

LOPPURAPORTTI

Kustannustehokasta ja toimivaa vesiensuojelua – yhteistoimin kuormituksen vähentämiseen maa- ja metsätaloudessa (*Vesipolku*)

(Hankkeen kesto 01.02.2024-30.11.2024)

Mika Nieminen, Anssi Ahtikoski, Kirsi Järvenranta, Eeva Lehtonen, Riitta Lemola, Maarit Liimatainen, Annukka Lipponen, Timo Lötjönen, Mikko Niemi, Sirpa Piirainen, Mari Räty, Aura Salmivaara, Leena Stenberg, Risto Uusitalo, Jaana Uusi-Kämpä, Perttu Virkajärvi & Sakari Sarkkola

Sisällys

1. Hankkeen esittely

- 1.1. Perustiedot hankkeesta ... 3
- 1.2. Hankkeen taustaa ... 3
- 1.3. Hankkeen tavoitteet ... 4
- 1.4. Yhteenveto hankkeesta ... 5

2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi ... 6

- 2.1. Menetelmät ja aineisto ... 6
 - 2.1.1. Tutkimuksen toteutuksen periaatteet 6
 - 2.1.2. Kosteikkojen sijoittaminen ja tehokkuus pilottivaluma-alueilla ... 6
 - 2.1.3. Viljelymenetelmän tai metsänkäsittelymenetelmän vaikutus kuormitukseen ...10
 - 2.1.4. Talouslaskenta ... 11
 - 2.1.4.1 Maatalous ...11
 - 2.1.4.2 Metsätalous ...11
 - 2.1.4.3 Maa- ja metsätalouden kosteikot ...12
- 2.2. Aikataulu ja resurssit ...13
- 2.3. Raportointi, julkaisut ja seuranta ...13
- 2.4. Toteutusvaiheen arviointi ...13

3. Tulokset ja niiden arviointi ...14

- 3.1. Kuormituksen vähentäminen maatalousmaalta ... 14
- 3.2. Kuormituksen vähentäminen metsätalousmaalta ... 17
- 3.3. Kuormituksen vähentäminen maa- ja metsätaloudesta kosteikkojen avulla ... 18
- 3.4. Kuormituksen vähentämisen kustannukset ja kustannusvaikutukset ... 18
 - 3.4.1. Maatalous – toimenpiteiden kustannuslaskelmia ... 18
 - 3.4.2. Maa- ja metsätalouden kosteikot ... 21
 - 3.4.3. Metsätalous ... 24
 - 3.4.4. Yhteenveto kustannusvaikutuksista ... 25
- 3.5. Epävarmuustarkastelu ... 26
- 3.6. Uusien kannustinjärjestelmien ominaisuudet ja niihin liittyvät haasteet ... 27
 - 3.6.1 Kosteikot ... 27
 - 3.6.2 Maa- ja metsätalouden toimenpiteet ... 28
- 3.7. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet ... 29

Kirjallisuutta ... 30

Liitteet ... 34

1. Hankkeen esittely

1.1. Perustiedot hankkeesta

Kustannustehokasta ja toimivaa vesiensuojelua – yhteistoimin kuormituksen vähentämiseen maa- ja metsätaloudessa (Vesipolku).

Hankkeen toteutusaika: 01.02.2024-30.11.2024

Hankkeen toteuttaja: Luonnonvarakeskus (Luke)

1.2 Hankkeen taustaa

Maa- ja metsätalous aiheuttaa mittavia muutoksia vesistöissä. Niistä näkyvimpiä ovat rehevöityminen, samentuminen ja veden tummuminen. Muutokset vaikuttavat paitsi vedenlaatuun ja vesimääriin, myös vesistöjen eliölajistoon.

Maa- ja metsätalouden vaikutuksia vesistöjen tilaan on pyritty ehkäisemään monin tavoin. On esimerkiksi perustettu suojavaohykkeitä vesistöjen varsille, padottu ojia ja kaivettu laskeutusaltaita ja lietekuoppia, ennallistettu soita sekä perustettu vesiensuojelukosteikoita. Tästä huolimatta maa- ja metsätalouden vaikutukset jokien ja järvien ekologiseen tilaan ja vedenlaatuun ovat edelleen voimakkaita. Maa- ja metsätalouden kuormitusseurannoissa ei ole näkynyt valtakunnallisesti yhtenäistä paranemista vesien tilassa (Vilmi ym. 2021). Metsäojitusten eniten kuormittavissa vesistöissä on jopa nähtävissä, että esimerkiksi typpikuormat edelleen kasvavat (Räike ym. 2019).

Tulokset tähänastisista vesien laadun seurannoista viittaavat siihen, että vesiensuojelutoimet ovat olleet riittämättömiä maa- ja metsätalouden aiheuttamaan ongelmaan nähden. Toisaalta vesiekosysteemit ovat myös hyvin puskuroituja ja muutoksen näkyminen vesistöissä vie aikaa. Se, että yksittäisissä kohteissa ekologinen tila on parantunut, kertoo siitä, että vesien tilaan on mahdollista vaikuttaa. Viimeaikaisten tutkimusten perusteella maa- ja metsätaloudessa onkin monia mahdollisuuksia parantaa merkittävästi vesien tilaa.

Siitä huolimatta, että peltokohtaiset lannoitemäärät ovat viime vuosikymmeninä vähentyneet merkittävästi, ainoa joka paikkaan sovellettavissa oleva tapa vähentää vesistöjen fosforikuormitusta maatalousmaalta on edelleenkin lannoitteissa (väkilannoitteet ja karjanlanta) annettavan fosforin määrän sääntely. Aluetasolla tarkasteltuna fosforilannoitusmäärät ovat vielä osassa Suomea tarpeettoman suuria, kun taas osassa maata fosforia voitaisiin käyttää nykytasoa enemmän satomäärien varmistamiseksi (Lemola ym. 2023). Epätasapainon syynä on kotieläintalouden, lähinnä sika- ja siipikarja- ja turkistalouden alueellinen keskittyminen ja lannan ravinteiden jääminen pääosin kotieläintilojen peltoihin.

Muiden vesiensuojelukeinojen tehokkuus riippuu siitä, millaisia maaperiä ja millaisen topografian peltoja tarkastellaan. Fosforikuormitusta voidaan vähentää esimerkiksi parantamalla maan rakennetta kipsin, rakennekalkin tai maanparannuskuidun avulla, joiden teho on suurin savimaiden käsittelyssä (Ajosenpää 2021). Talviaikainen kasvipeitteellisyys vähentää pelloilta poistuvaa ravinnekuormaa erityisesti kaltevilla peltolohkoilla, mutta vaikutus on vähäinen tasaisilla pelloilla, joilla eroosio on lähtökohtaisesti vähäistä (Uusitalo ym., 2018).

Turpepelloilla ja happamilla sulfaattimailla sekä kasvihuonekaasupäästöjä että vesistökuormitusta voidaan vähentää tehokkaimmin vaikuttamalla veden pinnan tasoon säätösalojituksen avulla. Nautakarjatiloiilla karjanlannan huolellinen käsittely on avainasemassa. Lietteen syyslevityksestä luopuminen (ts. levitys viimeisen

sadonkorjuun jälkeen) ja myöhäisen laidunnuksen välttäminen ovat varteenotettavia keinoja, samoin kaiken pistekuormituksen — jaloittelutarhat, hulevedet, vuotavat säiliöt, pilaantuvat rehupaalit ym. - estäminen.

Metsätaloudessa ylivoimaisesti tehokkain menetelmä jo liikkeelle lähteneen kuormituksen vähentämiseen on vesien johtaminen vesiensuojelukosteikkoon, kuten luonnontilaiselle suolle (Nieminen ym. 2024). Myös ennallistettuja soita voidaan käyttää vesiensuojelukosteikkoina, vaikka ennallistaminen voikin alkuvaiheessa pikemminkin lisätä kuin vähentää vesistökuormitusta. Virtaavan veden syövyttämässä ojissa kuormitusta voidaan vähentää hyvin tehokkaasti myös nk. virtaamansäätöpatojen avulla (Marttila ja Kløve 2010). Jatkuvapeitteisellä kasvatuksella eli avohakkuiden välttämällä voidaan vähentää kuormituksen syntyä erityisesti kangasmetsistä (Nieminen ym. 2023).

Tehokkaiden vesiensuojeluratkaisujen puute ei ole suurin ongelma vesiensuojelun tehostamisessa, vaan kyse on enemmänkin siitä, että tehokkaimpia menetelmiä ei ole yleisessä käytössä, tai ne kohdentuvat siten, että hyödyt jäävät toteutumatta. Suurimpana syynä tähän lienee se, että maa- ja metsänomistajilla ei ole taloudellisia kannusteita vesiensuojelun tehostamiseen, tai ympäristötuettuja toimia kohdistetaan sinne, missä niistä ei ole suurtakaan hyötyä ympäristön kannalta. Tähän asti sekä maa- että metsätalouden kannustinjärjestelmissä periaate on ollut, että maanomistajalle vesiensuojelusta koituvat kustannukset korvataan, mutta varsinaista taloudellista kannustinta vesiensuojelun tehostamiseen ei ole ollut tarjolla, eikä toimia välttämättä valita tarkoituksenmukaisesti pellon tai metsän ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi kaltevuudeltaan tasaisille, pienen eroosioriskin pelloille on tähän mennessä saanut yhtä suuren korvauksen eroosiota vähentävien toimien tekemisestä kuin hyvin kalteville, eroosioherkille pelloille. Vesiensuojelun esteenä on ollut myös maa- ja metsätalouden vesienhallinnan eriytyneisyys sekä toimenpiteiden että rahoituskanavien osalta. Ei ole myöskään ollut yksiselitteisesti tiedossa, missä vesiensuojelua tulisi tehostaa ja millä keinoin niin, että se olisi mahdollisimman tehokasta. Vesiensuojeluratkaisut tulisikin suunnitella peltolohko- tai metsikkökuviokohtaisesti huomioon ottaen valuma-alueen ominaisuudet ja erityispiirteet.

Vesistökuormituksen vähentämisellä tuotetaan ympäristöhyötyjä. Teoreettisella tasolla ympäristöhyötyjen tuottaminen kytkeytyy ajatukseen, jossa luonto rinnastetaan pääomalajiksi (*natural capital*) – inhimillisen (*human capital*) ja tuotetun pääoman (*produced capital*) rinnalle (Dasgupta 2021). Rinnastamalla luonto yhdeksi pääomalajiksi tehdään samalla ero tuotteiden ja palveluiden markkinahintojen (*market prices*) ja varjohintojen (*shadow or accounting prices*) eli todellisten hintojen välille (Dasgupta 2021). Todelliset hinnat sisältävät myös ulkoisvaikutukset kuten vesistökuormituksen ja -vaikutukset. On siksi ensiarvoisen tärkeää, että maa- ja metsätalouden tukijärjestelmät rakentuvat siten, että tukien määräytymisperusteet pohjautuvat todellisiin hintoihin eivätkä pelkästään markkinahintoihin. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kannustinjärjestelmän tulisi ohjata maankäyttöä niin, että se mahdollistaa resurssien tehokkaan allokaation ja samalla ottaa huomioon toiminnan (tai toimimattomuuden) tuottamat markkinattomat ympäristöhyödyt ja -haitat.

Teknisesti kannustinjärjestelmä voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla, jotka voivat johtaa erilaisiin lopputulemiin (esim. Yu ym. 2021). Tämä korostaa kannustinjärjestelmän tavoitteiden merkitystä: tavoitellaanko toimintaan osallistuvien maanomistajien parempaa taloudellista toimintaympäristöä ja tulosta vai ympäristöhyötyjä yhteiskunnalle, vai molempia? Tukijärjestelmän tavoitteena on, että uudenlaiset tuet voivat lisätä toimijoiden vaihtoehtoja niin maa- kuin metsätaloudessa ilman että heidän taloudellinen asemansa muuttuu merkittävästi ja samalla ympäristön tila kuitenkin paranee.

1.3. Hankkeen tavoitteet

Tämän työn tarkoituksena oli kirjallisuuskatsaukseen ja mallinnuksiin sekä pilottialueilla tehtyihin laskentoihin perustuen tunnistaa parhaat vesiensuojeluratkaisut sekä arvioida niiden kustannustehokkuus maa- ja metsätalousvaltaisilla valuma-alueilla. Tulosten perusteella esitetään myös, miten kannustinjärjestelmiä tulisi kehittää siten, että maa- ja metsätalousvaltaisilla alueilla veden laatu vesistöissä paranisi samalla, kun maa- ja metsätalous on kuitenkin taloudellisesti kannattavaa toimintaa.

1.4. Yhteenveto hankkeesta

Hankkeessa selvitettiin kustannustehokkaimmat ratkaisut maa- ja metsätalouden aiheuttaman vesistökuormituksen vähentämiseksi. Hanke toteutettiin Luonnonvarakeskuksessa maa- ja metsätalouden vesiensuojeluun sekä maatalous- ja metsäekonomiaan perehtyneiden tutkijoiden toimesta. Lisäksi tehtiin yhteistyötä Helsingin yliopiston Metsätieteiden osaston kanssa etenkin vesiensuojelukosteikoiden kohdentamiseen liittyen. Luonnonvarakeskuksessa hanketta koordinoi johtava tutkija MMT Mika Nieminen.

Maa- ja metsätalousministeriö rahoitti hanketta yhteensä **350 000 €**:lla. Hankkeen toteuttaminen edellytti hyvin monipuolista laskentaa liittyen sekä maa- ja metsätalouden aiheuttamaan vesistökuormitukseen että maa- ja metsätalouden kannattavuuteen liittyviin tekijöihin. Valtaosa hankkeen rahoituksesta kului laskelmien tekemiseen. Lisäksi hankkeen budjetista rahoitettiin mittauksia, joilla selvitettiin vielä heikosti tunnettujen toimenpiteiden, kuten turvemaiden metsänuudistamisen ja ennallistamisen aiheuttamaa vesistökuormitusta sekä siihen vaikuttavia tekijöitä.

Hankkeen pääasiallisena tavoitteena oli tunnistaa parhaimmat ratkaisut maa- ja metsätalouden aiheuttaman vesistökuormituksen vähentämiseksi sekä arvioida näiden ratkaisujen kustannuksia. Hankkeen tulosten perusteella eri ratkaisut vaihtelevat hyvin paljon siinä suhteessa, miten paljon niillä voidaan kuormitusta vähentää ja miten ne vaikuttavat maa- ja metsätalouden taloustulokseen. Siirryttäessä jaksollisesta metsänkasvatuksesta jatkuvapeitteiseen kasvatukseen voidaan toisinaan saada aikaan *Win-Win*-tilanne eli samalla kun vesistökuormitus vähenee, taloustulos paranee. Hankkeen tulosten perusteella ei kuitenkaan vielä kyetä ennakoivasti tunnistamaan niitä metsiköitä, joissa siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen voi vesistökuormituksen vähentämisen lisäksi olla taloudellisesti jaksollista kasvatusta parempi vaihtoehto. Samoin esimerkiksi siirtyminen viljanviljelystä monivuotiseen nurmikiertoon pienentäisi fosforikuormitusta, mutta taloudellisesti tämä kannattaa ainoastaan karjataloilla, joilla nurmi hyödynnetään säilörehuna. Kustannuksia aiheuttavista vesiensuojeluratkaisuista hyvin kustannustehokkaiksi osoittautuivat esimerkiksi kosteikot siinä tapauksessa, että kosteikon perustaminen ei aiheuta hakkuutulojen menetystä. Tulosten perusteella vesiensuojelua voitaisiin tehostaa merkittävästi, mikäli siihen voitaisiin valita kustannustehokkaimmat toimet. Lisäksi erilaisten toimenpiteiden alueellista ja lohkotason priorisointia tarvittaisiin kohdentamaan tuettavia toimia niiden tarpeen kannalta oikeaan paikkaan.

Hankkeen lyhyestä kestästä johtuen sen tuloksista ei ole vielä valmistunut julkaisuja. Suunnitelmia tieteellisiksi julkaisuiksi on kuitenkin jo tehty.

2. Hankkeen toteutus ja toteutusvaiheen arviointi

2.1. Menetelmät ja aineisto

2.1.1. Tutkimuksen toteutuksen periaatteet

Alustavan kirjallisuuskatsauksen perusteella varsinaisista maa- ja metsätalouden vesiensuojeluratkaisuista (laskeutusaltaat, lietekuopat, padot, kaksitasouomat) päätettiin keskittyä kosteikkoihin I. pintavalutukseen perustuvaan vesienkäsittelyyn, koska niillä arvioitiin tutkimustiedon perusteella saavutettavan muita ratkaisuja selvästi merkittävämpi parannus vesien tilassa ja koska ne ovat vesiensuojeluratkaisu, joka selvimmin edellyttää valuma-alueuunnittelua ja maa- ja metsätalouden vesiensuojelun integrointia. Muutoin selvitettiin sitä, miten viljelykäytännön tai metsänkäsittelyn muuttamisella voitaisiin vähentää kuormitusta ja missä oloissa muutoksella saataisiin aikaan vesiensuojelun näkökulmasta paras lopputulos. Maataloudessa yleisimmin käytössä olevat vesiensuojelutoimet liittyvät lannoituksen säätelyyn (nitraattiasetus ja fosforiasetus sekä ympäristötukijärjestelmä), sekä maanmuokkauksen voimakkuuteen (kevennetty muokkaus) ja ajoitukseen (esim. kerääjäkasveja käytettäessä). Metsätaloudessa siirtyminen avohakkuihin perustuvasta jaksollisesta kasvatuksesta avohakkuuttomaan jatkuvapeitteiseen kasvatukseen voi vähentää vesistöhaittoja merkittävästi (Nieminen ym. 2023). Tutkimuksessa keskityttiin typpi- ja fosforikuormituksen vähentämiseen.

Maa- ja metsätalouden suojavyöhykkeitä ei käsitelty, koska niiden on aiemmissa tutkimuksissa arvioitu vähentävän kuormitusta verraten vähän tai jopa lisäävän helppoliukoisien fosforin huuhtoutumista (Uusi-Kämppä 2005, Miettinen ym. 2012). Muutoinkin laskelmissa pyrittiin löytämään sellaisia ratkaisuja, jotka eivät lisäisi leville käyttökelpoisen helppoliukoisien fosforin kuormitusta merkittävästi suhteessa siihen, kuinka hyvin niillä saadaan torjuttua partikkelimaisen fosforin kuormitusta.

Tutkimus jakaantui vesistökuormituksen hallinnan osalta kolmeen osaan, joista ensimmäisessä sijoitettiin kahdelle pilottivaluma-alueelle kosteikkoja sekä selvitettiin sitä, miten paljon näiden kosteikkojen avulla on mahdollista vähentää maa- ja metsätalouden vesistökuormitusta. Toisessa osassa selvitettiin kirjallisuuskatsauksen sekä mallinnusten avulla sitä, miten paljon viljelykäytäntöjen tai metsänkäsittelyn muuttamisella voidaan vaikuttaa vesistökuormitukseen.

