Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2025

Sika- ja siipikarjatuotannon vesistövaikutusten vähentäminen

Lannan käytön tarkentaminen

Sari Luostarinen, Johanna Laakso, Kirsi Järvenranta, Perttu Virkajärvi, Tapio Salo, Helena Soinne, Katri Rankinen ja Markus Huttunen

Luke

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2025

Sika- ja siipikarjatuotannon vesistövaikutusten vähentäminen

Lannan käytön tarkentaminen

Sari Luostarinen, Johanna Laakso, Kirsi Järvenranta, Perttu Virkajärvi, Tapio Salo, Helena Soinne, Katri Rankinen ja Markus Huttunen

Luonnonvarakeskus 2025

Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Viittausohje:

Luostarinen, S., Laakso, J., Järvenranta, K., Virkajärvi, P., Salo, T., Soinne, H., Rankinen, K. & Huttunen, M. 2025. Sika- ja siipikarjatuotannon vesistövaikutusten vähentäminen : Lannan käytön tarkentaminen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 55 s.

Sari Luostarinen ORCID ID, https://orcid.org/0000–0002–0800–1652

Luke

ISBN 978-952-419-072-5 (Verkkojulkaisu)
ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)
URN http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-072-5
Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)
Kirjoittajat: Sari Luostarinen, Johanna Laakso, Kirsi Järvenranta, Perttu Virkajärvi, Tapio Salo, Helena Soinne, Katri Rankinen ja Markus Huttunen
Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2025
Julkaisuvuosi: 2025
Kannen kuva: Sari Luostarinen

Tiivistelmä

Sari Luostarinen[1], Johanna Laakso[1], Kirsi Järvenranta[2], Perttu Virkajärvi[2], Tapio Salo[1], Helena Soinne[1], Katri Rankinen[3] ja Markus Huttunen[3]

[1] Luonnonvarakeskus, Jokioinen
[2] Luonnonvarakeskus, Kuopio
[3] Suomen ympäristökeskus, Helsinki

Ravinteiden käyttö on ruuantuotannossa välttämätöntä riittävän korkeiden satotasojen varmistamiseksi. Kuitenkin liian suuri lannoitus aiheuttaa sekä tarpeettomia kustannuksia ja luonnonvarojen käyttöä, että riskin ravinnepäästöihin ilmaan ja vesiin. Ravinteiden liikakäyttöä on vähennettävä täsmällisellä lannoitussuunnittelulla ja ravinteiden kierrätyksen lisäämisellä. Tämä liittyy voimakkaasti kotieläintuotannon lannan käsittelyyn ja käytön ratkaisuihin, sillä lanta on suurin kierrätettävissä oleva ravinnepitoinen biomassa, jonka nykyistä tehokkaammalla kierrätyksellä voidaan vaikuttaa monipuolisesti ruuantuotannon ravinnepäästöihin.

Korkea eläintiheys ja siitä seuraava suuri lantafosforin määrä peltoalaa kohti nostavat maan fosforipitoisuutta ja sitä kautta myös fosforikuormitusta. Ilmiö ei liity tuotantosuuntaan, vaan enemmänkin yksittäisen tilan lannoitusratkaisuihin. Maan fosforipitoisuuden vaihtelu eri peltojen välillä ja myös peltolohkojen sisällä on suurta. Vaikka kipsin havaittiin vähentävän fosfori- ja kiintoainekuormitusta hienojakoisilla mailla, se ei toimi kaikilla pelloilla yhtä tehokkaasti. Peltomaan fosforipitoisuuden aleneminen on varmin keino vähentää fosforikuormitusta, ja sen tarve käy yhä välttämättömämmäksi lisääntyvien talvisateiden myötä.

Hankkeen tulosten mukaan lannan käyttö pelkästään kotieläintuotannon peltoalalla nostaa peltojen fosforilukua ja siten fosforikuormitusta vesiin. Lannalla lannoittamista tulisikin jakaa tilojen ja alueiden kesken uudelleen siten, että lantafosforia käytettäisiin myös kasvintuotantotiloilla ja tarvittaessa myös kuljetettaisiin keskittymien ulkopuolelle.

Hankkeen tulosten mukaan fosforiasetus (64/2023) on välttämätön, jotta lantafosforin lisäys peltomaahan rajoitetaan tasolle, jolla se ei enää voi nostaa maan korkeita fosforilukuja. Kuitenkin fosforiasetuksen lantapoikkeuksen säilyttäminen heikentäisi suotuisaa muutosta hidastamalla maan fosforilukujen laskua ja pienentäisi saavutettavissa olevaa fosforikuormituksen vähenemää kaikilla Suomen vesialueilla. Poikkeuksesta tulisi siksi luopua.

Tässä raportissa esitetään tulokset hankkeesta ”Sika- ja siipikarjatuotannon vesistövaikutusten vähentäminen (SiKaSimu)”, joka toteutettiin 1.4.2022–31.3.2025 maa- ja metsätalousministeriön Makera-rahoituksen tukemana. Hankkeessa selvitettiin mahdollisuuksia vähentää vesistöjen ravinnekuormitusta erityisesti Lounais-Suomessa tehostamalla sika- ja siipikarjatuotannon lannan kierrätystä ja käyttöä lannoituksessa. Hankkeen toteuttivat yhteistyössä Luonnonvarakeskus (Luke) ja Suomen ympäristökeskus (Syke).

Asiasanat: kasvinravinteet; kiertotalous; siipikarjatuotanto; sikatalous; päästö; vesistökuormitus; fosfori, typpi

Summary

Sari Luostarinen[1], Johanna Laakso[1], Kirsi Järvenranta[2], Perttu Virkajärvi[2], Tapio Salo[1], Helena Soinne[1], Katri Rankinen[3] and Markus Huttunen[3]

[1] Natural Resources Institute Finland, Jokioinen
[2] Natural Resources Institute Finland, Kuopio
[3] Finnish Environment Institute, Helsinki

Nutrients are essential for plant production to ensure high yields. Excessive fertilization, however, causes unnecessary costs, overuse of natural resources, and emissions into air and water. The overuse of nutrients must be reduced through precise fertilization planning and enhanced nutrient recycling. This is closely linked to the management and use of livestock manure, which is the largest nutrient-rich biomass available for recycling. Enhancing its recycling can effectively reduce nutrient emissions from food production.

High animal density and subsequent high manure phosphorus input per hectare increase soil phosphorus content and thereby also phosphorus loading. This phenomenon is not linked to any particular livestock production, but more to the fertilization decisions made by each farm. Soil phosphorus content varies considerably both between and within field plots. Although gypsum application has been observed to reduce loading of phosphorus and suspended solids on clay soils, it does not consistently work on all plots. Reduction of soil phosphorus content is the only certain way to reduce phosphorus loading, and the need for it increases with the climate change and subsequent winter rains.

According to the results of this project, if manure is used on only the fields of livestock farms, soil phosphorus content and thus loading into water bodies is increased. Therefore, manure should be reallocated between farms and regions to ensure that manure phosphorus is also applied on the fields of crop farms and transported beyond areas of intensive livestock production.

The results also show that the Phosphorus Decree (64/2023) is vital for limiting manure phosphorus use on fields to a level which does not increase high soil phosphorus contents. However, the exemption allowing higher manure application rates in certain conditions undermines this positive development by slowing the decline in elevated soil phosphorus levels and, consequently, decreasing the reduction in phosphorus loading on all Finnish water areas. Therefore, this exemption should be removed.

This report presents the results of a project titled "Reduced impacts of pig and poultry production on waters (SiKaSimu)". The project was funded by the Makera funding of Ministry of Agriculture and Forestry during 1.4.2022–31.3.2025. The project focused on the potential to reduce nutrient loading into surface waters especially from the pig and poultry production in Southwest Finland via enhanced manure recycling and its use in fertilization. The project was conducted by Natural Resources Institute Finland (Luke) and Finnish Environment Institute Syke.

Keywords: nutrients; circular economy; poultry production; pig production; emission; nutrient loading; phosphorus; nitrogen

Sisällys

1. Johdanto 6

2. Koetoiminnan yhteistyötilat Lounais-Suomessa 9

2.1. Yhteistyötilojen kuvaus 9

2.2. Maanäytteiden otto ja maa-analyysien tulokset 10

2.3. Yhteenveto 16

3. Pintavaluntasimuloinnilla kiinni lannan lannoituskäytön ravinnekuormitusriskiin 17

3.1. Huuhtoumakokeen toteutus 17

3.2. Maan ominaisuudet ja valunnan määrä 18

3.3. Valumaveden fosforipitoisuudet ja kipsin vaikutus 20

3.4. Kiintoainekuormitus 22

3.5. Yhteenveto 23

4. Lannan lannoituskäytön vaikutus peltomaan fosforipitoisuuteen 24

4.1. Tilaskenaarioiden rakentaminen ja lähtötiedot mallintamiselle 24

4.2. Lannan käytön muutoksilla saavutetaan myös muutoksia P-luvuissa 25

4.3. Yhteenveto 28

5. Vedenlaadun muutoksia voidaan arvioida kuormitusmalleilla 29

5.1. INCA-malli ja lantaskenaariot 29

5.1.1. INCA-mallin tulokset: lannan lannoituskäytöllä voidaan vaikuttaa ravinnekuormitukseen 31

5.1.2. Yhteenveto INCA-mallin tuloksista 34

5.2. Vemala-malli ja lantaskenaariot 35

5.2.1. Vemala-mallinnuksen tulokset 35

5.2.2. Yhteenveto Vemala-mallinnuksesta 43

6. Johtopäätökset 44

Viitteet 45

Liitteet 49

1. Johdanto

Ravinteiden käyttö on ruuantuotannossa välttämätöntä riittävän korkeiden satotasojen varmistamiseksi. Kuitenkin liian suuri lannoitus aiheuttaa sekä tarpeettomia kustannuksia ja luonnonvarojen käyttöä, että riskin ravinnepäästöihin ilmaan ja vesiin. Pääravinteista typpipäästöt aiheuttavat ilmaston lämpenemistä, ilman laadun heikkenemistä, pohjaveden pilaantumista ja vesistöjen rehevöitymistä, kun taas fosforipäästöt vaikuttavat eniten vesistöihin niitä rehevöittävästi. Koska maatalous käyttää merkittävän osan kaikesta ihmistoiminnan ravinteiden kulutuksesta, sinne kohdentuu myös voimakkaat tarpeet täsmentää ravinteiden käyttöä ja siten vähentää päästöriskiä. Kokonaan ravinnehävikkiä ei voi poistaa, mutta kuormitusta pyritään minimoimaan monin keinoin. Merkittäviä tekijöitä ravinteiden käytölle ja siten päästöriskille ovat ravinteiden liikakäytön vähentäminen täsmällisemmällä lannoitussuunnittelulla ja mineraalilannoitteiden korvaaminen kierrätetyillä ravinteilla. Jälkimmäinen liittyy voimakkaasti kotieläintuotannon lannan käsittelyyn ja käytön ratkaisuihin, sillä lanta on suurin kierrätettävissä oleva ravinnepitoinen biomassa, jonka nykyistä tehokkaammalla kierrätyksellä voidaan vaikuttaa monipuolisesti ruuantuotannon ravinnepäästöihin. Siksi lantaan kohdennetaan enenevästi huomiota sekä kansallisesti että kansainvälisesti.

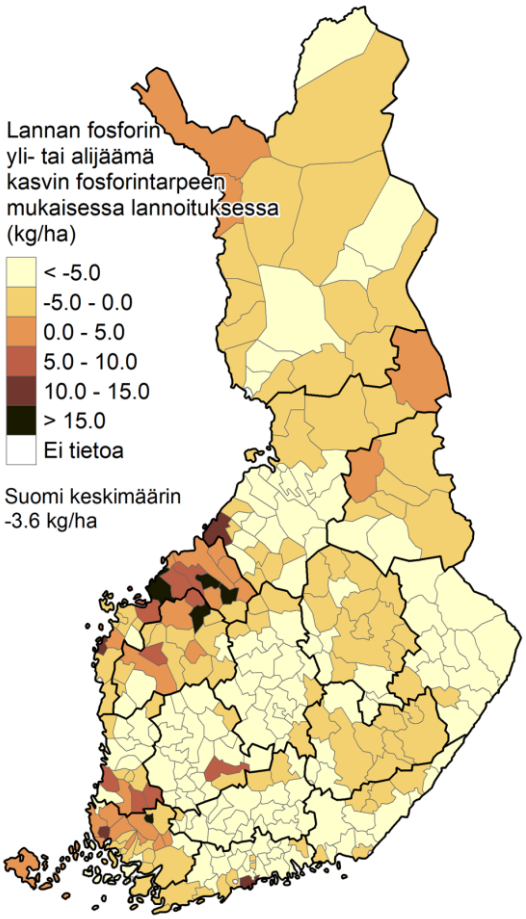
Euroopan unionissa kotieläintuotannon lannan lannoituskäyttöä säännellään erityisesti nitraattidirektiivillä (91/676/EEC). Direktiivi asettaa rajoitukset typpilannoitukselle lannassa niillä alueilla, jotka kukin maa on nitraattiherkäksi nimennyt. Direktiivi koskee koko Suomea ja sen kansallisesti toimeenpaneva nitraattiasetus (1250/2015) sisältää lukuisia lannankäsittelyä ja lannoituskäyttöä ohjaavia määräyksiä. EU kiinnittää huomiota ravinteiden käytön tehostamiseen myös strategioissaan. Keväällä 2020 julkaistuissa EU:n Pellolta pöytään- ja Biodiversiteettistrategioissa esitettiin tavoitteeksi puolittaa ravinnehävikki ja sen myötä vähentää lannoitteiden käyttöä 20 % jo vuoteen 2030 mennessä. Euroopan yhteinen maatalouspolitiikka (CAP) ja sen kansallinen suunnitelma sisältävät myös huomioita ravinteiden kierrätykseen liittyen. Lisäksi kiertotalous on Euroopan komission työohjelmassa vahvasti mukana vuodesta 2024 eteenpäin.

Myös Itämeren alueella ravinnekuormitusta on pyritty hillitsemään vuosikymmeniä. Rehevöityminen on silti edelleen meren suurimpia haasteita. Itämeren kaikesta fosforikuormasta lähes puolet ja typenkuormasta kolmannes tulee hajakuormituksena, josta maatalouden osuus on kaikissa maissa merkittävä (HELCOM 2023). Koska Itämeren hyvää tilaa ei ole toivotusti saavutettu, Itämeren suojelukomissio HELCOM päivitti toimintasuunnitelmaansa (Baltic Sea Action Plan; HELCOM 2021a). Rehevöitymisen vähentämisen toimenpiteitä toimintasuunnitelmassa on kaikkiaan 36, joista 15 on suoraan maatalousteeman alaisia. Kotieläintuotannon lanta nousee esille niistä useissa, erityisesti tuotannon parhaiden tekniikoiden ja käytäntöjen käyttöönoton suositusten laatimiseen liittyen. Lisäksi kolme toimenpiteistä liittyy typpilaskeumaan, jonka merkittävimpiä lähteitä on kotieläintuotannon lannan ammoniakkipäästöt, sekä seitsemän ravinteiden kierrätykseen, joissa tavoite on kierrättää mm. lantaa takaisin ruuantuotannon käyttöön tilojen välisen yhteistyön avulla ja kierrätyslannoitevalmisteina. Osana toimenpideohjelmaa julkaistiin erillinen alueellinen ravinteiden kierrätyksen strategia (HELCOM 2021b), jossa esitetään täsmällisempi ravinteiden kierrätyksen visio, tavoitteet ja esimerkkejä toimenpiteistä niiden toteuttamiseksi. Kotieläintuotannon lannan hyödyntämisen tehostamistarve nousee strategiassa selkeästi esille.

Suomi on pitkään myös kansallisesti pyrkinyt edistämään ravinteiden kierrätystä ja siten vähentämään ravinnepäästöihin liittyviä ympäristövaikutuksia. Monissa tavoitteista ja toimenpiteistä esille nousee ylipäätään vesistöjen tilan tai erikseen Itämeren, ja vielä täsmällisemmin Saaristomeren, tilan parantaminen (MMM 2011; Juha Sipilän hallitusohjelma 2015, VNK 2015; Sanna Marinin hallitusohjelma 2019, VNK 2019; Petteri Orpon hallitusohjelma 2023, VNK 2023). Merenhoidon suunnitelmassa vuosille 2022–2027 yksi esitetyistä toimenpiteistä on lannan ravinteiden kierrätyksen edistäminen osana biokaasutuotantoa (Laamanen ym. 2021). Samaa tavoittelee myös kansallinen biokaasuohjelma (TEM 2020). Lisäksi alueellisissa vesienhoidon suunnitelmissa nostetaan esille tarve tehostaa maatalouden vesiensuojelutoimia. Ympäristöministeriön Ahti-ohjelman osana toteuttavassa Saaristomeri-ohjelmassa lannan käytön tehostaminen ja kierrätyslannoitevalmisteiden tuotannon ja käytön lisääminen ovat tärkeässä roolissa, kuten Saaristomeri-ohjelman maatalouden vesiensuojelun tiekartan (Laurila ym. 2022) toimenpiteissä listataan. Lannan käytön tehostamista ajetaan Suomen maatalouden omissa vesiohjelmassa (MTK & SLC 2020) sekä ilmastotiekartassa (Lehtonen ym. 2020) ja sen päivittävässä vähähiilisyystiekartassa (Lehtonen ym. 2024).

Maatalouden osuuden Suomen ihmisperäisestä fosforikuormituksesta Itämereen on arvioitu olevan noin 65 %. Suomen merialueiden vesimuodostumien tila on heikentynyt ja vain 13 % merialueista on esitetty tuoreimmassa merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelmassa hyvään tilaan. Vaikka maataloudesta aiheutuvien ravinnepäästöjen syyt ovat moninaiset ja kotieläintuotannon lantaa laajemmat, on lannalla siinä osansa.

Lounais- ja Länsi-Suomen kotieläintuotannon keskittymien alueilla peltomaan fosforiluvut ovat korkeita (Lemola ym. 2018, 2023), jolloin fosforilannoitusta tarvitaan vähän ja sillä saatava satovaste on vähäinen. Lannan jatkuva, runsas käyttö ylläpitää korkeita fosforilukuja ja lisää ravinnekuormituksen riskiä vesistöihin (Ylivainio ym. 2014, Marttinen ym. 2017, Lemola ym. 2023). Sika- ja siipikarjatuotannon keskittymät erityisesti Varsinais-Suomen länsi- ja pohjoisosissa, Satakunnan eteläosissa ja Etelä-Pohjanmaalla osuvat yksiin korkeiden fosforilukujen kanssa aiheuttaen osaltaan lantafosforin ylijäämän alueita (Kuva 1). Korkea lantafosforin määrä lisää painetta runsaalle lannan käytölle, eikä lanta nykyisellään juuri alueelta toiselle liiku (Luostarinen ym. 2019a, 2019b, 2023). Tuotannon alueellisen keskittymisen ja tilakokojen kasvun odotetaan myös jatkuvan tulevaisuudessa ja vaikka sikojen määrä laskisi, siipikarjan määrän odotetaan edelleen nousevan (Lehtonen ym. 2020 ja 2024, Koljonen ym. 2024). Tämä lisää entisestään lannan alueellista keskittymistä ja siten tarvetta sen tehokkaammalle prosessoinnille ja kuljetukselle käyttöön aiempaa laajemmalla alueella. Pelkkä lannan siirtäminen myös lähiseudun kasvitilojen käyttöön ei tällöin riitä tasaamaan lantafosforin tarjontaa ja tarvetta.



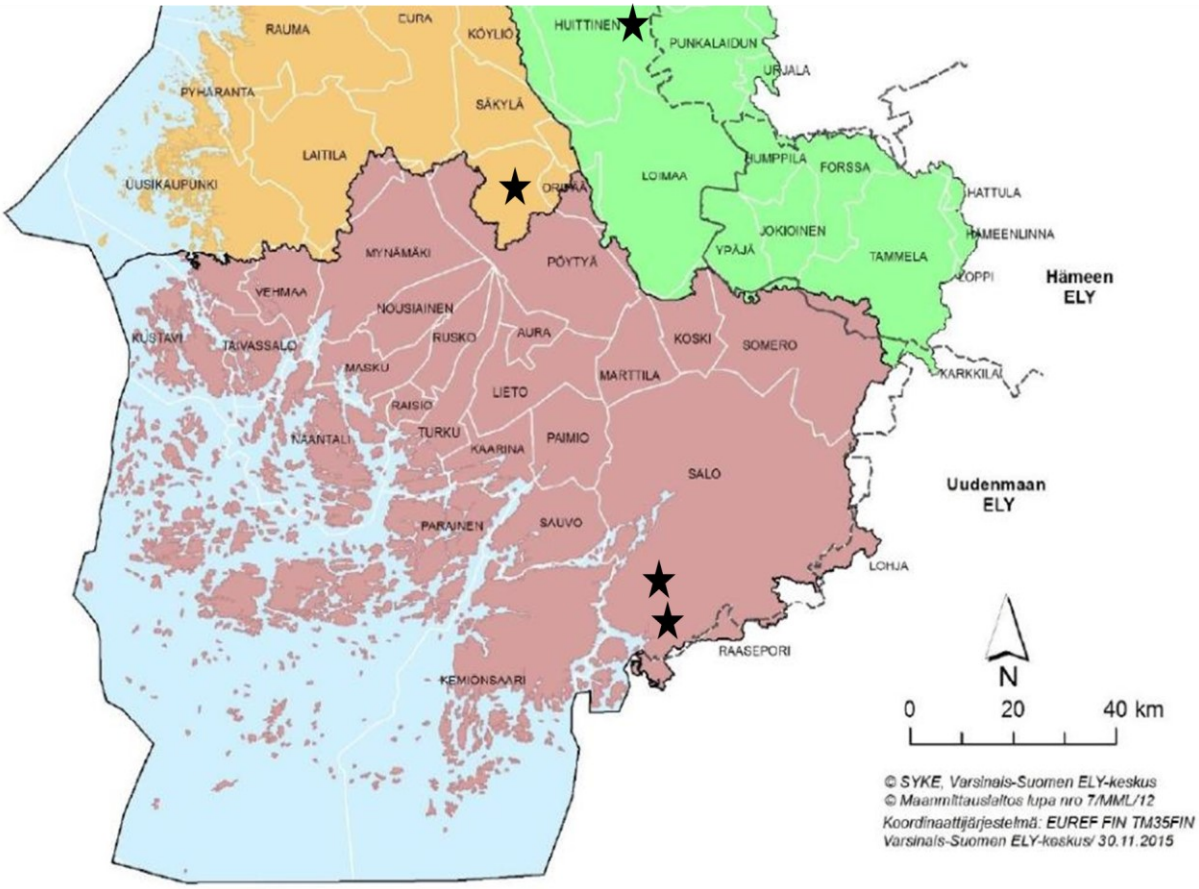
Kuva 1. Lantafosforin yli- tai alijäämä kasvin fosforitarpeen mukaiseen lannoitukseen verrattuna (kartta julkaistu Lemolan ym. (2023) raportissa).

Tässä raportissa esitetään tulokset hankkeesta ”Sika- ja siipikarjatuotannon vesistövaikutusten vähentäminen (SiKaSimu)”, joka toteutettiin 1.4.2022–31.3.2025 maa- ja metsätalousministeriön Makera-rahoituksen tukemana. Hankkeessa selvitettiin mahdollisuuksia vähentää vesistöjen ravinnekuormitusta erityisesti Lounais-Suomessa tehostamalla sika- ja siipikarjatuotannon lannan kierrätystä ja käyttöä lannoituksessa. Hanke teki yhteistyötä alueella sijaitsevien sika- ja siipikarjatilojen kanssa ja selvitti lannan levityksen vaikutuksia ravinnekuormitukseen kokeellisesti huuhtoumakokeilla ja mallintaen eri menetelmillä. Hankkeen toteuttivat yhteistyössä Luonnonvarakeskus (Luke) ja Suomen ympäristökeskus (Syke).

2. Koetoiminnan yhteistyötilat Lounais-Suomessa

2.1. Yhteistyötilojen kuvaus

Hankkeen yhteistyötiloina oli neljä lounaissuomalaista tilaa, joissa kasvatettiin lihasikoja, emakoita välikasvatuksineen (tarkastelussa mukana emakot), broilereita ja munituskanoja. Tiloista kaksi sijaitsevat Saaristomeren valuma-alueella ja kaksi Selkämeren valuma-alueella (Kuva 2).



Kuva 2. Yhteistyötilat kartalla (mustat tähdet). Saaristomeren valuma-alue on merkitty punaruskealla värillä, jossa kaksi tiloista sijaitsee. Kaksi muuta tilaa sijaitsevat Kokemäenjoen valuma-alueella.

