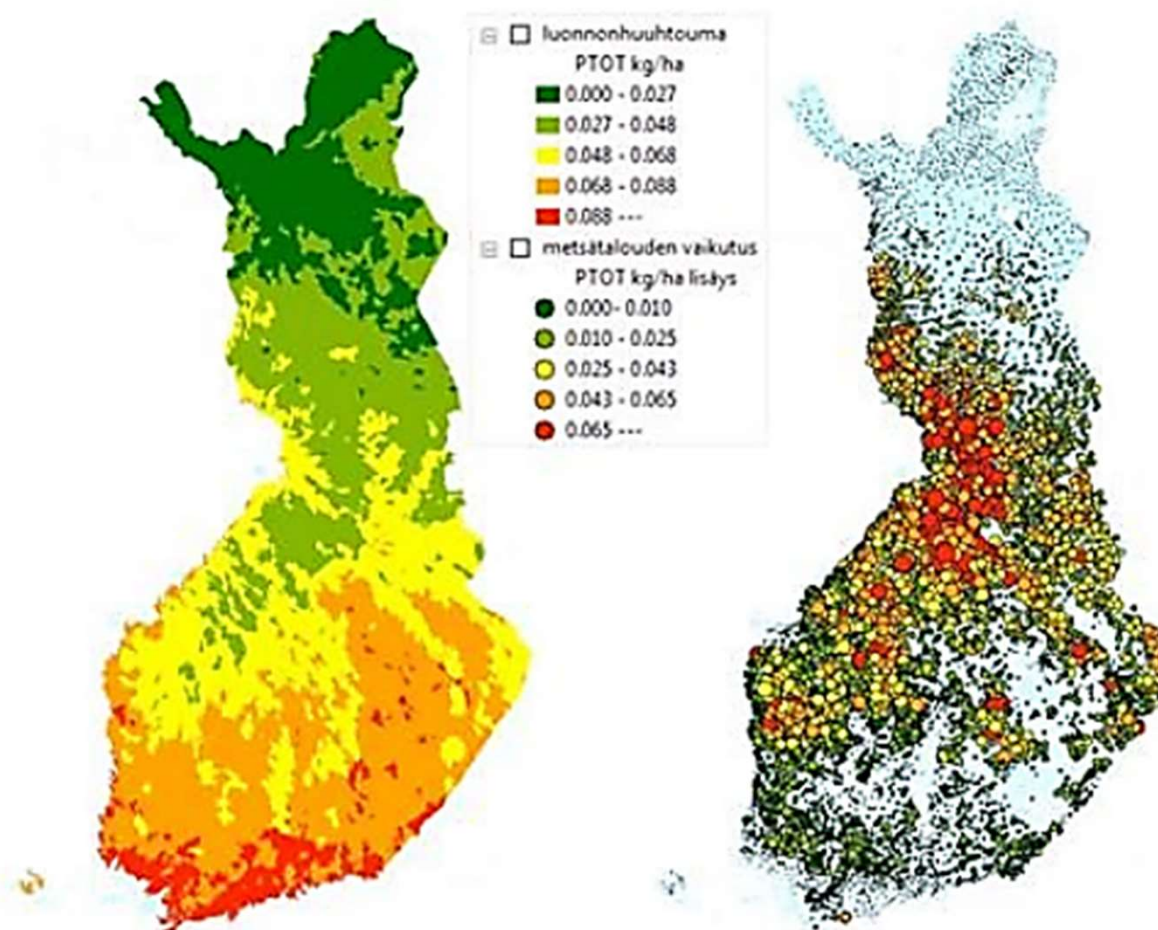
Kangasmaat: Kuusettuminen, hakkuumäärien kasvu