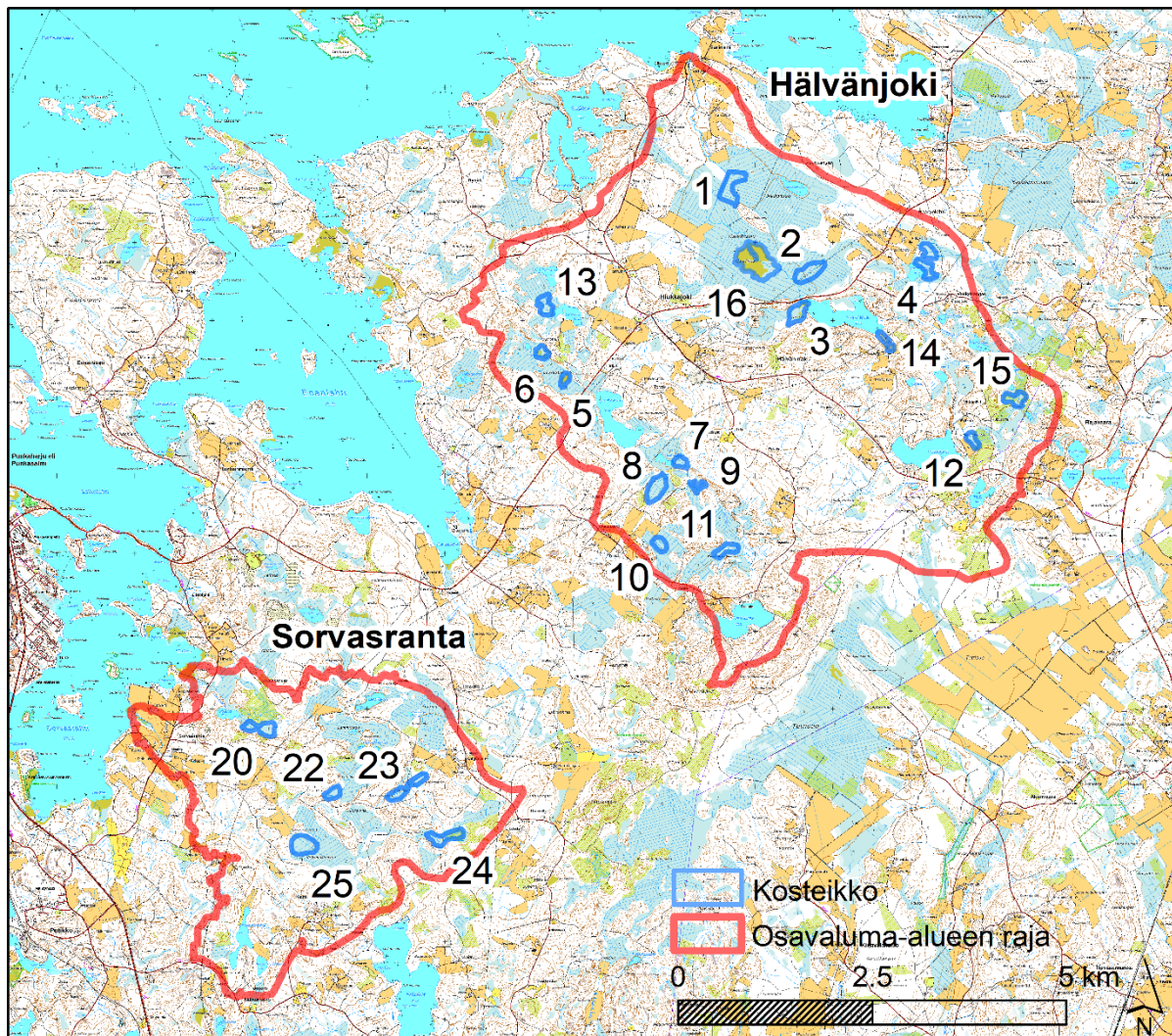
Kolmannessa osassa kerättiin kokeellista aineistoa sellaisista maa- ja metsätalouden toimenpiteistä ja vesiensuojeluratkaisuista, joiden osalta kuormitustieto tai muu kuormitukseen tai sen vähentymiseen liittyvä tieto on vielä puutteellista. Vesiaineistoa kerättiin esimerkiksi ojitettujen soiden ennallistamis- ja hakkuukohteilta mahdollisten pitkäaikaisten vesistövaikutusten todentamiseksi ja maaperäaineistoa kosteikoille pidätyvien ravinnemäärien laskemiseksi. Tältä osin aineistot ovat vielä analysoimatta, eikä niitä siksi käsitellä tässä loppuraportissa.

Talouseläskenta tapahtui selvittämällä erilaisilla ratkaisuilla saavutettavat kuormitusvähenemät maa- ja metsätaloudessa ja vertaamalla niitä näiden ratkaisujen aiheuttamiin kustannuksiin. Näin haettiin tehokkaimmat tavat vähentää kuormitusta sellaisilla valuma-alueilla, joiden maankäyttö koostuu maa- ja metsätaloudesta. Tämän lisäksi tarkasteltiin sitä, missä tilanteissa jatkuvapeitteinen kasvatusta voi olla avohakkuihin perustuvaa jaksollista kasvatusta parempi metsänkäsittelymenetelmä sekä taloudellisesti että vesistökuormituksen vähentämisen näkökulmasta (WIN-WIN).

2.1.2. Kosteikkojen sijoittaminen ja tehokkuus pilottivaluma-alueilla

Kosteikkojen sijoittamisessa tehtiin yhteistyötä Helsingin yliopiston kanssa (MMT Mikko Niemi). Kosteikkoja tutkittiin kahdella pilottivaluma-alueella Savonlinnassa Puruveden valuma-alueella (Sorvasranta ja Hälvänjoki). Kyseisiä pilottialueita on hyödynnetty myös käynnissä olevassa *Hiilipolku*-hankkeessa (<https://www.luke.fi/fi/projektit/hiilipolku>) sekä jo päättyneessä OPERANDUM-hankkeessa

(<https://www.luke.fi/fi/projektit/operandum>). Pilottialueet edustavat tyypillisiä suomalaisia latvavaluma-alueita, joiden maankäyttö on lähes yksinomaan maa- ja metsätaloutta.



Kuva 1. Hankkeen pilottivaluma-alueet ja niille sijoitetut vesiensuojelukosteikot.

Kosteikkojen sijoittelua varten pilottivaluma-alueilla tarkasteltiin aluksi korkeusmallia, jonka perusteella kosteikot sijoiteltiin alavimpiin maaston kohtiin Niemen ym. (2022) esittämää menetelmää hyödyntäen. Periaatteena oli, että kosteikko olisi noin puoli metriä ympäristöään alempana, jotta kosteikon perustaminen ei nostaisi vesiä yläpuolisilla alueilla, ja että kosteikko olisi valuma-alueeseensa nähden riittävän suuri (vähintään 2 % valuma-alueen pinta-alasta) tehokkaan ravinteiden pidätyksen mahdollistamiseksi. Kaikkien pilottivaluma-alueelle sijoitettujen kosteikkojen kustannustehokkuutta ei selvitetty, vaan talouslaskelmia varten valittiin erilaisia kosteikoita satunnaisesti 16 kappaletta.

Kosteikoiden valuma-alueen määrittelyä varten korkeusmallia esikäsiteltiin hydrologisen analyysin menetelmin veden virtaamisreittien selvittämiseksi ja kosteikkoihin tässä erikseen suunniteltuja toimenpiteitä simuloimalla, mm. lisäämällä padotusta haluttuihin kohtiin, jotta vesien virtausreitit menisivät kosteikoille suunnitellusti. Kunkin kosteikon valuma-alue määritettiin WhiteboxTools (Lindsay 2014) *Watershed*-työkalun avulla. Jos

tietyllä kosteikolla arvioitiin olevan useampia purkupisteitä, niiden valuma-alueet yhdistettiin. Kunkin kosteikon valuma-alueella sijaitsevat metsikkökuviot ja peltolohkot listattiin myöhempää laskentaa varten.

Tiedot peltolohkojen maatalouskäytöstä kosteikkojen valuma-alueilla saatiin peltolohkokisteristä ja metsikkökuvioiden puusto-, kasvupaikka- ja ojitustilannetiedot saatiin Metsäkeskuksen kuviodatasta. Tuotantoeläinten erittämien ravinteiden (N, P) määrä ja viljelykasvien alan kohdentuminen valuma-alueille laskettiin suoralla suhteella tilojen kokonaispeltoala/ tilojen peltoala valuma-alueella. Valuma-alueiden eläintiheys (naudat) oli n. 0,50 ja 0,64 eläinyksikkö/ha mikä on hyvin tyypillinen tiheys suomalaisille nautakarjatilaille (Ruokavirasto). Maalajijakaumana käytettiin Savonlinnan alueen lukuja: 85 % kivennäismaita, joista lähes kaikki karkeita kivennäismaita, ja 15 % orgaanisia maita, joista valtaosa (65 %) multamaita (Lemola ym. 2023). Peltomaan fosforipitoisuutena käytettiin Savonlinnan alueen maan P-luvun mediaania 8,4 mg/l (Lemola ym. 2023).

Kosteikon kyky pidättää sille huuhtoutuvia ravinteita laskettiin käyttäen hyväksi Niemisen ym. (2024) pidätysmalleja, joissa kosteikon fosforin- ja typenpidätyskykyä selittävät kosteikolle kohdistuva kuormitus ja/tai kosteikon koko (Taulukko 1).

Taulukko 1. Regressiomallit fosforin ja typen pidättyminen kosteikoille suhteessa kosteikolle kohdistuvaan kuormitukseen ja kosteikon kokoon julkaisun Nieminen ym. (2024) mukaan. $P_{pid}\%$ ja $N_{pid}\%$ ovat kosteikolle pidättyvän fosforin ja typen määrät prosentteina kosteikolle kohdistuvasta kuormituksesta, $Kosteikko\%$ = kosteikon koko prosentteina koko valuma-alueen koosta, sem = keskiarvon keskivirhe, P_{IN} = kosteikolle tuleva fosforikuorma (kg/ha/v), e = mallin selittämätön jäännösvaihtelu (residuaali), r^2 = mallin selitysaste.

	Vakio (sem)	Ln(Kosteikko%) (sem)	Ln(P_{IN}) ³	e (sem)	Harha	r^2
Ln($P_{pid}\%$)	2,8840 (0,113)	0,5490 (0,1224)	0,0375 (0,0098)	0,2563 (0,0973)	-1,3080	0,5904
Ln($N_{pid}\%$)	2,6706 (0,3578)	0,2098 (0,1134)		0,0943 (0,0653)	1,8130	0,1657

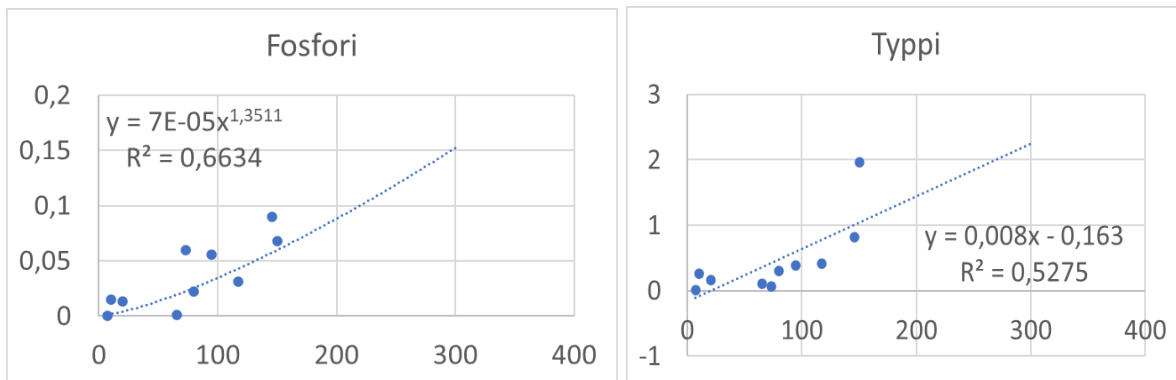
Kosteikolle kohdistuvan kuormituksen laskemiseksi arvioitiin kaikkien sille ravinteita syöttävien metsikkökuvioiden ja peltolohkojen vesistökuormitus. Peltolohkojen kuormitus arvioitiin perustuen nk. ominaiskuormituslukuun, jossa tiettyä maalajia ja tiettyä viljelykäytännettä edustaa tietty vuosikuormitus (kg/ha/v). Ominaiskuormitusluvut saatiin päivittämällä niitä kappaleessa 3.1. esitetyillä tavoilla. Laskennassa oletettiin, että nurmille levitetään karjanlantaa ja viljoille kivennäislannoitteita.

Kangasmailla sijaitsevien metsikkökuvioiden vesistökuormitus arvioitiin simuloimalla niiden puuston kehitystä ja niillä toteutettavien metsätaloustoimenpiteiden ajoittumista Motti-ohjelmistolla (Hynynen ym. 2005, Luonnonvarakeskus 2024) nykyhetkestä 50 vuoden päähän olettaen, että metsiä hoidetaan vallitsevan kiertoaikaan perustuvan jaksollisen metsänkasvatuksen periaatteiden mukaan sisältäen kasvatuslannoituksen kerran kiertoajassa. Lannoituksen vaikutus typpikuormitukseen arvioitiin aiemman käytännön mukaisesti (Finér ym. 2010, Nieminen ym. 2023) niin, että typpilannoitus lisää typpikuormitusta ensimmäisenä vuotena lannoituksen jälkeen 12 kg/ha ja toisena vuotena 3 kg/ha.

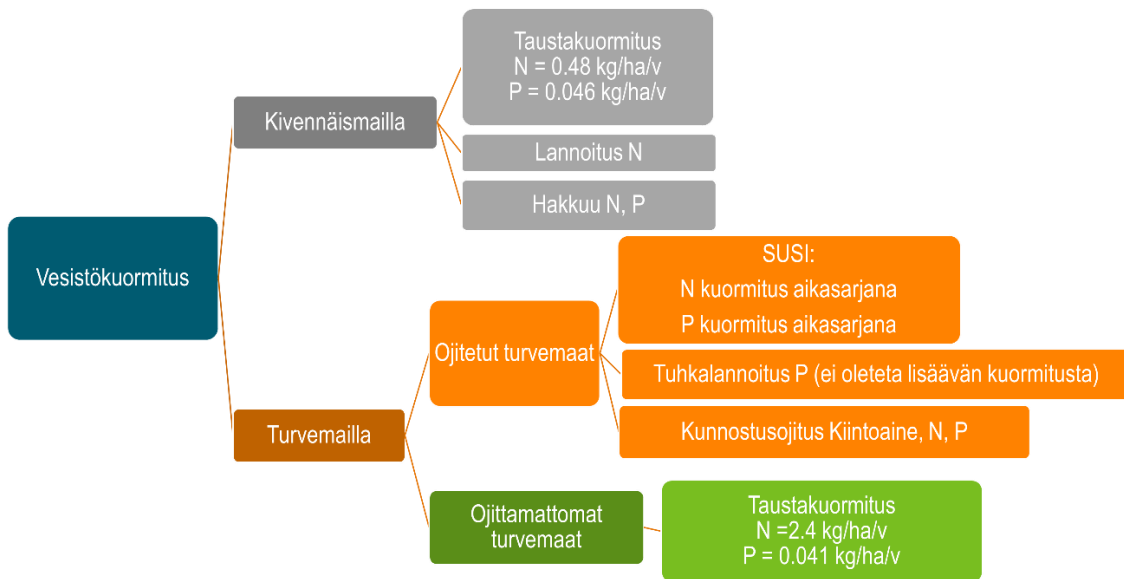
Kangasmaiden hakkuiden vaikutus arvioitiin samoin kuin turvemaiden hakkuiden vaikutus on arvioitu viimeaikaisissa tutkimuksissa (Nieminen ym. 2023) eli laskettiin kuormitus suhteessa hakkuussa poistetun puuston määrään. Aineistona olivat Finérin ym. (2010) seitsemän hakkuukoetta sekä Palviaisen ym. (2014)

julkaisusta Sotkamon Korsukorven hakkuukoe ja Löfgren ym. (2009) julkaisusta hakkuukokeet CC ja BS (Kuva 2). Näitä yhtälöitä käytettiin laskettaessa sekä avohakkuun että harvennushakkuun aiheuttama kuormitus kangasmailla.

Metsäojitetuilta soilta kosteikoille kohdistuva vesistökuormitus laskettiin simuloimalla puuston kehitystä, turpeen hajotusta ja ravinteiden vapautumista Suosimulaattori SUSI:lla nykyhetkestä 50 vuoden päähän (Laurén ym. 2021, Palviainen ym. 2024). Typen ja fosforin kuormitus arvioitiin SUSI:n tuottamien tulosten perusteella. Nykykäsitöksen mukaisesti tuhkalannoituksen ei oletettu lisäävän vesistökuormitusta suoraan, mutta kasvun lisäyksen ja sitä kautta syventyneen pohjavesipinnan seurauksena SUSI-tuloksissa voi teoriassa näkyä turpeen lisääntyneen hajotuksen aiheuttama muutos myös vesistökuormituksessa. Kunnostusojituksen vaikutus tulee huomioitua SUSI:ssa ojan syventämisenä ja sitä kautta lisääntyneenä turpeen hajotuksena ja ravinteiden vapautumisena. Vaikutus vesistökuormitukseen riippuu SUSI:ssa kuitenkin myös puuston ja aluskasvillisuuden käyttämisestä ravinteista. SUSI ei ota huomioon kunnostusojituksen seurauksena ojissa tapahtuvaa eroosiota, joten tämä otettiin simulointituloksissa huomioon ojitusta seuraavan 10 vuoden aikana kiintoainekuormituksena (Finér ym. 2010), jolle oletettiin keskimääräiset kiintoaineen typen ja fosforin pitoisuudet (Nieminen ym. 2017).



Kuva 2. Kangasmaan hakkuun aiheuttama fosforin ja typen vuosikuorma (kg/ha/v) suhteessa poistetun puuston keskitilavuuteen (m³/ha). Kuvien x-akselilla puuston tilavuus ja y-akselilla fosfori- tai typpikuorma.



Kuva 3. Vesistökuormituksen laskenta pilottialueiden metsikkökuvioilla hankkeessa.

2.1.3. Viljelymenetelmän tai metsänkäsittelymenetelmän vaikutus kuormitukseen

Tässä työssä on pitkälti keskitytty enimmäkseen fosforikuormitukseen, koska se on pääsääntöisesti pintavesien perustuotantoa eniten rajoittava ravinne (Schindler 1974; Correll 1999). Maatalousmailla siirtymistä nykykäytännön mukaisesta viljelymenetelmästä vesiensuojellisesti parempaan menetelmään arvioitiin päivittämällä eri viljelykäytänteiden ominaiskuormitusluvut erilaisilla maapohjilla. Ominaiskuormituksia arvioitiin kahdelle eri mallilla. APLE-mallilla (*Annual Phosphorus Loss Estimator*; Vadas ym. 2009) arvioitiin yksivuotisten kasvien viljelyn kuormitusriskiä. APLE ennustaa erikseen partikkelimuotoisen ja liuenneen fosforin vuosikuormat ja sisältää mahdollisuuden tarkastella kahden eri maakerroksen fosforitilan muutoksia erikseen muokkaussyvyyden muuttumisen seurauksena. APLEn ennusteita on vertailtu Jokioisten Kotkanojan koekentän tulosaaineistoa vasten ja se antaa hyvin samansuuruisia kuormituslukuja kuin pidemmän ajan koetulokset. APLE on tällä hetkellä ainoa laajemmin käytössä oleva mallityökalu, jolla eri muokkaustapojen vaikutuksia voidaan tarkastella ilman hyvin laajaa parametrisointia. Melko yksinkertaisesta rakenteestaan huolimatta mallissa on kattavasti validoidut yhtälöt maan fosforin dynamiikalle ja fosforin huuhtoumien ennusteyhtälöille. Käytetty malliversio on APLE 2.5.

Monivuotisten nurmien osalta erilaisten lannoitusvaihtoehtojen ja maatalouden käytäntöjen vaikutusta kuormitukseen tarkasteltiin kivennäismailla NURMAP-mallilla (<https://nurmen-fosforihuuhtoumalaskuri.luke.fi/>; Puustinen ym. 2019 viitteineen) sekä hyödyntämällä turvemaiden osalta kirjallisuuslähteitä, kuten Myllys (2020) ja Pham (2023) (Liite 2).

Siirtymistä jaksollisesta kasvatuksesta jatkuvapeitteiseen kasvatukseen ja sen vaikutusta vesistökuormitukseen arvioitiin kirjallisuuteen perustuen sekä simuloimalla vaihtoehtoa, joissa osaa Hälvänjoen ja Sorvasrannan alueiden metsikkökuvioista käsiteltiin joko jaksollisen tai jatkuvapeitteisen kasvatuksen periaatteiden mukaan. Jaksollisen kasvatuksen osalta laskenta tapahtui edellä esitetyn mukaisesti tarkasteltaessa metsikkökuvioilta kosteikoille kohdistuvaa kuormitusta (2.1.2). Jatkuvapeitteisen kasvatuksen osalta tarkastelu tapahtui simuloimalla kangasmetsien puuston kasvua Motti-ohjelmistolla sekä suometsien kasvua Suosimulaattori SUSI:lla poimintahakkuuta jäljitteleviä suhteellisen voimakkaita harvennuksia käyttäen sekä tuottamalla näihin liittyvät kuormitusarvot joko suoraan SUSI:lla tai linkittämällä eri toimenpiteisiin niiden aiheuttama vesistökuormitus kappaleessa 2.1.2. esitetyllä tavalla.

2.1.4. Talouslaskenta

2.1.4.1 Maatalous

Muiden kuin kosteikkojen osalta, arvioimme maatalouden toimenpiteiden kustannuksia Sihvonen ym. (2018, 2020) mallilla, jota laajennettiin näihin laskelmiin kattamaan ohran lisäksi nurmi, kaura ja vehnä. Lisäksi malliin lisättiin toimenpiteiksi suorakylvö ja kalkitus. Laajennukset perustuivat dataan, joka saatiin olemassa olevista malleista (Helin 2014, DEMCROP). Sihvonen ym. (2018, 2020) malli on melko yksinkertainen kuvaus maataloushehtaarista, mutta se soveltuu hyvin dynaamiseen optimointiin, ja sitä on helppo laajentaa eri tavoilla, minkä takia se soveltuu laskelmiin hyvin. Mallissa yksityinen maanomistaja maksimoi diskontattujen vuotuisten voittojen summan nykyarvoa. Mallissa on tilamuuttujana maaperän fosfori (Sihvonen ym. 2018), tai maaperän fosfori ja typpi (Sihvonen ym. 2020). Lisäksi näitä laskelmia varten tilamuuttujaksi lisättiin maaperän pH, koska tarkastelimme myös kalkitusta yhtenä toimenpiteenä.