Yhteistyötilat edustavat kunkin eläimen ”keskimääräistä” tuotantotapaa esimerkiksi ruokinnan, viljelytoimenpiteiden ja lannankäsittelyn suhteen. Tilat käyttävät pääasiassa lantaa omien peltojensa lannoitukseen. Tilojen viljelijät haastateltiin ja heiltä pyydettiin mm. seuraavia tietoja (Taulukko 1):

- eläinten ruokinta
- lannankäsittely (eläinsuoja, varastointi)
- lannan levitys
- viljely ja peltojen ominaisuudet

Taulukko 1. Hankkeen yhteistyötilojen keskeiset tiedot.

Tuotantoeläin	Lihasiat	Yhdistelmäsikala (emakot)	Broilerit	Munituskanat
Eläinpaikat	5 000	80 emakkoa	55 000	45 000
Lantamäärä/vuosi	18 000 m^3 (lietelantaa)	3 300 m^3 (lietelantaa)	900 m^3	2 500 m^3
Kuivike	Vain virikkeeksi	Sahanpuru, kutteri	Turve	Kutterilastu
Lannan vuotuinen luovutus (lähialueen tiloille)	1 500 m^3	600–800 m^3	150 m^3	750 m^3
Lannanlevitysala (omassa käytössä oleva peltoala)	600 ha	160 ha	400 ha	400 ha
Viljelykierto tilan pelloilla	Viljakierto, pääasiassa ohraa	Vehnä, ohra, härkäpapu	Rehuvilja kasvatetaan tilalla; vehnä, ohra, öljykasvit, siemennurmi	Rehuvilja kasvatetaan tilalla; kaura, ohra, vehnä
Peltojen syysmuokkaus	Kevytmuokkaus	Kevytmuokkaus	Kevytmuokkaus, 80 % peltoalasta aina kasvipeitteinen	Kevytmuokkaus

2.2. Maanäytteiden otto ja maa-analyysien tulokset

Hankkeessa toteutettavaa huuhtoumakoetta ja tarkempia maa-analyysejä varten jokaiselta tilalta valittiin kaksi savista maalajia edustavaa peltolohkoa, joista toisella lannanlevitys on ollut runsasta ja toisella vähäistä (Kuva 3). Näillä vertailupeltolohkoilla fosforiluvut (P-luku) edustivat siten matalaa ja korkeaa viljavuusluokkaa. Vertailulohkoilta pyydettiin tiedot lannoitus- ja viljelyhistoriasta sekä tiloilta löytyvät viljavuusanalyysien tiedot. Peltolohkoilta otettiin maanäytteet 0–10 cm ja 20–30 cm syvyyksiltä fosforianalyyseihin syksyllä 2022. Huuhtoumakoetta varten haettiin pintamaakerrosta 0–10 cm syvyydeltä. Lisäksi tiloilta otettiin lantanäytteet lanta-analyysiin. Taulukkoon 2 on koottu vertailulohkojen tiedot.

Maanäytteistä (pintamaa 0–10 cm ja pohjamaa 20–30 cm) tehtiin viljavuusanalyysi, hiili-typpianalyysi, lajitekoostumusmääritys sekä fosforin fraktiointi Hedleyn menetelmällä. Lisäksi määritettiin fosforin kyllästysaste.

Maanäytteistä (pintamaa 0–10 cm ja pohjamaa 20–30 cm) tehtiin viljavuusanalyysi, hiili-typpianalyysi, lajitekoostumusmääritys sekä fosforin fraktiointi Hedleyn menetelmällä. Lisäksi määritettiin fosforin kyllästysaste.

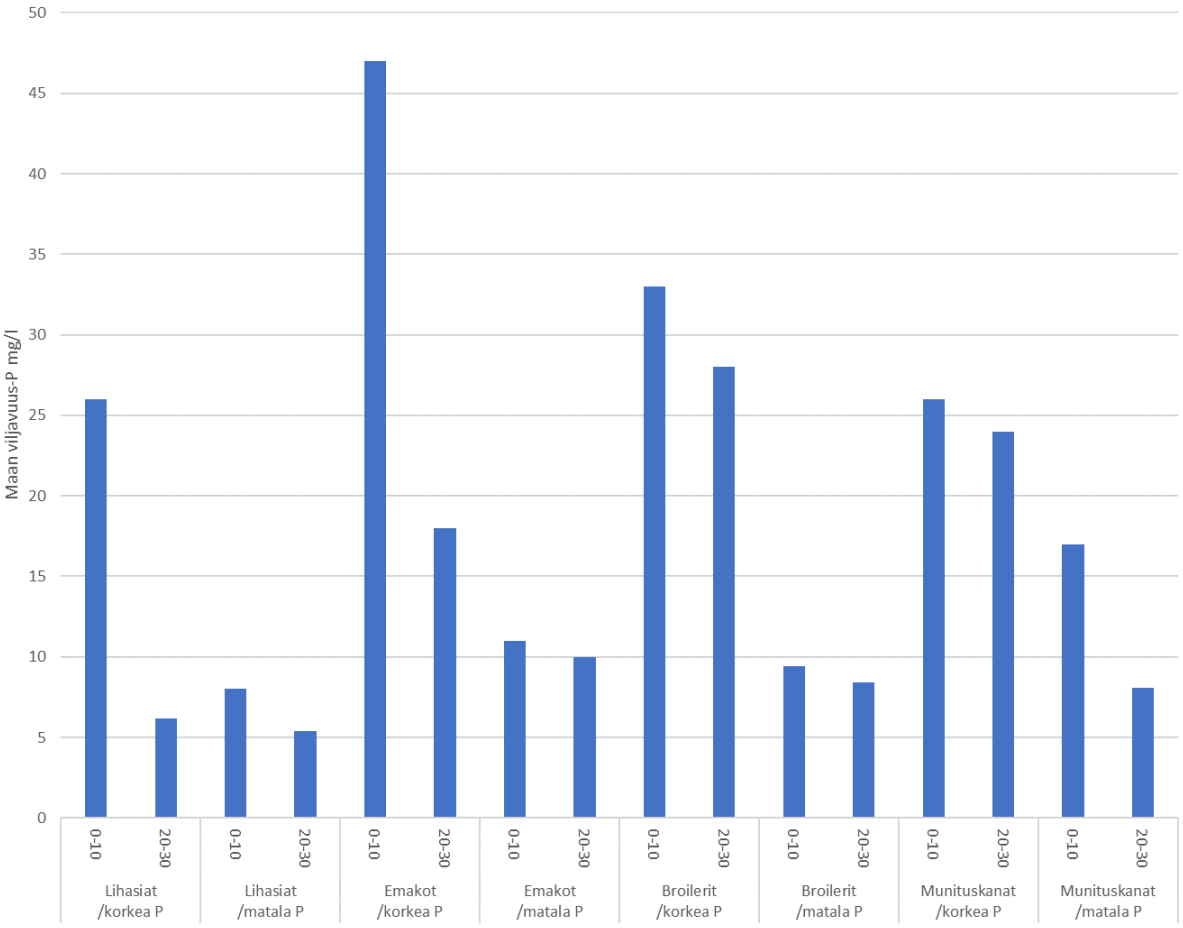
Kuva 3. Valituilta peltolohkoilta otettiin maanäytteet analyyseihin ja huuhtoumakokeeseen syksyllä 2022. Kuvat: Kirsi Järvenranta.

Taulukko 2. Tietoja peltolohkoista, joista otettiin maanäytteet analyyseihin ja maa-aines huuhtoumakokeeseen. Maalaji, multavuus ja hiilipitoisuus on määritetty Luken laboratoriossa, viljavuusfosforipitoisuus Eurofins Agrossa.

Vertailulohko	Lannoitus-historia	Kasvi näytteenotto-vuonna	Maalaji, hiilipitoisuus (pinta-maa, pohjamaa)	Viljavuus-luokka*	Lohkon koko, muuta
Lihasiat /korkea P	Lietelantaa 2016–2020	Ohra	mHsS, vmHsS C 3,3;1,7 %	6	48,6 ha
Lihasiat /matala P	Ei lantaa, NPK 28-3-5	Kevätvehnä	rmHeS, mHeS C 4,8; 2,8 %	4	5,6 ha
Emakot /korkea P	Lietelantaa viimeiset 5 vuotta	Ohra	rmHsS, mAS C 5,7; 2,9 %	7	8,5 ha
Emakot /matala P	Ei lantaa, N- tai hivensalpietari	Kevätvehnä	mHeS, vmHeS C 2.3; 1,5 %	4	4,2 ha
Broilerit /korkea P	Lantaa viimeksi 2018	Kevätvehnä	mHsS, mHsS C 2.9; 2,1 %	6	12,3 ha, rajoittuu vesistöön
Broilerit /matala P	Lantaa 2021	Kevätvehnä	rmHsS, rmHsS C: 5,8; 4,6 %	4	10,5 ha
Munituskanat /korkea P	Lantaa	Kevätvehnä	mHsS; mHsS C: 2,7; 2,3 %	6	8,5 ha, rajoittuu vesistöön
Munituskanat /matala P	Lantaa	Kevätvehnä	mHeS, mHeS C:3,2; 2,7 %	5	3,0 ha

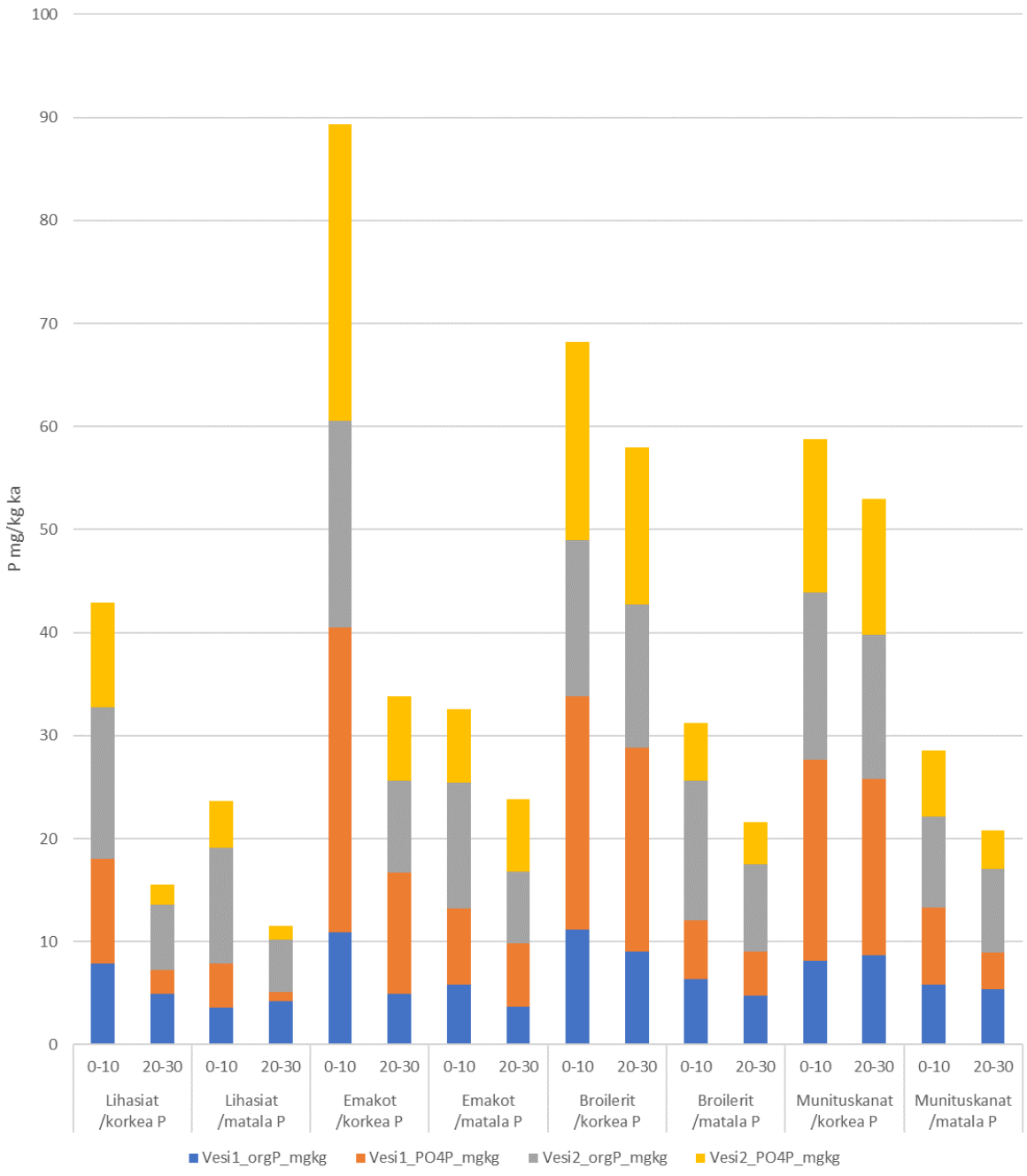
*Nk. fosforiasetuksen (64/2023) viljavuusluokkien numeroinnin vastaavuus aiemmin käytössä olleeseen luokitteluun: 1=huono, 2=huononlainen, 3=välttävä, 4=tyydyttävä, 5=hyvä, 6=korkea, 7=arveluttavan korkea.

Peltolohkoilla, joille lantaa oli levitetty runsaasti pidemmän ajan kuluessa (Kuva 4: merkintä /korkea P), oli odotetusti korkeat viljavuusfosforin pitoisuudet pintamaassa (0–10 cm). Vähemmän lantaa saaneilla lohkoilla oli jokaisella tilalla vertailulohkoaan alempi viljavuusfosforin pitoisuus (/matala P). Korkean fosforipitoisuuden lohkoilla pinta- ja pohjamaan välinen fosforipitoisuuden ero oli paikoin huomattava (>75 %). Tämä johtuu todennäköisesti lohkon runsaasta lannanlevityshistoriasta ja kevennetystä maan muokkauksesta, jolloin fosforia kertyy pintamaahan. Matalamman fosforipitoisuuden lohkoilla syvyyssuuntainen vaihtelu oli pienempää.

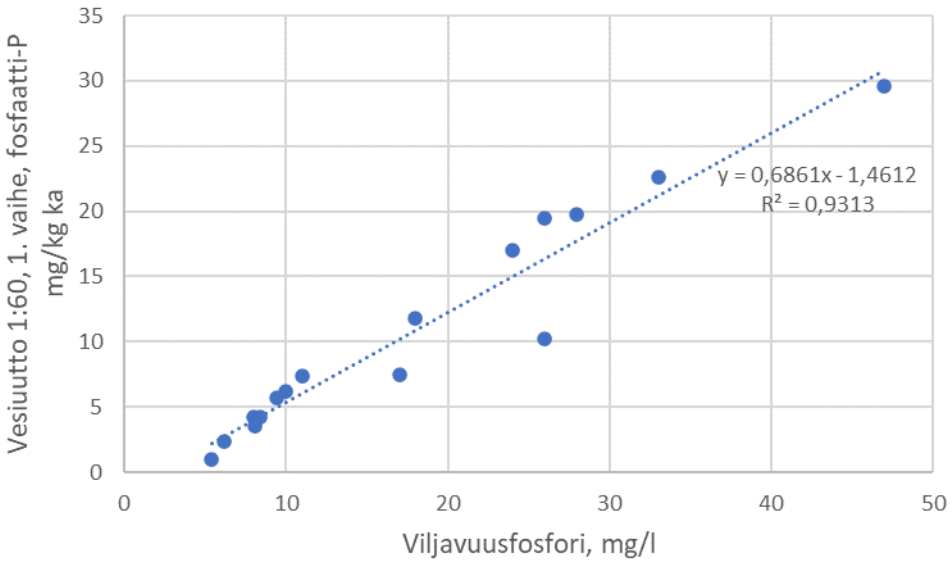


Kuva 4. Vertailulohkojen viljavuusfosforin pitoisuudet (mg/l) pintamaassa (0–10 cm) ja pohjamaassa (20–30 cm).

Kuvan 5 vesiuuttoiset fosforifraktiot Hedleyn uuttosarjassa kuvaavat välittömästi kasveille käytettävissä olevaa fosforivarantoa maassa. Tulokset ovat hyvin samankaltaiset viljavuusfosforin pitoisuuksien kanssa (Kuva 4). Pintamaassa (0–10 cm) on erityisesti korkean fosforitason lohkoilla runsaasti kasveille käyttökelpoista fosforia, kun taas pohjamaassa tämä fosforivaranto on pienempi. Vesiuuttoisen fosforin ja viljavuusfosforin välillä havaittiin positiivinen, lähes lineaarinen korrelaatio (Kuva 6). Eri tuotantosuunnissa ei ole nähtävissä eroavaisuuksia vesiuuttoisen fosforin fraktioissa tai kokonaismäärissä.



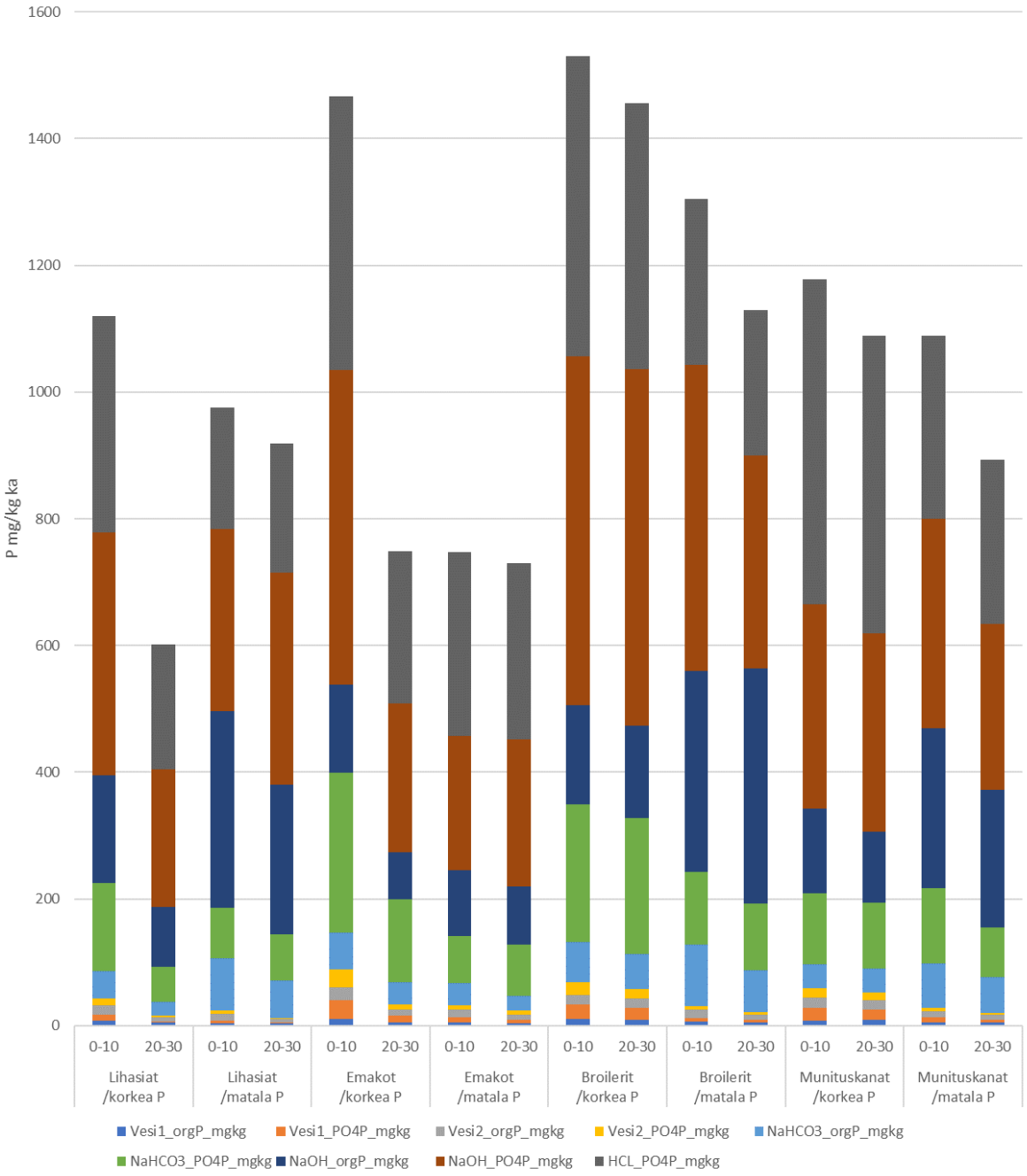
Kuva 5. Vertailulohkojen vesiuuttoiset fosforifraktiot Hedleyn menetelmällä.



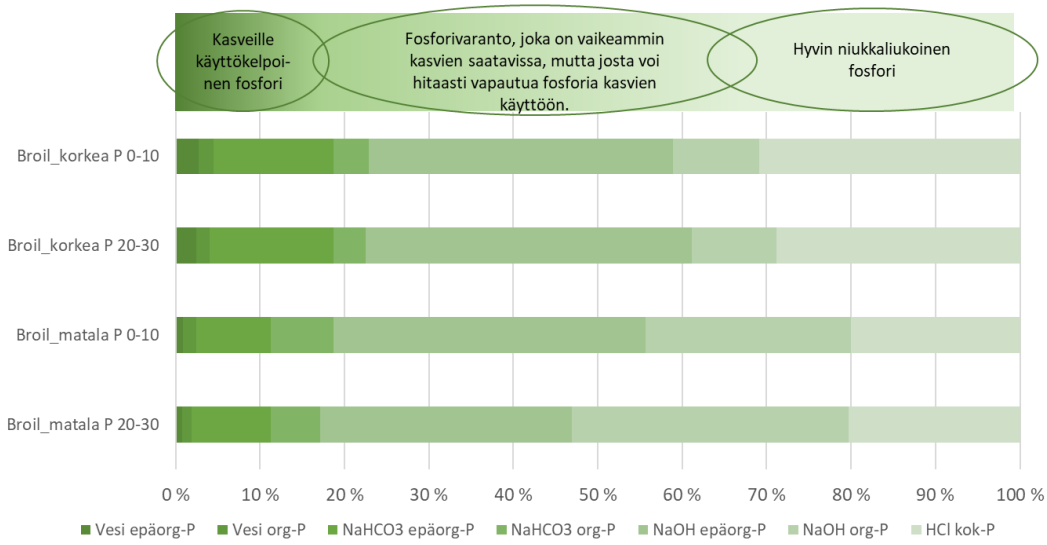
Kuva 6. Vesiuuttoisen fosfaattifosforin ja viljavuusfosforin välinen yhteys vertailulohkoilla.

Kuvassa 7 on esitetty kaikki Hedleyn uuttosarjan fosforifraktiot vertailulohkoilla. Yhteenlasketut fraktioiden pitoisuudet pintamaassa olivat runsailla lannanlevityslohkoilla (/korkea P) 1120–1530 mg/kg ka ja vähemmän lantaa saaneilla lohkoilla (/matala P) 750–1300 mg/kg ka. Suurimmat maan fosforipitoisuudet olivat käytännössä liukenematon suolahappouuttoinen (HCl) fraktio ja natriumhydroksidiin (NaOH) liukeneva fraktio. Nämä ovat suhteellisen stabiilia, mineraalirakenteeseen ja rauta- ja alumiinioksideihin pidättynyttä fosfaattia sekä orgaanista fosforia, jotka ovat käytännössä kasvien saavuttamattomissa. Natriumkarbonaattiin ($NaHCO_3$) liukenevan fosforin katsotaan antavan kuvan labiilista eli vaihtuvassa muodossa olevasta fosforivarannosta. Se vapautuu kasvien saataville maapartikkeleista, kun maaveden fosforipitoisuus laskee esimerkiksi kasvien sitä ottaessa tai sadeveden huuhtoessa maata. Tämä labiili fraktio oli pintamaassa 210–400 mg/kg ka runsaasti lantaa saaneilla lohkoilla (/korkea P) ja 140–240 mg/kg ka vähemmän lantaa saaneilla lohkoilla (/matala P).

Peltomaassa kasveille käyttökelpoiseksi katsottava fosforimäärä (vesiliukoinen ja $NaHCO_3$-liukoinen) muodosti vain noin viidenneksen tarkasteltavan maakerroksen kokonaisfosforin määrästä vertailulohkoilla (Kuva 8). Noin 30–40 % on vaikeampiliukoista fosforivarantoa, joka voi vapautua kasvien käyttöön pidemmän ajan kuluessa. Loput noin 30 % on mineraaliainekseen sitoutunutta, liukenematonta fosforia. Kasveille suoraan käyttökelpoinen fosfori on altis huuhtoutumiselle sateen tai sulamisvesien mukana, joten sen määrä tulisi pitää vain kasvien tarvetta vastaavalla tasolla. Runsas fosforilannoitus lantana tai mineraalilannoitteina nostaa tätä fraktiota helposti korkeammalle tasolle, jolloin fosforin huuhtoutumisriski vesistöön kasvaa. Myös vaikeammin liukeneva fosforivaranto voi aiheuttaa vesien rehevöitymistä, sillä tiukemmin esimerkiksi savespartikkeliin sitoutunut fosfori voi vapautua vesistöön joko ympäröivän vesimassan ”pestessä” maapartikkeleja tai vesistön hapettomissa pohjissa, jolloin pelkistysreaktiot vapauttavat maan rautaa ja siihen sitoutunutta fosforia.