Ojitetut suot: Kiinteä (turve) ja liuennut orgaaninen aine

- Kehitys ei ole kääntynyt vesiensuojelutoimista huolimatta

Oulujoen typpivirtaama 1991-2018

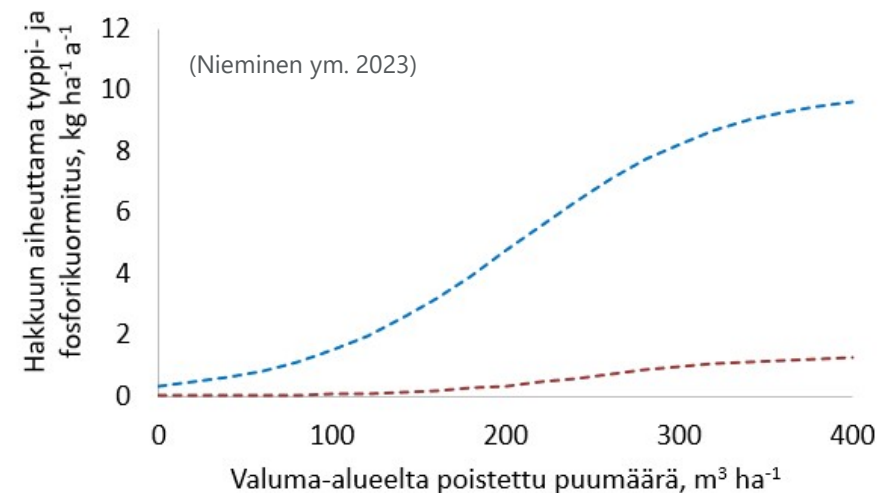
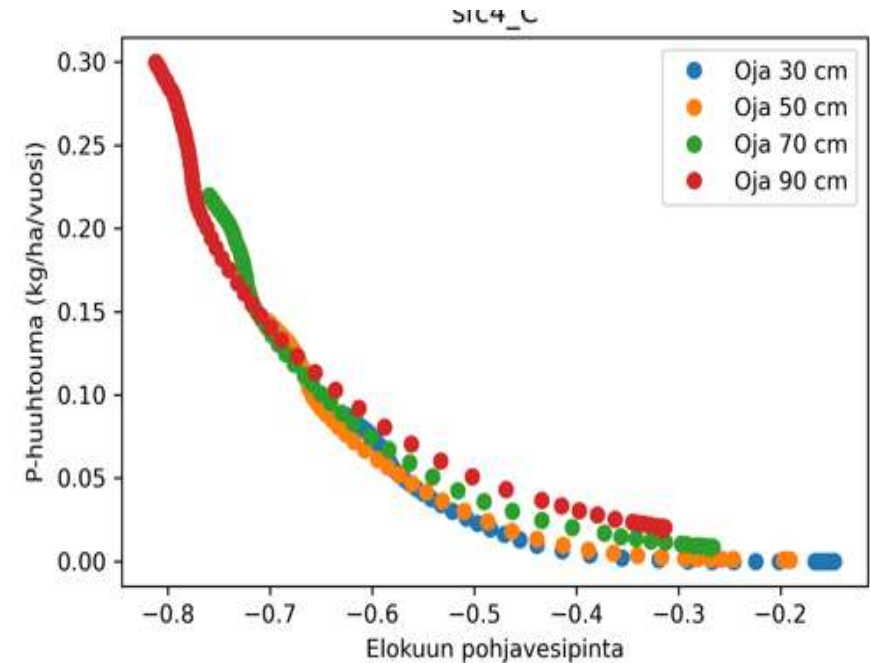




Metsätalouden maalta tuleva fosforin luonnonhuuhtouma ja metsätalouden aiheuttama kuormitus. Metsätalouden vaikutus -osakuvassa symbolien koko on suhteutettu alueen ojituspäätöksiin. Kuormitus on skaalattu eri tavoin luonnonhuuhtoumalle ja metsätalouden aiheuttamalle kuormitukselle. lähde: Finér ym. 2020.

Miten ojituslisä syntyy? Miten hakkuun voimakkuus vaikuttaa?

- Turvemailla kuormitus kasvaa kun vedenpinta alenee ojituksen ja järeytyvän puuston haihdunnan lisääntymisen myötä (Nieminen ym. 2021ab, 2022)
 - ➔ *turpeen hajotessa hapellisissa olosuhteissa ravinteita vapautuu maaveteen*
- Kuormitus lisääntyy myös voimakkaan hakkuun johdosta vedenpinnan noustessa alle 30 cm syvyydelle kemiallisten reaktioiden seurauksena ja kasvillisuuden ravinteiden käytön vähennyttyä.
- Ravinnepuutokset heikentävät myös ravinteiden ottoa ja sitä kautta voivat lisätä kuormitusta (Nieminen ym. 2022)
- Hakkuupoistuman määrä ja kuormituksen määrä käsikädessä toistensa kanssa (Nieminen ym. 2023)



Vesistökuormitusta voidaan vähentää kahdella tavalla

- 1) Vähennetään kuormituksen syntymistä
- 2) Yritetään ottaa kiinni valumavesien ravinteita ja kiintoainetta (pidättävät vesiensuojeluratkaisut)

1-Vaihtoehto saanut toistaiseksi vain vähän huomiota, vaikka kuormituksen synnyn vähentäminen olisi paljon helpompaa kuin ravinne- ja kiintoainekuormituksen pidättäminen

1: Vähennetään kuormituksen syntymistä

- Vältetään tarpeetonta ojittamista (ojitusmätästystä)
- Otetaan huomioon puuston määrä kunnostusojituskriteerinä (P-Suomi > 100 m³/ha),
- Suositaan matalampaa ojien kaivussyvyyttä (60-70 cm) ja otetaan pohjamaan laatu huomioon
- Hökkä ym. (2025): "Mänty kasvaa paremmin kun vedenpinta ei syvällä"