Hyödynsimme lisäksi DEMCROP-mallia erityisesti nurmen kustannusten laskussa tuottamaan vaihtoehtoisia arvioita. Malli on tilatason dynaaminen optimointimalli, jossa on spatiaalinen peltolohkorakenne ja joka ratkaisee optimaaliset viljelykierron maitotilalla 30 vuoden ajanjaksolla käyttämällä yleisen algebrallisen mallintamisjärjestelmän (GAMS) ohjelmiston CONOPT-solveria (GAMS, 2021). Mallissa käytettävissä oleviin tuotantoaktiiviteetteihin kuuluu tietyn, kymmenestä samankokoisesta lohkoista koostuvan tietyn viljelymaan hallinta tilan sisällä. Mallin tuotantoaktiiviteetit sisältävät vain kasvin- ja nurmiviljelyn. Mallissa oletetaan, että maitotila saa tiettyä arvoa nurmirehusta tonnia kohden (lehmänmaidon kautta), ja sen on tuotettava vähintään tietty vähimmäismäärä nautarehua.

Toimenpiteiden kustannuksia arvioitiin Sihvonen ym. (2018, 2020) mallilla laskelmalla viljelijän vuotuisten tulojen nettonykyarvo ajanjaksolta 2022–2100, 3 %:n diskonttokorolla. Ensin laskettiin nettonykyarvo kunkin kasvin viljelystä siten, että mitään vesiensuojelun toimenpidettä ei toteutettu. Tämä vastaa kunkin kasvin osalta niin sanottua perustapausta. Perustapausta verrattiin sitten nettonykyarvoon kunkin toimenpiteen tapauksessa. Nettonykyarvojen erotus antaa siten toimenpiteen kokonaiskustannuksen yli aikahorisontin (2022–2100). Jos kustannus on negatiivinen, on toimenpide taloudellisesti suotuista viljelijän kannalta.

2.1.4.2 Metsätalous

Jaksollisen ja jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen osalta talouslaskenta toteutettiin siten, että valituille metsikkökuviolle simuloitiin sekä jaksollisen että jatkuvapeitteisen kasvatuksen mukainen puuston kehitys. Tämän jälkeen jaksollisen kasvatuksen mukaisesta nettotulojen nykyarvosta (laskentakorkokanta 3 %) vähennettiin jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen nettotulojen nykyarvo, kun talouslaskennan aikahorisontti oli joko 30 tai 50 vuotta. Jos erotus oli positiivinen (>0), oli ko. metsikkökuviolla taloudellisesti perusteltua pitäytyä jaksollisessa kasvatuksessa. Sen sijaan, jos erotus oli negatiivinen (<0) oli taloudellisesti perusteltua siirtyä jatkuvapeitteiseen kasvatukseen. Sekä jaksolliselle että jatkuvapeitteiselle kasvatukselle määritettiin taloustuloksen (nettotulojen nykyarvo) lisäksi vesistökuormituksen lukuarvot. Talouslaskennassa hyödynnettiin aiemmin kohdealueilla (Hälvänjoki, Sorvasranta) toteutettuja simulointeja, joissa aikahorisontti oli kiinnitetty 30 tai 50 vuoteen. Jaksollisen metsänkasvatuksen nettotulojen nykyarvo laskettiin kaavalla:

$$NNA = \sum_{i=0}^T b^{t_i} \left[\sum_{k=1}^K p_k h_{kt_i} - \sum_{l=1}^L w_{lt_i} \right]$$

jossa NNA= nettotulojen nykyarvo, €/ha, b= diskonttaustekijä, jossa $b=1/(1+r)$, $r=3\%$ (laskentakorkokanta), p_k =puutavaralajin k kantohinta, h_{kt_i} =puutavaralajin k harvennuskertymä harvennuksessa vuonna t_i tai päätehakkuussa vuonna t_T , $t_T \leq 30$ vuotta (50 vuotta). Metsänhoidon kustannukset toimenpiteessä l ($l=1, \dots, L$) vuonna t_i esitetään termillä w_{lt_i} . On tärkeää todeta, ettei kohdealueilla yhdelläkään metsikkökuviolla simulointia aloitettu paljaalta maalta vaan olemassa olevasta puustosta. Vastaavasti jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen nettotulojen nykyarvo laskettiin kaavalla:

Luonnonvarakeskus (Luke)

Latokartanonkaari 9

00790 Helsinki 11

Puhelin 029 532 6000

Y-tunnus: 0244629-2

luke.fi

$$NNA = \sum_{s=0}^S b^s \sum_{k=1}^K p_k h_{ks}$$

jossa NNA= nettotulojen nykyarvo, €/ha, b= diskonttaustekijä, jossa $b=1/(1+r)$, $r=3\%$ (laskentakorkokanta), p_k =puutavaralajin k kantohinta, h_{ks} =puutavaralajin k harvennuskertymä harvennuksessa vuonna t_s ($t, \dots, S$). Jatkovapeitteisen metsänkasvatuksen nettotulojen laskennassa on tärkeä huomata, ettei metsänhoidon kustannuksia ole lainkaan ja päätehakkuuta ei tehdä. Sen sijaan lähtöpuustoa hakataan poimintahakkuin niin, että se vähitellen muunnetaan eri-ikäiseksi metsiköksi siten, että $t_s \leq 30$ vuotta (tai 50 vuotta).

2.1.4.3 Maa- ja metsätalouden kosteikot

Kosteikkojen talouslaskenta toteutettiin määrittämällä ensin ne ojitettut metsikkökuviot, joille kosteikko perustetaan, minkä jälkeen edelleen laskettiin ko. kuvioiden kosteikon alle jäävä pinta-ala (% kuvion koosta). Tämän jälkeen kunkin kuvion nettotulojen nykyarvosta (tark. nettotulojen nykyarvo 30 vuoden aikana, €) vähennettiin kosteikon ulkopuolelle jäävä osuus (%), ja edelleen summattiin yhteen kaikkien kosteikkoon kuuluvien kuvioiden tulokset. Näin saatiin määritettyä suorat tulonmenetykset, jotka aiheutuvat kosteikon perustamisesta. Maanomistajalle aiheutuu siis suoria tulonmenetyksiä, jos hänen metsikkökuvioitaan jää perustettavan kosteikon alle. Tulonmenetykset johtuvat käyttämättömistä hakkuumahdollisuuksista, sillä kosteikon alueella metsiä ei enää kosteikon perustamisen jälkeen käsitellä. Koska perustamisen yhteydessä kosteikoilta voidaan kuitenkin joissakin tapauksissa poistaa puustoa, tehtiin myös vaihtoehtoinen laskelma, jossa puustoa poistettiin kosteikolta siinä tapauksessa, että sitä oli yli $100 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Seuraavaksi määritettiin kosteikolta vettä pois johtavien ojien tukkimisesta aiheutuvat kustannukset. Tässä kohtaa oletettiin, että ojien tukkimisen yksikkökustannukset vastaavat ojien kaivamisen (ts. kunnostusojituksen) yksikkökustannuksia. Nämä yksikkökustannukset puolestaan pohjautuivat viimeisimpään viiden vuoden metsänhoidon kustannusten aikasarjaan taloustarkasteluiden työstämisen aikaan. Aikasarjan vuodet kattoivat kalenterivuodet 2018–2022, ja kunnostusojituksen yksikkökustannuksena käytettiin 303.9 €/ha . Lukuarvo on laskettu nimellisistä koko maan lukuarvoista ja edelleen muutettu reaalisiksi keskiarvoksi elinkustannusindeksillä (perusvuosi 2022; Kuluttajahintaindeksi - Tilastokeskus (stat.fi)).

Edellä kuvatun mukaisesti kullekin perustettavalle kosteikolle määritettiin kokonaiskustannukset, jotka siis sisälsivät tulonmenetykset ja ojien tukkimisen kustannukset. Hankkeessa kerättiin ajantasaisia kustannustietoja myös muiden vesiensuojelutoimenpiteiden kuin kosteikkojen toteutuksesta, jotka ovat hyödynnettävissä jatkotutkimuksissa.

Alkuperäisissä simuloineissa (joiden tuloksia hyödynnettiin tässä raportissa) sovellettiin Kymi-Savon alueen vuosien 2016–2020 nimellisiä kantohintoja ja metsänhoidon kustannuksia, jotka edelleen muutettiin reaalisiksi elinkustannusindeksillä. Lopulliset lukuarvot perustuivat siis viiden vuoden aikasarjan (2016–2020) reaalisten kantohintojen ja metsänhoidon yksikkökustannusten keskiarvoihin Kymi-Savon alueella. Taulukossa 2 on esitetty nämä keskiarvot.

Taulukko 2. Talouslaskelmissa käytetyt kantohinnat ja metsänhoidon kustannukset. Keskiarvot pohjautuvat viiden vuoden (2016–2020) nimellisiin lukuarvoihin, jotka muutettu reaalisiksi elinkustannusindeksillä (perusvuosi 2020), ja joista edelleen laskettu aritmeettiset keskiarvot.

Hakkuutapa	Mäntytukki	Kuusitukki	Koivutukki	mäntykuitu	kuusikuitu	koivukuitu
päätehakkuu	60.82	62.07	48.49	20.55	21.44	18.74
harvennus	52.85	53.04	40.41	17.46	17.29	16.30
ensiharvennus	41.90	43.40	32.66	13.22	12.80	12.71
Metsänhoidon kustannukset, €/ha maanmuokkaus 424.39 (mätästys) maanmuokkaus 370.75 (laikutus) kylvö 317.80 (käsityönä) istutus 670.74 (käsityönä) taimikon varhaishoito 395.99 (käsityönä) taimikonhoito 512.25 (käsityönä) lannoitus 368.80 (kasvatuslannoitus) ojien kunnostus 301.07						

2.2. Aikataulu ja resurssit

Maa- ja metsätalousministeriö rahoitti hanketta yhteensä 350 000 €: lla. Hanke toteutettiin Luonnonvarakeskuksen maa- ja metsätalouden vesistövaikutuksiin sekä maa- ja metsätalouden kannattavuuteen erikoistuneiden tutkijoiden toimesta. Yhteistyötä tehtiin Helsingin yliopiston Metsätieteellisen tiedekunnan kanssa kosteikkojen tarkoituksenmukaisessa sijoittelussa sekä Helsingin yliopiston ajoituslaboratorio Luomuksen kanssa kosteikoiden ravinteiden pidätystehokkuuden selvittämiseksi. Hankkeen hyvin lyhyt kesto (1.3.-30.11.2024) aiheutti ongelmia mm. siinä, että yhteistyöverkoston luomiseen ei juuri jäänyt aikaa. Tulokset ovat kuitenkin maa- ja metsätalouden vesistövaikutusten hallinnan näkökulmasta hyvin merkittäviä ja niistä tullaan viestimään aktiivisesti tulevaisuudessa, mikä luo entistä paremmat edellytykset monitieteisten vesienhallintaan keskittyvien yhteistyöverkostojen luomiseen.

2.3. Raportointi, julkaisut ja seuranta

Hankkeen hyvin lyhyen keston vuoksi julkaisuja ei vielä ole valmistunut. Käsikirjoituksen valmistelu esimerkiksi kosteikkojen kustannustehokkuudesta maa- ja metsätalouden vesiensuojelumenetelmänä on kuitenkin jo aloitettu. Hankkeen tuloksia on pyydetty esittelemään erilaisissa tilaisuuksissa, esimerkiksi Luonnonvarakeskuksessa sisäisesti sekä ELY-keskusten kurssilla ”Valuma-aluelähtöinen vesienhallinta”.

2.4. Toteutusvaiheen arviointi

Erityisenä onnistumisena voidaan pitää sitä, että ensimmäistä kertaa maa- ja metsätalouden vesiensuojelumenetelmät voitiin suhteuttaa toisiinsa niiden kustannusvaikuttavuuden perusteella. Hanke osoitti, että vesiensuojelumenetelmien priorisointi niiden tehokkuuden perusteella sekä oikea kohdentaminen on hyvin tärkeää, mikäli vesistöjen tilaa halutaan parantaa merkittävästi. Toisaalta on monia vesistökuormitusta mahdollisesti hillitseviä uusia käytäntöjä (esim. säätösalaojitus, kosteikkoviljely), joiden osalta ei vielä voida

esittää arvioita niiden kustannuksista ja tehokkuudesta. Orgaanisen aineen huuhtoutumiseen ja vesistöjen tummumiseen liittyvä tieto ei toisaalta vielä riitä siihen, että rehevöitymisen vähentämisen lisäksi voitaisiin esittää kustannustehokkaita keinoja tummumisen torjumiseksi. Hankkeen hyvin tiukka aikataulu aiheutti sen, että laskelmien tarkistamiseen ei juurikaan jäänyt aikaa, joten ennen tulosten ”virallistamista” esimerkiksi julkaisemalla tulokset vertaisarvioidussa julkaisusarjassa laskelmat ja tulokset on vielä huolellisesti tarkistettava.

3. Tulokset ja niiden arviointi

3.1. Kuormituksen vähentäminen maatalousmaalta

Pelloilta päätyy vesistöihin fosforia kahdessa muodossa: valumavesiin liuenneena ja veden kuljettamaan maa-aineksen pidättyneenä. Näiden muotojen kulkeutumiseen vaikuttaa eri syyt. Valumavesien liuenneen fosforin pitoisuutta säätelee maan pintakerroksen helppoliukoisen fosforin pitoisuus (viljavuusfosfori; Vuorinen & Mäkitie 1955) eli maan P-luku, kun taas maa-ainesfosforin pitoisuutta valunnassa säätelee toteutuva eroosio. Usein nämä jakeet jätetään huomiotta ja tarkastelua tehdään ainoastaan fosforin kokonaispitoisuuden tai -määrän perusteella. Koska eri jakeiden kulkeutumista säätelevät eri prosessit, erilaisten toimenpiteiden vaikutukset voivat mennä ristiin. Esimerkkinä tästä on suorakylvö, joka vähentää tehokkaasti partikkelimuotoisen fosforin kuormaa, mutta samalla lisää liuenneen fosforin kuormaa. Tästä seuraa riski sille, että fosforikuormaa hillitsemään tarkoitettujen toimenpiteiden hyötyjä yliarvioidaan, tai rehevöittävät vaikutukset vesistöissä arvioidaan väärin (Iho ym. 2023).

Liuenneen fosforin kuormaa voidaan säädellä fosforitaseiden avulla, eli säätämällä lannoitusta maan P-tilan ja pellolta sadossa korjattavan fosforimäärän mukaan. Tämä vaikuttaa hitaasti maan helppoliukoisen fosforin määrään – vaikutus tulee näkyviin 5–10 vuoden tarkasteluissa. Maan P-luvun sääntely on sisällynyt kaikkiin vuodesta 1995 lähtien toteutettuihin ympäristöohjelmiin, kun suurimpia sallittuja fosforilisäyksiä on ohjelmiin osallistuneilla tiloilla rajoitettu maan P-luvun mukaan. Vuonna 2023 voimaan tulleen fosforiasetuksen (VN asetus 64/2023) myötä fosforin käyttörajoitukset tulivat koskemaan kaikkia tiloja. Asetuksen rajat mahdollistavat hyvän sadon tuottamisen, mutta niiden mukaan lannoitettaessa maan P-tila ei kohoa tarpeettoman korkeaksi, tai jo korkealla tasolla olevat P-luvut saadaan laskemaan kohtuullisiksi. Typen osalta nitraattiasetus (VN asetus 1250/2014) on jo aiemmin asettanut rajan suurimmille typpilisäyksille. Lainsäädäntömme on siten ajantasainen, emmekä näe tarpeelliseksi ehdottaa esimerkiksi fosforiasetukseen oleellisia muutoksia.

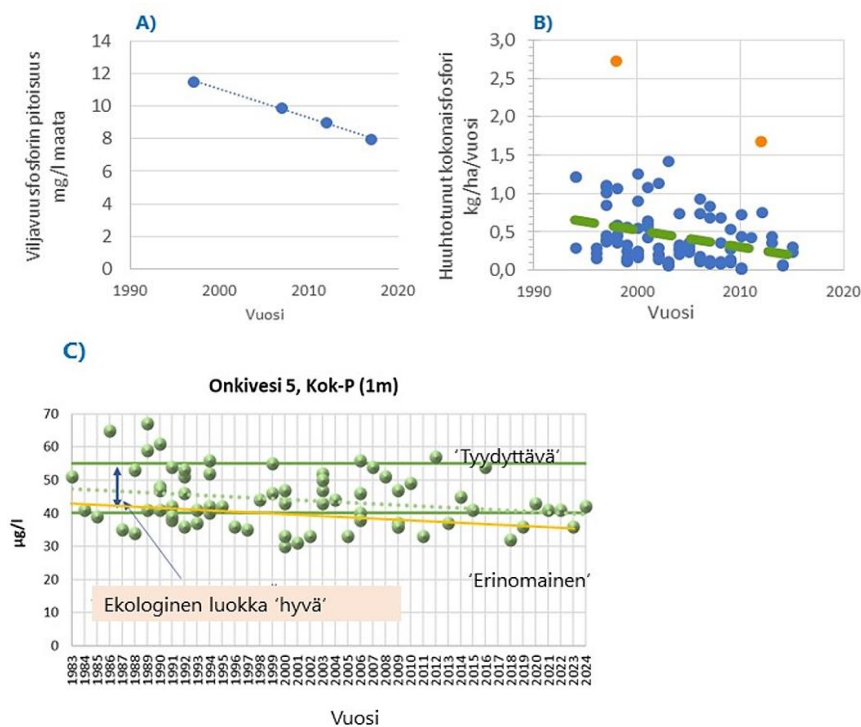
Lannoitusmäärien lisäksi lannoitustapa vaikuttaa liuenneen fosforin huuhtoumaan siten, että pellon pintaan jäävistä lannoitteista voi huuhtoutua ravinteita pintavaluntana ja toisaalta se myös rikastaa maan pintakerrokseen heikosti liikkuvaa (suhteellisen voimakkaasti pidättyvää) fosforia, josta lumen sulamisvedet ja sateet huuhtovat sitä mukaansa. Myös maanmuokkauksen syvyys ja frekvenssi vaikuttaa liuenneen fosforin kuormiin, koska muokkaamattoman maan pintakerrokseen kertyy kasvinjätteiden hajotessa helppoliukoista fosforia ja tämä lisää liuenneen fosforin huuhtoumia vuosien kuluessa. Mitä pitempään maa on muokkaamatta ja mitä matalampaan syvyyteen maa muokataan, sitä voimakkaampaa on fosforin rikastuminen maan pintakerrokseen.

Eroosiota estävät toimet, jotka ovat alusta lähtien olleet ympäristöohjelmien tärkein painopiste, vähentävät maa-ainesfosforin kuormaa vesistöihin. Näitä ovat mm. talviaikainen kasvipeitteisyys ja eroosioherkkyttä vähentävät maanparannusainekäsittelyt (kipsi, rakennekalkki, metsäteollisuuden kuidut). Eri maalajien eroosioherkkyys on vaihtelevaa, hienoaaines lähtee veden mukana helpommin liikkeelle kuin karkeammat maalajitteet. Lisäksi pellon topografia vaikuttaa veden kulkuun ja siten eroosion voimakkuuteen.

Nurmien keskeisiä ominaisuuksia ovat nurmien monivuotisuus ja karjanlannan merkittävä rooli ravinteiden lähteenä, nurmien tehokas ravinteiden otto ja Suomessa tyypillisesti järkevä lannankäyttö (kg P, N/ha/vuosi) ja siitä aiheutuva melko maltillinen kyntökerroksen P-luku. Vesistökuormituksen kannalta merkittävin ilmiö on fosforin huuhtoutuminen pintavalunnan mukana. Voimakkaimmin tähän vaikuttavat maan pintakerroksen viljavuusfosforin pitoisuus, annetun karjanlannan fosforin määrä ja ajankohta sekä mineraalilannoituksen määrä

(NURMAP-malli, Puustinen ym. 2019). Kuvassa 4 esitetään esimerkinomaisesti säännösten ja muiden toimenpiteiden ansiosta tapahtuneet muutokset nautakarja-alueiden viljavuusfosforin pitoisuudessa, tutkimuksissa mitatun kokonaisfosforin huuhtoumassa nurmikekeissa, sekä Pohjois-Savon nautakarja-alueelle sijoittuvan Onkiveden vesinäytteiden fosforipitoisuudessa.

Nurmen pintaan annetun kuivalannan käytön vaikutusta vesistökuormitusriskiin ei ole tutkittu riittävästi Suomessa. Turvemailla ja laidunkäytössä erityisesti fosforin kuormitus on suurempaa kuin karkeilla kivennäismailla ja kuormitus on sitä suurempaa mitä paksumpi on turvekerros (Myllys 2024, Pham ym. 2023). Keskimäärin karjatilojen P-luku on maltillinen ja se on laskenut noin kolmanneksen vuodesta 1995 lähtien. Jatkossa tämä kuormituksen vähennyskeinon mahdollisuudet ovat rajalliset ensinnäkin siksi, että viljavuusfosforin lasku todennäköisesti hidastuu ja toiseksi, koska alhainen viljavuusfosfori voi rajoittaa muiden kasvien satotasoa (Termonen ym. 2024). Tulevaisuuden kannalta on oleellista, että erityisesti korkean fosforiluokan pelloilla viljavuusfosforin pitoisuus alenee: jos lohkon P-luku on 20 mg/l, on sen fosforikuormitus 40–50 % suurempi kuin P-luvun ollessa 8,4 mg/l. Jos lohkon ominaisuudet sallivat, voisi P-luvun laskua nopeuttaa karkeilla kivennäismailla lisäämällä kyntösyvyvyyttä (Räty ym. 2014)



Kuva 4. Esimerkki nautakarja-alueen vesistökuormituksen vähentämistoimenpiteiden vaikutuksista. A) Kiuruveden, Nivalan ja Vieremän peltojen viljavuusfosforin pitoisuuden muutos 1995–2015. Lähde Viljavuuspalvelun tilastot. B) Luken huuhtoumakentillä (Jokioinen, Maaninka, Toholampi) mitattu nurmipeitteisten kasvustojen kokonaisfosforin vuosikuormitus pintavalunnassa vuosien 1994 - 2025 aikana. Kaksi poikkeuksellisen korkeaa havaintoa poistettu kuvan selvyyden vuoksi. N = 97. C) Maatalouskuormitteisen Onkiveden (Pohjois-Savo) kokonaisfosforipitoisuuden kehitys 1983–2024 (Koski-Vähälä & Virkajärvi 2024).