Kuva 7. Vertailulohkojen Hedleyn fosforifraktiot. Hedleyn menetelmässä uuttoliuokset ovat 2x 1:60 vesiuutto, $NaHCO_3$ (Olsen-P), 1 M NaOH, 1 M HCl. Fraktioista määritetään sekä epäorgaaninen (fosfaattifosfori) että orgaaninen fosfori, paitsi viimeisestä HCl-uutosta vain fosfaattifosfori.



Kuva 8. Esimerkkinä broileritilan vertailulohkojen fosforin suhteellinen käyttökelpoisuus kasveille ja jakautuminen erilaisiin maan fosforivarastoihin (Hedleyn fraktioinnin fosforipitoisuuksien suhteelliset osuudet) pinta- (0–10 cm) ja pohjamaassa (20–30 cm). Tuotantosuuntien välillä ei havaittu eroja.

2.3. Yhteenveto

Yhteistyötilojen (lihasiat, emakot, broilerit, munituskanat) peltolohkoilta valittiin kaksi savista maalajia edustavaa vertailulohkoa, joista toisella lannanlevitys on ollut runsasta ja toisella vähäistä. Runsaasti lantaa saaneilla lohkoilla oli pintamaassa (0–10 cm) korkeat viljavuusfosforin ja vesiliukoisen fosforin pitoisuudet. Pinta- ja pohjamaan välinen fosforipitoisuuden ero oli paikoin huomattava (>75 %). Tämä johtuu todennäköisesti lohkon runsaasta lannanlevityshistoriasta ja kevennetystä maan muokkauksesta, jolloin fosforia kertyy pintamaahan. Matalamman fosforipitoisuuden lohkoilla syvyyssuuntainen vaihtelu oli pienempää sikatuotannossa, muttei siipikarjatuotannossa. Vähemmän lantaa saaneilla lohkoilla oli jokaisella tilalla vertailulohkoaan alemmat viljavuusfosforin ja vesiliukoisen fosforin pitoisuudet. Eri tuotantosuunnissa ei ole nähtävissä eroavaisuuksia maan fosforipitoisuuksien osalta.

Vertailulohkoilla kasveille käyttökelpoiseksi katsottava fosforimäärä (vesiliukoinen ja $NaHCO_3$-liukoinen) muodosti vain noin viidenneksen tarkasteltavan maakerroksen kokonaisfosforin määrästä tuotantosuunnasta riippumatta. Noin 30–40 % on vaikeampiliukoista fosforivarantoa, joka voi vapautua kasvien käyttöön pidemmän ajan kuluessa. Loput noin 30 % on mineraaliainekseen sitoutunutta, liukenematonta fosforia. Kasveille suoraan käyttökelpoinen fosfori on altis huuhtoutumiselle sateen tai sulamisvesien mukana, joten sen määrä tulisi pitää vain kasvien tarvetta vastaavalla tasolla.

3. Pintavaluntasimuloinnilla kiinni lannan lannoituskäytön ravinnekuormitusriskiin

Huuhtoumakokeen tavoitteena oli selvittää sika- ja siipikarjatuotannon peltomaiden fosforikuormituspotentiaalin vaihtelua, ilmastonmuutoksen vaikutusta kuormitukseen sekä kipsikäsittelyn merkitystä kuormituksen vähentämisessä.

Huuhtoumakoe toteutettiin kappaleessa 2 kuvattujen yhteistyötilojen pelloilta kerätyillä maanäytteillä. Tiloilta valittiin kaksi erityyppistä peltolohkoa, joiden maan savespitoisuus ylitti 50 %, mikä on tyypillistä Saaristomeren valuma-alueelle. Toisella lohkolla maan viljavuusfosforin (P_{aac}) pitoisuus oli matala eikä ja sille ollut levitetty lantaa viime vuosina. Toinen lohkoista edusti lannanlevitysalaa ja sen viljavuusfosforin pitoisuus oli korkea.

Huuhtoumakokeessa tutkittiin matalan ja korkean fosforitilan pelloilta pintakerrosvalunnassa muodostuvan fosforikuormituksen vaihteluväliä ja jo aiemmissa tutkimuksissa tehokkaaksi todetun kipsikäsittelyn merkitystä kuormituksen vähentämisessä. Kolmas tutkittu tekijä oli sääolosuhteiden vaikutus huuhtoumaan; Lounais-Suomessa lumiset talvet vähenevät ja talvisten vesisateiden määrä kasvaa ilmaston lämmetessä. Huuhtoumakokeessa lumen määrä vastaa alueen keskimääräistä lumen vesiarvoa (Hydrologinen vuosikirja 2006–2010) ja sadetuksen intensiteetti vastasi runsasta sadetta. Laatoille lisättävä vesimäärä (50 mm) ja sen jakautuminen lumeen ja sadeveteen sovitettiin edustamaan yksittäistä talviaikaista leudon sään jaksoa, ei koko vuoden sadantaa.

3.1. Huuhtoumakokeen toteutus

Maanäytteet (n. 50 kg/näyte) otettiin puinnin jälkeen 0–10 cm maakerroksesta noin 0,5 m^2 alueelta. Näytteitä otettiin kahdeksan kpl/lohko satunnaisesti lohkon alueelta, yhteensä 64 kpl. Keruu tapahtui lokakuussa 2022 (Kuva 9). Samassa yhteydessä otettiin maan irtotiheysnäytteet samasta maakerroksesta. Maanäytelaatikot varastoitiin ulkolämpötilaa seuranneessa hallissa. Maanäytteet pakattiin huuhtoumakoetta varten valuntalaatikoihin, joihin punnittiin 45 kg maata. Maa jaettiin kahteen osaan 30 ja 15 kg. Suurempi osa levitettiin laatikon pohjalle ja tiivistettiin niin, että se muodosti yhtenäisen tasaisen kerroksen ja pienempi osuus lisättiin irtonaisena pohjakerroksen päälle.

Kipsikäsittelyyn arvottuihin laatikoihin (32 kpl) lisättiin 4000 kg/ha vastaava määrä kipsiä suhteutettuna maan kuiva-ainepitoisuuteen (4 g kipsiä/kg maan kuiva-ainetta). Kipsi annosteltiin valuntalaatikkoon kahdessa erässä. Pohjakerroksen päälle ripoteltiin 1/3 kipsimäärästä ennen maan tiivistämistä ja 2/3 lisättiin irtonaiseen pintamaahan ja sekoitettiin kevyesti. Valmiit valuntalaatikot varastoitiin ennen koetta -2 asteessa kylmäkontissa.

Huuhtoumakoe tehtiin kevättalvella 2023 (Kuva 9). Kokeessa 21 mm eli 40 % vedestä lisättiin jäisille laatoille lumena ja 30 mm (60 %) sadetuksena paljaaseen maahan lähes kaiken lumen sulettua. Laattoja sadetettiin 10 mm/pvä niin, että sadetus jaettiin päivän aikana kolmessa 3,3 mm erässä välttäen rankkasateen tyyppistä sadetusta. Lumen ja sateena lisätyn veden tarkka määrä suhteutettiin pinta-alan lisäksi maan kuivapainoon.

Lumen sulatus tehtiin kahden vuorokauden aikana niin, että olosuhdekammion lämpötila vaihteli vuorokausisyklissä 12 tuntia +10 astetta ja 12 tuntia -2 astetta. Sulatusjaksoa seurasi

kolmen vuorokauden sadetusjakso samalla lämpötilasyklillä. Lumen ja sateen jälkeen laatat saivat valua kaksi vuorokautta. Peräkkäisiä, lämpötila- ja sadetusolosuhteiltaan identtisiä koejaksoja oli 11. Lumen ja sateen tuottama valunta kerättiin ja analysoitiin erikseen. Vedestä analysoitiin suodattamaton kokonaisfosfori, suodatettu liukoinen fosfori sekä kiintoainepitoisuus. Lisäksi vedestä analysoitiin kalsium, kalium, liukoinen orgaaninen hiili (DOC), magnesium, rikki, kokonaistyppi, ammoniumtyppi, nitraattityppi, pH ja sähkönjohtokyky (Liite 1).

Valuntalaatikoiden järjestys koejaksoille arvottiin. Huuhtoumakokeen aineisto tarkasteltiin SAS univariate -menetelmällä ja yksittäiset selkeästi poikkeavat havainnot poistettiin (esim. maapaakku ajautunut vesinäytteeseen). Aineistosta laskettiin suorat peltokohtaiset keskiarvot valunnasta sekä lumen ja sadevesihuuhtouman pitoisuuksista. Koko koejakson ravinnepitoisuuksista laskettiin keskiarvot painotettuna lumen ja sadevesihuuhtouman suhteellisilla osuuksilla. Huuhtouman ainemäärähuuhtoumat laskettiin kertomalla valumaveden pitoisuus valunnan määrällä ja skaalaamalla tulos hehtaaria kohti.

Kuva 9. Huuhtoumakokeen maanäytteet nostettiin 0–10 cm pintamaakerroksesta ja pakattiin valuntalaatikoihin, joissa tehtiin lumensulatus ja sadetuskäsittelyt SIMU-olosuhdekammiossa. Kuvat: Kirsi Järvenranta.

3.2. Maan ominaisuudet ja valunnan määrä

Koepeltojen maan koostumus on esitelty kattavasti kappaleessa 2. Tässä esitetään vain huuhtouman fosforikuormituksen kannalta oleelliset muuttujat (Taulukot 3 ja 4). Pellolta otettiin maanäytteitä sekä yleisesti koko lohkolta (P_{aac} mg/l 0–10 cm) että samasta erästä, joka pakattiin valuntalaatikkoon (Koemaa P_{aac} mg/l 0–7 cm). Maanäytteiden fosforipitoisuus vaihteli joillain lohkoilla paljon. Esimerkkinä emakoiden ja munituskanojen Korkea P -lohkot, missä yleisnäytteen ja valuntalaatikkonäytteen maiden P-pitoisuudessa oli suuri ero: emakoilla 20 mg P/l ja munituskanatilalla 22 mg P/l. Erot voivat johtua lannan epätasaisesta levittymisestä lohkon sisällä, mikä heijastuu osanäytteisiin.

Taulukko 3. Huuhtoumakokeen peltolohkojen fosfori- ja kalsiumpitoisuudet, fosforin kyllästysaste ja pH. Koemaa Paac 0–7 cm kuvaa suoraan huuhtoumalle altistettua maanäytettä, Paac mg/l 0–10 cm otettiin koko peltolohkolta maanäytteiden noston yhteydessä.

	Pelto	Hedley, $TotP_{H2O}$ mg/kgka 0–10 cm	Lohko, P_{aac} mg/l 0–10 cm	Koemaa, P_{aac} mg/l 0–7 cm	Fosforin kyllästysaste, DPS%	Kalsium, mg/l	pH
Matala P							
Lihasiat	1	23,6	8,0	9,9	19,6	2 200	6,3
Emakot	2	32,6	11,0	13,0	19,4	1 930	5,7
Broilerit	3	31,2	9,4	8,6	21,8	2 930	6,1
Munituskanat	4	28,6	17,0	22,3	24,8	1 950	6,7
Korkea P							
Lihasiat	5	42,9	26,0	25,5	18,5	1 900	6,8
Emakot	6	89,4	47,0	66,5	38,2	4 400	6,2
Broilerit	7	68,2	33,0	41,8	28,1	3 930	6,1
Munituskanat	8	58,8	26,0	48,0	24,3	2 880	6,8

Annetusta 50 mm vesimäärästä 40 mm eli 79 % (vaihteluväli 59–96 %) päätyi kokeen kokonaisvaluntaan (Taulukko 3.2). Lumen osuus maanäytteille annetusta vesimäärästä oli 40 %, mutta huuhtoutuneesta vesimäärästä se vastasi vain 13 % (vaihteluväli 7–21 %). Suuri osa lumena annetusta vedestä pidättyi siis hetkellisesti maahan ja purkautui vasta sadeveden mukana. Sadeveden osuus huuhtoumasta oli vastaavasti 87 %. Tästä syystä kokeessa lumen sulamisvalunnan osuus kokonaiskuormituksesta oli pieni ja sadevalunnan pitoisuudet painottuvat voimakkaasti.

Lumen sulaminen on maahan kohdistuvan rasituksen osalta huomattavasti sadetta lempeämpi prosessi, mikä näkyi lumen sulamisvedessä sateen aiheuttamaa huuhtoumaa matalampina eroosioaineksen pitoisuuksina. Liukoisten ravinteiden kannalta maata huuhtovan veden alkuperällä ei ollut merkitystä. Koska lumen sulannan osuus huuhtoumasta oli varsin pieni, tuloksissa tarkastellaan tästä eteenpäin talvisen sulamisjakson aiheuttamaa fosforikuormitusta kokonaisuutena ja tulokset esitetään koko sulamisjaksolle, missä lumen ja sadetuksen osuudet on laskettu painotettuina keskiarvoin. Lumen sulantaa ja sadetusta ei siis erotella.

Peltolohkojen maalaji ja maan hiilipitoisuus vaikuttivat huuhtoutuneen veden määrään. Mitä hienojakoisempi maa ja korkeampi orgaanisen aineen määrä, sitä enemmän vettä sitoutui maahan (Taulukko 3.2). Koska pitoisuuden lisäksi toinen päätekijä ravinnekuormituksen synnyssä on valunnan määrä, eri peltolohkojen hehtaarikohtainen ravinnekuormitus oli sidoksissa kunkin peltolohkon maan koostumukseen ja vedenpidätyskykyyn eikä tältä osin heijasta tuotantosuunnan vaikutusta.

Esimerkiksi emakoilla korkean fosforitilan pellon maalaji oli koepelloista hienojakoisin, ja sillä oli korkein hiilipitoisuus, fosforipitoisuus ja fosforin kyllästysaste. Huuhtouman määrä puolestaan oli pienin, koska vettä pidättyi hienojakoiseen ja runsaasti orgaanista ainesta sisältävään maahan enemmän kuin muiden koepeltojen maihin. Tästä syystä, vaikka pellon valumaveden fosforipitoisuus ja erityisesti liukoisen fosforin pitoisuus olivatkin korkeita, kilomääräinen kuormitus ei noussut merkittävästi muita peltoja suuremmaksi kokeessa käytetyllä 50 mm:n lumen ja sateen vesimäärällä. Kun sademäärä ylittää pellon kapasiteetin pidättää vettä,

huuhtoman määrä kasvaa. Näin ollen tulevaisuudessa lisääntyviksi ennustetut rankkasateet ja sateiden ajoittuminen aiempaa enemmän kasvukauden ulkopuolelle voivat lisätä ravinteiden huuhtoutumista myös tämän tyyppisiltä lohkoilta.

Taulukko 4. Huuhtoumakokeen peltolohkojen maalajikoostumus Saves-Hieno hiesu (S-HHs %), Karkea hiesu – Sora (KHs-Sr %), pintamaan (0–10 cm) hiilipitoisuus (C %) ja valumaveden määrä lumen ja sateen osalta sekä kokonaisvalunta (Yht mm).

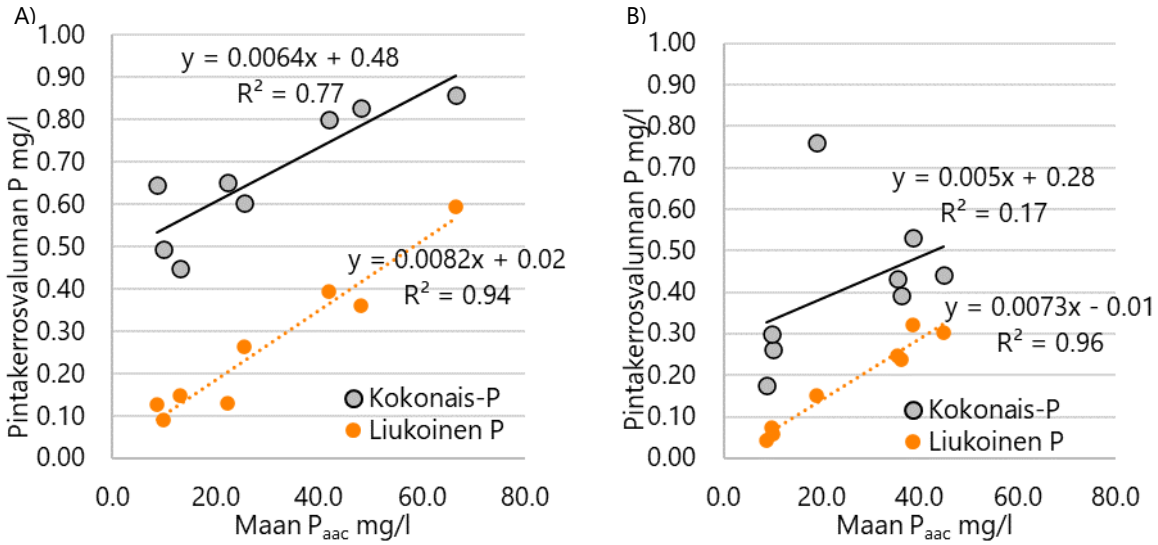
	S-HHs %	KHs-Sr %	C %	Lumi mm	Sade mm	Yht. mm
Matala P						
Lihasiat	60	40	4,8	6	33	39
Emakot	54	46	2,3	5	39	44
Broilerit	67	33	5,8	5	28	35
Munituskanat	44	56	3,2	6	39	46
Korkea P						
Lihasiat	67	33	3,3	4	38	43
Emakot	74	26	5,7	4	25	29
Broilerit	68	32	2,9	4	33	37
Munituskanat	66	34	2,7	7	40	47

3.3. Valumaveden fosforipitoisuudet ja kipsin vaikutus

Huuhtouman kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuudet olivat voimakkaasti riippuvaisia maan fosforipitoisuudesta (Kuva 10). Pitkään jatkunut runsas lannankäyttö vaikuttaa oleellisesti pellon fosforipitoisuuteen ja saattaa vaikuttaa myös pellon orgaanisen aineksen määrään. Kyseessä on tilan sisäinen ratkaisu lannan käytön suhteen eikä suoraan tuotantosuuntaan liittyvä tekijä. Valumaveden määrällä, joka vaihteli jonkin verran lohkojen välillä, ei ollut vaikutusta liukoisen fosforin pitoisuuteen (mg/l). Sen sijaan valumaveden määrä vaikuttaa pinta-alaa kohti laskettavaan (kg/ha) kuormitukseen. Koska maan fosforipitoisuuden vaikutus on näin voimakas, tulosten tulkitseminen tuotantosuunnan kautta olisi virheellistä. Lisäksi kutakin tuotantosuuntaa edusti tässä kokeessa vain yksi tila, joten senkään vuoksi tulosten yleistämistä tuotantosuuntaa kohti ei voida tehdä. Niinpä tuloksia esitetään ja tulkitaan tästä eteenpäin ensisijaisesti pellon ominaisuuksien perusteella.

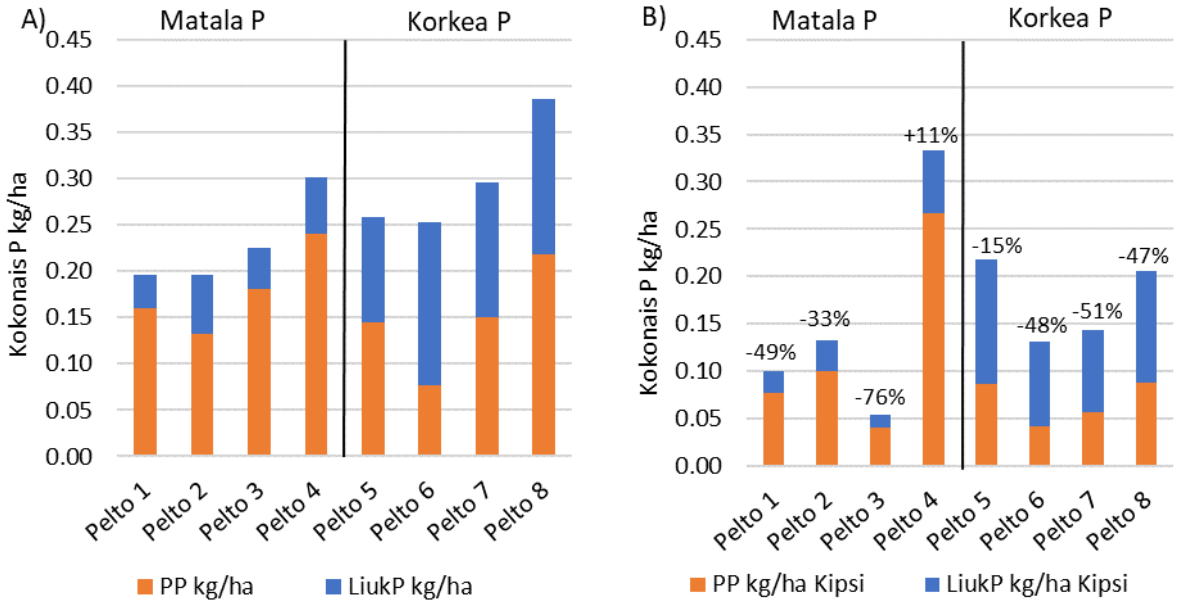
Kipsikäsittely (4 t/ha) alensi huuhtouman kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuutta merkittävästi lähes kaikilla pelloilla. Yhdellä koepellolla kipsikäsittely näytti kuitenkin hieman lisäävän huuhtouman fosforipitoisuutta. Poikkeava pelto kuului luokkaan ”Matala fosforipitoisuus”, mutta sen kokeeseen päätyneen maan P-pitoisuus oli 22 mg/l ja maalaji koepelloista karkein. Myös huuhtoumaveden sähkönjohtavuus ja typpipitoisuus olivat sekä käsittelemättömässä maassa että kipsikäsitellyssä maassa peltolohkoista korkeimmat. Matala P-lohkolle oli ennen koetta levitetty sama määrä lantaa kuin saman tilan Korkea P-lohkolle. Peltolohkon kipsikäsitellyiltä maalaatoilta huuhtoutui käsittelemätöntä maalaattaa hieman enemmän sekä kokonaisfosforia että fosfaattifosforia, mutta kiintoaineen huuhtoutuminen kuitenkin väheni yli 30 %. Kyseessä ei ole täysin poikkeuksellinen ilmiö, vaan myös Ekholm ym. (2024) havaitsivat suurta vaihtelua liukoisen fosforin pitoisuuksissa valuma-aluetasolla tehdyssä tutkimuksessa. Aiemmissa kokeissa on todettu myös, että routaisen maan päälle levitetty kipsi lisää merkittävästi liukoisen fosforin huuhtoutumista (Ekholm ym. 2022). Tässä kokeessa kipsi annosteltiin kuitenkin sulaan maahan, joten routa ei voi olla selittävä tekijä.

Vaikka kipsikäsittelyllä saadaan aikaan nopeaa kuormituksen vähenemistä, tehokkain keino vähentää liukoisen fosforin huuhtoutumista pysyvästi on maan P-luvun alentaminen. Aiemmin KiertoVesi-hankkeessa (Puustinen ym. 2019) tehtyjen laskelmien mukaan liukoisen fosforin huuhtoutuminen vähenisi Paimionjoen valuma-alueella 15 %, jos korkeat P-luvut laskisivat alle 15 mg/l. Jos P-luvut laskisivat vielä enemmän ollen kaikilla lohkoilla alle 10 mg/l, liukoisen fosforin huuhtoutuminen vähenisi nykytilasta 27 %. Kokonaisfosforin huuhtoutuminen alenisi näissä tilanteissa 16 % ja 20 %. Peltojen P-lukujen aleneminen on kuitenkin hidasta, ja tuolloin lasketut luvut kuvaavat potentiaalia, joka olisi mahdollista saavuttaa noin 20 vuoden kuluessa (Puustinen ym. 2019).



Kuva 10. A) Pintakerrosvalunnan kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin pitoisuudet ovat voimakkaasti yhteydessä maan viljavuusfosforin (Paac) pitoisuuteen. B) Kipsin (4 t/ha) vaikutus valumaveden pitoisuuksiin.

Kun kokeessa mitattujen huuhtoumien fosforipitoisuudet suhteutetaan laskennallisesti hehtaarikohtaisiksi kuormitusluvuiksi, talviaikaisen 40 mm valuntajakson aiheuttama kuormitus olisi peltolohkosta riippuen 0,19–0,4 kg kokonaisfosforia hehtaarilta (Kuva 11). Liukoisen fosforin osuus kuormituksesta vaihteli 18–70 % välillä. Koko vuoden valuntaan suhteutettuna 40 mm vastaisi noin 20 % Aurajoen huuhtoumakentän keskimääräisestä vuosivalunnasta (Puustinen 2023). Jakson kokonaisfosforihuuhtouma vastaisi 17–36 % pienten valuma-alueiden perusteella lasketusta pellon ominaiskuormitusarvosta 1.1 kg P /ha/v (Tattari ym. 2017). Pintakerrosvalunnan lisäksi savimailla salaojien kautta tuleva kuormitus voi oikovirtauksien seurauksena olla suurta (Äijö ym. 2017).