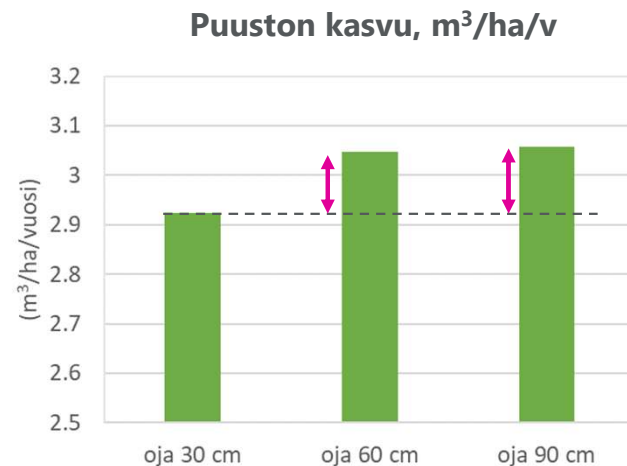
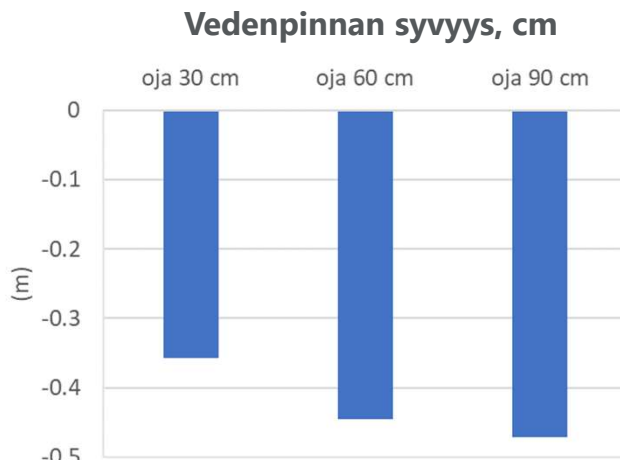


Kuva: Hannu Hökkä

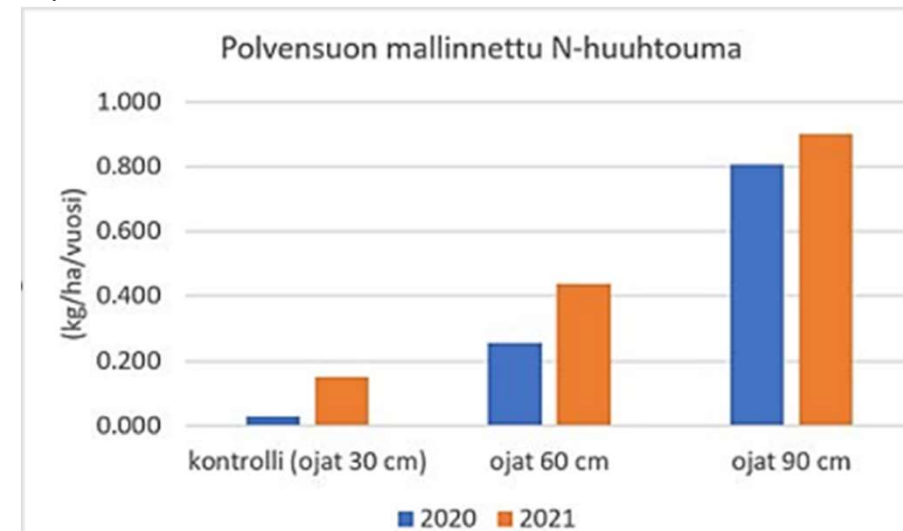
Hannu Hökkä, Marjo Palviainen, Leena Stenberg, Juha Heikkinen, and Annamari Laurén. 2025. Changing role of water table and weather conditions in diameter growth of Scots pine in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research*. **55**: 1-12. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2024-0011>

Matalampi ojasyvyys – vähemmän kuormitusta (TurVI-hanke, Luke)

Ojasyvyyden vaikutus vedenpintaan, puiden kasvuun ja typen huuhtoutumiseen 20 vuoden aikana (laskettu SUSI-suosimulaattorilla).