Nurmen perustaminen suojaviljaan tapahtuu usein kyntämällä tehtävän muokkauksen jälkeen, mikä vähentää liuenneen fosforin huuhtoumaa pysyvään kasvipeitteisyyteen verrattaessa, mutta voi lisätä maa-ainesfosforin kuormaa muokkauksen jälkeisenä talvena. Nurmivuosina keväällä annettava mineraalifosfori annetaan nurmen pintaan. Myös lietteen fosfori annetaan hyvin yleisesti joko maan pintaan tai pintamaahan sijoittaen. Niinpä liuenneen fosforin kuorma voi asteittain lisääntyä pintaan tai maan pintakerrokseen kertyvän fosforin vuoksi; tätä lisää myös kasvinjätteiden jääminen pellon pintaan. Toisaalta nurmivuosina elävä kasvipeite vähentää eroosiota tehokkaasti ja käyttää syksyllä maahan jäänyttä tyyppä ja fosforia kasvuunsa ja varastoi niitä solukoihinsa talven yli kevätkasvu varten. Nurmen päättäminen kyntämällä tasoittaa maan pintakerroksen ja muun kyntökerroksen helppoliukaisen fosforin määrät ja vähentää siten liuenneen fosforin huuhtoumaa, mutta

tyypillisesti kasvattaa typen huuhtoutumista. Jos maan P-luku on niin alhainen, ettei karjanlannassa annettava fosfori riitä nurmisadon tuottamiseen, voisi nurmikierron pääasialliseen fosforilannoituksen tekeminen varastolannoituksena perustamisen yhteydessä todennäköisesti alentaa huuhtoutumisriskiä.

Merkittävää on, että monivuotinen nurmi pystyy käyttämään pellon ns. perintöfosforia eli sellaisia aiemman lannoituksen mukana kertyneitä maan fosforijakeita, joita aiemmin pidettiin kasville heikosti käyttökelpoisina (Louhisuo et al. 2024). Tämä alentaa merkittävästi tarvetta lisätä mineraalifosforia nurmen lannoitteena, eli kyseessä on *Win-Win* tilanne, jos maassa on tarpeeksi perintöfosforia. Jos samalla loholla viljellään myös fosforin suhteen vaateliaita kasveja, kuten kevätohraa, on niiden fosforin tarve ja sen merkitys tilan talouteen otettava huomioon (Termonen ym. 2024).

Pellon pintakerroksen fosforipitoisuuden alenemisen ohella toinen keino vähentää sekä typpi- että fosforikuormitusta nurmilla on lietelannan syyslevityksen välttäminen (Liite 2). Lietteen varastokapasiteetin suurentaminen aiheuttaa luonnollisesti kustannuksia, mutta tätä lieventää ravinteiden, erityisesti typen parempi hyödyntäminen. Jos lisäkapasiteetti ratkaistaan etäsäiliön rakentamisella, se myös helpottaa lietteen kuljetusta tiluksilla.

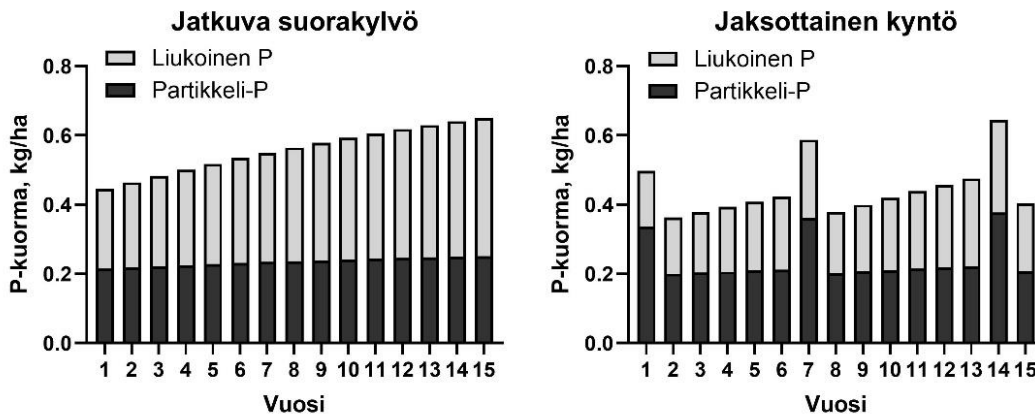
Laitumilta huuhtoutuu niitonurmia enemmän fosforia (Saarijärvi et al. 2007), ja todennäköisesti huuhtomat lisääntyvät voimakkaasti, mikäli laiduntaminen jatkuu myöhään syksyllä. Mineraalilannoitetuilla nurmilla kuormitus on oleellisesti vähäisempää kuin lietelannoitetuilla nurmilla.

Turvemailla ja laidunkäytössä erityisesti fosforin kuormitus on suurempaa kuin karkeilla kivennäismailla. Eri peltoviljelytoiminen lisäksi on syytä kiinnittää huomiota pistemäisiin ravinnekuormituslähteisiin. Näitä ovat mm. jaloittelutarhojen, karjapihojen ja kulkureittien hulevedet, sekä vuotavat rehuvarastot, lantalat ja lietesäiliöt sekä myös hylätyt rehupaalit.

Suojavyöhykkeiden ja luonnonhoitopeltojen maanpäällisestä kasvibiomassasta vapautuu liukoista fosforia, kun biomassassa vuoron perään jäätyy ja sulaa (Uusi-Kämpä ym. 2012). Suurinta vapautuminen on nuorista kasvosista kuten kasvukauden loppupuoletta niitetyistä kasvustoista verrattaessa kasvukauden alkupuoletta niitettyihin kasvustoihin. Toisaalta aikaisin korjatuissa kasvustoissa voi syksyllä olla runsaasti fosforia, koska biomassan määrä on suuri verrattuna myöhään korjattuihin biomassoihin. Luken laboratoriossa tehdyissä jäätymis-sulamis-kokeissa havaittiin, että neljän, viiden peräkkäisen jäätymis-sulamis-syklin aikana kuiva-ainetonnista biomassaa vapautui fosforia 0,7–2,8 kg, josta suurin osa oli liukoisessa muodossa. Tämän perusteella nurmibiomassojen poiskorjaaminen ja hyödyntäminen tuotannollisessa toiminnassa on suositeltavaa liukoisten ravinnehuuhtoumien hillitsemisen kannalta.

Yksivuotisten kasvien viljelyssä maan muokkaus vuosittain on perinteisesti ollut yleistä, koska se helpottaa mm. rikkakasvien torjuntaa. Usein maanmuokkaus on tehtävä syksyllä ja se altistaa maan eroosiolle, erityisesti leutoina talvina. Suorakylvö, jossa uusi kasvusto kylvetään edellisen kasvuston sänkeen minimaalisesti maan pintaa rikkoen, vähentää eroosiota tehokkaasti, mutta lisää ajan myötä liuenneen fosforin huuhtoutumaa. Suorakylvö myös edellyttää suurempaa kemiallisen kasvinsuojelun käyttöä kyntöön verrattuna. Ratkaisuna liuenneen fosforin lisääntyvään kuormaan olisi suorakylvöpeltojen kyntö 5–7 vuoden välein (Smith ym. 2007; Uusitalo ym. 2024). Liitteessä 1 on APLE-mallilla tehtyjä laskentaesimerkkejä siitä, kuinka toistuva suorakylvö, tai 6–7 vuoden välein toteutettu suorakylvön kanssa jaksotettu kyntö, muuttaa fosforikuormitusta vuosittain toteutettavaan kyntöön verrattuna. Esimerkkien perusteella toistuvan suorakylvön hyödyt tulevat näkyviin kaltevilla mailla (suuri eroosioherkkyys), mutta suorakylvön ajoittainen kyntö tuottaisi toistuvaa suorakylvöä pienempää rehevöittävää kuormaa vähäisen eroosioriskin mailla (kuva 5). Valtaosaltaan Suomen peltoala on melko tasaista (alle 2 %:n kaltevuus), minkä vuoksi kategorinen eroosiontorjuntaan keskittyminen koko peltoalalla ei ole optimaalinen strategia rehevöittävän kuorman vähentämiseksi. Lisäksi fosforikuorman vähentämisen kustannus pienenee selkeästi siirryttäessä tasaiselta kaltevalle pellolle; Puustinen ym. (2019) arvioivat KUTOVA-mallin tuloksiin pohjautuen, että tasaisella pellolla fosforikilon poisto maksaisi keskimäärin 990 euroa vuodessa, kun kustannus kaltevalla (yli 6 %) pellolla olisi keskimäärin 90 euroa. Viljelijöiden

kokemuksen mukaan suorakylvetty maa ilman kylvömuokkausta kestää syksyllä painavia koneita paremmin kuin maa, joka on muokattu edellisenä syksynä tai/ja ennen kylvöä.



Kuva 5. Vähän syöpyvän (eroosikuorma syyskynnössä 200 kg/ha) hietamaan fosforikuorma APLE-mallin mukaan, jos pelto on 15 vuoden ajan jatkuvassa suorakylvössä (vasen kuva), tai jos suorakylvövuodet jaksotetaan kyntämällä 6–7 vuoden välein (oikea kuva).

Pelkästään viljelykäytäntöjä muuttamalla ei siis päästä siihen, että eroosiofosforin ja liuenneen fosforin huuhtoumat vähenisivät samanaikaisesti. Koska eroosioaineksen fosforistakin osa muuttuu lopulta liuenneeksi ja eroosiofosforin kuormitusta talviaikaan voidaan vähentää hyvin merkittävästi siirryttäessä vuosittaisesta syyskynnöstä kasvipeitteiseen maahan, on suorakylvön ja ajoittaisen kynnön yhdistelmä suositeltava ratkaisu. Liuenneen fosforin huuhtoutumisen kasvu saadaan katkaistua kyntövuosina ja muun ajan pysyvä kasvipeitteisyys vähentää eroosioaineksen mukana kulkeutuvaa fosforia (Uusitalo ym. 2024).

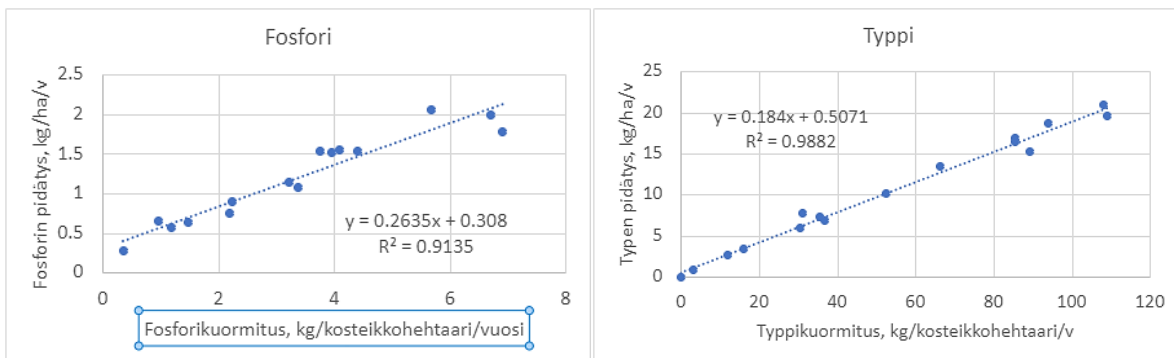
Myös maanparannusaineita voidaan käyttää eroosioherkkyyden vähentämiseksi. Kipsillä (joka ei sovellu järvien valuma-alueille tai pohjavesialueille), rakennekalkilla ja metsäteollisuuden kuiduilla on kenttäkokeissa saatu huomattava (30–50 %) vähenemä maa-ainesfosforin kulkeumaan useiden vuosien aikana (Ekholm ym. 2012; Uusitalo ym. 2012; Ulén ja Etana 2014; Rasa ym. 2021). Kipsi vähentää myös liukoisen fosforin ja hiilen kulkeutumista valumaveden mukana (Ekholm ym. 2022). Maanparannusaineen muokkaamisen (10–12 cm) takia eroosio saattaa aluksi lisääntyä verrattuna käsittelemättömään kasvipeitteiseen maahan. Maanparannusaineiden käsittelykustannus (aineen hankinta, kuljetus, väliarastointi ja levitys) on kuitenkin useita satoja euroja hehtaaria kohden. Kuidun suuren käyttömäärän (25–40 tn/ha) ja suurten kuljetuskustannusten takia kuitu on sitä kalliimpaa, mitä kauempana käsiteltävä pelto sijaitsee kuidun syntypaikasta. Kipsin ja rakennekalkin kohdalla käsittelykustannus on pienempi kuin kuidulla niiden pienemmän levitysmäärän takia (kipsi 4 tn/ha ja rakennekalkki 4–4,5 tn/ha).

3.2. Kuormituksen vähentäminen metsätalousmaalta

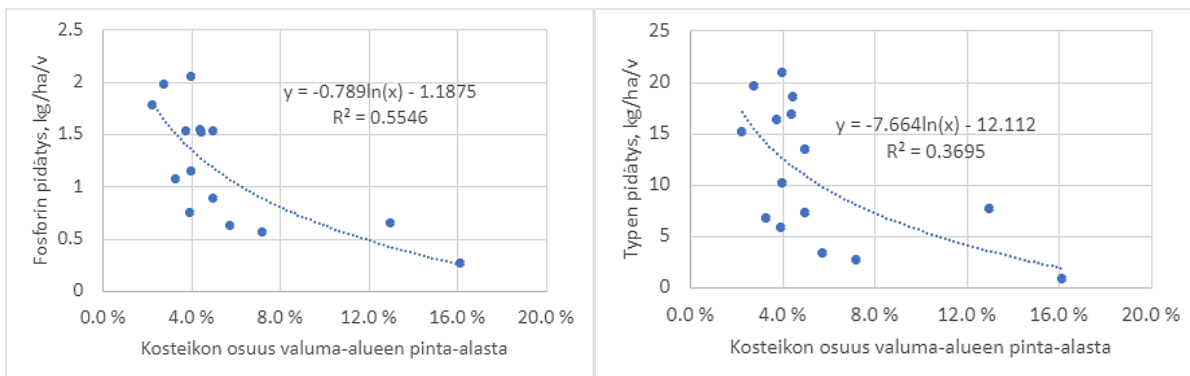
Metsätalousmaiden osalta keskityttiin siihen, kuinka paljon kuormitusta voitaisiin vähentää siirtymällä siihen soveltuvilla metsikkökuvioilla avohakkuihin perustuvasta jaksollisesta kasvatuksesta poimintahakkuihin soveltuvaan jatkuvapeitteiseen kasvatukseen. Kaikista tarkastelluista metsikkökuvioista noin 39 % katsottiin soveltuvan poimintahakkuihin. Näistä kivennäismaita oli 87 % ja ojitettuja turvemaita 13 %. Kohteita, joissa poimintahakkuun mukainen metsänkasvatus tuotti paremman taloustuloksen kuin jaksollinen kasvatus ja vesistökuormitus oli korkeintaan yhtä suuri kuin jaksollisessa kasvatuksessa, oli noin 33 % kaikista poimintahakkuihin soveltuvista metsikkökuvioista. Näillä kohteilla siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen vähensi fosforikuormitusta keskimäärin 7,8 grammaa/ha/vuosi ja typpekuormitusta 82,6 grammaa/ha/vuosi.

3.3. Kuormituksen vähentäminen maa- ja metsätaloudesta kosteikkojen avulla

Kosteikoille pidättyi sitä enemmän typpeä ja fosforia, mitä suurempi kuormitus niille kohdistui (Kuva 6). Huomattavaa on kuitenkin, että vaikka kosteikot pidättivät typpeä ja fosforia tehokkaasti, osa kuormituksesta edelleen huuhtoutui kosteikon kautta vesistöön eli täysin ei niilläkään pystytä kuormitusta torjumaan. Kosteikon läpi virtasi suhteessa sitä enemmän typpeä ja fosforia, mitä suurempi kuormitus niille kohdistui kosteikkohehtaaria kohden. Vaikka laaja-alaiset kosteikot voivat olla selvästi tehokkaampia ravinteiden pidättäjiä kuin hyvin pienialaiset kosteikot, pienillä kosteikoilla pidättyminen kosteikkohehtaaria kohden on kuitenkin tehokkaampaa kuin laaja-alaisilla kosteikoilla (Kuva 6).



Kuva 6. Typen ja fosforin pidättyminen kosteikoille suhteessa niille kohdistuvaan kuormitukseen.



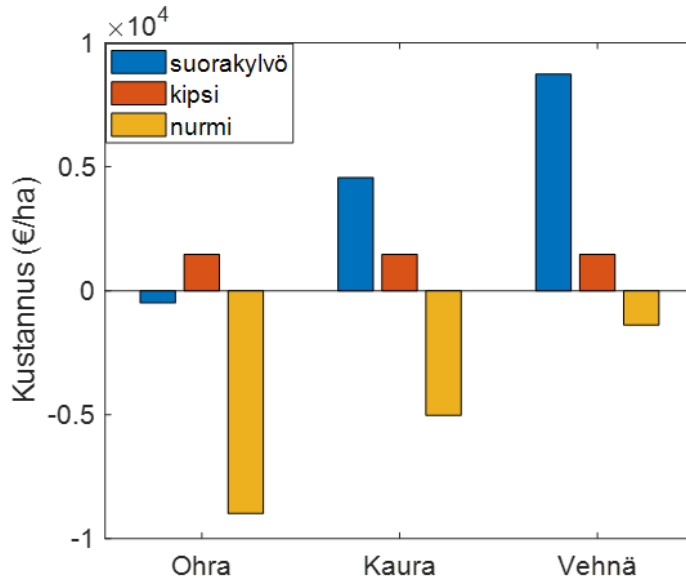
Kuva 7. Typen ja fosforin pidättyminen kosteikoille suhteessa niiden pinta-alaan (% valuma-alueen pinta-alasta)

3.4. Kuormituksen vähentämisen kustannukset ja kustannusvaikutukset

3.4.1. Maatalous – toimenpiteiden kustannuslaskelmia

Maatalouden osalta kustannukset laskettiin ns. perustapauksen ja vesiensuojelullisesti paremman tapauksen nettonykyarvojen erotuksena ajanjaksolla 2022–2100. On huomattava, että mallinnuksen antamat lukuarvot ovat pitkän ajan aikana kertyviä, diskontattuja summia, joita verrataan toisiinsa. Suorakylvö aiheutti kustannuksia kauran ja vehnän tapauksessa jokasyksyiseen kyntöön verrattuna. Erityisesti vehnän kohdalla kustannukset olivat korkeat, yli 8700 €/ha. Ohran kohdalla taas suorakylvö ei aiheuttanut kustannuksia lainkaan, vaan lisäsi viljelijän tuottojen nettonykyarvoa hieman, noin 490 €/ha. Kipsin käyttö aiheutti viljelijälle kustannuksia kasvista riippumatta noin 1467 €/ha, koska oletuksena oli, että kipsi ei vaikuta viljasatoon. Kipsin kohdalla on otettu huomioon, että se pysyy efektiivisenä viisi vuotta (Sihvonen ym. 2020). Nurmelle siirtyminen puolestaan oli erittäin kannattavaa jokaisen kasvin kohdalla, koska oletuksena oli, että rehulle on olemassa kysyntää eli sillä on hinta. Lisäksi säilörehun kuiva-ainesadot hehtaaria kohden ovat korkeammat kuin viljan

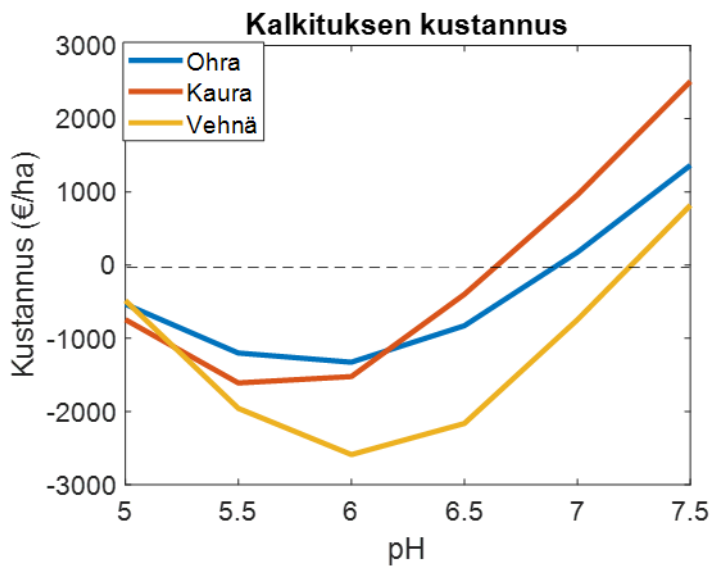
hehtaarisadot. Siten nurmisäilörehu on taloudellisesti ja tuottavuudeltaan kilpailukykyinen rehu verrattuna viljoihin. Nurmirehun hinnan määrittämiseen käytettiin (MTT, 2021) Internet-pohjaista ”Paalilaskuria” (ruohopaalilaskuri). Hinta perustuu rehuenergiasisältöön käyttämällä vertailurehuna rehuohraa ja olettamalla, että nurmirehun kuiva-ainepitoisuus on 40 %. Todellisuudessa nurmelle ei välttämättä löydy ostajaa, ellei lähistöllä ole rehua käyttävää karjaa, jolle rehua ei tuoteta omalla tilalla riittävästi.