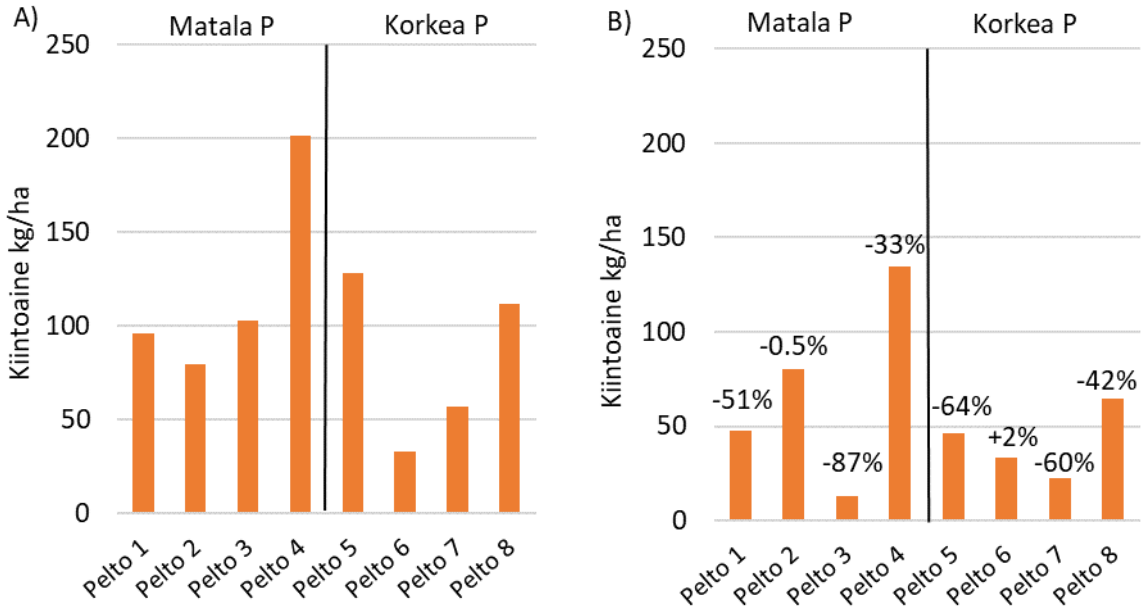


Kuva 11. A) Partikkeleihin sitoutuneen (PP) ja liukoisen fosforin (LiukP) huuhtoutuminen (kg/ha) matalan ja korkean fosforitilan peltolohkoilta ja B) kipsin (4 t/ha) vaikutus em. fraktioiden huuhtoutumiseen. Kipsin vaikutus on ilmaistu myös prosentteina lähtötilanteeseen verrattuna.

3.4. Kiintoainekuormitus

Kiintoaineen huuhtoutuminen maalaatoilta vaihteli peltolohkojen välillä huomattavan paljon (33–201 kg/ha) eikä se korreloinut vahvasti minkään selittävien muuttujien kanssa (Kuva 12). Voimakkain korrelaatio havaittiin kiintoainepitoisuuden ja karkean hiedan osuuden välillä (-0,66, p-arvo 0,08). savespitoisuus/maan hiilipitoisuus -suhde (0,61, p-arvo 0,11) ja huuhtouman määrä (0,60, p-arvo 0,12).

Talvien vesisateet lisäävät kasvipeitteettömien peltojen eroosiota enemmän kuin muiden vuodenaikojen sateet, ja niiden toistuvuus lisääntyy tulevaisuudessa (Kasvi ym. 2024). Tässäkin tutkimuksessa talvisateiden valumaveden kiintoainepitoisuutta lisäävä vaikutus näkyi selvästi, vaikka lumen sulamisveden ja sadevalunnan määrät erosivatkin huomattavasti. Sulamis-/jäätymissyklien, veden kyllästämän maan ja talvisateiden yhdysvaikutuksen on todettu heikentävän kipsin eroosiota vähentävää vaikutusta. Tässä tutkimuksessa kiintoaineen huuhtoutuminen talvisadejaksolla väheni kipsin vaikutuksesta keskimäärin yli 40 %, mutta vaihtelu oli suurta (+2…–87 %). Talviaikainen kasvipeitteisyys auttaisi vähentämään eroosiota huomioiden kuitenkin samalla sen liukoisen fosforin kuormitusta mahdollisesti lisäävä vaikutus (Kasvi ym. 2024).



Kuva 12. A) Kiintoaineen huuhtoutuminen (kg/ha) matalan ja korkean fosforitilan peltolohkoilta ja B) kipsin (4 t/ha) vaikutus kiintoaineen huuhtoutumiseen. Tuotantosuunnalla ei ollut merkitystä tulokseen.

3.5. Yhteenveto

Maan fosforipitoisuuden merkitys huuhtouman fosforipitoisuuteen dominoi tuloksia huuhtoumakokeessa täysin eikä eroja tuotantosuuntien välillä voitu osoittaa. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää erilaisten tuotantosuuntien ja lannankäyttömäärien aiheuttamaa vaihtelua huuhtouman muodostumisessa ja aineisto oli kooltaan pieni. Näin ollen kuormitusmalleissa käytettävien ominaiskuormituslukujen päivittäminen tämän kokeen tulosten perusteella ei ole mahdollista, vaan mallien luotettavuuden takaamiseksi aineistoa tarvittaisiin huomattavasti lisää. Sika- ja siipikarjatuotannon osalta kotimaisia huuhtoumatutkimuksia on tehty vähän, vaikka nämä tuotantosuunnat painottuvat rehevöitymisongelmaisen Saaristomeren valuma-alueella.

Korkea eläintiheys ja siitä seuraava suuri lantafosforin määrä peltoalaa kohti nostavat maan fosforipitoisuutta ja sitä kautta myös fosforikuormitusta. Ilmiö ei sinällään liity tuotantosuuntaan, vaan enemmänkin yksittäisen tilan lannoitusratkaisuihin. Maan fosforipitoisuuden vaihtelu eri peltojen välillä on suurta. Erityisesti kiinteää lantaa saaneilla peltolohkoilla myös pellon sisäinen vaihtelu voi olla merkittävää ja vaikuttaa maanäytteen fosforipitoisuuteen. Pellon ominaisuudet (maalaji ja orgaanisen aineksen määrä) vaikuttavat merkittävästi pellon vedenpidätyskykyyn ja huuhtouman määrään, kiintoaineksen pitoisuuteen ja sitä kautta sekä kiintoaine- että fosforikuormitukseen. Kipsikäsittely on tehokas tapa vähentää fosfori- ja kiintoainekuormitusta lyhytaikaisesti hienojakoisilla mailla, mutta ei toimi kaikilla pelloilla yhtä tehokkaasti. Peltomaan fosforipitoisuuden aleneminen on varmin keino vähentää kuormitusta. Sade huuhtoo enemmän ravinteita kasvipeitteettömästä peltomaasta kuin lumen sulaminen, joten talvisten vesisateiden yleistyminen tulee lisäämään ravinnekuormituksen riskiä.

4. Lannan lannoituskäytön vaikutus peltomaan fosforipitoisuuteen

Hankkeessa oli tavoitteena selvittää erilaisten tilaskenaarioiden avulla peltojen fosforilukujen (P-luku) kehitystä pidemmän ajan kuluessa tilanteessa, jossa tilan peltoja lannoitettiin lannalla erilaisten fosforilannoituksen rajojen mukaan. Tarkastelussa huomioitiin fosforiasetuksen (64/2023) lannoitusrajat lantapoikkeuksen kanssa ja ilman sitä, tutkitun kasvien fosforilannoituksen tarpeen mukainen lannoitus sekä nitraattiasetuksen mukainen lannoitus ilman fosforirajaa.

4.1. Tilaskenaarioiden rakentaminen ja lähtötiedot mallintamiselle

Kahdelle kuvitteelliselle tilalle (lihasiat, broilerit) luotiin lannan käsittelyn ja lannoituskäytön skenaariot, joilla mallinnettiin tilojen peltojen fosforilukujen kehitystä 25 vuoden ajalle. Tilojen keskimääräinen koko, peltolohkojen ominaisuudet ja viljelykäytännöt määriteltiin vastaamaan keskimääräisiä varsinaissuomalaisia eläintiloja. Kuvitteellisten tilojen perustiedot on esitetty taulukossa 5 ja täsmällisemmät tiedot liitteessä 2.

Taulukko 5. Lähtötiedot kuvitteellisille tiloille, joille lannoitusskenaariot laskettiin.

Tuotanto-suunta	Eläinpaikat	Lantaa muodostuu, tn/vuosi	Lannan typpi, tn/vuosi	Lannan fosfori, tn/vuosi	Lannan kuiva-aine, tn/vuosi	Pelto-pinta-ala, ha
Lihasiat	1 000	Lietelantaa: 3350	Kok-N: 14 liuk-N: 9	3	241	111
Broilerit	70 000	Kuivikepohja-lantaa: 1050	kok-N: 26 liuk-N: 3	12	662	250

Lohkokohtaiset peltotaseet fosforille laskettiin kolmen eri lannoitusskenaarion mukaan: 1) Lannoitus fosforiasetuksen (64/2023) mukaisesti, lantapoikkeus ei voimassa, 2) Lannoitus fosforiasetuksen (64/2023) mukaisesti, lantapoikkeus voimassa ja 3) Lannoitus kasvin tarpeen mukaisesti (Valkama ym. 2011, 2015). Lihasikalalle laskettiin lisäksi lannoitusskenaario, jossa tilalla edistetään fosforin kierrätystä lietelannan laskeutuksella (5 §, 64/2023). Vertailuksi laskettiin myös P-luvun muutos, mikäli lannalla voisi yhä lannoittaa vain nitraattiasetuksen (1250/2015) mukaan (levitysmäärää rajoittaa käytännössä lannan typpi). Vaikkei tämä ole enää lain mukaan mahdollista, niin voitiin toimia vielä äskettäin, vuoden 2022 loppuun saakka. Siksi sen mukainen levittäminen haluttiin tuoda mukaan vertailuun osoittamaan fosforilannoitusrajojen merkitystä P-luvun kehitykselle. Fosforilannoitusmäärät eri skenaarioilla on esitetty liitteessä 2.

Peltolohkojen lähtötietoja ja fosforitaseita käyttäen laskettiin lohkojen P-lukuennusteet viisivuosittain 25 vuoden ajalle Uusitalon ym. (2016) mallilla. Mallissa tehtiin lohkokohtainen tarkistus viljavuusluokalle aina viisivuotisjakson jälkeen. Mikäli lohkon viljavuusluokka oli muuttunut, lannoitusta muutettiin seuraavan kauden laskentaa varten.

4.2. Lannan käytön muutoksilla saavutetaan myös muutoksia P-luvuissa

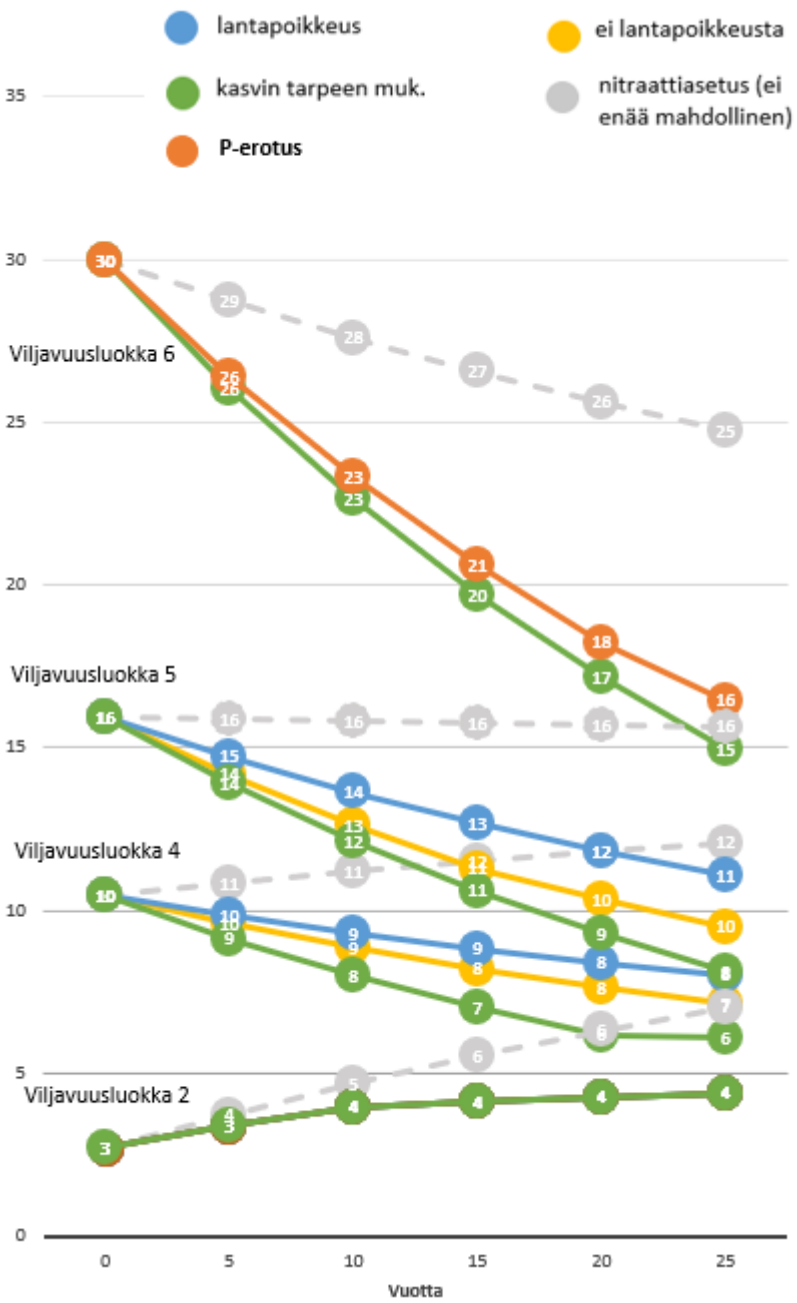
Kaikilla lannoitusskenaarioilla molemmille tiloille jäi runsaasti lantafosforin ylijäämää, jota tila ei pysty hyödyntämään lannoituksessa (Taulukko 6). Toisin sanoen suurin osa lannasta tulisi kuljettaa käytettäväksi muilla tiloilla (prosessointilaitoksen kautta tai suoraan). Broileritilalla kaikesta syntyvästä lantafosforista (kuivikepohjalanta) jopa 75–90 % oli ylijäämäistä. Sikatilalla vastaavasti 52–80 % lantafosforista (lietelanta) oli ylijäämäistä. Fosforiasetuksen lantapoikkeusta käytettäessä ylijäämä oli jonkin verran pienempi kuin ilman tätä. Mikäli lantapoikkeusta ei voisi hyödyntää, poiskuljetettava lantamäärä kasvaisi noin 24 % lihasikatilalla ja noin 10 % broileritilalla. Fosforin erotuksella (lietelannan laskeutus) lihasikatila voi käyttää tehokkaimmin lietelannan typen tilan omassa lannoituksessa, jos fosforirikas pohjajae kuljetetaan pois. Tämän pohjajakeen massa oli noin 330 tonnia vuodessa (kokonaislietemäärä 3350 tn) ja se sisälsi noin 1,1–1,7 tn fosforia.

Nitraattiasetuksen mukaan lannoitettaessa tilanne olisi ollut toinen. Tällöin sikatilalla olisi voitu käyttää kaikki syntyvä lietelanta tilan omassa lannoituksessa ja lisäksi levittää 1200 tonnia tilan ulkopuolista lietelantaa. Broileritilalla samoin, lantaa olisi voitu vastaanottaa 700 tonnia tilan ulkopuolelta kaiken oman levitettävän lannan lisäksi.

Taulukko 6. Tilojen lantafosforin ja lannan ylijäämä/alijäämä vuositasolla.

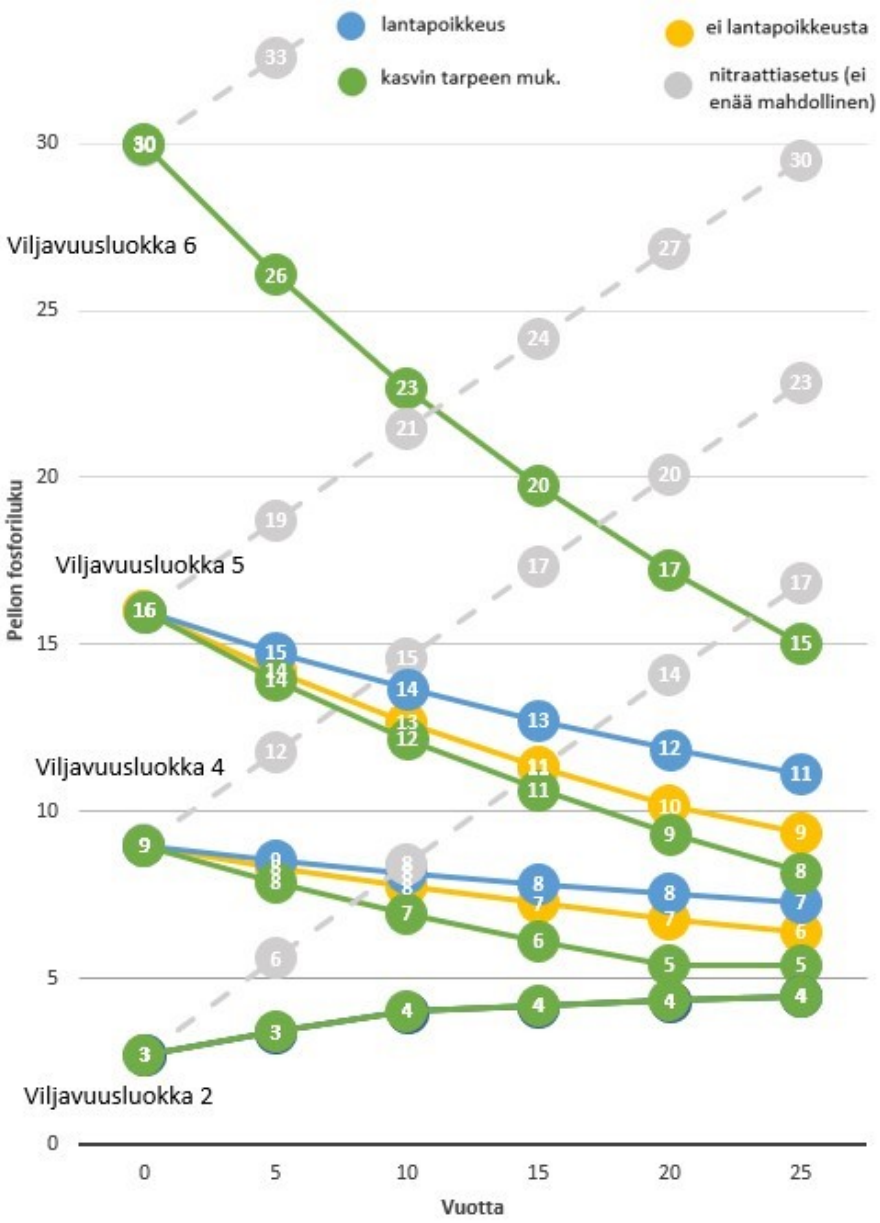
	Skenaario 1 Fosforiasetus, ei lantapoikkeusta		Skenaario 2 Fosforiasetus, lantapoikkeus käytössä		Skenaario 3 Kasvin tarpeen mukainen lannoitus	
	P, tonnia	Lantaa, tonnia	P, tonnia	Lantaa, tonnia	P, tonnia	Lantaa, tonnia
Lihasiat						
Lannoitustarve/ vuosi	1,0	1 210	1,4	1 620	0,6	670
Tilalla syntyvä määrä/vuosi	2,9	3 350	2,9	3 350	2,9	3 350
Ylijäämä/ alijäämä	+1,8	+2 140	+1,5	+1 730	+2,3	+2 680
Broilerit						
Lannoitustarve/ vuosi	2,3	191	3,1	262	1,2	100
Tilalla syntyvä määrä/vuosi	12,5	1 050	12,5	1 050	12,5	1 050
Ylijäämä/ alijäämä	+10,2	+860	+9,3	+780	+11,3	+950

Lihasikatilalla P-lukujen lasku oli nopeinta korkeissa viljavuusluokissa (4–7), kun lannalla lannoitettiin vain kasvin tarpeen mukaan (Kuva 13). Kun skenaariossa lannoitus annettiin fosforiasetuksen ja lantapoikkeuksen mukaan (sallittu viljavuusluokissa 4 ja 5) tai fosforin erotuksella (nestejakeen vähäinen käyttö sallittu viljavuusluokissa 6 ja 7), P-lukujen lasku oli hieman hitaampaa. Pelkästään nitraattiasetuksella rajoitettuna lannan levitys ylläpiti peltomaiden korkeita P-lukuja ja nosti alhaisempia.



Kuva 13. Lihasikatilan lannalla lannoittamisen skenaarioiden vaikutus peltomaiden P-lukujen kehitykseen 25 vuodessa.

Broileritilalla P-lukujen lasku oli nopeinta korkeissa viljavuusluokissa (4–7), kun lannoitus annettiin pelkästään kasvin tarpeen mukaan (Kuva 14). Samoin kuin lihasikatilalla, broileritilalla fosforiasetuksen lantapoikkeuksen käyttö hidasti hieman P-lukujen laskua 25 vuoden aikaisessa tarkastelussa verrattuna lannoitukseen ilman lantapoikkeusta. Silmiinpistävintä on, että nitraattiasetuksen mukaan lannoitettaessa P-luku kasvoi kaikissa viljavuusluokissa merkittävästi. Näin saatettiin toimia vielä vuonna 2022, mikäli tila ei kuulunut ympäristökorvauksen piiriin. Erityisesti siipikarjan ja turkiseläinten lantaa, joissa lannan fosforipitoisuus suhteessa typpipitoisuuteen on hyvin korkea, käytettäessä on tällöin saatettu vuosien saatossa kerryttää hyvin suurta fosforivarastoa peltomaahan.



Kuva 14. Broileritilan lannalla lannoittamisen skenaarioiden vaikutus peltomaiden P-lukujen kehitykseen 25 vuodessa.

Mallinnus osoitti, että lannalla lannoittaminen fosforiasetuksen (64/2023) rajojen mukaisesti alentaa peltojen korkeita P-lukuja. Koska P-luku on suoraan sidoksissa maatalouden vesistökuormitusriskiin, fosforiasetus fosforilannoituksen rajoineen edistää vesiensuojelun tavoitteiden saavuttamista. Lasku on kuitenkin hyvin hidasta ja lantapoikkeuksen käyttö hidastaa laskua entisestään. Korkeiden viljavuusluokkien lohkojen P-luvut olivat lantapoikkeusta käytettäessä 25 vuoden kuluttua yhä korkeita, vain yhden viljavuusluokan alempia kuin lähtötilanteessa.

Skenaariossa, joissa tila hyödynsi fosforiasetuksen 5 §:n mukaista fosforin kierrätyksen edistämistä lietelantaa laskeuttamalla, korkean viljavuusluokan pelloille sallittu pieni fosforilisä nestejakeessa hidasti P-luvun laskua. Lietelannan laskeutuksen edut lantaravinteiden käytölle ovat siitä huolimatta merkittävät ja laskeutuksen (tai muun fosforierotuksen esim. mekaanisella separoinnilla) käyttö suositeltavaa siksi, että tila saa suuremman osan lantatypestä

omaan käyttöönsä ja merkittävä osa lannan fosforista saadaan erotettua kuivempaan jakeeseen, joka voidaan siirtää muiden tilojen käyttöön.

Fosforiasetuksen tarpeellisuutta on helppo perustella, kun P-luvun muutosta verrataan asetuksen fosforirajojen käyttöä ja nitraattiasetuksen mukaista lannoitusta. Ilman fosforilannoituksen rajoja lannalla lannoittaminen vähintään ylläpitää tai jopa merkittävästi nostaa maan P-lukuja ja siten riskiä fosforikuormitukselle vesistöihin.

4.3. Yhteenveto

Mallinnus osoitti, että lannalla lannoittaminen fosforiasetuksen (64/2023) rajojen mukaisesti alentaa peltojen korkeita P-lukuja. Kaikilla fosforilannoitusskenaarioilla lähtötilanteeltaan korkeimpia viljavuusluokkia 4–7 edustavien savimaiden peltolohkojen P-luvut lähtivät laskuun. Nopeinta lasku oli kasvin tarpeen mukaan lannoitettaessa (levitysmäärät matalimmat) ja hitainta, kun lantapoikkeuksen katsottiin olevan voimassa (levitysmäärät korkeammat luokkia 4 ja 5 koskevan lantapoikkeuksen takia). Matalammissa viljavuusluokissa 1–3 P-luvut lähtivät hiljalleen nousuun kaikilla lannoitusskenaarioilla. Verrattaessa aiempaan, vain nitraattiasetuksen mukaisiin lannoitusrajoihin, ero on huomattava, sillä vain typen osalta annetut lannoitusrajat saattoivat erityisesti fosforirikkaiden lantojen osalta nostaa jatkuvasti peltolohkojen P-lukuja.