- Ojitettu suometsä Pudasjärvellä (Ptkg-Vatkg)
- Matalamman ojasyvyyden (60 cm) käyttäminen kunnostusojituksessa verrattuna "normiojasyvyyteen" (90 cm) vähensi typpikuormaa merkittävästi
- Metsän kasvu lähes sama kummallakin ojasyvyydellä

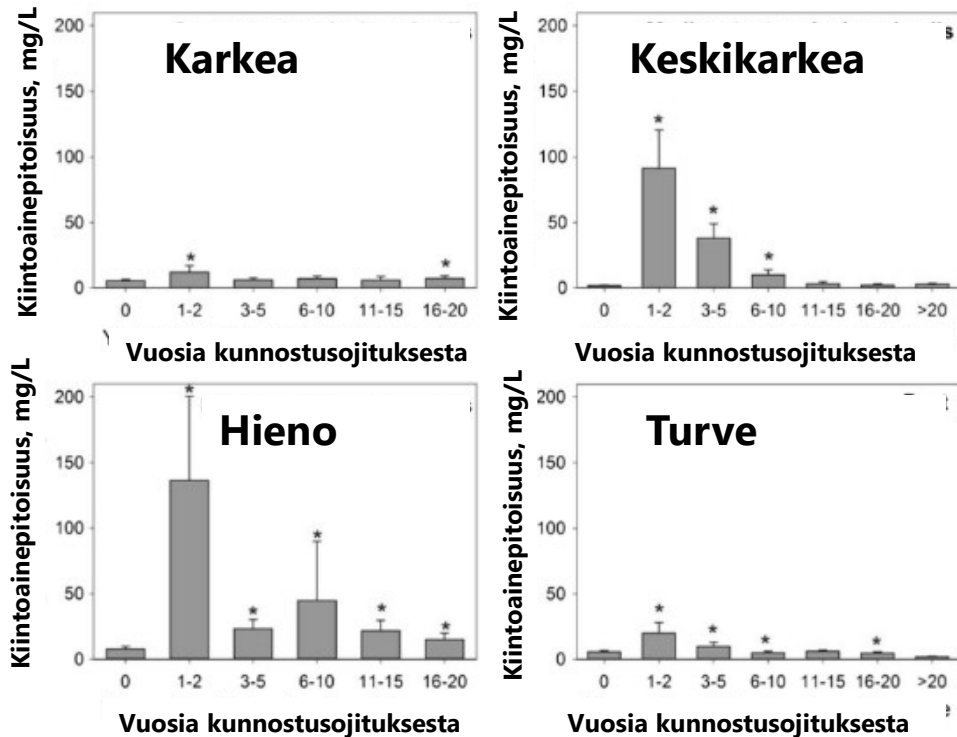


1: Vähennetään kuormituksen syntymistä: Vesien padotus erityisesti syöpyvissä ojissa/puroissa

- Padottavat vettä ojastoon ja tasaavat valuntaa
- Perustuu kiintoaineen laskeutumiseen kaivupaikalla sekä pienempään eroosioon tuoreissa ojissa sekä alapuolisessa uomassa
- Vähentää voimakkaasti syöpyvissä ojissa typpi- ja fosforikuormitusta jopa **60-70%**
- **Täsmäase voimakkaasti syöpyviin ojiin!**



1: Vähennetään kuormituksen syntymistä: Vältä ojitustoimia erityisesti hienojakoisilla mailla

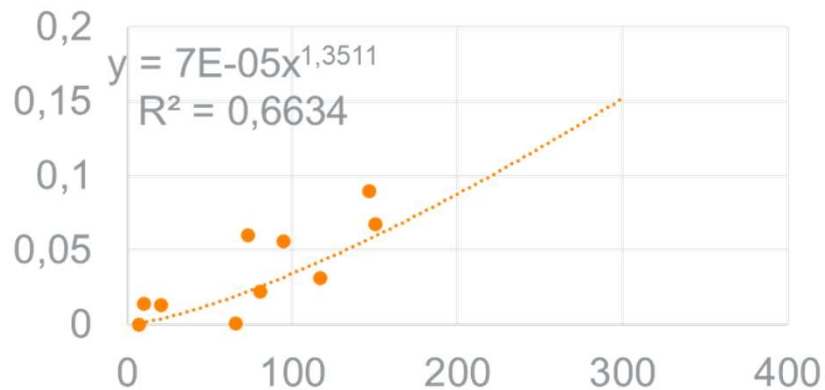


- Hienojakoisen kiintoaineen typpipitoisuus 10-kertainen verrattuna karkean tai keskikarkean kiintoaineen typpipitoisuuteen
- Myös turvepohjaisissa ojissa merkittävää ravinnekuormitus (kuormitus pitkäaikaista, turpeen ravinnepitoisuudet korkeita mineraalimaihin nähden)