Kuva 8. Suorakylvön, kipsin levityksen, ja nurmelle siirtymisen vaikutukset nettonykyarvoon ohran, kauran ja vehnän tapauksessa Sihvosen ym. (2018, 2020) mallilla arvioituna. Laskelmissa aikahorisontti on 2022–2100 ja diskonttokorko on 3 %. Kuvassa negatiivinen kustannus tarkoittaa voittoa.

Tarkastelimme myös DEMCROP-mallilla nurmen kustannuksia. Myös tällä tarkastelulla päädyttiin samaan johtopäätökseen, että nurmelle siirtyminen aiheuttaa negatiivisia kustannuksia, jos rehulla on hinta. Voittoa tuli 28983 €/10 ha nettonykyarvona 30 vuoden ajalta.

Kalkituksen vaikutus viljelijän voittoon riippuu maaperän pH-arvosta. Jos pH arvo on alle kasvikohtainen-optimin, kalkitus hyödyttää satoa ja on täten viljelijälle kannattavaa kustannuksesta huolimatta. Mallinnuksessa kalkitus oletettiin tehtävän vuosittain ja täten myös kustannukset realisoituvat vuosittain. Kun pH ylittää optimitason, ei sen lisääminen enää tuo lisähyötyä viljelijälle ja täten se alkaa vaikuttaa viljelijän voittoihin negatiivisesti.



Kuva 9. Kalkituksen vaikutukset nettonykyarvoon ohran, kauran, ja vehnän tapauksessa Sihvonen ym. (2018, 2020) mallilla arvioituna. Laskelmissa aikahorisontti on 2022–2100 ja diskonttokorko on 3 %. Kuvassa negatiivinen kustannus tarkoittaa voittoa.

Lannan varastoinnin kustannuksia on arvioitu KTBL-raportissa (18/19 sivulla 152). Nestemäisen lannan varastoinnin hinta lasketaan varastokapasiteetin ja rakenteen mukaan kaavalla:

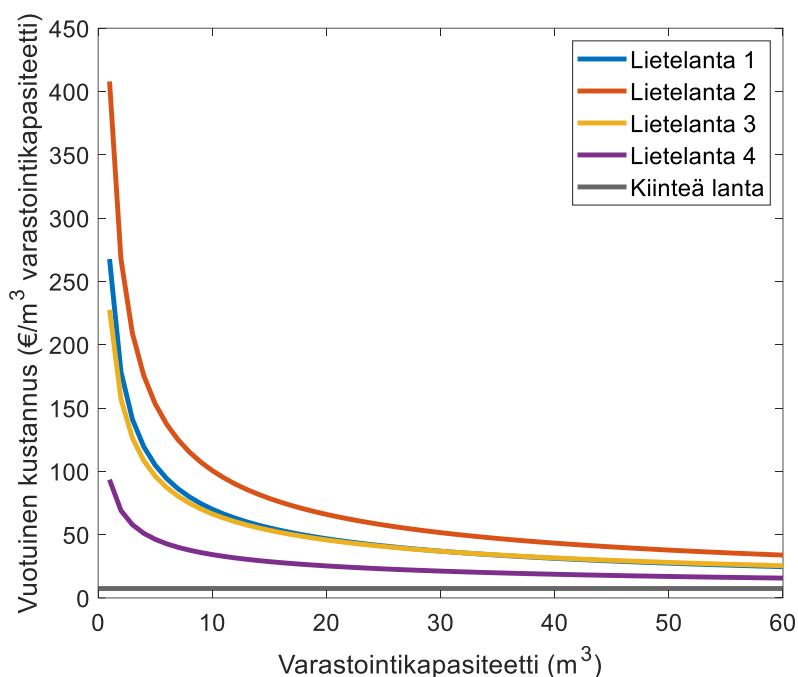
$$c_l = ax^b$$

missä c_l on lietelannan vuotuinen varastointikustannus per m^3 ; x varastokapasiteetti, m^3 ; a ja b ovat kertoimia, joiden arvot riippuvat varaston materiaalista. Jos lietelannan on tehty betonista, valettu paikoilleen, ja se on maan tasalla, niin $a=267,63$ ja $b=-0,582$. Jos lietevarasto on tehty betonielementeistä, sen 1 m syvyydellä maassa, ja siinä on vuotoilmais, niin $a=407,9$ ja $b=-0,608$. Jos lietevarasto on tehty teräselementeistä, ja se on maan tasalla, niin $a=227,55$ ja $b=-0,535$. Jos lietevarasto on laguuni, jossa PE-pohja ja siinä on vuodonilmais, ja se on aidattu, niin $a=93,43$ ja $b=-0,436$. Lietelannan kustannukset ovat varastokapasiteetin laskevia funktioita (Kuva 10). Toisin sanoen lietelannan varastoinnin marginaalikustannukset ovat laskevia.

Kiinteän lannan varastoinnin kokonaiskustannus lasketaan varastokapasiteetin ja rakenteen mukaan kaavalla

$$c_s = ax\rho$$

missä c_s on kiinteän lannan vuotuinen kokonaisvarastointikustannus; x varastokapasiteetti, m^3 , ρ on kiinteän lannan irtotiheys; a on parametri, jonka arvo on $9,33 \text{ €/m}^3/\text{v}$ jos kyseessä kiinteälantavarasto, jonka materiaali on betoni, ja kasakorkeus 1,5 m. Kiinteän lannan irtotiheys on $0,8 \text{ t/m}^3$. Kiinteän lannan varastoinnin marginaalikustannus on vakio (Kuva 10). Kiinteän lannan varastoinnin marginaalikustannus on huomattavasti matalampi kuin lietelannan varastoinnin marginaalikustannukset, etenkin pienen varastointikapasiteetin tapauksessa. Sen sijaan kiinteän lannan muuttuvat kustannukset, jotka liittyvät esim. lannan levitykseen, ovat huomattavasti korkeammat kuin lietelannan tapauksessa.



Kuva 10. Lannan varastoinnin kustannukset. Lietelanta 1: betoni, valettu paikoilleen, maan tasalle; lietelanta 2: betonielementti, 1 m maassa, vuotoilmais; lietelanta 3: teräselementit, maan tasalla; lietelanta 4: laguuni, PE-pohja, vuotoilmais, aidattu; kiinteälanta: kiinteälantavarasto, betonilevy, kasakorkeus 1,5 m (Lähde: KTBL-raportti (18/19 sivu 152).

3.4.2. Maa- ja metsätalouden kosteikot

Kosteikoiden perustamisesta aiheutui kustannuksia, jotka on esitetty taulukossa 3. Kustannukset sisälsivät ojien tukkimisen kustannukset ja nettotulojen (puunmyyntitulot — metsänhoidon kustannukset) menetykset. Kuten taulukosta 3 nähdään, vaihtelivat kosteikkojen perustamiskustannukset merkittävästi. Tämä johtui ensisijaisesti nettotulojen menetyksistä, jotka puolestaan yksinomaan riippuvat lähtötilanteen puuston määrästä kosteikon alueella, toisin sanoen siitä, että hakkuutulot menetetään, mikäli kosteikoista ei hakata puustoa. Tämä "sattumanvaraisuus" perustamiskustannusten osalta onkin yksi suurimpia haasteita: kosteikon sijainti määräytyy primaarisesti maaston topografian perusteella. Taulukosta 3 nähdään, että kosteikkojen hehtaariohtaiset perustamiskustannukset vaihtelivat merkittävästi: 304 ja 14 629 € välillä. Keskiarvona kosteikon hehtaariohtaiset perustamiskustannukset olivat 4 672 tai 5 728 €, riippuen valitusta aikajänteestä. Ojien tukkimisen kustannusten osuus kosteikon perustamiskustannuksista vaihteli 2 % (PVK 7) ja 100 % (PVK 16) välillä (aikajänne 30 vuotta), keskiarvon ollessa 16 %. Näin ollen, suurin osa kosteikon perustamiskustannuksista koostuu nettotulojen menetyksistä.

Taulukko 3. Kosteikkojen (PVK) perustamiskustannukset, kun nettotulojen menetykset (nykyarvossa) on määritetty 30 ja 50 vuodelle, €. Laskentakorkokanta 3 %. Kosteikoilta ei hakata puustoa.

Alue	PVK	30v	50v
Hälvänjoki	1 (7.17 ha) ¹⁾	51 682 (7 208) ²⁾	53 805 (7 504)
	2 (5.49)	36 005 (6 558)	40 567 (7 389)
	3 (4.41)	4 854 (1 101)	4 854 (1 101)
	4 (6.09)	9 951 (1 634)	19 427 (3 190)
	5 (1.48)	1 010 (683)	1 319 (891)
	6 (1.84)	5 840 (3 174)	8 181 (4 446)
	7 (2.00)	27 092 (13 546)	28 960 (14 480)
	8 (5.99)	11 087 (1 851)	32 934 (5 498)
	9 (1.42)	6 236 (4 391)	6 317 (4 449)
	10 (2.43)	22 184 (9 129)	22 184 (9 129)
	11 (3.09)	36 916 (11 947)	45 203 (14 629)
	12 (2.08)	6 858 (3 297)	7 484 (3 598)
	13 (3.59)	9 157 (2 551)	15 376 (4 283)
	14 (1.98)	2 463 (1 244)	2 640 (1 333)
	15 (3.64)	9 829 (2 700)	10 877 (2 988)
	16 (16.1)	4 893 (304)	4 893 (304)
Sorvasranta	20 (4.82)	40 217 (8 344)	46 905 (9 731)
	22 (2.34)	6 271 (2 680)	12 226 (5 225)
	23 (4.62)	20 897 (4 523)	24 249 (5 249)
	24 (4.85)	16 900 (3 484)	28 018 (5 777)
	25 (6.39)	49 608 (7 763)	58 120 (9 095)
keskiarvo	4.37 ha	18 093 (4 672)	22 597 (5 728)
hehtaariohtainen minimi, €/ha		304	304
hehtaariohtainen maksimi, €/ha		13 546	14 629

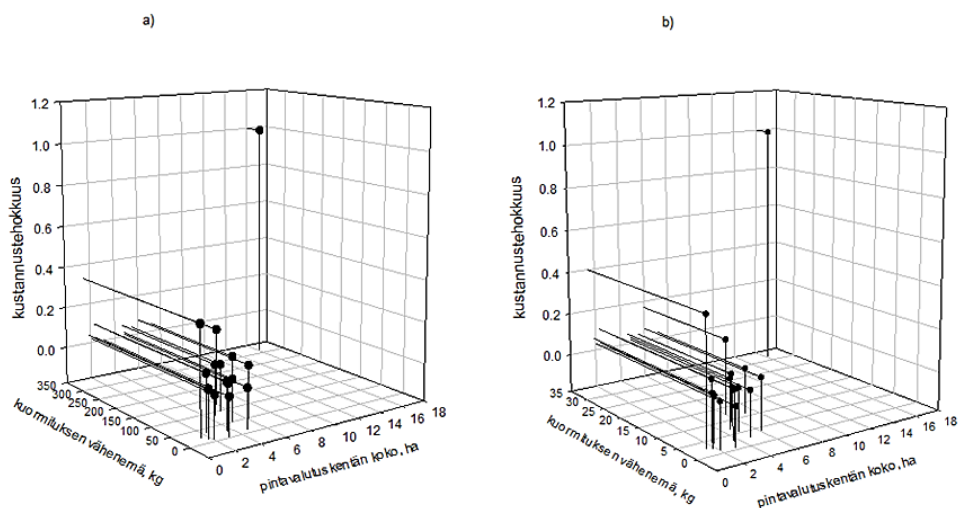
1) kosteikon pinta-ala, ha, ²⁾ kosteikon hehtaariohtainen perustamiskustannus, €/ha

Yllä olevassa laskelmassa on oletettu, että kosteikon alle jäävät metsät ovat metsänhoidon ulkopuolella – toisin sanoen, mitään toimenpiteitä ei tehdä. Siksi tarkasteltiin myös vaihtoehtoa, jossa kosteikon perustamisen yhteydessä puusto voidaan hakata, jos sitä on yli 100 m³/ha (Ks. Heinonen ym. 2017). Tarkasteluun otettiin siten vain kuusi kosteikkoa, koska muilla kosteikoilla puunmyyntitulot ylittivät perustamiskustannukset (ojien tukkiminen + nettotulojen nykyarvon menetys), jolloin ei muodostu aitoja kustannuksia. Analyysiin jääneillä kuudella kosteikolla nettoperustamiskustannukset vaihtelivat välillä 318–15 746 € (kun

perustamiskustannuksista oli vähennetty vuoden 0 hakkuuarvo). Alkuperäiset nettoperustamiskustannukset ko. kuudella kosteikolla vaihtelivat välillä 4 893–51 682 € (kun puustoa ei siis hakattu lainkaan).

Edellä taulukossa 3 esitetty lukuarvot edustavat ainoastaan kolikon toista puolta: tuotantokustannuksia. Kosteikkojen tehtävänä on ennen kaikkea pienentää vesistökuormitusta, joka määritettiin yhteensä 16 kosteikolle. Taulukosta 4 nähdään 16 kosteikon kokonaiskuormitusta pienentävä vaikutus typen (N) ja fosforin (P) osalta. Lisäksi taulukossa 4 esitetään kustannusvaikuttavuuden lukuarvo, joka kuvaa kosteikon kustannustehokkuutta suhteessa muihin kosteikkoihin. Lukuarvo sisältää siis sekä kosteikon perustamiskustannukset että kosteikon kuormitusta pienentävän vaikutuksen niin, että tarkasteluun sisällytettyjen 16 kosteikon kustannusvaikuttavuuden lukuarvoja voi verrata keskenään harhattomasti. Ylivertaiseksi kosteikoksi kustannustehokkuuden näkökulmasta tuli PVK 16, joka oli käytännössä perustettu puuttomalle suolle, jolloin perustamiskustannuksiin sisältyivät ainoastaan ojien tukkimisesta aiheutuneet kustannukset eli nettotulojen menetyksiä ei ollut. Tämän lisäksi PVK 16 oli laskennallisesti varsin tehokas vähentämään kuormitusta. Itseasiassa, PVK 16 typen kuormitusta vähentävä osuus vastasi noin 31 % kaikkien kosteikoiden yhteenlasketusta typen kuormitusta vähentävästä vaikutuksesta. Vastaavasti, huonoin kustannustehokkuus sekä typen että fosforin osalta oli kosteikolla 11, jossa perustamiskustannukset olivat suuret (Ks. taulukko 3), mutta kuormituksen vuotuiset pidätyslukuarvot varsin maltillisia: 2.7 kg typpeä ja 0.8 kg fosforia. Kosteikoiden aikaansaama kuormituksen pienentämisen absoluuttinen kustannus ottamalla huomioon kosteikon 30 vuoden aikana pidättämät ravinteet vaihteli typellä 0,52 ja 447,8 €/kg välillä (keskiarvo 41,6 €/kg), kun se fosforin kohdalla oli 5,1–1475 €/kg (keskiarvo 192,3 €/kg). Hälvänjoella kosteikkojen perustaminen vaikutti puun tarjontaan niin, että puuntarjonta pienentyi 0.1 %-8.4 % (keskiarvo 3.2 %).

Kustannukset on edellä laskettu tilanteessa, jossa kosteikolta ei poisteta puustoa. Mikäli puuston poisto sallittiin, kuormituksen pienentämisen absoluuttinen kustannus niillä kosteikoilla, joilla kustannuksia syntyi, vaihteli typellä välillä 0,40–26,7 €/kg (keskiarvo 6,5 €/kg) ja fosforilla 3,2–124,7 €/kg (keskiarvo 43,1 €/kg). Huomattavaa kuitenkin on, että useimmilla kosteikoilla ei tällöin syntynyt lainkaan kustannuksia eli puunmyyntitulot ylittivät kosteikon perustamisen kustannukset silloin, kun kosteikolta oli mahdollista korjata puustoa kosteikon perustamisen yhteydessä. Kuvassa 11 kosteikoiden kustannustehokkuus esitetään kosteikon pinta-alan ja kuormitusta vähentävän vaikutuksen funktiona.



Kuva 11. Kosteikoiden kustannustehokkuus pinta-aluekentän pinta-alan ja kuormitusta vähentävän vaikutuksen funktiona: a) typen ja b) fosforin mukaan. Kustannustehokkuus 1.0 = kustannustehokkain pinta-aluekenttä (PVK 16).

Taulukko 4. Kosteikoiden (PVK) kustannustehokkuus, pinta-ala (ha) ja kuormituksen vuotuiset vähenemät (kg/vuosi). Taulukossa kustannustehokkuuden lukuarvo 1 kuvaan kustannustehokkainta kosteikkoa. Lukuarvot koko aineistolle (kaikki kosteikot, joille määritetty kuormituslukuarvoja).

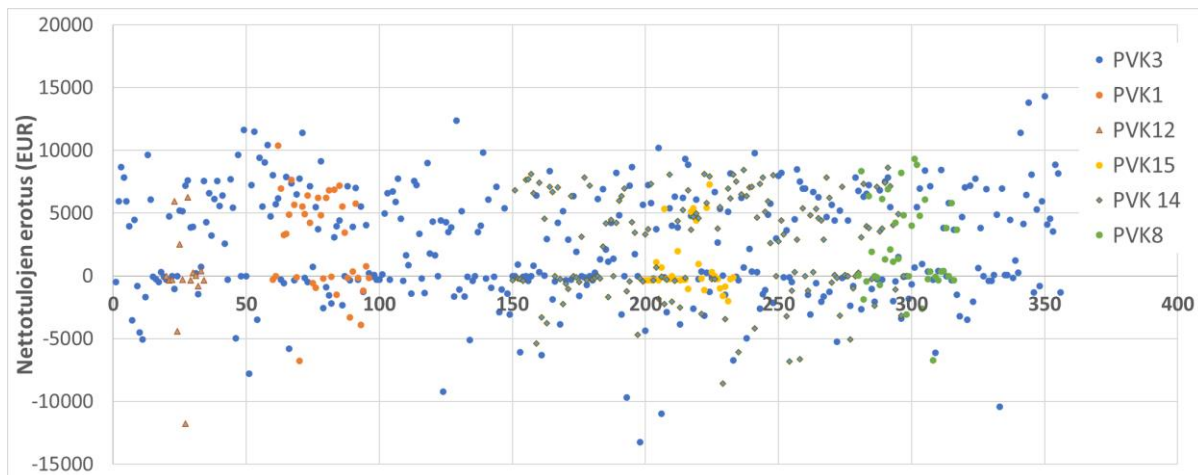
Alue	PVK (pinta-ala, ha) ¹⁾	N (typpi)		P (fosfori)	
		Kustannustehokkuus ²⁾ Kuormituksen väheneminen ³⁾		Kustannustehokkuus Kuormituksen väheneminen	
Hälvän joki	1 (7,17)	0,04	120,7	0,03	11,1
	2 (5,49)	0,04	99,8	0,04	9,4
	4 (6,09)	0,07	47,2	0,06	4,0
	5 (1,48)	0,33	21,8	0,40	2,6
	6 (1,84)	0,04	14,4	0,06	2,3
	8 (5,99)	0,18	125,3	0,17	12,3
	10 (2,43)	0,02	33,1	0,03	3,8
	11 (3,09)	0,001	2,7	0,001	0,8
	12 (2,08)	0,02	7,1	0,03	1,3
	13 (3,59)	0,04	21,4	0,05	2,7
	15 (3,64)	0,04	26,4	0,05	3,2
	16 (16,1)	1	315,4	1	31,9
Sorvas ranta	20 (4,82)	0,02	49,1	0,02	5,5
	22 (2,34)	0,09	35,0	0,10	4,1
	23 (4,62)	0,06	86,0	0,05	7,0
	24 (4,85)	0,01	12,9	0,03	2,8

¹⁾ kosteikon alle jäävä pinta-ala, ²⁾ kustannustehokkuus-lukuarvo laskettu siten, että kosteikon kokonaiskustannukset (ojien tukkiminen + tulonmenetykset) on jaettu kosteikon aiheuttamalla kuormituksen vähenemällä, joka suhteutettu pienimpään absoluuttiseen vähenemään (PVK 11), ³⁾ kuormituksen vähenemä ilmoitettu kiloina vuodessa, kg/vuosi.