Koska P-luku on suoraan sidoksissa maatalouden vesistökuormitusriskiin, fosforiasetus fosforilannoituksen rajoineen edistää vesiensuojelun tavoitteiden saavuttamista. Lasku on kuitenkin hyvin hidasta ja lantapoikkeuksen käyttö hidastaa laskua entisestään. Korkeiden viljavuusluokkien lohkojen P-luvut olivat lantapoikkeusta käytettäessä 25 vuoden kuluttua yhä korkeita, vain yhden viljavuusluokan alempia kuin lähtötilanteessa.

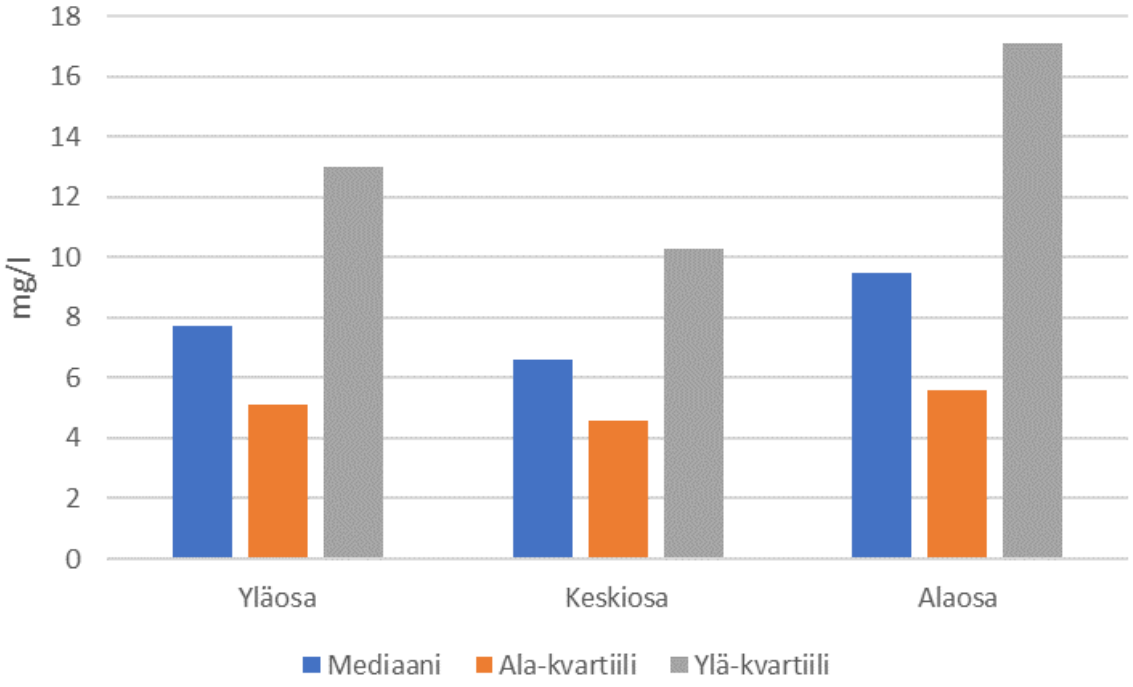
5. Vedenlaadun muutoksia voidaan arvioida kuormitusmalleilla

Hankkeessa oli tavoitteena mallintaa erilaisten lannalla lannoittamisen skenaarioiden vaikutus vesistökuormitukseen. Lannalla lannoittamisen ratkaisut vaikuttavat erityisesti liukoisten (nitraatti ja liukoinen fosfori) ravinteiden kulkeutumiseen. Maatalouden typpikuormituksesta suurin osa on nitraattia, mutta fosforikuormituksesta suurin osa on sitoutuneena eroosioainekseen. Lannan lannoituskäyttö vaikuttaa myös eroosiofosforiin, jos fosforilannoituksen rajat ovat niin korkeat, että peltomaan fosforiluvut pysyvät korkeina tai nousevat. Eroosiofosforin rehevöittävä vaikutus vesistöissä on kuitenkin pienempi kuin liukoisen fosforin.

5.1. INCA-malli ja lantaskenaariot

INCA (Integrated Nutrients in CAtchment) on valuma-aluetason matemaattinen malli, joka laskee päivän aika-askeleella ravinteiden kulkeutumisen maaekosysteemeistä jokeen ja sitä pitkin vastaanottavaan vesistöön (Wade ym. 2002, Jackson-Blake ym. 2016).

Mallilla laskettiin ravinteiden kulkeutuminen tyypillisen lounaissuomalaisen, maatalousvaltaisen jokivaluma-alueen pelloilta Saaristomereen. Jokiveden fosforista 17 % oli biologisesti käyttökelpoista liukoista fosforia, loput kiintoainekseen sitoutunutta tai liukoista orgaanista fosforia. Valuma-alueen peltoalasta noin 30 % kuului kotieläintiloille ja loput kasvintuotantotiloille. Kotieläintiloja oli enemmän joen yläjuoksulla kuin alajuoksulla. Noin 70 % peltoalasta tuotantokasvina oli kevät- tai syysvilja ja 24 % peltoalasta nurmi. Peltojen fosforitilan alkuarvoksi otettiin kasvintuotantotiloille valuma-alueen kuntien peltojen fosforilukujakauman alakvartiili ja eläintiloille yläkvartiili (Kuva 15; Lemola ym. 2023). Oletuksena oli, että pitkäaikainen lannan lannoituskäyttö on ylläpitänyt kasvintuotantotiloja korkeampia fosforilukuja kotieläintilojen pelloissa. Valuma-alueen kotieläintilojen fosforiluvut kuuluivat näin viljavuusluokkiin 4 ja 5, joten lantapoikkeuksen käyttö on niillä sallittu. Mallinnusjakso oli vuodet 1995–2018.



Kuva 15. Tarkastellun jokivaluma-alueen kuntien peltomaiden fosforiluvut eri osissa jokivartta (Lemola ym. 2023).

INCA-mallilla laskettiin neljä lannalla lannoittamisen skenaariota lantafosforin käytölle tarkastellulla jokivaluma-alueella. Kasvintuotantotiloilla oletettiin käytettäväksi mineraalilannoitetta fosforiasetuksen perustason mukaisia määriä. Fosforilannoitusskenaariot olivat:

1. Kaikkia alueen peltoja lannoitetaan fosforiasetuksen perustason mukaisesti ilman lantapoikkeusta (Perustila).
2. Niitä alueen peltoja lannoitetaan lantapoikkeuksen mukaisesti, missä se on mahdollista (Lantapoikkeus).
3. Kaikki alueella syntyvä lantafosfori levitetään alueen kotieläintilojen pelloille (Kaikki lanta pelloille).
4. Kaikkia alueen peltoja lannoitetaan tutkitun kasvin fosforitarpeen mukaisesti (Matala lannoitus; Valkama ym. 2011, 2015).

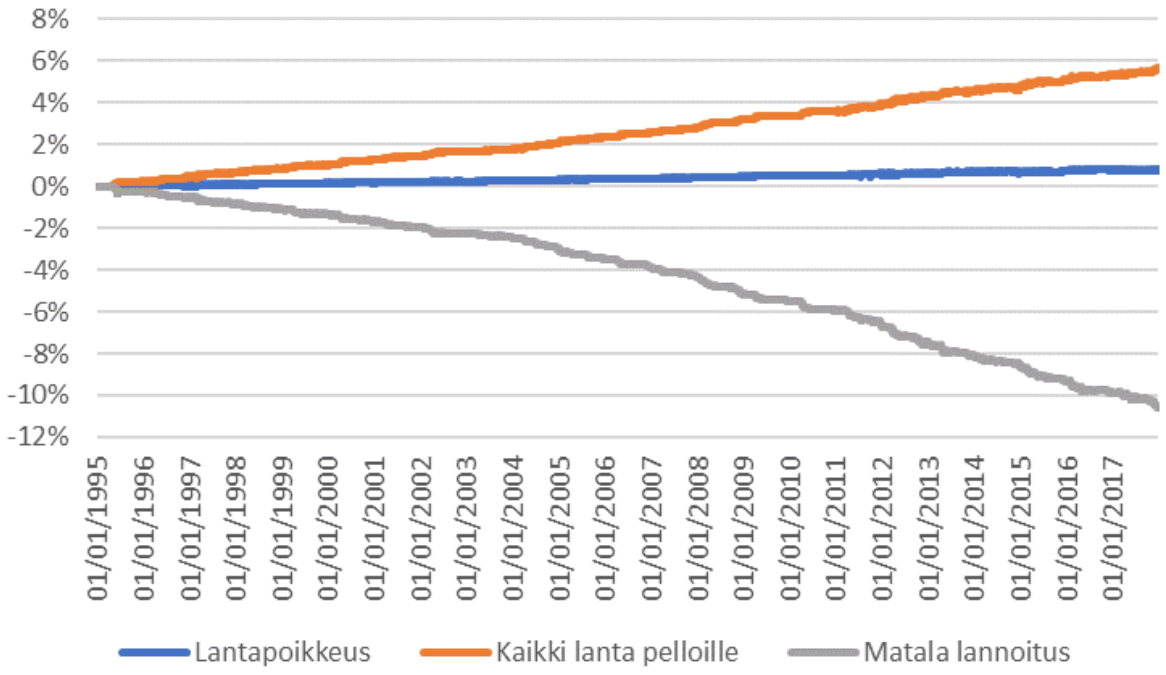
Typpilannoituksen tasoa sääntelee nitraattiasetus. Typpilannoitusskenaariot perustuvat osittain lannoitustasoihin, jotka olivat vuosina 2017–2022 ympäristökorvauksen ehtona. Kun lantatyppi ei riittänyt, oletettiin käytettävän lisäksi mineraalityppeä sekä kasvi- että eläintiloilla. Neljä lannalla lannoittamisen skenaariota lantatypen käytölle olivat:

1. Kaikkia alueen peltoja lannoitetaan entisen (2017–2022) ympäristökorvauksen perustason mukaan (Perustila).
2. Kotieläintilojen peltoja lannoitetaan kasvikohtaisten liukoisen typen enimmäislannoitusrajojen mukaisesti. Joissain tapauksissa tämä ylittää kokonaistypen vuosittaisen sallitun määrän (NiD).
3. Kaikki alueella syntyvä lantatyppi levitetään alueen kotieläintilojen pelloille (Kaikki lanta pelloille).
4. Kaikkia alueen peltoja lannoitetaan entisen ympäristökorvauksen (2017–2022) tiukimpien ehtojen mukaisesti (Matala lannoitus).

5.1.1. INCA-mallin tulokset: lannan lannoituskäytöllä voidaan vaikuttaa ravinnekuormitukseen

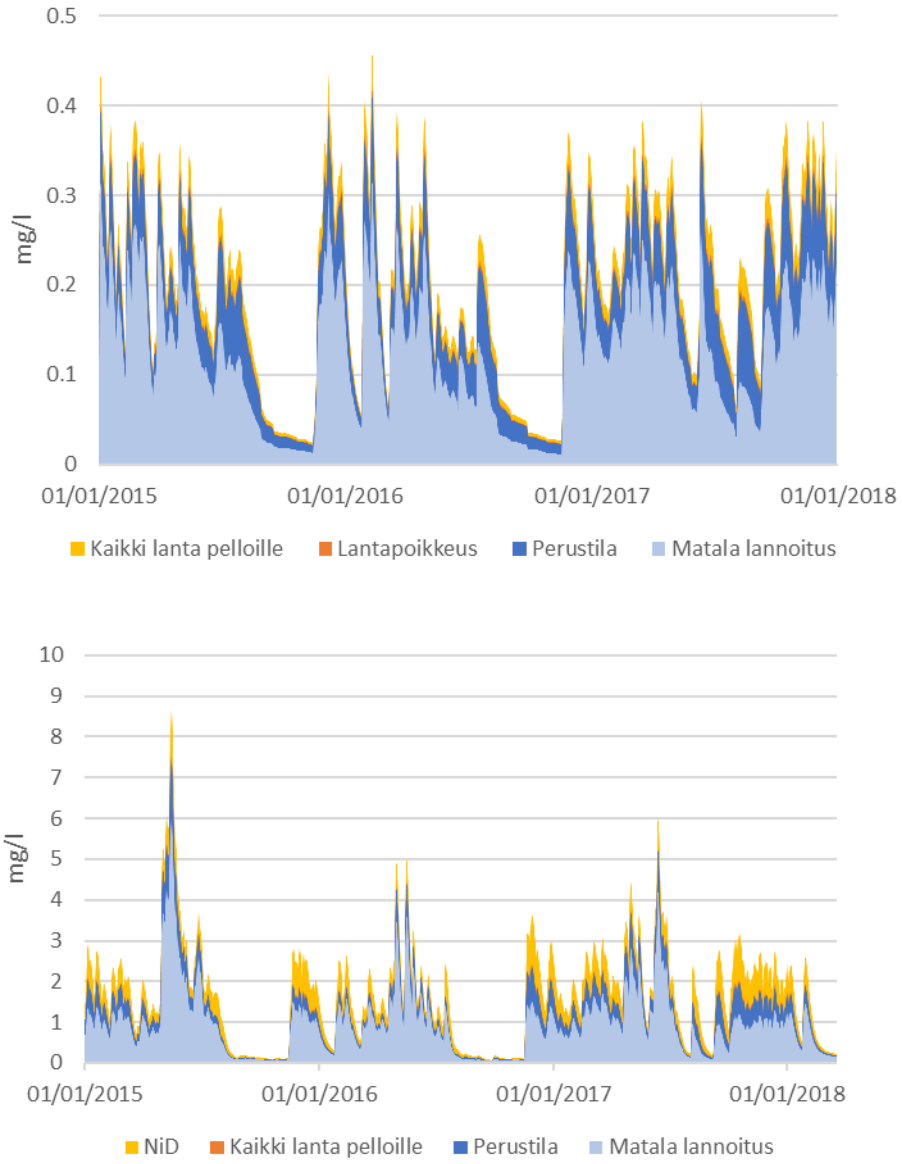
Fosfori kiinnittyy tiukasti maahiukkasiin, joten sen kulkeutumiseen voidaan vaikuttaa eroosiota estävien toimenpiteiden lisäksi pienentämällä maahan heikosti sitoutuneen (labiilin) fosforin varastoa. Joen vedessä oleva liukoinen fosfori on peräisin tästä maaperän varastosta, joka reagoi hitaasti lannoitustason muutoksiin. Tämän vuoksi liukoisen fosforin pitoisuus vedessä muuttuu hitaasti riippuen fosforilannoituksen käytöstä (Kuva 16). Yhtenä maatalouden vesiensuojelun tavoitteena onkin vähentää maahan sitoutuneen fosforin määrää, eli laskea peltojen fosforilukua.

Fosforilannoitustason muutoksen vaikutus veden fosforipitoisuuteen näkyy vasta useamman vuoden kuluttua (Kuva 17). Vuonna 1995 aloitetut vaihtoehtoiset lannalla lannoittamisen skenaariot tarkastelualueella muuttuvat mallinnuksen mukaan vuodesta 2015 eteenpäin niin, että jokiveden liukoisen fosforin pitoisuus nousi joko 2 % fosforiasetuksen lantapoikkeusta käytettäessä tai 13 % kaiken lannan päätyessä kotieläintilojen pelloille. Sen sijaan kasvin fosforitarpeen mukaisella lannoituksella fosforipitoisuus laski 30 % (Matala lannoitus). Keskimäärin valuma-alueelta mereen kulkeutuvan fosforin määrä saattaisi lannoitusrajoista riippuen lisääntyä 4000 kg/vuosi (Kaikki lanta pelloille) tai laskea 7000 kg/vuosi (Matala lannoitus).



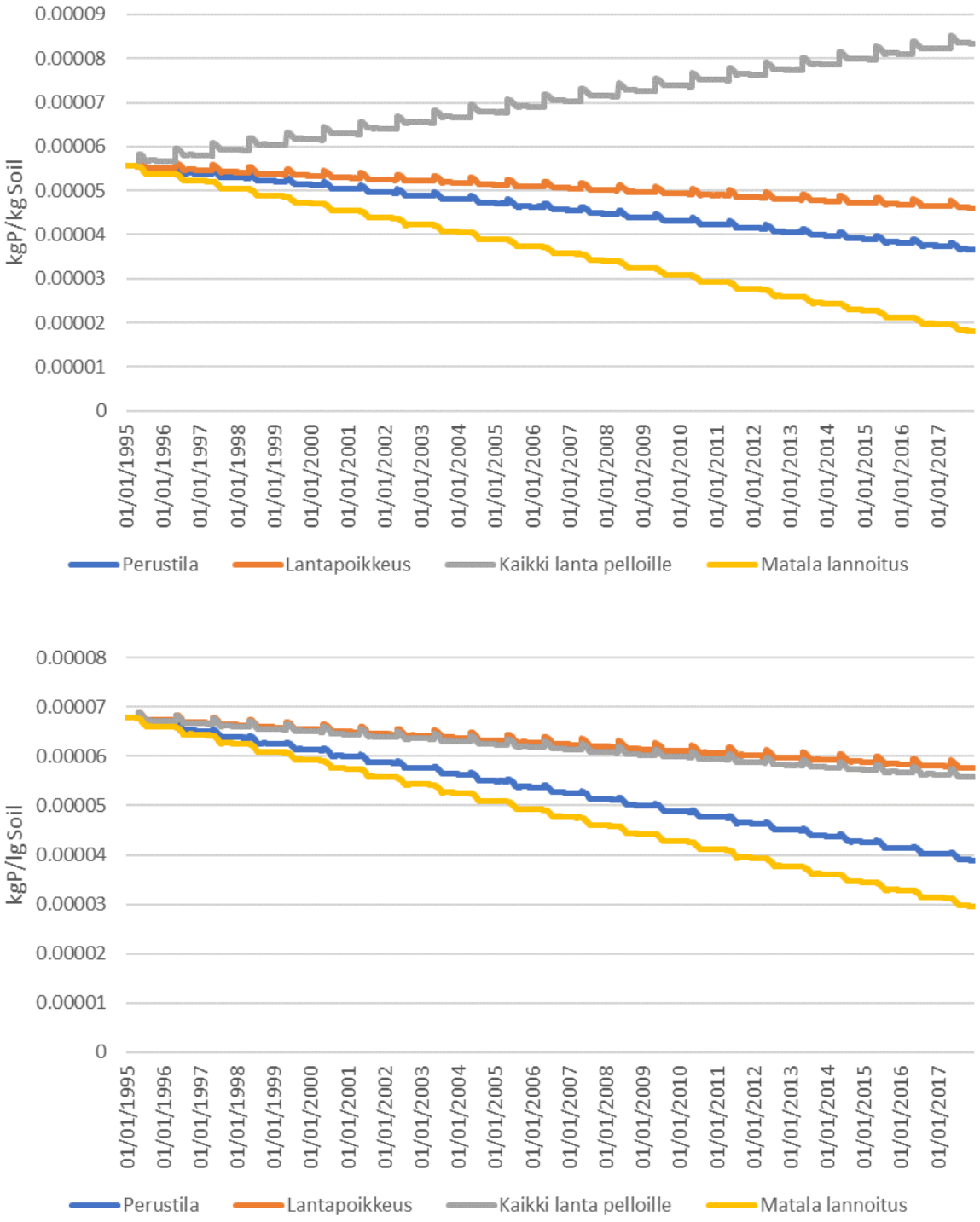
Kuva 16. Suhteellinen muutos jokiveden kokonaisfosforin pitoisuudessa eri lannalla lannoittamisen skenaarioissa lantafosforin käytölle perustilaan verrattuna. Fosforiasetuksen perustaso (Perustila) on taso 0.

Nitraattityppi on vesiliukoinen ja lannoitustason muutokset vaikuttavat välittömästi sen huuhtoutumiseen (Kuva 17). Nitraattiasetuksen mukainen, tarkastelluista skenaarioista korkein lannoitus (NiD), nosti mallinnuksessa jokiveden liukoisen typen pitoisuutta 30 %, kun taas tiukempi lannoitusraja (Matala lannoitus) laski sitä 22 %.

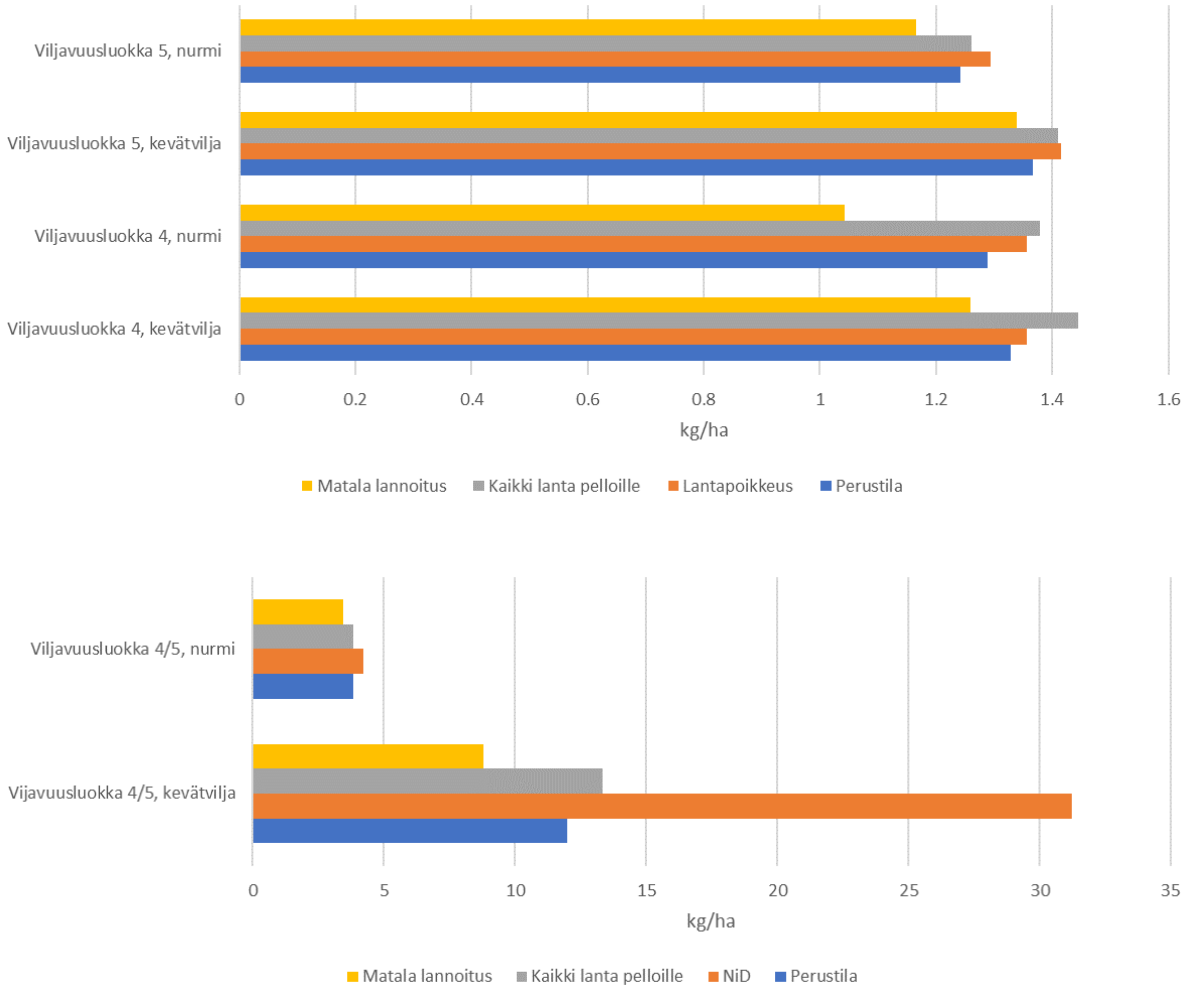


Kuva 17. Jokiveden ravinnepitoisuudet eri lannalla lannoittamisen skenaarioiden mukaan: liukoinen fosfori (yllä), liukoinen typpi (alla).

Kevätviljalla olevien peltojen labiilin fosforin varaston (joka mallissa kuvaa pellon fosforilukua) muutos on esitetty kuvassa 18. Fosforiasetuksen mukainen lannoitus ilman lantapoikkeusta (Perustila) riittää laskemaan viljavuusluokissa 4 ja 5 olevien peltojen fosforilukua. Lantapoikkeuksen käyttö sen sijaan estää fosforiluvun laskua erityisesti viljavuusluokan 5 pelloilla (Lantapoikkeus). Lisäksi, jos kaikki alueella syntyvä lantafosfori levitetään alueen kotieläintilojen pelloille, peltojen fosforiluku lähtee nousuun valuma-alueen yläjuoksulla, missä lantaa syntyy enemmän kuin alajuoksulla (Kaikki lanta pelloille). Kasvin fosforitarpeen mukaisella lannoituksella fosforiluku laskee voimakkaimmin (Matala lannoitus). Lannan ravinteiden määrä heijastuu myös niillä lannoitettujen lohkojen ravinteiden ominaiskuormituslukuihin (Kuva 19).



