

Arviot keskeisten metsätalouden toimenpiteiden vesistökuormituksesta ja synteesi vesiensuojelumenetelmien tehokkuudesta

Sakari Sarkkola, Leena Stenberg & Mika Nieminen
Luonnonvarakeskus (Luke)

Sisällys

1. Taustaa.....	1
2. Aineisto ja menetelmät.....	4
2.1. Metsätalouden vesistökuormituksen arviointimenetelmät	4
2.2. Turvemaiden hakkuiden kuormituksen arviointi	7
2.3. Kangasmaiden metsänuudistamisen kuormituksen arviointi	8
2.4. Lannoituksen kuormituksen arviointi	8
2.5. Ojien kunnostuksen kuormituksen arviointi	8
2.6. Ojituslisän arviointi.....	9
3. Kuormituslaskennan tulokset	10
4. Vesiensuojelun tehokkuus.....	19
4.1. Vesistökuormituksen torjuntatavat.....	19
4.2. Kuormituksen vähentäminen vesiensuojeluratkaisuin.....	20
5. Johtopäätökset.....	23
6. Lähteet.....	26

1. Taustaa

Tämä raportti koskee Tapio Palvelut Oy:n Luonnonvarakeskuksesta (Luke) ostaman asiakastoi-
meksiannon (hyväksytty tarjous päivätty 7.4.2025) pohjalta tehtyä työtä. Toimeksianto on osa
Metsäteollisuus ry:n rahoittamaa Tapion vetämää hanketta metsätalouden vaikutuksista vesis-
töjen tilaan sekä siitä, miten vesiensuojelutoimenpiteillä voidaan vaikuttaa kuormitukseen.

Vaikka suuri osa Suomen maapinta-alasta on metsätalouden piirissä, se ei kuitenkaan automaati-
sesti tarkoita suurta kuormitusta. Kuormituksen määrään vaikuttavat ennen kaikkea

toimenpiteiden voimakkuus, niiden pinta-ala suhteessa valuma-alueeseen sekä kasvupaikan ominaisuudet. Esimerkiksi kunnostusojitukset, hakkuut ja lannoitukset voivat aiheuttaa merkittävää kuormitusta, vaikka vaikutukset olisivatkin kestoaltaan lyhytaikaisia (alle 10 vuotta) (Finér ym. 2010). Uudistushakkuiden vuotuinen pinta-ala on viimeisen 10 vuoden aikana ollut 120 000–150 000 hehtaaria, josta noin 20 000–50 000 hehtaaria sijoittuu turvemaille. Vaikka turvemaiden osuus on alle viidenneksen, hakkuiden aiheuttama kokonaiskuormitus niillä voi useilla alueilla olla jopa suurempaa kuin kangasmaiden hakkuiden aiheuttama kuormitus, koska hehtaariohtainen kuormitus turvemailta on selvästi suurempaa (Finér ym. 2010, Kaila ym. 2014).

Harvennushakkuista tehdään vuosittain huomattavasti laajemmalla alueella kuin uudistushakkuista. Harvennushakkuista ei oleteta aiheutuvan merkittävää ravinnekuormaa erityisesti kangasmailta. Tutkimustietoa harvennusten vaikutuksista on kuitenkin julkaistu vain vähän. Myös nykyinen ymmärrys kangasmaiden uudistushakkuiden vaikutuksista (ns. ominaiskuormitukset) perustuu pitkälti yli 20 vuotta vanhaan tietoon, vaikka kuormituslukuja onkin viime vuosina pystytty päivittämään Finérin ym. (2010) esittämistä luvuista (Nieminen ym. 2023). Lisäksi esimerkiksi hakkuiden voimakkuuden ja eri maanmuokkausmenetelmien vaikutuksista ravinnekuormitukseen tiedetään yhä varsin vähän.

Turvemaiden hakkuiden vaikutuksista sen sijaan on kertynyt enemmän tutkimustietoa, ja ymmärrys kuormituksen syntymekanismista ja vaihtelusta on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina. Uudempaa tietoa on saatu muun muassa hakkuiden voimakkuuden vaikutuksista ravinnekuormitukseen (ks. Nieminen ym. 2023).

Turvemaiden kunnostusojitukset ovat olleet merkittävä kuormitustekijä, ja niitä on tehty viimeisen kymmenen vuoden (2014–2023) aikana vuosittain 10 000–60 000 hehtaarin alueella (Luke Luonnonvaratieto). Ne aiheuttavat erityisesti kiintoainekuormitusta, ja niiden osuus metsätalouden kokonaiskiintoainekuormituksesta on ollut eri arvioissa yli 90 %. Viime vuosina kunnostusojitusten määrä on vähentynyt, ja kehitys näyttää jatkuvan, mikä yleisesti vähentää metsätalouden kiintoainekuormitusta.

Metsätalouden vaikutukset eivät rajoitu vain yksittäisten toimenpiteiden välittömiin seurauksiin. Pitkäaikaiskuormitusta syntyy erityisesti vanhoista metsäojituksista. Uudet tutkimukset ovat osoittaneet, että ojitettujen soiden ravinnekuormitus on huomattavasti suurempaa kuin aiemmin arvioitiin (Nieminen ym. 2017a; 2018a; Marttila ym. 2018; Nieminen ym. 2020; Finér ym. 2021; Aaltonen ym. 2021). Aiemmin arvioitiin, että kuormitus palautuu luonnontilaisen suon tasolle 10–30 vuodessa (Finér ym. 2010), mutta uusien havaintojen mukaan kuormitus voi kuitenkin jäädä pysyvästi korkeammalle tasolle (Nieminen ym. 2017, 2018).

Viimeaikaiset tutkimukset viittaavat siihen, että erityisesti hiili- ja typpikuormitus ojitetuilta soilta voi tulevaisuudessa edelleen kasvaa (Nieminen ym. 2017a, 2018a, 2022; Asmala ym. 2019; Räike ym. 2020, 2024). Myös kasvatettavalla puulajilla on merkitystä: esimerkiksi metsien

kuusettumisen ja hiilen huuhtouman välillä on havaittu olevan yhteys (Mattsson ym. 2003; Škerlep 2021). Kuusettuminen lisää orgaanisen aineen, kuten (happaman) neulas- ja juuristokarikkeen määrää metsämaassa, mikä voi ilmetä kasvaneena orgaanisen hiilen huuhtoumana ja edelleen vesistöjen tummumisena (Härkönen ym. 2023).

Ojitetuilla soilla on havaittu yhteys poistettavan puuston määrän ja huuhtoutuvien typen ja fosforin määrien välillä (Nieminen ym. 2023). Hakkuut vähentävät elävän puuston ravinteiden ottoa ja samalla kaadettujen puiden hajoava juuristo tuottaa ravinteita maaveteen. Lisäksi haihduttavan puuston poistaminen voi johtaa alavien alueiden vettymiseen, mikä puolestaan käynnistää maaperässä kemiallisia pelkistysreaktioita. Nämä reaktiot voivat lisätä vettymisherkkien aineiden, kuten fosforin, raudan ja humuksen, liukenemista ja kulkeutumista vesistöihin (Kaila ym. 2014).

Uusi tutkimustieto on korostanut metsätalouden merkitystä vesistökuormituksen lähteenä, sekä paikallisesti että Itämereen kohdistuvan kuormituksen näkökulmasta. Vaikka kokonaiskuormitus Itämereen ei sinällään ole kasvanut viimeisten kahden vuosikymmenen aikana ja osalla Perämereen virtaavissa joissa sekä Kokemäenjoella ja Kymijoen kokonaisfosforikuormissa on ollut jopa laskeva trendi (Fleming ym. 2023), ihmistoiminnan osuus siitä arvioidaan nykyään huomattavasti suuremmaksi kuin aiemmin. Osa kuormituksesta, joka aiemmin luokiteltiin luonnon taustahuuhtoumiksi, tunnistetaan nyt ensiojituksen pitkäaikaskuormitukseksi.

Samaan aikaan tietoisuuden lisääntyminen vesistökuormituksen mekanismeista on tuonut esiin uusia haasteita metsätalouden vesiensuojelussa (esim. Härkönen ym. 2023). Kuormituksen syntymekanismien parempi ymmärtäminen ja niiden hallinta edellyttäisivät lisää tutkimusta ja kehittämistyötä.

Tässä selvityksessä laskettiin keskeisten kuormitusta aiheuttavien metsätaloustoimien vesistökuormitusarvot typelle, fosforille ja kiintoaineelle nykyhetkellä (sisältäen edeltävät viisi vuotta) alueellisesti maakunnittain (pl. Ahvenanmaa) ja vesienhoitoalueittain perustuen tässä työssä selvitettyihin hehtaariohjeisiin kuormituslukuihin. Luvut tuotettiin erikseen kangas- ja turvemaille. Tarkasteltavat toimenpiteet olivat turvemaiden hakkuut (harvennus- ja uudistushakkuut), kangasmaiden uudistushakkuut, turve- ja kangasmaiden lannoitukset sekä kunnostusojitukset turvemaille. Lisäksi laadittiin arvio ojituksen pitkäaikaskuormituksesta. Kangasmaiden harvennushakkuuta tai kangasmailla toteutettuja ojituksia ei tässä työssä tarkasteltu, koska niistä ei ole käytettävissä tutkimustietoa. Arviota ei myöskään esitetä erikseen maanmuokkauksen aiheuttamasta kuormituksesta, koska tällä hetkellä ei ole olemassa tutkimustuloksia, joiden perusteella maanmuokkauksen vaikutuksen voisi luotettavasti erottaa päätehakkuun vaikutuksesta. Maanmuokkauksen vaikutukset sisältyvät kangasmaiden metsänuudistamisen kuormituslaskelmiin. Toimenpiteitä, joilla ei oleteta olevan merkittäviä erillisiä kuormitusvaikutuksia, kuten esimerkiksi kangasmaametsien harvennushakkuut, taimikonhoitotoimet, metsänviljelymenetelmät tai puunkorjuumenetelmät ei myöskään tarkasteltu laskelmissa.

Kuormituslaskelmien lisäksi laadittiin koosteenomainen synteesi metsätalouden vesiensuojelumenetelmien tehosta, puutteista sekä epävarmuuksista.

2. Aineistot ja menetelmät

2.1. Metsätalouden vesistökuormituksen arviointimenetelmät

Työssä käytettiin lähteinä Luonnonvarakeskuksen metsätilastotietoja, Metsäkeskuksen metsänkäyttöilmoituksia ja muita paikkatietoaineistoja (Taulukko 1). Kaikki käytetty data on hankittu avoimista tietolähteistä. Nykytilan luotettavaksi kuvaamiseksi ja esimerkiksi metsänkäsittelypinta-aloissa ja sääolosuhteissa esiintyvän vuosien välisen satunnaisvaihtelun vähentämiseksi, laskelmat tehtiin viiden vuoden jaksolle vuosiksi 2020–2024. Ojien kunnostuksen ja lannoitusten osalta laskentajakso oli 2019–2023, koska vuoden 2024 toteutuman tilastointi ei ole vielä valmistunut. Tarkasteltavat metsänkäsittelymenetelmät olivat:

- Metsänuudistaminen kangasmailla (hakkuut ja maanmuokkaukset)
- Hakkuut turvemailla (harvennushakkuut + uudistushakkuut)
- Kasvatuslannoitukset kangasmailla
- Turvemaiden terveyslannoitukset
- Ojien kunnostus (ojien perkauksesta ja mahdollisesta täydennysojituksesta aiheutuva kuormitus (mm. kaivutöiden aikana irtoava ja sen jälkeen ojista syöpyvä aines ja ravinteet)
- Metsäojitus yleisenä toimenpiteenä eli nk. ojituslisä, joka aiheutuu siitä, että kasvupaikka on ylipäättään alun perin kuivattu metsätaloutta varten. Varsinainen ensiojitus, joka on ojituslisän perimmäinen syy, on voitu tehdä jo kauan sitten, sillä ojitusten yleinen ”keski-ikä” on Suomessa jo lähes 60 vuotta. Ojituslisä on kuivatuksen aiheuttama lisäkuorma verrattuna luonnontilaisen suon taustakuormaan. Tämä kuorma on laskettu tässä selvityksessä vuosittain vuosille 2020–2024 aluetasolla.

Maanmuokkausmenetelmien vaikutusta kuormitukseen ei ollut mahdollista eritellä hakkuiden vaikutuksista, koska näistä ei ole käytettävissä tarpeeksi tietoa. Aiemman tutkimuksen perusteella kangasmaiden maanmuokkauksen vaikutukset fosforin ja typen huuhtoutumiseen on todettu pieniksi (Ahtiainen ja Huttunen 1999, Finér ym. 2020, Palviainen ym. 2014); joskin kohdekohtaisia eroja esiintyy riippuen mm. kaltevuusoloista ja maalajista, jotka vaikuttavat eroosioriskiä ja edelleen kuormituksen määrään.

Erityisesti turvemailla maanmuokkausmenetelmillä voi olla merkittävä vaikutus kuormitukseen, mutta tätä asiaa tunnetaan heikosti. Ojitusmätästys muodostaa vesiuomia ja voi siksi aiheuttaa vastaava eroosiota kuin kunnostusojitus. Laikku- ja kääntömätästys ovat vesiensuojelun näkökulmasta suositeltavampia menetelmiä turvemailla (Nieminen 2003). Mätästys on ollut suosituin maanmuokkausmenetelmä niin kivennäis- kuin turvemaillakin vuodesta 2006, ja sen osuus oli kaikista maanmuokkauksista 76 % vuonna 2022, mutta tilastoista ei selviä, kuinka suuri osa oli

navero- ja ojitusmätästystä (LUKE 2024). Uudistushakkuiden yhteydessä tehtävien voimakkaiden maanmuokkausten merkitys kasvaa kunnostusojitusten vähentyessä. Erityisesti pohjamaalajilla hienojakoista kivennäismaata olevilla ohutturpeisilla turvemailla ne voivat aiheuttaa huomattavaa kuormitusta (Nieminen 2003). Maanmuokkauksen vaikutuksia arvioitaessa selkeä puute on kuitenkin se, että tutkimuksista ei yleensä voi erottaa maanmuokkauksen vaikutusta päätehakkuun vaikutuksesta. Tällä hetkellä tietoa turvemaiden maanmuokausmenetelmien vaikutuksesta kuormitukseen on niin vähän, että edes karkeiden alueellisten arvioiden tekeminen luotettavasti ei ole mahdollista.

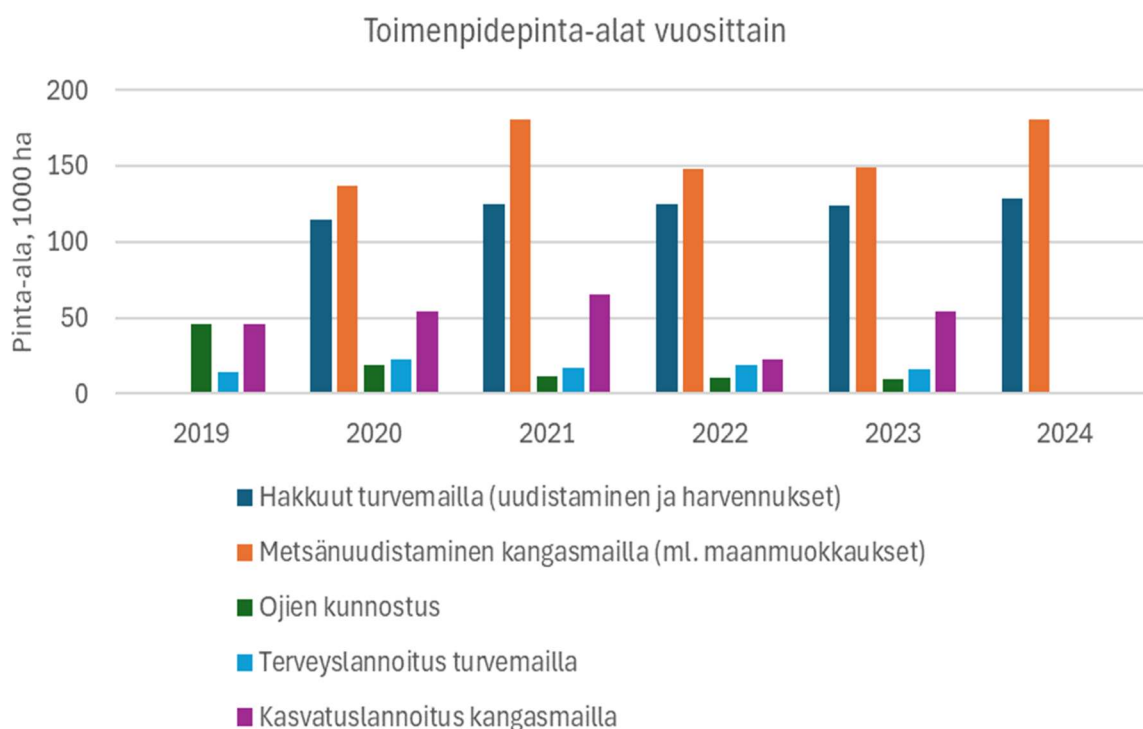
Kuormat laskettiin toimeksiannon mukaisesti typelle (kokonaistyyppi), fosforille (kokonaisfosfori) ja kiintoaineelle. Alueelliset kiintoainekuormitukset laskettiin vain ojien kunnostukselle turvemailla, koska vain siitä on olemassa tarpeeksi tietoa ja kiintoainekuormituksen syntyyn muissa työlajeissa sisältyy hyvin suurta satunnaisvaihtelua, joka on riippuvainen kohdealuekohtaisista tekijöistä.