1: Vähennetään kuormituksen syntymistä: Hakkuut maltillisia

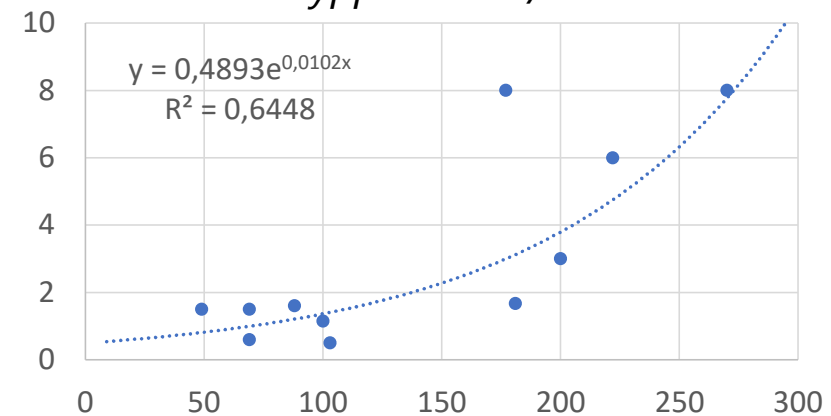
Kangasmaat

Fosforikuorma/valuma-aluehehtaari



Turvemaat

Typpikuorma/ha



Poistettu puusto m^3/ha

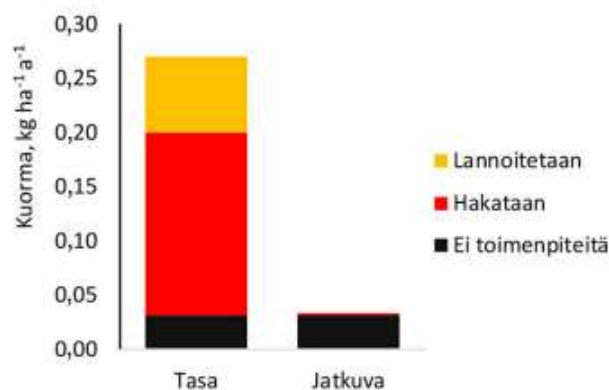


Mitä enemmän puustoa hakataan, sitä enemmän puuston ravinteiden otto vähenee, sitä enemmän jää hakkuutähteitä ja sitä enemmän alavat alueet vettyvät

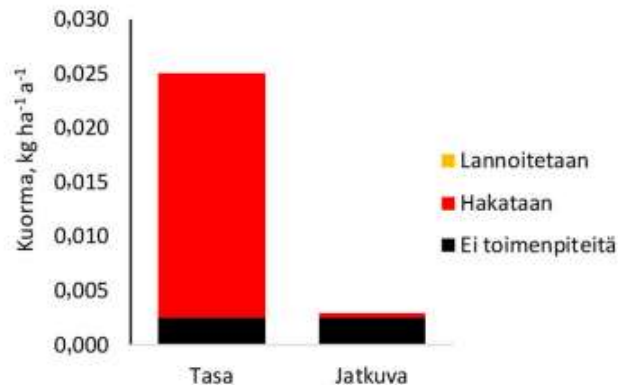


Jatkuva kasvatus pitäisi hakkuukertojen poistuman maltillisena

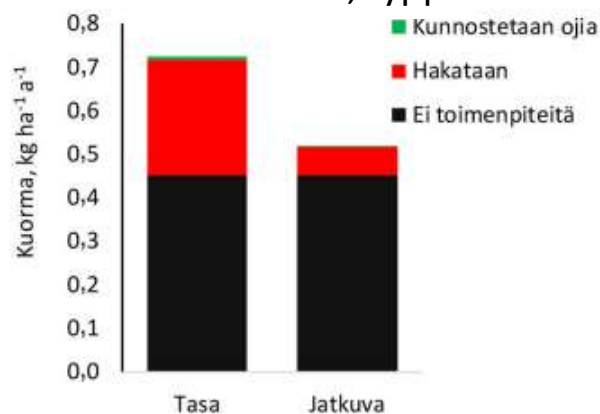
Kivennäismaat, typpi



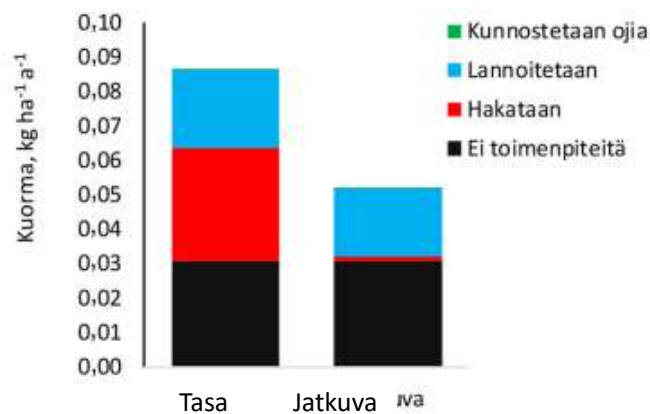
Kivennäismaat, fosfori



Turvemaat, typpi



Turvemaat, fosfori



- Jatkuvapeitteinen kasvatus aiheuttaa vähemmän kuormitusta kuin tasaikäiskasvatus I. kiertoaikaan perustuva metsänkasvatus (Nieminen ym. 2023)

Simuloidut kuormitukset Lieksan alueen metsämaille eri tasaikäisen metsänkasvatuksen ja jatkuvan kasvatuksen skenaarioissa seuraavien 50 vuoden aikana. Simuloinneissa hakkuumäärät ovat samat molemmissa käsittelymenetelmissä (Nieminen ym. 2023). Lannoitus = peruslannoitus kasvun ylläpitämiseksi turvemailla.