Kuva 18. Maan labiilin fosforin varaston (fosforiluvun) simuloitu muutos: kevätvilja, viljavuusluokka 4 (yllä), kevätvilja, viljavuusluokka 5 (alla).



Kuva 19. Lannalla lannoitettujen peruslohkojen ominaiskuormitusluvun muutos 25 vuoden keskiarvona: liukoinen fosfori (yllä) ja liukoinen typpi (alla).

5.1.2. Yhteenveto INCA-mallin tuloksista

Tarkastellun valuma-alueen kotieläintiloilla syntyvän lannan fosforimäärä ylittää sen, mitä nykyisen fosforiasetuksen mukaan pelloille voi levittää. Lannan sisältämän kokonaistypen määrä jää kuitenkin alle nitraattiasetuksen salliman kokonaistyppimäärän (170 kg/ha). Lannoitustasoilla voidaan vaikuttaa jokiveden ravinnepitoisuuteen. Nitraattityppi vesiliukoisena ravinteena reagoi nopeasti, mutta liukoisen fosforin pitoisuuden muutos vaatii maaperään sitoutuneen fosforin vähenemistä. Tätä kuvaa maan fosforiluvun pieneneminen. Vaikka tarkastellun valuma-alueen simuloidussa vedenlaadussa lantapoikkeuksen mukaisen lannoitustason käyttäminen ei näy, se estää kuitenkin ‘hot spot’ tyyppisten lohkojen fosforitilan pienenemisen, ja siten hidastaa vedenlaadun paranemista.

Sekä jokiveden että meren tilan kannalta sellaisten vaihtoehtoisten lannankäsittelymenetelmien löytäminen, joilla saavutetaan peltojen korkeiden fosforitilojen lasku, on oleellista.

5.2. Vemala-malli ja lantaskenaariot

WSFS-Vemala-malli (Vemala) on operatiivinen, koko Suomen kattava vesistöjen kuormitusmalli (Huttunen ym. 2016). Se simuloi ravinteiden huuhtoutumista, kulkeutumista ja prosesseja maalla, joissa ja järvissä. Malli arvioi vesistöihin kohdistuvaa kokonaiskuormitusta, ravinteiden pidättymistä sekä Suomen vesistöistä Itämereen kulkeutuvaa kuormaa. Vemala koostuu pääosin kahdesta osamallista: hydrologiaa simuloivasta WSFS-mallista sekä ravinneprosesseja kuvaavasta Vemala-mallista. Mallia on kehitetty vuosien varrella, ja tällä hetkellä operatiivisessa käytössä on kaksi versiota, V1 ja V3, jotka simuloivat osin eri ravinteita ja prosesseja. Vemala-malli on osa Suomen ympäristökeskuksen vesistömallijärjestelmää ja sitä kuvataan tarkemmin liitteessä 3.

SiKaSimu-hankkeessa Vemala-mallilla arvioitiin koko Suomen tasolla, mitä fosforiasetuksen lannoitusrajojen käyttö lantapoikkeuksella ja ilman lantapoikkeusta vaikuttaisi vesistöjen fosforikuormitukseen ja Itämereen päätyvään fosforikuormitukseen.

Vemala-laskennan lähtötietoina käytetään lannalle vuoden 2016 tilakohtaisista eläinmääristä ja Suomen normilantajärjestelmän lantatiedoista laskettua lannan ja sen sisältämän fosforin määrää ja sijaintia. Malli huomioi nautojen, sikojen, siipikarjan. lampaiden, vuohien ja tiloilla olevien hevosten sekä turkiseläinten lannat. Peltojen fosforihuuhtouman laskenta tehdään lohkokohtaisesti, mutta lohkokohtaisia lähtötietoja lannan tai muiden lannoitteiden käytöstä ei ole käytettävissä. Mallilaskennassa oletetaan, että lanta levitetään tasaisesti kutakin tilaa 20 km säteellä ympäröiville peltolohkoille, edellyttäen että lohkolla viljeltävälle kasville voidaan käyttää lantaa. Tässä ei ole huomioitu, että todellisuudessa osalle lohkoista on voimassa ympäristötukiehtojen (nykyisellään fosforiasetuksen) lannoitusrajoitukset, jolloin lannoitustarpeen ylittävän lannan käyttö painottui ympäristötuen ulkopuolisille lohkoille. Malli huomioi myös peltojen viljavuudet siten, että se käyttää viljavuusanalyyseistä saatuja lohkokohtaisia fosforilukutietoja vuoteen 2012 saakka. Niille lohkoille, joille ei ole käytettävissä lohkokohtaista fosforilukutietoa, käytetään kyseisen kunnan fosforilukutietojen jakaumaa. Lohkokohtaisia viljelykasvitietoja käytetään jaksolla 1995–2020. Vuodesta 2020 eteenpäin kunkin kunnan alueella viljelykasvien hehtaarimäärät pysyvät vuoden 2020 tasolla ja lohkokohtaiset viljelykasvit vaihtuvat oletetun viljelykäytännön mukaisesti.

Fosforiasetuksen vaikutusta fosforikuormitukseen arvioitaessa tehtiin kolme skenaariota:

- Lannan käyttö jatkuu mallin oletuksen kaltaisena, ts. oletetaan, että syntyvä lanta levitetään tasaisesti tilaa ympäröiville pelloille 20 km säteellä. Huomioidaan ainoastaan mille viljelykasveille lantaa voidaan käyttää, mutta ei rajoiteta levitettävän lannan määrää.
- Kaikki fosforilannoitus, lanta mukaan lukien, rajoitettiin fosforiasetuksen sallimiin rajoihin ilman lantapoikkeusta.
- Kaikki fosforilannoitus, lanta mukaan lukien, rajoitettiin fosforiasetuksen sallimiin rajoihin, lantapoikkeus viljavuusluokissa 4 ja 5 käytössä.

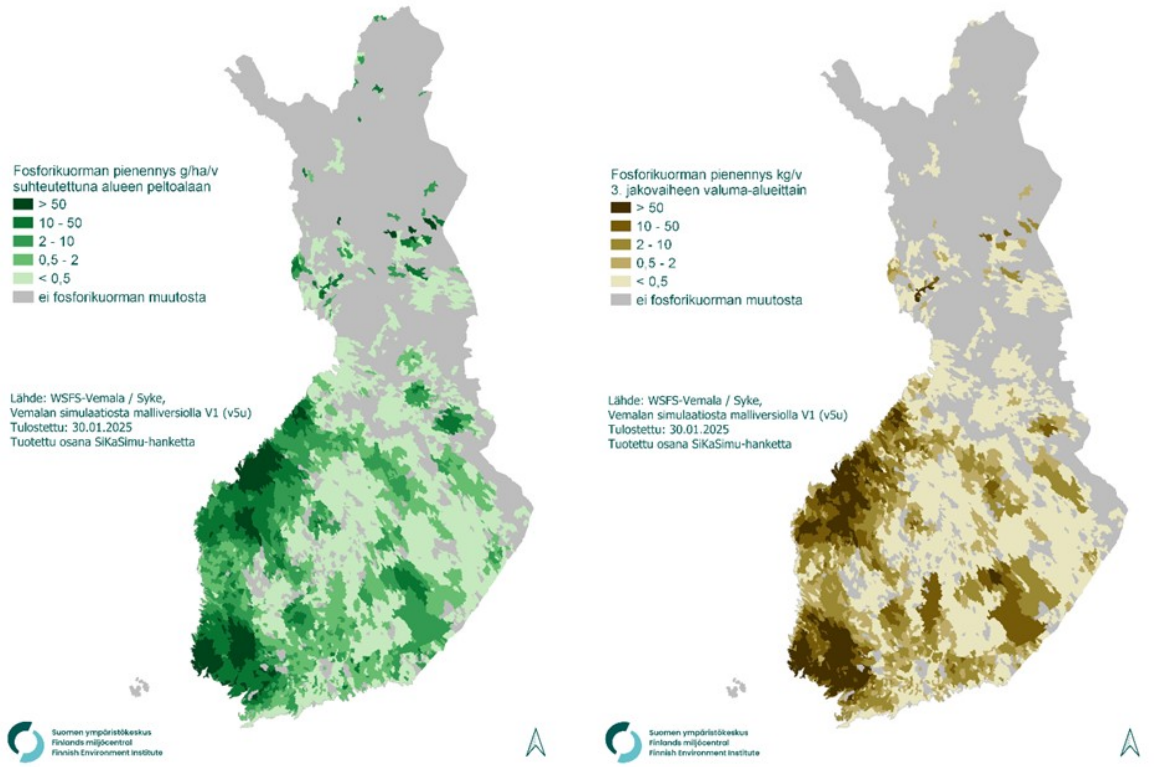
5.2.1. Vemala-mallinnuksen tulokset

Vemala-mallinnuksen lannalla lannoittamisen skenaarioissa tarkasteltiin kaiken pelloille levitettävän lannan määrän rajoittamista. Sikojen ja siipikarjan lannan levitysmäärän rajoittamiselle ei tehty erikseen skenaarioita. Aluekohtaisista tuloksista voidaan kuitenkin laskea arvio,

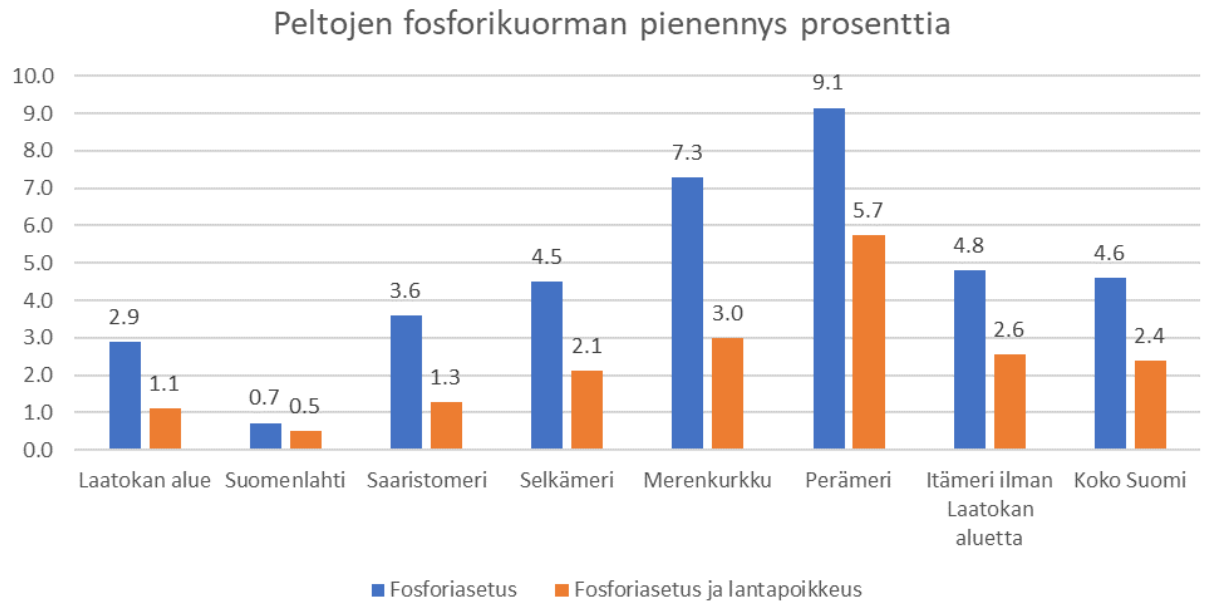
huomioiden kullakin alueella syntyvän sikojen ja siipikarjan lannan fosforimäärän suhde koko lannan fosforimäärään ja alueella fosforiasetuksella saavutettava fosforikuormituksen pienentymiseen. Sikojen ja siipikarjan lannan levityksen rajoituksen osuus fosforiasetuksella saavutettavasta fosforikuorman pienennyksestä ilman lantapoikkeusta olisi noin 44 %.

Karttakuvista (Kuva 20) nähdään, että suurin fosforikuormituksen pienennys fosforilannoitusta rajoittamalla saavutetaan Lounais-Suomessa ja Pohjanmaalla sekä myös Pohjois-Savossa. Nämä alueet erottuvat myös syntyvän lannan määrässä ja nykyisessä fosforikuormituksessa (Liite 3, Kuva 2). Merialueittain (Kuva 21) peltojen fosforikuormitus pienenisi suhteellisesti eniten Perämeren valuma-alueella.

Koko Suomen alueella fosforiasetuksen lannoitusrajojen käytöllä lannalla lannoittamisessa ilman lantapoikkeusta olisi malliskenaarion perusteella saavutettavissa 4,6 % peltojen fosforikuormituksen pienennys. Mikäli lantapoikkeus on käytössä, fosforikuorman pienennys heikkenisi ja olisi 2,4 %. Kaikissa tuloksissa lantapoikkeusta käytettäessä saavutettaisiin vain noin puolet ilman lantapoikkeusta saavutettavissa olevasta fosforikuorman pienennyksestä.



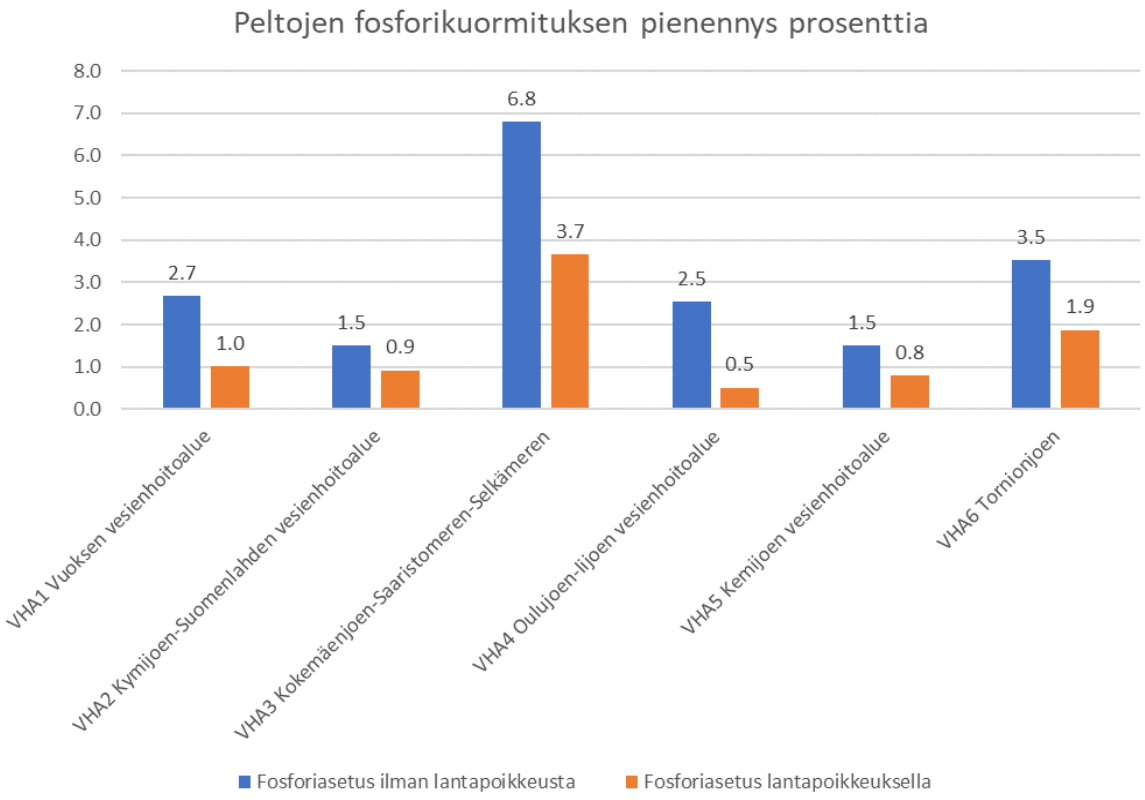
Kuva 20. Fosforiasetuksella saavutettava vesistöihin päätyvän fosforikuorman pienennys alueittain.



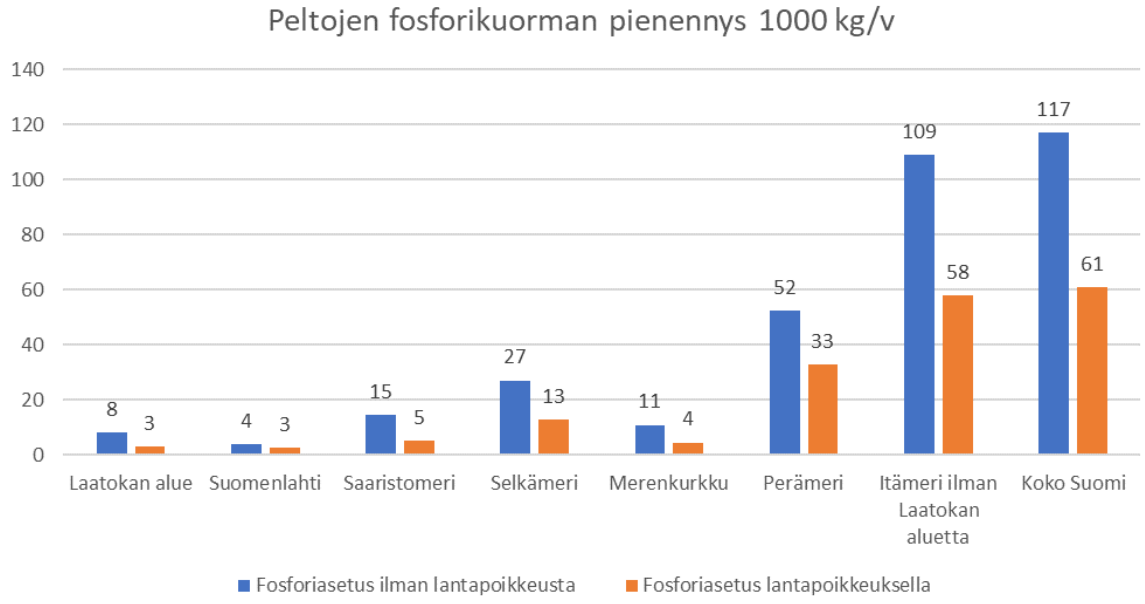
Kuva 21. Fosforiasetuksella lantapoikkeusta käyttämällä (oranssi) ja ilman lantapoikkeusta (sininen) saavutettavissa oleva peltojen fosforikuorman pienennys prosentteina merialueiden valuma-alueittain.

Vesienhoitoalueittain suurin peltojen fosforikuorman suhteellinen pienennys saavutettaisiin VHA3:n, eli Kokemäenjoki-Saaristomeri-Selkämeren alueella (Kuva 22), kun fosforiasetusta sovelletaan ilman lantapoikkeusta. Myös määrällisesti fosforikuormitus pienenisi eniten Perämeren valuma-alueella (Kuva 23), seuraavina Selkämeren ja Saaristomeren valuma-alueet. Lantapoikkeusta käytettäessä menetettäisiin poikkeuksetta merkittävä osa saavutettavissa olevasta kuormitusvähenemästä.

Erityisen ajankohtainen tulos on Saaristomeren valuma-alueelle, jota pyritään poistamaan HELCOMin pahimpien saastuttajien Hot Spot -listalta ja josta pyritään tekemään ravinteiden kierrätyksen pilottialue.

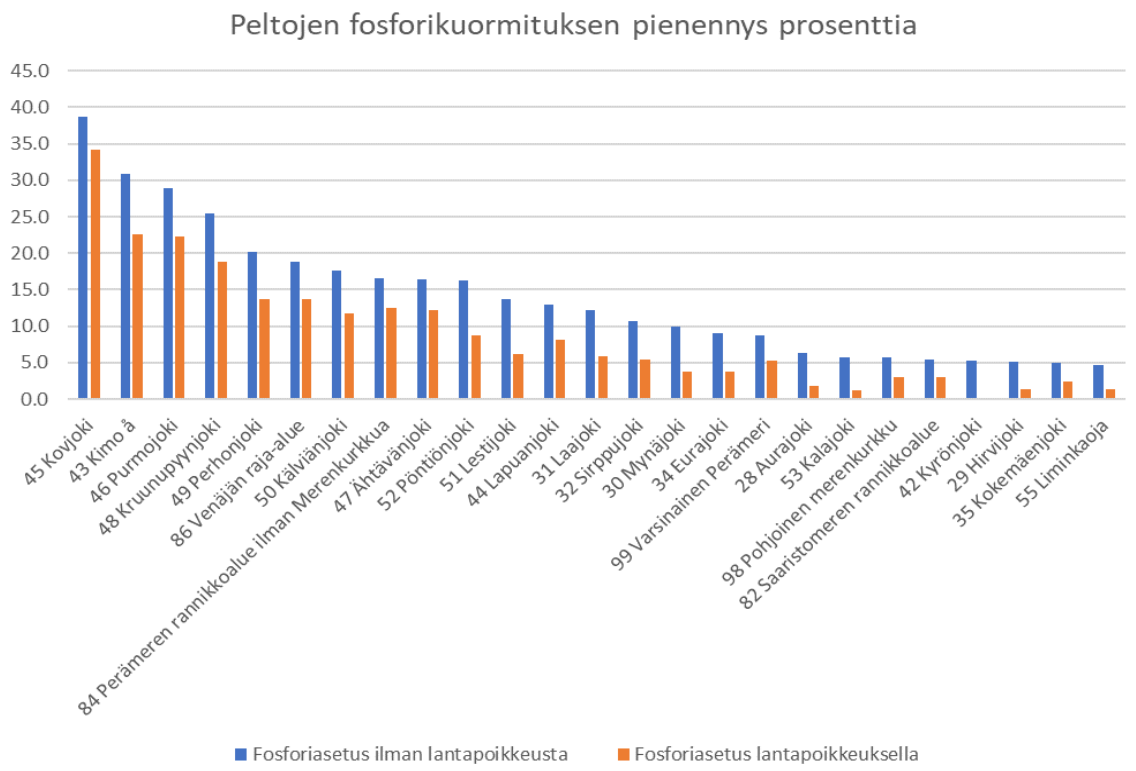


Kuva 22. Fosforiasetuksella saavutettavissa oleva peltojen fosforikuorman pienennys prosentteina vesienhoitoalueittain.

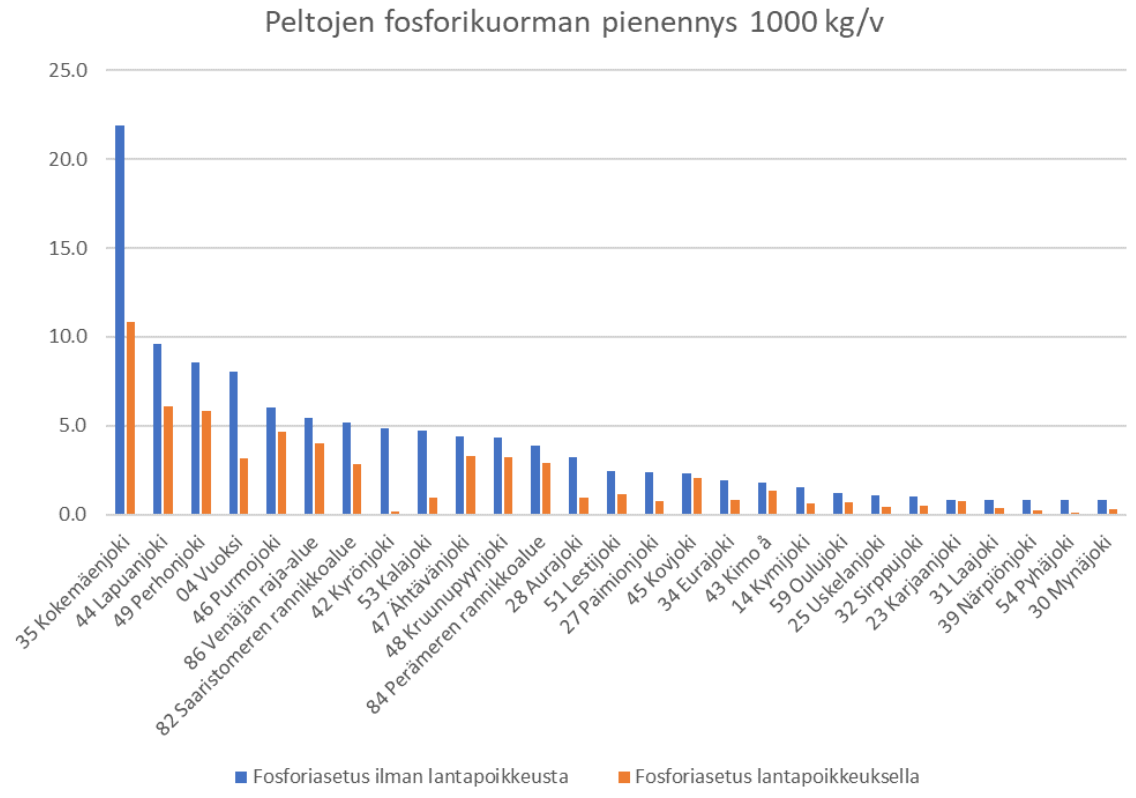


Kuva 23. Fosforiasetuksella saavutettavissa oleva peltojen fosforikuorman pienennys merialueiden valuma-alueittain.