Taulukko 1. *Metsätalouden eri työläjien määrien arviointiin käytetyt tausta-aineistot.*

Datan lähde	Käytetty data	Hakkuut turve- mailla	Metsänuudis- taminen kan- gasmailla	Lannoitus	Ojien kunnos- tus	Ojituslisä
Metsäkeskus	Metsänkäyttöilmoitukset (paikkatietoaineisto)	x	x			
Metsäkeskus	Hakkuuainekomukset (.xlsx)	x	x			
MML	MML maastotietokannan suoalueet (gis-data)	x	x			
MML	Hallinnolliset rajat (gis-data)	x	x	x	x	x
SYKE	Vesienhoitoalueiden rajat (gis-data)	x	x	x	x	x
SYKE	Merialueiden rajat	x	x	x	x	x
Luke	Metsänhoito- ja metsänparannustyöt -tilasto			x	x	
Luke	Ojitustilanne metsätalousmaalla -tilasto					x

Taulukko 2. Laskennassa käytetyt eri metsänkäsittelytoimenpiteiden työlajien pinta-alat (1000 ha) Taulukossa 1 esitettyjen aineistojen perusteella vuosittain. Turvemaiden hakkuut sisältävät kaikki turvemailla tehdyt hakkuutoimenpiteet.

Toimenpide	Toimenpidepinta-alat vuosittain, 1000 ha					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Hakkuut turvemailla (uudistaminen ja harvennukset)		114,7	124,9	124,5	123,8	128,4
Metsänuudistaminen kangasmailla (ml. maanmuokkaukset)		137,3	180,3	148,3	149,1	181,0
Ojien kunnostus	46,0	18,5	11,7	10,7	9,6	
Terveyslannoitus turvemailla	14,0	22,4	17,4	19,25	16,4	
Kasvatuslannoitus kangasmailla	45,8	54,1	65,4	22,2	54,1	



Kuva 1. Laskennassa käytetyt eri metsänkäsittelytoimenpiteiden työlajien pinta-alat (1000 ha) Taulukossa 1 esitettyjen aineistojen perusteella vuosittain. Turvemaiden hakkuut sisältävät kaikki turvemailla tehdyt hakkuutoimenpiteet.

Kuormituksen kesto vaihtelee työlajeittain. Tässä raportissa kuormituksen yksikkönä on kg/ha, joka kuvaa tiettyinä vuotena tietyllä pinta-alalla tehdyn työmäärän aiheuttamaa kumulatiivista kuormitusta toimenpidevuotena ja tulevana vuosina huomioiden kunkin työlahjin aiheuttaman kuormituksen keston. Näin esitettyjen kuormituslukujen keskiarvon ajatellaan heijastelevan keskimääräistä vuotuista kuormitusta.

2.2. Turvemaiden hakkuiden kuormituksen arviointi

Turvemaiden hakkuiden kuormitusarvio perustui kunnittaisiin keskimääräisiin hakkuumääriin ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{vuosi}$) vuosilta 2020–2024 sekä poistettuun puustoon suhteutettuihin typen ja fosforin kuormitusmalleihin (kg/ha), jotka on esitetty julkaisussa Nieminen ym. (2023). Kuormitusmallit perustuvat mitattuihin aineistoihin, joissa kuormitus lisääntyy hakkuumäärän (poistetun puuston määrän) kasvaessa. Esimerkiksi $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ hakkuu aiheuttaa yhtälöiden perusteella n. $1,55 \text{ kg}/\text{ha}/\text{vuosi}$ lisäyksen typpikuormitukseen ja $0,06 \text{ kg}/\text{ha}/\text{vuosi}$ lisäyksen fosforikuormitukseen. Vastaavasti esimerkiksi $200 \text{ m}^3/\text{ha}$ hakkuu aiheuttaisi $4,86 \text{ kg}/\text{ha}/\text{vuosi}$ lisää typpikuormitusta ja $0,35 \text{ kg}/\text{ha}/\text{vuosi}$ fosforikuormitusta. Turvemaiden hakkuiden oletettiin lisäävän kuormitusta viiden vuoden ajan.

Tätä raporttia varten hakkuumäärät saatiin Metsäkeskuksen julkaisemien metsänomistajien tekemien metsänkäyttöilmoitusten hakkuuaikomuksista metsissään. Koska kaikki metsänkäyttöilmoitusten taulukkomuotoinen data¹ ei sisällä tietoa metsämaan maalajista, turvemaiden osuus hakkuista arvioitiin metsänkäyttöilmoitusten paikkatietoaineistojen² perusteella kunnittain. Jos metsänkäyttöilmoituksesta puuttui tieto maalajista, oletettiin hakkuukohteen sijaitsevan turve- maalla, mikäli vähintään 50 % kuviosta sijoittui turvemaa-alueelle Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta saadun kartta-aineiston perusteella. Näiden tietojen pohjalta laskettiin kunnittain vuosittaiset arviot turveilla tehtyjen hakkuiden pinta-alaosuuksista. Kuormitus (kg) arviointiin kertomalla kunnittaiset hakkuuaikomukset (ha) turvemaiden pinta-alaosuuksilla (%) ja soveltamalla kuormitusmalleja (Nieminen ym. 2023) keskimääräisten hakkuumäärien avulla. Lopuksi kuormitusarviot koottiin yhteen maakunnittain ja vesienhoitoalueittain.

¹ Vuosittaiset hakkuuaikomustaulukot sivustolla: <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luonto-tieto/tietoa-metsien-kaytosta/hakkuuaikomukset>

² Metsänkäyttöilmoitukset sivustolla: <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/aineistot-paikkatieto-ohjelmille/paikkatietoaineistot>

2.3. Kangasmaiden metsänuudistamisen kuormituksen arviointi

Kangasmailla tehtyjen uudistushakkuiden pinta-alat vuosina 2020–2024 arvioitiin metsänkäyttöilmoitusten perusteella. Tarkasteluun otettiin kuviot, joilla hakkuutavaksi oli merkitty uudistaminen ja jotka eivät sijoittuneet turvemaalle. Mikäli metsänkäyttöilmoituksesta puuttui tieto maalajista, kuvio katsottiin kangasmaaksi, jos yli 50 % sen pinta-alasta sijaitsi Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaan kivennäismaalla.

Uudistushakkuun katsotaan aiheuttavan vesistökuormitusta hakkuuta seuraavan 10 vuoden ajan (Finér ym. 2010). Toisin sanoen alueellisissa tarkasteluissa kunkin vuoden metsätalouden aiheuttaman kuormituksen määrään sisältyy edellisvuosien hakkuiden vaikutuksia edeltävän 10 vuoden ajalta. Tässä työssä tehdyt uudistushakkuiden kuormitusarviot perustuvat pitkään käytössä olleisiin ominaiskuormituslukuihin: hakkuun aiheuttaman typpikuormituksen lasketaan olevan 10 vuoden aikana yhteensä 10,1 kg/ha ja fosforikuormituksen 1,33 kg/ha. Luvut perustuvat Nieminen ym. (2023) julkaisuun, jossa aiempia ominaiskuormituslukuja on päivitetty uudella aineistolla.

Näiden ominaiskuormituslukujen ja arvioitujen kangasmaiden uudistushakkuupinta-alojen perusteella laskettiin vesistökuormitus kunnittain. Lopuksi kuormitusarviot koottiin yhteen maakunnittain ja vesienhoitoalueittain.

2.4. Lannoituksen kuormituksen arviointi

Kangasmaiden kasvatuslannoitusten arvioidaan aiheuttavan typpikuormitusta (kahden vuoden kestonä yhteensä 15 kg/ha eli 7,5 kg/ha/vuosi) ja turvemaiden terveyslannoituksen fosforikuormitusta (viiden vuoden kestonä yhteensä 1,35 kg/ha eli 0,27 kg/ha/vuosi) (ks. Finér ym. 2010 ja viitteet). Lannoitusten pinta-alat perustuvat maakunnittaisiin tilastotietoihin vuosilta 2019–2023 (ks. Taulukko 1). Turvemaiden lannoituksissa fosforikuormitusta syntyy lähinnä sen johdosta, että lannoitetta päätyy levityksessä ojiin. Varsinaisista saroille levitetystä lannoitteesta, joka turvemailla on nykyisin lähes yksinomaan puu- tai puu- ja turvetuhkaa, ei itsessään odoteta aiheuttavan vesistökuormitusta (ks. Piirainen ym. 2013).

Kuormitusarviot laskettiin vesienhoitoalueittain olettaen, että lannoitukset jakautuvat tasaisesti maakunnan sisällä. Maakunnittain lasketut kuormitukset kohdennettiin vesienhoitoalueille maakunta- ja vesienhoitoaluerajojen perusteella.

2.5. Ojien kunnostuksen kuormituksen arviointi

Ojien kunnostuksen aiheuttama kuormitus arvioitiin yhdistämällä typen, fosforin ja kiintoaineen ominaiskuormitusluvut maakunnittaisiin tilastoihin kunnostettujen ojien määrästä (km). Kunnostetut pinta-alat laskettiin olettaen, että ojien tiheys on keskimäärin 250 m/ha, mikä

vastaa ojitusalueille tyypillistä 40 metrin ojaväliä. Ojien kaivussyvyyden mahdollisia vaikutuksia kuormiin ei otettu laskennassa huomioon.

Ominaiskuormituslukujen perusteella ojitus aiheuttaa (ilman vesiensuojelua) 10 vuoden aikana kiintoainekuormitusta yhteensä 1 390 kg/ha (Finér ym. 2010). Kiintoaineen laskettiin sisältävän tietty määrä typpeä (0,666 %) ja fosforia (0,048 %). Luvut perustuvat Luonnonvarakeskuksen toistaiseksi julkaisemattomaan aineistoon metsävaluma-alueilta huuhtoutuvan kiintoaineen ravinnepitoisuuksista. Tämän perusteella ojien kunnostuksen aiheuttama typpikuormitus 10 vuodelta yhteensä oli 9,3 kg/ha ja fosforikuormitus 0,7 kg/ha.

Kuormitusarviot laskettiin vesienhoitoalueittain olettaen, että ojien kunnostukset jakautuvat tasaisesti maakunnan alueelle. Maakunnittain lasketut kuormitukset kohdennettiin vesienhoitoalueille maakunta- ja vesienhoitoaluerajojen perusteella.

2.6. Ojituslisän arviointi

Ojituslisällä tarkoitetaan metsäojituksen aiheuttamaa pitkäaikaista ravinnekuormitusta, joka aiheutuu siitä, että kasvupaikka on alun perin kuivattu ojittamalla ja sen voidaan katsoa olevan pääosin riippumaton nykyisistä metsätaloustoimenpiteistä (Nieminen ym. 2020a). Tässä raportissa arvioitiin ojituksen pitkäaikaisvaikutuksia typen ja fosforin osalta maakunnittain (kg/ha/vuosi) tilastollisten ojituslisäyhtälöiden avulla. Ojituslisäyhtälöt perustuvat 99 metsäiseltä valuma-alueelta kerättyihin pitoisuusaineistoihin, joita on mitattu valuma-alueesta riippuen 2–31 vuoden ajalta (Nieminen ym. 2020a). Yhtälöiden selittävinä muuttujina käytettiin lämpösummaa ja valuma-alueen ojitusprosenttia.

Raportin laskelmissa hyödynnettiin maakuntakohtaisia keskimääräisiä lämpösummia sekä niiden perusteella arvioitua valuntaa (Finér ym. 2020), joiden avulla määritettiin ojituslisän aiheuttama ravinnekuormitus. Maakunnittainen vuotuinen kokonaiskuormitus (kg/vuosi) laskettiin VMI13:n mukaisten ojitettujen soiden pinta-alojen perusteella (tarkastelujakso 2020–2024). Ojituslisät kohdennettiin vesienhoitoalueittain olettaen, että ojitukset jakautuvat tasaisesti maakunnan sisällä. Maakunnittain lasketut kuormitusarviot jyvitettiin vesienhoitoalueille maakunta- ja vesienhoitoaluerajojen mukaisesti.

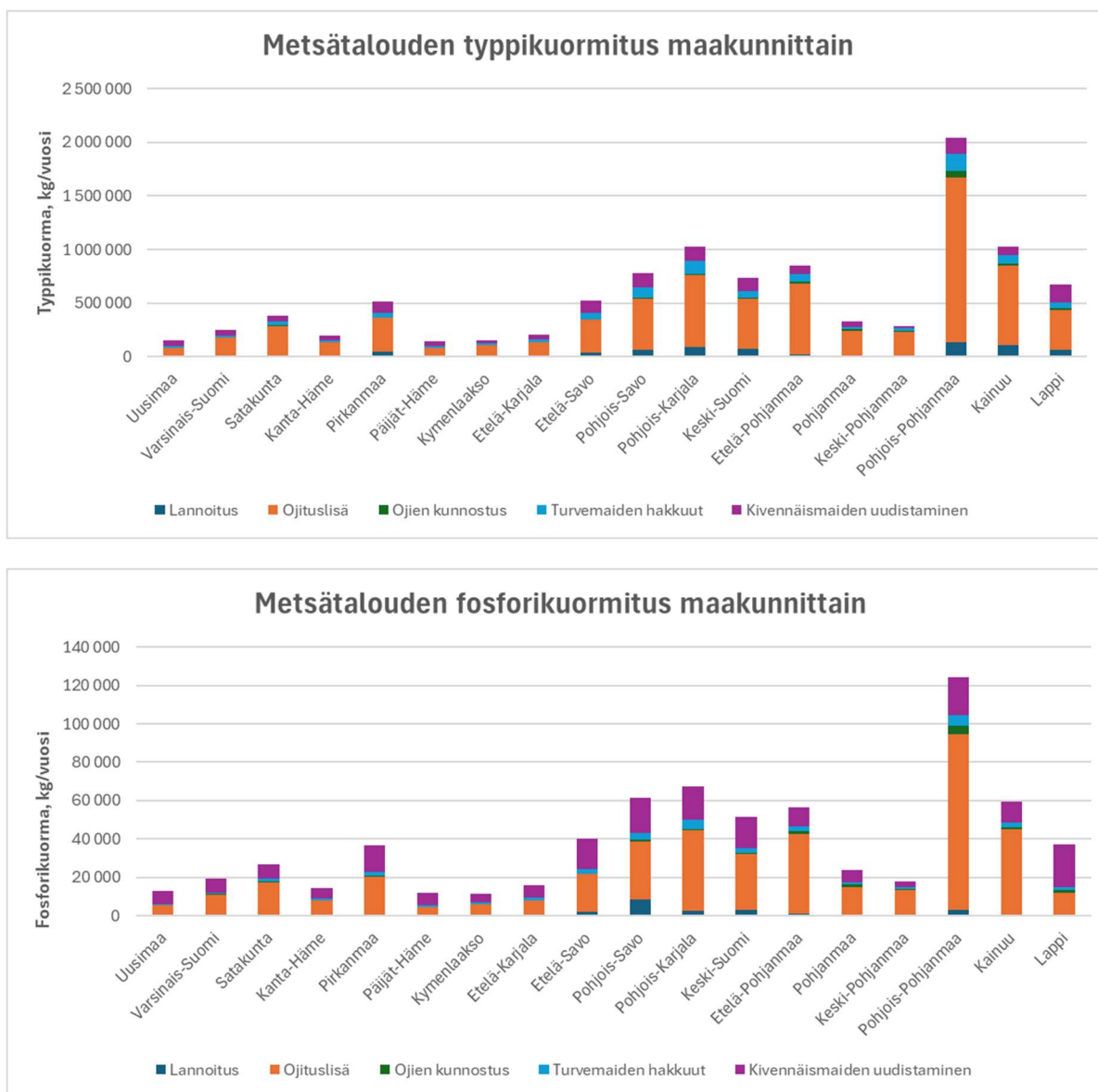


Kuva 2. Suomen maakunnat ja vesienhoitoalueet (1-7), joille metsätalouden kuormitukset laskettiin. Vuoksen vesienhoitoalue (VHA1), Kymijoen-Suomenlahden vesienhoitoalue (VHA2), Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalue (VHA3) Oulujoen–Iijoen vesienhoitoalue (VHA4), Kemijoen vesienhoitoalue (VHA5), Tornionjoen vesienhoitoalue (VHA6), Tenon-Näätämöjoen-Paatsjoen vesienhoitoalue (VHA7).