3.4.3 Metsätalous

Metsänhoidolla aikaansaavat ympäristöhyödyt osoittautuivat suuruusluokaltaan absoluuttisesti huomattavasti pienemmiksi kuin esimerkiksi kosteikoiden vesistökuormitusta vähentävä vaikutus. Kun Hälvänjoen ja Sorvasrannan alueiden kosteikoilla pystyttiin yhteensä pienentämään vuotuista typen kuormitusta noin 1 000 kg (fosfori 10 kg), saatiin metsänhoidolla vastaavasti noin 30 kg (fosfori 3 kg) kuormituksen pienentymät niillä metsikkökuvioilla, joilla jatkuvapeitteinen metsänkasvatus oli vähintään yhtä kannattavaa kuin jaksollinen ja vesistökuormitus korkeintaan sama kuin jaksollisessa kasvatuksessa. Lisäksi on huomattava, että jatkuvapeitteinen kasvatus oli suhteellisen harvoin taloudellisesti kannattavampaa kuin jaksollinen niissä metsiköissä, joille poimintahakkuihin perustuvan jatkuvapeitteisen kasvatuksen katsottiin

soveltuvan. Tämän työn perusteella ei kuitenkaan kyetä tunnistamaan niitä metsiköitä, joissa jatkuvapeitteinen kasvatusta olisi jaksollista kasvatusta kannattavampaa ja samalla vähentäisi vesistökuormitusta.



Kuva 12. Jatkuvapeitteisen ja jaksollisen kasvatuksen nettotulojen erotus 356 metsikkökuviolla Hälvänjoen valuma-alueella. Negatiiviset luvut tarkoittavat, että jatkuvapeitteinen kasvatusta on jaksollista kasvatusta kannattavampaa.

3.4.4 Yhteenveto kustannusvaikutuksista

Maa- ja metsätalouden eri toimenpiteiden kustannustarkastelu osoitti, että monissa tapauksissa oikein kohdennetuilla toimilla voidaan tehokkaasti vähentää vesistökuormitusta ja samalla parantaa taloustulosta eli on saavutettavissa *Win-Win*-tilanne vesiensuojelun ja taloustuloksen näkökulmasta. Tällainen tilanne on esimerkiksi silloin, kun siirrytään herkästi syöpyvällä peltolohkolla ohran viljelyssä syyskynnöstä suorakylvöön tai kun kalkitaan peltoja, joilla maan pH on alle optimin. Siirtyminen viljanviljelystä nurmiviljelyyn paitsi vähentää kuormitusta on myös taloudellisesti kannattavaa silloin, kun nurmi hyödynnetään säilörehuna. Siirtyminen jaksollisesta metsänkasvatuksesta jatkuvapeitteiseen kasvatukseen voi myös sekä parantaa taloustulosta että vähentää vesistökuormitusta, mutta näiden *Win-Win*-tilanteiden tunnistaminen edellyttää lisätutkimuksia.

Monet kustannuksia aiheuttavat vesiensuojelutoimet olivat myös kustannustehokkaita siinä mielessä, että kustannuksia syntyi verraten vähän. Esimerkiksi ojitettujen soiden ennallistaminen kosteikoksi on kustannustehokas tapa vähentää maa- ja metsätalouden aiheuttamaa kuormitusta silloin, kun kosteikolle kohdistuu suuri ravinnekuormitus ja kun kosteikon puustolla on joko hyvin vähän arvoa tai mikäli puusto hakataan ja metsänomistaja saa hakkuutuloja ennallistamisen yhteydessä. Myös esimerkiksi kipsin käyttö on kustannuksista huolimatta perusteltu vesiensuojelutoimi rannikkoalueen pelloilla, koska se on melko helposti sovitettavissa viljelykiertoihin ja lisäysmäärä on kohtuullisen pieni. Lietteen syyslevityksen välttäminen voi myös olla hyvin tehokas keino vähentää vesistökuormitusta, mutta sen kustannustehokkuus riippuu hyvin voimakkaasti tarvittavasta varastokapasiteetista ja kapasiteetin lisäämisen kustannuksista.

Menetelmien kustannustehokkuutta arvioitaessa on otettava huomioon, että monien menetelmien tehosta ja kustannuksista ei vielä ole sellaista tietoa, että niiden osalta voitaisiin arvioida kustannusvaikuttavuutta esimerkiksi euroina vähennettyä fosforikiloa kohden. On selvää, että esimerkiksi lantaa pitäisi erityisesti Lounais- ja Varsinais-Suomessa siirtää pois tuotantoalueilta, mutta lannan hyödyntämisestä biokaasulaitoksissa ja sen lannoituskäytöstä muualla ei voi vielä tehdä kustannus/hyöty-analyysiä. On myös otettava huomioon, että monet yleisessäkin käytössä olevat vesiensuojeluratkaisut jätettiin tämän hankkeen tarkastelun ulkopuolelle yksinkertaisesti siksi, että niiden kustannustehokkuus on jo arvioitu heikoksi. Samoin on otettava huomioon, että joidenkin menetelmien tehokkuutta ei voitu arvioida siksi, että laskenta ei sitä mahdollistanut. Esimerkiksi virtaamansäätö- ym. padot voivat olla tehokas keino vähentää kuormitusta voimakkaasti syöpyvissä ojissa, mutta tällaista tiettyyn paikkaan kohdentuvaa täsmätarkastelua ei ollut mahdollista tehdä.

3.5. Epävarmuustarkastelu

Tässä työssä keskityttiin kirjallisuustarkastelun perusteella sellaisiin ratkaisuihin maa- ja metsätaloudessa, joilla voitaisiin kaikkein tehokkaimmin vähentää vesistökuormitusta isoilla pinta-aloilla. Siksi esimerkiksi vain tiettyyn suhteellisen pienillä pinta-aloilla toteutettavaan toimenpiteeseen, kuten kunnostusojitukseen liittyviä vesiensuojeluratkaisuja ei tässä työssä tarkasteltu.

Toinen syy useiden vesiensuojeluratkaisujen tarkastelematta jättämiseen oli se, että ne on jo osoitettu verraten heikkotehoisiksi (laskeutusaltaat, lietekuopat) tai että niistä ei ole riittävästi tietoa, jotta niiden tehokkuudesta voisi esittää kvantitatiivisia arvioita. Esimerkiksi turvepeltojen osalta ilmasto- ja vesistöpäästöjen hallintaa parantavat ratkaisut, kuten säätösalaoitus ja altakastelu edellyttävät vielä lisätutkimusta luotettavien kvantitatiivisten päästövähennysten arvioimiseksi.

Maatalouden ravinnehuuhtoumista turvemailta on ylipäättään huomattavasti vähemmän ajantasaista tietoa kuin kivennäismailta. Eri viljelytoimenpiteiden lukuisten mahdollisten kombinaatioiden vuoksi mallinnustarkastelu oli tässä työssä hyvä ratkaisu, mutta mallien ennustuskyykyyn liittyy vielä epävarmuuksia ja kehityskohteita (APLE, NURMAP). Yksi epävarmuustekijä liittyy erityisesti karjatilojen mahdolliseen pistekuormitukseen: Luonnonvarakeskuksen huuhtoumakenttien uusien tulosten mukaan fosforin huuhtoutuminen nurmilta on vähäisempää kuin vesistömallien (VEMALA) arviot. Yksi mahdollinen selitys on huuhtoumakenttien mittausten ulkopuolelle jäävä pistekuormitus, jonka merkitys voi olla paikoitellen hyvinkin suuri (Räty ym. 2023), mutta tutkimustiedon hankkiminen aiheesta on hankalaa.

Kolmas syy joidenkin ratkaisujen tarkastelematta jättämiseen oli se, että metsätalouden vesistökuormituksen laskenta ei tässä työssä toteutetulla tavalla mahdollista ojaeroosion huomioon ottamista eli esimerkiksi virtaamansäätöpatojen tarkoituksenmukaista sijoittelua ja niiden tehokkuuden arviointia ei tässä työssä voitu toteuttaa. Myöskään vesienhallinnan parantamisen vaikutusta kuormitukseen ei voitu tässä arvioida. On kuitenkin loogista ajatella, että mitä enemmän vettä voidaan pidättää valuma-alueelle, sitä pienempiä ovat vesistöön päätyvät ravinnekuormat. Vesien ravinnepitoisuudet vaihtelevat yleensä huomattavasti pienemmällä välillä vuodesta toiseen kuin vesimäärät, ja siten ravinnekuormien vaihtelu seuraa ennemminkin vesimäärän kuin pitoisuuksien vaihtelua. On merkkejä esimerkiksi siitä, että kaksitasouomat voisivat vähentää vesien tulvimista pelloille, mikä todennäköisesti vähentäisi kuormitusta paitsi vaikuttamalla suoraan kuormitukseen, myös mahdollistamalla syysviljan kylvämisen ja talviaikaisen kasvipeitteen, mikä voisi vähentää talviaikaista eroosiota merkittävästi. Samoin esimerkiksi metsävesien johtaminen vesistöön peltomaiden ohi voisi vähentää kuormitusta, mutta tätä ei tarkasteltu erityisesti siksi, että tutkimustuloksia tällaisesta ojitusjärjestelystä ei ole. Samoin tulevaisuudessa voi olla tarpeen varastoida vesiä ojitusalueille peltojen kesäaikaista kastelua varten, mutta tämänkin osalta tutkimukset ovat vasta alkuvaiheessa.

Ennallistettuja kosteikkoja perustettaessa merkittävin tiedon puute liittyy alkuvaiheen ravinnekuormitukseen. Heti kosteikoksi ennallistamisen jälkeen kosteikot voivat nimittäin pikemminkin lisätä kuin vähentää vesistökuormitusta. Näin ainakin silloin, jos kosteikolle kohdistuu hyvin vähän kuormitusta ja kosteikosta ennallistamistoimien vaikutuksesta huuhtoutuu ravinteita (Nieminen ym. 2020). Toistaiseksi ei kuitenkaan kyetä arvioimaan kosteikon perustamisen aiheuttaman kuormituksen suuruutta tai kestoa, koska tutkimustuloksia on vielä hyvin vähän. Huomionarvoista on kuitenkin se, että tämän tutkimuksen tulokset edustavat kosteikoiden osalta pikemmin tilannetta, jossa ennallistettu suo on jo muuttunut luonnontilaisen suon kaltaiseksi kosteikoksi kuin hiljattain ennallistetun kosteikon vaikutusta kuormitukseen.

Kosteikoiden typen- ja fosforinpidätys perustui malleihin, jotka on laskettu metsätalouden kuormittamille kosteikoille. Mikäli vastaaville kosteikoille kohdistuisi maatalouden kuormitusta, pidäytyminen (prosentteina kuormituksesta) voisi olla käytettyjä malleja tehokkaampaa erityisesti siksi, että kuormitus on suurempaa ja siksi, että suurempi osa kuormituksesta on epäorgaanista ja eroosioainekseen sitoutunutta kuin metsävalumavesissä, joissa suurin osa kuormituksesta on yleensä orgaanisessa muodossa. Orgaaniset aineet pidätyvät kosteikoille epäorgaanisia heikommin siksi, että kosteikot myös vapauttavat orgaanisia yhdisteitä valumavesiin. Tässä hankkeessa tarkasteltujen verraten suurten kosteikoiden (>2 % valuma-alueen pinta-

alasta) käytöstä vesiensuojelussa on aivan liian vähän tutkimustuloksia, jotta niiden pidätystehosta erilaisissa tilanteissa voisi esittää luotettavia arvioita. Yksi tärkeimmistä tutkimustarpeista tulevaisuudessa onkin selvittää ennallistettujen ja luonnontilaisten kosteikoiden pidätystehoa kosteikon ominaisuuksien sekä kuormituslähteiden ja valuma-alueen ominaisuuksien suhteen vaihtelevissa oloissa. On myös tärkeä selvittää sitä, voivatko kosteikot pidempiaikaisessa käytössä kyllästyä ravinteilla ja myös sitä, miten suuria kosteikoiden on vähintään oltava, jotta oikovirtaukset eivät heikennä kosteikoiden pidätystehoa.

3.6. Uusien kannustinjärjestelmien ominaisuudet ja niihin liittyvät haasteet

3.6.1 Kosteikot

Tämän työn perusteella on selvää, että kannustinjärjestelmän tulisi rohkaista maanomistajia muun muassa kosteikkojen perustamiseen. Tässä mielessä nykyinen metsätalouden kannustinjärjestelmä (Metka) on jopa huomattavasti kannustava kuin edeltäjänsä Kestävän metsätalouden rahoitusjärjestelmä (Kemera). Kemera-järjestelmässä maanomistaja ei nimittäin menettänyt hakkuutuloja, jos hän hakkasi metsää kosteikoksi ennallistettavalta ojitetulta suolta sen ennallistamisen yhteydessä. Useinhan metsää on perusteltua hakata ennallistamisen yhteydessä paitsi siksi, että maanomistaja saa katetta tekemälleen ojitusinvestoinnille myös siksi, että haihduttavan puuston poisto edesauttaa ojitetun suon kehittymistä kunnolliseksi vesiensuojelukosteikoksi. Nykyisin metsänomistajan saamat hakkuutulot otetaan huomioon niin, että ne vähennetään hänen saamistaan korvauksista. On ymmärrettävää, että näissä oloissa maanomistajat eivät ole halukkaita ennallistamaan ojitettuja puustoisia soita vesiensuojelukosteikoiksi, kun he palkitsemisen sijaan menettävät hakkuutuloja. Metsänomistajan on taloudellisessa mielessä siksi järkevämpää jatkaa metsätaloutta hyvinkin huonosti kannattavassa kohteessa ennemmin kuin ennallistaa se kosteikoksi. Selvää on, että tämä epäkohta Metka-kannustinjärjestelmässä tulisi korjata välittömästi jo ennen uusien kannustinjärjestelmien käyttöönottoa.

Lähtökohtaisesti uudessa kannustinjärjestelmässä voitaisiin maksaa maanomistajalle ympäristöhyötyjen tuottamisesta niin, että hän saisi korvauksen esimerkiksi typpi- ja fosforikuormituksen pienentämisestä, kun hänen mailleen perustetaan kosteikko. Jos (ja kun) kosteikko perustetaan usean maanomistajan alueelle, tulisi korvaus kullekin maanomistajalle esimerkiksi kosteikkoon kuuluvan osuuden (%) mukaisesti. Tämän raportin tulosten perusteella edellä kuvattu kannustinjärjestelmä on kuitenkin haastava määrärahojen suunnittelun näkökulmasta, sillä kosteikkojen sijainti määräytyy ensisijaisesti maaston topografian perusteella. Lopullisten perustamiskustannusten suuruus ei ole kosteikon suunnitteluvaiheessa vielä tiedossa. Suunnitteluvaiheessa tiedetään ainoastaan kosteikon sijainti ja tämän jälkeen voidaan laskea kosteikon pidätyslukuarvot. Tuolloin ei siis vielä tiedetä kosteikon kustannustehokkuutta, koska perustamiskustannusten laskentaa ei ole suoritettu. Kustannusvaikuttavuuden laskenta edellyttää sekä kuormitus- että talouslaskentaa, jotka molemmat ovat työläitä toteuttaa. Edellä kuvattu suunnittelun haasteellisuus tuli selkeästi esille tämän raportin laskelmissa: yhteenlaskettu (typpi + fosfori) kuormituksen vähentäminen maksoi pienimmillään noin 0,5 €/kg, suurimmillaan yli 400 €/kg, keskiarvon ollessa noin 25–33 €/kg (tarkastelujakso 30 vuotta tai 50 vuotta). Jos aineistosta poistetaan kustannustehokkuudeltaan paras ja huonoin pintavalutuskenttä, on keskiarvo 11 tai 14 €/kg, riippuen tarkastelujaksosta (30 v. tai 50 v.).

Etukäteen on kuitenkin lähes mahdotonta sanoa, mikä kosteikko olisi kustannusvaikuttavin – ilman laskelmia. Toisaalta etukäteen voidaan arvioida tiettyjä kosteikon ominaisuuksia, jotka vaikuttavat perustamiskustannuksiin. Näitä ovat puuston tilavuus ja kosteikon koko: mitä suurempi puusto ja mitä isompi pintavalutuskentän pinta-ala, sitä kalliimmat ovat perustamiskustannukset. Tämä ei kuitenkaan vielä riitä, sillä kustannustehokkuuteen vaikuttaa myös kosteikon kyky pienentää kokonaiskuormitusta. Kosteikon tehokkuuden arviointi etukäteen on hyvin vaikeaa – jo senkin takia, että kosteikon sijainti määräytyy ikään kuin eksogeneisesti, maaston topografian perusteella.

Toisaalta, kun tuloksia erilaisten kosteikoiden pidätystehosta erilaisissa tilanteissa saadaan kattavasti, pystytään todennäköisesti luomaan yksinkertaiset ennustemallit kosteikoiden tehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä. Samoin, jos kosteikoiden alueelta voidaan korjata puusto kosteikon perustamisen yhteydessä, kosteikon perustamisen kustannukset laskevat hyvin alhaisiksi. Kosteikon perustamisen kannustimia kehitettäessä tulee ottaa huomioon myös se, että kosteikot eivät ole merkityksellisiä vain vesiensuojelun näkökulmasta, vaan niillä on hyvin paljon merkitystä myös monimuotoisuudelle. Pitkällä aikavälillä ennallistetut kosteikot myös vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä. Samoin kannustimia kehitettäessä tulee ottaa huomioon, että vaikka kosteikoiden perustaminen synnyttää kustannuksia, kosteikot ovat tämän työn perusteella kuitenkin kustannustehokas ratkaisu maa- ja metsätalouden vesistökuormituksen vähentämiseen. Näin ollen, kosteikkojen perustamiseen on ensisijaisesti perusteltua rakentaa tukijärjestelmä, jossa järjestelmä lähtökohtaisesti kannustaa ympäristöhyötyjen tuottamiseen (ts. kuormituksen vähentäminen). Tilanteissa, joissa kosteikon perustamisen ajanhetkellä puustolla on hakkuuarvo, voi metsänomistaja hyödyntää puuston arvon realisoimalla sen.

Lähtökohtaisesti vesiensuojelukosteikot jäisivät aktiivisen metsätalouden ulkopuolelle, jotta metsänkäsittelyt eivät vaaranna niiden kuormituksenpidätyskykyä, mutta taloudellisen toiminnan harjoittaminen niillä ei välttämättä ole täysin poissuljettua. Kohteesta riippuen, esimerkiksi kosteita oloja sietävien puulajien, kuten hieskoivun kasvattaminen kosteikkoviljelyperiaatteella on periaatteessa mahdollista vesiensuojelukosteikoilla.

3.6.2 Maa- ja metsätalouden toimenpiteet

Maatalouden ravinnekuormien vähentämisessä kohdataan haasteita, jotka liittyvät eri toimenpiteiden kohdentamiseen niille aloille, joilla toimista saadaan parhaat hyödyt. Perinteisesti eroosiontorjunta on nostettu tärkeimmäksi vesiensuojelukeinoksi, koska partikkelifosfori muodostaa usein suurimman jakeen fosforin kokonaiskuormasta. Tällöin jätetään kuitenkin huomiotta se, että liukoinen fosfori on selkeästi voimakkaammin vesistöjä rehevöittävä muoto partikkelifosforiin verrattuna, koska sen biologinen käyttökelpoisuus on 100 %; partikkelifosforin biologisen käyttökelpoisuuden arvioidaan usein olevan 30–60 %, riippuen eroosioaineksen ominaisuuksista. Jos eroosiontorjuntaa tehdään lähtökohtaisesti pienen eroosioriskin pellolle ja pellon pintamaahan luonnostaan muodostuvaa fosforigradienttia ei välillä pureta syvemmällä muokkauksella, tuloksena voi olla liuenneen fosforin kuorman selkeä kasvu, jota vähäinen eroosion väheneminen ei kompensoi. Kun valtaosalla peltoalaamme eroosio on korkeintaan kohtalaista, on olemassa riski sille, että rehevöittävää kuormaa ei vähennetä lainkaan. Esimerkkejä rehevöittävän kuorman kasvusta huonosti kohdennetun eroosiontorjunnan seurauksena löytyy Pohjois-Amerikan suurten järvien valuma-alueilta (Baker ym. 2017; Jarvie ym. 2017) ja kehityksellä on selviä yhtymäkohtia Suomessa (ja laajemminkin Euroopassa) tapahtuneeseen kehitykseen (Iho ym. 2023).