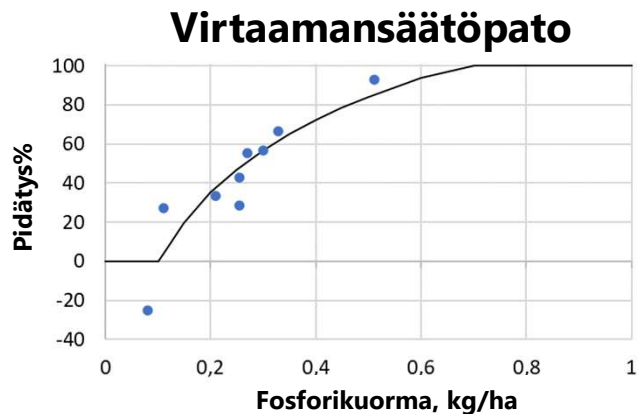
1: Vähennetään kuormituksen syntymistä: Tehdään toimenpiteet järkevästi

- Hyvä **toimenpiteiden suunnittelu** avainasemassa!
- Ojitustoimet **vähävetiseen aikaan** aloittaen yläjuoksulta (vielä perkaamattomat ojat ottavat kiinni ojituksen synnyttämää kuormitusta)
- Perkaamattomia **ojakatkoja** hyvä jättää (erityisesti syöpyviin ojiin)
- Purojen varsille **suojavaöhykkeet**, joilla ei ajeta hakkuukoneilla
- Maanmuokkausta "**pienialaisesti**" → Ei tuhota pidättävää kasvillisuutta
 - ➡ Mätästysuomien (naverot) suoraa johtamista sarkaojiin tulisi välttää
 - ➡ Kääntömätästystä suositetaan turvemailla – vähemmän eroosiopintaa



2: Ravinteiden pidättäminen Suomen oloissa haasteellista

- Vesimäärät suuria, pitoisuudet pieniä ja ravinnekuormat ”maltillisia”
- Virtaamat suuria kasvukauden ulkopuolella (70-80%), hyvin vähäisiä biologisesti aktiiviseen aikaan ↔ biologinen puhdistus (rankaniput, hakebioreaktorit)
- Ojat jäässä suuren osan vuotta (pidättävät materiaalit jäässä myös; esim. biohiili/hake)
- Vain vähäinen osa kuormituksesta yleensä kiintoainekuormitusta (5 mg/L), suurin osa kuormituksesta liuenneessa muodossa



Taulukko. Valunnan määrät kasvaneet (+) valuma-alueilla

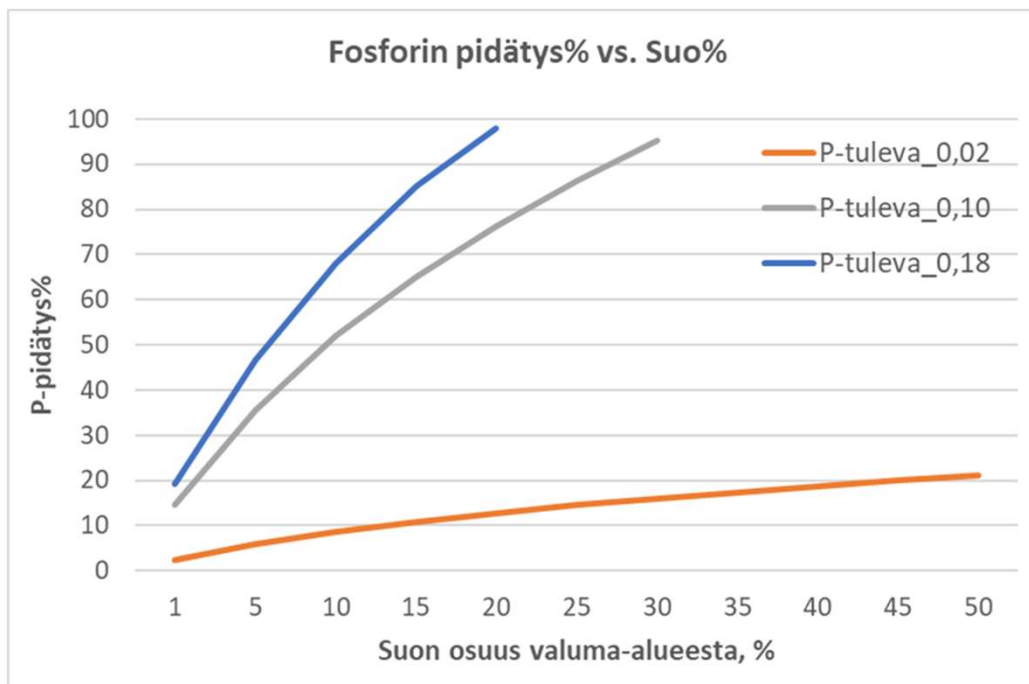
	11	12	1	2	3	4	5
Huhtisuonoja		+++	+++	+++	+++		
Kaidesluoma			+++	+++	++		_-***
Katajaluoma			+				_-**
Kesselinpuro			++	++	++		_-**
Korpijoki		+	+			+	_-*
Kotioja	+	++	++	+	++		
Myllypuro	+	+	++			+	
Pahkaoja			++				_-**
Ravijoki			++	++	+		_-**
Teeressuo			+				_-***
Tujuoja			++	++	+	+	_-***
Vääräjoki		+	+	+	++	+++	_-*
Ylijoki		++	++	+		++	