3. Kuormituslaskennan tulokset

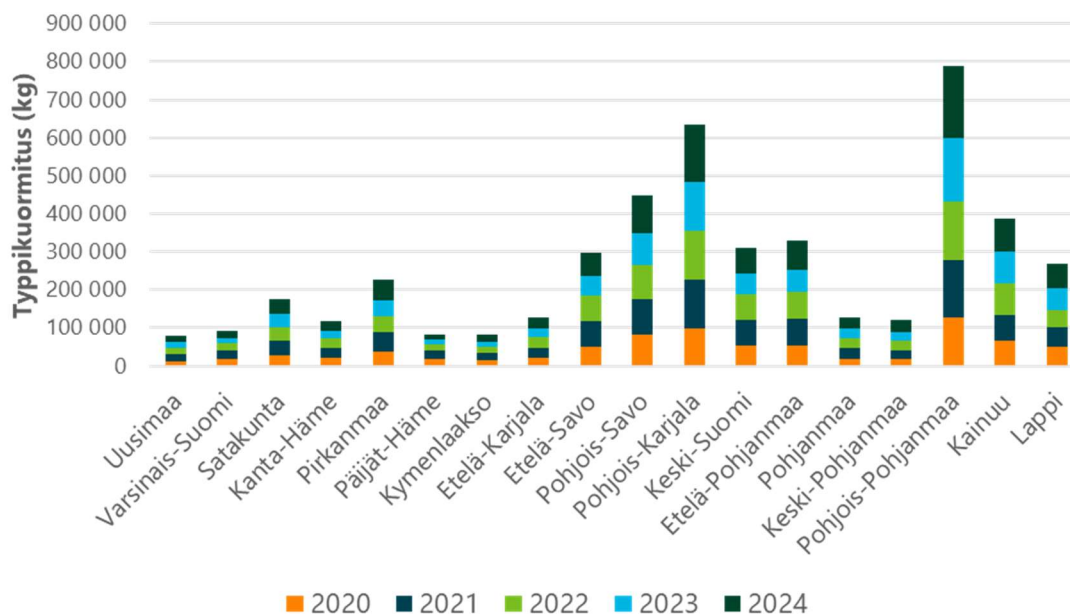
Lasketut toimenpidekohtaiset kuormaluvut typelle, fosforille ja kiintoaineelle vuosittain maakunnittain ja vesienhoitoalueittain on esitetty tämän raportin **liitetaulukossa A-C** sekä erillisessä tiedostossa: **Metsätalouden vesistökuormituslaskelmat_Luke_2025.xlsx**. Vuositason keskimääräiset valtakunnalliset metsätalouden aiheuttamat kuormat summattuna alueiden yli on esitetty Taulukossa 3. Laskelman mukaan vuotuinen metsätalouden aiheuttama typpikuormitus on 10 275 t vuodessa, fosforikuorma 688 t vuodessa ja kiintoainekuorma 26 836 t vuodessa. Luvut kuvaavat pelkästään sitä estimoitua lisäkuormaa, joka on syntynyt eri metsätaloustoimenpiteiden johdosta. Nk. *luonnonhuuhtouma*, eli valuma-alueilta tuleva metsätalouden toimenpiteistä riippumaton kuormitus, ei ole mukana esitetyissä luvuissa. Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) VEMALA-laskennan mukaisesti metsistä tuleva typen luonnonhuuhtouma on keskimäärin 41 800

t vuodessa ja vastaava fosforin huuhtouma 1580 t vuodessa (Finér ym. 2020). Ottaen luonnonhuuhtouma huomioon, metsätalouden aiheuttaman kuormituksen osuus metsistä tulevasta kokonaistyyppikuormasta on tämän selvityksen mukaan siten n. 20 % ja fosforikuormasta n. 30 %. Tarkkoja kuormitusosuuksia ei ole mahdollista luotettavasti arvioida luonnonhuuhtoumien estimointiin sisältyvän epävarmuuden takia.

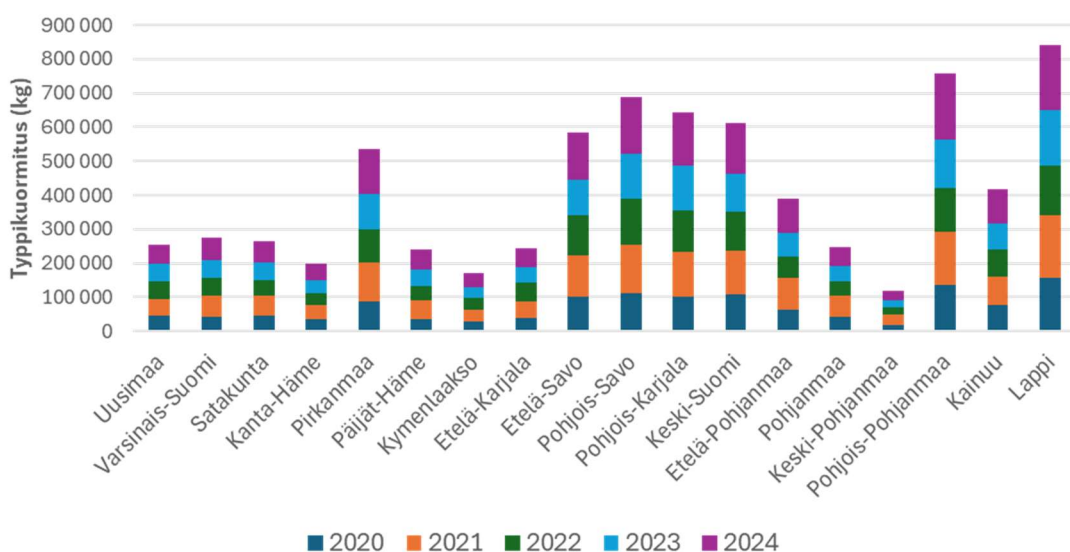


Kuva 3. Metsätalouden tyyppien ja fosforin vuotuiset kuormat toimenpiteittäin maakunnittain (nykytila).

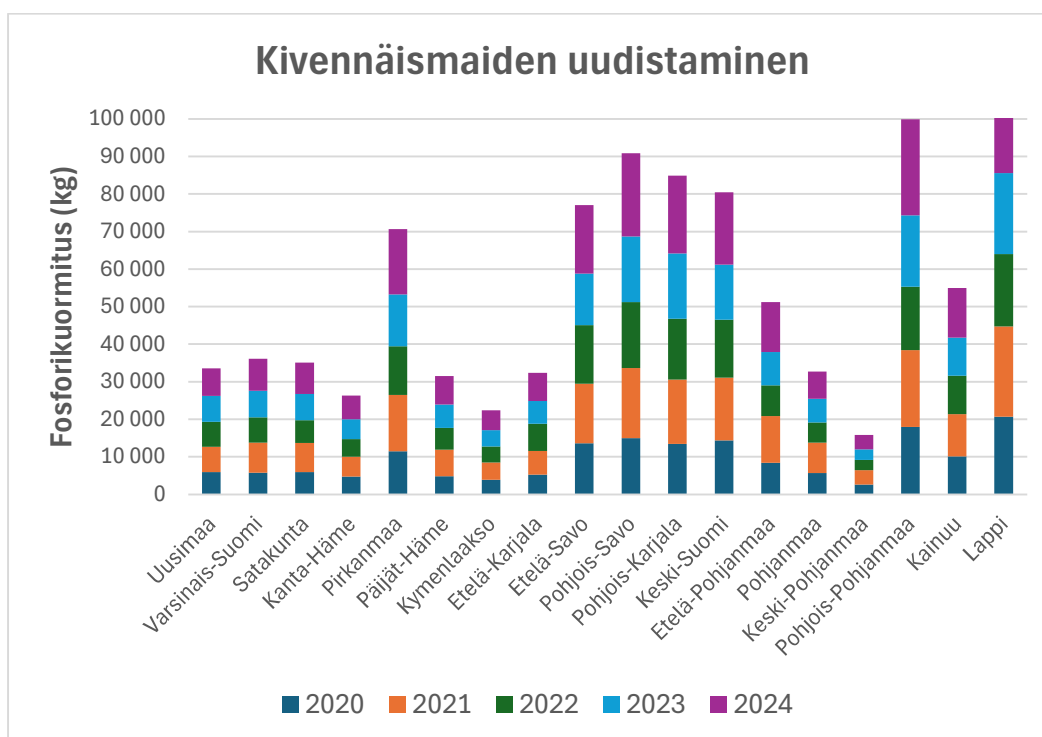
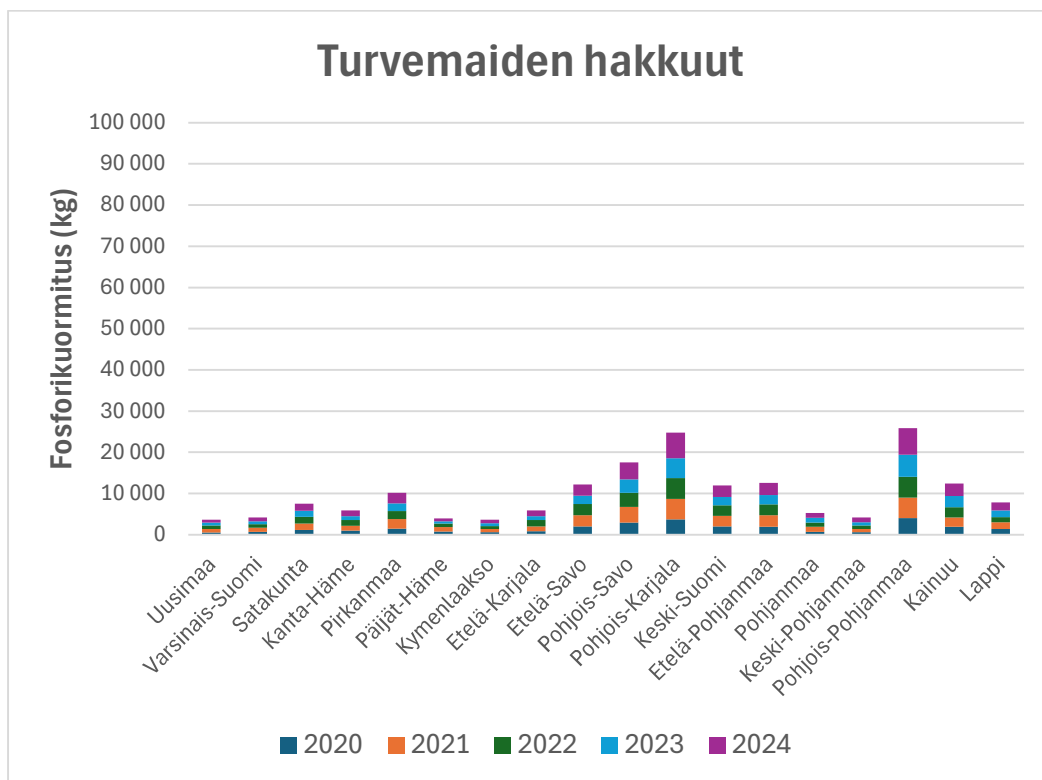
Turvemaiden hakkuut (kg, 2020-2024)



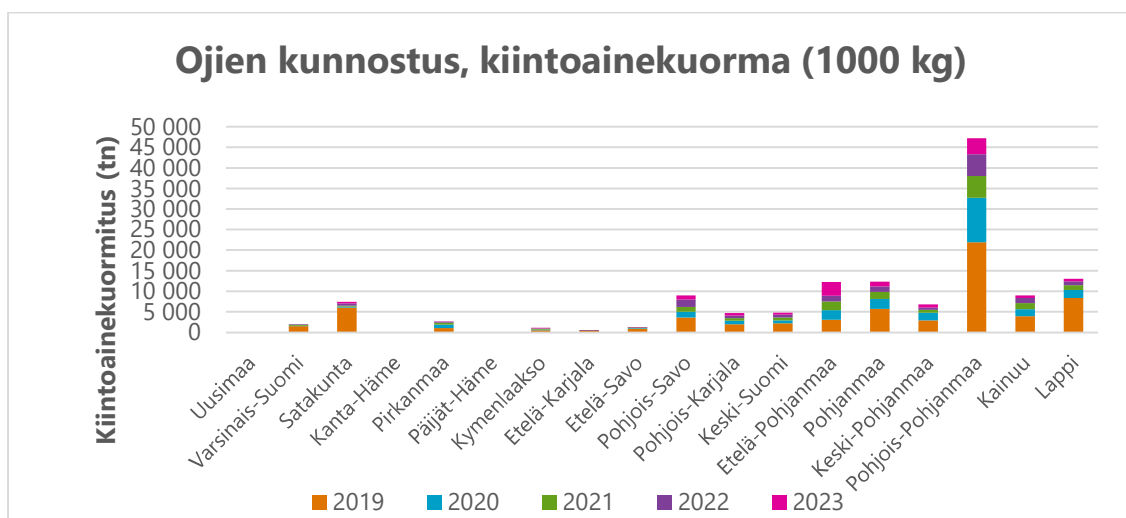
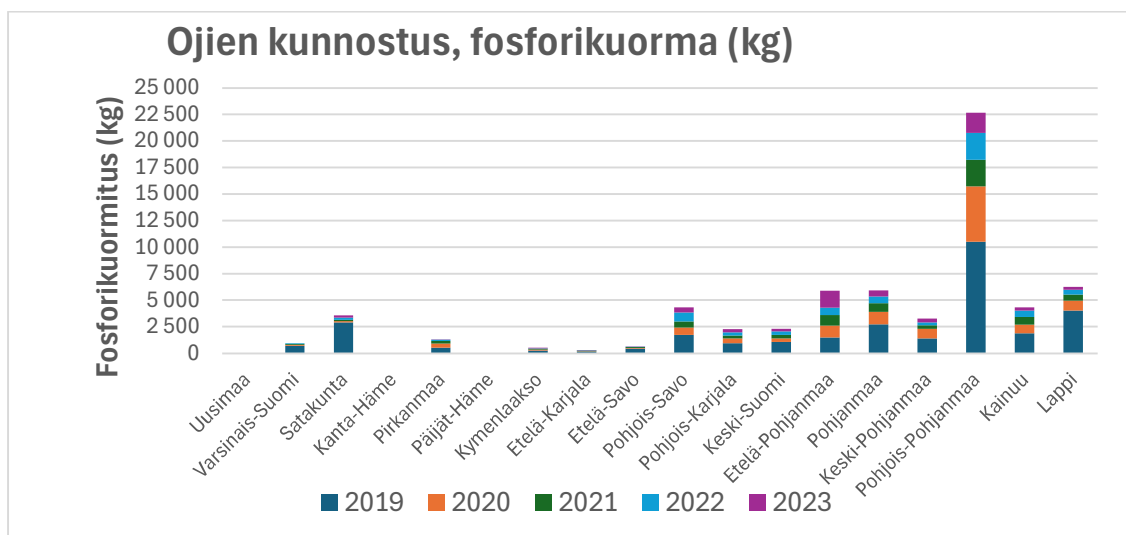
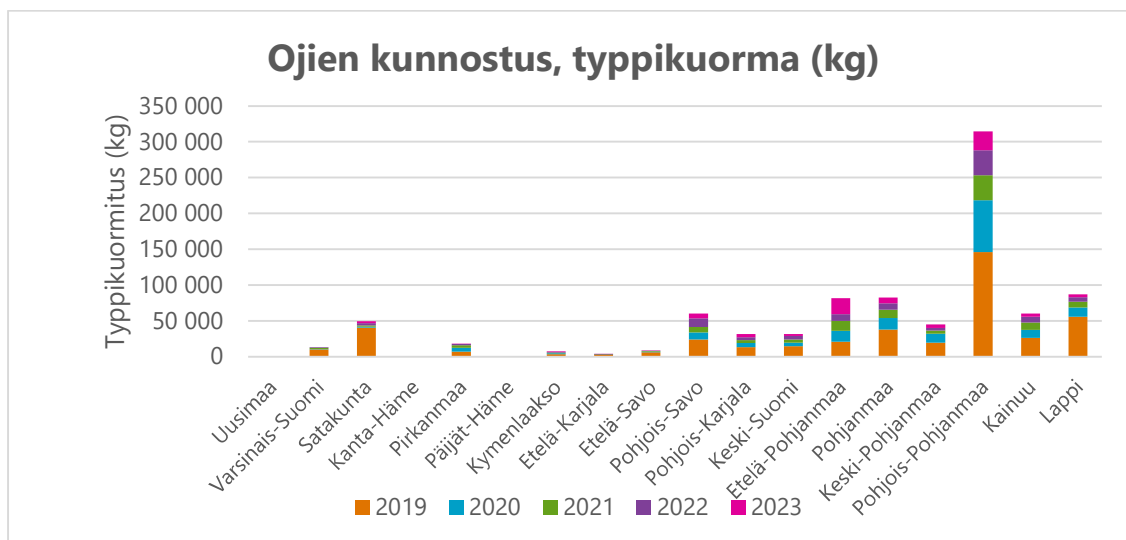
Kivennäismaiden uudistaminen (kg, 2020-2024)



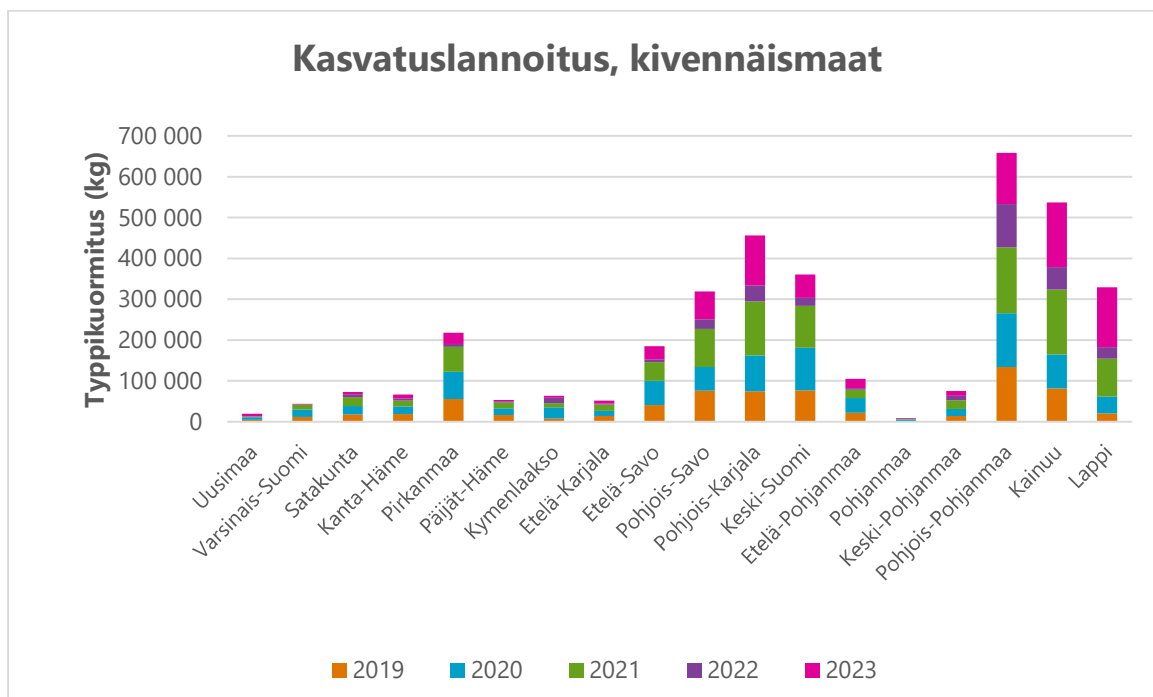
Kuva 4. Turvemaiden hakkuiden ja kangasmaiden metsänuudistamistoimenpiteiden typpikuormitus 2020–2024 (pylväissä kumulatiiviset lukuarvot).



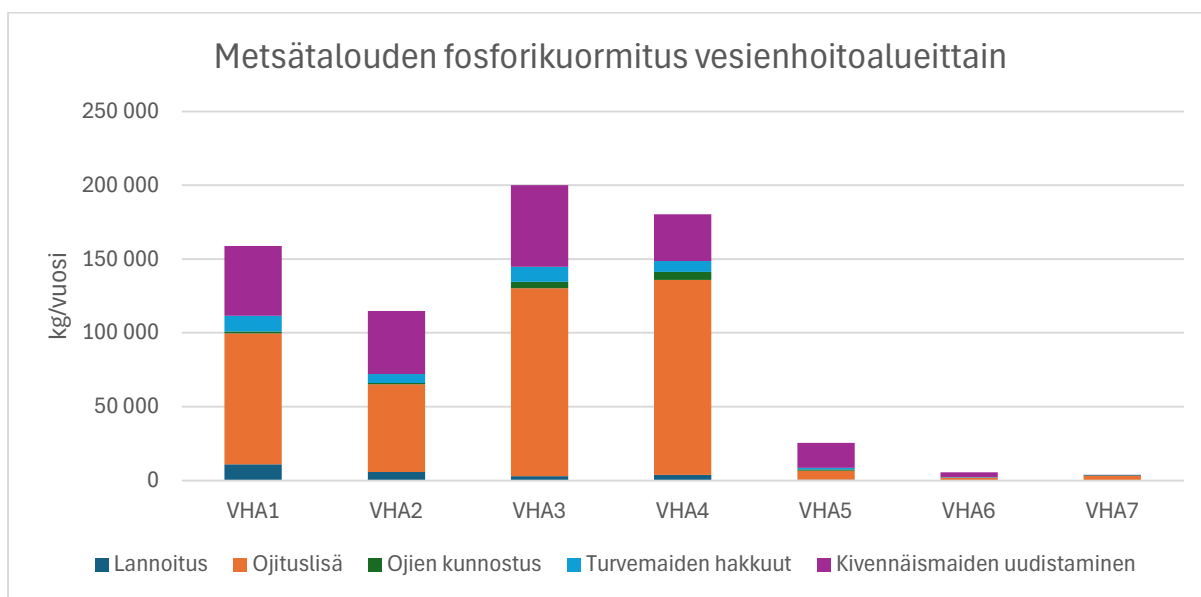
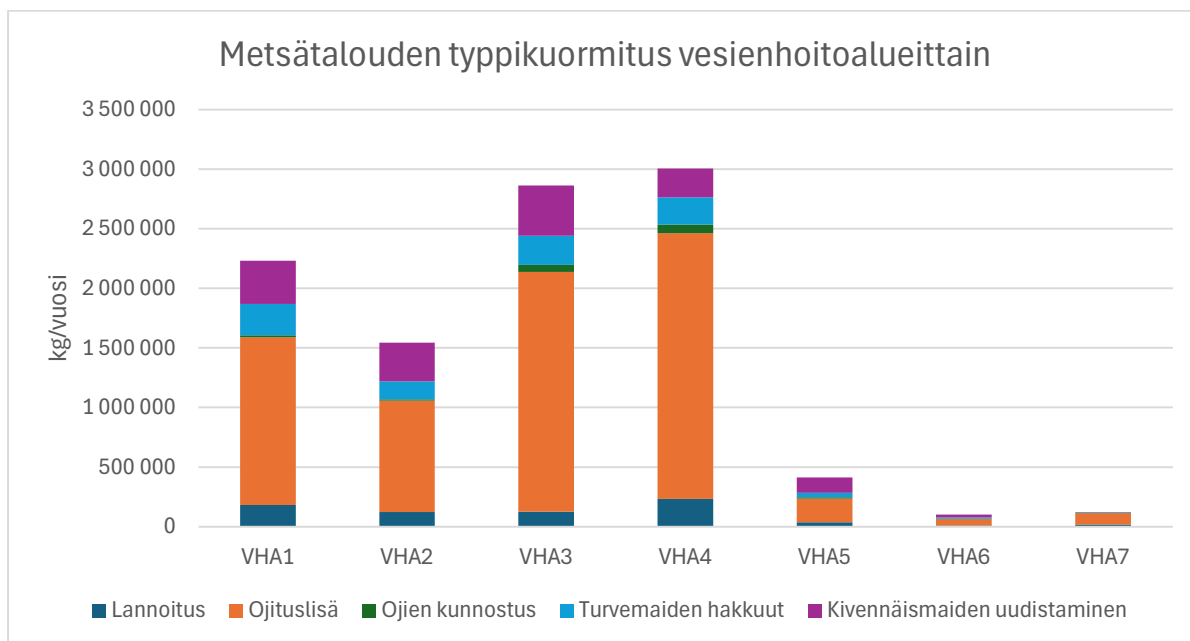
Kuva 5. Turvemaiden hakkuiden ja kangasmaiden metsänuudistamistoimenpiteiden fosforikuormitus 2020–2024 (pylväissä kumulatiiviset lukuarvot).



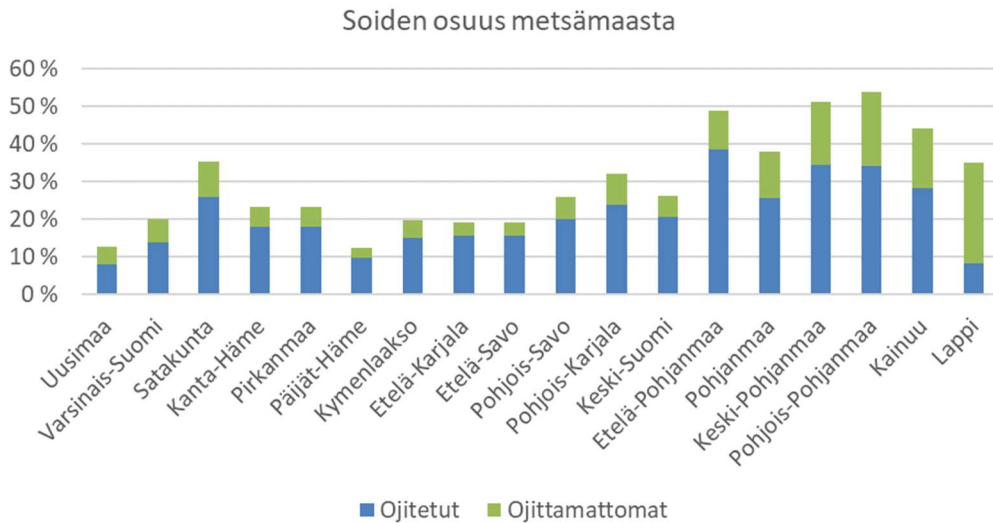
Kuva 6. Ojien kunnostuksen typen, fosforin ja kiintoaineen kuormat 2019–2023 (pylväissä kumulatiiviset lukuarvot).



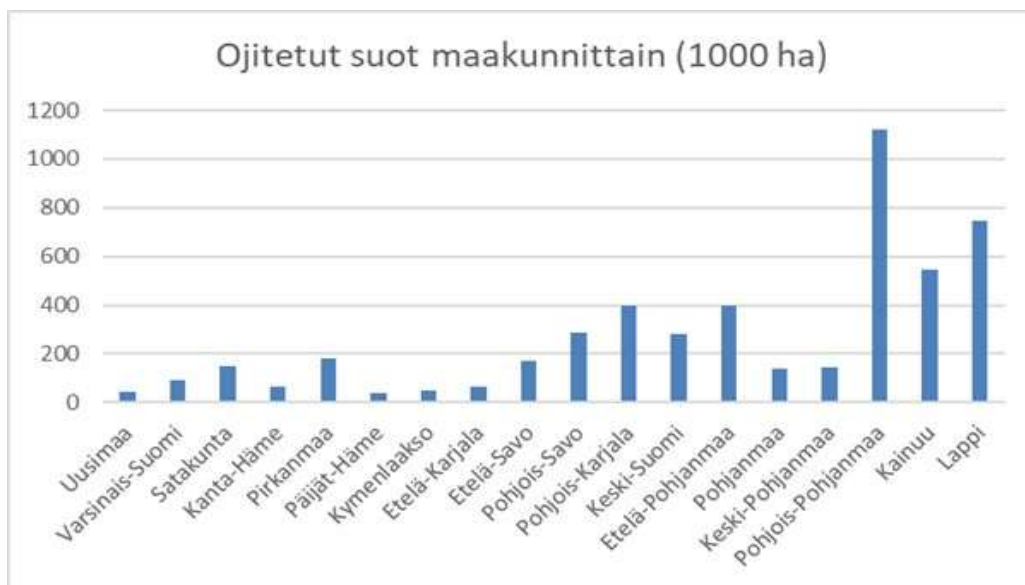
Kuva 7. Kasvatuslannoitusten aiheuttama vuotuinen typpikuormitus (2020–2024) (pylväissä kumulatiiviset lukuarvot).



Kuva 8. Metsätalouden keskimääräinen vuotuinen typpi- ja fosforikuormitus toimenpiteittäin vesienhoitoalueittain (nykytila). Pylväissä toimenpiteiden kumulatiiviset kuormat. Vuoksen vesienhoitoalue (VHA1), Kymijoen-Suomenlahden vesienhoitoalue (VHA2), Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalue (VHA3) Oulujoen-Iijoen vesienhoitoalue (VHA4), Kemijoen vesienhoitoalue (VHA5), Tornionjoen vesienhoitoalue (VHA6), Tenon-Näätäinjoen-Paatsjoen vesienhoitoalue (VHA7).



Kuva 9. Soiden osuus metsämaasta maakunnittain VMI13 (2019–2023) perusteella.



Kuva 10. Metsäojitettujen soiden pinta-ala maakunnittain VMI13 (2019–2023) perusteella.

Turvemaiden metsänkäsittelyn vaikutukset painottuvat alueille, joilla ojitetujen soiden osuus metsäpinta-alasta on suurin – erityisesti Itä-, Keski- ja Pohjois-Suomeen (Kuva 9). Maakunnista selkeimmin erottuu Pohjois-Pohjanmaa, jossa ojitettuja soita on määrällisesti eniten ja siten myös ojien kunnostuksen määrä on ollut suuri (ks. Kuva 6). Toisaalta vuotuinen ojien kunnostuspinta-ala on ollut laskussa jo parikymmentä vuotta ja erityisen jyrkästi toteutusala on vähentynyt vuodesta 2019 alkaen. Kiintoainekuormitusta lukuun ottamatta ojien kunnostuksen muut kuormitusvaikutukset alkavat olla jo vähäisiä verrattuna muihin metsätaloustoimenpiteisiin. Ojien kunnostuksen vaikutuksia ei tule sekoittaa ojituslisään, joka aiheutuu siitä, että kasvu- paikka on ylipäättään kuivattu ja alkuperäinen ojituslisän aiheuttaja on siten ensiojitus.

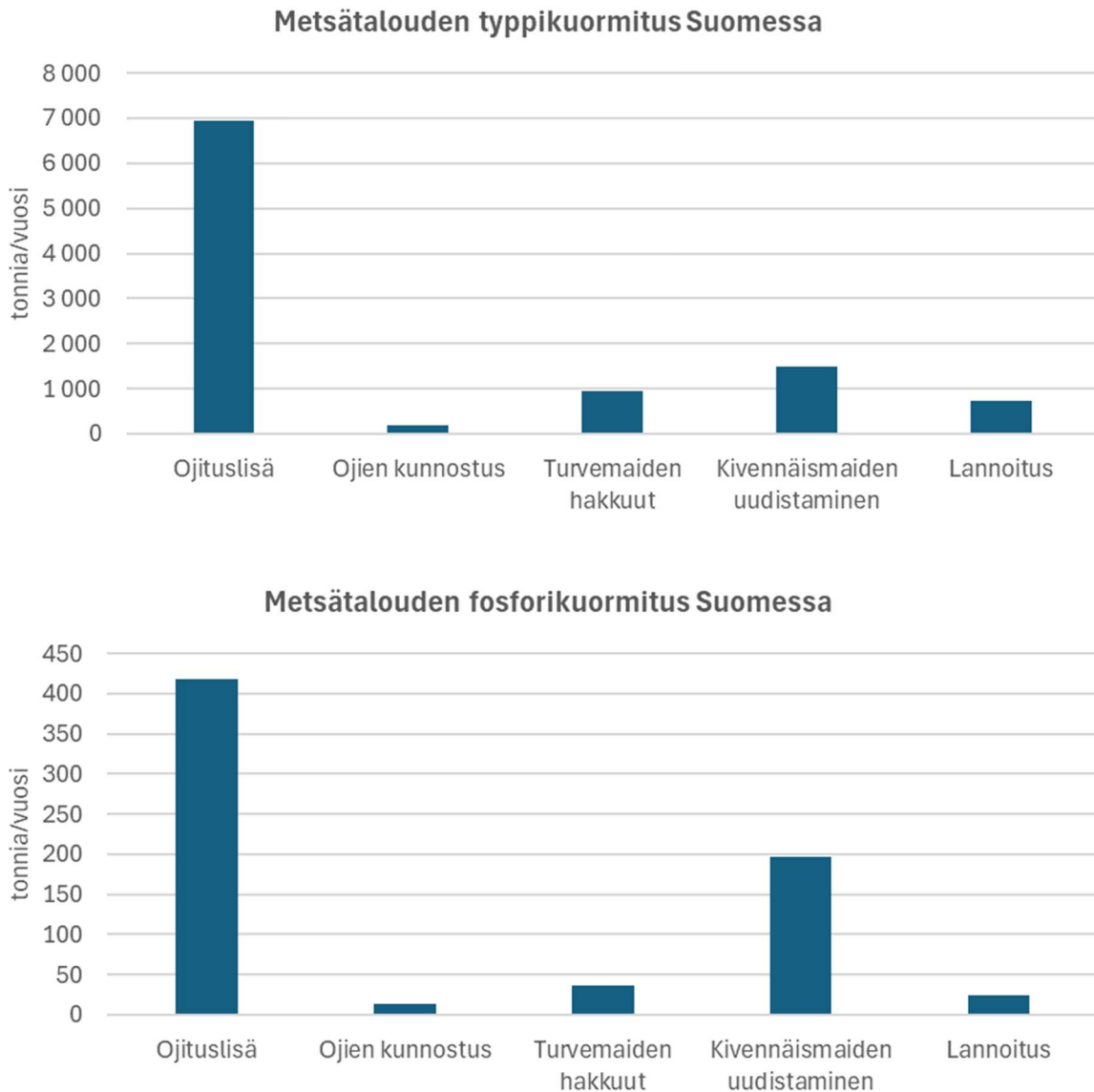
Kangasmaiden uudistushakkuiden vaikutukset jakautuvat alueellisesti tasaisemmin, mutta myös niiden osalta painopiste on keskisessä ja pohjoisessa Suomessa. Vesienhoitoalueittain tarkasteltuna metsätalouden kuormitus kohdistuu erityisesti vesienhoitoalueille 1–4, ja suurimmat kokonaiskuormitukset havaitaan alueilla 3 ja 4, joiden yhteenlasketut vuotuiset typen (5 800 t) ja fosforin kuormitukset (380 t) ovat yli puolet valtakunnallisista metsätalouden aiheuttamista typen ja fosforin kuormituksista (ks. Kuva 8).