Pysyvän kasvipeitteen liuennutta fosforia kasvattava vaikutus nähdään myös pitkäikäisillä suojavyöhykkeillä (Uusi-Kämpä ym. 2000, Uusi-Kämpä & Jauhiainen 2010). CAP:in suojavyöhykekasvustot pitää korjata vuosittain, jolloin liukoisen fosforin huuhtoutumispotentiaali pienenee. Luonnonhoitopelloilla on liukoisen fosforin huuhtoutumisen osalta samanlainen tilanne, mutta niiltä kasvustoa ei CAP:in mukaan määrätä korjattavan. Kasvuston niittäminen tai murskaaminen riittää. Osasyynä käytäntöön lienee se, että korjattaville kasvustoille ei ole ollut tuotannollista käyttöä. Jatkossa biokaasulaitosten yleistymisen ja niissä käytettävän nurmibiomassan lisääntyvä käyttömahdollisuus tulevat osaltaan helpottamaan suojavyöhykebiomassojen hyödyntämistä. Tulevaisuudessa myös luonnonhoitopeltojen kasvustot olisi hyvä saada korjausvelvoitteen piiriin, jollei niitä voida hyödyntää esim. viherlannoitteena seuraavalle satokasville.

Metsätalouden osalta kannustinjärjestelmien luomisessa ongelmana on, että kuormitus on useimmiten niin paljon maatalouden kuormitusta vähäisempää, että kuormituksen hillintä ei johda merkittäviin hehtaarikohtaisiin kuormitusvähennyksiin. Samoin kosteikoihin verrattuna metsätalouden käytäntöjen muuttaminen vaikuttaa kuormitukseen hyvin vähän. Joissakin tapauksissa on kuitenkin mahdollista saavuttaa WIN-WIN-tilanne esimerkiksi siirtymällä jatkuvapeitteisestä kasvatuksesta jaksolliseen kasvatukseen eli

kuormituksen vähentyessä metsätalouden taloustulos samalla paranee. Toistaiseksi ei kuitenkaan kyetä tunnistamaan niitä tilanteita, joissa näin käy. *Win-Win*-tilanteiden tunnistamiseksi tarvitaan todennäköisesti malleja, jotka kuvaavat spatiaalista metsikkörakennetta - eivät pelkästään metsikön keskimääräisiä puustotunnuksia. Kun näiden *Win-Win* -tilanteiden tunnistaminen helpottuu, kannustinjärjestelmillä tulisi pyrkiä ohjaamaan metsätaloutta niin, että jatkuvapitteiseen kasvatukseen soveltuissa kohteissa siihen kannustetaan enemmän kuin jaksollisen kasvatuksen harjoittamiseen.

Vaikka metsätalouden kuormitus on hehtaarikohtaisesti tarkasteltuna huomattavasti pienempää kuin peltomaiden kuormitus, on kuitenkin otettava huomioon, että metsäpinta-alaa on usein niin paljon enemmän kuin peltoalaa, että metsätalouden aiheuttamalla kuormituksella on merkitystä vesistöön päätyvän kuorman kannalta. Siksi myös metsätalouden aiheuttamaa kuormitusta tulee pyrkiä vähentämään, vaikka se ei aina olisi kovinkaan kustannustehokasta. Kustannustehokkaimmin kuormitusta pystytään vähentämään kosteikoiden avulla sekä todennäköisesti padottamalla vesiä sellaisissa ojissa, jotka syöpyvät voimakkaasti, samoin kuin välttämällä ojitusta ja maanmuokkausta sekä laaja-alaisia avohakkuita. Monien nykyisin yleisessä käytössä olevien vesiensuojeluratkaisujen kustannustehokkuus on kuitenkin heikko lähinnä siksi, että ne vähentävät kuormitusta hyvin vähän.

Maa- ja metsätalouden ympäristöohjelmilla on useita tavoitteita, joihin lukeutuu pintavesiin ja ilmaan päätyvien ravinteiden ja muiden kemikaalien kuormituksen vähentäminen, biodiversiteetin turvaaminen ja maisemanhoito. Näiden tavoitealueiden sisällä on erilaisia tilaindikaattoreita, joihin vaikutetaan erilaisilla toimenpiteillä. Kun tarkastellaan ympäristöohjelmien kustannustehokkuutta sillä perusteella, mihin suuntaan vesistöjen tila on muuttunut, täytyy muistaa, että ympäristöohjelmien muiden tavoitteiden saavuttamiseksi käytetyt keinot voivat lisätä vesistökuormitusta valuma-alueelta. Itse asiassa sama koskee myös muiden kuin vesiensuojelutavoitteiden saavuttamista: vaikutukset jäävät heikoiksi, jos mitään tavoitetta ei priorisoida. Priorisointia voitaisiin tehdä alueellisesti sen mukaan, mikä tavoite koetaan tärkeimmäksi (esimerkiksi rehevöityneen vesistön tilan parantaminen) ja ohjata maanomistajat sopivien porkkanoiden ja keppien avulla tekemään vain tätä tavoitetta tukevia toimia ainakin kriittisillä maa-aloilla. Vesistökuormituksen osalta kriittisiä alueita voivat olla esimerkiksi jyrkät pellot vesistöjen varsilla tai korkean fosforiluvun pellot. Priorisoidun tavoitteen kannalta vain vähän vaikuttavilla aloilla voitaisiin edistää muita tavoitteita kuin fosforikuormituksen vähentämistä tukevia toimia. Kun jo pelkkään vesistökuormituksen vähentämistavoitteeseen liittyy toimia, joilla on ristikkäisiä vaikutuksia eri ravinteiden kuormiin, toimien kohdentaminen ja niiden kustannustehokkuuden arviointi tulisi tehdä lohko- tai kuviokohtaisesti. Lohkotason arvioinnin mahdollistaisi hallinnon ja tutkimuksen käytössä olevan peltojen ravinnetietokannan kokoaminen, mitä on ehdotettu toteutettavaksi eri yhteyksissä. Tälle tasolle menevän ohjausjärjestelmän rakentaminen ja ylläpitäminen toisi oman kustannuksensa, mutta helpottaisi kustannustehokkaimpien vesiensuojelutoimien kohdentamista.

Kun peltojen fosforipitoisuudet ovat hyvin erilaisia eri puolilla maata (Lemola ym., 2023), ratkaisuja fosforikuormituksen riskin pienentämiseksi on etsittävä myös suuremmista mittakaavoista. Tässä yhteydessä kotieläinten lantaan liittyvät kysymykset ovat keskeisiä. Koska tuotanto eri alueilla on eriytynyt – esimerkkinä joihinkin Satakunnan ja Pohjanmaan kuntiin voimakkaasti keskittynyt sika-, siipikarja-, tai turkiseläintuotanto – lantaa voi joillakin alueilla muodostua niin paljon, että sitä pitäisi siirtää pois tuotantoalueilta. Biokaasulaitokset keräävät lantaa ympäristön tiloilta ja laitosten mädätteiden kuljettaminen toisi helpotusta fosforin suhteen huomattavan ylijäämän alueille. Kuljetukseen liittyvät ratkaisut ja niiden voimakas tukeminen pitäisi sen vuoksi olla mukana vesiensuojelun aluetason suunnittelussa.

3.7. Tulosten merkitys ja jatkotoimenpiteet

Vesipolku-hanke tuotti hyvin merkittävää uutta tutkimustietoa niistä keinoista, joilla vesiensuojelua voidaan kehittää ja priorisoida kustannustehokkaasti. Tulokset osoittivat, että vesiensuojelun parantaminen ei aina synnytä lisäkustannuksia, vaan vesiensuojelun tehostamisen ohella on mahdollista joissakin kohteissa parantaa myös toiminnan taloudellista kannattavuutta. Monet vesiensuojelua merkittävästi parantavat toimet

synnyttävät kustannuksia hyvin vähän. Tulokset ovat hyvin arvokkaita sekä kansallisesti että kansainvälisesti kehitettäessä kustannustehokkaita menetelmiä vesistöjen tilan parantamiseksi. Hankkeen tuloksista on tarkoitus valmistella tieteellisiä raportteja erityisesti kosteikkojen kustannustehokkuudesta vesiensuojelussa sekä kustannusvaikuttavimmista viljelymenetelmistä vesistökuormituksen vähentämiseksi. Hankkeen tulokset jalkautetaan tiedottamalla niistä aktiivisesti sen jälkeen, kun tulokset on ensin raportoitu tieteellisessä julkaisusarjassa. Tuloksia tultaneen hyödyntämään laajasti maa- ja metsätalouden vesiensuojeluun perehtyneiden organisaatioiden toimesta. Jatkotutkimuksin olisi edelleen tärkeää parantaa käsitystä eri metsätalouden toimenpiteiden ja eri viljelykäytäntöjen vesistövaikutuksista sekä sellaisten vesiensuojelumenetelmien tehokkuudesta, joilla on mahdollista merkittävästi vähentää vesistöihin kohdistuvaa ravinnekuormitusta. Ennen kaikkea vesistöjen tilan parantaminen edellyttää kuitenkin oikein kohdennettuja politiikkatoimia, joiden avulla maa- ja metsänomistajia saadaan kannustettua vesistöjen tilaa merkittävästi parantavien toimien toteuttamiseen.

Kirjallisuutta

- Ajosenpää, T., Anttila, L., Ekholm, P., Heikkinen, J., Jaakkola, S., Kaseva, A., Kämäri, M., Kääriä, J., Luodeslampi, P., Malmilehto, S., Muurinen, S., Rasa, K., Soinne, H., Talola, S. Uusi-Kämpä, J. & Uusitalo, R. 2021. Kipsi, kuitu ja rakennekalkki – opas viljelijöille. Vesiensuojelun tehostamisohjelma. ProAgrian hankejulkaisut 10, ISSN 2342–8651. 52 s.
- Dasgupta, P. 2021. The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review London: HM Treasury. www.gov.uk/official-documents
- Baker, D.B., Johnson, L.T., Confesor, R.B. & Crumrine, J.P. 2017. Vertical stratification of soil phosphorus as a concern for dissolved phosphorus runoff in the Lake Erie basin. *Journal of Environmental Quality*, 46: 1287–1295. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.09.0337>
- Chantigny, M.H., Bittman, S., Larney, F.J., Lapen, D., Hunt, D.E., Goyer, C. & Angers, D.A. 2019 A multi-region study reveals high overwinter loss of fall-applied reactive nitrogen in cold and frozen soils. *Canadian Journal of Soil Science*: 99:126 – 135
- Correll, D.L. 1999. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. *Poultry Science* 78 (5): 674–682, <https://doi.org/10.1093/ps/78.5.674>.
- Ekholm, P., Valkama, P., Jaakkola, E., Kiirikki, M., Lahti, K., & Pietola, L. 2012. Gypsum amendment of soils reduces phosphorus losses in an agricultural catchment. *Agricultural and Food Science*, 21, 279–291. <https://doi.org/10.23986/afsci.6831>
- Ekholm, P., Ollikainen, M., Ala-Harja, V., Begum, K., Huttunen, M., Järvenranta, K., Kiirikki, M., Kuosa, H., Lötjönen, S., Riihimäki, J., Taskinen, A., Tikkanen, T. & Yli-Halla, M. 2022. Peltojen kipsikäsittely fosforikuormituksen hallinnassa – Pilottina Savijoen valuma-alue. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 32 / 2022. <http://hdl.handle.net/10138/349969>
- 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>.
- Helin, J., 2014. Reducing nutrient loads from dairy farms: a bioeconomic model with endogenous feeding and land use. *Journal of Agricultural Economics* 45, 167–184.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R., Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207 (1-2), 5-18.
- Iho, A., Valve, H., Ekholm, P., Uusitalo, R., Lehtoranta, J., Soinne, H. & Salminen, J. 2023. Efficient protection of the Baltic Sea needs a revision of phosphorus metric. *Ambio* 52, 1389–1399. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01851-2>

Jarvie, H.P., Johnson, L.T., Sharpley, A.N., Smith, D.R., Baker, D.B., Bruulsema, T.W., & Confesor, R. 2017. Increased soluble phosphorus loads to Lake Erie: Unintended consequences of conservation practices? *Journal of Environmental Quality* 46: 123–132. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.07.0248>

Luke. 2024. Biomassa-atlas -tietopalvelu. Luonnonvarakeskus. <https://biomassa-atlas.luke.fi/>

Järvenranta, K., Virkajärvi, P. & Heinonen-Tanski, H. 2014. The flows and balances of P, K, Ca and Mg on intensively managed Boreal high input grass and low input grass-clover pastures. *Agricultural and Food Science* 23 (2): 106–117.

Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. 209 s.

Lemola, R., Uusitalo, R., Luostarinen, S., Tampio, E., Laakso, J., Lehtonen, E., Skyttä, A. & Turtola, E. 2023. Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 10/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 56 s.

Lindsay, JB. 2014. The Whitebox Geospatial Analysis Tools project and open-access GIS. *Proceedings of the GIS Research UK 22nd Annual Conference, The University of Glasgow*, 16–18 April, DOI: 10.13140/RG.2.1.1010.8962.

Liu, X. ym. 2016. Dynamic economic modelling of crop rotations with farm management practices under future pest pressure', *Agricultural Systems*, 144(Journal Article), pp. 65–76. Louhisuo, A., Yli - Halla, M., Termonen, M., Kykkänen, S., Järvenranta, K., Virkajärvi, P. 2023. Long - term changes in soil phosphorus in response to fertilization and negative phosphorus balance under grass rotation in mineral soils in Nordic conditions. *Soil Use and Management*, 40, e13013. <https://doi.org/10.1111/sum.13013>

Louhisuo, A., Termonen, M., Järvenranta, K. & Virkajärvi P. 2024. Increasing soil phosphorus content increased spring barley yield while it had no effect on grass yield. In: *Why grasslands? Proceedings of the 30th General Meeting of the European Grassland Federation Leeuwarden, the Netherlands 9–13 June 2024. Grassland Science in Europe*, Vol. 29 123–125.

Luonnonvarakeskus 2024. <https://www.luke.fi/fi/palvelut/luonnonvarakeskuksen-mottiohjelmistolla-voidaan-ennustaa-metsikon-tulevaa-kehitysta> - tiedot haettu 11.11.2024

Löfgren, S., Ring, E., von Brömssen, C., Sørensen, R. & Högbom, L. 2009. Short-term effects of clear-cutting on the water chemistry of two boreal streams in Northern Sweden: A paired catchment study, *AMBIO* 38(7), 347–356. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-38.7.347>

Marttila, H. & Kløve, B. 2010. Managing runoff, water quality and erosion in peatland forestry by peak runoff control. *Ecological Engineering* 36(7), 900–911. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.002>

Miettinen, J., Ollikainen, M., Finér, L., Koivusalo, H., Laurén, A. & Valsta, L. 2012. Diffuse load abatement with biodiversity co-benefits: The optimal rotation age and buffer zone size. *Forest Science* 58, 342–352. <https://doi.org/10.5849/forsci.10-070>

Myllys, M., Huhta, H., Partala, A., Virkajärvi, P. & Turtola E. 2020 Nurmen viljely vähentää turvepeltojen ravinnekuormia. Maataloustieteen päivät 2020 Viikki, Helsinki. Esitelmä – ja posteriativistelmät, p 28.

Niemi, M., Ojanen, P., Sarkkola, S., Vasander, H., Minkkinen, K., & Vauhkonen, J. 2023. Using a digital elevation model to place overland flow fields and uncleaned ditch sections for water protection in peatland forest management. *Ecological Engineering* 190: 106945. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106945>

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* 22001. <https://doi.org/10.14214/ma.22001>

Nieminen, M., Sarkkola, S. & Sallantausta, T. 2024. Natural mires as buffers for protection of water quality in forested catchments. *Käsi kirjotus*.

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(2), 218–33. <https://doi.org/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., Ojala, A. & Laurén, A. 2024. Extending the SUSI peatland simulator to include dissolved organic carbon formation, transport and biodegradation - Proper water management reduces lateral

Luonnonvarakeskus (Luke)

Latokartanonkaari 9

00790 Helsinki 31

Puhelin 029 532 6000

Y-tunnus: 0244629-2

luke.fi

carbon fluxes and improves carbon balance. *Science of the Total Environment* 950, 175173. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175173>

Pham, T., Yli-Halla, M., Marttila, H., Lötjönen, T., Liimatainen, M., Kekkonen, J., Läpikivi, M., Klöve, B. & Joki-Tokola, E. 2023. Leaching of nitrogen, phosphorus and other solutes from a controlled drainage cultivated peatland in Ruukki, Finland. *Science of the Total Environment* 904 (2023) 166769.

Purola, T. ym. 2018. Production of cereals in northern marginal areas: An integrated assessment of climate change impacts at the farm level', *Agricultural systems*, 162: 191–204.

Purola, T. and Lehtonen, H. (2020) 'Evaluating profitability of soil-renovation investments under crop rotation constraints in Finland', *Agricultural Systems*, 180(Journal Article), p. 102762.

Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Rätty, M., Järvenranta, K., Koskiahio, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R., Uusi-Kämppe, J., Lepistö, A., Hjerpe, T., Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan: Kiertovesi-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2019. 142 s. <https://helda.helsinki.fi/bitstreams/05a55ab3-6fb1-49b2-90a2-d3dfb58c715f/download>.

Rasa, K., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Kaseva, J., Joona, J. & Uusitalo, R. 2021. Pulp and paper mill sludges decrease soil erodibility. *Journal of Environmental Quality* 50: 172-184. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20170>

Räike, A., Taskinen, A. & Knuuttila, S. 2019. Nutrient export from Finnish rivers into the Baltic Sea has not decreased despite water protection measures. *Ambio* 49: 460–474. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01217-7>

Rätty, M., Järvenranta, K., Virkajärvi, P. & Hyrkäs, M. 2014. Kyntösyvyyden vaikutus muokkauskerroksen helppoliukoisen fosforin pitoisuuteen. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote No 30, 7 s. <https://doi.org/10.33354/smst.75337>

Rätty, M., Virkajärvi, P., Järvenranta, K. & Hyrkäs, M. 2018. Nurmelle kesällä ja syksyllä sijoittamalla levitetyn lietelannan satovaikutus ja ravinnehuuhtouma. s. 205. Julkaisussa: Puhakainen, T. & Hakojärvi, M. (toim.). Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote No 34. Maataloustieteen Päivät 2018, 10.–11.1.2018 Viikki, Helsinki. Esitelmä- ja posteritivistelmät.

Rätty, M., Järvenranta, K., Saarijärvi, E., Koskiahio, J. & Virkajärvi, P. 2020. Losses of phosphorus, nitrogen, dissolved organic carbon and soil from a small agricultural and forested catchment in east-central Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 302: 107075.

Schindler, D.W. 1974. Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake management. *Science* 184 (4139): 897-9. [doi: 10.1126/science.184.4139.897](https://doi.org/10.1126/science.184.4139.897).

Sihvonen, M., Hyytiäinen, K., Valkama, E., Turtola, E. 2018. Phosphorus and Nitrogen Yield Response Models for Dynamic Bio-Economic Optimization: An Empirical Approach. *Agronomy* 8(4), 41; <https://doi.org/10.3390/agronomy8040041>

Sihvonen, M., Lintunen, J., Valkama, E., Hyytiäinen, K. 2020. Management of legacy nutrient stores through nitrogen and phosphorus fertilization, catch crops, and gypsum treatment. *Natural Resource Modeling*. <https://doi.org/10.1111/nrm.12289>

Smith, D. R., Warnemuende, E. A., Huang, C., & Heathman, G. C. 2007. How does the first year tilling a long-term no-till-age field impact soluble nutrient losses in runoff? *Soil & Tillage Research* 95: 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.03.019>

Saarijärvi, K., Virkajärvi, P., Heinonen-Tanski, H. 2007. Nitrogen leaching and herbage production on intensively managed grass and grass-clover pastures on sandy soil in Finland. *European journal of soil science* 58 6: 1382-1392

Tanner, C.C., J.P.S. Sukias. 2011. Multiyear nutrient removal performance of three constructed wetlands intercepting tile drain flows from grazed pastures. *Journal of Environmental Quality* 40: 620-633.

Ulén, B., A. Etana. 2014. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 64: 425–433.