2: Tehokkaimmat kuormitusta pidättävät toimet

- **Pintavalutuskenttä/vesiensuojelukosteikko**
 - Vesi ohjataan pintakasvillisuuden sekaan ja suotautuu kasvillisuuden ja pintamaakerroksen läpi
 - Pidättää tehokkaasti myös liuenneita ravinteita
 - Haasteita sopivien paikkojen löytämisessä, tai kaltevuus / koko (1-3% valuma-alueen alasta)
 - Parhaat kohteet ojittamattomat suoalueet (esim. vesienpalautus) tai kuivahtaneet metsänkasvatuskelvottomat turvemaat
 - Aiemmin metsäojitettu tehokkaasti kuivattu, pitkällä turvekangasvaiheessa oleva alue ei paras sijoituspaikka
- ➡ *Alkuvuosina pintavalutuskenttä voi olla jopa kuormituslähde, pitemmällä aikavälillä tilanne paranee!!*
- Pintavalutuskentäksi ennallistettu tai perustettu kosteikko lisää kuitenkin lähes välittömästi monimuotoisuutta



Vain suhteellisen laajat (% valuma-alueesta) vesiensuojeluratkaisut toimivat, laajat vesiensuojelukosteikot



- Pitkä veden viipymä
- Talvikaudella kosteikolle huuhtoutuneet ravinteet kosteikolla edelleen, kun pidätysprosessit lämpimään aikaan aktivoituvat

- **Vesienpalautuksessa** yläpuoliselta valuma-alueelta (ojitusalue) johdetaan vesiä takaisin kuivahtaneelle luonnontilaiselle suolle
- **Vesien palauttaminen:**
 - Parantaa suon **hydrologista tilaa**
 - Lisää **monimuotoisuutta**
 - Tehostaa **hiilen sidontaa turpeeseen**
 - Vahvistaa **metsätalouden vesiensuojelua**
- **Haasteena** on vettymisriskin lisääntyminen ojitetuilla metsäalueilla vesien vaikutuspiirissä
 - ➔ Riskit puuston kasvulle todettu usein olevan kuitenkin pieniä (*Hiili-Vespa-hanke*) ➔ voi vähentää kuivuusriskiä!!!
- Vesienpalautuksella myös mahdollisuus vesistöjen tummumista aiheuttavan **orgaanisen hiilen kuormituksen vähentämiseen**





Kuva: Tapio Oy



Kuva: Sakari Sarkkola



Pintavalutuskenttä, perutettu 2015 (Juupajoki)



Kuvat: Sakari Sarkkola

8 vuotta myöhemmin

Vesistöjen tummumisen torjunta

- Sekametsiköiden suosiminen, lehtipuiden suosiminen erityisesti vesistöjen rantavyöhykkeillä
- Soiden suojelu ja ennallistaminen (aluksi lisää tummumista)
- Jatkuva kasvatus turvemailla
- Ojituksen aiheuttaman humuskuormituksen välttäminen



Johtopäätöksiä

- Tähän mennessä toteutettu vesiensuojelu ei ole ollut riittävää pintavesien laadun parantamiseksi
- Vesiensuojelussa ei yhtä ainoaa oikeaa tapaa. Tehokkainta vesiensuojelua **kuormituksen synnyn ehkäisyyn liittyvät toimenpiteet**, kuten hakkuutavan valinta ja eroosioriskin vähentämiseen liittyvät toimet:
 - jatkuvapeitteinen kasvatus
 - kuivatuksen ja maanmuokkauksen keventäminen
- Tehokkaimpia vesiensuojelurakenteita **pintavalutukseen** perustuvat menetelmät, koska niillä voidaan pidättää myös liuenneita ravinteita.
 - ➡ *Menetelmät parantavat myös monimuotoisuutta merkittävästi ja voivat myös vähentää kuivuusriskiä* ➡ **Kokeile rohkeasti!!**
- Vesiensuojelurakenteiden perustamisessa **oikea ja riittävä mitoitus** tärkeää
 - ➡ *valuma-alueen laajuinen huomiointi milloin vain suinkin mahdollista*
 - ➡ **laadukas suunnittelu A&O** ➡ Huom! suunnittelu tuettua toimintaa!

Kirjallisuutta

- Aaltonen, H., Tuukkanen, T., Palviainen, M., Laurén, A., Tattari, S., Piirainen, S., Mattsson, T., Ojala, A., Launiainen, S., Finér, L. 2021. Controls of Organic Carbon and Nutrient Export from Unmanaged and Managed Boreal Forested Catchments. *Water* 13 17: 16 p.
- Asmala E., Carstensen J., Räike A. (2019). Multiple anthropogenic drivers behind upward trends in organic carbon concentrations in boreal rivers. *Environmental Research Letters* 14. 10 s. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4fa9>.
- Finér L., Mattsson T., Joensuu S., Koivusalo H., Laurén A., Makkonen T., Nieminen M., Tattari S., Ahti E., Kortelainen P., Koskiahio J., Leinonen A., Nevalainen R., Piirainen S., Saarelainen J., Sarkkola S., Vuollekoski M. (2010). Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. (A method for calculating nitrogen, phosphorus and sediment load from forested catchments). *Suomen ympäristö* 10/2010. 33 s. <http://hdl.handle.net/10138/37973>.
- Finér, L., Čiudienė, D., Libietė, Z., Lode, E., Nieminen, M., Pierzgalski, E., Ring, E., Strand, L., Sikström, U. 2019. WAMBAF – Hyvät käytännöt kunnostusojituksen vesiensuojeluun Itämeren alueelle. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*. 4/2019. *Luonnonvarakeskus*. 19 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-703-9>
- Finér ym. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Science of the Total Environment* 762 (2021) 144098. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144098>
- Haahti K. ym 2018. Model-based evaluation of sediment control in a drained peatland forest after ditch network maintenance. *Can. J. For. Res.* 48: 130–140. [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2017-0269](https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0269)
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T. & Sarkkola, S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609: 974-981.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantausta, T. & Lepistö, A. 2018. Increasing and Decreasing Nitrogen and Phosphorus Trends in Runoff from Drained Peatland Forests—Is There a Legacy Effect of Drainage or Not? *Water, Air, & Soil Pollution* 229 (286): 10 s.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tervahauta, A., Saarimaa, M., Sallantausta, T. 2020b. Water quality management dilemma: Increased nutrient, carbon, and heavy metal exports from forestry-drained peatlands restored for use as wetland buffer areas. *Forest ecology and management* 465: 9 s.
- Nieminen, M., Sarkkola, S., Haahti, K., Sallantausta, T., Koskinen, M. & Ojanen, P. 2020. Metsäoijittettujen soiden typpi- ja fosforikuormitus Suomessa. *Suomen Mires&Peat* 71:1- 13. <http://suo.fi/pdf/article10398.pdf>
- Nieminen ym. 2021. Peatland drainage - a missing link behind increasing TOC concentrations in waters from high latitude forest catchments? *Science of the Total Environment* 774 (2021) 145150 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145150>
- Räike, A., Taskinen, A., Knuuttila, S. 2019. Nutrient export from Finnish rivers into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures. *Ambio*/2019. doi:10.1007/s13280-019-01217-7
- Vuori, K-M. ym. 2021. Puupohjaisilla uusilla Materiaaleilla tehoa metsätalouden Vesiensuojeluun ja vesistökuormitukseen- PuuMaVesi-hankkeenNieminen, Mika; Hasselquist, Eliza Maher; Mosquera, Virginia; Ukonmaanaho, Liisa; Sallantausta, Tapani; Sarkkola, Sakari. 2022. Post-drainage stand growth and peat mineralization impair water quality from forested peatlands. *Journal of Environmental Quality*:
- Nieminen, Mika; Pukkala, Timo; Stenberg, Leena; Sarkkola, Sakari; Vihonen, Aleks; Valkeapää, Annukka. 2023. Jatkuvan kasvatuksen ja tasaikäismetsätalouden vaikutus metsäisten valuma-alueiden vesistökuormitukseen Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2023: 18 s. loppuraportti 31.1.2021. 32 s. www.syke.fi/hankkeet/puumavesi



Kiitos!



luke.fi



© Luonnonvarakeskus
© Natural Resources Institute Finland
© Naturresursinstitutet