Kaikkia tuloksia yhdistää ojituslisän merkittävä osuus metsätalouden kokonaiskuormituksesta. Ojituslisä dominoi metsätalouden aiheuttamaa kuormitusta lähes koko maassa, lukuun ottamatta eteläisimpiä maakuntia. Määrällisesti eniten ojituslisää syntyy Pohjois-Pohjanmaalta, missä myös ojitetuja soita on eniten (Kuva 10). Valtakunnallisesti (kuva 11) ojituslisän osuus metsätalouden aiheuttamasta kuormituksesta on noin 67 % typen ja 61 % fosforin osalta (ks. Taulukko 3). Nämä luvut ovat hieman suurempia kuin aiemmissa tutkimuksissa on raportoitu (Nieminen ym. 2020ab; Finér ym. 2021), mutta eri arviot ovat silti hämmästyttävän yhdenmukaisia ottaen huomioon, että näissä käytetyt laskentamenetelmät ja aineistot ovat erilaisia. Aiemmissä julkaisuissa esitetyt laskelmat on tuotettu ennustamalla kuormat suoraan aluetasolle tilastollisten mallien avulla, joissa selittäjinä ovat mm. lämpösumma ja ojitetun suon osuus laskenta-alueen pinta-alasta. Tässä työssä uutta aiemmin käytettyihin metsätalouden kuormituslaskentamenetelmiin (ks. Nieminen ym. 2020; Finér ym. 2021), verrattuna ovat uudet laskentamenetelmät erityisesti turvemaiden hakkuiden vaikutusten osalta sekä tarkemmat laskennan pohjana käytetyt paikkatietoaineistot.

Ojituslisän jälkeen toiseksi suurimman osuuden kokonaiskuormituksesta muodostaa kangasmaiden metsänuudistamisen aiheuttama kuormitus. Toistaiseksi vain Pohjois-Pohjanmaalla turvemaiden hakkuiden aiheuttama typpikuormitus ylittää kangasmaiden uudistushakkuiden aiheuttaman typpikuormituksen.

Taulukko 3. Valtakunnalliset metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamat keskimääräiset typen, fosforin ja kiintoaineen kuormat vuosittain nykyhetkellä (viiden viimeisen vuoden keskiarvo). Taulukossa mukana aiemmissa julkaisuissa esitetyt valtakunnalliset arviot metsätalouden aiheuttamille typpi- ja fosforikuormille.

Toimenpide	Typpikuorma (1000 kg/vuosi)	Fosforikuorma (1000 kg/vuosi)	Kiintoainekuorma (1000 kg/vuosi)
Kasvatuslannoitukset, kankaat	725	24	
Ojien kunnostus	179	13	26836
Hakkuut turvemailla	939	36	
Metsänuudistaminen, kankaat	1499	197	
Ojituslisä	6934	418	
Yhteensä	10275	688	26836
Nieminen ym. (2020a)	8500	590	
Finér ym. (2021)	7300	440	



Kuva 11. Valtakunnalliset lasketut metsätalouden toimenpiteiden aiheuttamat keskimääräiset typen ja fosforin kuormat vuosittain nykyhetkellä (viiden viimeisen vuoden keskiarvo).

4. Vesiensuojelumenetelmien tehokkuus

4.1. Vesistökuormituksen torjuntatavat

Uusi tutkimustieto on lisännyt ymmärrystä metsätalouden vaikutuksista vesistöihin sekä vesiensuojelumenetelmien toimivuudesta. Kokeista ja maastohavainnoista saatavan tiedon ohella, viime vuosina on kehitetty sekä prosessimalleja että kokeellisia malleja, joilla voidaan arvioida esimerkiksi metsänkäsittelytapojen, suojavyöhykkeiden ja ojien käsittelyn vaikutuksia

kuormitukseen (Laurén ym. 2021a, 2021b; Palviainen ym. 2024). Merkittävänä haasteena on kuitenkin tiedon hajanaisuus ja vesiensuojelumenetelmien vertailtavuuden puute, eikä esimerkiksi tiedetä riittävästi siitä, mitkä menetelmät ovat tehokkaimpia eri olosuhteissa.

Metsätalouden vesistökuormitusta voidaan torjua kahdella tavalla:

- 1) *Ennaltaehkäisy*: suunnittelemalla ja mitoittamalla toimenpiteet niin, että kuormitusta ei synny tai se jää vähäiseksi
- 2) *Jälkikäsittely*: pidättämällä ravinteet vesiensuojelurakenteilla ennen niiden päätymistä vesistöihin.

Tähän asti painopiste on ollut pitkälti vesien jälkikäsittelyssä. Toimeksiannon mukaisesti tarkastellaan seuraavassa vesiensuojelutoimenpiteiden mahdollisuuksia ja rajoitteita metsävaluma-alueilla vesiensuojelun tehokkuuden kannalta ts. kuormituksen jälkikäsittelyn näkökulmasta.

4.2. Kuormituksen vähentäminen vesiensuojeluratkaisuin

Suomen olosuhteissa vesiensuojeluratkaisujen teho on rajallinen, sillä suurin osa valunnasta ja ravinnekuormituksesta tapahtuu kasvukauden ulkopuolella – erityisesti talvisina sulamisjaksoina. Tällöin esimerkiksi biologiset puhdistusmenetelmät eivät toimi yhtä tehokkaasti. Lisäksi metsätalouden kuormitus koostuu suurelta osin liuenneista epäorgaanisista ja orgaanisista yhdisteistä, joiden pidättäminen on huomattavasti haastavampaa kuin kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden. Perinteiset vesiensuojelumenetelmät ovat kuitenkin keskittyneet pääasiassa juuri partikkelimuotoisen kuormituksen vähentämiseen.

Yleisimmät vesiensuojeluratkaisut, kuten laskeutusaltaat ja virtaamansäätöpadot, toimivat parhaiten eroosion ollessa hyvin suurta. Parhaimmillaan kiintoaineen, kokonaistypen ja fosforin pidätys on kokeellisissa tutkimuksissa ollut yli 50 % (Marttila & Kløve 2010). Keskimääräisillä kuormitustasoilla laskeutusaltaiden ja virtaamansäätöpadojen pidätysteho voi kuitenkin jäädä heikoksi (Nieminen ym. julkaisematon). Siten padotusratkaisuja olisi tarkoituksenmukaista käyttää kohdennetusti, esimerkiksi voimakkaasti syöpyvissä valtaojissa, eikä sitä olisi tarpeen tehdä rutiininomaisesti kaikilla ojitusalueilla. Myös padotuksen toteutustapaan ja mitoitukseen pitäisi kiinnittää huomiota. Edellä mainituista on kuitenkin vielä hyvin niukasti tutkittua tietoa.

Laskeutusaltaat ja muut laskeuttamiseen perustuvat menetelmät, kuten lietekuopat, ovat olleet valtavirtaa metsätalouden vesiensuojelussa jo pitkään ja niitä toteutetaan lähes rutiininomaisesti. Kiintoaineen pidätyksessä voidaan parhaimmillaan päästä yli 50 % pidätysehtoon suurissa altaissa (Nieminen ym. 2018bc, Miettinen ym. 2020). Toisaalta väärään paikkaan, kuten syöpy-misherkälle kohteelle sijoitettuna, allas voi myös lisätä kuormitusta (Joensuu 1999). Mallinnus-tarkastelussa altaisiin pidättyi keskimäärin vain noin 6 % kiintoaineksesta (Haahti ym. 2018). Liu-koisia ravinteita altaat pidättävät heikosti tai jopa ei lainkaan. Lietekuoppien tehosta ei ole

käytettävissä julkaistua kokeellista tutkimusta, mutta mallinuksissa niiden toimivuus on osoittautunut heikoksi (Haahti ym. 2018). Tämä johtuu siitä, että vaikka lietekuopat pidättävätkin kaivuaikaista ja heti sen jälkeen ojista huuhtoutuvaa ainesta, niiden sakkapesän tilavuus on pieni ja niitä ei yleensä tyhjennetä, ja lisäksi kuopista itsessään lähtee liikkeelle kiintoainesta minkä riski kasvaa entisestään, jos kuoppa ulottuu alapuoliseen kivennäismaahan. Mutta empiiristä tietoa tarvittaisiin näistä lisää, jotta niiden todelliset vaikutukset pystyttäisiin todentamaan ja siten myös käytännön suosituksia tarkentamaan. On kuitenkin hyvä myös huomioida, että lietekuopat eivät yleensä ole, eikä missään vaiheessa suositeltukaan käytettävän ainoana vesiensuojelumetelmänä.

Biologisen puhdistuksen tehostamista on viime vuosina kokeiltu lisäämällä puuainesta altaisiin ja ojiin, jolloin vedenalaisille pinnoille kehittyvä kasvusto sitoo ravinteita, ja osa ravinteista poistuu ravintoketjun kautta (esim. Vuori ym. 2021). Menetelmä toimii kuitenkin vain lämpiminä ja vähävetisinä jaksoina, ja niiden toiminnassa on merkittäviä haasteita suurimman ravinnekuormituksen aikaan syksyllä, talvella tai keväällä. Siksi on olemassa riski, että menetelmän vaikutus kokonaiskuormitukseen jää pieneksi. Tietoa näiden menetelmien pitkäaikaisvaikutuksista tarvittaisiin kuitenkin lisää ennen kuin voidaan antaa tarkempia arvioita menetelmien kokonaistehokkuudesta.

Myös ravinteita sitovia materiaaleja, kuten biohiili- ja hakesuodattimia, on testattu, mutta nekin näyttävät olevan tehokkaita lähinnä vain lämpimään aikaan, talvella rakenteet jäätyvät, ja kevät-tulvien aikaan ne eivät välttämättä toimi. Lisäksi huokoiset materiaalit tukkeutuvat helposti metsäkarikkeesta, kiintoaineesta ja humuksesta. Kenttäkokeissa näillä materiaaleilla ei ole saavutettu merkittävää hyötyä metsätalousalueilla, ja ne toimivat parhaiten vain korkeiden pitoisuuksien ja pienten virtaamien olosuhteissa, kuten pistekuormittajien tapauksessa (Karosto 2016; Mosquera ym. 2024). Biologisten puhdistusmenetelmien pitkäaikaisvaikutuksista tarvittaisiin kuitenkin lisää tutkimustietoa ennen kuin niiden todellista vaikutusta valumavesien laatuun voitaisiin luotettavasti määrittää.

Turpeen maatumisen heikentää vesiensuojeluratkaisujen tehoa turvemaametsissä. Alkuvaiheessa turveaines on karkeaa ja eroosiota kestävä, mutta maatumisen myötä siitä tulee hienojakoisempaa ja herkemmin huuhtoutuvaa (Tuukkanen ym. 2014). Nykyisillä ojitusalueilla turve on usein jo pitkälle maatunutta, mikä lisää eroosioriskiä paitsi ojituksessa myös kaivamiseen perustuvissa vesiensuojelumenetelmissä (laskeutusaltaat, lietekuopat). Lisäksi turvekerroksen ohentuminen kasvattaa riskiä, että kaivutyöt ulottuvat eroosioherkkään pohjamaahan, erityisesti ohutturpeisilla soilla (Nieminen ym. 2017b).

Mikäli kunnostusojitus katsotaan kohteella tarpeelliseksi toteuttaa, osana vesiensuojelun kokonaisratkaisua olisi tarkoituksenmukaista, että ojitustoimet ajoitettaisiin kuivaan aikaan ja toteuttaa valuma-alueen yläosista alaspäin, jolloin kuormitus voi pidäytyä alempiin, vielä perkaamattomiin ojiin. Kaivukatkojen jättäminen perattaviin ojiin on hyvin suositeltavaa ojaeroosion

vähentämisen kannalta (Haahti ym. 2018). Maanmuokkauksessa olisi tarpeen välttää uusien vesiuomien syntyä ja minimoida pintakasvillisuuden tuhoutuminen, sillä se suojaa maata eroosiolta ja sitoo ravinteita (Palviainen ym. 2014). Tämänhetkisen ymmärryksen perusteella keskeisiä vaikuttavimpia toimenpiteitä kunnostusojitusten kuormituksen vähentämiseksi olisi koittaa välttää ojien syventämistä erityisesti pohjamaalajitteiltaan hienojakoisilla mailla.

Laajat pintavalutuskosteikot, kuten luonnontilaiset suot, ovat kuormitusta hillitsevien toimien ohella nykykäsityksen mukaan tehokkain vesiensuojeluratkaisu metsätaloudessa. Pitkä veden viipymä laajoilla kosteikoilla mahdollistaa ravinteiden pidätyksen kasvillisuuteen ja turpeeseen. Pitkä veden viipymä mahdollistaa myös sen, että talvikaudella kosteikolle huuhtoutuneet ravinteet ovat kosteikolla edelleen, kun ravinteita pidättävät prosessit käynnistyvät lämpimään aikaan (Vuori ym. 2021).

Useimpien laskeutukseen perustuvien vesiensuojeluratkaisujen, kuten laskeutusaltaiden ja kaksitasouomien, veden viipymä on lyhyt, mikä rajoittaa niiden puhdistustehoa. Sen sijaan kosteikoihin tai pintavalutukseen perustuvilla menetelmillä veden viipymää voidaan lisätä merkittävästi. Jo varhaisimpien metsätalouden pintavalutuskenttiä koskevien tutkimusten perusteella on voitu päätellä, että tehokas typen ja fosforin pidätys edellyttää, että kentän pinta-ala on vähintään 1 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta (Silvan 2004, Väänänen 2008, Hynninen 2011). Nykykäsityksen mukaan kentän tulisi kuitenkin olla mieluiten huomattavasti suurempi – jopa useita prosenttiyksiköitä valuma-alueen pinta-alasta (Miettinen ym. 2012; Nieminen ym. 2025). Fosforiin verrattuna kosteikot pidättävät vähemmän esimerkiksi orgaanista hiiltä ja typpeä, joskus ne voivat jopa lisätä orgaanisen hiilen huuhtoutumista. Niiden käyttö olisikin vaikuttavinta tilanteissa, joissa valuma-alueelta huuhtoutuu paljon fosforia. Pienialainenkin kosteikko/pintavalutuskenttä sinänsä voi kyllä pidättää ravinteita, mutta verrattuna suurempiin kenttiin, riskinä ovat mm. oikovirtausten muodostuminen ja tulviminen ylivaluntatilanteissa mitkä vähentävät veden viipymää ja aineiden pidättymistä pintakasvillisuuteen ja maaperään. Pienialaiset voimakkaasti vettyneet kentät voivat alkuvaiheessa jopa lisätä nettokuormitusta (Nieminen ym. 2020c). Edellä mainittujen aiempien julkaisujen sekä myös Tapio Oy:n vetämän TurVI-hankkeen tulosten perusteella voidaan todeta, että ihanteellisin pintavalutuskenttä kuormituksen pidättymisen tehokkuuden ja kentän rakentamisen jälkiseurausten minimoinnin kannalta olisi suhteellisen suuri luonnontilainen tai luonnontilaisen kaltainen suoalue, jolle kentän perustaminen aiheuttaa vain vähän vettymistä seuraavia ekohydrologisia muutoksia, ja vesi levittyy kentälle mahdollisimman tasaisesti, jolloin kentän tehollinen pinta-ala on suuri ja veden viipymä pitkä. Luonnontilaisia tai ennallistettuja kosteikkoja voitaisiin käyttää nykyistä enemmän myös maa- ja metsätalouden vesiensuojelun yhteisratkaisuna (ns. integroidut vesiensuojeluratkaisut).

Viime vuosina vesien palautus ojitusten takia kuivahtaneille luonnontilaisille soille on saanut paljon huomiota. Paitsi että se parantaa suon luonnontilaa, vesien palautus myös luo soista vesiensuojelukosteikkoja ja voi siksi merkittävästi vähentää vesistökuormitusta kohdevaluma-alueelta.

Vesienpalautuksen kuormitusvaikutuksista ei ole olemassa kokeellista tutkimustietoa, mutta tämänhetkinen tietämys luonnontilaisista soista kuormituksen hillitsemisessä (esim. Sallantaus ym. 2022) tukee vahvasti vesienpalautuksen käyttöä myös vesiensuojelumenetelmänä. Tyypilliset vesienpalautuskohteet ovat myös usein taloudellisesti vähäarvoisia ja vaikka vesienpalautus lisää vedenpinnan nousun riskiä niiden viereisillä metsäalueilla, sen vaikutus kohteiden puuntuotokseen on todettu olevan vähäinen (Joensuu ym. 2024). Nämä tekijät vähentävät myös vesiensuojelun välillisiä kustannuksia.

Luonnontilaisten soiden määrä on vähentynyt ojitusten myötä, ja ojitettujen soiden ennallistamisen ts. vesitalouden ja kasvillisuuden palauttamisen luonnontilaisen kaltaiseksi on ajateltu tuottavan merkittäviäkin vesiensuojeluhyötyjä. Ennallistaminen voi kuitenkin aluksi lisätä kuormitusta (Vasander ym. 2003; Nieminen ym. 2020b). Fosforikuormitus voi kaiken kaikkiaan olla 1–3 kg/ha (ennallistamisen nettokuormitus sen vaikutusaikana), mutta suurempiakin kuormia on raportoitu varsinkin hyvin runsasravinteisten turvekankaiden ennallistamisissa (Koskinen ym. 2011, 2017). Kyseessä on kuitenkin kertaluonteinen kuormituksen kasvu ja pitemmällä aikavälillä ennallistaminen vähentää kuormitusta, erityisesti fosforikuormaa (Nieminen ym. 2020a; Miettinen ym. 2012). On kuitenkin huomattava, että tutkimustietoa ennallistamisen pitkäaikaisvaikutuksista on kuitenkin vielä hyvin niukasti. Vielä ei tiedetä tarkkaan mm. sitä kuinka kauan kuormituksen palautuminen luonnontilaisen suon kuormitustasolle kestää ja esiintyykö tässä kohdekohtaisia eroja. Parhaimmillaan ennallistamisen kuormitushyötyjä voidaan saavuttaa jo muutamassa vuodessa, kuten erityisesti niukkaravinteisilla kasvupaikoilla (Koskinen ym. 2017). Mutta tietoa näistä tarvittaisiin välttämättä lisää, jotta ennallistamistoimia voitaisiin kohdentaa vesien suojelun kannalta tarkoituksenmukaisella tavalla.

Kapean, tyypillisesti 10–15 m levyisen suojavyöhykkeen jättäminen vesistöjen varsille ei välttämättä vielä vähennä kuormitusta keskimäärin enempää kuin 10–15 % (Miettinen ym. 2012). Suojavyöhykkeen pidätyskyky ei suoraviivaisesti parane sen leveyden kasvaessa, vaan sen teho riippuu myös paikallisista olosuhteista, kuten maalajista (eroosioherkkyys), yläpuolisen maaston kaltevuudesta ja siitä onko tai muodostuuko suojavyöhykkeelle vettä helposti johtavia uomastoja (ks. Ring 2018). Kiintoaineen pidätys voi olla selvästi tehokkaampaa kuin liuenneiden ravinteiden (Shah ym. 2022). Suojavyöhykkeillä on kuitenkin tärkeä rooli luonnon monimuotoisuuden ylläpitämisessä sekä metsissä että pienvesistöissä (Mykrä ym. 2023), mikä tekee niiden jättämisestä perusteltua, vaikka niiden varsinainen vesiensuojelullinen merkitys olisikin pieni.

5. Johtopäätöksiä

Eri metsänkäsittelytoimenpiteitä tarkasteltaessa suurin vesistökuormitusvaikutus (typpi- ja fosfori) aiheutuu vanhojen ojitusten aiheuttamasta lisäkuormituksesta (ns. ojituslisä). Se on suurin yksittäinen metsätalouden kuormitustekijä muutamia kangasmaavaltaisimpia maakuntia lukuun ottamatta.

Toistaiseksi ei vielä tiedetä riittävästi, miten ojituslisään voitaisiin tehokkaasti vaikuttaa metsätaloudessa erityisesti lyhyellä aikavälillä tai kuinka suurta se tulisi olemaan tulevaisuudessa. Ilmastonmuutos voi johtaa turvemaiden kuivumisen ja turpeen hajotuksen lisääntymiseen mikä entistään lisäisi myös kuormitusta. Tämä korostaa lisätutkimuksen ja seurannan tarvetta. Toisaalta on myös hyvä huomioida, että ojituslisän muodostuminen on suurelta osin riippumatonta kohteella harjoitettavasta metsänkäsittelystä ja vaikkapa metsätalouden lopettaminen ei juurikaan vaikuttaisi ojituslisään pitkään aikaan. Yksi mahdollinen keino kuormituksen vähentämiseksi erityisesti tehokkaasti kuivatuilla alueilla on ojien patoaminen ts. ojasyvyyden madaltaminen pato-
ratkaisuin. Tällöin vedenpinta turvekerroksessa nousee, mikä voi hidastaa syvien turvekerrosten hajotusta, samalla kun puuston kasvu ja tuotos säilyvät edelleen hyvällä tasolla. Ojien kunnostuksen suunnittelussa ja toteutuksessa olisi kuitenkin aina tarkoituksenmukaista pyrkiä käsitte-
lyihin, joissa vedenpinta ei laskisi alemmaksi kuin mikä on tarpeen metsän kasvun kannalta.

Kokonaiskuormitusta voidaan myös tehokkaasti vähentää johtamalla vedet ojitusalueelta vesistöön laaja-alaisen kosteikon kautta, jolloin ravinteiden ja orgaanisen aineksen pidättyminen paranee. Ojitetun suon ennallistamisella voidaan päästä pitkällä aikavälillä tilanteeseen, että ojituslisä poistuu kokonaan. On kuitenkin hyvä huomioida, että ennallistamisen alkuvaiheessa kuormitus voi ainakin aluksi lisääntyä, riippuen kohteen ominaisuuksista ja siitä kuinka lähelle maanpintaa vedenpinnan taso nousee. Vaikka kohteen vettäminen onnistuisi hyvin, voi alustavien julkaisemattomien tulosten perusteella kestää vuosikymmeniä ennen kuin esimerkiksi fosforikuormitus laskee lähelle luonnontilaisen suon tasoa.

Suurimmat kuormituksen vähentämishyödyt ennallistamisessa arvioidaan saavutettavan kohteilla, jotka ovat suhteellisen laajoja, ja joissa vettäminen vaikutukset ekosysteemiin ovat maltillisia. Tällaisia ovat esimerkiksi tilanteet, joissa metsätalouden vedet johdetaan kuivahtaneelle, luonnontilaiselle suolle osana vesienpalautusta. Tällöin vesiensuojelu olisi myös hyvin kustannustehokasta samalla saavutettavien myönteisten monimuotoisuushyötyjen ja toisaalta usein vain vähäisten puuntuotantovaikutusten takia. Kosteikkojen perustamisen ja vesienpalautuksen rajoitteena vesiensuojelun kannalta kuitenkin on, että niitä voidaan käyttää vain osalla metsävaluma-alueista joko sopivien kohteiden puutteen tai maanomistuksellisten seikkojen takia.

Tässä työssä arvioidut kuormitusmäärät ovat jonkin verran suurempia kuin aiemmissa tutkimuksissa on esitetty (Nieminen ym. 2020a; Finér ym. 2021). Ero selittyy osin sillä, että tarkastelujakso kattaa vuodet, jolloin metsien käyttö on ollut laaja-alaisempaa kuin vuosina, jolloin aiempia tutkimuksia ja selvityksiä on tehty. Toisaalta on myös huomattava, että kuormitusarviot eivät ole merkittävästi suurempia kuin aiemmat luvut.

Kuormituslaskelmiin liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka johtuvat muun muassa tausta-aineistojen laadusta ja käytetyistä laskentamenetelmistä. Esimerkiksi tiedot kangasmaiden hakkuiden vaikutuksista pohjautuvat yli 20 vuotta vanhaan tietoon hakkuiden ominaiskuormituksista ja kasvatuslannoitusten kuormitusta on viimeksi tutkittu 1990-luvun puolivälissä. Menetelmät

perustuvat sekä kokeelliseen tutkimukseen että teoreettiseen mallinnukseen. Tästä huolimatta tuloksia voidaan pitää realistisina, ja ne ovat hyvin linjassa aiempien arvioiden kanssa. Tässä työssä hyödynnettiin myös aiempaa tarkempaa tausta-aineistoa, esimerkiksi hakkuiden osalta.

On kuitenkin otettava huomioon, että kaikkia kuormitustekijöitä ei ole voitu sisällyttää tarkasteluun. Tietoa puuttuu edelleen esimerkiksi kangasmaiden harvennusten, kangasmailla tehtyjen ojitusten sekä turvemaiden tehtyjen maanmuokkausten vaikutuksista kuormitukseen. Toisaalta käytettävissä oleva tieto osalta toimenpiteistä, kuten kangasmaiden hakkuiden vaikutuksista, perustuu jo vanhempaan tutkimustietoon ja kaikkien nykykäytänteiden vaikutusta hakkuiden aiheuttaman kuormituksen määrään ei ollut mahdollista ottaa tässä huomioon. On kuitenkin huomioitava, että kangasmaiden hakkuiden ominaiskuormituslukujen tausta-aineistot (ks. Finér ym. 2010) sisältävät samantyyppisiä maanmuokkauksittelyjä kuin nykyisin käytössä olevat (mm. äestys, mätästys, naveromätästys) ja hyvin voimakkaita maanpinnan käsittelyjä tai esimerkiksi merkittäviä eroosioriskikohteita ei niihin muutoinkaan sisälly.

Metsätalouden vesiensuojelua on pyritty tehostamaan monin eri menetelmin, erityisesti maanrakennukseen perustuvilla ratkaisuilla. Vaikka nämä menetelmät ovat tärkeä osa kokonaisuutta, ne eivät yksin ole riittäneet vähentämään vesistökuormitusta kaikilla alueilla, vaikka ovatkin voineet osaltaan hillitä kuormituksen kasvua. Kuitenkin tietyissä metsätalouden kuormittamissa vesistöissä esimerkiksi typpihuuhtoumat ovat edelleen lisääntyneet (Räike ym. 2020), ja vesistöjen tummumista on havaittu (Härkönen ym. 2023).

Monista metsätalouden vesiensuojeluratkaisuista on edelleen saatavilla valitettavan vähän tutkimustietoa. Erityisesti padottamisen ja vedenpinnan säätelyn vaikutuksista turpeen hajotukseen sekä siitä johtuviin vesistö- ja ilmastopäästöihin tarvittaisiin lisää tutkimusta. Sama koskee vesiensuojelukosteikkojen ja pintavalutuskenttien tehokkuutta ja mitoitus. Lisätietoa kaivataan myös uusista vesiensuojelumenetelmistä, jotka ovat vielä pääosin pilottivaiheessa. Käytännön vesiensuojelutyöhön tarvittaisiin myös aivan uusia, tehokkaita ratkaisuja. Ilmastonmuutoksen ennakoidaan lisäävän vesistökuormitusta maa-alueilta mikä aiheuttaa myös haasteita ja toisaalta myös painetta maankäytön toimenpiteiden aiheuttaman kuormituksen vähentämiseksi. Kangasmailla olisi syytä kehittää lannoitteita, jotka ovat nykyisiä ammoniumnitraattipohjaisia vaihtoehtoja vähemmän huuhtoutumisherkkiä. Lisäksi luonnontilaisten ja ennallistettujen kosteikkojen käyttäminen maa- ja metsätalouden yhteisinä vesiensuojeluratkaisuina tuottaisi synergiahyötyjä vesiensuojelun pidätys- ja kustannustehokkuuden näkökulmasta (Nieminen ym. 2025).

Kuormituksen synnyn ehkäisemiseen tähtäviä menetelmiä tarvittaisiin käytännön vesiensuojeluratkaisujen ohella, mikäli haluttaisiin päästä merkittävään kuormitustason laskuun metsätaloudessa. Tällaisia ovat turvemaiden kuivatustoimien keventämisen ohella mm. uusien metsänkäsittelytapojen, kuten erityisesti jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen lisääminen (Nieminen ym. 2023, 2024, Sarkkola ym. 2025). Jatkuvapeitteiseen metsänkasvatukseen tähtäävien osittaishakuiden tehtävien jälkeen vedenpinta ei nouse niin ylös kuin uudistushakkuun jälkeen, jolloin

ravinteita lähtee liikkeelle vähemmän. Toisaalta osittaishakkuissa ei myöskään aina tarvita vesitalouden järjestelytoimia, kuten ojien perkausta, joista aiheutuisi kuormitusriskiä. Jatkuvapeitteisen kasvatuksen pitkän ajan vaikutukset perustuvat kuitenkin toistaiseksi pitkälti mallinnuksiin, joihin liittyy epävarmuuksia, ja pitkäaikaisiin kenttäkokeisiin perustuvaa empiiristä tietoa tarvittaisiin enemmän.

Tämänhetkinen vesiensuojelun taso ei ole nykytiedon perusteella vielä riittävä vesien laadun merkittäväksi parantamiseksi tulevaisuudessa. Ensimmäinen tärkeä askel kuormituksen vähentämisessä olisi, että varmistettaisiin nykyisten suositusten parempi toteutuminen käytännössä ja vältettäisiin kaavamaisuutta, toisin sanoen käytettäisiin parhaita tiedossa olevia kullekin kohteelle soveltuvia menetelmiä, jotka suunnitellaan ja toteutetaan laadukkaasti. Seuraava askel voisi olla vesiensuojelumenetelmien nykyistä laajempi soveltaminen metsätalouden toimenpiteiden yhteydessä. Tällä hetkellä vesiensuojelutoimia käytetään pääasiassa vain kunnostusojitusten kuormituksen vähentämiseen. Tärkeänä osana tätä olisi huomioida kunkin kohteen kuormitusta ja kuormitusriskiä aiheuttavat ominaispiirteet sekä yläpuolisen valuma-alueen laajuus ja ominaisuudet.

Lähteet:

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 s.

Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1999. Long-Term Effects of Forestry Managements on Water Quality and Loading in Brooks. *Boreal Environment Research* 4:101-114.

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 ym. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020. MetsäVesi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6

Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Härkönen, L., Huttunen, M., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tattari, S. & Ukonmaanaho, L. 2021.

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

Fleming, V., Berninger, K., Aikola, T., Huttunen, M., Iho, A., Kuosa, H., Niskanen, L., Piiparinen, J., Räike, A., Salo, M., Sarkkola, S., & Valve, H. 2023. Rannikkovesien ravinteiden kuormituskatot ja kuormituksen vähentämisen keinoja: Loppuraportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:45. Valtioneuvoston kanslia. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-325-8>

Haahti K, Nieminen M, Finér L, Marttila H, Kokkonen T, Leinonen A, Koivusalo H. 2018. Model-based evaluation of sediment control in a drained peatland forest after ditch network maintenance. *Canadian Journal of Forest Research* 48: 130–140. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0269>

Hynninen, A. 2011. Use of wetland buffer areas to reduce nitrogen transport from forested catchments: Retention capacity, emissions of N₂O and CH₄ and vegetation composition dynamics. *Dissertationes Forestales* 129. 53 s. <https://www.dissertationesforestales.fi/pdf/1916>

Härkönen, L. H., Lepistö, A., Sarkkola, S., Kortelainen, P., Räike, A. 2023. Reviewing peatland forestry: Implications and mitigation measures for freshwater ecosystem browning. *Forest ecology and management* 531: 120776 . <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120776>

Hökkä H., Laurén A., Stenberg L., Launiainen S., Leppä K., Nieminen M. 2021. Defining guidelines for ditch depth in drained Scots pine dominated peatland forests. *Silva Fennica* vol. 55 no. 3 article id 10494. <https://doi.org/10.14214/sf.10494>

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal Environment Research* 4: 343–355.

Joensuu, S., Kauppila, M., Hyvärinen, A., Virta, M., Pänkäläinen, M., Sarkkola, S., Jämsén, J. 2024. Vesienpalautuksen vaikutukset talousmetsien hiilensidontaan, Tapion julkaisu, 31 s.

Kaila, A., Sarkkola, S., Laurén, A., Ukonmaanaho, L., Koivusalo, H., Xiao, L., O’Driscoll, C., Asam, Z., Tervahauta, A. & Nieminen, M. 2014. Phosphorus export from drained Scots pine mires after clear-felling and bioenergy harvesting. *Forest Ecology and Management* 325: 99–107.

Karosto, K. (toim.). 2016. Biosuodattimet metsätalouden vesiensuojelussa. Mikkelin ammattikorkeakoulu, D: Vapaamuotoisia julkaisuja 85, 79 s. ISBN: 978-951-588-580-7 (PDF)

Koskinen M, Sallantausta T, Vasander H. 2011. Post-restoration development of organic carbon and nutrient leaching from two ecohydrologically different peatland sites. *Ecological Engineering* 37: 1008-1016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.036>

Koskinen, M., Tahvanainen, T., Sarkkola, S., Walle-Menberu, M., Laurén, A., Sallantausta, T., Marttila, H., Ronkanen, A-K., Parviainen, M., Tolvanen, A., Koivusalo, H. & Nieminen, M. 2017. Restoration

of nutrient-rich forestry-drained peatlands poses a risk for high exports of dissolved organic carbon, nitrogen, and phosphorus. *Science of the Total Environment* 586: 858-869.

Laurén, A., Palviainen, M., Launiainen, S., Leppä, K., Stenberg, L., Urzainki, I., Nieminen, M., Laiho, R., Hökkä, H. 2021a. Drainage and stand growth response in peatland forests - Description, testing, and application of mechanistic peatland simulator SUSI. *Forests* 12: 293, p 23. <https://doi.org/10.3390/f12030293>

Laurén A, Palviainen M., Laiho R., Leppä K., Launiainen S., Hökkä H., Nieminen M., Urzainki I., Stenberg L. 2021b. Suosimulaattori (SUSI) – uusi mekanistinen simulointimalli suometsien hoidon suunnitteluun. *Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2021 artikkeli 10575*. <https://doi.org/10.14214/ma.10575>

Marttila, H. & Kløve, B. 2010b. Managing runoff, water quality and erosion in peatland forestry by peak runoff control. *Ecological Engineering* 36: 900–911. doi:10.1016/j.ecoleng.2010.04.002.

Marttila, H., Karjalainen, S.-M., Kuoppala, M., Nieminen, M.L., Ronkanen, A.-K., Kløve B. & Hellsten, S. 2018. Elevated nutrient concentrations in headwaters affected by drained peatland. *Science of the Total Environment* 643: 1304–1313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.278>.

Mattsson, T, Finér, L., Kortelainen, P. & Sallantausta, T. 2003. Brookwater quality and background leaching from unmanaged forested catchments in Finland. *Water, Air, and Soil Pollution* 147: 275–297. <https://doi.org/10.1023/A:1024525328220>.

Miettinen, J., Ollikainen, M., Finer, L., Koivusalo, H., Lauren, A., & Valsta, L. 2012. The optimal rotation age and buffer zone size. *Forest Science*, 58(4), 342-352. <https://doi.org/10.5849/for-sci.10-070>

Mosquera, V., Gundale, M. J., Palviainen, M., Laurén, A., Laudon, H., & Maher Hasselquist, E. (2024). Biochar as a potential tool to mitigate nutrient exports from managed boreal forest: A laboratory and field experiment. *Global change biology. Bioenergy*, 16(3), Article e13131. <https://doi.org/10.1111/gcbb.13131>

Miettinen, J., Ollikainen, M., Nieminen, M., Valsta, L. 2020. Cost function approach to water protection in forestry. *Water Resources and Economics* 31: 100150. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2019.100150>.

Mykrä, H., Annala, M., Hilli, A., Hotanen, J-P., Hokajärvi, R., Jokikokko, P., Karttunen, K., Kesälä, M., Kuoppala, M., Leinonen, A., Marttila, H., Meriö, L-J., Piirainen, S., Porvari, P., Salmivaara, A. & Vaso, A. 2023. GIS-based planning of buffer zones for protection of boreal streams and their riparian forests. *Forest Ecology and Management* 528: 120639. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120639>.

Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. *Boreal Environment Research* 8: 53-59.

Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M., Sarkkola, S. 2017a. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609: 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>.

Nieminen, M., Sarkkola, S. & Laurén, A. 2017b. Impacts of forest harvesting on nutrient, sediment and dissolved organic carbon exports from drained peatlands: A literature review, synthesis and suggestions for the future. *Forest Ecology and Management* 392: 13-20.

Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantausta, T. & Lepistö, A. 2018a. Increasing and decreasing nitrogen and phosphorus trends in runoff from drained peatland forests – Is there a legacy effect of drainage or not? *Water, Air, and Soil Pollution* 229(8). doi: 10.1007/s11270-018-3945-4

Nieminen, M., Palviainen, M., Sarkkola, S., Laurén, A., Marttila, H. & Finér, L. 2018b. A synthesis of the impacts of ditch network maintenance on the quantity and quality of runoff from drained boreal peatland forests. *Ambio* 47: 523–534. doi: 10.1007/s13280-017-0966-y.

Nieminen, M., Piirainen, S., Sikström, U., Löfgren, S., Marttila, H., Sarkkola, S., Laurén, A. & Finér, L. 2018c. Ditch network maintenance in peat-dominated boreal forests: Review and analysis of water quality management options. *Ambio* 47: 535–545. doi: 10.1007/s13280-018-1047-6

Nieminen, M., Sarkkola, S., Haahti, K., Sallantausta, T., Koskinen, M., Ojanen, P. 2020a. Metsäojitetujen soiden tyyppi- ja fosforikuormitus Suomessa. *Suo* 71(1): 1–13.

Nieminen, M., Launiainen, S., Ojanen, P., Sarkkola, S. & Laurén A. 2020b. Metsätalouden vesistökuormitus: nykykäsitys ja tulevaisuuden menetelmäkehitys. *Metsätieteen aikakauskirja* 2020–10336. Katsaus. 9 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10336>

Nieminen, M., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tervahauta, A., Saarimaa, M., Sallantausta, T. 2020c. 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., Hasselquist, E. M., Mosquera, V., Ukonmaanaho, L., Sallantausta, T., Sarkkola, S. 2022. Post-drainage stand growth and peat mineralization impair water quality from forested peatlands. *J Environ Qual.* 51(6):1211-1221. doi: 10.1002/jeq2.20412.

Nieminen M., Pukkala T., Stenberg L., Sarkkola S., Vihonen A., Valkeapää A. 2023. Jatkuvan kasvatuksen ja tasaikäismetsätalouden vaikutus metsäisten valuma-alueiden vesistökuormitukseen

Suomessa. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2023 artikkeli 22001.
<https://doi.org/10.14214/ma.22001>

Nieminen M., Stenberg L., Leppä K., Lohila A., Minkkinen K., Ojanen P., Korkiakoski M., Penttilä T. & Sarkkola S. 2024. Effect of partial harvesting on exports of dissolved organic carbon and nutrients from drained boreal pine mires. *Boreal Env. Res.* 29: 65–76.

Nieminen, M., Ahtikoski, A., Järvenranta, K., Lehtonen, E., Lemola, R., Liimatainen, M., Lipponen, A., Lötjönen, T., Niemi, M., Piirainen, S., Rätty, M., Salmivaara, A., Stenberg, L., Uusitalo, R., Uusi-Kämppe, J., Virkajärvi, P. & Sarkkola, S. 2025. Kustannustehokasta ja toimivaa vesiensuojelua – yhteistoimin kuormituksen vähentämiseen maa- ja metsätaloudessa (Vesipolku). Loppuraportti. Luonnonvarakeskus. https://mmm.fi/documents/1410837/95452615/VESIPOLKU_loppuraportti.pdf/d8a7f421-4b42-8a23-7169-418e2f471384/VESIPOLKU_loppuraportti.pdf?t=1742306077377

Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Launiainen, S., Piirainen, S., Mattsson, T. & Starr, M. 2014. Nitrogen, phosphorus, carbon, and suspended solids loads from forest clear-cutting and site preparation: long-term paired catchment studies from Eastern Finland. *Ambio* 43:218–233. doi 10.1007/s13280-013-0439-x.

Palviainen, M., Pumpanen, J., Mosquera, V., Maher Hasselquist, E., Laudon, H., Ostonen, I., Kull, A., Renou Wilson, F., Peltomaa, E., Könönen, M., Launiainen, S., Peltola, H., Oja-la, A. & Laurén, A. 2024. Extending the SUSI peatland simulator to include dissolved organic carbon formation, transport and biodegradation - Proper water management reduces lateral carbon fluxes and improves carbon balance. *Science of the Total Environment* 950, 175173. DOI:10.1016/j.scitotenv.2024.175173

Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M., Nieminen, M. 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287: 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.014>.

Ring, E., Widenfalk, O., Jansson, G., Holmström, H., Högbom, L., & Sonesson, J. 2018. Riparian forests along small streams on managed forest land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33: 133-146.

Räike, A., Taskinen, A. & Knuuttila, S. 2020. Nutrient export from Finnish rivers into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures. *Ambio* 19: 460-472. doi:10.1007/s13280-019-01217-7.

Räike, A., Taskinen, A., Härkönen, L.H., Kortelainen, P., Lepistö, A. 2024. Browning from headwaters to coastal areas in the boreal region: Trends and drivers. *Science of The Total Environment* 927: 171959. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171959>.

Sarkkola, S., Nieminen, M., Laudon, H., Clarke, N., Hasselquist, E.M. 2025. Water Quality. Teoksessa: Rautio, P., Routa, J., Huuskonen, S., Holmström, E., Cedergren, J., Kuehne, C. (toim.) Continuous Cover Forestry in Boreal Nordic Countries. Managing Forest Ecosystems, vol 45. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70484-0_14

Shah, N. W., Baillie, B.R., Bishop, K., Ferraz, S., Högbom, L., Nettles, J. 2022. The effects of forest management on water quality. Forest Ecology and Management 522: 120397. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120397>.

Silvan, N. 2004. Nutrient retention in a restored peatland buffer. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, metsäekologian laitos. ISBN: 952-10-1973-5. <http://hdl.handle.net/10138/20632>. 51 s.

Škerlep, M. 2021. Changing land cover as a driver of surface water browning. Academic Dissertation. Lund University. 65 s.

Tuukkanen, T., Marttila, H. & Kløve, B. 2014. Effect of soil properties on peat erosion and suspended sediment delivery in peat extraction sites. Water Resources Research 50: 3523–3535. doi:10.1002/2013WR015206.

Vasander, H., Tuittila, ES., Lode, E. ym. 2003. Status and restoration of peatlands in northern Europe. Wetlands Ecology and Management 11: 51–63. <https://doi.org/10.1023/A:1022061622602>

Vuori, K-M., Leppänen, M., Koljonen, S., Jämsén, J., Vaso, A., Keskinen, E., Hämäläinen, H., Nieminen, M., Huotari, E. & Soimasuo, J. 2021. Puupohjaisilla uusilla materiaaleilla tehoa metsätalouden vesiensuojeluun ja vesistökunnostuksiin PuuMaVesi-hankkeen loppuraportti.

Väänänen R. 2008. Phosphorus retention in forest soils and the functioning of buffer zones used in forestry. <https://doi.org/10.14214/df.60>

Yhteystiedot:

Sakari Sarkkola
Erikoistutkija
Luonnonvarakeskus (Luke)
Latokartanonkaari 5
00790 Helsinki
p. 029 532 5409
email: sakari.sarkkola@luke.fi

Leena Stenberg
Tutkija
Luonnonvarakeskus (Luke)
Latokartanonkaari 5
00790 Helsinki
p. 029 532 2212
email: [leena.stenberg @luke.fi](mailto:leena.stenberg@luke.fi)

Mika Nieminen
Johtava tutkija
Luonnonvarakeskus (Luke)
Latokartanonkaari 5
00790 Helsinki
p. 029 532 22399
email: [mika.nieminen @luke.fi](mailto:mika.nieminen@luke.fi)

Liite A: Metsätalouden typpikuormitus

Taulukko A1. Metsätalouden typpikuormitus (t/a) keskimäärin maakunnittain.

	Lannoitus	Ojitus-lisä	Ojien kun-nostus	Turve-maiden hakkuut	Kiven-näismai-den uu-distami-nen	Kiven-näis-maat, yht.	Turve-maat, yht.	Kaikki, yht.
Uusimaa	4,0	81,4	0,0	15,5	51,0	54,9	96,8	151,8
Varsinais-Suomi	8,8	168,4	2,6	18,4	54,8	63,6	189,5	253,0
Satakunta	14,5	266,5	9,9	35,1	53,3	67,8	311,4	379,2
Kanta-Häme	13,3	117,2	0,0	23,8	39,9	53,2	141,0	194,1
Pirkanmaa	43,6	316,9	3,6	45,4	107,4	151,0	365,9	516,9
Päijät-Häme	10,7	72,5	0,1	16,7	47,8	58,5	89,2	147,7
Kymenlaakso	12,7	92,0	1,5	16,4	34,0	46,7	109,8	156,6
Etelä-Karjala	10,4	122,7	0,8	25,2	49,1	59,5	148,7	208,2
Etelä-Savo	37,0	310,0	1,7	59,5	117,1	154,0	371,1	525,2
Pohjois-Savo	63,9	477,6	12,0	89,9	138,0	201,9	579,5	781,3
Pohjois-Karjala	91,3	670,2	6,3	126,7	128,9	220,2	803,2	1 023,4
Keski-Suomi	72,1	470,8	6,3	62,2	122,2	194,3	539,4	733,7
Etelä-Pohjanmaa	21,0	665,2	16,3	65,6	77,8	98,8	747,2	846,0
Pohjanmaa	1,7	236,3	16,4	25,5	49,7	51,4	278,2	329,6
Keski-Pohjanmaa	15,0	215,5	9,0	24,3	24,0	39,0	248,9	287,9
Pohjois-Pohjanmaa	131,8	1 538,6	62,9	157,7	151,7	283,5	1 759,2	2 042,7
Kainuu	107,3	745,9	12,0	77,3	83,5	190,8	835,2	1 026,1
Lappi	65,8	366,7	17,4	53,4	168,6	234,4	437,5	671,9
YHTEENSÄ	724,8	6 934,4	178,7	938,6	1 498,5	2 223,3	8 051,7	10 275,0

Taulukko A2. Kivennäismaiden kasvatuslannoitusten aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
Uusimaa	4,7	6,6	1,4	0,4	6,8
Varsinais-Suomi	11,7	18,5	11,7	0,1	1,9
Satakunta	17,8	20,2	22,0	7,1	5,5
Kanta-Häme	18,8	19,0	13,9	5,4	9,3
Pirkanmaa	55,8	66,4	61,1	7,2	27,4
Päijät-Häme	16,8	15,8	14,3	3,5	3,0
Kymenlaakso	7,4	27,6	10,7	13,2	4,7
Etelä-Karjala	13,8	12,9	15,9	2,2	7,1
Etelä-Savo	41,0	58,9	46,1	6,7	32,1
Pohjois-Savo	75,6	58,7	92,7	23,9	68,5
Pohjois-Karjala	74,4	87,8	132,8	38,9	122,7
Keski-Suomi	76,7	104,7	102,0	20,0	57,0
Etelä-Pohjanmaa	21,7	36,7	20,4	3,7	22,7
Pohjanmaa	0,5	4,7	1,8	0,1	1,4
Keski-Pohjanmaa	13,9	17,1	21,5	10,8	12,0
Pohjois-Pohjanmaa	133,7	132,1	161,4	106,0	125,7
Kainuu	81,8	82,6	159,5	55,0	157,9
Lappi	20,6	40,9	92,7	28,2	146,5

Taulukko A3. Ojien kunnostuksen aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
Uusimaa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Varsinais-Suomi	9,8	0,9	1,7	0,8	0,0
Satakunta	40,3	1,4	1,7	3,3	2,6
Kanta-Häme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pirkanmaa	7,1	5,3	3,3	1,7	0,4
Päijät-Häme	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
Kymenlaakso	3,4	1,2	1,1	0,6	1,0
Etelä-Karjala	2,2	0,1	0,9	0,1	0,4
Etelä-Savo	5,8	1,0	1,0	0,4	0,3
Pohjois-Savo	24,0	9,6	7,7	12,0	6,7
Pohjois-Karjala	13,1	6,0	3,9	4,1	4,4
Keski-Suomi	14,5	5,0	4,5	4,6	3,1
Etelä-Pohjanmaa	20,7	15,3	13,8	9,5	22,4
Pohjanmaa	37,8	16,1	11,4	9,0	7,9
Keski-Pohjanmaa	19,2	12,7	4,4	3,7	5,0
Pohjois-Pohjanmaa	145,8	72,3	34,9	35,2	26,3
Kainuu	25,9	11,5	9,9	8,3	4,3
Lappi	55,8	12,9	7,9	6,1	4,1

Taulukko A4. Turvemaiden hakkuiden aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
Uusimaa	12,7	17,2	18,5	14,7	14,4
Varsinais-Suomi	16,6	22,3	19,1	15,1	19,1
Satakunta	27,5	37,6	37,0	33,9	39,4
Kanta-Häme	21,6	23,7	28,3	18,5	26,8
Pirkanmaa	35,7	51,4	44,2	42,2	53,5
Päijät-Häme	16,8	23,4	17,4	11,9	13,8
Kymenlaakso	15,2	18,5	15,0	15,3	18,0
Etelä-Karjala	21,1	25,3	30,2	20,2	29,1
Etelä-Savo	51,1	67,5	65,6	50,9	62,2
Pohjois-Savo	80,6	95,4	87,6	86,1	99,8
Pohjois-Karjala	99,3	127,7	128,7	126,9	150,8
Keski-Suomi	54,6	66,6	65,8	54,5	69,4
Etelä-Pohjanmaa	52,9	71,9	68,9	59,6	74,8
Pohjanmaa	17,1	28,4	26,3	27,4	28,3
Keski-Pohjanmaa	17,8	23,4	24,4	24,1	31,9
Pohjois-Pohjanmaa	126,4	152,8	154,3	165,3	189,8
Kainuu	64,9	69,6	81,0	83,9	87,3
Lappi	48,7	53,9	45,1	55,6	63,5

Taulukko A5. Kivennäismaiden uudistamisen aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
Uusimaa	45,2	51,2	50,6	52,3	55,6
Varsinais-Suomi	43,6	60,7	51,5	53,8	64,3
Satakunta	44,6	59,3	46,1	53,1	63,1
Kanta-Häme	35,8	40,3	35,5	40,2	47,6
Pirkanmaa	86,8	114,6	98,0	104,9	132,6
Päijät-Häme	36,4	53,9	43,9	47,2	57,7
Kymenlaakso	29,1	35,4	32,5	32,5	40,4
Etelä-Karjala	39,5	48,2	54,9	46,3	56,6
Etelä-Savo	103,1	120,5	118,4	104,7	138,6
Pohjois-Savo	113,3	142,4	133,2	133,0	168,2
Pohjois-Karjala	101,8	130,1	123,2	132,5	156,9
Keski-Suomi	109,1	127,0	116,9	111,4	146,7
Etelä-Pohjanmaa	63,9	94,2	62,3	67,3	101,1
Pohjanmaa	43,1	61,3	41,1	47,9	54,9
Keski-Pohjanmaa	19,6	29,5	20,3	21,4	28,9
Pohjois-Pohjanmaa	136,5	155,0	128,7	144,3	194,0
Kainuu	76,6	85,6	77,5	77,2	100,3
Lappi	157,3	182,3	146,2	164,1	193,0

Taulukko A6. Metsätalouden typpikuormitus (t/a) keskimäärin vesienhoitoalueittain (VHA1-VHA7).

	Lannoitus	Ojitus-lisä	Ojien kunnostus	Turvemaiden hakkuut	Kivennäismaiden uudistaminen	Kivennäismaat, yht.	Turvemaat, yht.	Kaikki, yht.
VHA1	181,6	1 406,8	18,5	263,5	360,6	542,2	1 688,8	2 231,0
VHA2	123,0	934,8	11,6	150,2	323,4	446,4	1 096,6	1 542,9
VHA3	124,2	2 014,8	58,3	244,5	421,1	545,3	2 317,5	2 862,8
VHA4	233,4	2 228,8	73,8	228,8	240,0	473,4	2 531,4	3 004,9
VHA5	35,9	200,8	9,5	37,0	129,2	165,1	247,4	412,5
VHA6	9,6	53,6	2,5	11,8	23,6	33,2	67,9	101,2
VHA7	17,0	94,8	4,5	0,3	0,7	17,7	99,5	117,2
YHTEENSÄ	724,8	6 934,4	178,7	936,0	1 498,6	2 223,4	8 049,1	10 272,5

Taulukko A7. Kivennäismaiden kasvatuslannoitusten aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
VHA1	177,4	190,4	259,1	68,4	212,9
VHA2	134,3	181,3	160,1	43,7	95,5
VHA3	146,3	191,2	161,5	36,5	85,4
VHA4	209,0	209,2	312,9	157,0	279,0
VHA5	11,3	22,4	50,6	15,5	79,9
VHA6	3,0	6,0	13,6	4,1	21,4
VHA7	5,3	10,6	23,9	7,3	37,9

Taulukko A8. Ojien kunnostuksen aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
VHA1	40,1	15,5	12,1	14,3	10,5
VHA2	26,2	9,5	8,1	8,1	5,9
VHA3	136,1	51,8	36,6	28,4	38,6
VHA4	170,2	82,4	44,0	42,6	30,0
VHA5	30,5	7,1	4,3	3,4	2,3
VHA6	8,2	1,9	1,2	0,9	0,6
VHA7	14,4	3,3	2,0	1,6	1,1

Taulukko A9. Turvemaiden hakkuiden aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
VHA1	219,2	272,8	272,0	251,7	301,7
VHA2	133,5	168,5	158,3	131,0	159,8
VHA3	194,1	265,9	255,6	227,5	279,3
VHA4	186,0	216,8	227,5	243,1	270,5
VHA5	35,9	38,0	31,2	39,5	40,5
VHA6	8,8	11,5	9,8	11,0	17,6
VHA7	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2

Taulukko A10. Kivennäismaiden uudistamisen aiheuttama typpikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
VHA1	297,2	365,7	355,0	350,2	434,9
VHA2	278,3	337,8	312,8	305,6	382,3
VHA3	350,3	474,1	371,1	400,6	509,6
VHA4	214,5	253,2	207,7	226,2	298,5
VHA5	118,8	134,6	114,5	128,3	149,8
VHA6	25,1	25,0	19,3	22,8	25,8
VHA7	1,1	1,3	0,6	0,4	0,0

Liite B. Metsätalouden fosforikuormitus

Taulukko B1. Metsätalouden fosforikuormitus (t/a) keskimäärin maakunnittain.

	Lan- noi- tus	Ojitus- lisä	Ojien kunnos- tus	Turvemai- den hak- kuut	Kiven- näismai- den uu- distami- nen	Kiven- näis- maat, yht.	Turve- maat, yht.	Kaikki, yht.
Uusimaa	0,1	5,3	0,0	0,7	6,7	6,7	6,1	12,8
Varsinais-Suomi	0,1	11,0	0,2	0,8	7,2	7,2	12,1	19,4
Satakunta	0,3	17,1	0,7	1,5	7,0	7,0	19,6	26,6
Kanta-Häme	0,4	7,6	0,0	1,2	5,3	5,3	9,1	14,4
Pirkanmaa	0,4	20,1	0,3	2,0	14,1	14,1	22,8	36,9
Päijät-Häme	0,1	4,7	0,0	0,8	6,3	6,3	5,6	11,9
Kymenlaakso	0,1	6,0	0,1	0,7	4,5	4,5	6,9	11,4
Etelä-Karjala	0,2	7,9	0,1	1,2	6,5	6,5	9,4	15,8
Etelä-Savo	2,1	19,9	0,1	2,4	15,4	15,4	24,5	39,9
Pohjois-Savo	8,7	30,0	0,9	3,5	18,2	18,2	43,1	61,3
Pohjois-Karjala	2,7	42,1	0,5	5,0	17,0	17,0	50,2	67,2
Keski-Suomi	2,9	29,6	0,5	2,4	16,1	16,1	35,3	51,4
Etelä-Pohjanmaa	0,9	41,8	1,2	2,5	10,2	10,2	46,4	56,7
Pohjanmaa	0,2	14,8	1,2	1,1	6,5	6,5	17,2	23,8
Keski-Pohjanmaa	0,4	13,1	0,7	0,8	3,2	3,2	15,0	18,1
Pohjois-Pohjanmaa	3,1	91,5	4,5	5,2	20,0	20,0	104,3	124,3
Kainuu	0,8	44,4	0,9	2,5	11,0	11,0	48,6	59,5
Lappi	0,7	11,3	1,3	1,6	22,2	22,2	14,9	37,1
YHTEENSÄ	24,1	418,3	12,9	35,9	197,3	197,3	491,1	688,5

Taulukko B2. Turvemaiden terveyslannoitusten aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
Uusimaa	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Varsinais-Suomi	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3
Satakunta	0,1	0,3	0,4	0,2	0,3
Kanta-Häme	0,5	0,3	0,2	0,5	0,3
Pirkanmaa	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6
Päijät-Häme	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Kymenlaakso	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0
Etelä-Karjala	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1
Etelä-Savo	2,3	3,9	2,2	0,9	1,1
Pohjois-Savo	8,3	12,6	7,9	8,6	6,5
Pohjois-Karjala	0,7	2,3	2,9	4,6	3,0
Keski-Suomi	2,5	4,3	3,5	2,2	1,9
Etelä-Pohjanmaa	0,6	0,8	1,2	1,3	0,9
Pohjanmaa	0,2	0,2	0,1	0,0	0,3
Keski-Pohjanmaa	0,4	0,2	0,3	0,4	0,6
Pohjois-Pohjanmaa	2,2	2,5	3,2	4,4	3,0
Kainuu	0,5	0,7	0,4	0,9	1,6
Lappi	0,0	0,7	0,4	1,2	1,3

Taulukko B3. Ojien kunnostuksen aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
Uusimaa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Varsinais-Suomi	0,7	0,1	0,1	0,1	0,0
Satakunta	2,9	0,1	0,1	0,2	0,2
Kanta-Häme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pirkanmaa	0,5	0,4	0,2	0,1	0,0
Päijät-Häme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kymenlaakso	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1
Etelä-Karjala	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0
Etelä-Savo	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
Pohjois-Savo	1,7	0,7	0,6	0,9	0,5
Pohjois-Karjala	0,9	0,4	0,3	0,3	0,3
Keski-Suomi	1,0	0,4	0,3	0,3	0,2
Etelä-Pohjanmaa	1,5	1,1	1,0	0,7	1,6
Pohjanmaa	2,7	1,2	0,8	0,6	0,6
Keski-Pohjanmaa	1,4	0,9	0,3	0,3	0,4
Pohjois-Pohjanmaa	10,5	5,2	2,5	2,5	1,9
Kainuu	1,9	0,8	0,7	0,6	0,3
Lappi	4,0	0,9	0,6	0,4	0,3

Taulukko B4. Turvemaiden hakkuiden aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
Uusimaa	0,6	0,8	0,9	0,7	0,7
Varsinais-Suomi	0,7	1,0	0,8	0,7	0,9
Satakunta	1,1	1,6	1,6	1,5	1,7
Kanta-Häme	1,0	1,2	1,4	0,9	1,4
Pirkanmaa	1,5	2,3	2,0	1,8	2,6
Päijät-Häme	0,7	1,1	0,9	0,5	0,7
Kymenlaakso	0,6	0,8	0,7	0,7	0,9
Etelä-Karjala	0,9	1,1	1,5	0,9	1,5
Etelä-Savo	2,0	2,7	2,7	2,0	2,7
Pohjois-Savo	3,0	3,8	3,4	3,3	4,1
Pohjois-Karjala	3,7	5,0	5,0	4,9	6,2
Keski-Suomi	2,0	2,6	2,5	2,0	2,8
Etelä-Pohjanmaa	1,9	2,9	2,6	2,2	3,0
Pohjanmaa	0,7	1,2	1,1	1,1	1,2
Keski-Pohjanmaa	0,6	0,8	0,8	0,8	1,1
Pohjois-Pohjanmaa	4,0	5,0	5,0	5,4	6,4
Kainuu	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
Lappi	1,4	1,6	1,3	1,6	1,9

Taulukko B5. Kivennäismaiden uudistamisen aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
Uusimaa	5,9	6,7	6,7	6,9	7,3
Varsinais-Suomi	5,7	8,0	6,8	7,1	8,5
Satakunta	5,9	7,8	6,1	7,0	8,3
Kanta-Häme	4,7	5,3	4,7	5,3	6,3
Pirkanmaa	11,4	15,1	12,9	13,8	17,5
Päijät-Häme	4,8	7,1	5,8	6,2	7,6
Kymenlaakso	3,8	4,7	4,3	4,3	5,3
Etelä-Karjala	5,2	6,4	7,2	6,1	7,5
Etelä-Savo	13,6	15,9	15,6	13,8	18,3
Pohjois-Savo	14,9	18,7	17,5	17,5	22,1
Pohjois-Karjala	13,4	17,1	16,2	17,5	20,7
Keski-Suomi	14,4	16,7	15,4	14,7	19,3
Etelä-Pohjanmaa	8,4	12,4	8,2	8,9	13,3
Pohjanmaa	5,7	8,1	5,4	6,3	7,2
Keski-Pohjanmaa	2,6	3,9	2,7	2,8	3,8
Pohjois-Pohjanmaa	18,0	20,4	17,0	19,0	25,5
Kainuu	10,1	11,3	10,2	10,2	13,2
Lappi	20,7	24,0	19,3	21,6	25,4

Taulukko B6. Metsätalouden fosforikuormitus (t/a) keskimäärin vesienhoitoalueittain (VHA1-VHA7).

	Lannoitus	Ojitus-lisä	Ojien kunnostus	Turvemaiden hakkuut	Kivennäismaiden uudistaminen	Kivennäismaat, yht.	Turve-maat, yht.	Kaikki, yht.
VHA1	11,0	88,7	1,3	10,5	47,5	58,5	100,5	158,9
VHA2	5,7	59,4	0,8	6,2	42,6	48,2	66,5	114,7
VHA3	3,0	127,3	4,2	10,2	55,5	58,4	141,7	200,1
VHA4	3,8	132,1	5,3	7,4	31,6	35,4	144,8	180,2
VHA5	0,4	6,2	0,7	1,1	17,0	17,4	8,0	25,4
VHA6	0,1	1,7	0,2	0,3	3,1	3,2	2,2	5,4
VHA7	0,2	2,9	0,3	0,0	0,1	0,3	3,3	3,5
YHTEENSÄ	24,1	418,3	12,9	35,8	197,3	221,5	466,9	688,4

Taulukko B7. Turvemaiden terveyslannoituksen aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
VHA1	8,7	15,0	10,4	11,8	8,9
VHA2	5,1	8,6	5,9	4,7	4,0
VHA3	2,4	2,8	3,1	3,0	3,4
VHA4	2,5	3,2	3,6	5,2	4,5
VHA5	0,0	0,4	0,2	0,7	0,7
VHA6	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
VHA7	0,0	0,2	0,1	0,3	0,3

Taulukko B8. Ojien kunnostuksen aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2019	2020	2021	2022	2023
VHA1	2,9	1,1	0,9	1,0	0,8
VHA2	1,9	0,7	0,6	0,6	0,4
VHA3	9,8	3,7	2,6	2,0	2,8
VHA4	12,3	5,9	3,2	3,1	2,2
VHA5	2,2	0,5	0,3	0,2	0,2
VHA6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,0
VHA7	1,0	0,2	0,1	0,1	0,1

Taulukko B9. Turvemaiden hakkuiden aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
VHA1	8,2	10,8	11,0	9,8	12,6
VHA2	5,2	7,0	6,7	5,3	6,9
VHA3	7,6	11,3	10,6	9,3	12,1
VHA4	5,8	7,0	7,3	7,8	9,2
VHA5	1,0	1,1	0,9	1,2	1,2
VHA6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5
VHA7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Taulukko B10. Kivennäismaiden uudistamisen aiheuttama fosforikuormitus (t/a).

	2020	2021	2022	2023	2024
VHA1	39,1	48,2	46,7	46,1	57,3
VHA2	36,7	44,5	41,2	40,2	50,3
VHA3	46,1	62,4	48,9	52,8	67,1
VHA4	28,2	33,3	27,3	29,8	39,3
VHA5	15,6	17,7	15,1	16,9	19,7
VHA6	3,3	3,3	2,5	3,0	3,4
VHA7	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0

Liite C: Ojien kunnostuksen aiheuttama kiintoainekuormitus

Taulukko C1. Ojien kunnostuksen aiheuttama kiintoainekuormitus (t/a) maakunnittain.

	2019	2020	2021	2022	2023
Uusimaa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Varsinais-Suomi	1 479,0	127,9	250,2	116,8	0,0
Satakunta	6 043,7	216,8	250,2	500,4	394,8
Kanta-Häme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pirkanmaa	1 067,5	800,6	494,8	255,8	66,7
Päijät-Häme	0,0	0,0	38,9	0,0	0,0
Kymenlaakso	511,5	183,5	161,2	89,0	144,6
Etelä-Karjala	333,6	22,2	139,0	16,7	61,2
Etelä-Savo	872,9	155,7	144,6	55,6	38,9
Pohjois-Savo	3 608,4	1 440,0	1 156,5	1 795,9	1 011,9
Pohjois-Karjala	1 968,2	906,3	583,8	611,6	656,1
Keski-Suomi	2 179,5	745,0	672,8	695,0	467,0
Etelä-Pohjanmaa	3 108,0	2 296,3	2 073,9	1 423,4	3 369,4
Pohjanmaa	5 682,3	2 413,0	1 712,5	1 351,1	1 189,8
Keski-Pohjanmaa	2 885,6	1 912,6	667,2	550,4	756,2
Pohjois-Pohjanmaa	21 895,3	10 853,1	5 243,1	5 282,0	3 942,0
Kainuu	3 892,0	1 729,2	1 490,1	1 239,9	645,0
Lappi	8 384,5	1 934,9	1 184,3	917,4	622,7

Taulukko C2. Ojien kunnostuksen aiheuttama kiintoainekuormitus (t/a) vesienhoitoalueittain (VHA1-VHA7).

	2019	2020	2021	2022	2023
VHA1	6 014,8	2 324,2	1 819,2	2 151,2	1 583,2
VHA2	3 930,2	1 420,9	1 221,0	1 216,7	889,8
VHA3	20 438,4	7 773,3	5 493,3	4 269,3	5 791,6
VHA4	25 553,8	12 374,2	6 601,5	6 389,0	4 507,6
VHA5	4 581,9	1 061,6	648,8	503,5	342,0
VHA6	1 226,6	283,1	173,2	134,2	91,1
VHA7	2 166,5	500,0	306,0	237,1	160,9