Uusi-Kämppe, J., Braskerud, B., Jansson, H., Syversen, N. & Uusitalo, R. 2000. Buffer Zones and Constructed Wetlands as Filters for Agricultural Phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 29: 151-158. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900010019x>

- Uusi-Kämppe, J. 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24 (5): 491–502. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.01.03>
- Uusi-Kämppe, J. & Heinonen-Tanski, H. 2008. Evaluating slurry broadcasting and injection to ley for phosphorus losses and fecal microorganisms in surface runoff. *Journal of Environmental Quality* 37: 2339–2350. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0428>
- Uusi-Kämppe, J. & Jauhiainen, L. 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137 (1–2): 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.002>
- Uusi-Kämppe, J., Turtola, E., Näreänen, A., Jauhiainen, L. & Uusitalo, R. 2012. Phosphorus mitigation during springtime runoff by amendments applied to grassed soil. *Journal of Environmental Quality* 41 (2): 420–426. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0441>
- Uusitalo, R., A. Näreänen, K. Rasa, T. Salo ym. 2013. Active Wetlands – the use of chemical amendments to intercept phosphate runoffs in agricultural catchments: Final report of the Active Wetlands Interreg IVA project. MTT Report 92. 54 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-448-9>
- Uusitalo, R., Ylivainio, K., Hyväluoma, J., Rasa, K., Kaseva, J., Nylund, P., Pietola, L. & Turtola, E. 2012. The effects of gypsum on the transfer of phosphorus and other nutrients through clay soil monoliths. *Agricultural and Food Science* 21: 260–278. <https://doi.org/10.23986/afsci.4855>
- Uusitalo, R., Lemola, R. & Turtola, E. 2018. Surface and subsurface phosphorus discharge from a clay soil in a nine-year study comparing no-till and plowing. *Journal of Environmental Quality* 47:1478–1486. [doi:10.2134/jeq2018.06.0242](https://doi.org/10.2134/jeq2018.06.0242)
- Uusitalo, R., Lemola, R., Šuštar, M., Kurkilahti, M., Kaseva, J. & Turtola, E. 2024. Strategic tillage of no-till decreased surface and subsurface losses of dissolved phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 53: 657–668. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20612>
- Vadas, P.A., Good, L.W., Moore, P.A. & Widman, N. 2009. Estimating Phosphorus Loss in Runoff from Manure and Fertilizer for a Phosphorus Loss Quantification Tool. *Journal of Environmental Quality* 38(4): 1645–1653. [doi: 10.2134/jeq2008.0337](https://doi.org/10.2134/jeq2008.0337)
- Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Salo, T., Kapuinen, P., Turtola, E. 2016. Nitrogen fertilization of grass leys: Yield production and risk of N leaching. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 230: 341–352.
- Vuorinen J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeological Publications* 63: 1–44.
- Vilmi, A., Järvinen, M., Karjalainen, S. M., Kulo, K., Kuoppala, M., Mitikka, S., Ruuhijärvi, J., Sutela, T. & Aroviita, J. 2021. Maa- ja metsätalouden kuormittamien pintavesien tila – MaaMet-seuranta 2008–2020. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 50. 70 s.
- Yu, H., Chang, X. & Liu, W. 2021. Cost-based subsidy and performance-based subsidy in a manufacturing-recycling system considering product eco-design. *Journal of Cleaner Production* 327: 129391. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129391>

Liite 1. APLE-simulaatioiden tulokset viljan viljelyssä oleville pelloille

Liitetaulukoissa 1 ja 2 on APLE-simulointien tulokset laskettuna 15 vuoden kuormien keskiarvoina. Simulaatiossa on karkean maalajin pelto (saves 12 %, liitetaulukko 1) ja savipelto (saves 60 %, liitetaulukko 2), pellon P-luku on alussa 8,8 mg/l, C-pitoisuus 2,5 %. Pellon kaltevuudesta riippuvan eroosion määräksi on annettu 200, 400, 800, 1600, tai 3200 kg/ha. Simuloidut muokkaukset ovat toistuva syyskyntö, toistuva suorakylvö, tai jaksotettu suorakylvö/syyskyntö (kyntövuodet 1, 7, 14). Pellon lannoitus on tehty mineraalilannoitteilla, siten että P-tase on tasapainossa.

Liitetaulukko 1. Karkean kivennäismaan (saves 12 %) partikkelimuotoisen P:n, liuenneen P:n ja P:n kokonaiskuormat vuodessa (musta fontti; kg/ha) eri muokkausvaihtoehdoilla, sekä rehevöittävän fosforin kuormat (BAP, sininen fontti; kg/ha) oletuksilla, että partikkelimuotoisesta P:sta vapautuu vesistössä 30, 45, tai 60 % liukoiseen muotoon. Alariveillä on laskettu suorakylvön ja jaksotetun muokkauksen suhteellinen muutos toistuvaan syyskylvöön verrattuna.

Eroosio 200 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	0,34	0,17	0,52	kyntö	0,28	0,33	0,38
suorakylvö	0,22	0,25	0,47	suorakylvö	0,31	0,35	0,38
jaksotettu	0,24	0,21	0,44	jaksotettu	0,28	0,31	0,35
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-36	+42	-9	suorakylvö	+13	+6	0
jaksotettu	-30	+18	-14	jaksotettu	0	-5	-8
Eroosio 400 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	0,57	0,17	0,75	kyntö	0,35	0,43	0,52
suorakylvö	0,36	0,23	0,60	suorakylvö	0,34	0,40	0,45
jaksotettu	0,40	0,20	0,60	jaksotettu	0,32	0,38	0,44
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+34	-20	suorakylvö	-1	-8	-13
jaksotettu	-30	+16	-20	jaksotettu	-7	-12	-15
Eroosio 800 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	0,97	0,17	1,14	kyntö	0,46	0,61	0,75
suorakylvö	0,61	0,23	0,84	suorakylvö	0,42	0,51	0,60
jaksotettu	0,67	0,20	0,87	jaksotettu	0,40	0,50	0,60
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+34	-26	suorakylvö	-10	-17	-20
jaksotettu	-30	+16	-23	jaksotettu	-13	-17	-20
Eroosio 1600 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	1,62	0,17	1,79	kyntö	0,66	0,90	1,14
suorakylvö	1,02	0,23	1,25	suorakylvö	0,54	0,69	0,84
jaksotettu	1,13	0,20	1,33	jaksotettu	0,54	0,71	0,88
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+33	-30	suorakylvö	-18	-23	-26
jaksotettu	-30	+16	-26	jaksotettu	-18	-22	-23
Eroosio 3200 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	2,71	0,17	2,88	kyntö	0,99	1,39	1,80
suorakylvö	1,71	0,23	1,94	suorakylvö	0,74	1,00	1,25
jaksotettu	1,89	0,20	2,09	jaksotettu	0,77	1,05	1,33
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+33	-33	suorakylvö	-25	-28	-30
jaksotettu	-30	+16	-28	jaksotettu	-22	-25	-26

Liitetaulukko 2. APLE-mallin simulaatiot savimaan (saves 60 %) fosforijakeiden kuormista ja rehevöittävän fosforin kuormista yllä kuvatuilla asetuksilla.

Eroosio 200 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	0,49	0,17	0,66	kyntö	0,32	0,39	0,47
suorakylvö	0,31	0,22	0,53	suorakylvö	0,31	0,36	0,41
jaksotettu	0,34	0,19	0,53	jaksotettu	0,29	0,34	0,40
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+29	-20	suorakylvö	-2	-9	-13
jaksotettu	-31	+12	-20	jaksotettu	-8	-12	-15
Eroosio 400 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	0,83	0,17	1,00	kyntö	0,42	0,54	0,67
suorakylvö	0,52	0,22	0,74	suorakylvö	0,38	0,45	0,53
jaksotettu	0,57	0,19	0,76	jaksotettu	0,36	0,45	0,53
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+29	-26	suorakylvö	-10	-17	-20
jaksotettu	-31	+11	-24	jaksotettu	-14	-18	-20
Eroosio 800 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	1,40	0,17	1,56	kyntö	0,59	0,80	1,01
suorakylvö	0,88	0,22	1,09	suorakylvö	0,48	0,61	0,74
jaksotettu	0,96	0,19	1,15	jaksotettu	0,48	0,62	0,77
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+29	-30	suorakylvö	-18	-23	-26
jaksotettu	-31	+11	-26	jaksotettu	-19	-22	-24
Eroosio 1600 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	2,34	0,17	2,51	kyntö	0,87	1,22	1,57
suorakylvö	1,47	0,22	1,68	suorakylvö	0,66	0,88	1,10
jaksotettu	1,62	0,19	1,80	jaksotettu	0,67	0,91	1,16
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-37	+28	-33	suorakylvö	-25	-28	-30
jaksotettu	-31	+11	-28	jaksotettu	-23	-25	-27
Eroosio 3200 kg/ha				BAP (liuk.P+b*PP), kun PP:n käyttökelpoisuus			
	Part.P	Liuk.P	Kok.P		30 %	45 %	60 %
kyntö	3,92	0,17	4,09	kyntö	1,34	1,93	2,52
suorakylvö	2,45	0,21	2,66	suorakylvö	0,95	1,31	1,68
jaksotettu	2,70	0,19	2,89	jaksotettu	1,00	1,40	1,81
Muutos-% kyntöön verrattuna							
suorakylvö	-38	+28	-35	suorakylvö	-29	-32	-33
jaksotettu	-31	+10	-29	jaksotettu	-26	-27	-28

Liite 2. Nurmiviljelyn aiheuttama fosfori- ja typpikuormitus pilottialueilla

Ominaiskuormitus kg/ha/v arvioitiin kasvi × maalaji × lannoituskombinaatioille vaihtelevin menetelmin. Fosforin (liuennut ja kokonaisfosfori) osalta kivennäismaan niitonurmille käytettiin NURMAP- malli. Näin siksi että, nurmien aiemmat ominaiskuormitusluvut (esim. KUSTAA) ovat varsin korkeita 2000-luvun huuhtoumakenttien tuloksiin verrattuna (Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski 2008, Järvenranta ym. 2014, Rätty ym. 2019). Tämä vuoksi kuormitusriskin arviointi perustui nurmien osalta NURMAP- malliin, jonka pohja-aineisto käsittää Luken uusimmat ja osin julkaisemattomat huuhtoumatulokset Luken kivennäismaiden huuhtoumakentiltä (Jokioinen, Maaninka, Toholampi; Puustinen ym. 2019, luku 5.3). Tässäkin aineistossa (n = 56 käsittelykeskiarvoa) on verraten vähän erilaisia kasvi × maalaji × P-luku × karjalanta -kombinaatioita, mikä aiheuttaa epätarkkuutta yhdysvaikutusten estimointiin. NURMAP keskittyy nimenomaan fosforin huuhtoutumiseen pintavalunnan mukana eikä sisällä typen huuhtoutumista. Typen huuhtoutuminen arviointiin Valkaman ym. (2016) julkaisun mukaan. Turvemaiden kuormitusriskin arvioinnissa pohjana käytettiin Myllyksen (2020) fosforin ja typen ominaiskuormituslukuja, mutta mukautettuna multamaille kerotoimella 0.5). Eroosio nurmipeitteiltä kivennäismailta on pientä eikä sitä sisällytetty tarkasteluun.

Saadun lähtöaineiston (ravinteet ja viljelykasvipinta-alat) pohjalta luotiin aineistossa olevien kasvilajiryhmien todennäköiset viljely- ja lannoituskäytännöt. Karjalanta lisättiin nurmille kesälevityksessä 40 tn/ha ja syyslevityksessä 20 tn/ha. Levitysmääriä sääteli lähinnä P kg/ha/v sekä kasvi, levitysjankohta ja maalaji. Lannan levitysala määräytyi lantalajien (kuivalanta, liete, virtsa) riittävyyden mukaan. Laskennassa käytettiin sekä lietteen ja kuivalannan osalta MMM:n julkaisemia ravinnepitoisuuksia että Luken Biomassa-atlaksen ravinnemääriä (Luke 2024). Karjalantaa saaneille lohkoille ei annettu mallinnuksessa mineraalifosforia, mikä on tyypillinen ratkaisu. Viljelykierto pidettiin vakiona eli nurmet kynnettiin 4 vuoden välein. Maan P-luvun oletettiin olevan 8,4 mg/L, joka on (Viljavuusnäytteet, palvelu, Etelä-Savon alueen keskiarvo). Laitumien kuormitus suhteutettiin Saarijärven ym. (2007) tutkimukseen käyttämällä alueelle sopivaa laidunpäivien/ha arvioita (220 NY/ha/vuosi).

Liitetaulukko 1. Hälvänjoen ja Sorvasrannan valuma-alueiden perustiedot.

		Hälvänjoki	Sorvasranta
Peltoala valuma-alueella	ha	208	98,9
Nautatilojen osuus valuma-alueen pelloista	%	33	79
P-luku*	mg/l	8,4	8,4
Eläintiheys	e/ha	0,50	0,64
Nautatilojen eläintiheys	ny/ha	0,76	0,74
Lannan N/ha	kg/ha	40,6	55,7
Lannan P/ha	kg/ha	7,5	11,3

Uusiin aineistoihin perustuvat mallinnetut ominaiskuormitukset olivat fosforin osalta selvästi alempia kuin aiemmat kertoimet (KUSTAA: DRP 0,63; TP: 1,1 kg /ha/v, tässä DRP 0,22–0,45; TP: 0,34–0,75 kg/ha/v). Tämä selittyy osin ympäristötuen lannoitusrajoitusten, nitraattiasetuksen lannanlevitysjarjoitusten sekä näistä seuranneen peltojen viljavuusfosforin pitoisuuden alenemisen kautta. Myös lannanlevitystekniikka (lietteen sijoitus ja letkulevitys) ovat vaikuttaneet fosforin huuhtouman pienentymiseen. Uudet, pienemmät ominaiskuormitusarvot ovat lähempänä ruotsalaisia tuloksia kuin aiemmat arviot.

Tuloksista nähdään, että liuenneen fosforin (DRP) kuormituksen ominaiskuormitusluku on suurin laitumilla ja lietteen syyslevityslahkoilla. Kokonaisfosforin osalta tilanne muuttuu, ja suurimmat ominaiskuormitusluvut ovat laitumella, mineraalilannoitetulla eloperäisillä nurmilla, karkeiden kivennäismaiden viljoilla, sekä orgaanisten maiden viljoilla ja nurmilla, joille levitetään syksyllä lietelantaa. Typen ominaiskuormitus oli suurinta nurmella, jolle levitetään syksyllä tai kasvukaudella lietelantaa, sekä orgaanisilla mailla viljellyillä viljoilla.

Liitetaulukko 2. Fosforin ja typen ominaiskuormitusriski Hälvänjoen ja Sorvasrannan valuma-alueilla.

Viljelyalan jako	Kuormitusriski kg/ha/vuosi		
	Liuennot P	Kokonais-P	Typpi
Vihantaviljat, joille kuivalantaa, kark.kiv. maat	0,16	0,51	15,8
Puitavat suojaviljat, joille kuivalantaa, kark.kiv. maat	0,16	0,51	15,8
Viljat min lannoitus, kark.kiv. maat	0,17	0,64	12,2
Viljat min lannoitus, org. maat	0,21	0,62	20,0
Nurmet, joille lietelantaa kasvuk., kark. kiv.maait	0,35	0,46	25,9
Nurmet, joille lietelantaa syksyllä, kark. kiv.maait	0,45	0,62	38,2
Nurmet, min. lannoitus, kark.kiv.maait	0,22	0,34	4,3
Nurmet, min. lannoitus, org.maait	0,25	0,75	10,0
Laidun (laidunvuodet; uusiminen eri kategoriaan)	0,63	0,78	10,9
Muut kasvit	0,18	0,34	7,1
Painotettu ominaiskuormitus kg/ha/vuosi	0,27	0,51	11,1

^aFosfori: NURMAP; Typpi: Valkama ym. (2016), ^bFosfori: NURMAP; Typpi: Rätty ym. (2018), ^cMyllys ym. (2020), ^dSaarijärvi ym (2007), Järvenranta ym. (2014)

Maatalouden kokonaiskuormitusriski valuma-alueilla on esitetty tämän liitteen taulukossa 3.

Hälvänjoen valuma-alueella suurimmat liuenneen fosforin kuormitusriskin viljelyvaihtoehdot olivat mineraalilannoitetut säilörehunurmet kivennäismaalla, koska niiden pinta-ala oli suurin ja laidun, koska niiden ominaiskuormitusluku oli korkea etenkin liuenneen fosforin osalta. Kokonaisfosforin osalta viljaviljely orgaanisella maalla ja mineraalilannoitetut säilörehunurmet kivennäismaalla. Typen osalta suuri kuormitus tuli viljanviljelystä kivennäismaalla, koska sen pinta-ala oli suuri ja lietettä saaneiden nurmien viljelystä, joiden ominaiskuormitus oli suuri. Tässä on syytä muistaa, että huuhtoutuva typpi on suurelta osin pohjavesikuormitusta.

Sorvasranta poikkesi sekä maalajeiltaan että viljelykasvipinta-aloiltaan Hälvänjoesta, mikä muutti kuormitusriskin jakaumaa. Suurin yksittäinen liuenneen fosforin kuormitusriski oli peräisin laitumilta: niitä oli paljon ja ominaiskuormitusriski suuri. Kokonaisfosforin osalta ilmiö oli sama, ja seuraavaksi suurimmat kuormitusriskit olivat nurmien viljelystä kivennäismailla, koska niiden pinta-ala oli suuri. Typen osalta kivennäismaiden viljanviljely oli merkittävä kuormittaja, koska sen pinta-ala oli suuri. Iso osa tyydestä oli peräisin lietettä saaneiden nurmien viljelystä, joiden ominaiskuormitus oli suuri samoin kuin niiden pinta-ala.

Liitetaulukko 3. Maataloudesta peräisin olevan fosforin (DRP, TOT-P) ja typen (N) kuormitusriski Hälvänjoen ja Sorvasrannan valuma-alueilla

	Hälvänjoki					Sorvasranta				
	Ala	Kuormitusriski kg/valuma-alue/v				Ala	Kuormitusriski kg/valuma-alue/v			
Viljelyalan jako	ha	DRP	Tot-P	N		ha	DRP	Tot-P	N	
Vihantaviljat, joille kuivalantaa, kark. kivennäismaat	4,4	0,7	2,2	69		0,9	0,1	0,5	15	
Puitavat suojaviljat, joille kuivalantaa, kark. kivennäismaat	4,6	0,7	2,3	73		12,7	2,0	6,5	201	
Viljat min lannoitus, kark. kivennäismaat	34,9	5,9	22,4	426		0,0	0,0	0,0	0	
Viljat min lannoitus, org. maat	7,78	1,6	4,9	156		2,2	0,5	1,4	45	
Nurmet, joille lietelantaa kasvukaudella, kark. kivennäismaat	13,7	4,7	6,3	354		23,4	8,1	10,8	606	
Nurmet, joille lietelantaa syksyllä, kark. kivennäismaat	9,1	4,1	5,6	348		15,6	7,0	9,7	596	
Nurmet, minimi lannoitus, kark. kivennäismaat	66,9	15,0	22,6	288		31,7	7,1	10,7	136	
Nurmet, minimi lannoitus, org. maat	15,8	4,0	11,9	158		12,5	3,1	9,4	125	
Laidun (laidunvuodet; uusiminen eri kategoriaan)	22,6	14,2	17,6	247		20,9	13,1	16,3	228	
Muut kasvit (painotettu ka)	28,7	5,2	9,8	202		10,2	1,9	3,5	72	
Yhteensä, ha	208					130				
Kuormitusriski yhteensä valuma-alueella, kg/vuosi		56	106	2320			43	69	2023	

Koska fosfori, etenkin liuennut fosfori (DRP), on sisävesistöjen rehevöitymisen minimitekijä, on fosforin vähentäminen tehokkainta vesiensuojelun kannalta.

- 1) Lietelannan syyslevityksen välttäminen vähentää kesäaikaiseen levitykseen verrattuna sekä typpi- että fosforikuormitusta: vaikka mallinnuksessa sen levitettävä määrä (tn/ha) oli vain puolet kesälevityksestä, oli sen ominaiskuormitus (DRP, Tot-P) noin 1,3 kertaa suurempi. Syyslevityksen vähentäminen olisi myös edullinen siinä mielessä, että lietteen ravinteet, myös N, tulisivat huomattavasti paremmin kasvien käyttöön (Järvenranta 2024, Chantigny ym. 2019)
- 2) Myös tyypillisen lietelannan vuotuisen levitysmäärän pienentäminen 40:stä 30 tonniin hehtaaria kohti pienentäisi ha-kohtaista fosforin huuhtoumaa noin 10%.
- 3) Mineraalilannoitetuilla nurmilla fosforikuormituksen riski oli selvästi vähäisempää kuin lietelannoitetuilla nurmilla. Niinpä etenkin vesistöön viettävillä rinnepellolla tai vastaavilla olisi hyvä

maksimoida mineraalilannoituksen käyttö ja käyttää karjanlantaa sellaisilla lohkoilla, joiden huuhtoutumisriski on pienempi.

- 4) Laidunkäytössä erityisesti liuenneen fosforin (DRP) kuormitus on suurempaa kuin säilörehunurmilla, ja on hyvin todennäköistä, että myöhään syksyllä jatkuva laidunnus aiheuttaa vähintään samansuuruisen riskin suurenemisen kuin lieteen syyslevitys.
- 5) Eloperäisillä mailla, eli tässä pääosin multamailla, kuormitus on suurempaa kuin kivennäismailla. Numeeriseen arvioon on syytä suhtautua varauksella, koska tuloksia multamailta on hyvin vähän, jos ollenkaan. Tästä huolimatta heikkotuottoisista eloperäisistä pelloista kannattaisi luopua myös vesistösuojelusyistä, ja mikäli ne metsitetään, ennallistetaan tai siirrytään kosteikkoviljelyyn, vähentäisi se myös ilmastokuormitusta
- 6) Mallinnuksen ulkopuolelta voidaan todeta, että hajakuormituksen lisäksi karjatiloiilla kannattaa tarkistaa mahdolliset pistekuormituslähteet ja ehkäistä kuormitus. mahdollisia pistekuormittajia ovat mm jaloittelutarha ja terapialaitumet, lantavarastot, lannan ja eläinten kulkureitit, säilörehujäämät ja hylätyt rehupaalit.