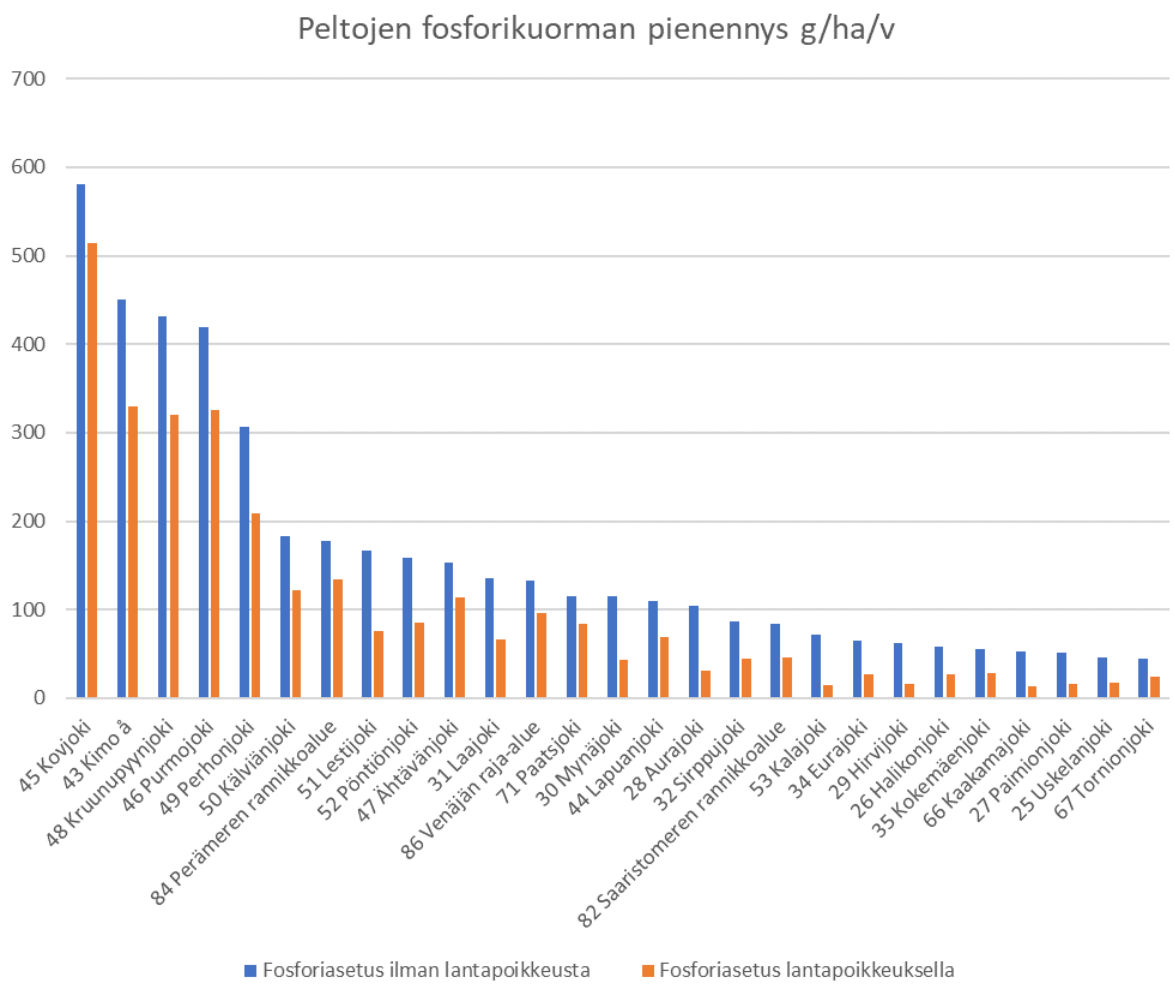
Vesistöalueittain suhteellisesti suurin fosforikuorman pienennys olisi saavutettavissa seuraavien Pohjanmaan pienien jokien valuma-alueilla: Kovjoki, Kimo å, Kruunupyynjoki, Perhonjoki ja Purmonjoki (Kuvat 24 ja 25). Vesistöalueittain määrällisesti suurin pienennys olisi saavutettavissa Kokemäenjoen valuma-alueella (Kuva 26).



Kuva 24. Fosforiasetuksella saavutettavissa oleva peltojen fosforikuorman pienennys prosenttia vesistöalueittain.

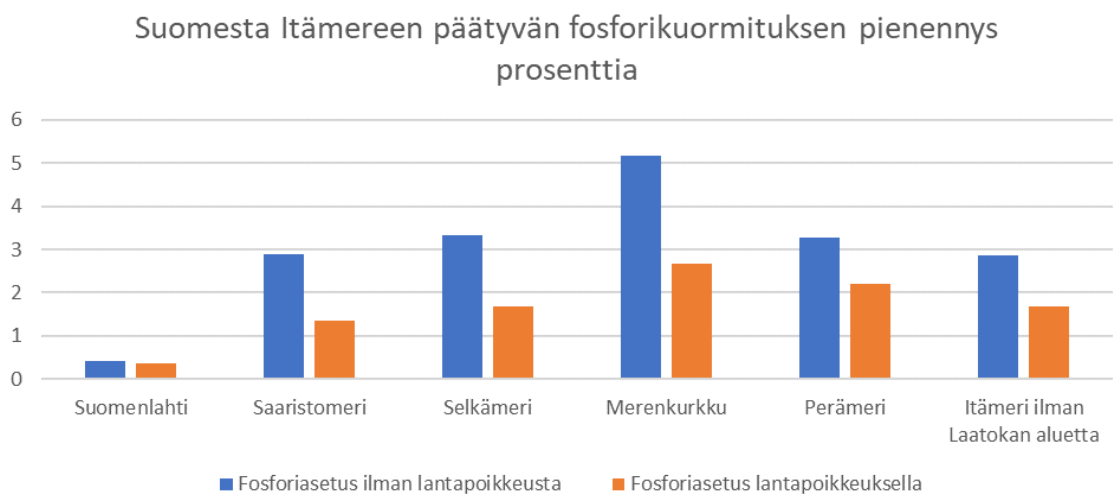


Kuva 25. Fosforiasetuksella saavutettavissa oleva peltojen fosforikuorman pienennys vesistöalueittain.

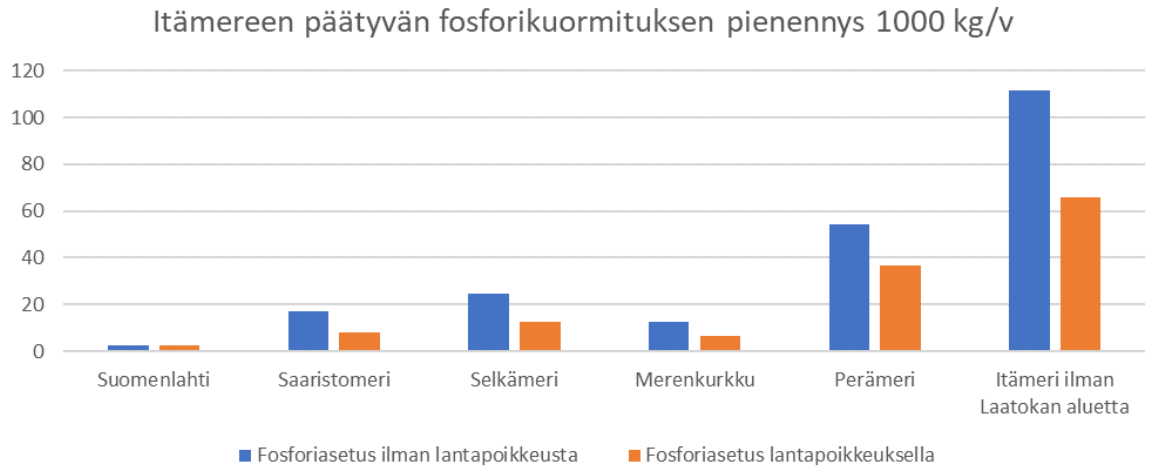


Kuva 26. Fosforiasetuksella saavutettavissa oleva peltojen fosforikuorman pienennys vesistöalueittain.

Kun Vemala-mallilla arvioidaan peltojen fosforikuormituksen muutoksen vaikutusta Itämereen päätyvään fosforikuormitukseen, huomioidaan fosforikuormituksen muutoksen määrä ja jakaantuminen alueittain. Malli laskee vesistöihin päätyvän fosforin kulkeutumista ja pidättymistä vesistöissä ja huomioi näin, mikä osuus mihinkin vesistön osaan kohdistuvasta fosforikuormituksesta kulkeutuu Itämereen saakka. Tässä mallinnettujen skenaarioiden perusteella fosforiasetuksen fosforilannoituksen rajojen käytöllä olisi saavutettavissa suurin suhteellinen pienennys Merenkurkun fosforikuormitukseen (Kuva 27) ja suurin määrällinen pienennys Perämeren fosforikuormitukseen (Kuva 28).



Kuva 27. Fosforiasetuksen fosforilannoituksen rajojen käytöllä saavutettavissa oleva Itämereen päätyvän fosforikuorman suhteellinen pienennys (%).



Kuva 28. Fosforiasetuksen fosforilannoituksen rajojen käytöllä saavutettavissa oleva Itämereen päätyvän fosforikuorman määrällinen pienennys.

Tarkasteltaessa fosforin merialueittaisia HELCOMin tavoitekuormituksia ja kuormitusskenaarioita (Taulukko 7) nähdään, että kuormitusta olisi vähennettävä merkittävästi kaikilla merialueilla. Ilmastonmuutos on myös kasvattamassa kuormitusta, mikä lisää tarvetta vähentää kuormitusta. Taulukon 7 skenaarioissa seuraavalle 30 vuodelle, jaksolle 2026–2055 on käytössä keskimääräinen (RCP 4.5) ilmastoskenaario. Skenaario 'Nykyiset toimenpiteet' tarkoittaa, että maatalous jatkuu nykyisenkaltaisena, ja skenaariossa 'Vesienhoidon toimenpiteet' toteutetaan kaikki tällä hetkellä vesienhoidossa suunnitellut toimenpiteet. Taulukon arvoista nähdään, että kuormitusvähennystarve on merkittävästi suurempi kuin pelkällä fosforiasetuksella voidaan saavuttaa. Esimerkiksi Selkämeren, Merenkurkun ja Perämeren alueilla olisi vaikeuksia saavuttaa tavoitekuormitusta keskimääräisen ilmastonmuutoksen tilanteessa, vaikka fosforiasetus ilman lantapoikkeusta olisi voimassa ja vesienhoidon suunnitellut toimenpiteet toteutettaisiin täysimääräisesti. Toisaalta asetus on selkeä toimenpide, jolla kuormitusta voidaan vähentää, vähentämisen haasteet huomioiden aivan kaikkia toimenpiteitä tarvitaan.

Taulukko 7. Fosforin tavoitekuormat merialueittain (1000 kg/v), kuormitus mereen, kuormitusvähennystarve ja fosforiasetuksella saavutettavissa oleva kuormitusvähennys.

		Kuormitus mereen			Kuormitusvähennystarve			Kuormitusvähennys	
	Tavoite-kuorma	2015–2024	Nykyiset toimenpiteet 2026–2055	Vesienhoidon toimenpiteet 2026–2055	2015–2024	Nykyiset toimenpiteet 2026–2055	Vesienhoidon toimenpiteet 2026–2055	Fosforiasetus ilman lantapoikkeusta	Fosforiasetus lantapoikkeuksella
Suomenlahti	530	605	655	528	75	125	-2	3	2
Saaristomeri	450	462	609	428	12	159	-22	17	8
Selkämeri	590	620	728	617	30	138	27	25	13
Merenkurkku	190	208	226	217	18	36	27	13	7
Perämeri	1 400	1 558	1 602	1 552	158	202	152	54	37
Itämeri ilman Laatokan aluetta	3 160	3 454	3 823	3 344	294	663	184	112	66

5.2.2. Yhteenveto Vemala-mallinnuksesta

Fosforiasetuksen fosforilannoituksen rajojen käytöllä voidaan saavuttaa näkyvää alenemaa peltojen fosforikuormitukseen. Koko maan keskiarvona peltojen fosforikuormitus voisi pienentyä 4,6 %, mikäli lantapoikkeusta ei saa käyttää. Jos se on käytössä, kuormitusvähenemä heikkenee 2,4 %:iin. Merkittävin alenema saavutettaisiin Merenkurkun ja Perämeren valuma-alueilla. Fosforikuormitusta tulisi saada vähenemään kaikilla merialueilla ja tavoitekuormitustasojen saavuttaminen varsinkin muuttuvassa ilmastossa vaatii merkittävän määrän kuormitusta vähentäviä toimenpiteitä. Merialueiden kuormitustavoitteiden lisäksi täytyy luonnollisesti huomioida myös rannikkoalueiden ja sisävesien tavoitteet.

Mallinnuksen tarkkuuteen vaikuttavat oleellisesti lähtötietojen kattavuus ja ajantasaisuus. Tässä tehtyjä arvioita olisi mahdollista tarkentaa ottamalla käyttöön uusimmat eläintiedot ja viljavuusanalyysit. Viljavuusanalyysien osalta lähtötietoja ollaan jo päivittämässä. Viljavuusanalyysien puutteena on kuitenkin, että lohkotietoa ei ole kaikille analyyseille ja tämän takia lohkokohtainen tieto ei kata kaikkia lohkoja. Eläinmäärissä on tapahtunut muutosta vuoden 2016 jälkeen etenkin siten, että nautojen ja sikojen määrät ovat laskeneet ja siipikarjan määrät nousseet (Luke 2025). Myös peltomaan fosforiluvuissa on tapahtunut toivottua muutosta siten, että korkeimpien fosforilukujen osuudet ovat laskussa. Toisaalta tällöin on myös voinut tulla käyttöön enemmän luokkien 4 ja 5 peltoja, joille lantapoikkeusta saa soveltaa.

6. Johtopäätökset

Kotieläintuotannon lannan lannoituskäyttö vaikuttaa osaltaan maatalouden vesistökuormituksen riskiin. Korkea eläintiheys ja siitä seuraava suuri lantafosforin määrä peltoalaa kohti nostavat maan fosforipitoisuutta ja sitä kautta myös fosforikuormitusta. Ilmiö ei liity tuotantosuuntaan, vaan enemmänkin yksittäisen tilan lannoitusratkaisuihin.

Maan fosforipitoisuuden vaihtelu eri peltojen välillä ja myös peltolohkojen sisällä on suurta. Vaikka kipsin havaittiin tässäkin hankkeessa vähentävän fosfori- ja kiintoainekuormitusta hienojakoisilla mailla, se ei toimi kaikilla pelloilla yhtä tehokkaasti. Peltomaan fosforipitoisuuden aleneminen on siis varmin keino vähentää fosforikuormitusta, ja sen tarve käy yhä välttämättömämmäksi lisääntyvien talvisateiden myötä.

Lounais-Suomessa on keskittynyttä sika- ja siipikarjatuotantoa alueilla, joilla suurella osuudella peltomaasta on myös korkea fosforiluku. Monin paikoin erityisesti Varsinais-Suomen länsi- ja pohjoisosissa sekä Satakunnan eteläosissa lantafosforia muodostuu kotieläintiloilla enemmän kuin samojen alueiden kasvintuotannossa tarvitaan.

Hankkeen tulosten mukaan lannan käyttö pelkästään kotieläintuotannon peltoalalla nostaa peltojen fosforilukua ja siten fosforikuormitusta vesiin. Lannalla lannoittamista tulisikin jakaa tilojen ja alueiden kesken uudelleen siten, että lantafosforia käytettäisiin myös kasvintuotantotilojen pelloilla mineraalifosforia korvaamassa ja tarvittaessa myös kuljetettaisiin keskittymien ulkopuolelle.

Hankkeen tulosten mukaan fosforiasetus (64/2023) on välttämätön, jotta lantafosforin lisäys peltomaahan rajoitetaan kaikissa peltomaan viljavuusluokissa tasolle, jolla se ei enää voi nostaa maan fosforilukua. Tämä rajoittaa samalla lantafosforin käyttöä kotieläintiloilla siten, että tila ei välttämättä pysty itse käyttämään kaikkea tuottamansa lannan fosforia ja tarvitsee vastaanottajia osalle lantafosforista. Tämä on ravinteiden kierrätyksen tavoitteiden mukaista ja johtaa samalla tehokkaampaan ravinteiden käyttöön maataloudessa. Vaikka lantaravinteiden uusjaon toimenpiteet voivat aiheuttaa tiloille kustannuksia, se samalla kasvattaa ruuantuotannon huoltovarmuutta. Lantaravinteista voi myös muodostua tilalle tuloja, jos kierrätysravinteille saadaan luotua toimivat markkinat.

Fosforiasetuksen lantapoikkeuksen säilyttäminen, joka sallii muuta fosforilannoitusta suuremman lantafosforin levityksen tietyille viljavuusluokille ja kasveille, heikentäisi suotuisaa muutosta hidastamalla maan fosforilukujen laskua ja pienentäisi saavutettavissa olevaa fosforikuormituksen vähenemää kaikilla Suomen vesialueilla. Tulos on sama kaikilla hankkeessa käytetyillä mallinnusmenetelmillä. Lantapoikkeuksen käyttö ei näin ollen ole ympäristön kannalta perusteltua.

Kokonaisuudessaan lantapoikkeuksen poistaminen vähentäisi merialueiden fosforikuormitusta 4,6 %, kun lantapoikkeus sallittaessa vähenemä heikkenee 2,4 %:iin. Maatalouden vesistökuormituksen vähentämisen haasteet huomioiden kaikkia toimenpiteitä tarvitaan. Lannan tehokas hyödyntäminen on tärkeä osa kokonaisuutta.

Viitteet

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. Save2-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 32/2022. http://hdl.handle.net/10138/349969

Ekholm, P., Ollikainen, M., Punttila, E., Ala-Harja, V., Riihimäki, J., Kiirikki, M., Taskinen, A. & Begum, K. 2024 Gypsum amendment of agricultural fields to decrease phosphorus losses – Evidence on a catchment scale. Journal of Environmental Management vol 357. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120706

HELCOM 2021a. Baltic Sea Action Plan – 2021 update. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Action-Plan-2021-update.pdf

HELCOM 2021b. Baltic Sea Regional Nutrient Recycling Strategy. https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/10/Baltic-Sea-Regional-Nutrient-Recycling-Strategy.pdf

HELCOM 2023. State of the Baltic Sea. Third HELCOM holistic assessment 2016-2021. Baltic Sea Environment Proceedings n°194. https://helcom.fi/post_type_publ/holas3_sobs

Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, A., Tattari, S. & Vehviläinen, B. 2016. A national scale nutrient loading model for Finnish watersheds – VEMALA. Environmental Modelling and Assessment 21(1): 83–109. DOI: 10.1007/s10666-015-9470-6

Hydrologinen vuosikirja 2006–2010 / Hydrological Yearbook 2006–2010. http://hdl.handle.net/10138/38812

Jaakkola, E., Tattari, S., Ekholm, P., Pietola, L., Posch, M. & Bärlund, I. 2012. Simulated effects of gypsum amendment on phosphorus losses from agricultural soils. Agricultural and Food Science 21: 292–306.

Jackson-Blake, L.A., Wade, A.J., Futter, M.N., Butterfield, D., Couture, R.M., Cox, B.A., Crossman, J., Ekholm, P., Halliday, S.J., Jin, L., Lawrence, D.S.L., Lepistö, A., Lin, Y., Rankinen, K. & Whitehead, P.G. 2016. The INtegrated CAtchment model of phosphorus dynamics (INCA-P): Description and demonstration of new model structure and equations. Environmental Modelling & Software 83: 356–386.

Kasvi, E., Saarinen, A., Kämäri, M., Porkka J., Alho, P. & Ekholm, P. 2024. The Effect of Seasonal Variation, Flow Conditions and Erosion Forces on Suspended Matter Fluxes from Boreal Gypsum Treated Agricultural Fields. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4699534

Koljonen, T., Silfver, T., Soimakallio, S., Koreneff, G., Lehtilä, A., Markkanen, J., Vainio, T., Aakkula, J., Haakana, M., Hirvelä, H., Lehtonen, H., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Viitanen, J., Vikfors, S., Forsberg, T. & Koskivaara, O. 2024. Perusskenaariot energia- ja ilmastotoimien kokonaisuudelle kohti päästöttömyyttä (PEIKKO). Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2024:26. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-219-0

Korppoo, M., Huttunen, M., Huttunen, I., Piirainen, V., Vehviläinen, B. 2017. Simulation of bioavailable phosphorus and nitrogen loading in an agricultural river basin in Finland using VEMALA v.3. Journal of Hydrology**,** 549: 363–373.

Laamanen, M., Suomela, J., Ekebom, J., Korpinen, S., Paavilainen, P., Lahtinen, T., Nieminen, S. & Hernberg, A. (toim.) 2021. Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:30. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-198-6

Laurila, E., Kulmala, A., Luostarinen, S., Keto, A. & Jaakkola, M. 2022. Saaristomeriohjelma : Maatalouden vesiensuojelun tiekartta. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen raportteja 60/2022. https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-398-069-3

Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S. & Niemi, J. 2020. Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. MTK ry. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020082161330

Lehtonen, H., Aro, K., Kaustell, K., Leinonen, I., Luostarinen, S., Niskanen, O., Rasi, S. & Suokannas, A. 2024. Maatalouden ilmastotiekartan päivitetyt skenaariot ja arviot päästövähennyksistä vuoteen 2035 ja 2050. MTK ry. https://www.mtk.fi/documents/d/mtk/maatalouden_ilmastotiekartta_2024_netti

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. Luonnonvarakeskus. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-558-5

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. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-612-2

Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, J., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H. & Ylivainio, K. 2019. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019:5. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-941-8

Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Ylivainio, K. 2019. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 2019 40/2019. Luonnonvarakeskus. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-777-0

Luostarinen, S., Laakso, J., Tampio, E., Skyttä, A. & Lehtonen, E. 2023. Ravinteiden kierrätyksen tilastointi ja seuranta : Ensimmäinen indikaattori ja kehittämisehdotukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 107/2023. Luonnonvarakeskus. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-823-2

Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiaho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017.

Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa : Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-437-3

MMM 2011. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 5/2011. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-649-3

MTK & SLC 2020. MTK:n ja SLC:n vesiohjelma. https://www.mtk.fi/documents/20143/199989/MTK_vesiohjelma_A5.pdf/

Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Räty, M., Järvenranta, K., Koskiaho, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R., Uusi-Kämppä, J., Lepistö, A., Hjerppe, T., Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan. KiertoVesi-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2019. http://hdl.handle.net/10138/304956

Puustinen, M. 2023. VIHMA-työkalu peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen hallintaan ja vesiensuojelun toimenpiteiden suunnitteluun vallitsevassa peltoviljelyn toimintaympäristössä. Helsingin yliopisto Maataloustieteiden osasto. Väitöskirja. 131 s. http://hdl.handle.net/10138/352934

Tattari, S., Koskiaho, J., Kosunen, M., Lepistö, A., Linjama, J. & Puustinen, M. 2017a. Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2010—can the efficiency of undertaken water protection measures seen? Environmental Monitoring and Assessment 189:95, https://doi.org/10.1007/s10661-017-5791-z

TEM 2020. Biokaasuohjelmaa valmistelevan työryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:3. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-482-2

Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Valkama, E., Ketoja, E., Vaahtoranta, A., Virkajärvi, P., ... & Turtola, E. 2016. A simple dynamic model of soil test phosphorus responses to phosphorus balances. Journal of environmental quality, 45(3): 977–983.

Valkama ym. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. Nutrient Cycling in Agroecosystems 91:1–15.

Valkama ym. 2015. Meta-analysis of grass ley response to phosphorus fertilization in Finland. Grass and Forage Science 71(1): 36–53.

VNK 2015. Ratkaisujen Suomi : Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma 29.5.2015. Hallituksen julkaisusarja 2015:10. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-181-7

VNK 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019: Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-808-3

VNK 2023. Vahva ja välittävä Suomi : Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-763-8

Wade, A., Durand, P., Beaujoan, V., Wessels, W., Raat, K., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepistö, A. 2002. Towards a generic nitrogen model of European ecosystems: New model structure and equations. Hydrology and Earth System Sciences 6(3): 559–582.

Ylivainio, K, Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland : Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. WP4 Standardisation of manure types with focus on phosphorus. MTT Report 124. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-505-9

Äijö, H., Myllys, M., Sikkilä, M., Salo, H., Nurminen, J., Häggblom, O., Turunen, M., Paasonen-Kivekäs, M., Warsta, L., Koivusalo, H., Alakukku, L. & Puustinen, M. 2017. Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA) Loppuraportti. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 32, 109 s. https://researchportal.helsinki.fi/files/97405153/TY_32.pdf

Liitteet

Liite 1. Pintavaluntasimulointikokeessa huuhtoutuneen veden fosfori (P), kiintoaine, hiili (DOC), typpi (N), rikki (S) ja kalsiumpitoisuudet (Ca) mg/l sekä sähkönjohtavuus (SJ) µS/cm lumen sulamisveden ja sadevesihuuhtouman painotettuna keskiarvona käsittelemättömiltä sekä 4 t/ha kipsiä saaneilta matalan ja korkean fosforitilan pelloilta. Valuntaa syntyi kokeessa yhteensä 40 mm, josta lumen osuus 13 % ja sateen osuus 87 %.

Matala P, käsittelemätön	*Maan viljavuusP (P_{aaac}) mg/l*	*Kokonais P mg/l*	*Liukoinen P mg/l*	*Partikkeli P mg/l*	*Kiintoaine mg/l*	*DOC mg/l*	*NH_4N mg/l*	*NO_3N mg/l*	*TotN mg/l*	*SJ µS/cm*	*S mg/l*	*Ca mg/l*
Pelto 1	9,90	0,49	0,09	0,40	244	13,94	0,21	9,0	11	227	3,04	19,5
Pelto 2	13,0	0,45	0,15	0,30	181	11,00	0,20	4,4	6	162	5,86	15,0
Pelto 3	8,60	0,65	0,13	0,52	290	11,71	0,18	9,8	11	200	5,33	20,9
Pelto 4	22,3	0,65	0,13	0,52	434	12,02	0,26	59,9	63	659	10,1	64,7
Korkea P, käsittelemätön												
Pelto 5	25,5	0,60	0,26	0,34	299	7,82	0,34	57,6	59	664	6,49	62,9
Pelto 6	66,5	0,86	0,60	0,26	107	18,6	0,18	31,5	34	630	21,3	72,2
Pelto 7	41,8	0,80	0,39	0,41	154	10,4	0,17	15,1	17	370	21,2	48,2
Pelto 8	48,0	0,83	0,36	0,47	240	8,66	0,27	31,2	33	407	7,27	43,3
Matala P, kipsi 4t/ha												
Pelto 1	10,0	0,26	0,06	0,20	124	9,79	0,22	17,4	19	1226	192	212
Pelto 2	9,90	0,30	0,07	0,23	180	7,60	0,23	11,0	13	1252	195	203
Pelto 3	8,60	0,18	0,04	0,13	43	11,6	0,13	12,0	13	1239	202	211
Pelto 4	19,0	0,76	0,15	0,61	308	9,87	0,30	62,9	65	1637	210	262
Korkea P, kipsi 4t/ha												
Pelto 5	38,5	0,53	0,32	0,21	105	9,84	0,24	52,5	54	1634	212	260
Pelto 6	44,8	0,44	0,30	0,14	95	14,8	0,21	37,6	40	1545	203	250
Pelto 7	36,3	0,39	0,24	0,15	60	10,2	0,14	17,5	18	1438	246	291
Pelto 8	35,5	0,43	0,25	0,18	137	6,27	0,31	19,1	20	1251	197	196
Matala P, Kipsin vaikutus %												
Pelto 1		-47	-34	-50	-49	-30	6	94	76	440	6219	990
Pelto 2		-33	-50	-25	-1	-31	17	150	128	674	3228	1254
Pelto 3		-73	-67	-74	-85	-1	-26	22	11	521	3686	909
Pelto 4		16	16	17	-29	-18	16	5	3	148	1977	304
Korkea P, Kipsin vaikutus %												
Pelto 5		-12	21	-38	-65	26	-31	-9	-9	146	3170	313
Pelto 6		-48	-49	-46	-11	-20	12	19	18	145	852	247
Pelto 7		-51	-40	-63	-61	-2	-14	15	10	288	1062	503
Pelto 8		-48	-31	-61	-43	-28	15	-39	-39	208	2609	352

Liite 2. Tilaskenaarioiden lähtötiedot P-lukuennustemallille

Lihasikatilan ja broileritilan peltolohkojen tiedot rakennettiin malliin hyödyntämällä tietoa keskimääräisistä varsinaissuomalaisista tiloista seuraavasti:

Maalajien ja viljavuusluokkien osuudet perustuvat Lemolan ym. (2023) raportin liitteen 5 taulukkoon 5: "Varsinais-Suomen ELY-alueen maalajien osuudet viljavuusnäytteissä 2015–2019".

Lihasiat			**Savimaat**	**Karkeat**	
Tilan lohkojen P-luvut maalajeittain	**Viljavuusluokka**		**ha viljavuusluokassa**		**Jakauma viljavuusluokkiin**
	1	Huono	0,9	0,2	25 %
	2	Huononlainen	4,9	1,2	
	3	Välttävä	16,6	4,1	
	4	Tyydyttävä	29,9	7,5	50 %
	5	Hyvä	14,2	3,6	
	6	Korkea	14,4	3,6	25 %
	7	Arv. korkea	7,7	1,9	
		Yht. ha	89	22	
Broilerit			**Savimaat**	**Karkeat**	
Tilan lohkojen P-luvut maalajeittain	**Viljavuusluokka**		**ha viljavuusluokassa**		**Jakauma viljavuusluokkiin**
	1	Huono	1,9	0,5	25 %
	2	Huononlainen	10,9	2,7	
	3	Välttävä	37,2	9,3	
	4	Tyydyttävä	67,9	17,0	50 %
	5	Hyvä	32,1	8,0	
	6	Korkea	32,5	8,1	25 %
	7	Arv. korkea	17,5	4,4	
		Yht. ha	200	50	

Lohkojen multavuusjakauma perustuu Lemolan ym. (2018) julkaisun taulukkoon 89: Viljavuustutkimustulosten luokittuminen (% näytteistä) multavuuden mukaan 2005–2009 Varsinais-Suomen ELY-keskuksen alueella. Multa- ja turvemaat jätettiin pois aineistosta mallinnuksen kohdistuessa kivennäismaille.

	Multavuusluokka, % näytteistä				
VARSINAIS-SUOMI 2005–2009	vm	m	rm	erm	Mm, Tm
VARSINAIS-SUOMI 119910 näytettä	0,8	52	40,7	3,4	3,1

Kirjallisuus

Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. Luke, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 210 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.

Fosforilannoitusmäärät ja fosforitaseet eri viljavuusluokissa erilaisilla lannoitusskenaarioilla a) lihasioille ja b) broilereille. Taulukon peltolohkot on poimittu mallin lähtötilanteesta siten, että ne edustavat kattavasti molempien tilojen maalajeja ja viljavuusluokkia.

a)

Lihasiat, fosforilannoitus ja -tase peltolohkoille

Viisivuotinen kierto (ohra-ohra-rapsi-kevätvehnä-ohra)

				"Skenaario nitr.as" Lanta sellaisenaan nitraattiasetuksen mukaan: kokonaistyppeä enintään 170 kg/ha		**Skenaario 1** Lanta sellaisenaan fosforiasetuksen mukaan (ei lantapoikkeusta)		**Skenaario 2** Lanta sellaisenaan fosforiasetuksen mukaan (lantapoikkeus)		**Skenaario 3** Lanta sellaisenaan kasvin tarpeen mukaan: Kun P-luku savimailla >6 mg/l, karkeammilla >10 mg/l, ei vastetta P-lannoituksella. Huomioitu viljavuusluokat 1, 2, 3, jolloin P-lannoitus P-asetuksen mukaan, muissa luokissa ei P-lannoitusta.		**Skenaario 1 + Fosforin erotus** Lanta sellaisenaan fosforiasetuksen mukaan (ei lantapoikkeusta)		**Skenaario 2 + Fosforin erotus** Lanta sellaisenaan fosforiasetuksen mukaan (lantapoikkeus)	
Lohkonro	**Vilj.lk**	**Maalaji**	**Multavuusluokka**	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v
1	1	S	m	35,6	19,6	34,0	18,1	34,0	18,1	34,0	18,1	34,0	18,1	34,0	18,1
2	2	S	m	35,6	19,6	26,0	10,1	26,0	10,1	26,0	10,1	26,0	10,1	26,0	10,1
5	3	S	m	35,6	19,6	16,0	0,1	16,0	0,1	16,0	0,1	16,0	0,1	16,0	0,1
10	4	S	m	35,6	19,6	10,0	-5,9	15,0	-0,9	0,0	-15,9	10,0	-5,9	15,0	-0,9
21	5	S	rm	35,6	19,6	5,0	-10,9	15,0	-0,9	0,0	-15,9	5,0	-10,9	15,0	-0,9
27	6	S	rm	35,6	19,6	0,0	-15,9	0,0	-15,9	0,0	-15,9	5,0	-10,9	5,0	-10,9
32	7	S	erm	35,6	19,6	0,0	-15,9	0,0	-15,9	0,0	-15,9	5,0	-10,9	5,0	-10,9
4	3	Ht	m	35,6	19,6	16,0	0,1	16,0	0,1	16,0	0,1	16,0	0,1	16,0	0,1
13	4	Ht	m	35,6	19,6	10,0	-5,9	15,0	-0,9	0,0	-15,9	10,0	-5,9	15,0	-0,9
25	5	Ht	rm	35,6	19,6	5,0	-10,9	15,0	-0,9	0,0	-15,9	5,0	-10,9	15,0	-0,9
30	6	Ht	rm	35,6	19,6	0,0	-15,9	0,0	-15,9	0,0	-15,9	5,0	-10,9	5,0	-10,9
34	7	Ht	rm	35,6	19,6	0,0	-15,9	0,0	-15,9	0,0	-15,9	5,0	-10,9	5,0	-10,9

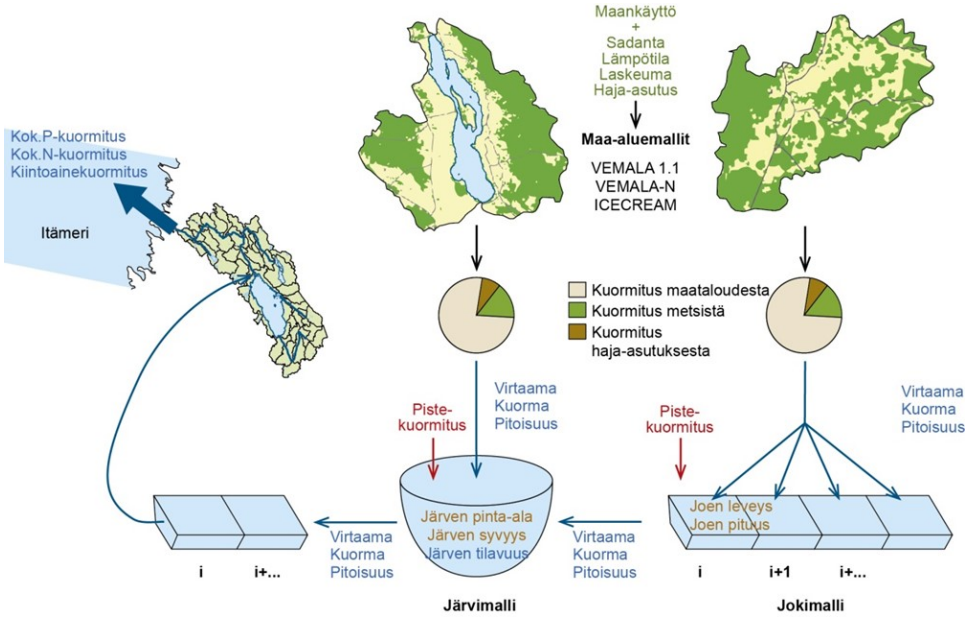
b)

Broilerit, fosforilannoitus ja -tase peltolohkoille

Viisivuotinen kierto (mallasohra, syysvehnä, kevätrapsi, kevätvehnä, kevätvehnä)

				"Skenaario nitr. as" Lanta sellaisenaan nitraattiasetuksen mukaan: kokonaistyppeä enintään 170 kg/ha		**Skenaario 1** Lanta sellaisenaan fosforiasetuksen mukaan (ei lantapoikkeusta)		**Skenaario 2** Lanta sellaisenaan fosforiasetuksen mukaan (lantapoikkeus)		**Skenaario 3** Lanta sellaisenaan kasvin tarpeen mukaan: Kun P-luku savimailla >6 mg/l, karkeammilla >10 mg/l, ei vastetta P-lannoituksella. Huomioitu viljavuusluokat 1, 2, 3, jolloin P-lannoitus P-asetuksen mukaan, muissa luokissa ei P-lannoitusta.	
Lohkonro	**Vilj.lk**	**Maalaji**	**Multavuusluokka**	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v	P lann. kg/ha/v	Tase kg P/ha/v
1	1	S	vm	83,0	67,4	34,0	18,4	34,0	18,4	34,0	18,4
2	2	S	m	83,0	67,4	26,0	10,4	26,0	10,4	26,0	10,4
5	3	S	m	83,0	67,4	16,0	0,4	16,0	0,4	16,0	0,4
18	4	S	m	83,0	67,4	10,0	-5,6	15,0	-0,6	0,0	-15,6
46	5	S	rm	83,0	67,4	5,0	-10,6	15,0	-0,6	0,0	-15,6
61	6	S	rm	83,0	67,4	0,0	-15,6	0,0	-15,6	0,0	-15,6
73	7	S	rm	83,0	67,4	0,0	-15,6	0,0	-15,6	0,0	-15,6
7	2	Ht	m	83,0	67,4	26,0	10,4	26,0	10,4	26,0	10,4
27	3	Ht	m	83,0	67,4	16,0	0,4	16,0	0,4	16,0	0,4
30	4	Ht	m	83,0	67,4	10,0	-5,6	15,0	-0,6	0,0	-15,6
55	5	Ht	rm	83,0	67,4	5,0	-10,6	15,0	-0,6	0,0	-15,6
67	6	Ht	rm	83,0	67,4	0,0	-15,6	0,0	-15,6	0,0	-15,6
79	7	Ht	rm	83,0	67,4	0,0	-15,6	0,0	-15,6	0,0	-15,6

Liite 3. Vemala-mallin kuvaus



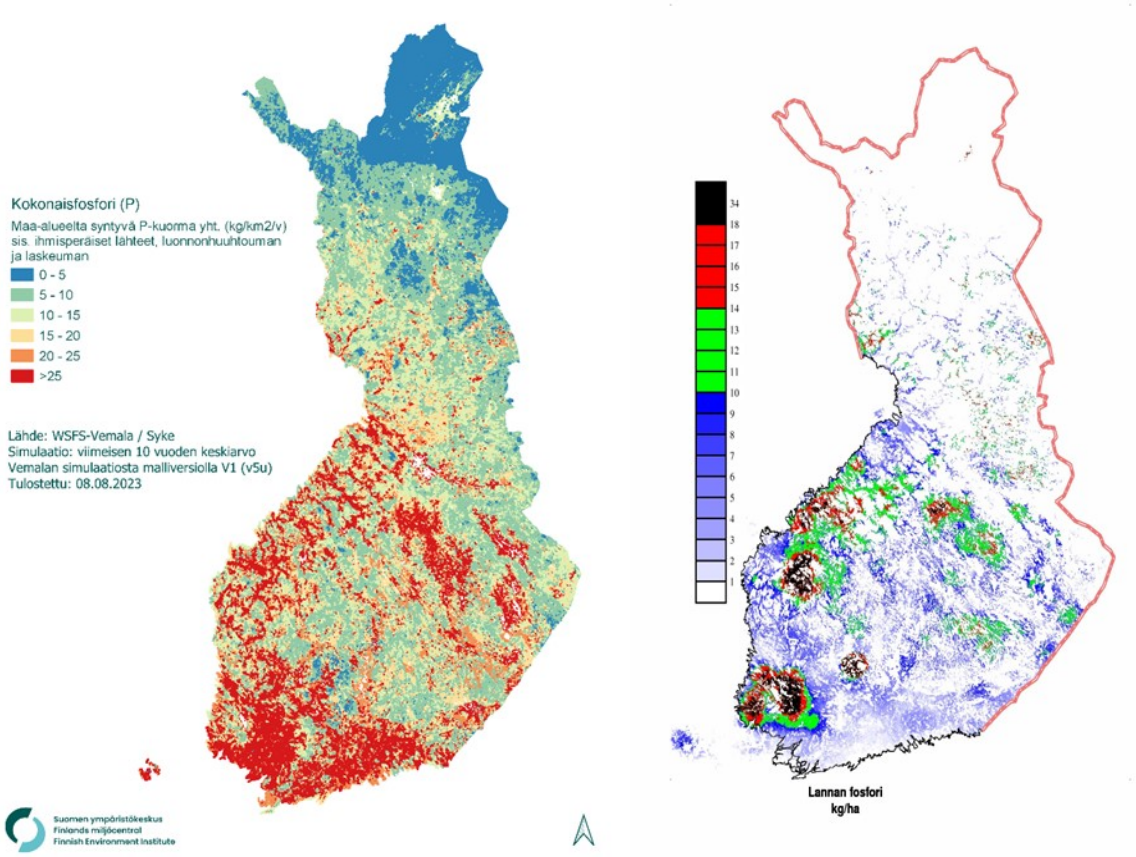
Kuva 1. Vemala-mallin rakenne.

Vemala-mallilla voidaan simuloida päivittäistä vedenlaatua Suomen joissa ja yli hehtaarin kokoisissa järvissä sekä tuottaa reaaliaikaisia tuloksia (Kuva 1 ja 2). Malli mahdollistaa myös eri kuormituslähteiden osuuden analysoinnin kokonaisravinteista ja biologisesti käyttökelpoisista ravinteista sekä näiden osuuden arvioinnin mereen päätyvässä kuormituksessa.

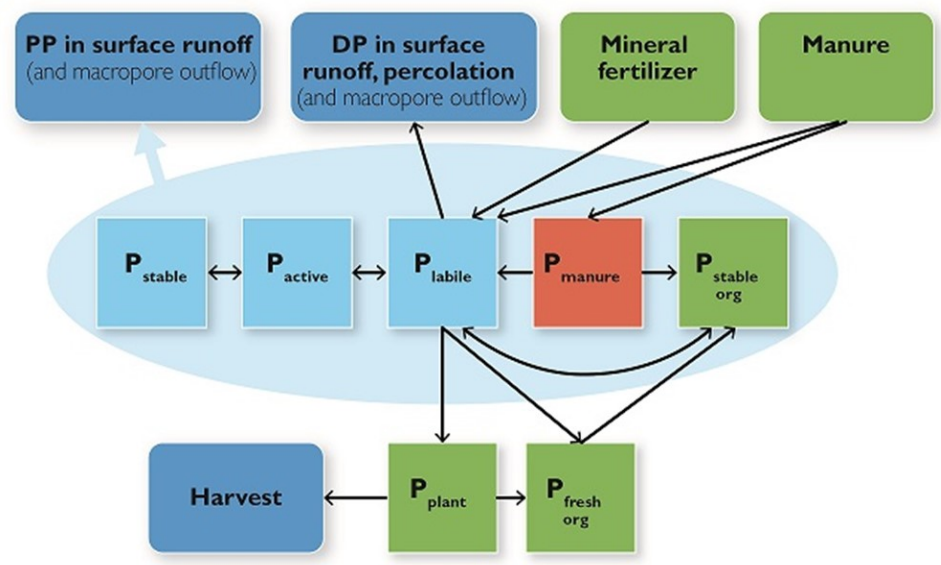
Vemalan avulla voidaan arvioida maatalous- ja ravinnekuormitusta vähentävien toimenpiteiden vaikutuksia kokonais- ja biologisesti käyttökelpoisten ravinteiden kuormitukseen. Tämä tukee vesipuitedirektiivin täytäntöönpanoa. Simuloinneissa voidaan myös ottaa huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset. Esimerkiksi Itämereen päätyvää ravinnekuormitusta mallinnetaan Vemalalla eri skenaarioissa, joissa tarkastellaan ilmastonmuutoksen ja erilaisten toimenpiteiden yhteisvaikutusta kuormitukseen.

Prosessipohjainen ICECREAM-malli osana Vemalaa (Kuva 3; esim. Jaakkola ym. 2012) simuloi maataloudesta tulevaa partikkeleihin sitoutuneen fosforin (PP) ja fosfaatin (PO_4^{3-}) kuormitusta sekä eroosiota peltomittakaavassa. Mallilla lasketaan erikseen jokaisen Suomen pellon fosforikuormitus. Simuloinnissa käytetään lähtötietoina pellon ominaisuuksia: maalajia (savi, hiesu, karkea tai turve), pellon kaltevuutta ja suorakulmion muotoisen peltolohkon kokoa. ICECREAMin simuloimia tuloksia (päivittäistä kokonaisfosforikuormaa) käytetään Vemala-mallin syötteenä. Viljelytoimenpiteet, joita voidaan simuloida Vemala-ICECREAMilla laskettavissa skenaarioissa, ovat

- Lannoitteen määrä, tyyppi (mineraalilannoite/lanta) ja lannoitussyvyys
- Yksivuotiset kasvit (myös syysviljat), perennat ja juurikasvit, 13 eri kasvilajia parametrisoitu
- Perinteinen muokkaus, suorakylvö
- Ajankohdat viljelytoimenpiteille
- Suojakaistat/suojavyöhykkeet



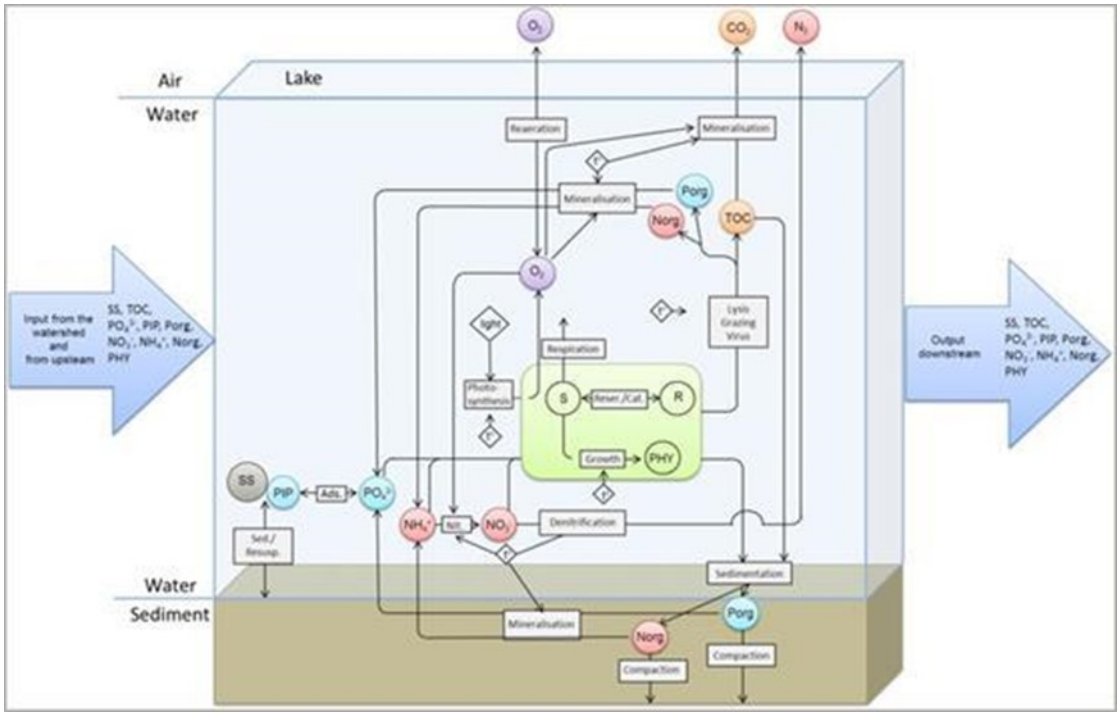
Kuva 2. Esimerkkejä Vemalan lähtötiedoista ja tuloksista: Fosforin kuormitus vesistöihin ja lähtötietona käytettävä lannan fosforimäärä kg/ha/v.



Kuva 3. Fosforivirtojen simulointi ICECREAM-mallissa.

Kulkeutumismalli Vemala v.3 (Korppoo ym. 2017) käyttää syötteenä muilla Vemala-malleilla laskettua, maalta tulevaa kuormitusta; nitraattityppi)NO_3^-) ja orgaaninen typpi (Norg) tulevat Vemala-N-mallista, fosfaattifosfori (PO_4^{3-}), partikkelifosfori (PP) ja orgaaninen fosfori (Porg)

puolestaan VEMALA-ICECREAM-mallista ja kokonaishiili (TOC) sekä kiintoaine (SS) Vemalan 1.1-versiosta. Biologisesti käyttökelpoiset ravinteet ovat yhteydessä toisiinsa kasviplanktonin muutosten, orgaanisen aineen hajoamisen ja sedimentaation kautta. Vemala v.3 -versiolla voidaan simuloida kokonais- ja biologisesti käyttökelpoisten ravinteiden (NO_3^- and PO_4^{3-}; Kuva 4) kuormaa mereen eri kuormituslähteisiin jaoteltuna. Viljelytoimenpiteiden, kuormitusta vähentävien toimenpiteiden ja ilmastonmuutoksen vaikutus voidaan ottaa huomioon simuloinneissa.



Kuva 4. Biogeokemiallisen kulkeutumismallin prosessikaavio.

Löydät meidät verkosta

luke.fi

Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki