

# Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan

KiertoVesi-hankkeen loppuraportti

Markku Puustinen, Sirkka Tattari, Sari Väisänen,  
Perttu Virkajärvi, Mari Rätty, Kirsi Järvenranta, Jari Koskiahho,  
Elina Röman, Ilkka Sammalkorpi, Risto Uusitalo, Riitta Lemola,  
Jaana Uusi-Kämppe, Ahti Lepistö, Turo Hjerppe, Juha Riihimäki,  
Jukka Ruuhijärvi





# Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan

**KiertoVesi-hankkeen loppuraportti**

**Markku Puustinen, Sirkka Tattari, Sari Väisänen,  
Perttu Virkajärvi, Mari Rätty, Kirsi Järvenranta, Jari Koskiaho,  
Elina Röman, Ilkka Sammalkorpi, Risto Uusitalo, Riitta Lemola,  
Jaana Uusi-Kämpä, Ahti Lepistö, Turo Hjerppe, Juha Riihimäki,  
Jukka Ruuhijärvi**



Maa- ja metsätalousministeriö

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 22 | 2019  
Suomen ympäristökeskus SYKE  
Vesikeskus

Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan  
KiertoVesi-hankkeen loppuraportti

Kirjoittajat: Markku Puustinen<sup>1)</sup>, Sirkka Tattari<sup>1)</sup>, Sari Väisänen<sup>1)</sup>, Perttu Virkajärvi<sup>2)</sup>, Mari Rätty<sup>2)</sup>, Kirsi Järvenranta<sup>2)</sup>, Jari Koskiaho<sup>1)</sup>, Elina Röman<sup>1)</sup>, Ilkka Sammalkorpi<sup>1)</sup>, Risto Uusitalo<sup>2)</sup>, Riitta Lemola<sup>2)</sup>, Jaana Uusi-Kämppe<sup>2)</sup>, Ahti Lepistö<sup>1)</sup>, Turo Hjerpe<sup>1)</sup>, Juha Riihimäki<sup>1)</sup>, Jukka Ruuhijärvi<sup>2)</sup>

1) Suomen ympäristökeskus  
2) Luonnonvarakeskus

Vastaava erikoistoimittaja: Riitta Autio

Rahoittaja: Maa- ja metsätalousministeriö

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus SYKE  
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Kansikuva: Kirsi Järvenranta  
Sisäsivujen kuvat: Sirkka Tattari, Jari Koskiaho, Risto Uusitalo  
Taitto: Marja Vierimaa

Julkaisu on saatavana internetistä: [syke.fi/julkaisut](http://syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](http://helda.helsinki.fi/syke)  
sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: [syke.juvenesprint.fi](http://syke.juvenesprint.fi)

ISBN 978-952-11-5035-7 (nid.)  
ISBN 978-952-11-5036-4 (PDF)  
ISSN 1796-1718 (pain.)  
ISSN 1796-1726 (verkkok.)

Julkaisuvuosi: 2019

## ESIPUHE

Materiaalien kierrätystä ja uusiokäyttöä koskeva kansallinen avaus tehtiin Itämeren suojelun nimissä Summit 2010:ssa pääministerisitoumuksena. Sitoumuksessa luvattiin siirtää maataloudessa laaja-alaiseen ravinteiden kierrätykseen. Sitoumuksen jälkeen nimetty ravinteidenkierrätys-työryhmä teki taustaselvityksen ravinteita sisältävistä kierrätysmateriaaleista ja niiden määristä.

Työn tuloksena todettiin, että suurimmat maataloudessa kierrätettävät ravinnevarannot ovat kotieläin- ja turkistuotannossa muodostuva lanta eri muodoissaan sekä lihaluujauho. Muita merkittäviä ravinne- ja energialähteitä maataloudessa ovat suoja- ja suojavähykkeiltä niitettävä kasvusto, peltojen kerääjäkasvit ja olki. Kierrätettäviä ravinnevarantoja ovat myös vesistöjen kunnostuksen yhteydessä poistettut vesikasvit ja hoitokalastuksen kalasaaliit. Sekä kalojen että vesikasvien ravinteiden käytölle on paljon mahdollisuuksia. Suurissa yhdyskunnissa muodostuu paljon jätevesilietettä. Lietteiden hyödyntämiseen peltoviljelyssä liittyy kuitenkin haitta-aineiden aiheuttamia riskejä.

Ravinteidenkierrätys-työryhmä (Työryhmämuistio 5:2011, MMM) esitti yhtenä johdopäätöksensä, että vesien hyvän tilan saavuttaminen seuraavien 10-20 vuoden aikana edellyttää merkittävästi parempaa ravinteiden kierrätystä. Erityisesti fosfori- ja typpikierron vuotokohtia tulisi olennaisesti pienentää nykyisestä. Tähän ongelmaan työryhmä esitti neljä pääteemaa:

- Käytetään ravinteita säästään ja tehokkaasti
- Minimoidaan biojätteiden ja niiden mukana kiertävien ravinteiden määrä
- Kierrätetään ravinteet tehokkaasti ja turvallisesti
- Kerätään ravinteita vesistöistä ja palautetaan ne hyötykäyttöön

Aiheesta on käynnistetty tutkimusohjelmia (mm. Raki-ohjelma) ja ravinteiden kierrätystä koskevia tavoitteita on sisällytetty laajemminkin maatalouden ympäristötutkimuksen rahoitukseen. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan -hanke (KiertoVesi) oli osa maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön yhteistä Maatalouden Ympäristövaikutusten Tutkimusohjelma MATO:a. Hankkeessa tarkasteltiin maatalouden ja vesiympäristön välisiä yhteyksiä kestävä maatalouden ja kestävien viljelymenetelmien näkökulmasta. Ympäristökysymyksiä ei siis ole tarkasteltu maatalouden tuottavuuden kustannuksella vaan tarkastelutapaan jo lähtökohtaisesti sisältyy maataloustuotannon perusedellytykset, tuottavuus ja kehitystarpeet. Tässä hankkeessa ei käsitelty mm. kasviterveyttä, sadon laatua tai uusien lajikkeiden tuotantopotentiaalia. Kolmevuotinen hanke rahoitettiin maatilatalouden kehittämisrahaston maaseutuelinkeinojen kehittämistoiminnan tutkimusten määrärahoista ja toteutettiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Luonnonvarakeskuksen (Luke) yhteishankkeena.

Hankkeelle nimettiin ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimi Sini Wallenius (MMM). Muut ohjausryhmän jäsenet olivat Ville Keskisarja (MMM), Tarja Haaranen (YM), Laura Alakukku (HY), Pekka Heikkilä (ETL), Liisa Pietola (MTK), Seija Virtanen (Salaojituksen tukisäätiö) ja Eila Turtola (Luke). Hankkeessa yhdistettiin tutkimuslaitosten kokeellisia aineistoja ja hyödynnettiin Maaseutuviraston (Mavi) tietokantoja uudella tavalla. Hankkeen tutkijat kiittävät Mavia, rahoittajaa, sekä ohjausryhmää erittäin hyödyllisistä ja avoimista keskusteluista.

Helsingissä 11.7.2019, tekijät

## TIIVISTELMÄ

### Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan KiertoVesi-hankkeen loppuraportti

KiertoVesi hanke oli kiertotalousteeman alle kuuluva laaja maatalouden ympäristökysymyksiä, ravinteiden käyttöä ja niiden hallintaa käsittelevä hanke. Hankkeen johtajatuksena oli muodostaa erilaisista maatalouden käytännöistä, niiden muutoksista ja tulevista muospaineista kattava kokonaiskuva mittasuhteiltaan erilaisten skaalojen välisten yhteyksien sekä maatalouden nykyisen ympäristötilan hahmottamiseksi.

Hanke muodostui viidestä työpaketista, joissa

- tuotettiin erilliset ravinteiden kierrätystä kuvaavat skenaariot
- koottiin ravinteiden liikkeitä kuvaavat koekenttien, valuma-alueiden ja vesistöalueiden aineistot yhteen tietokantaan
- tehtiin mallitarkasteluina pilottialueilla skenaariotarkastelut ravinteiden kierrätyksen vaikutuksista
- arvioitiin ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteiden vaikuttavuus koko maatalousmaalla ja vertailtiin vesienhoitosuunnitelmien toimenpiteiden vaikuttavuuteen
- koottiin työpakettien tulokset yhteen ja tehtiin kokonaisvaltainen tarkastelu maatalouden ravinnevirroista ja mahdollisuuksista vaikuttaa niihin kiertotalouden keinoin

Hankkeessa selvitettiin lisäksi, kuinka paljon lannan ja mineraalilannoitteiden ravinteiden vastaavuus poikkeaa toisistaan erilaisissa lannan käyttötilanteissa, mihin ravinteet näissä erilaisissa tilanteissa päätyvät ja missä suhteessa – satoon, maaperään, ilmaan vai vesistöön. Tavoitteena oli tuottaa monipuolista tietoa edellä mainittujen tekijöiden välisistä yhteyksistä ja hahmottaa kokonaiskuva kiertotalouden näkökulmasta.

Työssä maatalouden ympäristötoimenpiteiden vaikutusarvioiden laskenta koski talviaikaista kasvipeitteisyyttä, muokkaus- ja viljelymenetelmien muutosta, suojavyöhykkeitä ja kosteikkoja sekä erillisenä tarkasteluna karjanlannan kestävä käyttöä ja kipsin levityksen vaikutuksia. Esitetyt mallitulokset eivät sisällä mineraalilannoitteiden viljelykäytön ja ravinnetaseiden pienenemisen suoria vaikutuksia ravinnehuuhtoumiin ja arviot voivat olla tästä syystä aliarvioita.

Erityisen mielenkiintoinen lähestymistapa maatalouden kiertotaloudessa on ravinteiden poistaminen suoraan vesistöistä systemaattisella kalastuksen lisäämisellä. Sisävesien nykyinen kotitarvekalastus palauttaa vain noin kolmasosan siitä ravinnepotentiaalista, joka kalastukseen sisältyy. Systemaattisella hoitokalastuksella on mahdollista poistaa merkittävä määrä ravinteita vesistöistä. Vaikka ravinteiden poistolla suoraan vesistöistä ja ravintoketjun kunnostamisella saadaankin nopeammin näkyviä vaikutuksia aikaisesti, sitä tulee edistää rinnakkaisena toimenä valuma-alue toimien kanssa.

Hankkeen tavoitteena oli laajentaa käsitystä maatalousympäristön nykytilasta ja tulevaisuuden haasteista ja tuottaa tietoa niin vesien- ja merenhoidon toimenpiteiden suunnittelun kuin maatalouden ympäristöohjelman kehittämisen tueksi.

#### Asiasanat:

Ravinteiden kierrätys, viljelykäytäntö, karjanlanta, vesistökunnostus, vesienhoidon tavoitteet

## SAMMANDRAG

### Återvinning av näringsämnen primärproduktion och dess effekter på ytvattenstatus, KiertoVesi

KiertoVesi-projektet var ett omfattande projekt om miljövänliga miljöfrågor, användning av näringsämnen och förvaltning under det cirkulära temat. Tanken bakom projektet var att ge en övergripande bild av de olika jordbruksmetoderna, deras förändringar och det framtida presset för förändring för att förstå förhållandena mellan skalor av varierande proportioner och den nuvarande situationen för miljön i jordbruket.

Projektet bestod av fem arbetspaket

- Separata scenarier för näringsåtervinning producerades
- aggregatdata från testfält, avrinningsområden och flodbassänger som beskriver näringsrörelser i en databas
- Scenariestudier om effekterna av återvinning av näringsämnen genomfördes i pilotområden som modellstudie
- Bedömde effektiviteten av åtgärderna för miljöskyddsplaner över jordbruksmarken och jämförde effektiviteten av åtgärderna i vattenhanteringsplanerna.
- sammanfattade resultaten av arbetspaketet och gjorde en omfattande översyn av näringsflödena inom jordbruket och möjligheterna att påverka dem genom cirkulär ekonomi.

Dessutom undersökte projektet i vilken utsträckning gödsel- och mineralgödselämnesekvivalens skiljer sig åt i olika gödselansvändningssituationer, där näringsämnen i dessa olika situationer hamnar och i vilken utsträckning - grödor, jord, luft eller vatten. Syftet var att tillhandahålla mångsidig information om kopplingarna mellan de ovan nämnda faktorerna och att uppfatta den övergripande bilden ur ett cirkulärt ekonomiskt perspektiv.

I arbetet gällde beräkningen av konsekvensbedömningarna för miljövänliga åtgärder vintertidens vegetationstäckning, modifiering av odlings- och odlingsmetoder, skyddsområden och våtmarker samt hållbar användning av nötkreaturfoder och effekterna av gipsspridning. De presenterade modellresultaten innehåller inte direkta effekter av mineralgödselkultivering och näringsbalansminskning på utlakning av näringsämnen och uppskattningar kan därför underskattas.

Ett särskilt intressant tillvägagångssätt för jordbrukssektorns cirkulära ekonomi är avlägsnandet av näringsämnen direkt från vattenarbetet genom systematisk ökning av fisket. Det nuvarande inlandet fisket i inre vatten återställer bara cirka en tredjedel av fiskens näringspotential. Med systematiskt fiske är det möjligt att ta bort en betydande mängd näringsämnen från vattenarbetet. Även om avlägsnandet av näringsämnen direkt från vattnet och restaureringen av livsmedelskedjan kommer att få en mer synlig effekt i tid, bör den främjas som en parallell åtgärd med avrinningsaktiviteter.

Syftet med projektet var att bredda förståelsen av jordbruksmiljöns nuvarande tillstånd och framtida utmaningar och att tillhandahålla information för att stödja både planeringen av vatten- och marina förvaltningsåtgärder och utvecklingen av miljövänligt program.

#### Nyckelord:

Återvinning av näringsämnen, odlingsmetod, kreaturgödsel, vattendrag restoration, vattenförvaltningsplan

## ABSTRACT

### **Nutrient recycling in primary production and its effects on state of surface waters, KiertoVesi**

The KiertoVesi project was an extensive project on agri-environmental issues and nutrient use & management under the theme of circular economy. The idea behind the project was to provide a comprehensive picture of different agricultural practices, their changes and future pressures for change in order to understand the relationships between the different scales of loading to surface waters and the current state of the environment in agricultural areas.

The project consisted of five work packages

- Separate scenarios for nutrient recycling were produced
- Data from experimental fields, small research catchments and river basins describing nutrient movements were aggregated into one database
- Scenarios on the effects of nutrient recycling were conducted in pilot areas as a model study
- The effectiveness of the measures included in the agri-environmental compensation scheme was assessed across the entire agricultural land area and compared with the effectiveness of the measures included in the river basin management plans
- The results of the work packages, as well as a comprehensive review of the nutrient flows in agriculture and the possibilities to influence them through circular economy were compiled

In addition, the project explored to which extent manure and mineral fertilizer nutrient equivalence differ in different manure usage situations and where, and in what relative quantities, nutrients in these different situations end up - crop, soil, air or water. The aim was to provide versatile information on the links between the above-mentioned factors and to perceive the overall picture from the perspective of circular economy.

In this work, the calculation of the impact assessments for agri-environmental measures concerned i) winter time vegetation coverage, ii) modification of cultivation methods, iii) buffer zones and wetlands, iv) the effects of gypsum spreading and – as a separate study – v) sustainable use of manure. The presented model results do not include the direct effects of the reduced use of mineral fertilizers and the decreased nutrient balances on nutrient leaching which may be therefore underestimated.

An especially interesting approach to the circular economy of agriculture is the removal of nutrients directly from water bodies by systematic increase of fishing. The current fishing in inland waters covers only about one-third of the total nutrient potential of fishing. With systematic biomanipulative fishing, it is possible to remove a significant amount of nutrients from water bodies. Although the removal of nutrients directly from the water and the restoration of the food chain (biomanipulation) have more visible and fast effect than the river basin activities, they should be promoted as parallel actions.

The results of the KiertoVesi project broaden the understanding of the current state and future challenges of the agricultural environment, and provide information supporting both the planning of water and marine management measures and the development of the agri-environmental program.

#### **Keywords:**

Nutrient recycling, cultivation practice, manure, watershed restoration, river basin management plans

## SISÄLLYS

<b>Esipuhe</b> .....	3
<b>I Johdanto</b> .....	9
<b>2 Maatalouden vesistökuormituksen nykytilanne, miten tähän on tultu?</b> .....	12
2.1 Veden kulkureitit ja maan rakenne .....	12
2.2 Maanmuokkaus ja kasvipeitteisyys .....	13
2.3 Viljelyedellytysten muuttuminen.....	17
2.4 Peltoalan ja viljelykäytäntöjen muuttuminen .....	17
2.5 Pellon pintakerroksen ravinnevarastojen muuttuminen .....	18
<b>3 Vesistökuormituksen vähentämismahdollisuudet maalla ja vedessä</b> .....	21
3.1 Lannoituksen vähentäminen .....	21
3.2 Viljely- ja muokkauuskäytäntöjen muuttaminen .....	22
3.3 Suojavyöhykkeet.....	23
3.4 Kosteikot ja laskeutusaltaat.....	23
3.5 Säätosalaajitus.....	25
3.6 Kipsi, rakennekalkki ja kuidut.....	25
3.7 Vesistökunnostustoimenpiteet .....	27
3.8 Yhteenveto toimenpiteiden vaikutuksista .....	30
<b>4 Mittausaineistoa peltolohkoilta vesistöalueiden purkupisteeseen</b> .....	33
4.1 Peltolohkotaso .....	34
4.2 Pienet tutkimusvaluma-alueet.....	34
4.3 Vesistöalueet.....	34
4.4 Mitä eri mittakaavat kertovat kuormituksesta, sen tasosta ja vähentämismahdollisuuksista.....	35
4.5 Koottu aineisto SYKEN avoimen datan tutkimustietoalustassa .....	37
<b>5 Kuormituksen arviointityökalujen kehittäminen ja kuvaus</b> .....	38
5.1 Fosforiluvun ja liukoisen fosforin huuhtoutumisriskin ennustettavuus .....	38
5.2 Lannan ravinnesisältö .....	39
5.3 Fosforin huuhtoutuminen pintavalunnassa nurmipeitteisiltä pelloilta ja uuden laskentatyökalun kehittäminen – NURMAP .....	45
5.4 NURMAP-tilamalli karjanlannan viljelykäytölle .....	50
5.5 Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli VIHMA ja sen jatkokehitys .....	56
5.6 Eräiden toimenpiteiden kustannustehokkuuden vertailua .....	58
5.7 Kalastusmalli fosforinpoistolle vesistöistä .....	60

<b>6 Maatalous pilottialueilla ja vesistökuormitus</b> .....	65
6.1 Aurajoki ja Paimionjoki .....	65
6.2 Eurajoki .....	66
6.3 Iisalmen reitti .....	67
6.4 Lannan määrä pilottialueilla .....	68
6.5 Fosforikuorman vaihtelu pilottialueilla .....	69
<b>7 Viljely- ja kiertotalousskenaarioiden muodostaminen</b> .....	70
7.1 Skenaarioiden kuvaukset .....	70
7.2 Skenaarioiden laskenta pilottialueilla .....	71
<b>8 Maatalouden ympäristötoimenpiteet ja vesienhoidon tavoitteet</b> .....	73
8.1 Tietokantoihin ja vesienhoitosuunnitelmiin perustuvat toimenpiteet .....	73
8.2 Toteutetut toimenpiteet ja vesienhoitosuunnitelmien sisältö .....	75
<b>9 Tulokset ja tulosten tarkastelu</b> .....	79
9.1 Ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteillä saatu kuormituksen aleneminen ja vesienhoidon tavoitteet .....	79
9.2 Maatalouden ympäristötoimenpiteiden tehostamismahdollisuudet ja leutojen talvien vaikutus .....	83
9.3 KiertoVesi-hankkeen skenaariot lannan fraktioinnin osalta .....	87
9.4 Hoitokalastus fosforin poistajana .....	90
9.5 Saatujen tulosten yhteenveto .....	93
<b>10 Johtopäätökset ja suositukset</b> .....	95
Suositukset .....	99
<b>Kirjallisuus</b> .....	101
<b>Liitteet</b> .....	110
Liite 1. Lyhenteitä ja termejä .....	110
Liite 2. Hylätyn aineiston kuvaus .....	113
Liite 3. Learning-cafe antia .....	114
Liite 4. VIHMA-laskelmien lähtötiedot eri skenaarioissa .....	123
Liite 5. VIHMAN tulokset .....	138

# 1 Johdanto

Ravinteiden kierrätyspotentiaalin täysimääräinen hyödyntäminen peltoviljelyssä olisi merkittävä edistysaskel kestäväen maatalouden suuntaan. Ilman valumavesien ravinnepitoisuuksien havaittavaa alenemista ravinteiden kierrätyksestä saatava edistysaskel jäisi kuitenkin lyhyeksi. Ilmastossamme on tyypillistä vuosisadannasta valunnaksi jäävä suuri vesimäärä. Tuotannon näkökulmasta veden määrällinen hallinta on edellyttänyt tehokasta veden johtamista pois yleensä avoimissa uomajärjestelmissä. Ne muodostavat keskeisen osan nykymaatalouden tuotannollisesta infrastruktuurista, mutta samalla niissä on avautunut väylä ei-toivotuille ravinnevirroille pelloilta vesistöihin. Tämä on myös kestäväen maataloustuotannon ydinkysymyksiä: miten valumavesien ravinnevirrat saataisiin paremmin hallintaan?

Tähän kytkeytyy läheisesti puolestaan kysymys, miten ravinteiden kierrätys vaikuttaisi mineraalilannoitteiden käyttöön lohko-, tila- sekä aluetasolla. Pelkästään tämä mittakaava-asetelma johtaa seuraavaan kysymykseen: millä mekanismeilla kierrätysravinteiden laaja käyttö ja mineraalilannoitteiden korvaaminen vaikuttaisi kuivatusvesien laatuun ja lopulta vesistöjen tilaan? Lohko- ja tilatason keskeisiä ongelmakohtia ovat mm. miten tarkasti eri eläinten lannan sisältämien ravinteiden vaikutukset ja satovasteet saadaan vertailtua mineraalilannoitteiden satovasteisiin ja miten lannan vaihtoehtoiset levitystekniikat ja levitysjankohdat tulisi ottaa arvioinneissa huomioon. Tai toisin sanoen, kuinka paljon lannan ja mineraalilannoitteiden ravinteiden vastaavuus poikkeaa toisistaan erilaisissa lannan käyttötilanteissa, mihin ravinteet päätyvät ja missä suhteessa – satoon, maaperään, ilmaan tai vesistöön.

KiertoVesi- hankkeessa tavoitteena oli tuottaa monipuolista tietoa edellä mainittujen tekijöiden välisistä yhteyksistä ja hahmottaa kokonaiskuva kiertotalouden näkökulmasta. Hanke muodostui viidestä erillisestä työpaketista, joissa

- tuotettiin erilliset ravinteiden kierrätystä kuvaavat skenaariot
- koottiin ravinteiden liikkeitä kuvaavat koekenttien, valuma-alueiden ja vesistöalueiden aineistot yhteen tietokantaan
- tehtiin mallitarkasteluina pilottialueilla skenaariotarkastelut ravinteiden kierrätyksen vaikutuksista
- arvioitiin ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteiden vaikuttavuus koko maatalousmaalla ja
- koottiin työpakettien tulokset yhteen ja tehtiin kokonaisvaltainen tarkastelu maatalouden ravinnevirroista ja mahdollisuuksista vaikuttaa niihin kiertotalouden keinoin.

Hankkeessa kehitettiin uusi laskentatyökalu karjan lannan aiheuttamien ravinnehuuhtoumien hallintaan. Hankkeen johtoajatuksena oli valuma-alueista ja vastaanottavista vesistöistä muodostuva maantieteellinen alue, jossa vesistöjen tila on muodostunut pitkällä aikavälillä valuma-alueilta tulevista ravinnevirroista ja vesistöjen

tilaa parannetaan valuma-alueilla tehtävillä toimenpiteillä sekä vesistöissä tehtävillä vesistökunnostustoimenpiteillä. Tarkastelussa arvioitiin valuma-alueitoimia ja vesistökunnostustoimia rinnakkain ja keskenään vertailtavina toimenpiteinä.

Lannan satovasteita on tutkittu melko laajasti 1980-luvulla (Kemppainen 1989, 1992), sittemmin on tutkittu lannan ammoniakkipäästöjä (Hellstedt ym. 2017) sekä lannan sisältämien ravinteiden kokonaismääriä ja alueellista sijaintia (Luostarinen ym. 2011, Luostarinen ym. 2017a ja 2017b). Nautakarjan lannan päästöjä on tutkittu Luken Maaningan koeasemalla viime vuosina (mm. Järvenranta ym. 2014, Rätty ym. 2018, 2019, Virkajärvi ym. 2015, Saarnio ym. 2018). Sian lietelannan ja turkistarhojen lannan ympäristövaikutuksista peltoviljelyssä Suomen olosuhteissa on niukasti kokeellista tutkimusta.

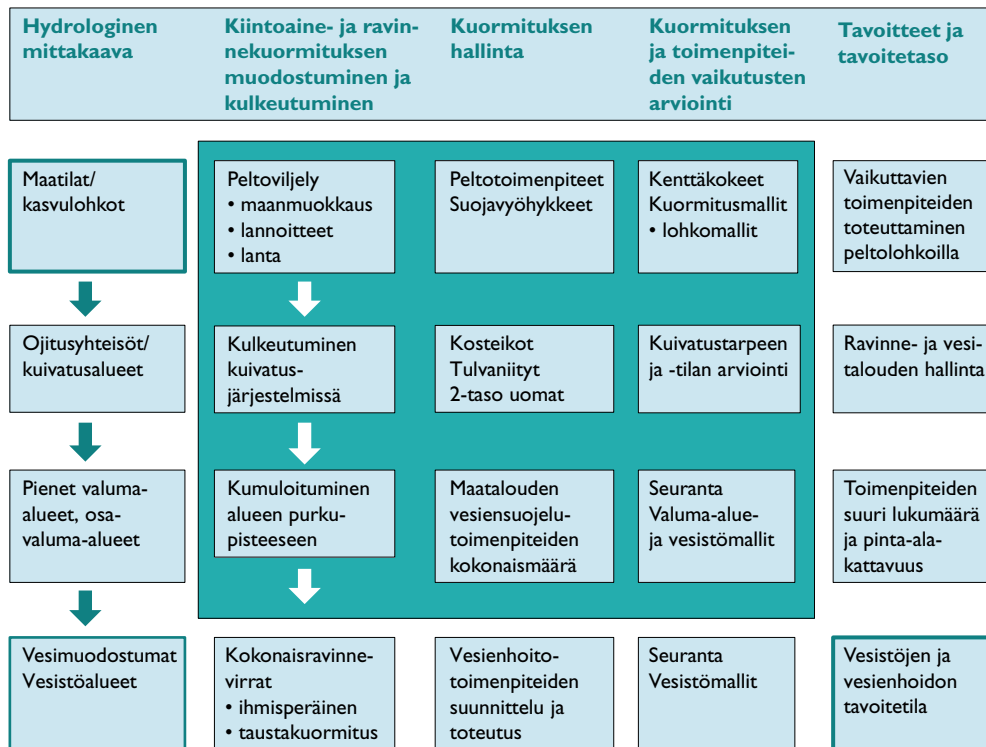
Lannan käyttöön peltoviljelyssä puututaan ja vaikutetaan ympäristöohjelmien käyttösuosituksilla. Niissä lannan ja lietteiden käyttömääriä rajoitetaan erityisesti peltoon tulevan fosforin määrän ja jo pellossa olevan fosforivaraston perusteella. Käyttöä rajoitetaan myös ajallisesti siten, että myöhään syksyllä ja/tai talvella se ei ole sallittua. Lannan ravinnesisältö tunnetaan kohtuullisesti, mutta ympäristövaikutuksia ei tunneta ainakaan tarkasti.

Pienien valuma-alueiden kolmenkymmenen vuoden seuranta-aineistoihin perustuvat maatalouden kuormitusarvot ovat olleet 15 kg typpeä ja 1,1 kg fosforia hehtaarilta vuodessa (Tattari ym. 2017). Keskimääräisinä lukuarvoina kuormitusluvut (kg N/P /ha/v) ovat suurelle osalle runsaasta miljoonasta peltolohkosta joko yliarvioita tai aliarvioita. Kuormituslukujen osalta olisi erityisen tärkeää tarkastella niiden taustoja ja sitä miten nykyiseen tilanteeseen on tultu pitkällä aikavälillä. Keskeisimpiä vaikuttavia tekijöitä ovat muutokset maatalouskäytännöissä, viljelytekniikoissa, tuotantopanoksissa, kotieläintuotannossa ja viljelyaloissa sekä viljelykeskittymien muodostumisessa. Kun tätä verrataan vaikkapa valuma-alueiden seuranta-aineistoihin, saadaan kuva ravinnehuhtoumien pitkäaikaisista muutoksista.

Peltolohkoilta lähtevä kiintoaine- ja ravinnekuormitus (Kuva 1) muodostavat valuma-alueiden ja vesistöalueiden purkupisteissä maatalouden kokonaiskuormituksen ja tämän päälle tulee muista lähteistä tuleva kuormitus, myös taustakuormitus. Tätä taustaa vasten pitäisi voida arvioida kuormitusta, toteutettujen ympäristöohjelmien toimenpiteiden vaikutuksia ja laajamittaisen ravinteiden kierrätyksen vaikutuksia. Voidaan sanoa, että maatalouden vesistökuormituksen alentamiseen on kaksi vaihtoehtoa:

- pienennetään hehtaarikohtaisia ominaiskuormituslukuja tai
- vähennetään viljelyksessä olevaa maatalousmaan kokonaispinta-alaa

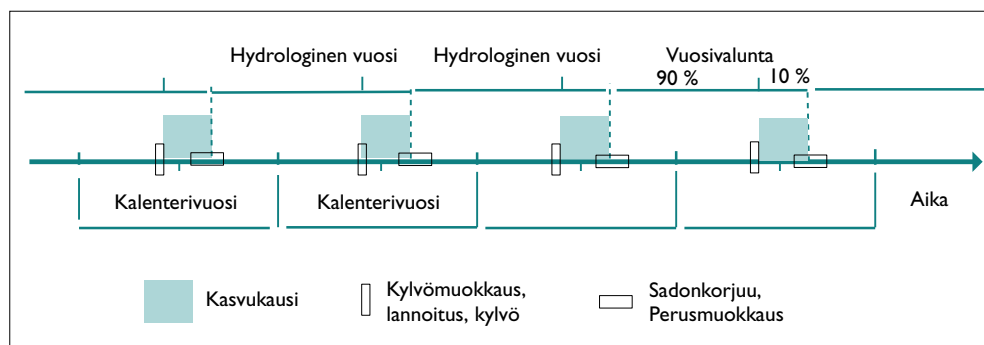
Ensimmäisessä vaihtoehdossa vaikutus perustuisi ensisijaisesti valunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksien pysyvään alentamiseen. Toisessa vaihtoehdossa peltoalan merkittävä vähentäminen pienentäisi kuormitusta pidemmällä aikavälillä, mutta aluksi jäännöskuormitus voi olla taustakuormitusta suurempi useiden vuosien ajan. Vesistöjen kannalta ravinteiden poistaminen missä tahansa kohtaa ravinnevirtojen reitillä on hyödyllistä. Toisin sanoen pelloilla tehtävien toimenpiteiden rinnalla on käytettävissä myös peltojen ja vastaanottavan vesistön välisellä valuma-alueella tehtäviä ympäristötoimenpiteitä sekä tehokkaita vesistökunnostustoimenpiteitä.



**Kuva 1.** Periaatekuva peltolohkojen kiintoaine- ja ravinnekuormituksen kumulatiivisesta kertymisestä valuma-alueen purkupisteeseen, kuormituksen arvioinnin ja hallinnan menetelmät sekä vesiensuojelutavoitteet erikokoisilla hydrologisilla alueilla. Peltotoimenpiteet sisältävät laajan valikoiman toisiaan täydentäviä toimenpiteitä, mm. talviaikaista kasvipeitteisyyttä ja säätosaloitusta.

## 2 Maatalouden vesistökuormituksen nykytilanne, miten tähän on tultu?

Viljelykierron eri vaiheet muodostavat jatkumon syksyn valmistelevästä perusmuokkauksesta kevään viljelytoimenpiteisiin ja lopulta sadonkorjuuseen saakka (Kuva 2). Hydrologisena jaksona siitä muodostuu myös yhtenäinen kausi: hydrologinen vuosi. Eroosion ja ravinnehuuhtoumien näkökulmasta oleellista on, miten eri viljelytoimenpiteet ajoittuvat hydrologisiin ilmiöihin nähden. Pääosa vuosivalunnasta tapahtuu kasvukauden ulkopuolella (mm. Puustinen ym. 2010). Peltoviljelyn kuormituksessa oleellisia seikkoja ovat kuormitustapahtumat eri mittakaavoissa (Kuva 1), kuormituksen toistuminen vuodesta toiseen (Kuva 2) ja hydrologinen vuosivaihtelu (mm. Rekolainen 1989).



**Kuva 2.** Periaatekuva hydrologisten vuosien, kasvukausien ja viljelytoimenpiteiden ajoittumisesta suhteessa toisiinsa.

### 2.1 Veden kulkureitit ja maan rakenne

Peltolohkoilla eri reittejä kulkeva vesi on pellon pinnalle satanutta tai lumen sulannasta muodostunutta ja maanpinnan kanssa kontaktissa ollutta ns. uutta vettä (Lepistö 1996). Tehokkaan lohkotason paikalliskuivatuksen ja kasvukauden aikaisen suuren sadannan vajauksen vuoksi peltojen maaprofiiliin ei varastoidu sellaista vettä, joka esim. vuoden kuluttua muodostuisi valunnaksi. Peltolohkoilta kuivatusvedet virtaavat maanpinnalla, pintakerroksessa ja salaojien kautta peruskuivatusuomiin (Kuva 4). Koekentiltä mitattujen valuntojen perusteella voidaan arvioida, että noin kolmasosa sadannasta poistuu pelloilta pinta- ja salaojavaluntana. Pienempi osa kokonaisvalunnasta, noin 50–60 mm (noin 15%) muodostuu pohjavesivalunnaksi (Paasonen-Kivekäs ym. 2016).

Pinta- ja pintakerrosvaluntana virtaava valuntavesi poistuu pelloilta joko koko kasvulohkon leveydeltä tai kaltevuuden ohjaamana kapeammalta reuna-alueelta. Salaojaverkostojen laskuaukoista purkautuva vesi on useimmiten koko peruslohkoa koskevasta yhdestä oja- tai ojastosta tulevaa vettä, vaikka lohkoilla olisikin useampi kasvu-

lohko. Pintavaluntaa esiintyy tyypillisimmin syyssateilla, säännöllisesti keväällä lumen sulamisjaksoilla muutamien viikkojen ajan ja satunnaisesti runsaampien kesäsateiden seurauksena. Salaojavalunta jatkuu pidempään, usein ympäri vuoden. Kuivana kesänä pohjaveden pinta laskee salaojien alapuolelle ja siksi myös salaojavalunta lakkaa. Myös talvella voi olla tällainen tilanne. Hydrologisten vuosien vaihtelu lisää myös valuntasuhteiden vaihtelua (pintavalunta vs. salaojavalunta), joten kiinteitä lohkokokohtaisia valuntasuhteita ei voida esittää.

Kesäkuukausina sadannasta muodostuva valunta edustaa Etelä- ja Keski-Suomessa melko pientä osuutta vuosivalunnasta (Taulukko 1). Niinpä keskeiset kuivatustarvetta korostavat ajankohdat ovat kevät ja syksy. Tämä valunnan vuodenaikaisjakauma säätelee myös peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen vuodenaikaisjakautumia. Tässä siis yhdistyvät peltoviljelyn tuotannon tarve ja ympäristövaikutukset toisiinsa.

**Taulukko 1.** Keskimääräinen vuosi- ja vuodenaikaisvalunta (muokattu Mustonen (toim.) 1986).

Alue	Vuosisalunna ja vuodenaikaisvalunnan määrä vuosivalunnasta				
	Vuosivalunta (mm)	Kevät (mm)	Kesä (mm)	Syksy (mm)	Talvi (mm)
Etelä-Suomi	200–300	100–150	10–20	50–100	<50
Pohjois-Suomi	300–400	140–180	30–40	< 100	<50

Peltomaan rakenteen ja kasvukunnon hyvä ylläpito on tehokas tapa vähentää ravinnekuormitusta pelloilta. Kasvipeitteisyys ja hyvä mururakenne vähentävät tehokkaasti kiintoaineksen ja ravinteiden pintavaluntaa pellolta (Paasonen-Kivekäs ym. 2016). Hyvä maan rakenne edistää myös ylimääräisen veden kulkeutumista pois pellon pinnalta syvempiin maakerroksiin. Kasvusto sitoo maasta ravinteita, mikä omalta osaltaan myös vähentää ravinteiden huuhtoutumista. Maan rakenne voi kuitenkin ajan kuluessa muuttua tai viljelyssä käytettävät erilaiset työketjut voivat muuttaa peltojen vedenkiertoa. Nämä tekijät määrittelevät kuivatusalueiden ja maatalousvaltaisten valuma-alueiden vedenkierron ominaispiirteitä, kuten esim. suurten vesimäärien nopeaa purkautumista viljelyalueilta (Paasonen-Kivekäs, 2016).

## 2.2 Maanmuokkaus ja kasvipeitteisyys

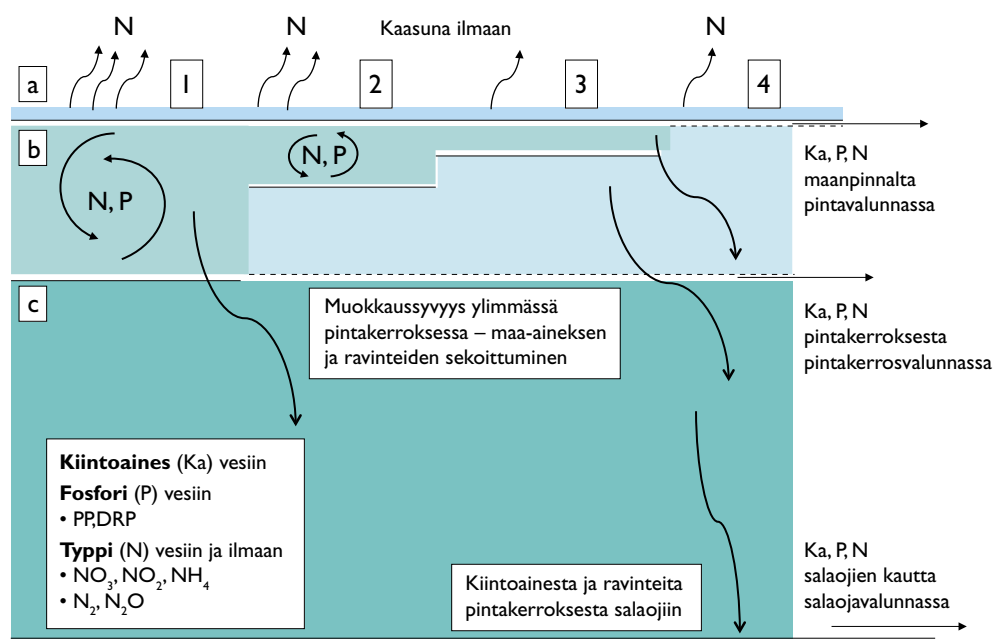
Maanmuokkaus jaotellaan perus- ja kylvömuokkaukseen (Kuva 3). Tavanomaisin tapa kevätiljojen viljelyssä on ollut kyntämällä toteutettu perusmuokkaus syksyllä ja äestämällä toteutettu kylvömuokkaus keväällä uuden kasvukauden alussa (Kuva 2). Syyskyntöä korvaavia vaihtoehtoisia käytäntöjä ovat esim. kultivaattorilla tai lautasäkeellä tehtävä sänkimuokkaus. Perusmuokkaus voidaan myös jättää syksyllä tekemättä ja korvata se keväällä suoraan kylvömuokkauksella tai kaikki muokkaus-käytännöt voidaan jättää tekemättä siirtymällä suorakylvöön. Kaikki muokkaus- ja kylvötoimenpiteet voidaan toteuttaa useilla erilaisilla koneketjuilla ja perus-kylvö-

Perusmuokkaus			
Kylvömuokkaus	On		Ei
	On	Perusmuokkaus, kylvömuokkaus ja kylvö	Kylvömuokkaus ja kylvö sänkeen ilman edeltävää perusmuokkausta
	Ei	Kylvö ilman kylvömuokkausta perusmuokattuun maahan	Suorakylvö

**Kuva 3.** Periaatekuva peltoviljelyn muokkausjärjestel mistä.

muokkauskombinaatioilla. Eri käytännöillä ja toteutuksen ajankohdalla on erilainen vaikutus muokkauskerroksen ja maanpinnan tilaan.

Pellon pinnalle jäävän kasvimassan tai irtonaisen maa-aineksen määrä riippuvat erityisesti muokkauksen intensiteetistä. Kyntäminen kääntää ylimmän pintakerroksen 20–25 cm:n syvyydeltä peittäen pintakasvillisuuden kyntöviilujen väliin (Kuva 4). Syksyllä tehdyn kynnon jälkeen maanpinta jää käytännössä kasvillisuudesta paljaaksi kevääseen saakka. Syvä (10–15 cm) ja matala (< 10 cm) sänkimuokkaus kuohkeuttavat ja kohottavat maata. Muokkauksetoista lisättäessä irtonaisen maa-aineksen määrä maanpinnalla kasvaa ja vastaavasti kasvipeitteisyyden määrä vähenee. Sänki- peitteisessä ja suorakylvössä maanpinta pysyy kasvipeitteisenä kasvukausien välisen eli talvikauden ajan. Monivuotisesta kasvipeitteisyydestä muodostuu kestävin pinta veden kuluttavaa vaikutusta vastaan.



a) Maanpinta, b) ylin pintakerros, c) ylimmän pintakerroksen ja salojien välinen pintakerros  
<sup>1)</sup> Kyntö (20–25 cm), <sup>2)</sup> Sänkimuokkaus (10–15 cm), <sup>3)</sup> talviaikainen sänki, kylvömuokkaus (5 cm),  
<sup>4)</sup> suorakylvö, pysyvä nurmi

**Kuva 4.** Periaatekuva eri muokkausikäntöjen vaikutuksesta ylimpään pintakerrokseen sekä veden kuljettaman maa-aineksen ja ravinteiden kulkureiteistä pellon pinnalta ja ylimmästä pintakerroksesta (ruokamultakerros) ja salaojista (PP=partikkelimainen fosfori, DRP =liukoinen fosfori).

## Kiintoainekuormitus

Yleisesti merkittävimpänä eroosiota aiheuttavana tekijänä pidetään sadetta ja sade- pisaroiden energiaa. Pohjoismaisissa viljelyolosuhteissa sateiden pienen intensiteetin vuoksi eroosio jää kuitenkin melko vähäiseksi (Ulén ym. 2013). Eroosiota synnyttävän sateen vähimmäisintensiteetin tulisi olla Hudsonin (1971) mukaan 25 mm h<sup>-1</sup>, mitä esim. Helsingissä esiintyy kerran kahdessa vuodessa (<https://ilmasto-opas.fi/oppimismoduulit/rankkasateiden-toistuvuus/>). Ilmaston lämpenemisen vuoksi sateen intensiteetit saattavat kuitenkin kasvaa niin paljon, että se lisää eroosioriskiä.

Viljelyoloissamme keskeisempi eroosiota aiheuttava tekijä on vesisateesta tai lumen sulannasta muodostuva pintavalunta (mm. Ulén ym. 2013). Se kuljettaa irtonaista maa-ainesta tasaisena pintaeroosiona, hyvin pienissä kanavissa mikrokana- vaeroosiona ja/tai valunnan noroutuessa ns. noroeroosiona. Yleisesti pintaeroosioon katsotaan sisältyvän em. eroosion eri muodot. Yksittäisiä valuntatapahtumia eri

muodoissaan tapahtuu toistuvasti peltojen ylimmän pintakerroksen ollessa pysyvästi sään vaikutuksen alaisena.

Muokkauksessa maan pinnalle muodostuvat painanteet ja kohoumien rajaamat vettä pidättävät painannevarastot estävät tai viivästyttävät pintavalunnan muodostumista ja siten voivat vähentää eroosiota (Pitkänen ym. 1999, Turtola ym. 2007). Eri muokkaukikäytännöissä muodostuvien painannevarastojen tilavuuserot kuitenkin alkavat tasoittua jo syksyn kuluessa ja kevääseen mennessä ne ovat lähes samanlaiset.

Vesivarastoina toimivien suurten vesihuokosten kokonaistilavuus myös kasvaa muokkauksen yhteydessä muokkaussyvyyttä vastaavassa kerroksessa. Tässäkin vesivarastotilavuus pienenee muokkauksen jälkeen melko nopeasti vesi- ja ilmahuokosten sortuessa umpeen. Maan muokkauksessa on siis tyypillistä maan huokostilavuuden kasvaminen hetkellisesti ja palautuminen taas alkuperäiseen tilaan.

Painannevarastotilavuuden ja suurten vesihuokosten tilavuuden kasvusta huolimatta maanmuokkaus lisää valuntaveden kiintoainepitoisuutta muokkaamattoman maan valuntaan verrattuna. Veden kulkureiteistä ja maan pinnalta salaojiin tulevan veden lyhyestä viiveestä johtuen vaikutus näkyy myös salaojaveden laadussa (Uusitalo ym. 2018). Sateen ja pintavalunnan sekä maanpinnan laadun (muokkaus vs. kasvipeitteisyys) ohella muita eroosioon vaikuttavia tekijöitä ovat maalaji, pellon pituus, kaltevuus ja kaltevuuden muoto (mm. Lilja ym. 2017).

## Fosforikuormitus

Fosfori huuhtoutuu pelloilta sekä kiintoainekseen sitoutuneena partikkelimaisena fosforina että vesiliukoisessa muodossa. Näiden keskinäiset osuudet riippuvat eroosion voimakkuudesta ja kasveille käyttökelpoisen fosforin määrästä muokkauskerroksessa (P-luku). Kynnetyissä maassa peltoon varastoitunut fosforimäärä on sekoittunut tasaisesti koko kyntökerrokseen. Kasvaneen eroosion vuoksi erityisesti partikkelimaisen fosforin huuhtoutumisriski kasvaa. Kevennetysti matalampaan syvyyteen muokatussa maassa fosforivarasto alkaa vähitellen rikastua ohuempaan 5–10 cm kerrokseen tai muokkaamattomassa maassa alle 5 cm:n kerrokseen (Kuva 4). Kevennetysti muokatussa tai kasvipeitteisellä lohkollla maan pintaan rikastuva fosfori nostaa maavedessä olevan liukoisen fosforin ns. tasapainopitoisuutta kynnettyyn maahan verrattuna ja lisää liukoisen fosforin huuhtoutumisriskiä (Uusitalo ym. 2007, 2018). Muokkaamattomassa maassa liunneen fosforin huuhtouman kasvu alkaa pian muutoksen jälkeen. Huuhtoutuva liunnut fosfori on osin peräisin pellon pinnalla hajoavasta kasvimassasta ja osin maan pintakerroksesta, johon helppoliukoista fosforia kertyy vuosien kuluessa.

Kokonaisfosforin huuhtoutuminen kuitenkin pienenee eroosion vähentyessä, jos partikkelimaisen fosforin huuhtoutuminen vähenee enemmän kuin liukoisen fosforin huuhtoutuminen kasvaa. Joissakin tapauksissa liukoisen fosforin kuormitus voi olla määrällisesti huomattavan suuri mm. kasvien jätteistä (mm. Djodjic 2000) ja nurmelta (Ulén 1985) vapautuvan fosfaattifosforin seurauksena, jolloin eroosion vähentämisestä huolimatta kokonaisfosforin huuhtoutuminen kasvaa. Huuhtoutuvasta fosforista liukoinen fosfaattifosfori on vesistöissä kokonaan leville käyttökelpoista ja partikkelimaisesta fosforista potentiaalisesti 20–60 % (Sharpley 1993, Ekholm 1994, Ekholm & Krogerus 2003).

Välitön fosforin huuhtoutumisriski koskee maavedessä olevaa epäorgaanista fosfaattifosforia ja liunnutta orgaanista fosforivarastoa. Vain hyvin pieni osa pintakerroksen kokonaisfosforista on maavedessä liukoisena fosfaattifosforina, tyypillisesti noin 100 g hehtaarilla. Vaikka kasveilta käyttämättä jäänyt lannoitefosfori sitoutuu kasvukauden aikana maa-ainekseen ja sen oksideihin, fosforin kertyminen maa-aineksen pinnoille nostaa vähitellen maaveden fosforipitoisuutta ja voi myöhemmin huuhtoutua. Hienorakeisilla kivennäismailla fosforia pidättäviä oksideja on karkeita

kivennäismaita runsaammin, mutta fosforia sitoutuu myös suoraan savimineraalien murtopinnoille (Tisdale & Nelson 1975). Fosforin huuhtoutumisriskeihin vaikuttaa eri olomuodoissa olevan fosforin reagoiminen eri tavoin maaveden kanssa.

## Typpikuormitus

Maaperässä orgaanisen aineksen mineralisoituminen ja siihen liittyvä typen kierto on jatkuva prosessi. Orgaanisen typen mineralisoituessa se muuttuu kasveille käyttökelpoiseksi ja voi edelleen muuttua muodosta toiseen. Eri muotoihin muuttuvan typen määrä riippuu orgaanisen aineksen määrästä. Esimerkiksi orgaanisten maiden, runsasmultaisten maiden ja vähämultaisten kivennäismaiden pelloilla typenkierto on määräsuhteiltaan oleellisesti toisistaan poikkeava ja vaikutukset erilaisia (mm. Paasonen-Kivekäs ym. 2016).

### Tärkeimmät typpikierron vaiheet ovat:

- orgaanisen typen hajoaminen epäorgaaniseen muotoon, mineralisoituminen
- epäorgaanisen typen sitoutuminen orgaaniseen ainekseen, immobilisaatio
- ammoniumtypen muuttuminen nitraatiksi, nitrifikaatio
- nitraattitypen vapautuminen kaasuna ilmaan, denitrifikaatio

Mineralisaatiossa orgaaninen typpi hajoaa epäorgaaniseen muotoon ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) ja immobilisaatiossa epäorgaanista typpeä sitoutuu takaisin orgaaniseen muotoon (Ledgard 2001, Di & Cameron 2002, Peigne ym. 2007). Molempia vaiheita tapahtuu samanaikaisesti, joten epäorgaanisen typen määrä ylimmässä pintakerroksessa muuttuu nettovaikutuksen perusteella (Berry ym. 2002). Epäorgaaninen typpi on maavedessä nitraattina ( $\text{NO}_3^-$ ), nitriittinä ( $\text{NO}_2^-$ ) ja ammoniumtyypinä ( $\text{NH}_4^+$ ), joka voi sitoutua kationien vaihtopinnoille. Typen kierto on kylmintä talvikautta lukuun ottamatta jatkuvaa, joten maaperässä ja maavedessä on aina vaihteleva määrä epäorgaanista typpeä. Maan ilmapuudella on myös vaikutusta typenkierron eri vaiheisiin.

Maan muokkaus kiihdyttää orgaanisen typen mineralisoitumista (mm. Halvorson ym. 2000, Kayser ym. 2010). Typen välitön huuhtoutumisriski aiheutuu maaveden nitraattipitoisuudesta, mihin vaikuttavat myös typpilannoitustasot (Bergström & Brink 1986, Bergström 1987), lannoituksen ajankohta (Jaakkola 1984, Turtola & Kempainen 1998) ja erityisesti kasvukauden ulkopuolella orgaanisen typen mineralisaatio. Ballin ja Keeneyn (1981) mukaan lauhkeilla vyöhykkeillä muokkauskerroksen orgaanisesta tyyppistä mineralisoituisi jopa 2–4 % vuodessa epäorgaaniseksi tyyppi. Tyyppiä huuhtoutuu myös nitriittinä, ammonium-muodossa ( $\text{NH}_4^+$ ) sekä orgaanisena tyyppinä kiinteässä tai liukoisessa muodossa.

Mineraalilannoitteiden nitraatti nostaa maaveden epäorgaanisen typen määrää ja ammoniumtyppi kationien vaihtopinnoille pidättävän epäorgaanisen typen määrää heti kevätkylvöjen jälkeen kasvukauden alussa (Linden 1981). Orastumisvaiheen jälkeen lannoitteista peräisin olevan epäorgaanisen typen määrä vähitellen pienenee viljelykasvien kuluttaessa maaveteen vapautuvia ravinteita. Kasveilta käyttämättä jääneen typen määrä kasvukauden lopulla riippuu sadon määrästä ja lannoituksen tasosta (Vagstad ym. 1997). Käyttämättömistä lannoitteiden tyyppistä merkittävä osa sitoutuu mikrobitoiminnan seurauksena maan orgaaniseen ainekseen (Korsaeth ym. 2002), josta se palautuu myöhemmin mineralisoitumalla takaisin epäorgaaniseen muotoon (Kriszan ym. 2009) tai vapautuu denitrifikaatiossa kaasuna ilmaan.

Typen huuhtoutumisriskin keskeisin tekijä on mineralisaation ja kasvien typpitarpeen heikko ajallinen yhteensopivuus (Goss ym. 1998). Orgaanisen typen mineralisoituminen ajoittuu kasvukauden loppupäähän, mutta viljelykasvien typpitarve on suurimmillaan kasvukauden alussa. Tästä johtuen epäorgaanista typpeä ei riitä kasvien tarpeisiin ilman lannoitusta (Korsaeth ym. 2002). Kun pääosa huuhtoutu-

vasta tyypestä on maaveden nitraattityyppiä (Vagstad ym. 1997) ja orgaaninen typpi mineralisoituessaan tuottaa sitä lisää (mm. Köhler ym. 2006, Akkal-Corfini ym. 2010), on typpi kokonaisuudessaan, ammoniumtyppi mukaan lukien, huuhtoutumiselle hyvin altista (Rasmussen 1980).

Typpikierron eri vaiheista (mineralisaatio, immobilisaatio) johtuen vain osa vuosittain huuhtoutuvasta tyypestä olisi peräisin samana vuonna annetusta lannoitetyyppistä (Gutser ym. 2005). Van Beek ym. (2004) mukaan 32 kg/ha vuosihuuhtoumasta 43–50 % oli peräisin lannoitteista ja lannasta, 17–31 % mineralisaatiosta, 8–27 % maaperään jääneestä aiemmasta lannoitteista ja 8-9 % laskeumasta.

## 2.3 Viljelyedellytysten muuttuminen

Maanmuokkauksen perusteena ovat olleet peltoviljelyn ja viljelykasvien vaatimukset ja tuotannolliset tavoitteet. Oleellinen osa tätä on tehokas kuivatus ja toimivat kuivatusjärjestelmät. Tältä pohjalta peltolohkojen muotoilu ja koon kasvaminen ovat edistäneet tehokkaampien viljelykäytäntöjen soveltamista ja tuotantosuuntien erikoistumista. Tässä tarkoituksessa toteutetuista peruskuivatusuomista eli valtaajista – so. kaivamalla tehdyt uudet uomat ja peratut norot – ja kuivatustarkoituksessa peratuista puroista muodostuu laaja maatalousalueiden uomaverkosto. Tämä on edellytys lohkokokohtaiselle paikalliskuivatukselle, nykyiselle salaojitukselle (Paasonen-Kivekäs 2016) ja kaikille em. lohkotason viljelytoimille. Kuivatusvedet johdetaan pääosin vain yhteen suuntaan pois peltolohkoilta. Salaojaverkostoja sovelletaan myös kasteluun, ts. vettä voidaan johtaa kastelutarkoituksessa takaisin peltolohkoille (Paasonen-Kivekäs 2016).

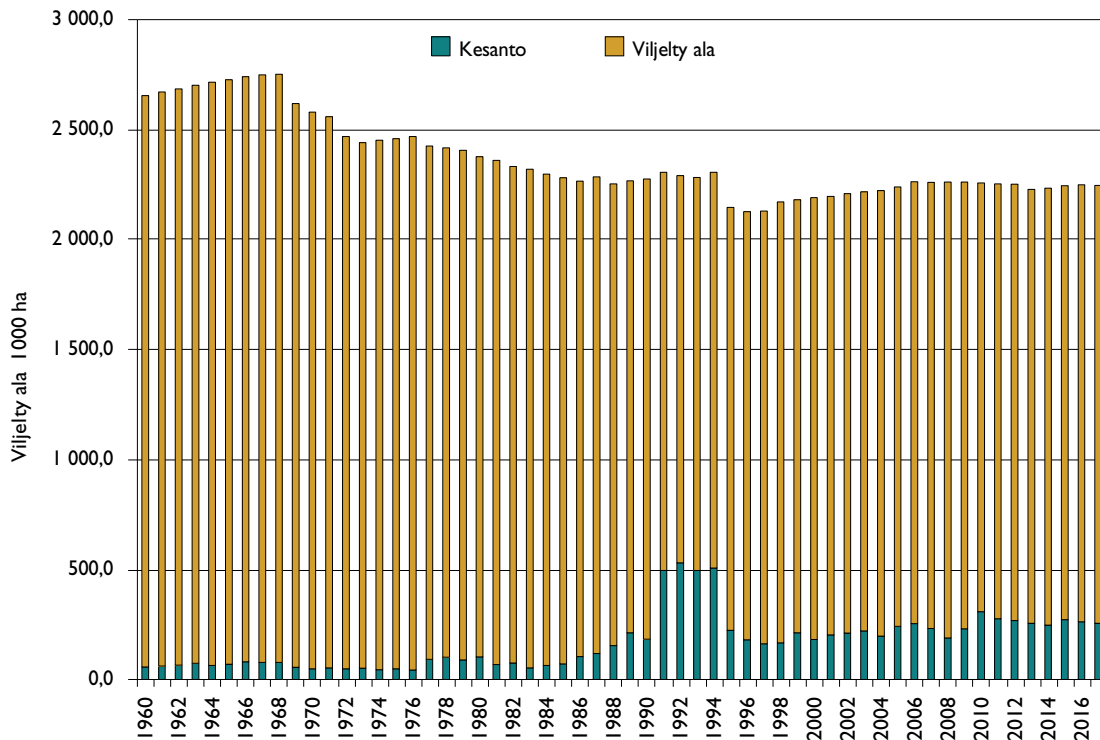
Peltoalasta 74 %:lla on peruskuivatusuomien välityksellä yhteys vesistöihin (vrt. kuvassa 1 kuivatusalueet), ja uomayhteyden keskimääräinen pituus on 2,3 km (med. 1 km). Peltolohkojen sijainnin vuoksi peltoalasta 13 %:lla on välitön yhteys paikalliskuivatusjärjestelmistä vesistöihin, samoin kuin 13 %:lla ei ole uomayhteyttä vesistöihin (Puustinen ym. 1994).

## 2.4 Peltoalan ja viljelykäytäntöjen muuttuminen

Viljelty peltoala oli suurimmillaan 1960-luvulla, keskimäärin 2,696 milj. ha. Se pieneni 1990-luvun alkuvuosiin mennessä, jolloin keskimääräinen peltoala oli 2,288 milj. ha. EU:hun liittymisen yhteydessä peltoala pieneni 0,161 milj. ha pienten maatalojen lopettaessa viljelyn, mutta kasvoi takaisin 1990-luvun keskimääräiseen tasoon vuoteen 2010 mennessä, jonka jälkeen peltoala on pysynyt suhteellisen tasaisena (Kuva 5).

Maatalojen keskimääräinen peltoala kasvoi 1960-luvun keskimääräisestä 12 ha:sta 1990-luvun alun 24 ha:iin ja vuoteen 2010 mennessä 36,7 ha:iin ja edelleen vuoteen 2018 mennessä 48 ha:iin. Vuokrapellon osuus viljelyalasta oli 1990-luvun puolessa välissä noin 20 % ja vuosina 2010–2017 reilu kolmannes pelloista.

Vuoteen 2017 mennessä Suomen peltoja on metsitetty yhteensä noin 270 000 ha (Hytönen ym. 2017). Vuosina 2002–2009 keskimääräinen vuosittainen metsitys oli 2 727 ha/vuosi. Viime vuosina metsitys on kuitenkin ollut vähäistä. Pellonmetsitystä tuettiin aiemmin maatalouspoliittisten tavoitteiden vuoksi, mutta nykyään metsitys nähdään myös keinona lisätä hiilinieluja. Vuosina 1974–1988 uutta peltoa raivattiin 86 400 ha sekä vuosina 2000–2011 saman verran eli 85 400 ha (Niskanen & Lehtonen 2014). Vuosittaisten raivioiden pinta-alat em. jaksoilla ovat vaihdelleet 1 000–14 000 ha. Nykyisin turvemaita raivataan pelloiksi noin 3 600 ha/vuosi. Kokonaisuudessaan peltoalan väheneminen johtuu peltoviljelystä poistuneen alan metsityksestä ja yhdyskuntarakentamisesta.



**Kuva 5.** Viljelty ala ja kesanto v. 1960–2017. Kesantoala 1980–1990 taitteeseen oli pääasiassa avokesantoa, 1990 alkupuoliskolla kesantoala kasvoi merkittävästi velvoitekesannoinnin vuoksi mikä toteutettiin pääasiassa viherkesantona (noin 2/3). Vuoden 1995 jälkeen kuvassa olevaan kesantoalaan sisältyy luonnonhoitopellot ja viherlannoitusnurmet. Esimerkiksi vuonna 2010 kesannon kokonaisalasta (307 000 ha) oli varsinaista kesantoa 82 200 ha. Lähde MMM-Tike & LUKE maataloustilastot.

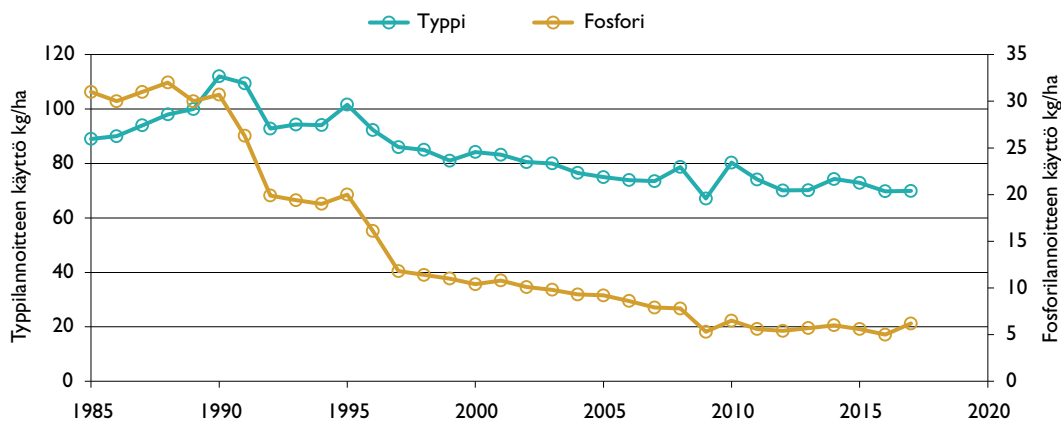
Nurmen viljelyala pieneni 1960-luvulta 1990-luvun alkuvuosiin tultaessa 0,710 milj. ha ja kesantoala kasvoi 0,373 milj. ha. Samaan aikaan kevätiljan viljelyala kasvoi 0,057 milj. ha, syysviljan viljelyala pieneni 0,082 milj. ha. 1990-luvun alun jälkeen vuoteen 2010 mennessä suurin pellon viljelykäyttöä koskeva muutos oli kevätiljan viljelyalan kasvaminen 0,089 milj. ha:lla. Vuonna 2018 kevätiljojen viljelyala oli 1,068 milj. ha.

Pitkällä aikavälillä merkittävimmät muutokset ovat siis viljelyksessä olevan peltoalan ja nurmen viljelyalan pieneneminen sekä kevätiljan viljelyalan kasvaminen. Oman erityispiirteensä pellon käyttöön toi 1990-luvun alussa ns. velvoitekesannointi, keskimäärin 450 000 ha vuodessa (Kuva 5), josta kaksi kolmasosaa oli viherkesantona. Kesantoala puolittui EU:iin liittymisvuonna 1995 ja on pysynyt siitä lähtien tasaisena (Kuva 5).

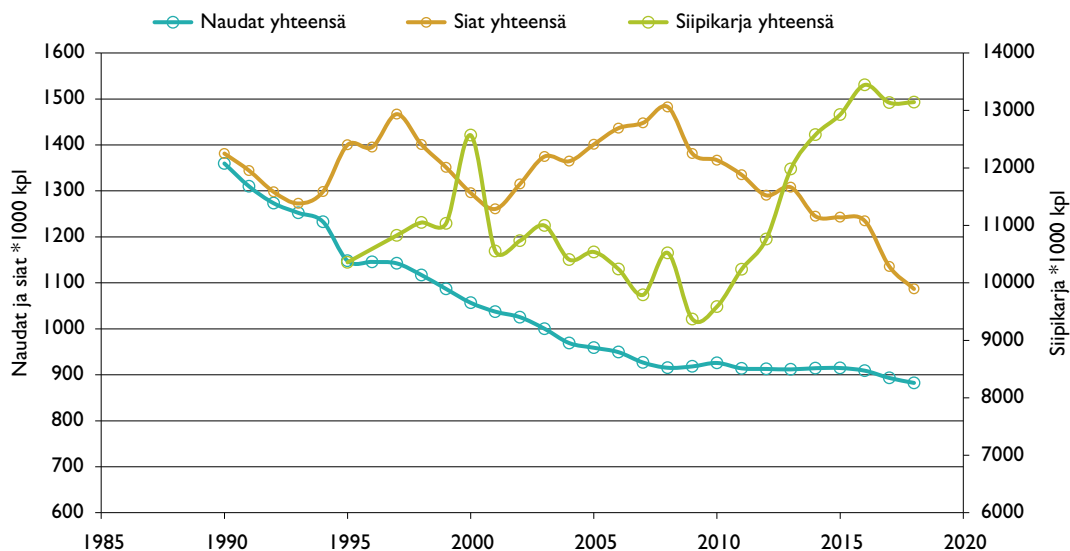
Kokemusperäisestä viljelyvarmuudesta johtuen syyskylvöön perustuva perusmuokkaus ja keväällä äestämällä tehty kylvömuokkaus ovat olleet lähes yksinomainen viljakasvien viljelykäytäntö 1990-luvulle saakka. Kynnetyn pellon ala pysyi ennallaan tai jopa kasvoi 1960-luvulta 90-luvulle. Tuolloin syksyllä kynnetyn pellon ala oli yli 1,3 milj. hehtaaria (kevätiljat, muut viljelykasvit, avokesanto, nurmen uusiminen). Syyskylvöä korvaavien käytäntöjen yleistyttyä syksyisin kynnetyn pellon ala pieneni ja oli talvikaudella 2009–2010 noin 0,508 milj. ha.

## 2.5 Pellon pintakerroksen ravinnevarastojen muuttuminen

Mineraalilannoitteiden fosforia käytettiin 1960-luvulla keskimäärin noin 15 kg/kg/ha/v, 1970-luvun alussa 27 kg/kg/ha/v ja myöhemmin 1990-luvun alussa runsas 30 kg/kg/



**Kuva 6.** Mineraalilannoitteiden myyntitilastoihin perustuva typen ja -fosforin käyttömäärät viljeltyä peltohehtaaria kohti v. 1985–2017. (Lähde: Tietovakka 1985–1990, Maatilatilastollinen vuosikirja 1991–2012, LUKE maataloustilastot 2013-).



**Kuva 7.** Kotieläinten (naudat, siat ja siipikarja) määrän vaihtelu vuosina 1990–2017.

ha/v (Kuva 6). Vastaavasti typpilannoitteiden keskimääräiset käyttömäärät olivat 1960-luvulla noin 20 kg/ha/v, 1970-luvun alussa noin 60 kg/ha/v ja 1990-luvun alussa 115 kg/ha/v (Kuva 7).

Nautojen määrä on laskenut tasaisesti vuodesta 1990 lähtien nykyiseen tasoon, 882 400 kpl. Sikojen määrä on vaihdellut jonkin verran vuosien 1990–2017 aikana, mutta vuoden 2008 jälkeen määrä lähti jyrkästi laskuun. Siipikarjan määrä oli minimissään vuonna 2009, jonka jälkeen määrä on noussut tasaisesti vuoteen 2016 asti, jonka jälkeen nousu on pysähtynyt (Kuva 7). Kotieläinten lannassa hehtaaria kohden laskettu fosforimäärä on nykyään (vuosi 2017) noin 7 kg ja typpimäärä 35 kg. Arviot perustuvat eläinten vuositilastojen mukaan laskettuun lannan kokonaismäärään ja lannan keskimääräisiin ravinnesisältöihin.

Suurimmillaan lannoitteiden ja lannan yhteenlaskettu keskimääräinen käyttö oli 1980–90-lukujen taitteessa, noin 40 kg fosforia ja 165 kg typpeä hehtaarille vuodessa. Tästä tasosta ollaan tultu alaspäin mineraalilannoitteiden käyttömäärien pienentyessä. Vuonna 2012 mineraalilannoitteiden fosforia käytettiin 6 kg ja typpeä keskimäärin 75 kg hehtaarille (Kuva 6). Nyt lannoitteiden ja lannan yhteenlaskettu keskimääräinen fosforin käyttö on 14 kg ja typen käyttö 125 kg hehtaarille vuodessa.

Salaojitus on lisännyt peltolohkoilla tehollista viljelyalaa sarkaojien tiheydestä ja pintaleveydestä riippuen 10–25 % (Saavalainen 1984). Vastaavasti muokkauskerroksen syvyys on kasvanut muokkaussyvyyden kasvaessa. Saarelan (2002) mukaan em. syistä johtuen kasvualustana ja ravinnevarastona toimivan pintakerroksen tilavuus peltohehtaarilla olisi kasvanut 1930-luvulta enimmillään jopa 1,8-kertaiseksi.

Kokonaistypen määrä peltojen pintakerroksessa muodostuu lähes kokonaan orgaanisesta tyypestä. Kivennäismaiden pelloilla sitä on 5 000–6 000 kg/ha, runsas mulmaisilla kivennäismailla jopa 10 000 kg/ha ja turvemailla 60 cm kerroksessa 40 000–60 000 kg/ha (Sippola 1981, Sippola & Ylärinta 1985, Sippola 1986). Pitkällä aikavälillä orgaanisen aineksen määrä on ollut pelloilla laskusuunnassa (Heikkinen ym. 2013), mikä tarkoittaa orgaanisen typen varaston pienenemistä.

Tyypestä yleensä vain hyvin pieni osa on mineraalityyppenä. Sippolan ja Ylärintan (1985) tutkimuksissa (ohrakoe) mineraalityyppiä oli metrin syvyisessä maakerroksessa savimaalla 18–40 kg/ha, hiesumaalla 42–53 kg/ha ja turvemaalla 45–78 kg/ha. Saarijärven ja Virkajärven (2009) tutkimuksissa laidunnurmilla oli keskimäärin 14 400 kg (KHT; 0–60 cm) kokonaistyyppiä hehtaarilla. Maan typpivaroista mineralisoituu maalajista riippuen keskimäärin 0,3–0,5 kg/ha vuorokaudessa metrin syvyisessä maakerroksessa (Sippola 1986).

## 3 Vesistökuormituksen vähentämismahdollisuudet maalla ja vedessä

Peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen vähentämiseen esitetään monia erilaisia ratkaisuja terasseista suojavyohykkeisiin, kosteikkoihin, käytännön muokkaus- ja viljelymenetelmiin (kevennetty muokkaus ja lannoitus) ja maan rakennetta parantaviin keinoihin (kipsi, rakennekalkki ja kuidut ym.). Menetelmäkohtaisia tehokkuuslukuja on kuitenkin niukasti ja toimenpiteiden vaikutuksia on arvioitu lohkotasolla ja valuma-alueetasolla (vrt. Kuva 1) lähinnä suhteellisina suuruusluokkarvioina (Kuussaari ym. 2008, Hyvönen ym. 2019).

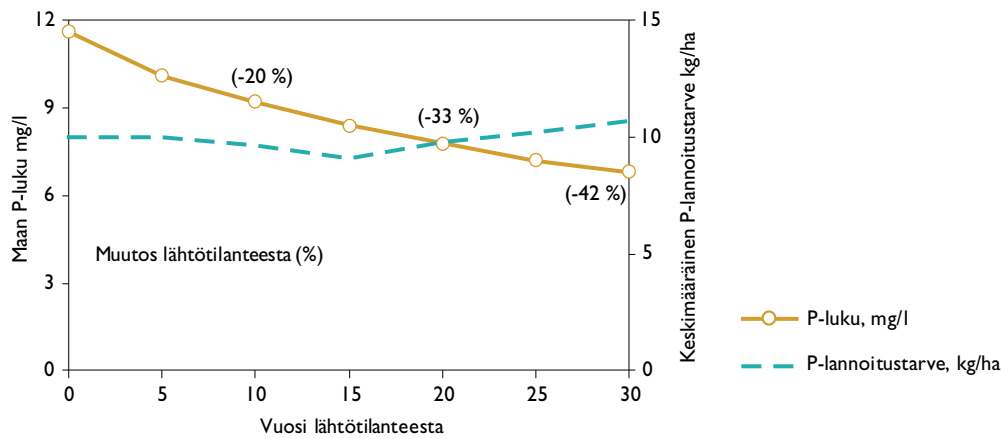
### 3.1 Lannoituksen vähentäminen

Ravinnetaseiden perusteella kasvit käyttävät tavanomaisessa viljelyssä lannoitety-pestä parhaimmillaan 60–80 %, jolloin loppuosa vuosilannoituksesta jää käyttämättömänä peltoon. Typpiylijäämä suurelta osin huuhtoutuu tai poistuu kaasumaisina yhdisteinä (ks. Kuva 4). Suomessa typpihuuhtoutumien ja typpitaseiden välinen yhteys näyttäisi kuitenkin olevan melko heikko (Salo & Turtola 2006).

Brinkin (1986) mukaan typen huuhtoutumisriski kasvaisi tavanomaisilla viljakasveilla keskimääräistä runsaammassa sade- ja valuntatilanteissa typpilannoituksen ylittäessä 100 kg/ha. Tätä pienemmillä lannoitustasoilla typen keskimääräisissä hehtaarikohtaisissa vuosihuuhtoumissa (15 kg/ha) ei nähdä eroja kevätiljojen lannoitustasojen porrastuksilla 50 kg:sta 100 kg:aan (Turtola & Jaakkola 1985, Elton & Fugleberg 1996). Lannoituskäytännöistä pintalannoitus aiheuttaa suurimman lannoitteiden käyttöön liittyvän huuhtoutumariskin (Brink ym. 1979, 1984, Baker & Laflen 1983, Gustafson & Torstenson 1984). Suomessa tämä koskee lähinnä nurmien kevätlannoitusta.

Kasvien käyttämästä fosforista puolestaan pääosa on ensin pidättynyt maahan. Isotooppikokeiden mukaan fosforilannoitetuissa maissa kunakin vuonna kasvien ottamasta fosforista ainoastaan noin 20 % on kyseisen kasvukauden alussa lisättyä fosforia (Ylivainio & Peltovuori, 2012). Käyttämättä jäänyt fosfori pidättyy maainekseen ja kohottaa sen fosforipitoisuutta. Vuodesta 1995 alkanut mineraalilannoitteiden käyttömäärien aleneminen (vrt. Kuva 7) on pienentänyt Manner-Suomen alueella fosforitaseita keskimäärin 60 % ja typpitaseita 35 % (Aakkula & Leppänen 2014). Muutos on laaja-alainen, sillä se on koskenut ympäristötukijärjestelmän piirissä olevaa koko peltoalaa.

Fosforilannoituksen pienentäminen alentaa pitkällä aikavälillä P-lukuja ja liukoisin fosforin huuhtoutumisriskiä. Muutokset ovat kuitenkin yleisesti ottaen hitaita (Kuva 8). Muutosnopeuteen vaikuttavat vuotuinen fosforitase, P-luvun lähtötilanne ja maalaji (Kleinman ym. 2002). Korkeat fosforiluvut laskevat nopeammin kuin matalat, ja laskua tapahtuu korkeissa P-luvuissa myös ylijäämäisillä fosforitaseilla. Maalajeista turvemailla P-luvun muutokset tapahtuvat nopeimmin, savimailla hitaammin.



**Kuva 8.** Maan fosforiluvun muutos ja kasvien tarpeen mukaisen fosforilannoituksen suuruus kohdennettaessa fosforilannoitus ainoastaan niille lohkoille, joilla fosforista voi odottaa satovasteita. Esimerkki Paimionjoen valuma-alueelta.

### 3.2 Viljely- ja muokkaukäytäntöjen muuttaminen

Maan muokkauksen ajoittuminen vuosikierrossa voimakkaisiin hydrologisiin tapahtumiin on ehkä keskeisin peltoviljelyn kuormitustasoon vaikuttava mekanismi. Tämän vuoksi erityisesti eroosion hallintaan on jo vuosikymmeniä suositeltu kevyempiä muokkausmenetelmiä (Baker & Lafren 1983), jolloin myös maan orgaanisten typpivarantojen mineralisoitumista saadaan vähennettyä. Powlson ja Johnston (1994) ovat aiemmin arvioineet, että typpihuuhtoumien hallinta edellyttää ensisijaisesti koko typpikierron prosessien tuntemista erilaisissa olosuhteissa, jonka pohjalta muokkaukäytäntöjä tulisi kehittää mineralisaatiota ja huuhtoutumisriskiä vähentäväksi (Aronsson & Stenberg 2010).

Korsaeth ym. (2002) ja Korsaeth (2008) mukaan myös myöhennetyllä syyskynnöllä saadaan typpihuuhtoumia vähennettyä. Aronssonin ja Stenbergin (2010) mukaan muokkauksen myöhentäminen ei kuitenkaan olisi riittävä toimenpide sen laukaistessa voimakkaan mineralisaation. Suurin muokkaukäytäntöihin liittyvä typpihuuhtoumien vähenemä saataisiin aikaiseksi siirtämällä syyskynntö kokonaan keväälle, jolloin pelto jäisi talven ajaksi sänkipeitteiseksi (Lyngstad & Borresen 1996, Stenberg ym. 1999, Lemola ym. 2000, Sainju et al. 2009). Syysmuokkauksesta luopuminen (suorakylvö tai kevätmuokkaus) lisäisi pitkällä aikavälillä kasvijätettä maanpinnalla, typpivarastoa maassa, potentiaalista kasvukauden mineralisaatiota kasvien hyödynnettäväksi ja vähentäisi typpihävikkiä verrattuna perinteiseen syysmuokkaukseen (Sainju ym. 2009).

Maan muokkauksen ohella myös kasvilajeilla on vaikutusta typpihuuhtoumiin. Pysyvän nurmen uudistamiseen liittyy myös typen huuhtoutumisriskiä, mutta muokkauksen ajoituksella on merkitystä. Seidelin (2009) mukaan syksyllä uudistettu nurmi aiheutti seuraavan talven aikana 36–64 kg typpihuuhtoutuman hehtaarilta ja keväällä uudistettu nurmi 1–7 kg huuhtoutuman hehtaarilta (maanos: Gleyic Podzol).

Aluskasvit tai kerääjäkasvit käyttävät varsinaisen kasvukauden ulkopuolella edelleen typpeä ja suojaavat myös maanpintaa. Pitkällä aikavälillä ne vähentävät typpihuuhtoumaa ja lisäävät maan orgaanisen typen määrää (Känkänen ym. 2003, Aronsson ym. 2007, 2016). Constantin ym. (2010) mukaan alus- ja kerääjäkasvien käyttö on suorakylvöä tehokkaampi keino vähentää typen huuhtoumaa.

Hyvistä vaikutuksistaan huolimatta muokkauksen keventämiseen sisältyy ympäristön kannalta myös merkittävä riski. Viljeltäessä muokkaamatta tai muokaten vain

matalaan syvyyteen, maan pintakerrokseen alkaa kertyä helppoliukoista fosforia, mikä lisää liukoisen fosforin huuhtoumariskiä (Uusitalo ym. 2007, Uusitalo ym. 2018).

### 3.3 Suojavyöhykkeet

Suojavyöhykkeet alentavat kaltevilla pelloilla eroosiota ja partikkelimaisen fosforin kuormitusta sille varatun peltoalan jäädessä pysyvästi kasvipeitteiseksi (Kuva 9). Tämä vaikutus kasvaa, jos suojavyöhyke myös pidättää viljelykseen jäävältä peltolohkolta tulevasta pintavalunnasta kiintoainetta ja partikkelimaista fosforia (Uusi-Kämpä 2005, Uusi-Kämpä & Jauhiainen 2010). Tämä vaikutus taas riippuu yläpuolisen lohkon muokkaus- vs. viljelykäytännöstä ts. kuinka paljon valunnassa on kiintoainetta ja partikkelimaista fosforia (Puustinen ym. 2010).

Tasaisilla pelloilla eroosio ja partikkelifosforikuormitus ovat lähtökohtaisesti matalalla tasolla, joten suojavyöhykkeiden vaikutus jää niillä pienemmäksi. Suojavyöhykkeet vähentävät tasaisilla mailla myös typpikuormitusta muokkauksen jäädessä pois sille varatulta peltoalalta, jolloin orgaanisen typen mineralisaatio estyy tai hidastuu. Liukoisen fosforin kuormitusta suojavyöhykkeet voivat jopa kasvattaa (Uusi-Kämpä 2005, Uusi-Kämpä & Jauhiainen 2010).



**Kuva 9.** Runsas kasvustoinen suojavyöhyke orastuneen viljapellon alareunassa (kuvassa oikealla rannalla). Kuva: Sirkka Tattari.

### 3.4 Kosteikot ja laskeutusallat

Kosteikkojen tärkein ominaisuus on hidastaa veden virtausta siten, että puhdistusprosesseille jää riittävästi aikaa (mm. Howard-Williams 1985, Koskiahho 2006). Tämä on mahdollista mitoittamalla kosteikot riittävän suuriksi suhteessa yläpuolisen valuma-alueen pinta-alaan. Tällöin jää aikaa muun muassa kosteikkojen puhdistusprosesseille, kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden laskeutumiselle, ravinteiden pidättymiselle kosteikon biomassaan ja nitraatin pelkistymiselle typpi-kaasuksi (mm. Howard-Williams 1985, Brix 1997, Xue ym. 1999).

Tyypillisesti kosteikkoon pidättyy karkeinta maa-ainesta, mm. uomien pohjakulkeumana ja viipymän kasvaessa myös hienompaa maa-ainesta. Kiintoaineksen mukana pidättyy partikkelimaista fosforia. Kosteikon pohjamateriaalin ja veden liukoisen fosforin pitoisuuden välillä vallitsee tasapainotila (Taylor & Kunishi 1971). Kosteikkoon tulevan veden liukoisen fosfaattifosforin pitoisuuden ylittäessä tasapai-

notilan, fosfaattifosforia sitoutuu kosteikon maa-ainekseen ja vastaavasti alittuessa fosforia vapautuu pohjamateriaalista kosteikon veteen. Maa-aineksen korkea rauta- ja alumiinipitoisuus, matala fosforipitoisuus ja hapelliset olosuhteet lisäävät fosforin sitomiskapasiteettia (mm. Verhoeven & Meuleman 1999, Laakso ym. 2017a,b). Kosteikon pohjamateriaalin muuttuessa hapettomaksi, raudan oksidit pelkistyvät ja siihen sitoutunut fosfori vapautuu. Sen sijaan alumiiniin sitoutunut fosfori ei vapaudu.

Nitraattitypen pelkistyminen typpikaasuksi (denitrifikaatio) riippuu veden viipymän ohella orgaanisen aineen määrästä, kosteikkoon tulevan veden nitraattipitoisuudesta, happioloista, lämpötilasta (0–30 °C) ja pH:sta (edullisin 6,5–8,0) (Leonardson 1994, Verhoeven & Meuleman 1999). Denitrifikaatiolle suotuisat hapettomat ja hapelliset rajapinnat muodostuvat hajoavan orgaanisen aineen kuluttaessa veden happea (Reddy & D'Angelo 1994) ja kasvien juurien tuottaessa sitä lisää kosteikon pohjalle.



**Kuva 10.** Rantamo-Seittelin kosteikko Tuusulassa. Kuva: Jari Koskiaho.

Rakennetun kosteikon (Kuva 10) kehitysvaihe voi kestää 5–10 vuotta (Kadlec & Wallace 2009). Ravinteidenpidätystehokkuuden on havaittu tämän jälkeen kehittyvän erityisesti liuenneiden ravinnepitoisuuksien osalta niin, että yksittäisessä kosteikossa voi poistua keskimäärin jopa 50–70 % vuotuisesta kosteikkoon tulevan veden typpi- ja fosforikuormasta (Koskiaho & Puustinen 2019). Kosteikkojen vaikuttavuutta tulisi kuitenkin ensisijaisesti arvioida valuma-alueen mittakaavassa. Janssonin ym. (1994) arvioiden mukaan Etelä-Ruotsin olosuhteissa laajamittaisellakaan kosteikkojen toteuttamisella on epätodennäköistä alentaa valuma-alueen typpikuormitusta 15 % enempää.

Kosteikosta poistettua sedimenttiä on suositeltu palautettavaksi pelloille, jolloin sen on ajateltu toimivan lannoitusaineena. Laakson ym. (2017a) kokeiden mukaan kasvualustaan palautettu kosteikkosedimentti kuitenkin saattaa sitoa huomattavia määriä kasveille käyttökelpoista fosforia ja suurina määrinä aiheuttaa kasveissa fosforinpuutosoireita. Sen sijaan Laakso ym. (2017b) testasivat menestyksekkäästi kosteikkosedimenttiä valumaveden liuenneen fosforin pitoisuuksien pienentäjänä korkean P-tilan maalla.

### 3.5 Säätosalaojitus

Säätosalaojituksessa säädetään pelloilta tulevaa salaojavaluntaa säätökaivoihin asennettujen padotuslaitteiden avulla. Toimenpiteellä parannetaan sekä kasvuolosuhteita että vähennetään ravinnehuuhtoutumia. Salaoja- tai säätökastelussa lisävettä johdetaan maaperään salaojien kautta.

Kuivatusvesiä voidaan myös kierrättää varastoaltaisiin ja pumpata ne takaisin salaojiin tai avo-ojiin kasvukauden aikana. Säätosalaojitus soveltuu tasaisille (pellon kaltevuuden suositus 0,5 %, mutta enintään 2 %), hyvin vettä läpäiseville kivennäismailla. Menetelmää käytetään myös turvepelloilla. Paras vaikutus ilmastopäästöihin saadaan paksuturpeisilla (yli 60 cm turvekerros) mailla, joita on koko maan turvepeltojen alasta noin 60 % (Hanna Kekkonen, Sompa hanke/Luke, esitelmä Eloisa Pelto-seminaarissa 22.5 2019). Säätosalaojituksen on arvioitu soveltuvan noin 650 000 – 700 000 ha:n peltoalalle Suomessa. Säätosalaojitus yleistyi Suomessa 1990-luvun puolivälissä ja sitä on nykyisin käytössä noin 77 000 peltohehtaarialla (LUKE vuoden 2013 tilastot).

Säätosalaojitus on useimmissa tutkimuksissa vähentänyt salaojavaluntaa. Pintavalunta on tosin joissakin tutkimuksissa lisääntynyt tietyissä olosuhteissa, mutta silti kokonaisvalunta on yleensä pienentynyt tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna. Säädöllä aikaansaatu maan märkyys vähentää ammoniumtypen hapettumista liukoiseksi nitraatiksi ja lisää nitraattitypen pelkistymistä kaasumaiseksi typeksi (Ks. Kuva 4), joka poistuu maasta ilmakehään. Säätosalaojitus voi siten vähentää nitraattitypen pitoisuutta salaojavesissä. Yhdysvaltojen itärannikolla tehdyissä kenttäkokeissa vuotuinen valunta säätosalaojitetuilta pelloilta oli noin 30 % pienempi kuin tavanomaisesti salaojitetulta pellolta, kun säätosalaojitusta käytettiin läpi vuoden (Evans ym. 1995). Suomalaisissa tutkimuksissa menetelmä on pienentänyt nitraattitypen pitoisuuksia keskimäärin 10–20 % tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna. Typpi- ja fosforihuuhtoumien vähenemä säätosalaojitetuilta alueilta johtuu pääasiassa salaojavalunnan pienentymisestä tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna. (Paasonen-Kivekäs ym. 2016).

Happamalla sulfaattimailla säätosalaojituksella padotettu pohjavesi hidastaa hapen kulkeutumista syvemmällä oleviin potentiaalisesti happamiin maakerroksiin. Tällöin happamuuden vapautuminen hidastuu tai lakkaa, jolloin myös metalliyhdisteiden liukeneminen maaveteen vähenee (Paasonen-Kivekäs ym. 2016).

### 3.6 Kipsi, rakennekalkki ja kuidut

Kipsillä, rakennekalkilla ja maanparannuskuiduilla voidaan vähentää erityisesti eroosioon liittyvää fosforikuormitusta (mm. Ekholm ym. 2018). Kipsi ja rakennekalkki ovat epäorgaanisia kalsiumyhdisteitä, kun taas kuidut ovat orgaanista ainesta. Maanparannuskuiduissa saattaa myös olla kalsiumia, joko sen kalkkistabiloinnin vuoksi, tai kuitujen alkuperän seurauksena (ns. nollakuiduissa). Menetelmillä on kuitenkin selviä eroja vaikutusmekanismien osalta, minkä lisäksi menetelmien käyttökohteet vaihtelevat. Kaikkia näitä menetelmiä voidaan kuitenkin soveltaa laajalaisesti, joten niiden potentiaali on merkittävä.

Kipsin ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ) liukoisuus veteen on noin 2 g/l, joten kipsiä alkaa liueta maassa nopeasti levityksen jälkeen ja liukeneminen jatkuu usean vuoden kuluessa, riippuen levitysmäärästä. Kipsistä liuenneet kalsium- ja sulfaatti-ionit nostavat maaveden ionivahvuutta, minkä seurauksena maahiukkasten liettymistäipumus vähenee. Jos maan kalsiumpitoisuus on alhainen, kipsin mukana lisätty kalsium voi parantaa mururakennetta muodostamalla kationisilloja yksittäisten hiukkasten välille. Maaveden ionivahvuuden kasvu vähentää myös fosforin vapautumista maa-



**Kuva 11.** Rakennekalkin levitystä pellolle. Kuva: Risto Uusitalo.

hiukkasten pinnalta, mutta fosfori pysyy kasveille käyttökelpoisena. Vesiensuojelumenetelmänä kipsiä ei kuitenkaan tulisi käyttää järvivaluma-alueilla, koska sulfaatti voi järvissä heikentää sedimentin kykyä sitoa fosforia ja lisätä sedimentistä tulevaa järven sisäistä kuormitusta (Smolders ja Roelofs 1993). Vesiensuojelun apuna kipsiä voidaan sen vuoksi käyttää vain mereen laskevien jokien valuma-alueilla, lähinnä lounais- ja etelärannikon savimailla (Kuva 11).

Rakennekalkitus tarkoittaa maanparannusta, jossa käytetään reaktiivisia kalsiumyhdisteitä  $\text{CaO}$  ja/tai  $\text{Ca(OH)}_2$ . Näitä on yleensä sekoitettu maatalouskalkin ( $\text{CaCO}_3$ ) kanssa. Reaktiivisten komponenttien osuus vaihtelee tuoteryhmän sisällä yleensä 25–45 % välillä. Rakennekalkin teho perustuu kolmeen eri reaktioon: aluksi maanesteen ionikoostumuksen ja –määrän muutokseen reaktiivisen kalkkiosuuden ( $\text{CaO}$  tai  $\text{Ca(OH)}_2$ ) liuetaessa, sen yhteydessä tapahtuvaan putsolaanireaktioon, sekä karbonaattien muodostumiseen (Blomquist ym. 2018). Putsolaanireaktiossa maanesteen piihappo reagoi  $\text{Ca(OH)}_2$ :n kanssa, minkä seurauksena muodostuu vahvoja maan mururakennetta parantavia sideaineita, kalsiumsilikatti-hydraatteja, jotka ovat samanlaisia kuin betonin sideaineet. Lisäksi osa rakennekalkin  $\text{CaO}$  ja  $\text{Ca(OH)}_2$ :sta muuttuu pitemmän ajan kuluessa  $\text{CaCO}_3$ :ksi, joka edelleen synnyttää ja vahvistaa saviaggregaattien muodostamia muruja. Reaktiot tapahtuvat pääosin ensimmäisen vuoden aikana, mutta rakenne saattaa kestää kymmeniä vuosia.

Rakennekalkitus on Ruotsissa nostettu tärkeimmäksi maatalouden fosforikuormitusta hillitseväksi aktiiviseksi toimenpiteeksi. Kuten kipsi, senkin käyttökohteena ovat savimaat (Geranmayeh 2017). Rakennekalkki tulee levittää esimerkiksi kesällä kesannolle tai syksyllä sänkeen. Rakennekalkki tulisi muokata maahan mahdollisimman pian levityksen jälkeen, ruotsalaisen ohjeen mukaan 2 vrk:n kuluessa. Muokkauksen on sekoitettava maata hyvin, mutta se ei saa hienontaa sitä liikaa. Paras hyöty fosforikuorman vähentämisessä saadaan vesistöön viettävillä, korkean fosforiluvun pelloilla, joilla on korkea savespitoisuus ja maan rakenteessa ongelmia.

Lukessa vuonna 2011–2012 Nordkalk Oy:n rahoittamassa tutkimuksessa kahta eri rakennekalkkia levitettiin syksyllä Jokioisten savimaalle ja koealoilta kairattiin seuraavana keväänä maamonoliitteja sadetuskokeeseen. Tulosten mukaan rakennekalkki vähensi fosforin kokonaiskulkeumaa 40 cm:n maakerroksen läpi noin 50 %, lähinnä maa-ainesfosforin vähentymisen vuoksi. LOHKO-hankkeessa rakennekalkkia levitettiin lokakuussa 2015 Vihdissä sijaitsevan Laurinojan valuma-alueen pelloille (Valkama ja Mikkilä 2018). Vuosien 2013–2017 jatkuvatoimisen vedenlaadun seuran-

nan mukaan toimenpide vähensi valumavesien sameutta keskimäärin 34 %. Maa-ainesfosforissa vähenemä oli samaa tasoa. Näiden kokeiden mukaan rakennekalkki on lupaava vesiensuojelumenetelmä, joka soveltuu myös järvien valuma-alueelle.

Metsäteollisuudessa syntyvien kuitujen käyttöä maanparannusaineena on tutkittu jo 1970-luvulta lähtien (ks. Muukkonen ym. 2009). Tutkimusten pääpaino on ollut lähinnä pellon vesitalouden ja maa-aggregaattien lujuuden parantamisessa sekä mikrobiologisen aktiivisuuden lisäämisessä. Myöhemmin teollisuuskuitujen soveltuvuutta typpihuuhtouman vähentäjänä on tutkittu paljon Ruotsissa (mm. Hamnér & Kirchmann 2005). Kuitulisäyksen teho perustuu lisääntyneeseen mikrobiologiseen aktiivisuuteen, jonka seurauksena maamurujen pinnoille syntyy biofilmejä, jotka parantavat niiden kestävyyttä liettymistä vastaan. Kalkkistabiloiduilla tuotteilla lienee myös kemiallisia vaikutusmekanismeja, kuten kalsiumin muodostamien kationisiltojen stabiloivaa vaikutusta.

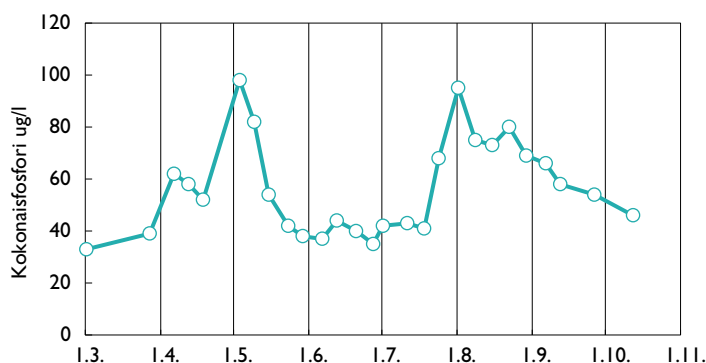
Lukessa 2015 käynnistyneessä kenttä- ja sadetuskokeen yhdistelmässä kokonaisfosforin kulkeuma 40 cm:n maapatsaan läpi on puolittunut kuitukäsittelyjen seurauksena. Vaikutus on kestänyt 3 vuotta ja tutkimus jatkuu edelleen. Kuitujen käytön yhteydessä on kuitenkin mitattu liunneen orgaanisen hiilen huuhtoutumisen kasvua, voimakkaimmin ensimmäisenä levityksen jälkeisenä vuotena (ks. Ekholm ym. 2019). Vaikka kuidut vähentävät tehokkaasti maa-ainesfosforin huuhtoutumista, niiden teho liunneeseen fosforiin on kuitenkin melko vähäinen. Sadetuskokeiden perusteella teho on pidempiaikainen kuin kipsillä (Ekholm ym. 2019). Kuidut tuovat lisäarvoa maan orgaanisen aineksen määrän lisääjinä. Lisätyn orgaanisen aineen pitkäikäisyyttä selvitetään parhaillaan.

### 3.7 Vesistökunnostustoimenpiteet

Rehevien järvien keskeinen ongelma kesän veden laadun kannalta on usein sisäinen kuormitus, aikaisemmin järveen sedimentoituneiden ravinteiden vapautuminen takaisin veteen, jota tapahtuu merkittävänkin ulkoisen kuormituksen vähentämisen jälkeenkin. Sisäisen kuormituksen merkinä järven havaittu fosforipitoisuus on pääsääntöisesti suurempi kuin ulkoisen kuormituksen perusteella arvioitu laskennallinen pitoisuus (esim. Ahlgren ym. 1988, Lappalainen 1990, Søndergaard ym. 2012).

Sisäisen kuormituksen määrä on monissa järvissä nykyisellään suurempi kuin ulkoisen kuormituksen. Ero on erityisen selvä, jos järvi on ollut jätevesikuormituksen kohteena (Lappalainen 1990), mutta myös vähitellen kertyvä hajakuormitus kasvattaa sisäisen kuormituksen potentiaalia (Knuutila ym. 1994, Ekholm ym. 1997, Nürnberg ym. 2012).

Sisäinen kuormitus näkyy veden laadun seurannassa fosforipitoisuuden kasvuna, joka ei selity ulkoisella kuormituksella. Järvien ekologisen tilan kannalta suurin ongelma on kesällä alivirtaaman aikaan tapahtuva fosforipitoisuuden kasvu, joka



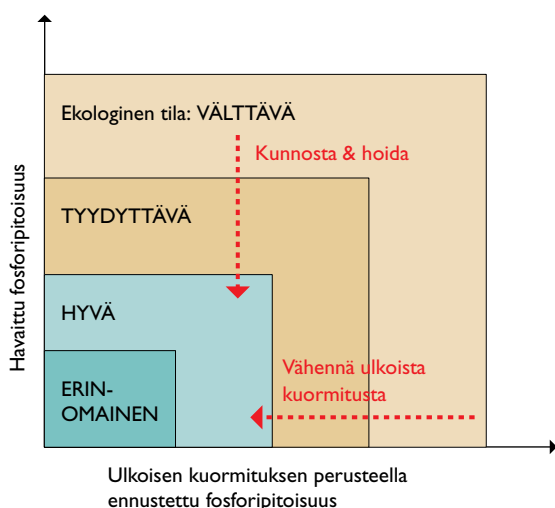
**Kuva 12.** Ulkoinen kuormitus näkyy järven päällysveden laadussa fosforipitoisuuden nousuna keväällä ja sisäinen fosforikuormitus näkyy kesän alivirtaama-aikana nousevana pitoisuutena loppukesällä (kuvan aineisto Vihdin Kotojärvi; ks. Knuutila ym. 1994).

rehevimmissä järvissä voi nostaa pitoisuuden jopa kaksin-kolminkertaiseksi kevättöyskierron aikaiseen pitoisuuteen verrattuna (Kuva 12). Jopa yli viisinkertaisia fosforipitoisuuden nousuja touko- ja elokuun välillä on havaittu Kaarinan Littoisten järvessä ennen alumiinikloridikäsittelyä (Sarvala & Heikkilä 2019).

Sisäisen kuormituksen vähentämiseen on yritetty käyttää useita kunnostusmenetelmiä. Ensimmäisiä sisäisen kuormituksen vähentämiskeinoja Suomen järvissä ovat seuraavat:

- ulkoisen kuormituksen vähentäminen on aina tärkeää, koska se hidastaa ravinnevaraston kertymistä, ja vähentää kevään piileväkukintaa, joka sedimentoituessaan voi voimistaa sisäistä kuormitusta ja voimistaa särkikalakantoja
- ravintoketjukunnostus ja hoitokalastus, joilla korjataan ravinnekuormituksen aiheuttamaa kalakannan vinoutumaa ja vähennetään särkikalabiomassaa sekä poistetaan ravinteita vesistöistä
- kasvibiomassan poisto, jolla vähennetään umpeenkasvun aiheuttamia haittoja sekä poistetaan ravinteita erityisesti tulo-ojien läheisyydessä
- sedimentin kemiallinen käsittely, jolla lisätään fosforin sitoutumispaikkoja sedimenttiin ja erityisesti alumiinikloridilla myös pysymistä sedimentissä hapettomissa olosuhteissa

Vesistökuunnostuksen toteutuksessa on aina otettava huomioon sekä ulkoinen kuormitus että sisäinen kuormitus – tai ainakin sitä ilmentävä fosforipitoisuuden vaihtelu kasvukauden aikana. Yleisperiaate voi olla, että jos ulkoinen kuormitus on niin suuri, että sen perusteella arvioitu fosforipitoisuus ylittää järven tyyppikohtaisen hyvää tilaa edustavan tason, ulkoista kuormitusta on vähennettävä. Jos havaittu pitoisuus on suurempi kuin ulkoisen kuormituksen perusteella arvioitu, on kunnostustoimenpiteitä tehtävä järvessä. Useimmissa tapauksissa tarvitaan sekä vesiensuojelu- että kunnostustoimenpiteitä (kuten esim. talviaikaista eroosiontorjuntaa ja vastaanottavan järven hoitokalastusta), joiden keskinäinen merkitys määräytyy mitatun tai esimerkiksi VEMALA:lla (Huttunen ym. 2016) arvioidun ulkoisen fosforikuormituksen sekä havaitun fosforipitoisuuden perusteella (Kuva 13).



**Kuva 13.** Järvien kunnostustarpeen ja mahdollisuuksien arviointi vertaamalla ulkoista fosforikuormitusta ja havaittua fosforipitoisuutta. Kun ennustettu fosforipitoisuus on suurempi kuin hyvän tilan yläraja, on ulkoista kuormitusta vähennettävä. Kun havaittu pitoisuus on suurempi kuin ennustettu, on sisäistä kuormitusta vähennettävä (muokattu kuvasta Koljonen ym. 2018).

Sisäistä fosforikuormitusta vähentäviä menetelmiä ovat mm. ravintoketjukunnostus, hapetus, fosforin kemiallinen saostus ja alusveden poisjohtaminen (ks. Taulukko 2). Ravinteiden poisto biomassan mukana ei välittömästi vähennä sisäistä kuormitusta, mutta se konkreettisesti poistaa järveen sedimentoituneita tai sitoutuneita

**Taulukko 2.** Vesistökunnostuksen toimenpiteet fosforin poiston ja sisäisen kuormituksen kannalta (Koostettu: Ilmavirta 1990, Ulvi & Lakso 2005, Sarvilinna & Sammalkorpi 2010).

Menetelmä	Tavoite / tavoitteet	Kunnostustarpeen kriteerejä	Merkitys fosforin poistolle
Ravintoketjukuron nostus (Sammalkorpi & Horppila 2005, Bernes ym. 2015)	Vähentää sinileväkukintoja ja sisäistä kuormitusta, parantaa lintuvesien monimuotoisuutta ja poistaa fosforia ja tyypeä vesistöä vähentämällä voimakkaasti särkikalojen määrää.	Havaittu fosforipitoisuus on laskennallista korkeampi, fosforipitoisuus kasvaa selvästi kesäaikana, klorofylli/kokonaisfosforisuhde (Chl-a/TP) on 0,4 tai suurempi, koeverkko-kalastuksen yksikkösaalis ei edusta hyvän ekologisen tilan tasoa, petoahvenet ovat vähentyneet.	Lyhytaikainen vaikutus sisäiseen kuormitukseen ensisijaisesti ravintoketjun vuorovaikutuksien kautta. Kaikki kalabio-massan mukana poistetut ravinteet ovat lopullisesti pois järven ravinnevarastoista. Soveltuu erikokoisiin järviin.
Fosforin kemiallinen sitominen ja saostaminen (alumiinikloridi $AlCl_3$ ) (Oravainen 2017, Huser 2017, Sarvala & Heikkilä 2019)	Vähentää sisäistä kuormitusta ja sinileväkukintoja sitomalla sedimenttiin sieltä helposti vapautuvaa fosforia, saostaa fosforia vedestä.	Havaittu fosforipitoisuus on laskennallista korkeampi, päällysveden fosforipitoisuus kasvaa voimakkaasti kesäaikana, helposti vapautuvan fosforin määrä sedimentissä suuri, vähän alumiiniin sitoutunutta fosforia sedimentissä.	$AlCl_3$ sitoo tehokkaasti fosforia sedimenttiin myös hapettomissa oloissa, mutta voi vapauttaa sitä korkean pH:n vallitessa. Soveltuu pieniin, reheviin ja etenkin kerrostuviin järviin, ei poista fosforia järvestä.
Kasvillisuuden poisto (Ulvi & Lakso 2005, Karjalainen ym. 2017)	Parantaa umpeenkasvaneen järven tai järven osa-alueen rantojen käyttökelpoisuutta ja virkistyskäyttöä tai/ja veden vaihtuvuutta, tukea luonnon monimuotoisuutta, helpottaa kalastamista, poistaa ravinteita.	Ruovikon tai muun kasvillisuuden levittäytyminen vaikeuttaa virkistyskäyttöä tai veneellä liikkumista, haulle sopivat lisääntymisalueet ovat kaventuneet, avovesialueiden osuus järven pinta-alasta on pienentynyt.	Harvoin todettu selvää vaikutusta sisäiseen kuormitukseen, mutta kasvibiomassassa poistetut ravinteet ovat lopullisesti pois järven ravinnepölyistä. Soveltuu erikokoisiin järviin, suuremmissa järvissä kohteena matalat lahden jokien ja ojien suulla.
Alusveden poisjohtaminen (Ulvi & Lakso 2005)	Poistaa järvestä sen hapettomaan alusveteen vapautunutta fosforia.	Kerrostunut järvi, jossa korkeat ravinnepitoisuudet hapettomassa alusvedessä, mahdollisuus edullisesti johtaa ja käsitellä alusvettä.	Mahdollistaa järven sedimentin fosforivaraston köyhdyttämisen. Edellyttää poistetun, fosforipitoisen veden käsittelyä.
Alusveden hapetus (Ulvi & Lakso 2005, Horppila ym. 2017)	Estää talvisia kalakuolemia, vähentää sisäistä kuormitusta ja sinileväkukintoja, ammoniumtyypen nitrifikaatio.	Havaittu fosforipitoisuus laskennallista korkeampi hapettomina jaksoina, hapettomien alueiden osuus järven pinta-alasta on suuri.	Vähentää alusveden happikatoja ja sisäistä fosforikuormitusta tai kalakuolemia, mutta aina ei ole todettu merkittävää vaikutusta järven päällysveden laatuun.
Vedenpinnan nosto (Ulvi & Lakso 2005)	Parantaa järven/ranta-alueen käyttökelpoisuutta ja lisää avovesialueen osuutta, parantaa vesilintujen elinympäristöä.	Järven pintaa on aikaisemmin laskettu, mataluus ja umpeenkasvu vaikeuttavat virkistyskäyttöä tai heikentävät lintuvesien suojeluarvoja tai kalastoa.	Ei poista fosforia, mutta pidäytyminen voi tehostua viipymän pidentyessä, saattaa vähentää talvista sisäistä kuormitusta, mutta myös voimistaa kesäaikaista kerrostumista ja hyödyttää särkikalvoja.
Ruoppaus (Moss ym. 1996, Ulvi & Lakso 2005)	Syventää rantaa tai lisää avovesialueen osuutta, parantaa järven tai sen ranta-alueen käyttökelpoisuutta tai/ja kalaston tai vesilintujen elinympäristöä.	Rantojen umpeenkasvu häiritsee virkistyskäyttöä, kalastoa ja luonnon monimuotoisuutta.	Vain paikallista merkitystä fosforin poistolle pienissä lammissa tai järvisissä. Ei sovellu suurempiin järviin (kustannukset ja läjityshaasteet).
Lisäveden johtaminen (Ulvi & Lakso 2005)	Alentaa järven veden fosforipitoisuutta johtamalla laimeampaa vettä, parantaa talvista happitilannetta.		Ei vähennä vesistön ravinnemääriä, saattaa lisätä kuormitusta alapuolisiin vesistöihin.

ravinteita. Järveen jäänyt fosfori kasvattaa sisäisen kuormituksen potentiaalia. Merkittävimmät vaikutukset järven veden laatuun on Suomessa ja Pohjoismaissa saavutettu hoitokalastuksella (fosforipitoisuuden aleneminen 20–50 % riittävän tehokkaalla kalastuksella) ja alumiinikloridikäsittelyllä (pienien järvien fosforipitoisuuden lasku jopa 90 %; Oravainen 2017, Huser 2017, Sarvala & Heikkilä 2019).

Hoitokalastus ei ole kertaluonteinen toimenpide, vaan sen tulosta on aika ajoin pidettävä yllä vähäisemmällä kalastuksella siinäkin tapauksessa, että järven ulkoinen kuormitus ei ole kovin korkea (ks. luku 5.7). Alusveden poisjohtamista, joka biomasen poistamisen ohella myös vähentää järven ravinnevarastoja, on käytetty Pohjois-Amerikassa (Cooke ym. 2005). Suomessa on vuonna 2018 käynnistynyt vastaavanlainen kokeiluhanke Lahden Kymijärvellä Sipilän hallituksen kärkihankkeena.

### 3.8 Yhteenveto toimenpiteiden vaikutuksista

Maatalouden vesistökuormituksen alentamiseen on kaksi tapaa – vähentämällä viljelyksessä olevaa maatalousmaan kokonaispinta-alaa tai pienentämällä hehtaarikohtaisia ominaiskuormituslukuja. Maatalousmaan pinta-alan merkittävä pienentäminen pienentäisi maatalouden kokonaiskuormaa, vaikka hehtaarikohtainen ominaiskuormitus pysyisikin ennallaan. Tämä edellyttäisi myös sitä, että viljelystä poistuvan peltoalan jäännöskuormitus alenisi taustakuormituksen tuntumaan. Viljelyalan pienet muutokset eivät kuitenkaan ennakoisi suuria peltoalapoistumia. Koska viljelykäytöstä poistuvilla pelloilla on lannoitushistoriaa, ei niiltä tuleva kuormitus ainakaan fosforin osalta olisi kymmeneen vuosiin samalla tasolla kuin koskaan viljelemättömillä mailla. Kuormitus saattaisi ensin jopa kasvaa, jos fosforia ei poistettaisi kasvuston mukana ja maahan muodostuisi voimakas fosforin kerrostuneisuus.

Ominaiskuormituslukujen alentaminen on taas mahdollista vain joko pienentämällä valunnan määrää, tai alentamalla valuntaveden pitoisuuksia. Keskeistä valunnan pitoisuuksien tasoon vaikuttamisessa on huomioida valunnan vuodenaikaisjakautumat. Vaikka ne vaihtelevatkin, tyypillistä on se, että noin 90 % valunnasta tapahtuu kasvukauden ulkopuolella ja pääosin lumen sulamisen aikaan. Hydrologinen vuosivaihtelu on sadannan vaihtelusta johtuen merkittävin valuntaa säätelevä tekijä. Tarkoituksellisesti vesimääriä voidaan jossain määrin pidättää valuma- tai kuivatusalueilla kosteikoissa ja peltolohkoilla säätösalaajituksen avulla. Hyvän peltoalan rakenteen avulla voidaan myös vaikuttaa valuntaan lähinnä vähentämällä pintavalunnan muodostumista.

Pääosalla maatalouden vesiensuojelutoimenpiteistä pyritään vaikuttamaan valumaveden pitoisuuksiin. Muokkauskäytännöistä *kevennetty muokkaus tai talviaikainen kasvipeitteisyys* vaikuttavat suoraan pintavalunnan ja usein myös salaajavalunnan kiintoainepitoisuuteen. Tästä seuraa melko suoraviivaisesti partikkelimaisen fosforin pitoisuuden aleneminen. Muokkaussyvyyden madaltuessa (maan sekoittuminen vähenee) ja/tai kasvipeitteisyyden vakiintuessa talviajan yli liukoisen fosforin pitoisuus valumavedessä kuitenkin kasvaa. Muokkauksen keventyessä tai lakatessa maan orgaanisen aineksen mineralisoituminen vähenee ja sen seurauksena nitraattityypen pitoisuus valunnassa pienenee. Ajallisesti tämän toimenpideryhmän menetelmät osuvat yksiin kuormituksen muodostumisen kanssa.

*Lannoituksen alentamisella* tavoitellaan valuntaveden pitoisuuksien alenemista. Kasvukaudella valuntaveden pitoisuudet olisivat korkeimmillaan lannoituksen vuoksi, mutta jos valuntaa ei tapahdu, maavedessä olevat ravinteet jäävät kokonaan kasvien käyttöön. Tyypillisesti, kun salaajista tuleva valunta on asettunut kasvukauden tavanomaiseen tasoon, nitraattipitoisuudet ovat hyvin pieniä. Poikkeuksellisissa tilanteissa runsaat sateet aiheuttavat kuitenkin valuntapiikin, jossa ravinnepitoisuudet voivat kasvaa korkeiksi. Lannoitteiden potentiaalinen vaikutus valunnan

pitoisuuksiin hiipuu vähitellen kasvukauden lopulle. Jäännösravinteiden potentiaali ja syksyn huuhtoumariski on arvioitavissa ravinnetaseiden avulla, tai fosforin osalta ravinnetaseiden ja maan P-luvun yhdistelmällä.

*Suojavyöhykkeiden* vaikutus perustuu siihen, että vyöhykkeen ala poistuu aktiivisesta viljelykäytöstä ja toisaalta se nurmipeitteisenä pidättää pintavalunnan mukana tulevaa kiintoainesta ja ravinteita. Tällaisen suojavyöhykkeen tehokkuus riippuu viljelykäyttöön jäävän peltolohkon tilasta kuormittavana aikana (intensiivisesti muokattuna vs. nurmipeitteisenä). Nykyään suojavyöhykkeeksi voidaan ottaa kokonainen peltolohko. Silloin kuormitusvähennys voi olla suuri, jos lohko on kalteva ja sitä on aiemmin muokattu intensiivisesti. Koska eroosioaineksen mukana pellolta poistuvan fosforin vähentämiskeinot yleensä lisäävät liunneen fosforin huuhtoumaa, suojavyöhykkeet ovat tehokkaimmillaan rehevöittävän fosforikuorman vähentäjinä kaltevilla mailla. Hyvin tasaisilla aloilla, joilla eroosio on lähtötilanteessa vähäistä, rehevöittävä fosforikuorma saattaa olla jopa suurempi kuin ennen alan muuttamista suojavyöhykkeeksi.

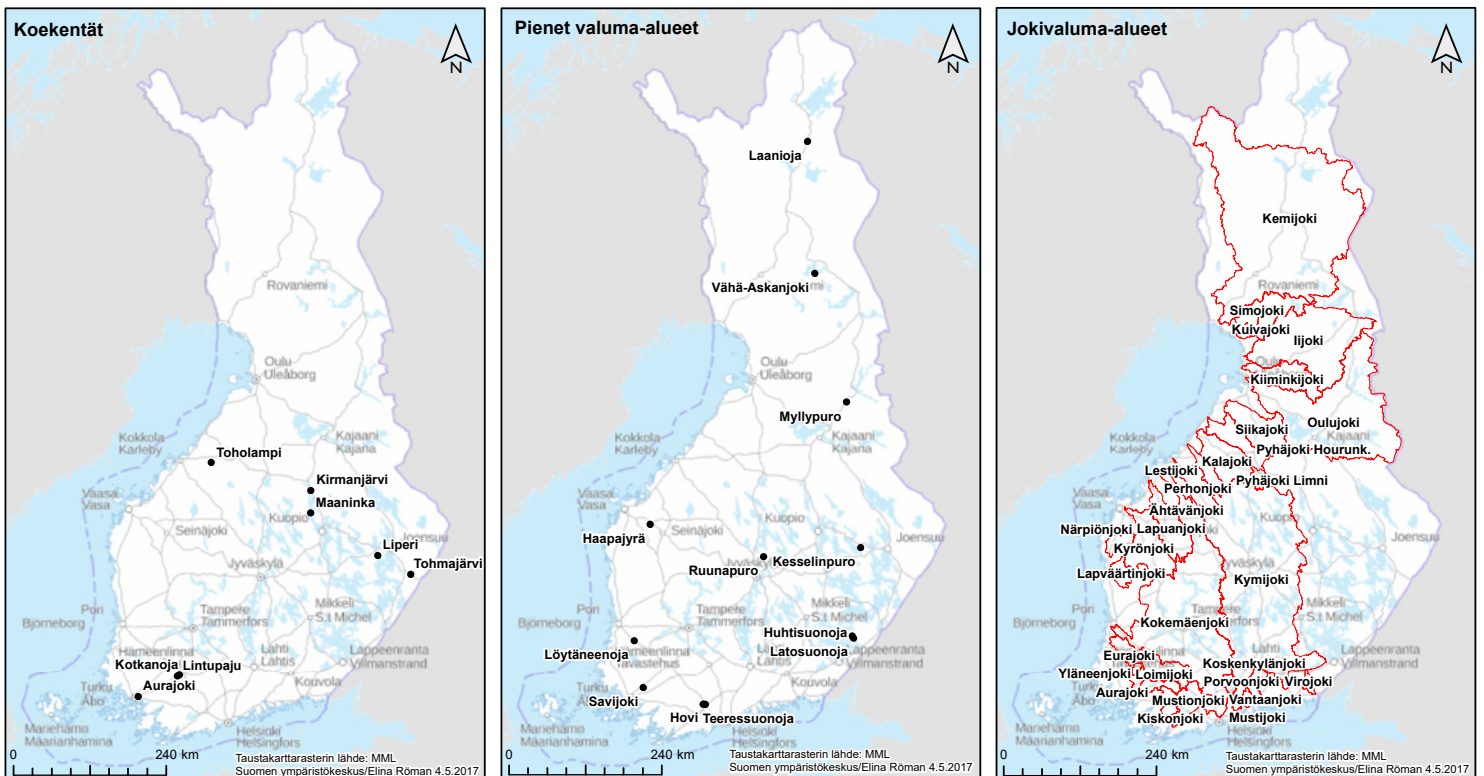
*Rakennekalkki, kipsi ja kuidut* vaikuttavat osin maan rakenteeseen muodostamalla ja stabiloimalla maan mururakennetta ja osin maaveden suolaväkevyyteen. Muutokset alentavat valunnan pitoisuuksia.

*Kosteikot ja laskeutusaltaat* viivyttävät tai hidastavat veden virtausta ja samalla alentavat veden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia peltolohkojen ulkopuolella.

*Vesistökuunnostustoimenpiteet* ovat vertailtavissa valuma-alueitoimenpiteisiin potentiaalisen ravinteiden poistuman kautta. Kun valuma-alueella tehtävillä toimenpiteillä vaikutetaan valuntaveden pitoisuustasoihin, vesistökuunnostustoimenpiteillä poistetaan suoraan vesistöistä ravinteita esim. kalaa tai kasvillisuutta poistamalla. Vesistöissä poistettava ravinnemäärä on muutettavissa valuma-alueitoimenpiteen toteutusalaksi ja keskenään vertailtavaksi.

## 4 Mittausaineistoa peltolohkoilta vesistöalueiden purkupisteeseen

Tietoa vesistöjen kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta on koottu Suomessa viranomaisten (aluksi Vesi- ja sittemmin Ympäristöhallinto) toimesta aina 1960-luvun alusta lähtien. Alkuun tämä koski tärkeimpiä jokivesistöjä (valuma-alue 100 – 50 000 km<sup>2</sup>) ja ns. pieniä tutkimusvaluma-alueita (0,1–20 km<sup>2</sup>). Pienemmässä, peltolohkoa vastaavassa mittakaavassa vesistökuormituksen tutkimusta tehtiin n. 1 ha:n koekentillä; Jokioisten Kotkanojan koekentällä vuodesta 1976 alkaen ja 1980-luvulla myös muilla koekentillä. Vedenlaadun pitkäaikaisseurannan sijaan näissä koekenttätutkimuksissa keskitytään erilaisiin maanviljelystoimenpiteisiin ja -käytäntöihin (pellonmuokkaus- ja kuivatusmenetelmät, lannoitus ym.) sekä niiden välisiin eroihin vesistökuormituksen kannalta. Siten lohkotason tulosten aikajänne on luonnollisesti lyhyempi kuin jatkuvasti käynnissä olevissa jokivesistö- ja tutkimusvaluma-alueen seurannoissa. Koekenttien, pienten tutkimusvaluma-alueiden ja jokivaluma-alueiden sijainti on esitetty kuvassa 14.



**Kuva 14.** Koekenttien, pienten tutkimusvaluma-alueiden ja jokivaluma-alueiden sijainti, joiden aineistoja hyödynnettiin tässä hankkeessa.

## 4.1 Peltolohkotaso – koekentät ja lysimetrikentät

Luken pitkäaikaisilta koekentiltä on olemassa julkaistun aineiston lisäksi toistaiseksi julkaisematonta tulosaineistoa eri toimenpiteiden ja ravinnekiertojen vaikutuksista ravinnekulkeumiin. KiertoVesi-hankkeessa tätä, sekä SYKEN perustaman Aurajoen koekentän aineistoa, käsiteltiin yhdistettäväksi ja vietäväksi SYKEN ylläpitämään avoimen tiedon tutkimustietoalustaan (ks. kohta 4.5). Näin jalostettu koekenttien tulosaineisto on paitsi hyödyllistä tietoa huuhtoumamallien kalibroinnissa, tuottaa myös ainutlaatuisen lohkotason tietovarannon käytettäväksi kuormituksen ja vesien-suojelutoimien tehon mittakaavataarkastelulle. Tässä vaiheessa koekenttäaineistoa on julkaistu avoimen datan tutkimustietoalustalla viideltä koekentältä (Taulukko 3). Tarkempia tietoja koekentistä ja niillä tehdyistä tutkimuksista on esitetty taulukossa 3 mainituissa julkaisuissa.

**Taulukko 3.** KiertoVesi-hankkeen koekentät.

Koekenttä*	Tutkimusjakso	Tutkimusaihe	Kuvaus tieteellisessä julkaisussa
Aurajoki	1989–2002	Muokkausmenetelmät, kasvipeitteisyys	Puustinen ym. (2005)
Kotkanoja	1990–1995	Salaojituksen uusinnan vaikutus ravinnekuormiin	Turtola ja Paajanen (1995)
	1991–2001	Muokkausmenetelmät, valuntareitit, kasvipeitteisyys	Turtola ym. (2007)
	1990–2001	Muokkausmenetelmät, fosforikulkeumat	Uusitalo ym. (2007)
	2002–2017	Muokkausmenetelmät, fosforikulkeumat	Uusitalo ym. (2018)
Lintupaju	2003–2010	Suojavyöhykkeet	Uusi-Kämpä (2005)
Maaninka	2011–2016	Lannanlevitysmenetelmät	Saarnio ym. (2018)
Toholampi	1997–2010	Muokkausmenetelmät, valuntareitit, kasvipeitteisyys	Turtola & Kempainen (1998)

\*Liperin ja Tohmajärven tiedot puuttuvat toistaiseksi.

Luke Maaningan pintavalunta- ja lysimetrikentällä toteutettu naudan lietalannan syyslevityskoe kattaa perustamisvuoden 2011, nurmi- ja käsittelyvuodet 2012–2015 sekä nurmen lopettamisen/kyntövuoden 2015–2016, jolloin kenttä jätettiin kynnöksele talven ajaksi. Tutkimuksessa selvitettiin naudan lietalannan käyttömäärien, levitystekniikan ja ajankohdan vaikutuksia satoon ja ravinnehuhtoumiin. Ravinnepitoisuuksien analysoimiseksi lietenäytteet otettiin jokaisen levityksen yhteydessä. Lietteessä levitetty ravinnemäärät on laskettu toteutuneen levitysmäärän ja lannan ravinnepitoisuuksien perusteella. Maanäytteet on otettu vuosittain jokaiselta ruudulta kolmesta eri syvyydestä.

Koejaksolla 2012–2015 myös talvikauden aikaiset olosuhteet vaihtelivat huomattavasti (routa, lumen syvyys), mikä on heijastunut sekä kokonaisvalunnan määrälliseen, että sen ajalliseen jakautumiseen pinta- ja lysimetrialunntana. Valtaosa tyydestä huuhtoutui lysimetrialunnassa ja vain pieni osa pintavalunnassa. Valtaosa fosforista kulkeutui pintavalunnan mukana ja oli pääosin liukoisessa muodossa. Fosforikuormitus oli vahvasti kevätpainotteista, ja suurin osa vuotuisesta huuhtoumasta keskittyi lumen sulamisen aiheuttamaan valuntahuippuun (Räty ym. 2018, 2019).

## 4.2 Pienet tutkimusvaluma-alueet

Pieniltä tutkimusvaluma-alueilta koottua tietoa on käytetty laajasti jo vuosikymmenien ajan hajakuormitusseurantaan ja -laskentaan, prosessitutkimukseen, maa- ja metsätalouden kuormituslähteiden selvittämiseen ja trenditarkasteluihin (mm. Rekolainen 1989, Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 2017). Kahdentoista pienen valuma-alueen havaintoverkostolla (Kuva 13, Taulukko 4) seurataan kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Alueista neljä luetaan maatalous- ja kuusi metsävaltaisiksi kahden alueen ollessa näiden välimuotoa. Vaikka valuma-alueiden maankäyttö ja muut ominaisuudet tunnetaankin, voidaan puutteena pitää sitä, että tarkempaa tietoa alueilla tehdyistä vuosittaisista maatalouden viljelykäytännöistä ei ole kattavasti saatavilla. Kuormituksen muutoksia arvioitaessa onkin jouduttu tukeutumaan yleisiin maatalouden viljelykäytäntöjä kuvaaviin tilastotietoihin. Pienten valuma-alueiden kuormitustarkastelut ovat kuitenkin käyttökelpoista tausta-aineistoa esimerkiksi uudistettaessa maatalouden ympäristökorvausjärjestelmää ja arvioitaessa edellisen ohjelmakauden vaikutuksia vesistökuormitukseen.

KiertoVesi-hankkeessa pienten valuma-alueiden kiintoaine- ja ravinnekuormitukset jaksolta 1981–2015 koottiin yhdessä koekenttä- ja jokivesistöalueaineistojen kanssa samaan tietomatriisiin (ks. kohta 4.5). Näitä tietoja voidaan hyödyntää esim. nykyisen kuormituksen referenssitason arvioinnissa. Alueiden tarkemmat kuvaukset on esitetty julkaisussa Tattari ym. (2017) ja Kirmanjärven osalta Rätty ym. 2014.

**Taulukko 4.** KiertoVesi -hankkeen pienet tutkimusvaluma-alueet.

Valuma-alue	Tutkimusjakso	Maankäyttöluokka	Maatalousmaan osuus
Hovi	1981–2015	Maatalous	100,0 %
Löytäneenoja	1981–2015	Maatalous	63,1 %
Haapajyrä	1981–2015	Maatalous	57,4 %
Savijoki	1981–2015	Maatalous	39,1 %
Kirmanjärvi*	2011–2015	Maatalous ja metsä	0–100%
Ruunapuro	1981–2015	Maatalous ja metsä	20,5 %
Latosuonoja	1981–2015	Maatalous ja metsä	16,6 %
Kesselinpuro	1981–2015	Metsä	1,3 %
Myllypuro	1992–2015	Metsä	0,6 %
Laanioja	1981–2015	Metsä	0,3 %
Huhtisuonoja	1981–2015	Metsä	0,0 %
Teeressuonoja	1981–2015	Metsä	0,0 %
Vähä-Askanjoki	1981–2015	Metsä	0,0 %

\*Viisi eri seurantapistettä, joiden yläpuolisten valuma-alueiden pelto-% vaihtelee. Kirmanjärven tiedot puuttuvat Avoimen datan tutkimustietovaluualustalta toistaiseksi.

## 4.3 Vesistöalueet

GISBloom -projektissa ([www.syke.fi/hankkeet/gisbloom](http://www.syke.fi/hankkeet/gisbloom)) koottiin vedenlaatu- ja virtaama-aineistoa (kausi 2000–2011, kokonaisfosfori ja -typpi) kaikilta niiltä suomalaisilta jokivesistöalueilta, joilta voitiin kohtuullisen luotettavasti laskea ravinnekuumeuma, ts. vesinäytteitä oli otettu vähintään kolmena vuotena vähintään 12 kertaa vuodessa. Lisäksi joko samasta pisteestä tai lähistöltä täytyi olla saatavissa päivittäiset virtaamatiedot. Tällaisia alueita löytyi noin 70 ja ne edustavat hyvin Suomen vaihtelevia oloja. Vesistöalueiden ominaisuudet (maanpeite, maannos, kuormitus jne.) määritettiin mm. käyttäen viimeisintä GIS-tietoa (Röman ym. 2018). Alueet edustavat kattavasti suomalaisia olosuhteita niin luonnonoloiltaan, maankäytöltään

kuin niihin kohdistuvilta paineiltaankin. KiertoVesi -hankkeessa tästä aineistosta valittiin 29 Itämereen laskevaa jokea ja kolme maatalousvaltaista sisämaajokea (Kuva 13, Taulukko 5). Aineistoa täydennettiin kattamaan jakso 1981–2016 ja ottamalla mukaan kiintoaine ja liukoiset ravinnejakeet (PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N ja NH<sub>4</sub>-N).

**Taulukko 5.** KiertoVesi-hankkeen jokivesistöalueet.

Jokivesistö, tunnus	Pinta-ala (km <sup>2</sup> )	Vesialueiden osuus (%)	Maatalousmaan osuus** (%)
Virojoki 11	357	6	13
Kymijoki 14	37 129	21	8
Koskenkylänjoki 16	895	6	32
Ilolanjoki 17	309	5	26
Porvoonjoki 18	1 272	3	31
Mustijoki 19	783	3	30
Vantaanjoki 21	1 686	4	23
Karjaanjoki 23	2 044	14	19
Kiskonjoki 24	1 046	8	24
Uskelanjoki 25	566	2	43
Paimionjoki 27	1 087	4	43
Aurajoki 28	873	2	36
Eurajoki 34	1 335	15	27
Yläneenjoki* 34.4	233	3	28
Pyhäjoki* 34.6	77	3	23
Kokemäenjoki 35	27 024	13	17
Loimijoki* 35.9	3 136	5	36
Lapväärtinjoki 37	1 097	5	14
Närpiönjoki 39	991	5	22
Kyrönjoki 42	4 919	5	26
Lapuanjoki 44	4 119	7	23
Ähtävänjoki 47	2 052	14	16
Perhonjoki 49	2 522	7	12
Lestijoki 51	1 372	10	12
Kalajoki 53	4 244	7	17
Pyhäjoki 54	3 709	10	12
Siikajoki 57	4 315	7	10
Oulujoki 59	22 827	16	2
Kiiminkijoki 60	3 811	6	1
Iijoki 61	14 179	9	1
Kuivajoki 63	1 355	7	1
Simojoki 64	3 257	9	1
Kemijoki 65	51 086	6	0,5

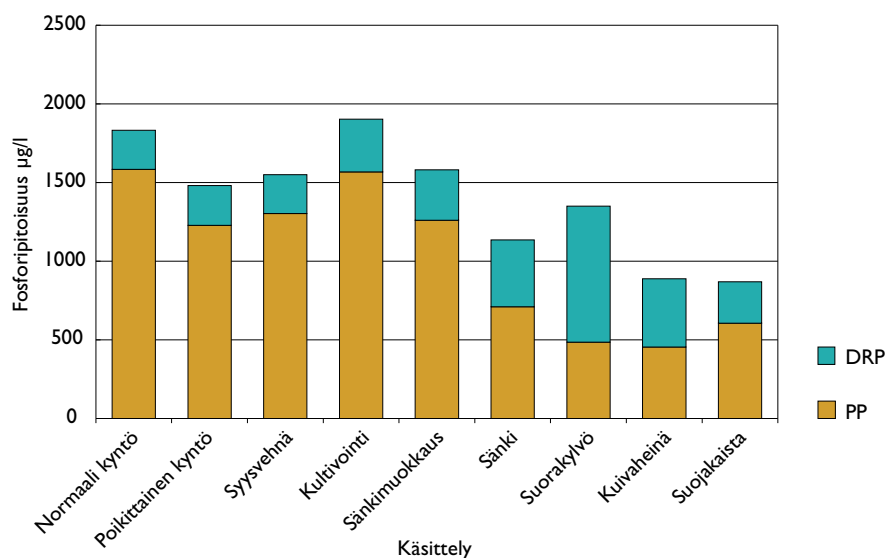
\*Maatalousvaltainen sisämaajoki

\*\*Maapinta-alasta

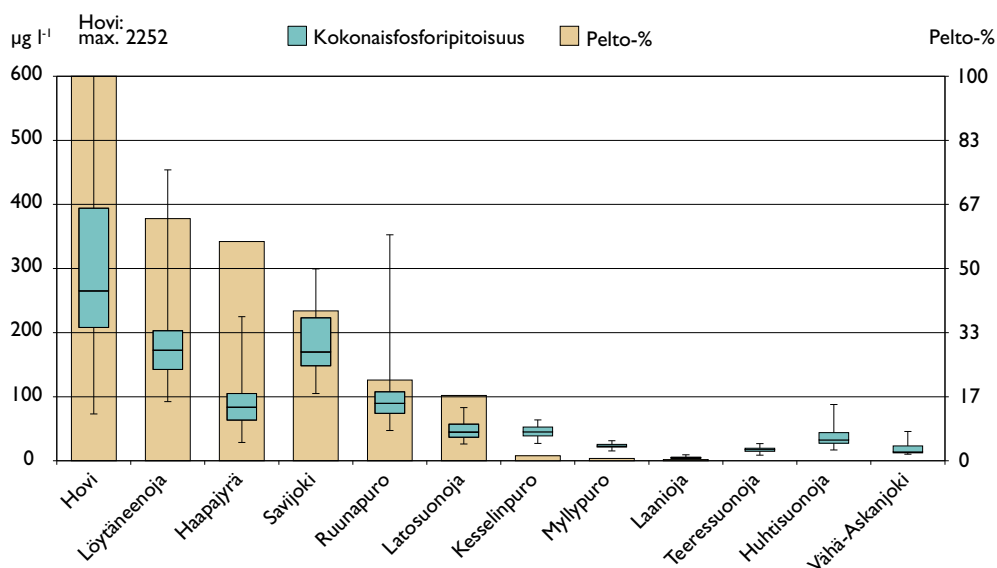
#### 4.4 Mitä eri mittakaavat kertovat kuormituksesta, sen tasosta ja vähentämismahdollisuuksista

Taulukossa 6 on esitetty kokonaisfosforin ja -typen keskipitoisuudet koekentillä sekä maatalousvaltaisilla pienillä valuma- ja jokivesistöalueilla. Koekenttien luvut edustavat pellolta vesistöön lähtevän veden keskiarvoa yli kaikkien käsittelyjen (pl.

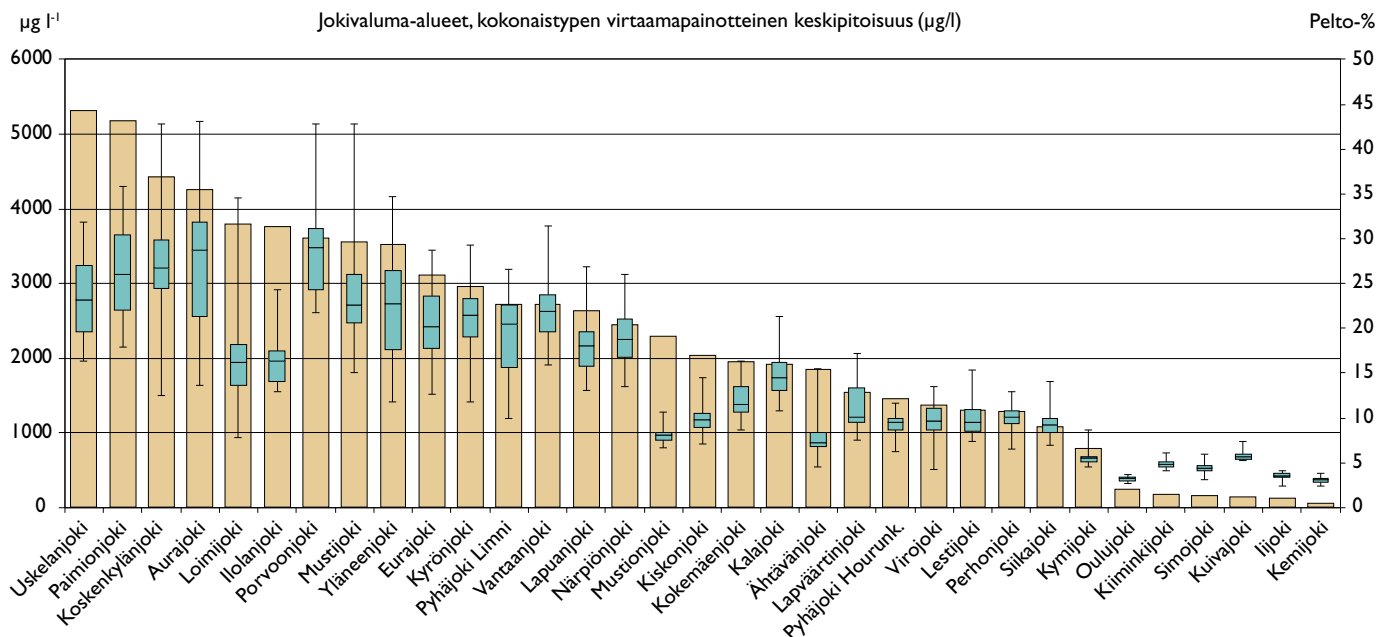
suojakaistat), koejaksojen ja -kenttien. Pienistä valuma-alueista otettiin mukaan kolme maatalousvaltaista (happamalla sulfaattimaalla sijaitseva Haapajyrä jätettiin pois) ja jokivesistöalueista kahdeksan maatalousvaltaisinta (peltoa > 29 %). Taulukosta on helppo havaita selkeä skaala-ero ryhmien välillä: mitä suurempi alue, sitä matalampi ravinnepitoisuus. Tämä kuvastaa ainepitoisuuksien laimenemisilmiötä valuma-alueen koon kasvaessa (Prairie & Kalff 1986). Kuvassa 15 on esitetty kokonaisfosforipitoisuuden vaihtelu eri käsittelymenetelmillä ja DRP:n osuus kokonaisfosforista Aurajoen koekentällä. Kuvissa 16–17 on esitetty kokonaisfosforipitoisuuksien mediaaniarvot ja vaihtelu sekä pienillä tutkimusvaluma-alueilla että isoilla vesistöalueilla.



**Kuva 15.** Partikkelimaisen fosforin (PP) ja liukois fosforin (DRP) keskipitoisuudet eri käsittelymenetelmillä Aurajoen koekentällä. Aineisto: normaali kyntö, syysvehnä ja sänki vuosilta 1990–1994 ja 1997–2002, matala sänkimuokkaus (alle 10 cm) ja poikittainen kyntö vuosilta 1990–1994, syvä sänkimuokkaus (n. 15 cm) ja rinteen suuntainen suora kylvö 1997–2002, pysyvä nurmi 1998–2002.



**Kuva 16.** Kokonaisfosforipitoisuuksien mediaaniarvot ja vaihtelu pienillä tutkimusvaluma-alueilla. Aineisto on vuosilta 1981–2015. Viiksilaitikko ilmaisee muuttujan vaihteluvälin, jolle sijoittuu 50 prosenttia havainnoista, musta viiva on arvojen mediaani ja viikset minimi- ja maksimi-arvot. Keltainen pylväs kuvaa alueen pelto-%:ia.



**Kuva 17.** Kokonaisfosforipitoisuuksien mediaaniarvot ja vaihtelu isoilla vesistöalueilla. Aineisto on vuosilta 1981–2016. Viiksilaaatikko ilmaisee muuttujan vaihteluvälin, jolle sijoittuu 50 prosenttia havainnoista, musta viiva on arvojen mediaani ja viikset minimi- ja maksimi-arvot. Keltainen pylväis kuvaa alueen pelto-%:ia.

**Taulukko 6.** Keskimääräiset kokonaisravinnepitoisuudet KiertoVesi -hankkeen eri tarkasteluskaloissa.

Skaala	Kokonaisfosforipitoisuus (µg/l)	Kokonaistyyppipitoisuus (µg/l)
Koekentät	610	4 670
Pienet valuma-alueet	203	3 810
Jokivesistöt	186	2 820

## 4.5 Koottu aineisto SYKEN avoimen datan tutkimustietoaalustassa

Edellä kuvatut, kolmen eri mittakaavan aineistot koottiin Excel-tiloihin, jotka sisältävät kuukausi- ja vuosikeskiarvoina säätietoja (sadanta ja ilman lämpötila), virtaamatietoja sekä seuraavien suureiden pitoisuus- ja kuormitustietoja:

- Kiintoaine
- Kokonaisfosfori
- Liuennut reaktiivinen fosfori (DRP)
- Kokonaistyyppi
- Nitraattityppi
- Ammoniumtyppi

Koekenttäaineistojen osalta tiedot koottiin kullekin toimenpiteelle erikseen. Kiintoaineen ja DRP:n osalta mukaan otettiin ainoastaan suodatetut (0,4 tai 0,2 µm kalvo-suodatin) analyysitulokset, joten niistä tuloksia on vasta vuosilta 1987–1990 lähtien. Ainevirtaamat l. kuormitukset laskettiin pienille valuma-alueille ja jokivesistöille ns. periodimenetelmällä (ks. Tattari ym. 2017). Koekentillä kuormitusten laskentamenetelmät vaihtelivat (ks. Taulukko 4). Tiedot koottiin SYKEN avoimen datan tutkimustietoaalustalle (<https://ckan.ymparisto.fi/dataset/sediment-and-nutrient-loading-to-surface-waters-in-3-different-scales>), josta ne ovat vapaasti ladattavissa.

## 5 Kuormituksen arviointityökalujen kehittäminen ja kuvaus

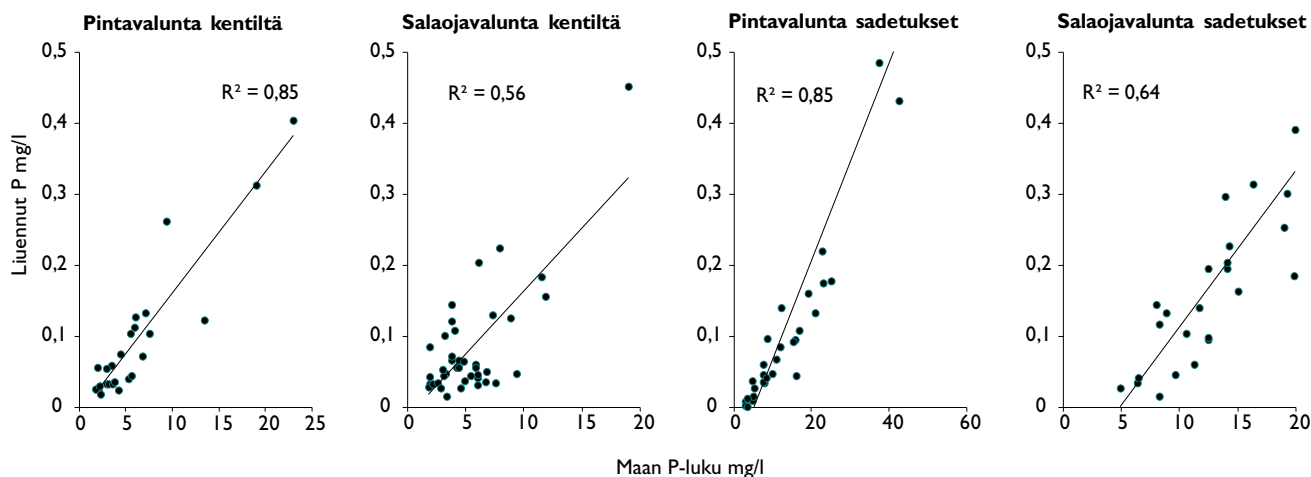
### 5.1 Fosforiluvun ja liukoisen fosforin huuhtoutumisriskin ennustettavuus

Liukoisen fosforin huuhtoutumisriski on voimakkaasti riippuvainen muokkauskerroksen heppoliukoisen fosforin pitoisuudesta ja sen kerrostuneisuudesta (Puustinen ym. 2005, Uusitalo & Aura 2005, Uusitalo ym. 2018). Pitoisuus riippuu pitkän ajan lannoitushistoriasta ja kerrostuneisuus viljely- ja muokkaukikäytännöistä. 1990-luvun alkuun saakka fosforia käytettiin reilusti yli kasvien tarpeen ja sitä on lannoituksen ylijäämänä kertynyt pitkällä aikavälillä keskimäärin 1000 kg hehtaaria kohden (Saarela 2002). Fosforin osalta pellon viljavuutta kuvaava P-luku oli noussut 1950-luvun noin 5 mg:sta litrassa 1990-luvun alkuun mennessä tasolle 12,5 mg litrassa maata (Yli-Halla ym. 2001) ja on siitä lähtien pysynyt suunnilleen tällä tasolla (Lemola ym. 2018). Fosforilukujen alenemista on havaittu korkeimmissa viljavuusluokissa, joille fosforilannoituksen rajoitukset ovat kohdentuneet.

Perinteisesti kevätilja-ala muokattiin syksyisin kyntämällä (so. perusmuokausmenetelmä). Tätä menetelmää alettiin korvata 1990-luvun puolesta välistä alkaen kevennetyllä muokkauksella tai siirryttiin talviaikaiseen kasvipeitteisyyteen (esim. sänki ja kevätkuokkaus) tai suorakylvöön. Näiden eroosiota vähentävien toimenpiteiden laajentuessa alkoi heppoliukoisen fosforin kerrostuminen ja siitä aiheutuva potentiaalinen liukoisen fosforin huuhtoutumisriski käytännön viljelyssä nousta voimakkaammin esille. Tästä ilmiöstä ensimmäiset kenttähavainnot meillä tehtiin jo 1990-luvun alussa, kun tutkittiin kevennetyn muokkauksen, talviaikaisen sängen ja suorakylvön vaikutuksia eroosioon ja ravinnekuormitukseen (Puustinen ym. 2005, 2007).

Heppoliukoisen fosforin kerrostuminen ja rikastuminen maan pintaan aiheuttaa päinvastaisen vaikutuksen kuin vesiensuojelutoimenpiteillä tavoitellaan; esim. suorakylvö on tehokas tapa vähentää eroosiota ja kiintoainekseen sitoutuneen fosforin kuormitusta, mutta se lisää liunneen fosforin huuhtoutumaa. Liunneen fosforin huuhtoutumisen kasvaminen on siten merkittävä riskitekijä, varsinkin kun liunneen P:n tiedetään olevan suuremmassa määrin rehevöitymistä kiihdyttävää kuin eroosioon liittyvän partikkelifosforin. Erilaisen rehevöittävän vaikutuksen vuoksi eroosiofosforin ja liunneen fosforin kulkeumia tulisi käsitellä erilaisilla painotuksilla. Eroosioaineksen fosforin rehevöittävästä vaikutuksesta ei kuitenkaan ole vielä kunnollista käsitystä. Useimpien arvioiden mukaan eroosioaineksen fosforista olisi 20–60 % rehevöittävää (Huettl ym. 1979, Andraski ym. 1985, Ekholm & Krogerus 2003, Ellison & Brett 2006). Suuri vaihtelu arvioinneissa johtuu erilaisista määrittämismenetelmistä, mutta myös eroosioaineksen ominaisuuksilla on varmasti oma vaikutuksensa.

Muokattujen maiden (kyntö, muut intensiiviset muokkaukäsittelyt) maan P-luvun vaikutus liunneen fosforin pitoisuuksiin pinta- ja salaojavesissä on esitetty kuvassa 18. Aineisto perustuu Luken ja SYKEN kenttäkokeisiin sekä Lukessa tehtyjen sade-



**Kuva 18.** Kenttä- ja sadetuskokeissa mitattu liuenneen fosforin huuhtoutuma maan P-luvun mukaan. Huomaa akselien erilaiset asteikot.

tuskokeiden tuloksiin. Yhtälöiden kulmakertoimet vaihtelivat aineistoissa välillä 0,014–0,022, mikä tarkoittaa yhden P-lukuyksikön kasvun kohottavan valumavesien liuenneen fosforin pitoisuutta 14–22 µg/l. Koko maan keskimääräisen P-luvun (12–13 mg/l) perusteella tällainen pelto tuottaisi valumaveteen 160–290 µg/l pitoisuuden.

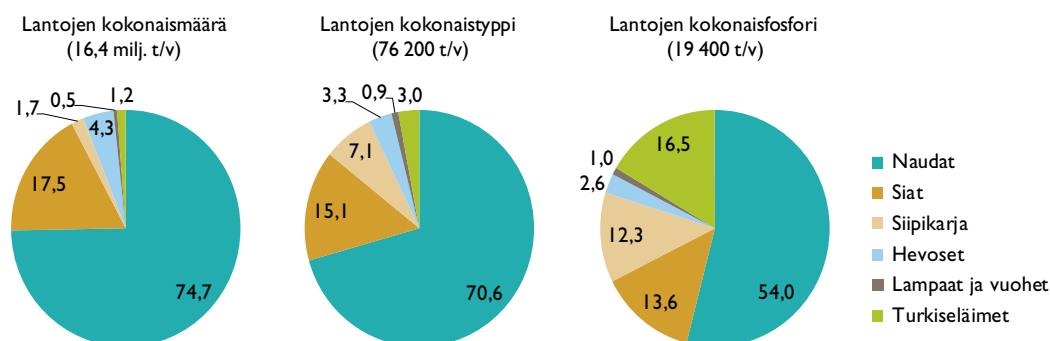
Fosforin kertymistä maan pintaan kasvillisuuden vaikutuksesta on esiintynyt maatalousmaalla jo ennen laaja-alaista ja intensiivistä perusmuokkausta, mutta tuolloin maan fosforivarastot olivat pääosin luonnollista alkuperää ja viljelyperäistä kertymää oli vain vähän. Viljelyn vaikutuksista kertovat heppoliukaisen fosforin määrää kuvaavan P-luvun kaksinkertaistuminen 50-luvulta 90-luvulle, minkä jälkeen ne ovat pysyneet nykyisellä keskimääräisellä tasollaan, joskin kaikkein korkeimpia P-luokkia edustavien peltopinta-alojen osuus on ollut laskussa parikymmentä vuotta.

Nykyisen sadontuotannon säilyttävässä, mutta samalla vesistövaikutukset minimoivassa tilanteessa maan P-luku olisi savimailla 6 mg/l, karkeammilla kivennäismailla 10 mg/l ja eloperäisillä mailla 15 mg/l (Valkama ym. 2011). Lemolan ym. (2018) tekemän viimeisimmän viljavuustutkimusten yhteenvedon mukaan mainittuja korkeampia P-lukuja löytyy 75 %:lta savimaista, 48 %:lta karkeammista kivennäismaista ja 15 %:lta eloperäisistä maista. Peltomaiden heppoliukaisen fosforin pitoisuuksia olisi siten mahdollista pienentää noin puolella peltoalasta ilman, että se vaarantaisi peltojen sadontuottoa.

Käytettävissä olevalla koekenttä- ja lysimetriaineistolla sekä mallitarkasteluilla arvioidaan eroosion vähentämisen vaikutusta partikkelimaisen ja liukaisen fosforin huuhtoutumiin eri P-lukutasoilla ja eri kaltevuusluokissa. Valuntaveden liukaisen fosforin pitoisuuden riippuvuus pellon P-luvusta ja muokkauksen intensiteetistä vs. talviaikaisen kasvipeitteisyyden kattavuudesta on niin vahva (Kuva 18 ja Puustinen ym. 2005), että siihen sisältyy liukaisen fosforin ennustettavuuden vuoksi mahdollisuus tarkastella ratkaisuvaihtoehtoja ongelman merkittävyyden, eri toimenpiteiden ja aikatekijän kautta.

## 5.2 Lannan ravinnesäilytö

Normilanta -järjestelmä laskee tuotantoeläinten lannan kokonaismäärät ja ominaisuudet massataseina eläinryhmittäin ja lantatyypeittäin ruokinnasta ja erityksestä lannankäsittelyyn (Luostarinen ym. 2017a, 2017b, 2018). Järjestelmä erittelee lannan koostumukseltaan seuraaviin lantatyyppeihin: lietelanta, kuivikelanta, kuivikepohjalanta ja erilliskerätyt kuivalanta ja virtsa.



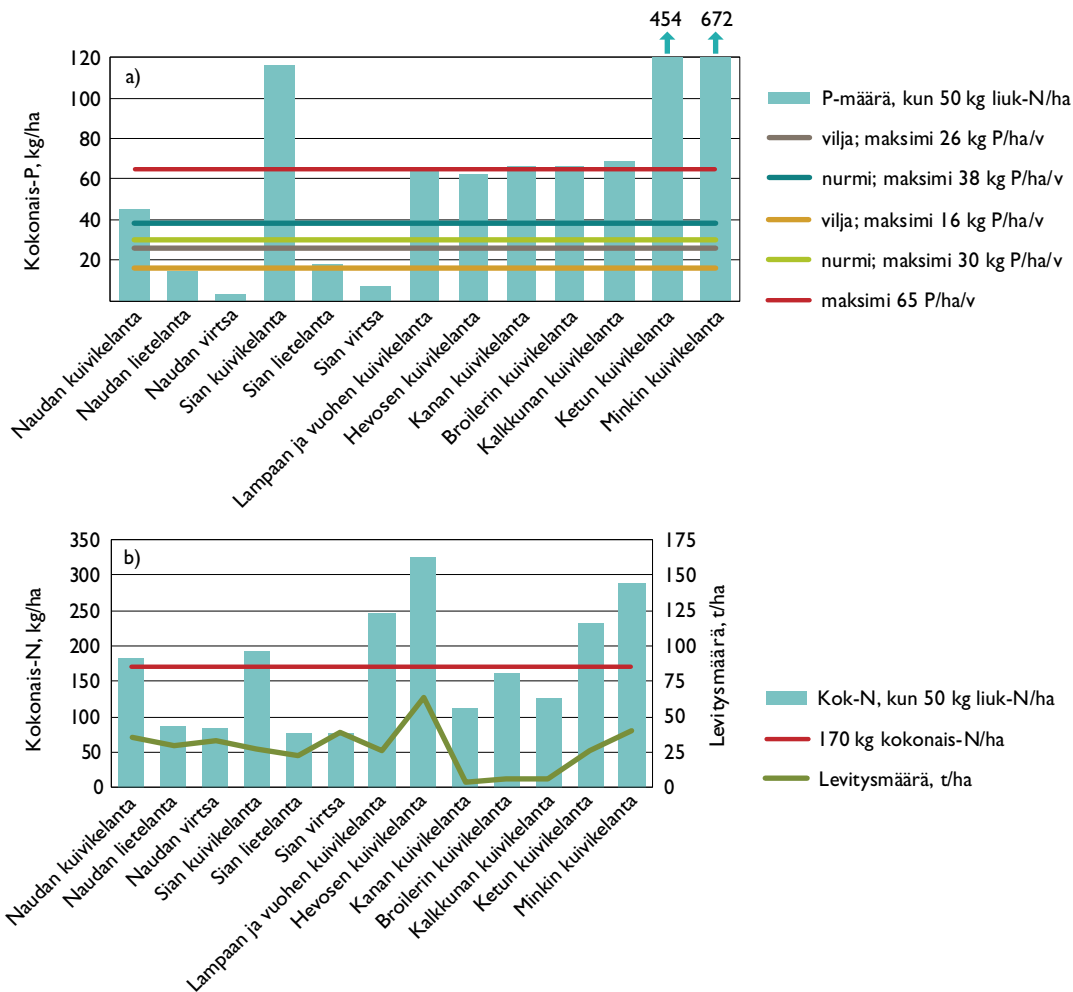
**Kuva 19.** Suomessa vuosittain muodostuvien tuotantoeläinten lantamäärien sekä niiden sisältämän kokonaistypen ja -fosforin prosentuaalinen jakautuminen eläinluokittain. Lähde: Luostarinen ym. (2017a, 2017b), Marttinen ym. 2017.

Kun huomioidaan nautojen, sikojen, siipikarjan ja hevosten (Luostarinen ym. 2017a, 2017b) sekä lampaiden, vuohien ja turkiseläinten tuottama lanta (Marttinen ym. 2017), Suomessa muodostuu lantaa varastoinnin jälkeen noin 16 miljoonaa tonnia vuodessa (josta on vähennetty laidunnuksen aikana laitumelle jäävä lanta). Tästä kokonaismäärästä lietelantaa muodostuu noin 58 %, kuivia lantoja (kuivike-, kuivikepohja- ja erilliskerättyä kuivalantaa) noin 35 % ja erilliskerättyä virtsaa noin 7 %. Koko maan tasolla eniten lantaa syntyy nautakarjatiloiilla ja suurin osa tuotantoeläinten lantojen ravinteista (N, P) on naudan lannassa (Kuva 19). Valtaosa eri lantatyypin sisältämästä kokonaistypestä on lietelannoissa (noin 53 %) ja kokonaisfosforista taas kuivissa lannoissa (noin 56 %).

Tässä tarkastelussa vuosittain muodostuvasta lannan kokonaistypestä (noin 76 200 t) 71 % ja kokonaisfosforista (noin 19 400 t) 54 % on nautojen lannassa (Kuva 19). Sikojen lannassa on keskimäärin 14 % kokonaistypestä ja -fosforista. Hevosten, lampaiden ja vuohien lannoissa lantaravinteista on yhteensä keskimäärin 4 %. Siipikarjan ravinteikas liete-, kuivikepohja- ja kuivikelanta sisältää noin 7 % lannan kokonaistypestä ja 12 % kokonaisfosforista. Vaikka turkiseläinten fosforipitoista lantaa muodostuu vuosittain määrällisesti vain vähän, sen sisältämä fosforimäärä on vuositasolla merkittävä muodostaen jopa noin 16 % lantafosforista (Luostarinen ym. 2017a, 2017b, Marttinen ym. 2017).

Nitraattiasetuksen taulukkoarvojen mukaisesti (VnA 1254/2015) esimerkiksi siipikarjan kuivikelannassa on kokonaisfosforia 3,6–5,6 kg/m<sup>3</sup>, kokonaistyyppiä 8,0–9,4 kg/m<sup>3</sup> ja liukoista tyyppiä 2,7–4,2 kg/m<sup>3</sup>. Liukoisen tyyppien suhde fosforiin on viljelykasvien tyyppi- ja fosforitarpeen kannalta epäedullinen siipikarjan, hevosen, lampaan ja vuohen kuivikelannoissa (n. 0,76:1) sekä ketun ja minkin kuivikelannoissa (n. 0,09:1). Sian (2,75:1) ja naudan lietelannassa (3,40:1) suhdeluvut ovat paremmat, mutta kuivikelantojen osalta fosforin määrä rajoittaa lannan hehtaarikohtaista levitysmäärää (Kuva 20). Fosforirikkaiden kuivalantojen levitysmäärä viljoille ja nurmille voi käytännössä jäädä pieneksi heikentäen levitystarkkuutta ja -tasaisuutta tai fosforin tasausjakson aikana lantaa ei voi käyttää vuosittain, ja kasvien typentarve on täytettävä mineraalilannoitteilla. Naudan (liuk. N. 59 %) ja sian (liuk. N 65 %) lietelannassa liukoisen tyyppien osuus kokonaistypestä on suuri verrattuna kuivikelantaan (keskimäärin 27 %) tai siipikarjan kuivikelantaan (keskimäärin 39 %).

Ympäristökorvausjärjestelmään sitoutuneiden maatilojen peltoalaosuus pieneeni edeltävältä kaudelta (2007–2013) 93 %:sta nykyisen kauden (2014–2020) 87 %:iin. Tuotantosuunnittain tarkasteltuna sitoutumisaste on heikoin siipikarjaloudessa ja muun kasvintuotannon (mm. heinän ja viherheinän viljely ja nurmikasvien siemenviljely) tuotantosuunnilla (% pinta-alasta) ja osa etenkin eläinmäärältään suurimmista broileritiloista ja myös sikatiloista on jättäytynyt pois ympäristökorvausjärjestelmästä (Kauppila ym. 2017). Ympäristökorvausjärjestelmän ulkopuolella lantafosforin



**Kuva 20.** Esimerkinomainen kuva eri lantatyypin a) fosforin ja b) kokonaistypen levitysmääristä suhteessa nykyisiin rajoituksiin annettaessa lantaa liukoisen tynen mukaan 50 kg N/ha. a) Poikkiviivalla on kuvattu ympäristökorvausjärjestelmän P-lannoituksen enimmäismäärä viljalle ja nurmelle, kun maalaji on vähämultainen hietta/moreeni, jonka fosforin viljavuusluokka on välttävä (vilja 16 kg P/ha/v, nurmi 30 kg P/ha/v) tai vähämultainen savimaa, jonka viljavuusluokka on huononlainen (vilja 26 kg P/ha/v, nurmi 38 kg/ha/v). Punaisella viivalla on merkitty P-lannoituksen enimmäismäärä (65 kg/ha/v), joka rajoittaa ympäristökorvausjärjestelmän ulkopuolella. b) Punaisella viivalla on merkitty nitraattiasetuksen kokonaistypen enimmäismäärä 170 kg/ha/v. Lannan ravinnepitoisuuksissa on käytetty nitraattiasetuksen taulukkoarvoja, tilavuuspainoissa keskimääräistyksiä 350–1000 kg/m<sup>3</sup> ja lantafosfori huomioitu kokonaisuudessaan.

levitystä rajoittaa välillisesti nitraattiasetus (lannassa 170 kg kokonais-N/ha). Lannoitevalmisteasetuksen fosforilannoitusrajoite (MMM asetus 5/16), maksimimäärä enintään viiden vuoden käyttöjaksolla 325 kg P/ha maataloudessa ja 560 kg P/ha puutarhataloudessa, ei koske lantaa.

Tuotantoeläinten ravitsemuksellisista vaatimuksista, taloudellisista tekijöistä sekä tilatason ratkaisusta johtuen kotieläinten tuotantosysteemit poikkeavat toisistaan siinä, mikä osuus tuotantoeläinten rehusta tuotetaan omalla tilalla ja mikä osuus siitä tuodaan tilan ulkopuolelta. Tämä vaikuttaa siihen, kuinka paljon peltopinta-alaa on tilatasolla käytettävissä lannan levitysalaksi. Emakoiden ja pikkuporsaiden ruokinnassa käytetään teollisesti valmistettuja täysrehuja (Ilola 2014). Sianlihantuotannossa strategisena tavoitteena on vähentää tuontisoijan käyttöä viljan täydennyksenä entisestään (n. 10 % rehusta) ja lisätä viimeisen kymmenen vuoden aikana yleistynyttä komponenttiruokintaa, mikä on jo vähentänyt teollisten sikojen rehuseosten valmistusta. Komponenttiruokinta perustuu joko omalla tilalla tai lähialueella tuotettuun rehuviljaan tai sitä täydentäviin rehuseoksiin (Antikainen ym. 2017).

Broilerintuotannossa käytetään teollisesti valmistettuja täysrehuja, ja tuotantomäärien kasvu on lisännyt broilerin rehujen valmistusta (Ilola 2014). Sikojen ja siipikarjan ruokintaa optimoimalla/tarkentamalla voidaan alentaa lannan fosforipitoisuutta sekä säästää myös ruokintakustannuksissa (Partanen ym. 2010, Palva ym. 2018). Naudat, etenkin lypsävät lehmät, kuluttavat karkeasti noin puolet rehutehtaissa valmistetuista rehuista, ja lypsylehmää kohti laskettuna teollisten rehujen kulutus on

**Taulukko 7.** Fosforin ja typen peltohehtaarikohtaiset porttitaseet (kg/ha) suomalaisilla kotieläintiloilla sekä porttitaseiden fosforin ja typen käytön tehokkuus (%).

Tuotanto-suunta	P-tase, kg/ha	P tehokkuus, %	N-tase, kg/ha	N tehokkuus, %	Lähde
Nautakarja	12 (-4-40)		109 (-19-231)		Virtanen ja Nousiainen (2005) <sup>a</sup>
Nautakarja	15 (9-31)	31 (17-55)	120 (60-200)	21 (13-40)	Marttila (2005) <sup>b</sup>
Nautakarja	1 (-4-6)	99 (14-244)	47 (-27-109)	70 (17-263)	Kaasinen (2010) <sup>c</sup>
Nautakarja 2007 2008 2009	9,7 10,5 10,2 8,5		96,2 92,4 95,5 100,9		Nousiainen (2011) <sup>d</sup>
Nautakarja 2008 2009	8 (2-17) 7 (2-18)		86 (33-207) 81 (26-246)		Salo ym. (2011) <sup>e</sup>
Nautakarja Tavanomainen Luomu	9,5 4,2	46 49	118 49	28 32	Kajava ja Sairanen (2019) <sup>f</sup>
Siipikarja Sika	7 (-20-19) 9 (-7-33)	74 (23-131) 95 (38-199)	111 (21-279) 68 (3-230)	56 (37-76) 68 (41-94)	Kaasinen (2010) <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Mukana 319 tavanomaisessa tuotannossa olevaa lypsykarjatilaa, joista 81 tilaa sijaitsi eteläisessä, 117 läntisessä, 80 itäisessä ja 41 pohjoisessa Suomessa. Tuloksissa on ilmoitettu keskiarvo, minimi ja maksimi (tarkastelujakso 2002). Tuotannon tunnuslukuja, keskiarvo ± keskihajonta: eläinyksikkö: 0,88 (±0,32) ey/ha, keskituotos: 7617 (±1104) kg/lehmä/v, peltoala: 48 (±26) ha.

<sup>b</sup> Mukana oli 28 lypsykarjatilaa, joista valtaosa sijaitsi Kymenlaakson, Etelä-Karjalan ja Etelä-Savon alueilla. Tuloksissa on ilmoitettu keskiarvo, minimi ja maksimi (tarkastelujakso 1.10.1998-30.9.1999). Tuotannon tunnuslukuja, keskiarvo, minimi ja maksimi: eläinyksikkö: 0,84 (0,40-1,89) ey/ha, keskituotos: 7600 (6300-9000) kg/lehmä/v, peltoala: 43 (21-89) ha.

<sup>c</sup> Mukana oli 27 TEHO-hankkeen tilaa (10 sika-, 9 siipikarja- ja 8 nautakarjatilaa), joista 3 nautakarjatilalla ja yhdellä siipikarjatilalla sekä pellot että kotieläimet olivat luomutuotannossa ja yhdellä siipikarjatilasta vain pellot olivat luomutuotannossa. Tuloksissa on ilmoitettu keskiarvot, minimi ja maksimit, ja niissä ei ole eroteltu tavanomaisia ja luomutiloja (tarkastelujakso 2009; Varsinais-Suomi, Satakunta).

<sup>d</sup> Mukana oli 12 TilaArtturi-hankkeen tavanomaisessa tuotannossa olevaa lypsykarjatilaa. Tuloksissa on ilmoitettu keskiarvo (tarkastelujakso 2007-2009). Tuotannon tunnuslukuja, keskiarvo: eläinyksikkö: 1,10 ey/ha, keskituotos: 8970 kg/lehmä/v, peltoala: 77 ha.

<sup>e</sup> Mukana oli 13 HYÖTYLANTA (Lannan kestävä hyödyntäminen) -hankkeen lypsykarjatilaa, joista yksi oli luomutila ja yksi luomun siirtymävaiheessa. Tuloksissa on ilmoitettu vuosikohtainen keskiarvo, minimi ja maksimi, ja niissä ei ole eroteltu tavanomaisia ja luomutiloja (tarkastelujakso 2008-2009; Etelä-Savo, Pohjois-Savo).

<sup>f</sup> Mukana oli 12 EuroMaito-hankkeen (laajentavaa) lypsykarjatilaa, joista 2 tilalla sekä pellot että eläimet olivat luomutuotannossa ja yhdellä tiloista vain pellot olivat luomutuotannossa. Tuloksissa on ilmoitettu mediaani (tarkastelujakso 2016-2018; Etelä-Savo, Pohjois-Savo, Kainuu ja Pohjois-Karjala). Tuotannon tunnuslukuja (keskiarvo ± keskihajonta): eläinyksikkö, ey/ha: tavanomaiset tilat 0,90 (±0,25), luomutilat 0,59 (±0,17); keskituotos, kg/lehmä/v: tavanomaiset tilat 10000 (±900), luomutilat 9700 (±800); peltoala, ha: tavanomaiset tilat 160 (±48), luomutilat 320 (±165).

lisääntynyt (Ilola 2014). Nautojen ruokinnasta karkearehu (säilörehu, laidunnurmi) muodostaa suurimman osan (54 %) syödystä kuiva-aineesta, väkirehujen osuuden ollessa noin 46 %, josta teollisesti valmistetut rehut muodostavat keskimäärin 29 %. Valkuaisliisissä soijan käyttö on hyvin vähäistä. Säilörehu ja rehuvilja tuotetaan suurelta osin omalla tilalla, ja suhteellisen alhainen eläintiheys peltopinta-alaa kohti mahdollistaa sen, että tiloilla on useimmiten käytettävissä riittävästi omaa peltopinta-alaa tuotetun lannan levitysalaksi. Lannan hyödyntäminen onkin haasteellisempaa sika- ja siipikarjatiloiilla kuin nautakarjatiloiilla (Virkajärvi ym. 2015).

Porttitaselaskelmilla voidaan selvittää ja suunnitella kotieläintilan ravinnevirtoja. Porttitaseet lasketaan tilalle ostettujen/tuotujen tuotantopanosten ravinteiden ja tilalta myytyjen/poisvietyjen tuotteiden ravinteiden erotuksena, ja ne kertovat ravinteiden yleisestä hyödyntämisestä tilalla ja antavat yleiskuvan mautilojen ravinnevirroista. Vaikka ravinnehävikin määrä ei sellaisenaan kerrokaan ympäristökuormituksen suuruudesta, sen avulla voidaan arvioida pitkällä aikavälillä kotieläintaloudesta aiheutuva ravinteiden potentiaalista huuhtoumariskiä.

Porttitaseita on laskettu suomalaisille lypsykarjatiloilta, mutta niukasti sika- ja siipikarjatiloilta, mikä vaikeuttaa eri tuotantosuuntien välistä vertailua (Taulukko 7). Eri laskelmat eivät välttämättä ole suoraan vertailukelpoisia esim. lähtötiedoista, eri ajankohdista, alueellisista eroista tai tuotantostrategioista johtuen. Kaasisen (2010) laskelmissa sika- ja siipikarjatilojen porttitaseet olivat suuntaa antavasti korkeampia ja vastaavasti ravinteiden hyväksikäyttöasteet heikompia kuin nautakarjatiloiilla. Kuitenkin Rajalan ym. (2001) mukaan typen ja fosforin hyväksikäyttö on sikatiloilla keskimäärin noin 25–35 % ja nautakarjatiloiilla noin 15–25 %. Kotieläintilojen kootut porttitaseet ovat fosforin ja etenkin typen osalta ylijäämäisiä. Lypsykarjatiloiilla fosforin ja typen porttitaseilla on ollut laskeva trendi.

Suurin osa pelloille levitetystä fosforista (noin 60 %) ja kolmasosa tpeestä on peräisin lannasta (Marttinen ym. 2017). Siipikarjan lantaa on käytetty lannoitteena viljan ja erikoiskasvien peltoviljelyssä, sekä jalostettuina puutarhan ja viherkasvien ravinnetuotteina (Palva ym. 2018). Sian lannan ravinteet on perinteisesti hyödynnetty alueen viljanviljelyssä. Naudan lanta on taas olennainen osa nurmiviljelyä.

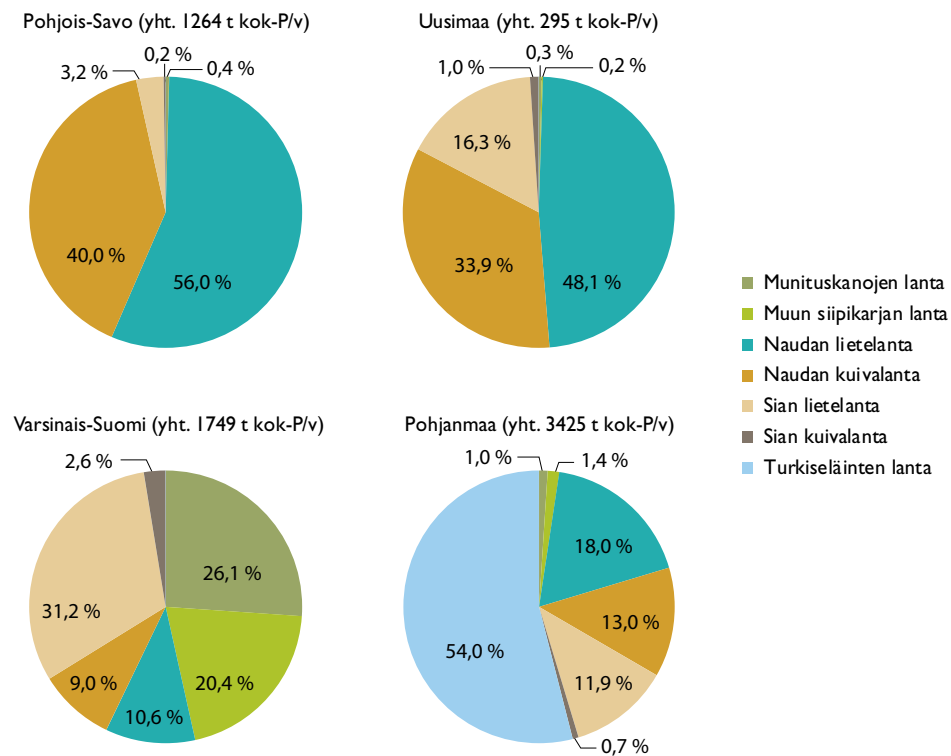
Tuotantoeläinten lanta hyödynnetään valtaosin sellaisenaan ja tällä hetkellä siitä vain noin 6 % prosessoidaan esimerkiksi kompostoimalla, mädättämällä tai separoimalla. Eläinsuojasta lähtevästä lannan kokonaismäärästä prosessoidaan kuivien lantojen osalta noin 11 % ja lietelannoista noin 3 % (Luostarinen ym. 2019). Vaikka lanta onkin usein mahdollista hyödyntää suoraan ilman prosessointia tai optimoimalla tilatason lannankäsittelyä, vuosittain syntyvästä koko lantamäärästä vähintään 20 % vaatisi prosessointia, jotta lantafosfori voitaisiin kuljettaa kauemmaksi. Suurin prosessointitarve ja vastaavasti siitä saatava hyöty olisi Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan ja Satakunnan ja Varsinais-Suomen ELY-keskusten alueilla (Marttinen ym. 2017).

Kotieläinten lannan fosforia riittäisi viljelylle peltopinta-alalle tasaisesti levitetynä 8,8 kg/ha (Ylivainio ym. 2015). Kotieläintalouden keskittyessä alueellisesti voi tuotantoeläinten lantaa muodostua peltohehtaaria kohti enemmän kuin sitä tarvitaan viljelykasvien ravinteiksi. Esimerkiksi Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa korkeat lohkokohdaiset lannan ravinnemäärät ovat seurausta suurista eläinmääristä ja/tai vähäisestä peltoalasta tai sen hajanaisuudesta, joka lisää levityspainetta taloudellisesti kannattavalle levitysetäisyydelle (Salmi ym. 2010). Nautakarja-alueella prosessoinnin hyöty koskisi ennen kaikkea suurten tilojen sisäistä logistiikkaa, mutta prosessointi vähentäisi myös vesistökuormitusta (ks. luku 5.4).

Siipikarjantuotanto on kasvanut voimakkaasti viime vuosikymmeninä ja se on keskittynyt läntiseen Suomeen, etenkin Etelä-Pohjanmaan, Satakunnan, Varsinais-Suomen ja Pirkanmaan maakuntiin (Palva ym. 2018). Sikatalouskeskittyymiä on etenkin Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa (Salmi ym. 2010). Sianlihantuotannon ennustetaan rakennekehityksen kautta keskittyvän yhä pienemmälle alueelle Lou-

nais-Suomeen ja Pohjanmaalle (Antikainen ym. 2017). Pohjanmaalla on myös paljon sianlihan tuotantoa, minkä lisäksi sinne on keskittynyt valtaosa turkiseläintuotannosta. Nautaeläimet ovat jakaantuneet maantieteellisesti tasaisemmin verrattuna Länsi- ja Lounais-Suomen maakuntien sika-, siipikarja- ja turkiseläinkestittymiin. Keski- ja Itä-Suomi, etenkin Pohjois-Savo, ovat nautakarja-alueita (Ylivaino ym. 2015).

Korkeita peltolohkojen fosforipitoisuuksia esiintyy alueilla, joilla on paljon kotieläintuotantoa ja viljellään erikoiskasveja (peruna- ja sokerijuurikastuotanto), kuten Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Pohjanmaalla. Lounais- ja Länsi-Suomen rannikkoalueen kunnissa on peltolohkoja, joilla fosforin saatavuus ei ole viljan ja nurmen viljelyssä kasvien kasvua rajoittava tekijä ja fosforilannoituksella ei ole odotettavissa satovastetta (Ylivaino ym. 2015). Lantafosforin ylimäärä suhteessa kyseisen ELY-keskuksen alueen fosforilannoitustarpeeseen on suurin Pohjanmaalla (58 %), Etelä-Pohjanmaalla (30 %) ja Satakunnassa (27 %). Pohjanmaan ELY-keskuksen alueella muodostuu jopa puolet lantafosforin ylimäärästä (Marttinen ym. 2017). Lantaravinteiden hyötykäytön tehostamistavoitteissa on huomioitava niin alue- kuin tilakohtaiset eroavaisuudet (Kuva 21).



**Kuva 21.** Esimerkinomainen kuva eri maakunnissa (Pohjois-Savo, Uusimaa, Varsinais-Suomi ja Pohjanmaa) muodostuvan lantafosforin prosentuaalisesta jakautumisesta tuotantosuunnan (naudat, siat, munituskangat ja turkiseläimet) ja lantatyypin (lietelanta, kuivalanta) mukaan. Tiedot: Luke ja SYKE, Ravinnelaskuri.

### 5.3 Fosforin huuhtoutuminen pintavalunnassa nurmipeitteisiltä pelloilta ja uuden laskentatyökalun kehittäminen – NURMAP

Hankkeessa kehitettiin kokeelliseen aineistoon perustuva käytännön läheinen simulointimalli nautakarjatilan lietteen käsittelymenetelmien *'what if'* -skenaarioiden vertailemiseksi. Tässä oli kaksi osatavoitetta:

- 1) luoda empiirinen nurmipeitteisen pellon pintavalunnan fosforihuuhtouman laskentamenetelmä olemassa olevien aineistojen perusteella ja
- 2) yhdistää se maatilaa simuloivaan ravinnekiertomalliin, joka laskee muiden ravinteiden ja toimenpiteiden vaikutuksen satotasoon, lohkon fosforipoistuman ja maan P-luvun kehitykseen. Simulointien aikajänteenä käytettiin 20 vuoden jaksoa.

Työssä tavoiteltiin käytännönläheistä, Suomen ilmastoon, mineraalimaihin ja viljelykäytäntöihin soveltuvaa laskentamallia. Huuhtoumamallin tausta-aineisto koottiin Jokioisten ja Toholammin valuntakenttien, sekä Maaningan lysimetri- ja pintavaluntakentän tutkimuksista vuosilta 1992–2017. Julkaistuina lähteinä olivat Turtola & Kemppainen (1998), Turtola & Yli-Halla (1999), Turtola ym. 2005, Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski (2008), Uusi-Kämpä & Mattila (2010) ja Järvenranta ym. (2014). Lisäksi käytettiin samojen kenttien julkaisematonta aineistoa, joka kattoi aineistosta noin 70 %. Toholammin kentän savespitoisuus on 5 %, Maaningan 7 % ja Jokioisten (Kotkanoja AXIII) 61 %. Toholammin kentän keskimääräinen kaltevuus on 0,5 % (Turtola & Kemppainen, 1998), Maaningan 0,6 % (Saarijärvi ym. 2004) ja Jokioisten 0,9 % (Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski, 2008).

Aineistoon hyväksyttiin kokeet, joissa nurmia oli lannoitettu väkilannoitteella tai karjanlannalla. Nurmen uusimisvuodet hylättiin. Koekenttiä kuvaavia maaperätietoja olivat maan pintakerroksen P-luku (Vuorinen & Mäkitie 1955), pintakerroksen paksuus, maalaji sekä saveksen osuus. Lisäksi käytettiin kokeiden mineraalilannoitteiden ja karjanlannan fosforimäärien tietoja yhdistettynä eri levitysajankohtiin ja -tekniikoihin. Valuntatiedot olivat hydrologisilta vuosilta (1.6.–31.5.). Tässä vaiheessa havaintoja oli käytettävissä 91. Aineiston rajauksella pyrittiin pelkästään nurmipeitteisten kasvustojen pintavalunnan P-kuormituksen mallintamiseen. Testiajoissa sekä ConsEnv (Saarinen ym. 2011) että APLE (Vadas ym. 2012) mallit yliarvioivat kiintoainesfosforin (PP) määrän ja sen osuuden kokonaisfosforista (TOTP), mistä syystä päädyttiin luomaan uusi laskentatyökalu (NURMAP) nurmipeitteisille kasvustoille. Aineisto analysoitiin ja NURMAP-työkalu luotiin käyttäen jakaumatarkasteluja sekä korrelaatio- ja regressioanalyyssejä (SAS- 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Alustavissa aineiston vastemuuttujien jakaumatarkasteluissa osoittautui, että laidunkokeita ei voi yhdistää muuhun aineistoon. Myös Turtolan & Kemppaisen (1998) tutkimuksessa lannan talvi- ja syyslevityksen fosforikuormitukset olivat niin suuria, etteivät ne sopineet samaan matemaattiseen malliin muiden havaintojen kanssa. Poistoa voidaan perustella sillä, että tarkoitus oli kehittää lietteen levitystekniikoiden ja -ajoitusten vaihtoehtoja vertaileva simulointimalli. Laidun ei kuulu tähän ja lannan talvilevytys on nykyään kokonaan kielletty. Pintavaluntasimulaattorin koeaineistoja käytettiin liuenneen fosforin (DRP) konsentraation mallinnuksessa (n = 91). Koska niiden eroosioaineksen määrä poikkesi muista kokeista, niitä ei käytetty partikkelifosforin huuhtoutumisen ennustamisessa. Lopullisen aineiston tunnusluvut ovat taulukossa 8.

**Taulukko 8.** Nurmipeitevuosien fosforin huuhtoutumisen mallintamisessa käytetyn aineiston kuvaus. TSS = kiintoaine; DRP = liennut reaktiivinen fosfori; PP=kiintoainesfosfori; TOTP = kokonaisfosfori.

Muuttuja	Yksikkö	N	Keskiarvo	Mediaani	Std	Min	Max
Pintakerroksen viljavuus-P <sup>1)</sup>	mg/l	45	12,1	11,6	4,995	4,9	33
Väkilannoituksen P	kg/ha/vuosi	56	6,4	0	10,281	0	43
Karjanlannan P	kg/ha/vuosi	56	13,6	11,5	17,3	0	90
Pintavalunta	mm	56	110	103	63,8	5,8	279
Kiintoaine (TSS) <sup>2)</sup>	kg/ha/vuosi	50	123	91,115	107,78	5,93	620
P pitoisuus maassa /eroosioaineksessa	mg/kg	50	1440	1299	607	385	4200
Havaittu DRP konsentraatio pintavalunnassa	mg/l	56	0,22	0,17	0,21	0,05	1,43
Havaittu DRP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/vuosi	56	0,26	0,14	0,37	0,01	2,19
Havaittu PP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/vuosi	56	0,17	0,11	0,16	0,01	0,80
Havaittu TOTP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/vuosi	56	0,43	0,33	0,44	0,02	2,73
Havaittu TOTP lysimetri/salaoja valunnassa	kg/ha/vuosi	36	0,031	0,03	0,03	0,00	0,13

<sup>1)</sup> hapan ammoniumasetaattiuutto (Vuorinen & Mäkitie 1955)

<sup>2)</sup> kiintoaine: haihdutusjäännös

Fosforikuormitus jaetaan tyypillisesti pinta- ja pintakerrosvalunnassa tulevaan kuormitukseen sekä liukoisen fosforin ja partikkelifosforin kuormitukseen. Työssä keskityttiin pintavalunnassa tulevaan fosforikuormitukseen, koska karkeilla mailla maan läpi huuhtoutuva fosfori on määrältään vähäistä (Taulukko 8). Savimailla salaojien kautta tuleva kuormitus voi oikovirtauksien seurauksena olla suurta (Ulén & Mattson 2003, Äijö ym. 2017). Mallin parametrien alustava valinta perustui kokeelliseen tietoon fosforin huuhtoutumisesta nurmilta (mm. Turtola & Kempainen 1998, Turtola & Yli-Halla 1999, Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski 2008, Järvenranta ym. 2014) sekä erityisesti ConsEnv- (Saarinen ym. 2011) ja Aple-mallien (Vadas ym. 2012) rakenteisiin. Sisällytettävien parametrien valinta perustui regressioanalyysin kertoimien tilastolliseen testiin ja mallin selityksasteen tulkintaan.

Valumaveden DRP-konsentraatio ( $C_{DRP}$ , mg/l) mallinnettiin tilastollisella mallilla

$$C_{DRP} = f(P_{pinta}, P_{min}, P_{karja})$$

missä:

$P_{pinta}$  = viljavuusanalyysin P-luku (mg/l maata) pintakerroksessa 0–2 tai 0–5 cm

$P_{min}$  = mineraalilannoituksen kokonaisfosforin vuotuinen levitysmäärä (kg P/ha/vuosi),

$P_{karja}$  = karjanlannan sisältämän kokonaisfosforin vuotuinen levitysmäärä (kg P/ha/vuosi).

Jonka jälkeen DRP:n ominaiskuormitus ( $M_{DRP}$  kg/ha/vuosi) laskettiin kaavalla:

$$M_{DRP} = C_{DRP} \times q$$

missä  $q$  = valunta mm

Kiintoainesfosfori yritettiin mallintaa vastaavasti, mutta PP-konsentraation mallintaminen osoittautui hyvin epätarkaksi. Lopullisessa muodossa PP mallinettiin suoraan ominaiskuormituslukuna MPP (kg PP/ha/vuosi):

$$M_{PP} = f(q_{pinta}, P_{karja})$$

Kokonaisfosforin  $M_{TOTP}$  ominaiskuormitus kg/ha/vuosi laskettiin DRP:n ja PP:n summana:

$$M_{TOTP} = M_{DRP} + M_{PP}$$

Aineiston vähyden vuoksi koko aineisto käytettiin mallin parametrien estimointeihin. Aineistossa oli muuttujasta riippuen 3–5 tapausta, jotka olivat merkittävästi muista poikkeavia (suurempia) konsentraatio- tai kuormitushavaintoja (DRP, PP, TOTP). Mallin kertoimet luotiin ilman näitä havaintoja ja poikkeavat havainnot päätettiin tarkastella erikseen ns. riskiolosuhteiden tarkasteluna.

Aineiston pienuudesta johtuen karjanlannan eri käsittelyvaihtoehtoja (lietteen levitysmenetelmä ja levitysjankohta) tutkittiin regressioanalyysin jäännösvirheiden (jäännösvirhe = havaittu – mallin ennuste) tarkastelun avulla. Ainoa selvästi poikkeava jäännösvirhe oli hajalevitetyyn lietteen kasvukauden lopussa tehdyn levityksen vaikutus DRP-konsentraatioon. Jäännösvirheiden perusteella (Taulukko 9) mallinnettiin korjauskerroin  $ao$  käsittelylle ( $n = 5$ ), jolloin karjanlannan P:n kerroin pintavalunnan DRP-konsentraatiolle (mg DRP/1/kg karjanlannan P) nousi arvosta 0.00525 arvoon 0.01479, kun kyseessä oli hajalevitys syksyllä.

**Taulukko 9.** Estimoidut liukoisen fosforin residuaalien arvot (DRP, kg /ha/v) erilaisille lietteen levitysjankohdan ja -levitysmenetelmien yhdistelmille. Negatiivinen = konsentraatio on alempi kuin yleismalli; positiivinen = konsentraatio on suurempi.

Levitysmenetelmä	Levitysjankohta			
	Ei lietettä	Kevät	Kesä	Syksy
Ei lietettä	-0,012			
Muokkauksessa		-0,012		
Hajalevitys				<b>0,421</b>
Letku				0,078
Sijoitus			-0,071	-0,045

DRP-konsentraatioon vaikuttavaksi tekijäksi valittiin myös väkilannoitefosforin levitysmäärä, vaikka mallissa se ei tilastollisesti ollutkaan merkitsevä (Taulukko 10). Simuloinneissa haluttiin tarkastella erilaisia fosforilannoitusvaihtoehtoja. Esimerkiksi karjanlannan fraktioinnin seurauksena sen sisältämä fosfori vastaisi käytössä mineraalilannoituksen fosforia pintalevityksenä. Tekijän sisällyttäminen laskentamenetelmään nosti mallin kokonaislevitystasetta (+1,7 %), joten lisäystä voidaan perustella myös tältä kannalta.

Kiintoaineeseen sitoutuneen PP:n mallinnus toteutettiin ominaiskuormitusarvona koeaineistossa nurmilta tulleen kiintoaineen vähäisyyden vuoksi (Taulukko 10). Vesinäytteiden matalien kiintoainepitoisuuksien (TSS, Total suspended solids) vuoksi, jopa alle määritysrajan, kiintoaineen sijaan vesinäytteistä analysoitiin haihdutusjäännös (Evaporation residue). Se sisältää eroosioaineen lisäksi mm. liuenneet kivennäiset sekä mahdollisesti orgaanista ainesta. Todellisen kiintoaineen

määräksi arvioitiin eri tavoin laskien 10–50 kg/ha/vuosi tai jopa alle (Saarnio ym. 2018), kun haihdutusjäännöksen keskiarvo aineistossa oli 123 kg/ha/vuosi. ConsEnv-mallin arvio eroosioaineen määräksi oli 385 kg/ha (karkeat kivennäismaat; Saarinen ym 2011). Ilmeisesti nurmipeitteinen kasvusto suojaa maata erittäin hyvin eroosiolta, eikä edes Jokioisten savimaan kenttä poikennut muista kentistä tässä suhteessa. Eroosion ja kiintoainesfosforin mallintamisessa on siis merkittävä ero nurmien (kasvipeitteisten) ja yksivuotisten (kasvipeitteettömien) peltolohkojen välillä.

Lopullinen pintavaluntana huuhtoutuneen kiintoainesfosforin määrä estimoitiin karjanlannan P:n ja pintavalunnan perusteella, mutta mallin selitysaste jäi hyvin heikoksi (mallin P-arvo = 0,012;  $R^2 = 0,10$ ). Kiintoaines mallinnettiin pintavalunnan funktiona, mutta silloinkaan kiintoaineksen sisällyttäminen huuhtoumamalliin ei parantanut mallien selitysasteita, joten sitä ei käytetty kiintoainesfosforin mallinnuksessa.

Lopullisen liukoisen fosforin ja kokonaisfosforin ennustemallin kuvaus on taulukossa 11 ja kuvassa 22. Tyypillisesti biologisille aineistoille vastemuuttujan hajonta kasvaa ennusteen kasvaessa, mutta residuaalien jakaumaa voidaan pitää hyväksyttävänä.

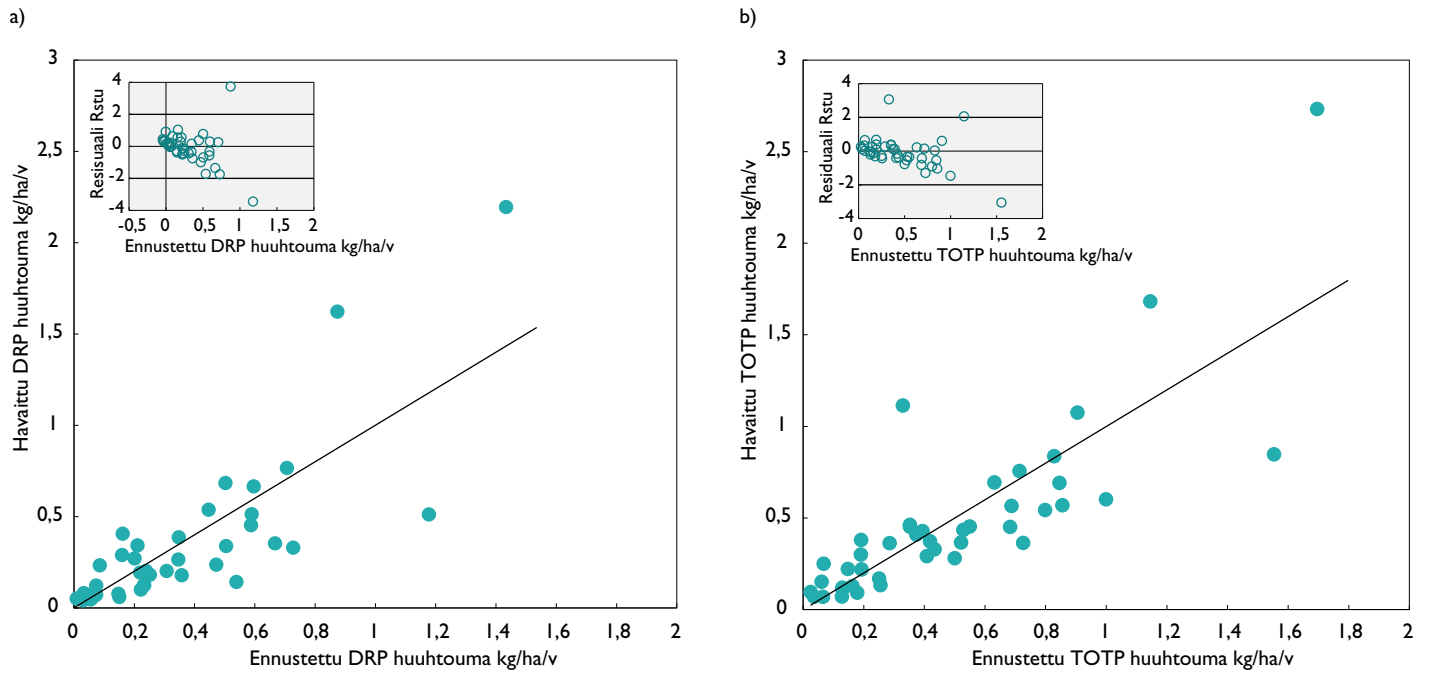
**Taulukko 10.** Fosforin huuhtoutumisriskin mallin parametrit ja niiden estimaatit, estimaattien keskivirhe ja tilastollinen merkitsevyys. DRP = liukoinen fosfori, PP kiintoainesfosfori.

	Tekijä	Estimaatti	Keskivirhe	t Value	Pr >  t
<b>DRP pitoisuus</b> mg/l	Vakio	0,0673	0,03483	1,93	0,0566
	Maan pintakerroksen P-luku, mg/l	0,01214	0,00179	6,8	<,0001
	Väkilannoitteen P, kg/ha/v	0,0009514	0,00155	0,61	0,5404
	Karjanlannan P, kg/ha/v	0,00525	0,00136	3,85	0,0002
	Korjaus syyspinta-levitykselle	0,01479			
<b>PP-huuhtoutuminen,</b> kg/ha/v	Vakio	0,03905	0,02777	1,41	0,1659
	Pintavalunta, mm	0,0006815	0,000202	3,37	0,0014
	Karjanlannan P, kg/ha/v	0,00196	0,0007649	2,57	0,0133
<b>Kiintoaine</b> <sup>1)</sup> kg/ha/v	Vakio	45,07031	21,17933	2,13	0,0386
	Pintavalunta, mm	0,6759	0,18389	3,68	0,0006

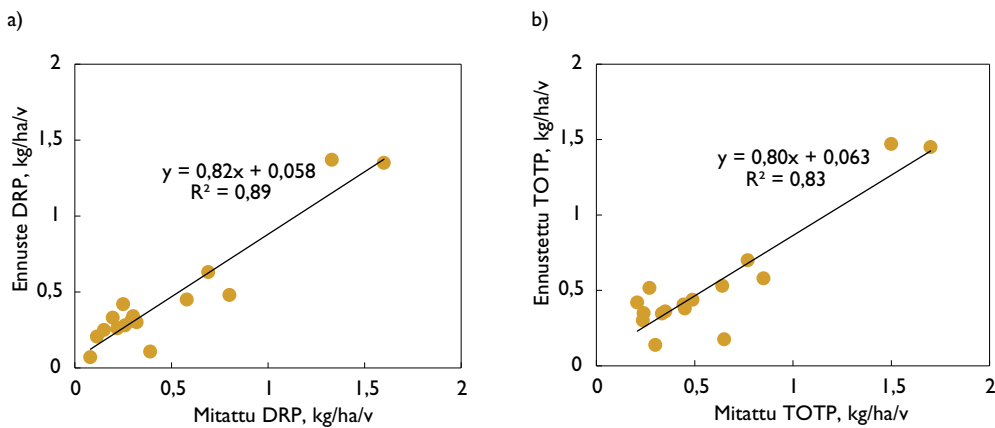
<sup>1)</sup> kiintoaine: haihdutusjäännös

**Taulukko 11.** Lopullisen mallin sopivuus aineistoon liukoisen (DRP) ja kokonaisfosforin (TOTP) ominaiskuormituksen osalta. SEE = ennusteen keskivirhe kg/ha/v,  $R^2$  = mallin selitysaste.

Tekijä	Estimaatti	Keskivirhe	t Value	P-arvo	SEE	$R^2$
Vakio	-0,093	0,058	-1,62	0,11	0,24	0,64
DRP, kg/ha/v	1,097	0,122	8,96	<,0001		
Vakio	-0,059	0,079	-0,74	0,46	0,29	0,61
TOT P, kg/ha/v	1,073	0,128	8,38	<,0001		



**Kuva 22.** Lopullisen NURMAP-ennustemallin sopivuus estimointiaineistoon. a) Liukoinen fosfori, b) Kokonaisfosfori.



**Kuva 23.** NURMAP-mallin vastaavuus pintavaluntasimulaattorilla mitattuihin fosforikonsentraatioihin. a) DRP, b) TOTP.

Mallia testattiin DRP:n ja TOTP:n osalta erillisellä aineistolla, joka saatiin Luke:n SIMU-pintavaluntasimulaattorin tutkimuksista (n = 16, kuva 23). NURMAP-malli ennusti hyvin pintavaluntasimulaattorin havaintoja, etenkin kun vaihteluväli simulaattorissa mitatussa huuhtoumassa oli käsittelyjen ansiosta huomattava.

Aineistosta poistettiin yksittäisiä poikkeavan suuria PP- tai TOTP havaintoja niiden studentisoitujen residuaalien perusteella. Hylätyn aineiston kuvaus on esitetty liitteessä 2.

## 5.4 NURMAP-tilamalli karjanlannan viljelykäytölle

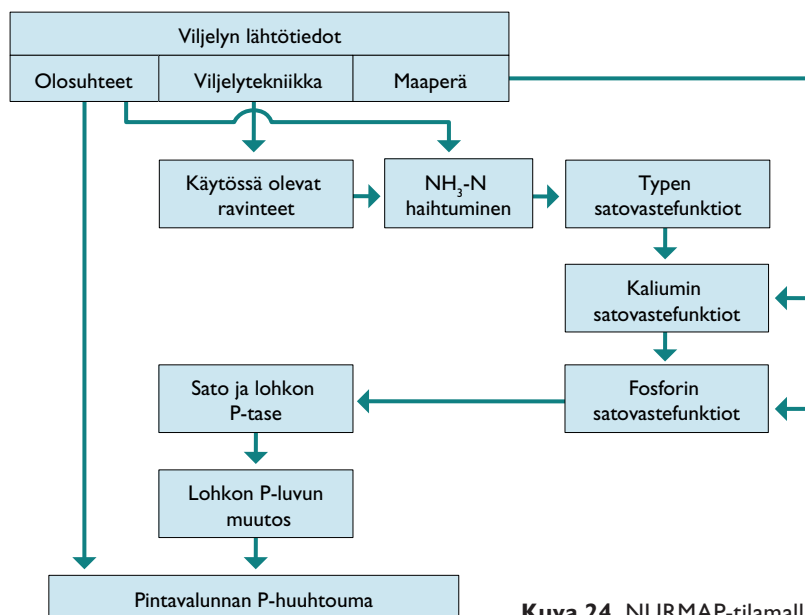
### Taustaa

Kun tarkastellaan karjanlannan käytön vaikutuksia fosforin huuhtoutumiseen pintavalunnassa, tarvitaan fosforin huuhtoutumistyökalun lisäksi myös muita tilatason ravinnekierron osia. Esimerkiksi satotaso vaikuttaa vuotuisen fosforipoistumaan ja sitä kautta maan P-lukuun ja edelleen fosforin huuhtoumaan pitkällä aikavälillä. Tämän vuoksi hankkeessa kehitetyn NURMAP-tilamalliin koottiin sellaiset keskeiset tekijät, jotka vaikuttavat nurmen satotasaan, fosforipoistumaan ja fosforin huuhtoutumiseen pintavalunnassa. Malli rajoitettiin nurmipeitevuosiin. Orgaaniset maat rajautuivat tarkastelun ulkopuolelle, koska aineistossa niitä ei ollut lainkaan. Malli siis toimii vain kivennäismailla.

NURMAP-tilamallin aineisto perustuu uusimpiin suomalaisiin N-, K- ja P- sato- vastetutkimuksiin (Salo ym. 2013, Virkajärvi ym. 2014, Valkama ym. 2017, Virkajärvi ym. 2018). Viljelytoimenpiteiden vaikutus lietalannan typen lannoitevaikutukseen perustuu suomalaisiin ja pohjoismaisiin tutkimuksiin (Mattila ym. 2003, Grönroos 2014). Maan P-luvun kehitys perustuu kahteen suomalaiseen julkaistuu malliin (Ekholm ym. 2005, Uusitalo ym. 2016), joissa kummassakin tarvitaan maan lähtötilan viljavuusanalyysin P-luku (P<sub>Ac</sub> mg/l, Vuorinen & Mäkitie 1955) ja viljelyn P-tase (kg/ha/v).

### Tilamallin rakenne

Tilamalli on MS-Excel-pohjainen ja sen rakenne on kuvassa 24.



Kuva 24. NURMAP-tilamallin rakenne.

Lähtötiedot-välilehdellä syötetään kaikki skenaariossa tarvittavat syöttötiedot (Taulukko 12). Osa syöttötiedoista on valinta-tyyppisiä (esim. maalaji, lietteen levitystapa) ja osa tiedoista syötetään arvoina (esim. pellon P-luku, mg/l maata ja pintavalunnan määrä, mm/vuosi).

**Taulukko12.** NURMAP- tilamallissa tarvittavat lähtötiedot ja valinnat (valinta).

Muuttuja	Syöttö	Yksikkö
Pellon satotasokerroin	valinta	%
N-satovaste	valinta	
Maalaji	valinta	
Pellon kaliumtila (reservi-K)	valinta	mg/l
Kyntökerroksen P-luku alussa	arvo	mg/l
Lietteen levitysmäärä	arvo	t/ha/levitys
Lietteen ravinnesisältö (tuore liete):		
Kokonaistyyppi (Ntot)	arvo	g/kg
Liukoinen tyyppi ( Nliuk)	arvo	g/kg
Kokonaisfosfori (Ptot)	arvo	g/kg
Kokonaiskalium (Ktot)	arvo	g/kg
Lisä N	arvo	kg/ha/v
Lisä P	arvo	kg/ha/v
Lisä K	arvo	kg/ha/v
Levitystapa	valinta	
Levitysaika	valinta	
Haihtumisolosuhteet	valinta	
Nurmen uusimisikä	valinta	v
Nurmen uusimismenetelmä	valinta	
Pintavaluma yhteensä	arvo	mm/v

Tulokset -välilehdellä esitetään tulokset 20 vuoden viljelylle. Sen ohella saadaan myös simuloinnin keskeisimmät lähtötiedot.

Viljelyn ravinteet -välilehdellä lasketaan eri lähteistä tulevien ja kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrät. Lietteen osalta tässä huomioidaan eri levitysmenetelmien (hajalevitys, letkulevitys, sijoitus, letku + happokäsittely) ja -aikojen (kevät-, kesä- ja syyslevitys; syyslevitys on viimeisen sadonkorjuun jälkeen tehty levitys) vaikutus lietalannan liukoisen eli ammoniumtyypen määrään levityksen aikaisen ammoniakkin haihtumisen jälkeen. Myös eri haihtumisolosuhteiden vaikutusta voi simuloida kertoimen avulla.

Lietteen tyyden osalta realistisempi tapa olisi käyttää sadontuottovaikutusta (Nitrogen fertilizer replacement value) verrattuna väkilannoitetyyppeen (Mattila ym. 2003, Cavalli ym. 2016, van Middlekoop & Holshof 2018). Tämä siksi, että lietalannan liukoinen tyyppi ei ole haihtumistappioiden huomioimisen jälkeenkään nurmen sadontuotannossa täysin samanarvoista kuin mineraalityppi. Ilmiöön on useita syitä. Tyyppi ei vapaudu sadon tuoton kannalta optimaalisella hetkellä vaan myöhemmin, jolloin se nostaa lähinnä nurmen tyypipitoisuutta (ja siksi tyypitaseet voivat olla matalia). Orgaanisten lannoitteiden mukana maahan tulee myös hiiltä, joka voi kiihdyttää maan mikrobiaktiivisuutta, jolloin tyyppiä sitoutuu maahan (Cavalli ym. 2016). Lietteen tyyden muunnosta todelliseksi sadontuottovaikutukseksi ei kuitenkaan pystytty tekemään hankkeen puitteissa. Tyypitase laskettiin lietteen kokonaistyyden perusteella, josta on vähennetty ammoniumtyypen haihtumistappiot.

Tyyden, kaliumin ja fosforin satovaste -välilehdillä lasketaan nurmen satovaste kasveille käyttökelpoisille ravinteille satovaikutukseltaan hierarkkisesti järjestyksessä tyyppi, kalium ja fosfori. Tyyden osalta malliin voidaan valita joko vanhoihin, laajoihin aineistoihin perustuva satofunktio (Salo ym. 2013; kivennäismaat ja orgaaniset maat) tai uusiin, mutta suppeampiin aineistoihin perustuva satofunktio (Virkajärvi ym. 2018; vain kivennäismaat). Sadon raakavalkuaisen (RV) pitoisuus lasketaan Virkajärven ym. (2018) perusteella. Koska tutkimukset on tehty ilman karjanlantaa

pellolla, jotka eivät ole ennen koevuosiakaan saaneet karjanlanta, on koeaineistojen RV-pitoisuus selvästi alempi kuin mitä havaitaan samalla lannoituksella saaduissa maatala-aineistoissa. Mallissa täksi eroksi on oletettu 15 g RV/kg kuiva-ainetta. Tämä vaikuttaa mallin tyypitaseen laskentaan, joka on korjauksen ansiosta realistisempi.

Annetun typen määrän perusteella estimoitu sato toteutuu, jos nurmen kaliumin tai fosforin saanti ei rajoita satoa. Seuraavassa vaiheessa estimoidaan satovähennys silloin, kun kalium ei riitä maksimisadon tuottoon. Tässä maat on jaettu kahteen ryhmään maan reservikaliumin mukaan, joka kuvaa paremmin nurmen kaliuminsaantia kuin viljavuuskalium (Virkajärvi ym. 2014). Vähennys tehdään suhdelukuna maksimisaatona nähden Virkajärven ym. (2014) satofunktioiden perusteella.

Lopuksi typen ja kaliumin riittävyyden perusteella lasketulle sadolle tehdään vastaava vähennys fosforin riittävyyden perusteella (P lannoituksen meta-analyysi; Valkama ym. 2009), minkä tuloksena saadaan lopullinen vuotuinen kuiva-ainesato. Sadon P-pitoisuus on toistaiseksi vakio, koska sääolosuhteet vaikuttavat sadon P-pitoisuuteen enemmän kuin maa tai lannoitus. Lopuksi lasketaan fosforipitoisuus ja pellon fosforitase (kg P/ha/vuosi).

Maatala-aineistojen satotaso poikkeaa yleisesti tutkimusruutujen satotasosta. Myös maatalojen ja peltolohkojen satopotentialissa on huomattavia eroja. Tämän vuoksi mallissa on mahdollista käyttää satotasokerrointa, jonka peruspiste on 0,70 eli tyypillisesti maataloilla saadaan samalla lannoituksella n. 70 % siitä sadosta, joka saadaan viljavien tutkimuspeltojen pienillä 12 m<sup>2</sup>:n koeruuduilla. Luku perustuu Luke Maaningan sisäiseen vertailuun virallisten lajikekoesatojen ja Luke Maaningan maatilasatojen välillä. Maataloilla tehtyjen satopunnitusten perusteella päädytään kutakuinkin samaan tulokseen (Kajava ym. 2019), mutta myös maataloilla on mitattu koesatoja vastaavia satoja (Korhonen 2011).

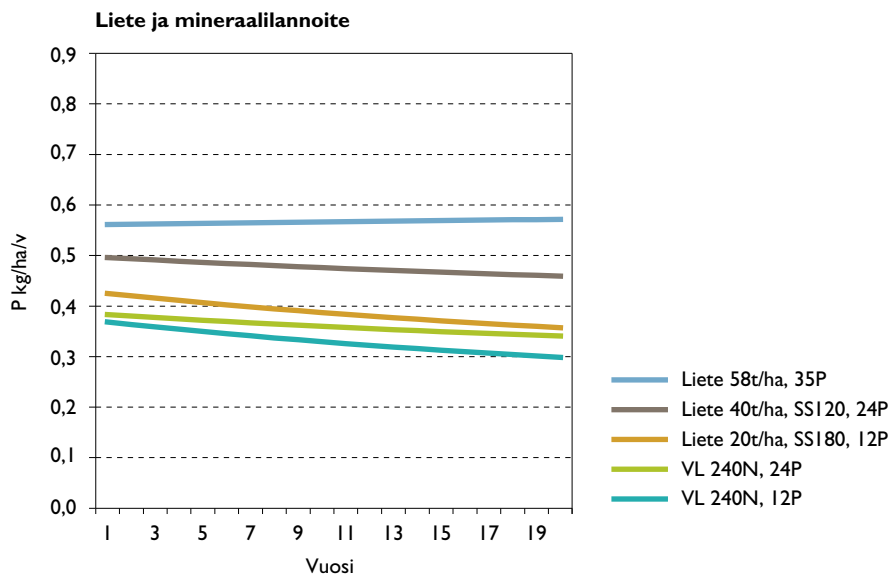
Maan P-luvun kehitys -välilehdellä lasketaan annettujen tietojen perusteella maan pintakerroksen P-luvun kehitys Ekholmin ym. (2005) ja Uusitalon ym. (2016) malleilla, joista Uusitalon malli toimii kaikilla maalajeilla. Ekholmin malli ei huomioi maalajia, mutta toimii matalilla P-pitoisuuksilla (< 8 mg/l) loogisemmin kuin Uusitalon (2016) malli, jossa mallin epälineaarisuus aiheuttaa epätarkkuutta. Välilehti sisältää myös P-luvun kerrostumisestimaatin huuhtoutumiskerrokselle (STP\_a; 0–5 cm) ja kyntökerrokselle (STP\_pl; 0–25 cm). Fosforin kerrostumisen mallinnustyö on parhaillaan menossa ja siksi mallissa on toistaiseksi käytetty aineiston keskiarvoa 1,2 (n = 26, SD = 0,29 mg/l). Toisin sanoen maan pintakerroksen viljavuus-P oli 1,2 -kertainen koko kyntökerroksesta määritettyyn fosforipitoisuuteen verrattuna. Malli estimoi maan pinta- ja kyntökerroksen P-luvun kehityksen 20 vuoden ajalle.

P-huuhtouman laskenta -välilehdellä estimoidaan erikseen pintavalunnan liukoisen fosforin konsentraatio valumavedessä (mg/l) sekä syöttötiedoissa annetun valunnan perusteella lasketut pintavalunnassa huuhtoutuneiden liukoisen fosforin sekä kiintoaines- että kokonaisfosforin määrät (kg/ha/v) ja lisäksi liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista. Välilehdellä on myös empiirisen tilastomallin estimoidut kertoimet selittävälle muuttujille (ks. luku 5.2).

### Simulointiesimerkkejä erilaisten viljelytekniesten valintojen vaikutuksesta fosforin huuhtoutumiseen pintavalunnan mukana

Tilamallin avulla vertailtiin erilaisia viljelijän valintoja ja niiden vaikutuksia fosforin huuhtoutumiseen pintavalunnassa nurmipeitevuosina kivennäismailta. Maan viljavuusfosforin ollessa merkittävässä roolissa huuhtoutumisen kannalta ja sen reaktioiden ollessa hitaita, on tarkastelu tehty 20 vuoden aikajänteelle. Selvyiden vuoksi huuhtouma esitetään etupäässä kokonaisfosforin vuotuishuuhtoumana (kg/ha/v).

Kuvassa 25 vertaillaan erilaisia fosforilannoitusmääriä ja -muotoja. Lähtötilanteessa pellon kyntökerroksen P-luku on 11 mg/l, joka on Pohjois-Savon peltojen keskiarvo



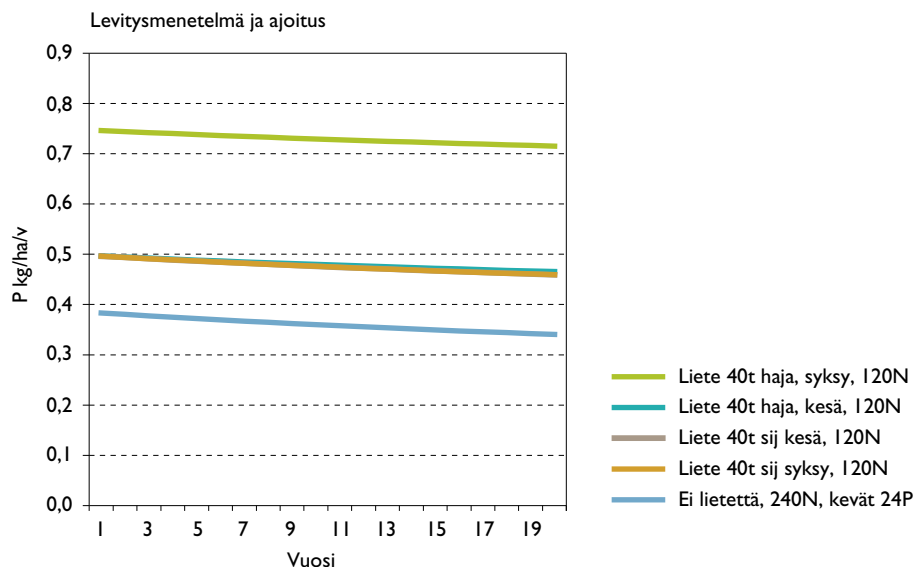
**Kuva 25.** Typen ja fosforin käyttömäärien sekä lähteiden simuloitu vaikutus pintavalunnan kokonaisfosforin huuhtoumaan nurmipeitevuosina. VL= väkilannoite, SS= suomensalpietarina annettu N.

vuosilta 1996–2016 (Lemola ym. 2018). Suurin kuormitus muodostuu annettaessa nautan lietelantaa 58 t/ha, mikä on tässä nitraattiasetuksen mukainen maksimi (karjanlannan kokonaistyppeä 170 kg/ha/vuosi). Jos tätä menettelyä jatkettaisiin, huuhtoutuneen fosforin määrä kasvaisi vuosien kuluessa hieman.

Kun lietettä käytetään 40 t/ha (sisältää 24 kg P/ha), ja liukoista typpeä täydennetään mineraalityypellä (120 kg N/ha), putoaa P-kuormitus alussa n. 10 % ja lisäksi kuormituksella on laskeva trendi. Puolitettaessa lietteen määrä ja lisääessä vastaavasti mineraalityypen määrää vähenee kuormitus edelleen. Kuormitus vähenee edelleen hieman, kun sama määrä fosforia (12 tai 24 kg P/ha/v) ja typpeä (240 kg N/ha/v) annetaan pelkästään mineraalilannoitteena. Tämän skenaarion perusteella lietteen ravinteiden fraktiointi vähentäisi fosforin kuormitusriskiä parhaimmillaan 32–34 % heti ja pidemmällä aikavälillä 40–48 % (suora vaikutus, kaikki lanta fraktioidaan).

Lietelannan fosforin sitoutuminen maahan on heikompaa kuin väkilannoitefosforin, koska fosfaatin kanssa kiinnityspaikoista kilpailevat myös humuksen ja pienimolekyylisten orgaanisten happojen anionit (Øgaard 1996, Jiao ym. 2007). Lisäksi pienet väkilannoiterakeet jakautuvat maahan tasaisemmin ja pääsevät helpommin kontaktiin maan pinnan kanssa kuin lietelanta. Mahdollisesti lietelannan fosforin sitoutuminen maahan voi heikentyä myös väkilannoitusta heikomman maakontaktin vuoksi esimerkiksi kuivissa olosuhteissa. Myös se, että mineraalilannoitus annetaan keväällä, voi olla yksi syy karjanlantaan nähden: sillä on pidempi aika sitoutua maahan ja olla kasvien käytettävissä.

Lietteen levitysmenetelmien ja -ajankohtien vaikutus fosforin huuhtoutumisriskiin eroaa lähinnä siten, että syksyllä kasvukauden lopussa hajalevitykseen liittyy suurin kuormitusriski, muiden levitysmenetelmien tai -aikojen välillä ei havaittu merkittäviä eroja (Kuva 26). Kyseinen syyslevitys ei olekaan mahdollista toteuttaa Nitraattiasetuksen (VnA 1254/2015) nojalla. Asetuksen mukaan syyslevityksen maksimi on 35 kg liukoista N/ha. Lannanlevitys on kielletty marraskuun alusta maaliskuun loppuun. Kasvipeitteisenä talven yli pidettäville peltolohkoille lantaa ja orgaanista lannoitevalmistetta saa syyskuun 15. päivästä eteenpäin levittää vain sijoittamalla, ellei kyseessä ole syksyllä kylvettävän kasvin kylvöä edeltävä lannan levitys. Säännöksellä on saatu siis huomattava ympäristöhyöty, koska pelkästään syksyn levityksen osalta vähennys kokonaisfosforin huuhtoumaan on luokkaa 35



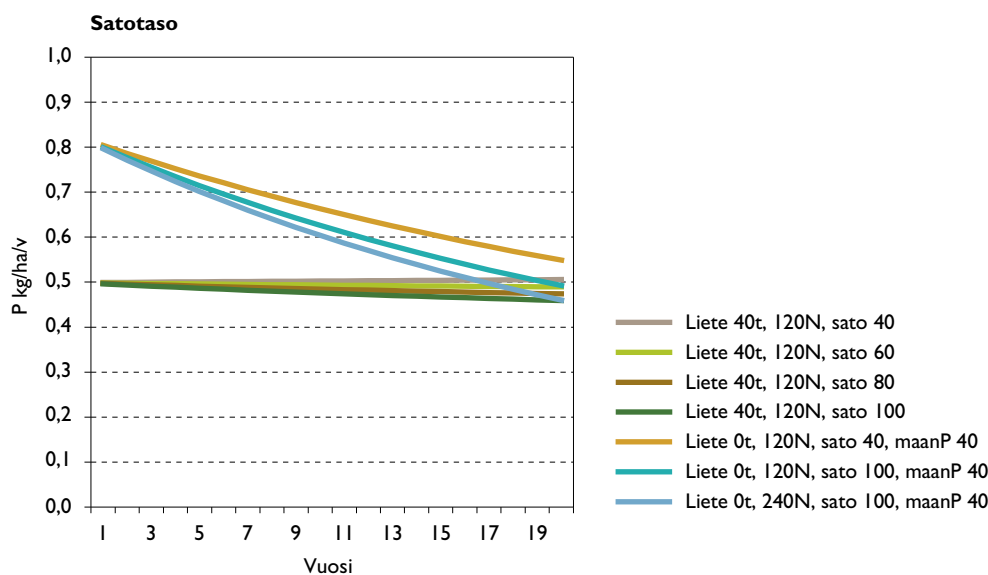
**Kuva 26.** Lietteen levitysmenetelmien ja ajoitusten simuloitu vaikutus kokonaisfosforin huuhtoumaan pintavalunnassa nurmipeitevuosina kivennäismailla. Lietekokeissa on lisätynpeä (N) 120 kg/ha. Ei lietettä kokeessa typen kokonaismäärä 240 kg/ha ja fosforin (P) 24 kg/ha.

%. Talvilevitystä ei simuloitu, mutta sen estämisellä on jo saavutettu vieläkin suuremmat hyödyt (Turtola & Kemppainen 1998).

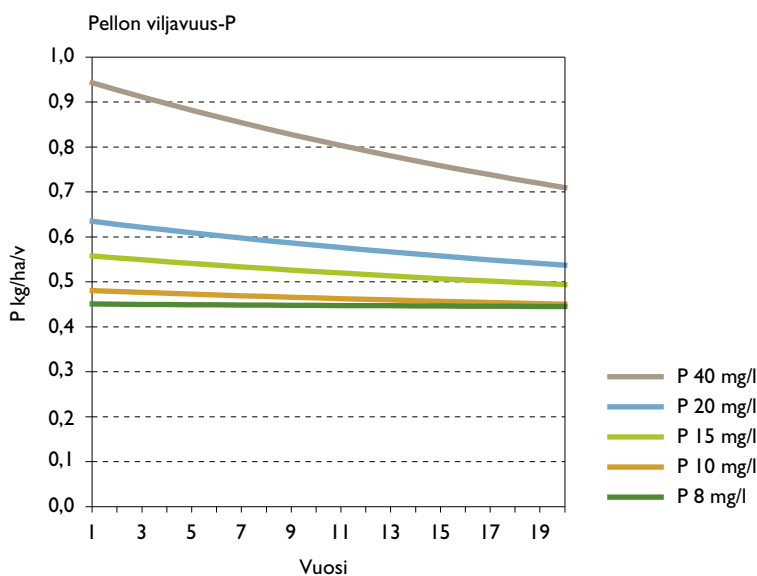
Mallin tarkkuus ei toistaiseksi riitä kaikkien levitysvaihtoehtoihin liittyvien huuhtoumariskien osoittamiseen. Tällaiset erot ovat todennäköisiä, mutta ne eivät tässä aineistossa tulleet riittävän vahvasti esille. On perusteltua olettaa, että levitysmenetelmien erot eivät näy silloin, kun olosuhteet ovat hyvät karjanlannan fosforin sitoutumisen kannalta tai levitysmäärät ovat pieniä (Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski 2008, Rätty ym. 2019).

Suomessa erilaisia vertailuja on tehty eri vuosina, eri paikkakunnilla ja eri olosuhteissa ja siten aineistot eivät ole täysin yhteismitallisia. Mallissa kuormitus riippui hyvin selvästi maan pintakerroksen P-luvusta, kun taas viljelyvuoden toimenpiteiden vaikutus jäi vähäisemmäksi. Maan P-luku puolestaan muuttuu hitaasti, koska se edustaa vain pientä osaa maan kokonaisfosforipoolista (Peltovuori 2006). Siten eri levitysmenetelmien tai aikojen epäsuorat vaikutukset (typen hyväksikäyttö, sadon määrä, fosforitase) tulevat ilmi hitaasti. Samoista syistä ammoniakkin haihtumisen simuloitu vaikutus kokonaisfosforin huuhtoumaan jäi vähäiseksi – periaatteessa han kyse on siitä, että mitä vähemmän ammoniakkia haihtuu, sitä enemmän sitä jää kasvien käyttöön, jonka seurauksena kuiva-ainesadon sekä fosforin poistuman pitäisi olla suurempia ja vastaavasti fosforin huuhtoutumisen pitäisi pienentyä. Joka tapauksessa, ainoastaan hajalevitys haihtumista suosivissa olosuhteissa lisää fosforinhuuhtoutumisriskiä selvästi, kun taas lietteen sijoituksen edut jäivät odotettua pienemmiksi. Epävarmuuksista johtuen malli kaipaa ehdottomasti tarkennuksia kuormituserojen osoittamiseksi. Käytännössä tämä vaatii lisää kokeellista tutkimusta. Jatkossa tarkastelussa olisi syytä ottaa huomioon myös lietteen eri levitys- ja käsittelymenetelmien kustannusvaikutukset.

Kuvasta 27 nähdään, että oletusten vastaisesti suuri sato ja sen myötä alhaisempi fosforitase ei matalalla lähtöpitoisuudella (maan P 11 mg/l) johda kovin nopeasti maan P-luvun laskuun niin, että se näkyisi kuormituksen vähenemisenä. Jos lähtötilanteessa maan P-pitoisuus olisi 40 mg/l, eikä viljelyssä käytettäisi lainkaan lietettä, huuhtoutuneen fosforin pitoisuus alenisi 20 vuoden aikana 30–40 %. Typpitasen nostaminen tasolta 120 kg/ha tasolle 240 kg/ha vähentäisi vuosittain huuhtoutuvan fosforin määrää edelleen 20 vuoden aikana 4 %.



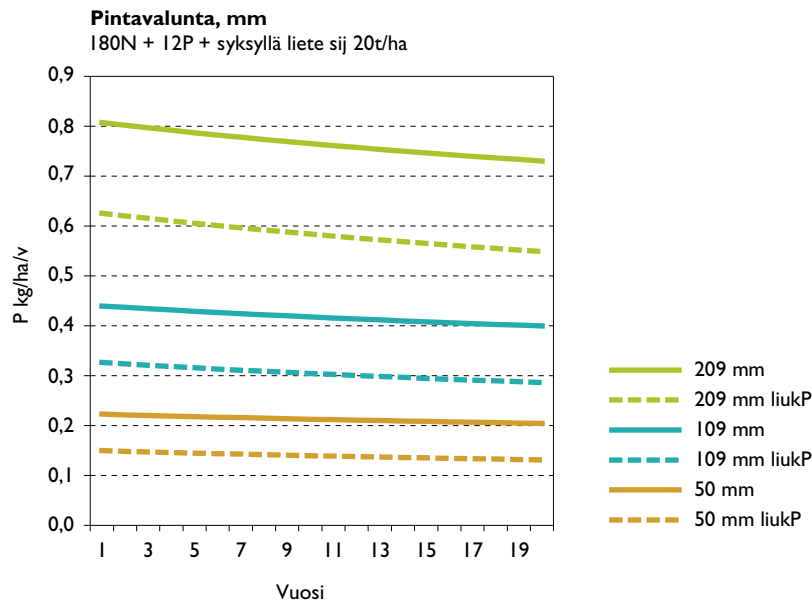
**Kuva 27.** Pellon satopotentialin (satotason) simuloitu vaikutus kokonaisfosforin huuhtoumaan pintavalunassa nurmipeitevuosina kivennäismailta. Pellon satotaso ilmoitettuna indeksilukuna ("sato 100" = pelto tuottaa 70% kenttäkoeaineistojen sadosta vastaavilla lannoituksilla, mikä on tyypillinen maatila- ja koeruutusatojen välinen ero nurmiviljelyssä (Nousiainen ym. 2011).



**Kuva 28.** Maan viljavuusfosforin pitoisuuden vaikutus kokonaisfosforin huuhtoumaan nurmipeitevuosina. Kaikissa vaihtoehdoissa nurmelle annetaan 40 tn/ha naudan lietelantaa (sijoittaen), jossa 24 kg P ja 76 kg/ha liukoista typpeä sekä lisäksi väkilannoitetyypeä 120 kg/ha.

Mallinnuksen perusteella kaliumlannoitus vähentää kuormitusriskiä pitkällä aikavälillä hieman, jos maan kaliumtila on heikko. Tässäkään tapauksessa sadonlisän aiheuttama alhaisempi fosforitase ei kuitenkaan johda kovin nopeasti maan P-luvun laskuun niin, että se näkyisi kuormituksen merkittävänä vähenemisenä.

Kuvasta 28 nähdään, että peltomaan viljavuusfosforiluku vaikuttaa oleellisesti kokonaisfosforin huuhtoumaan. Alimpien P-lukujen, 8 ja 10 mg P/l maata, välillä ero ei ole merkittävä, mutta 20 mg/l ja erityisesti 40 mg/l fosforilukujen lohkot kuormittavat selvästi enemmän kuin tyypillinen 10 mg/l. Lohkon lannoitustasot laskennassa olivat lietettä 40 t/ha sijoittaen kesällä ja lisätyypeä 120 kg N/ha. Tässä skenaariossa kalium ei rajoittanut satoa.



**Kuva 29.** Pintavalunnan vaikutus huuhtoutuvan kokonaisfosforin ja liukaisen fosforin määrään nurmivuosina. Skenaariossa nurmi on saanut väkilannoitetyyppeä 180 kg/ha/v ja väkilannoitefosforia 12 kg/ha/v sekä sallitun lieteannoksen 20 t/ha, jossa fosforia 12 kg/ha, sijoitettuna syksyllä.

Lannan fraktiointi N- (tai NK) ja P -jakeisiin voisi osaltaan vähentää levitystarvetta korkean P- luokan lohkoille ja vähentää myös tätä kautta fosforinkuormitusta. Nautakarjatiljoilla 40 mg/l P -luvut ovat harvinaisia, joskin havaintoaineistoja on vähän. Tilanne voidaan hahmotella epäsuorasti Lemolan ym. (2018) kattavan selvityksen perusteella, jossa Pohjois-Savon alueella vain 3,4 % pelloista kuuluu korkeaan ja 1 % arveluttavan korkeaan P-luokkaan, mikä vahvistaa johtopäätöstä nautakarjatiljojen P-lukujen maltillisuudesta.

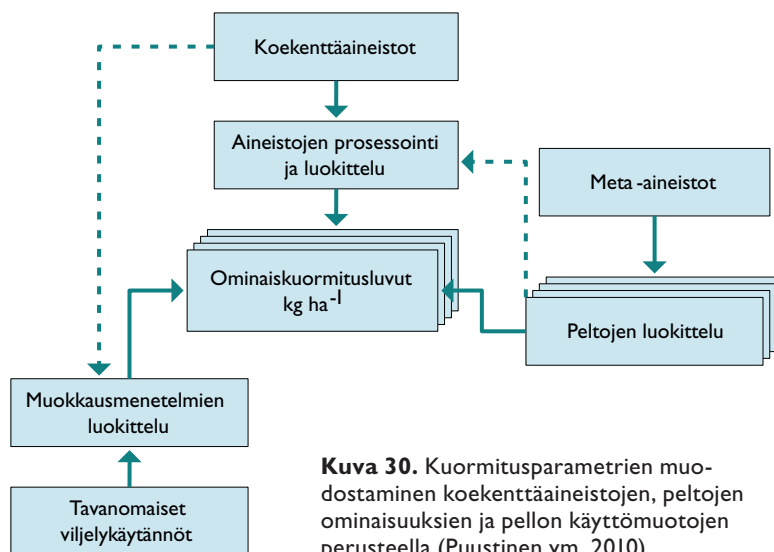
Valunnan vaikutus fosforin huuhtoutumiseen on tunnetusti merkittävä. Kuvassa 29 pintavaluntaa on simuloitu 3 eri tasolla, joista 109 mm edustaa NURMAP-aineiston keskimääräistä valuntaa. Skenaariossa nurmi on saanut väkilannoitetyyppeä 180 kg/ha/v ja väkilannoitefosforia 12 kg/ha/v sekä sallitun lieteannoksen 20 t/ha (jossa fosforia 12 kg/ha) sijoitettuna syksyllä. Vähäisen valuman olosuhteissa fosforin huuhtouma noin puolittuu ja suuren valuman olosuhteissa huuhtouma lisääntyy noin 83–84 %.

## 5.5 Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli VIHMA ja sen jatkokehitys

Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli, VIHMA, on kehitetty peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen ja maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten arviointiin. Mallissa peltotoimenpiteiden vaikutusparametrit eli mallin ominaiskuormitusluvut (muokkauskäytännöt, talviaikainen kasvipeitteisyys) perustuvat pitkän aikavälin koekenttätutkimuksiin (Puustinen ym. 2010). VIHMAan peltoluokkia (maalajiryhmät, kaltevuusluokat, P-lukuluokat) ja viljelykäytön yhdistelmiä vastaavat keskimääräiset ominaiskuormitusluvut sekä erilaisia hydrologisia vuosia vastaavat keskimääräiset minimi- ja maksimiarvot on johdettu kokeellisista aineistoista (Kuva 30). Malli laskee valuma-alueilta tulevan peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen ja kuormituksen keskimääräisen vuosivaihtelun alueen peltojen ominaisuuksien perusteella. Sillä voidaan siis vertailla erilaisten hydrologisten vuosien – ja siten arvioida ilmastonmuutoksen – vaikutuksia kuormitukseen.

**Taulukko 13.** Peltoalajakauma maalajiryhmien ja kaltevuusluokkien muodostamissa peltoluokissa (Puustinen ym. 2010).

Maalajiryhmä	Kaltevuusluokka (%)					Total
	<0,5%	0,5–1,5%	1,5–3%	3–6%	>6%	
Savimaat	12,8	9,2	6,8	3,7	2,2	34,7
Hiesumaat	5,3	4,1	3,3	2,0	1,3	16,0
Hietamaat	11,5	8,6	7,3	4,4	3,2	35,0
Orgaaniset maat	9,1	2,9	1,8	0,3	0,2	14,3
Yhteensä	38,7	24,8	19,2	10,4	6,9	100



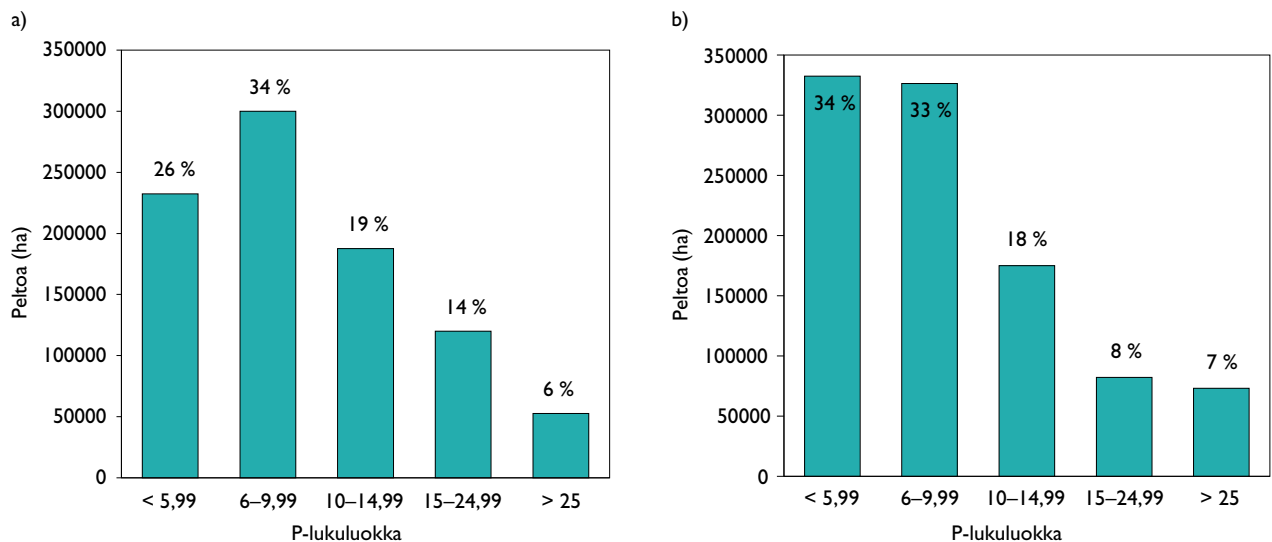
**Kuva 30.** Kuormitusparametrien muodostaminen koekenttäaineistojen, peltojen ominaisuuksien ja pellon käyttömuotojen perusteella (Puustinen ym. 2010).

VIHMA:ssa peltolohkot on luokiteltu viiteen kaltevuusluokkaan ja neljään maalajiryhmään (Taulukko 13). Luokittelut perustuvat KUTI-tutkimukseen (Puustinen ym. 1994).

VIHMA:ssa suojavyöhykkeiden vaikutukset perustuvat suojavyöhykkeettömän ja -vyöhykkeellisen lohkon kuormituseroihin. Oletuksena on, että suojavyöhyke on noin 15 metriä leveä kaistale pinta-alaltaan keskimääräisellä, eli 2,2 ha kasvulohkolla. Tällä kuvattiin aiemmillä ohjelmakausilla määriteltyjen suojavyöhykkeiden vaikutuksia. Nykyisellä ohjelmakaudella (2014–2020) suojavyöhykkeet voivat kattaa koko kasvulohkon. Kosteikkojen vaikutukset perustuvat kosteikon pinta-alan ja yläpuolisen valuma-alueen pinta-alojen väliseen suhteeseen. Mitä suuremmaksi kosteikon pinta-ala kasvaa suhteessa valuma-alueen pinta-alaan, sitä suuremman osuuden kosteikko laskennallisesti pidättää siihen tulevasta kiintoaine- ja ravinnekuormasta.

Toteutettujen ympäristötoimenpiteiden vaikutusten arvioimisen lisäksi malliin voidaan syöttää lähtötilanteen lisäksi erilaisia toimenpidevaihtoehtoja ja skenaarioita, ja arvioida näiden vaikutuksia vesistökuormitukseen. Malli soveltuu myös suunnittelun välineeksi. Mallia on sovellettu GisBloom hankkeessa pilottialueilla (Väisänen toim. 2013) sekä ns. keskitetyissä arvioinneissa vesienhoidon suunnittelun työkaluna.

VIHMAN ominaiskuormitusluvusta liukoisen fosforin huuhtoutumisriskiä kuvaavia kolmea P-lukuluokkaa ( $P = < 8 \text{ mg/l}$ ,  $8\text{--}14 \text{ mg/l}$  ja  $>14 \text{ mg/l}$ ) tarkennettiin tässä hankkeessa 5-portaiseksi (Kuva 31). Aiemmin koko maan peltoalasta alimmas- sa P-lukuluokassa oli peltoalaa noin 45 %, keskimmaisessä 25 % ja korkeimmassa luokassa 30 % (Puustinen et al. 1994) ja siten luokittelu oli ongelmaan verrattuna karkea. Kuvassa 31 on esitetty peltoalan jakautuminen uusiin P-lukuluokkiin vuosien



**Kuva 31.** Peltoalan jakautuminen VIHMAN viiteen eri P-lukuluokkaan a) 2000–2010 ja b) 2011–2017 aineistojen perusteella.

2011–2017 ja 2000–2010 aineistojen perusteella. Uusimassa aineistossa pienimmän P-lukuluokan osuus on kasvanut 26 %:sta 34 %:iin. Vastaavasti toiseksi korkeimman P-lukuluokan osuus on vähentynyt 14 %:sta 8 %:iin.

P-lukuluokkien tarkemman porrastuksen jälkeen mallilla saadaan tarkempi kuva liukoisen fosforin huuhtoutumisesta ja arvioitua eri ratkaisuvaihtoehtojen vaikutusta kuormitukseen valtakunnallisella ja alueellisella tasolla mm. kipsin käyttö, P-lukujen alentaminen.

Liukoisen fosforin pitoisuuden ennustearvo (Taulukko 14) eri kasvipeitteisyys vs. muokkauksikäsitellyissä perustuu VIHMAN ominaiskuormituslukuihin. Maaveden ja/tai valuntaveden keskimääräinen pitoisuus siis kasvaa P-lukujen noustessa ja muokkauksen keventyessä kohti nurmea ja suorakylvöä.

**Taulukko 14.** Liukoisen fosforin ennustearvo valuntavedessä (mg/l) eri P-lukuluokissa luokkakeskiarvon kohdalla.

Muokkaus vs. kasvipeitteisyys	Liukoisen fosforin pitoisuuden ennustearvo eri P-lukuluokissa				
	4,6	8,3	12,7	19,5	46,5
Syyskyntö	0,050	0,088	0,137	0,210	0,500
Syvä sänkimuokkaus	0,062	0,117	0,184	0,287	0,702
Matala sänkimuokkaus	0,063	0,117	0,182	0,252	0,588
Muokattujen keskiarvo	0,058	0,107	0,168	0,249	0,597
Syysvehnä	0,051	0,090	0,139	0,212	0,503
Talviaikainen sänki	0,065	0,142	0,232	0,359	0,917
Suorakylvö (syys)	0,165	0,257	0,364	0,527	1,300
Pysyvä nurmi	0,137	0,199	0,271	0,372	0,733

## 5.6 Eräiden toimenpiteiden kustannustehokkuuden vertailua

Kustannustehokkaiden toimenpiteiden valintatyökalu eli KUTOVA on kehitetty Suomen ympäristökeskuksessa (Kunnari 2008, Marttunen ym. 2012 ) arvioimaan yksittäisten vesiensuojelutoimenpiteiden kustannustehokkuutta (Taulukko 15) ja

**Taulukko 15.** Eräiden toimenpiteiden fosforikuormituksen kustannustehokkuuksien minimi- keskiarvo ja maksimikustannuksia.

	Toimenpide	Kustannustehokkuus (€/P kg)		
		Min	Ka	Max
<b>Maa- talous</b>	Pienet kosteikot (<0,5 ha), 30–50 % peltoa	150	200	240
	Keskikokoiset kosteikot (0,5–2 ha), 20–30 % peltoa	200	300	360
	Keskikokoiset kosteikot (0,5–2 ha), 30–50 % peltoa	120	180	220
	Keskikokoiset kosteikot (0,5–2 ha), > 50 % peltoa	100	110	130
	Suuret kosteikot (> 2 ha), 30–50 % peltoa	110	150	180
	Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, <0,5% kaltevuus	660	990	1400
	Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, 0,5–1,5% kaltevuus	490	630	890
	Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, 1,5–3,0% kaltevuus	280	360	520
	Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, 3,0–6,0% kaltevuus	120	160	230
	Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, >6,0% kaltevuus	70	90	130
	Säätösalaajitus	340	1500	2700
	Ravinnetaseen hallinta	290	440	520
	<b>Metsä- talous</b>	Hakkuualueiden suojavaojoikeus	60	130
Metsätalouden putkipadot		20	40	50
<b>Haja- asutus</b>	Viemäroinnin laajentaminen haja-asutusalueille	830	2300	4500
	Uudet haja-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	480	1300	2600
	Uudet loma-asutuksen kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelyjärjestelmät	200	570	1100
<b>Turve- tuotanto</b>	Pintavalutuskenttä pumppaamalla (kesä/yritysvuotinen)	430	880	1300
	Pintavalutuskenttä (ei pumppausta)	100	202	310
	Virtaaman säätö	109	220	330
	Kemiallinen käsittely	670	1300	2000

fosforikuormituksen vähennyspotentiaalia. Sillä voidaan myös muodostaa kustannustehokkaita toimenpideyhdistelmiä ja laskea niihin valittujen toimenpiteiden kustannukset sekä yhteisvaikutus kuormitukseen. KUTOVA-työkalu sisältää toimenpiteitä maatalouden, metsätalouden, haja-asutuksen ja turvetuotannon sektoreilta. Työkalulla voidaan esimerkiksi arvioida miten toimenpiteitä kannattaa suunnata ja mihin toimenpiteisiin kannattaa panostaa rajallisia resursseja. KUTOVA soveltuu parhaiten valuma-alueen nykykuormituksen ja erilaisten toimenpideyhdistelmien kuormitusvähennysten ja kustannusten vertailuun (Väisänen toim. 2013, Hjerpe & Väisänen 2015).

Kuten VIHMAlla, myös KUTOValla lannoituksen vesistövaikutuksia arvioidaan fosforikuormituksen osalta peltojen P-lukujakauman avulla. KiertoVesi-hankkeessa KUTOVAan ei tehty yllä kuvattua muutosta P-lukujen jakamisesta viiteen luokkaan. Karjanlannan viljelykäytön kustannustehokkuutta voidaan arvioida KUTOVALLA ravinnetaseen muutosten kautta. KUTOVAN kehittämistyön pilottialueilla ravinnetaseen hallinnan kustannustehokkuus vaihteli 290–520 €/P kg välillä, ollen keskimäärin 440 €/P kg (Hjerpe ym. 2013). Tämä on maatalouden toimenpiteiden

osalta hieman keskimääräistä huonompi kustannustehokkuusluku. Yleisesti kustannustehokkaimpia toimenpiteitä ovat peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys ja monivuotiset nurmet kaltevilla (kaltevuus >3%) pelloilla (n. 50–150 €/P kg), myös maatalouden vesiensuojelukosteikkojen kustannustehokkuus (110–300 €/P kg) on keskimäärin ravinnetaseiden hallintaa parempi.

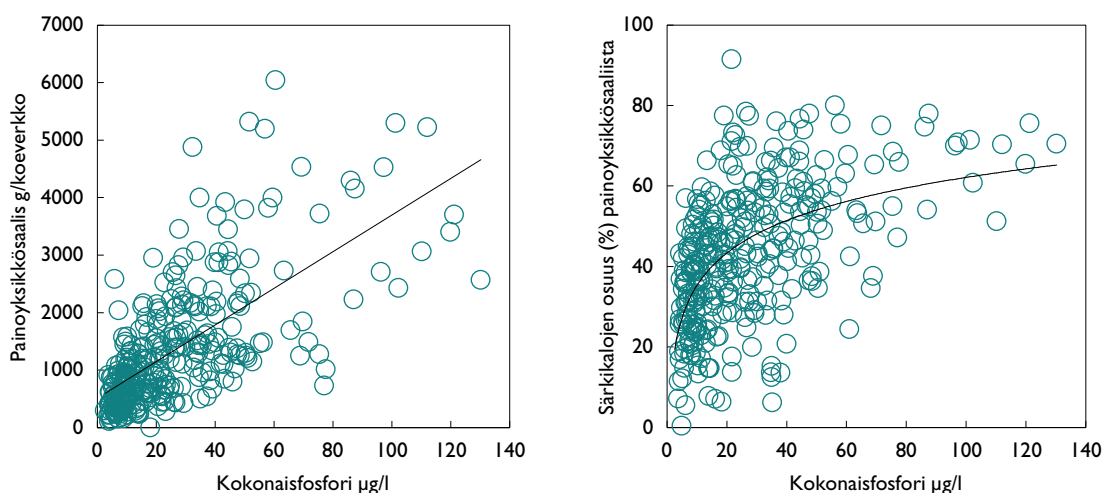
Mikäli saatavilla on tarkempi arvio lannan viljelykäytön kustannustehokkuudesta verrattuna mineraalivalmisteisiin, voidaan tätä arviota myös vertailla yllä esitettyihin lukuihin. KUTOVAssa ravinnetaseen hallinta toimenpiteen kustannukset on oletettu olevan 50€/ha, mikä on vesienhoidon suunnittelussa ko. toimenpiteelle määritetty kustannus. Vaikuttavuuden arvioissa laskettiin VIHMAlla ravinnekuormituksen muutos, kun peltojen P-lukujakauma muuttuu nykytilanteesta sellaiseksi, että 50 % on luokassa <8, 50 % luokassa 8–14 ja 0 % muissa luokissa.

## 5.7 Kalastusmalli fosforinpoistolle vesistöistä

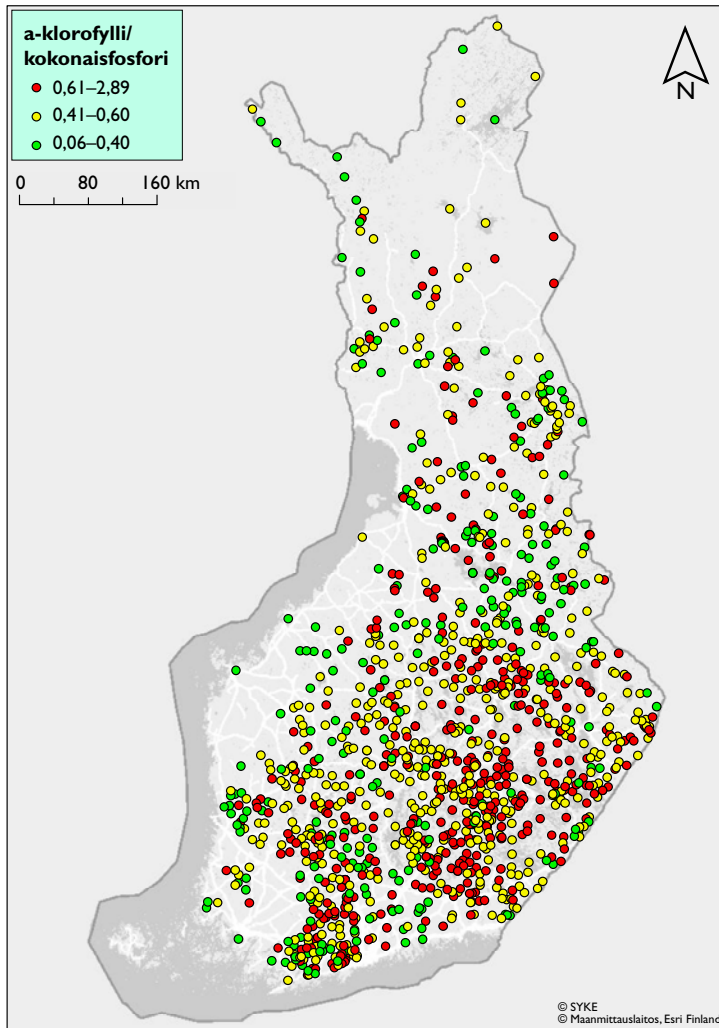
### Taustaa

Suuri ulkoinen ravinnekuormitus vastaa ikään kuin järven lannoitusta. Se lisää veden ja sedimentin fosforipitoisuuksia ja siitä seuraava kaikkien eliöryhmien, tuottajien, kuluttajien ja hajottajien biologisen tuotannon ja biomassan kasvu ulottuu aikaa myöten myös kalastoon. Kun rehevöityminen etenee ja vesi samenee, olosuhteet alkavat suosia särkikaloja. Rehevimmissä järvissä koekalastuksien yksikkösaaliin biomassa on jopa kymmenen kertaa korkeampi kuin karuissa järvissä, mutta biomassan kasvussa fosforipitoisuuden kasvun myötä on suuria eroja ja särkikaloiden paino-osuus kasvaa jo lievästi rehevöityneiden järvien fosforipitoisuuksilla (Kuva 32). Kuormitetuissa järvissä myös petokalojen osuus kalastossa pienenee (Jeppesen ym. 2000, Rask ym. 2010, Olin ym. 2013). Suurien biomassojen muodostumista edesauttaa sekin, että kalastus tulee valikoivammaksi, yleensä särkikaloja vältteleväksi (Keto & Sammalkorpi 1988).

Voimakkaasti kuormitetuissa järvissä kasvavan mikrobien, kasvien ja eläinten määrän (kokonaisbiomassa) vaikutus veden laatuun nousee suuremmaksi kuin karuissa järvissä. Vinoutunut ravintoketju vaikuttaa rehevän järven veden laatuun ja



**Kuva 32.** Järiveden kokonaisfosforipitoisuuden vaikutus vesienhoidon ekologisessa seurannassa koekalastettujen järvien painoyksikkösaaliiseen (g/koeverkko) ja särkikaloiden osuuteen painoyksikkösaaliista (%). (Aineisto: luonnonvarakeskus ja SYKE; v. 2006–2012, fosforipitoisuus luokitteluohjeen mukaisesti kesä – syyskuulta).

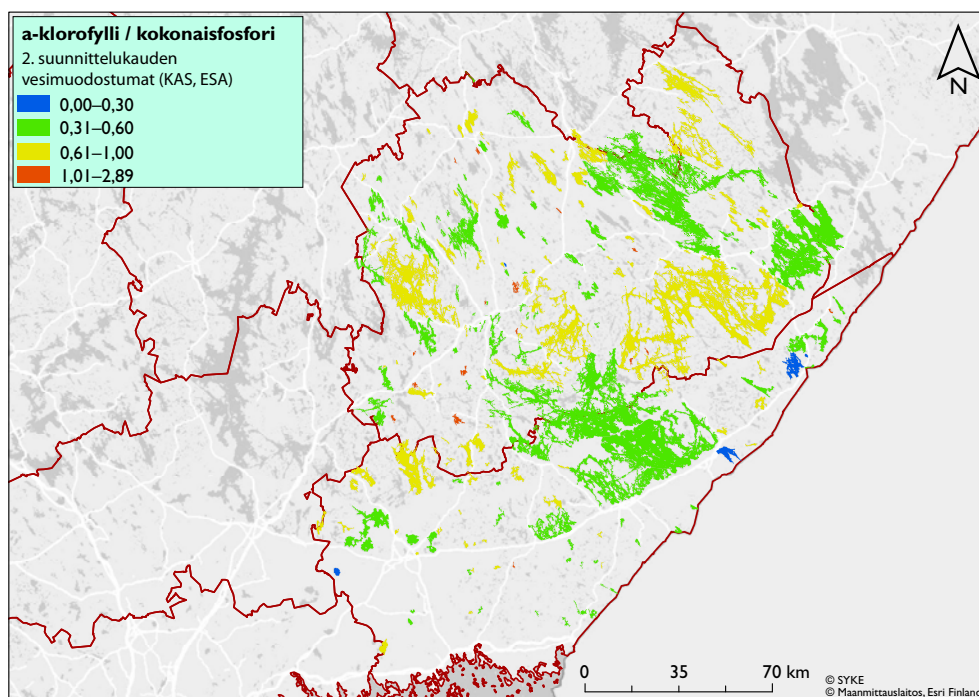


**Kuva 33.** Luokiteltujen vesimuodostumien klorofylli-a/kokonaisfosfori-suhde. Vihreiden pisteiden arvo viittaa vähäiseen kalaston vaikutukseen, keltainen mahdolliseen ja punainen todennäköiseen kalaston vaikutukseen. Aineisto vuosilta 2006 – 2012, kokonaisfosfori luokitteluohjeen mukaisesti kesä – syyskuulta.

hoitokalastuksesta tulee yksi tärkeä kunnostustoimenpide (mm. Shapiro 1980, Keto & Sammalkorpi 1988 ja 1995, Horppila & Kairesalo 1990, Sarvala ym. 1997 ja 2000 a, b, Hansson ym. 1998, Jeppesen ym. 2000, Ventelä ym. 2007, Søndergaard ym. 2008, Bernes ym. 2015). Ravintoketjukurinnoituksen ja/tai hoitokalastuksen merkitys todennäköisesti kasvaa ilmaston muuttuessa, koska sekä voimistuva ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutuminen että ilmaston lämpeneminen hyödyttävät kaloistamme juuri särkikaloja (Moss ym. 2011).

Sinileväkukinnat ovat keskeinen vesiensuojelun ja kunnostamisen tarvetta aiheuttava ongelma Suomen järvissä. Levien määrään vaikuttavat ravinteet, ensisijaisesti fosfori ja typpi, levämäärää rajoittava eläinplanktonin "laidunnus" ja sääolot. Levämäärä voi kasvaa jo matalilla fosforipitoisuuksilla, mutta järvien välillä voi olla samalla fosforipitoisuuden tasolla suuriakin klorofyllipitoisuuden eroja. Osa eroista liittyy todennäköisesti kalaston aiheuttamiin muutoksiin eläinplanktonissa. Kun kalasto on runsas, eläinplankton koostuu pienistä lajeista, joiden laidunnustehokkuus on pieni ja levämäärä nousee ravinnepitoisuuden myötä (Shapiro 1980, Mazumder 1994, Sarvala ym. 1997, Jeppesen ym. 2000). Kun kalasto on harvempi, eläinplanktonissa on suurempia ja tehokkaammin laiduntavia lajeja, jotka lisäksi pystyvät käyttämään ravintonaan suurempia leviä, mikä voi rajoittaa levämäärää.

Vesienhoidon seurantalutuloksien perusteella korkeat klorofylli/fosfori-suhteet ovat tavallisia suuressa osassa Suomen järviä. Korkeimmat suhdeluvut on havaittu Lounais-Suomen rehevien järvien alueelta Järvi-Suomen suurten järvien kautta Iisalmen reitille (Kuva 33). Myös erällä itäisen Suomen suurilla järvillä on suureen



**Kuva 34.** Klorofylli-a:n ja kokonaisfosforipitoisuuden suhde Kaakkois-Suomen ja Etelä-Savon suurilla järvillä.

kalatiheyteen viittaavia korkeita suhdelukuja (Kuva 34). Toisaalta esimerkiksi Lahden Vesijärvellä, Säskylän Pyhäjärvellä, Pieksänjärvellä ja Tuusulanjärvellä on hoitokalastusjaksoilla suhdeluku ollut keskimäärin alle 0,4. Tämä saattaa viitata siihen, että matalampi klorofylli/fosfori-suhde olisi yleisemminkin mahdollinen.

Seuranta-aineiston hajonta on suurta eikä sen perusteella voi vetää suorita johtopäätöksiä kalojen vaikutuksesta veden laatuun. Esimerkiksi klorofylli/fosfori-suhteen vaihtelu on suurta eikä sillä ole merkitsevää yhteyttä koko aineiston kalamuuttujien kanssa. Veden klorofyllipitoisuudella on merkitsevimmät korrelaatiot kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuden kanssa ( $R^2 = 0,82^{***}$  molemmilla), mikä kuvastaa vesiensuojelutoimenpiteiden keskeistä asemaa. Klorofyllipitoisuuden suhde on kuitenkin merkitsevä myös koekalastuksen painoyksikkösaaliiseen ( $R^2 = 0,60^{***}$ ), lukumääräsaaliiseen ( $R^2 = 0,63^{***}$ ) ja särkikalojen osuuteen painosaaliista ( $R^2 = 0,43^{***}$ ). Kalojen ja ravinteiden arvot ovat keskenään korreloituneita. Ravinteiden vähentämisen kannalta kannattaa ottaa huomioon, että vaikuttava kalojen määrän säätely on helpommin toteutettavissa kuin vaikuttava ulkoisen kuormituksen vähentäminen. Valuma-alueen pinta-alan peltoprosentti selitti enemmän koekalastuksen painoyksikkösaaliista ( $R^2 = 0,52^{***}$ ) ja lukumääräsaaliista ( $R^2 = 0,60^{***}$ ) kuin klorofyllipitoisuudesta ( $R^2 = 0,33^{***}$ ), kokonaisfosforipitoisuudesta ( $R^2 = 0,44^{***}$ ) tyyppipitoisuudesta ( $R^2 = 0,50^{***}$ ) tai esimerkiksi sinileväbiomassasta ( $R^2 = 0,21^{***}$ ). Korrelaatioita tarkasteltaessa on otettava huomioon, että suuren havaintojen määrän johdosta ( $n = 342$ ) pienetkin  $R^2$  arvot ovat merkitseviä. Kalojen sekä fosforin ja typen  $R^2$  arvoja vertailtaessa on lisäksi muistettava, että pelkästään särkikalojen määrästä riippuen rehevien järvien fosforipitoisuus voi vaihdella 20 % tai enemmänkin (mm. Horppila & Kairesalo 1990, Jeppesen & Sammalkorpi 2002, Søndergaard ym. 2008).

### Kalasto fosforivarastona

Kalabiomassaan sitoutunut fosforimäärä voi tutkimusten ja hoitokalastuksissa poistettujen määrien perusteella olla lähellä koko vesipatsaan fosforipitoisuutta (Sarvala & Jumppanen 1988, Olin ym. 2005). Kalojen fosforivarastosta noin puolet voi olla si-

**Taulukko 16.** Suomalaisten järvien kalojen fosforipitoisuuksia % tuorepainosta (Jumppanen 1981, Sarvala 1994, Sammalkorpi 2000). Keskimääräinen arvo muille lajeille on Jumppasen (1981) mukaan 0,6 %.

Laji	Fosfori
Muikku	0,45 (0,39–0,58)
Siika	0,54
Ahven	0,77
Särki	0,91 <sup>1</sup> , 0,75–0,91 <sup>2</sup> , 0,73
Lahna	0,85–0,9 <sup>1,2</sup>
Pienet särkikalat	0,75 <sup>2</sup>
Kiiski	0,78
Muut/keskimäärin	0,6

<sup>1</sup> Jumppanen 1981

<sup>2</sup> Sarvala 1994

<sup>3</sup> Sammalkorpi 2000

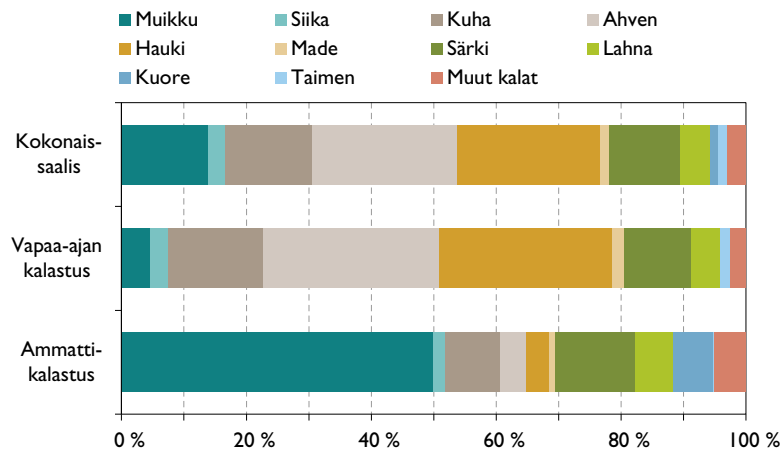
toutuneena kalojen ruotoihin ja suomuihin ja etenkin nuoremmilla kaloilla suurempi osa pehmeämpiin kudoksiin (Kitchell ym. 1975, Vanni ym. 2013). Suomen järvien särkikaloista on mitattu fosforia n. 0,7–0,9 % (ks. Taulukko 16) tuorepainosta ja tyyppiä noin 2,5 % tuorepainosta. Säkylän Pyhäjärven, Köyliönjärven ja Tuusulanjärven särkikalojen fosforipitoisuuden osuus tuorepainosta on ollut mainittua luokkaa, mutta laajemmassa eurooppalaisten särkien fosforipitoisuuden vertailussa on havaittu selviä järvien välisiä eroja (Boros ym. 2012). Ruotoihin ja suomuihin sitoutunutta fosforia voi pitää järven lyhytaikaisesta ravinnekierrosta poistuneena varastona. Pehmeiden kudosten fosfori sen sijaan voi vapautua takaisin järven ravintoketjuun ja pienten särkikalojen ruumiista vapautuvat ravinteet kesäaikana kiertoön noin kahdessa viikossa (Boros ym. 2015).

## Järvien nykyinen kalastus ravinteiden poistona

Suomen sisävesien vuotuinen kalansaalis on Luken mukaan 2010-luvulla ollut noin 28 miljoonaa kiloa. Ammattikalastajien tilastoitu saalis on tästä noin 6 miljoonaa kiloa (19 %) (vapaa-ajan kalastajien saalis 22 miljoonaa kiloa (81 %)). Ammattikalastuksen saalis on hieman noussut 1990-luvulta, mutta vapaa-ajan kalastuksen saalis on laskenut noin 30 %. Yli hehtaarin suuruisten järvien pinta-alalle (32650 km<sup>2</sup>; Kuusisto & Hakala 2007) laskettuna, saalis on noin 8,6 kg/ha/v.

Tärkein ammattikalastuksen saalislaji on muikku. Toiseksi tärkeimmäksi painon perusteella on noussut hoitokalastussaaliina saatu särki, jonka kanssa on tilastoitu myös muu hoitokalastussaalis. Taloudellisesti tärkeän kuhan osuus on myös suuri, samoin lahnan ja ahvenen. Kuoretta kalastavat merkittävässä määrin vain ammattikalastajat. Kotitarve- ja vapaa-ajan kalastajilla tärkeimmät saalislajit ovat ahven, hauki ja kuha, myös särjen ja muikun osuus on suuri (Kuva 35). Särkikalojen osuus on ammattikalastajien saaliissa 25 % ja virkistyskalastajien saaliissa 16 %.

Nykyinen sisävesien kalastus on valikoivaa, voimakkaasti särkikaloja välttelevää. Vaikka särkikalat eivät jää yhtä helposti koeverkkoihin kuin ahvenkalat, on niiden osuus koekalastuksien painosaaliista usein yli 50 % jo vesistön lievästi kohonneella fosforipitoisuudella (n. 20 µg/l, Kuva 32). Nykyisen kalastuksen tuottamasta fosforipoitumasta kuhan ja ahvenen osuus on 37 % ja hauen osuus 23 %. Särkikalojen osuus on vain 24 %. Järviemme kalastoa voi petokaloja lukuun ottamatta pitää alikalastettuina. Etenkin särkikaloja voisi kalastaa huomattavasti nykyistä suurempia määriä (Keto ym. 2015, Puustinen ym. 2017, Ruokonen ym. 2019). Myös muikkukannan on arvioitu kestävän noin kaksi kertaa nykyisiä suuremmat saaliit (Marjomäki ym. 2016)



**Kuva 35.** Suomen sisävesien ammattikalastuksen, vapaa-ajan kalastuksen ja kokonaissaaliin lajikoostumus 2010-luvulla (Luonnonvarakeskus).

Kalansaaliissa poistetun ravinnemäärän merkitys on tunnistettu merkittäväksi sekä valtamerien (Maranger ym. 2008) että Itämeren (Hjerne & Hansson 2002) mitta-kaavassa. Rannikon särkikalabiomassaksi on alustavasti arvioitu 50–60 M kg (Setälä 2015) ja tapauskohtaisesti, että kalastuksella voisi poistaa fosforia määrän, joka vastaa 70 % Mynälahteen jokien tuomasta fosforista (Setälä 2011). Kansainvälisesti tunnetuin järvesimerkki on Säkylän Pyhäjärvi, jonka ulkoisesta fosforikuormituksesta keskimäärin 25 % poistuu kalansaaliissa (Ventelä ym. 2007).

Lahden Kymijärvellä on hoitokalastuksen aiheuttama fosforipoistuma ollut enimmillään noin 50 % arvioidusta ulkoisen kuormituksen määrästä (Kotakorpi 2016). Tuusulanjärvellä, missä ulkoinen kuormitus on noin kaksi kertaa tavoitetasoa suurempi, saaliin fosforipoistuma oli tehokkaimmallakin kalastuksella (enimmillään 190 kg/ha/v) vain noin 10–17 % ulkoisen kuormituksen määrästä (Sammalkorpi 2000).

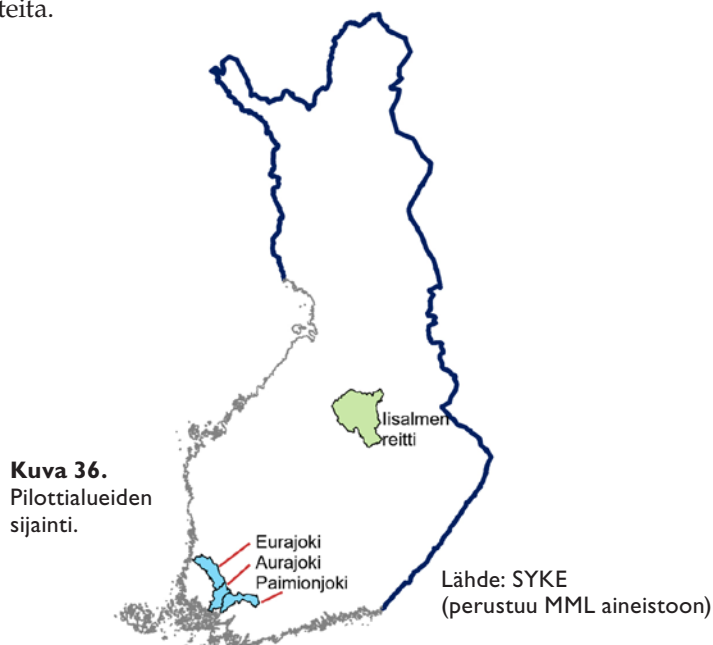
### Pitkäaikainen hoitokalastus ravinteiden poistona

Voimistetun kalastamisen tai mittavan kalakuoleman jälkeen syntyviin särkikalakuokkiin sitoutuu hyvin ravinteita (Rask ym. 2005, Ruuhijärvi ym. 2010). Hoitokalastuksen pitäisi siksi olla vuosittain jatkuvaa tai toistua määrävälein. Jatkuva hoitokalastus voi olla merkittävää järven tilan kannalta pitkällä tähtäimellä, koska se poistaa järveen tulleita ja ravintoketjuun sitoutuneita ravinteita, jotka muussa tapauksessa sedimentoituvat järveen. Kalojen ravinnepoolien ekologista merkitystä ei kuitenkaan vielä tunneta hyvin (Vanni ym. 2013).

Monissa Suomen järvissä on merkkejä hoitokalastuksen tarpeesta (ks. Kuvat 32–34) ja useissa järvissä onkin hoitokalastusta tehty jo 1990-luvulta alkaen. Hoitokalastusten saalismäärät kasvoivat tasaisesti 1990-luvun puolivälistä 2000-luvun alkuvuosiin, jolloin saalis oli enimmillään yli 1,4 miljoonaa kiloa vuodessa. 2000-luvulla määrät nopeasti laskivat, kunnes ne osittain MMM:n tukemien poistokalastushankkeiden myötä kääntyivät 2010-luvulla uuteen nousuun. Järvien nykyiset vuosisaaliit ovat vakiintuneet noin miljoonan kilon tasolle, joka on pieni määrä potentiaaliseen saalistasoon verrattuna (Ruokonen ym. 2019).

## 6 Maatalous pilottialueilla ja vesistökuormitus

Pilottialueet valittiin Saaristo- ja Selkämereen laskevilta maatalousvaltaisilta jokivesistöalueilta Aurajoki, Paimionjoki ja Eurajoki sekä nurmenviljelyalueelta karjatalousvaltainen Iisalmen reitti (Kuva 36). Pilottialueiden valintaan vaikuttivat ensisijaisesti vesistöalueella tehtyjen havaintojen määrä, saatavilla olevat ravinnehuuhtouminen mittaus- ja mallinustulokset sekä aiemmin tehdyt tutkimukset, jotka tukivat tämän hankkeen tavoitteita.



### 6.1 Aurajoki ja Paimionjoki

Lounais-Suomessa sijaitseva Aurajoki saa alkunsa Oripään harjualueelta ja laskee Turun kohdalla Saaristomereen. Aurajoki luokitellaan tyypiltään keskisuureksi savimaiden joeksi. Valuma-alue on maatalousvaltainen. Yhteensä maatalousmaaksi laskettavaa maa-alaa koko alueen pinta-alasta on noin 35 % ja maatiloista alle 30 % on eläintiloja. Valtaosalla (70 %) pelloista viljellään kevätkylvöisiä viljelykasveja, syyskylvöisten kasvien osuus on 10 % ja nurmialan osuus 20 %. Valuma-alueen vallitsevat maalajit ovat hietasavi (HtS), karkea hietä (KHt) ja liejusavi (LjS). Alueen peltomaan keskimääräinen fosforiluku on 13,5 mg/l.

Aurajoen ekologinen tila on luokiteltu välttäväksi ja kemiallinen tila vastaavasti hyväksi. Laatuluokitus ei ole muuttunut toisella vesienhoidon suunnittelukaudella. Vesienhoidon suunnittelijoiden raportoinnin mukaan Aurajoen ekologista hyvää tilaa ei saavutettu vielä vuonna 2015, koska valuma-alueella on runsaasti kaltevia ja eroosioherkkiä sekä ravinne-rikkaita peltoja. Perusteluissa on todettu, että pellon

**Taulukko 17.** Suunnitellut ja toteutuneet maatalouden toimenpiteet Paimionjoen–Aurajoen osa-alueella.

Toimenpide	Suunniteltu	Toteutunut 2017	erotus (toteutunut–suunniteltu)
Viherryttämistoimenpiteiden ekologinen ala, ha	4000	5866	+1866
Maatalouden suojavyöhykkeet, ha	1550	2306	+756
Maatalouden kosteikot ja lasketusaltaat (uudet), lkm	280	5	-275
Maatalouden kosteikot ja lasketusaltaat (käyttö ja ylläpito), lkm	86	86	0
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, ha	64800	48118	-16682
Lannan prosessointi, m <sup>3</sup>	430000	14700	-415300

fosforitilan alenemisessa on useiden vuosien, jopa vuosikymmenten viive. Hyvä ekologinen tila saavutetaan arvion mukaan vuoteen 2027 mennessä.

Paimionjoki on valuma-alueeltaan (1087 km<sup>2</sup>) ja virtaamaltaan suurin Saaristomereen laskeva joki. Paimionjoen vesistöalueen järvisyys on pieni, vain 1,5 % vesistöalueen kokonaispinta-alasta. Paimionjoki saa alkunsa metsäisiltä harjualueilta Somerolta. Maatalousmaan osuus kokonaispinta-alasta on suurempi kuin Aurajoella (42 %) ja pellon käyttö on hyvin samanlainen kuin Aurajoella. Valuma-alueen vallitsevat maalajit ovat myös samat kuin Aurajoella, HtS, KHt ja LjS. Alueen peltojen keskimääräinen fosforiluku on 10 mg/l.

Paimionjoen ekologinen tila on luokiteltu välttäväksi ja kemiallinen tila hyväksi. Hyvää ekologista tilaa ei saavutettu vuoteen 2015 mennessä ja syyksi tähän on mainittu kaltevat pellot ja korkeat P-luvut.

Paimion-Aurajoen osa-alueelle on suunniteltu vesienhoidon 1. suunnittelukaudella taulukon 17 mukaisia maatalouden toimenpiteitä. Peltojen viherryttämistoimenpiteitä (=ekologinen ala) ja suojavyöhykkeitä on toteutettu (tilanne 2017) jopa enemmän kuin mitä niitä oli suunniteltu. Peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys on myös edistynyt lähes suunnitelman mukaisesti (74 % suunnitelluista on toteutunut). Sen sijaan uusia kosteikkoja on perustettu tukihakemusten mukaan vain 5 kpl, joka on merkittävästi pienempi määrä kuin vesienhoidon suunnitelmassa esitetty. Asiantuntija-arvion mukaan karjanlannan prosessointia on tehty vain 3 %:ia suunnitellusta määrästä. Vaikka suojavyöhykkeitä on perustettu runsaasti, on ne valtaosin kohdennettu pelloille, joissa eroosioriski on pieni (suullinen tiedonanto Harri Lilja/Luke). Suojavyöhykkeitä voidaan perustaa myös pohjavesialueille, joilla eroosio ei ole varsinainen ongelma.

## 6.2 Eurajoki

Satakunnassa sijaitseva Eurajoen vesistön laskujoki saa alkunsa Säkyjän Pyhäjärven pohjoispäästä Kauttualta ja laskee Selkämereen. Valtaosa Pyhäjärven valuma-alueesta (616 km<sup>2</sup>) on metsää. Toiseksi suurin maankäyttömuoto on maatalous, joka on keskittynyt Pyhä- ja Yläneenjokien varsille. Maatalousmaan osuus koko valuma-alueesta on 16 % ja vesien osuus 25 %. Kevätkylvöisten viljojen osuus on 65 %. Juurikkaiden osuus (9 %) on Eurajoella suurempi kuin Aura- tai Paimionjoella. Yli puolet maatalousmaasta palvelee kotieläintaloutta joko rehukasvien tai nurmen muodossa. Vallitsevat maalajit ovat hieno hieta (HHt), KHt ja multamaat (Mm). Alueen peltojen keskimääräinen fosforiluku on 21,5 mg/l.

Eurajoen valuma-alueen suurempien jokien (Eurajoki, Yläneenjoki, Pyhäjoki) ekologinen tila on tyydyttävä ja kemiallinen tila hyvä. Eurajoen valuma-alueella on kaksi

**Taulukko 18.** Suunnitellut ja toteutuneet maatalouden toimenpiteet Eurajoen-Lapinjoen-Sirppujoen osa-alueella.

Toimenpide	Suunniteltu	Toteutunut 2017	erotus (toteutunut-suunniteltu)
Viherryttämistoimenpiteiden ekologinen ala, ha	1100	1677	+ 577
Maatalouden suojavyöhykkeet, ha	600	642	+42
Maatalouden kosteikot ja lasketusaltaat (uudet), lkm	261	1	-260
Maatalouden kosteikot ja lasketusaltaat (käyttö ja ylläpito), lkm	37	37	0
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, ha	46300	28541	-17759
Lannan prosessointi, m <sup>3</sup>	226000	2000	-224000

valtakunnallisesti merkittävää ja hyvin tutkittua järveä. Säkylän Pyhäjärvi (154 km<sup>2</sup>) on hyvässä tilassa sekä ekologiselta että kemialliselta luokaltaan, kun taas Köyliönjärven (12,4 km<sup>2</sup>) ekologinen tila on vain välttävä. Molemmista on myös tutkimustietoa ja kokemuksia pitkän aikavälin hoitokalastuksesta (Sarvala ym. 2000b, Ventelä ym. 2007). Pienempi Turajärvi (2,57 km<sup>2</sup>) on luokiteltu tyydyttävään ekologiseen tilaan.

Eurajoen-Sirppujoen-Lapinjoen osa-alueella maatalouden toimenpiteitä on tehty vaihtelevasti. Viherryttämistoimenpiteitä on tehty 577 ha enemmän kuin oli suunniteltu. Suojavyöhykkeitä on perustettu 42 ha enemmän kuin oli suunniteltu. Eurajoella on tehty vain yksi uusi kosteikko, vaikka suunnitelmissa oli 261 kosteikon perustaminen. Talviaikaista kasvipeitteisyyttä pitää toteuttaa vielä 17 757 peltihehtaarilla ja lannan prosessointi alueella on ollut erittäin vähäistä (Taulukko 18).

### 6.3 Iisalmen reitti

Iisalmen reitin valuma-alue poikkeaa Saaristomeren valuma-alueista. Kallaveteen laskevista reiteistä suurin, Iisalmen reitti, koostuu kolmesta sivureitistä; Kiuruveden reitistä, Vieremän reitistä ja Sonkajärven reitistä. Itä-Suomessa poikkeuksellisen maatalousvaltaisen ja rehevän Iisalmen reitin järvet ovat tyypillisesti pieniä ja matalia (Tammelin & Kauppila 2018). Maatalousmaan osuus koko valuma-alueesta on 12 % ja vesien osuus vastaavasti 11 %. Pysyvien nurmien osuus alueella on suuri (53 %) ja kevätkylvöisten peltokasvien osuus vain 30 %. Alueen maalajit ovat selkeästi karkeampia kuin Saaristomeren valuma-alueen maaperä. Vallitsevia maalajeja ovat Hs, HHT ja hietä moreeni (HtMr). Alueen peltojen keskimääräinen fosforiluku on 10 mg/l.

Iisalmen reitin järvien ekologinen tila on pääosin luokiteltu hyväksi (52 % järvistä), tyydyttäväksi (33 %) ja välttävässä tilassa on 11 % alueen järvistä. Vain 2 järveä on luokiteltu ekologiselta tilaltaan erinomaiseksi. Alueen järvien kemiallinen tila on joko hyvää huonompi (80 %) tai hyvä (20 %). Joista 54 % on tyydyttävässä ekologisessa tilassa, 41 % hyvässä tilassa ja 5 % välttävässä ekologisessa tilassa. Hyvässä kemiallisessa tilassa on taas 20 % joista ja hyvää huonommassa tilassa 80 % alueen joista.

Jos laatuluokitus tehdään järvien pinta-ala painotteisena, Iisalmen reitillä ekologinen tila on luokiteltu tyydyttäväksi 64 % ja hyväksi 25 % (Vallinkoski ym. 2016).

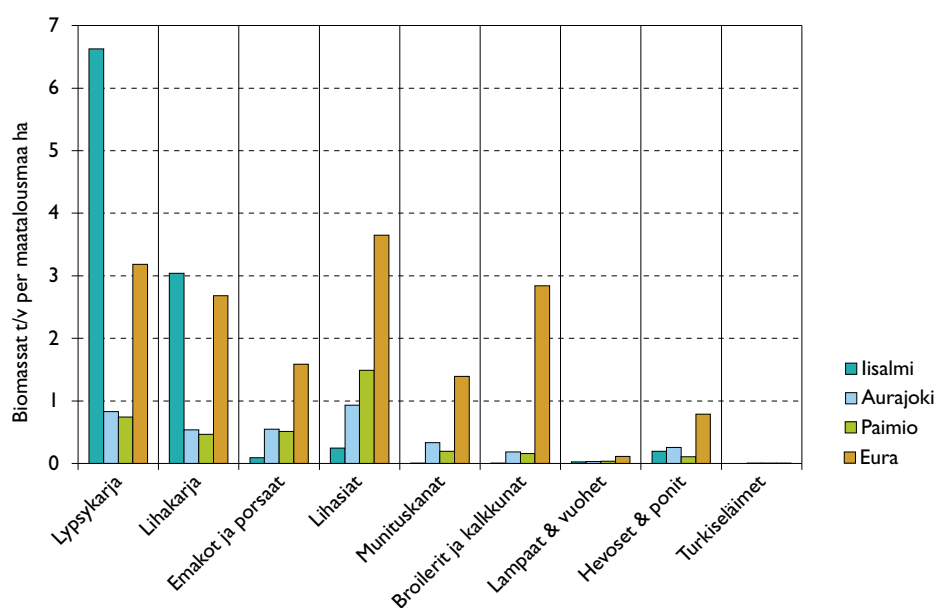
Iisalmen reitilläkin suojavyöhykkeitä on toteutettu huomattavasti enemmän kuin niitä on suunniteltu toteutettavaksi. Kosteikkojakin on perustettu merkittävästi enemmän kuin Saaristomeren tai Eurajoen valuma-alueella. Myös talviaikaista kasvipeitteisyyttä on edistetty suunnitelmien mukaan. Tällä alueella lähes puolet lannan prosessoinnista on toteutettu (Taulukko 19, seuraavalla sivulla).

**Taulukko 19.** Suunnitellut ja toteutuneet maatalouden toimenpiteet lisälmen reitin osa-alueella.

Toimenpide	Suunniteltu	Toteutunut 2017	erotus (toteutunut-suunniteltu)
Maatalouden suojavyöhykkeet, ha	350	2607	+2257
Maatalouden kosteikot ja lasketusaltaat (uudet), lkm	120	30	-90
Peltojen talviaikainen eroosion torjunta, ha	40000	34744	-5256
Lannan prosessointi, m <sup>3</sup>	300000	146400	-153600

## 6.4 Lannan määrä pilottialueilla

Biomassa-atlaksen (<https://www.luke.fi/biomassa-atlas/>) on koottu kuntakohtaista paikkatietoa eri biomassoista. Pilottialuekohtaista tietoa haettiin mm. peltokasvien tuotannosta, sen sivuvirroista sekä lannan määrästä. Aineistoon sisältyy epävarmuutta, koska kuntatasolle tallennettu tieto ei täysin vastaa vesistöaluekohtaista rajausta. Kuvassa 37 on esitetty eläinsuojien lanta lantalajeittain kaikilla neljällä pilottialueella suhteutettuna kyseisen alueen maatalousmaan määrään. Eniten lypsy- ja lihakarjan lantaa syntyy Iisalmen reitillä ja Eurajoen vesistöalueella. Eurajoella muidenkin lantalajien määrä suhteutettuna alueen maatalousmaahan on suuri, erityisesti lihasikojen, munituskanojen ja broilerin sekä kalkkunoiden osalta.



**Kuva 37.** Eläinsuojien biomassan määrä suhteutettuna alueen maatalousmaan määrään pilottialueilla.

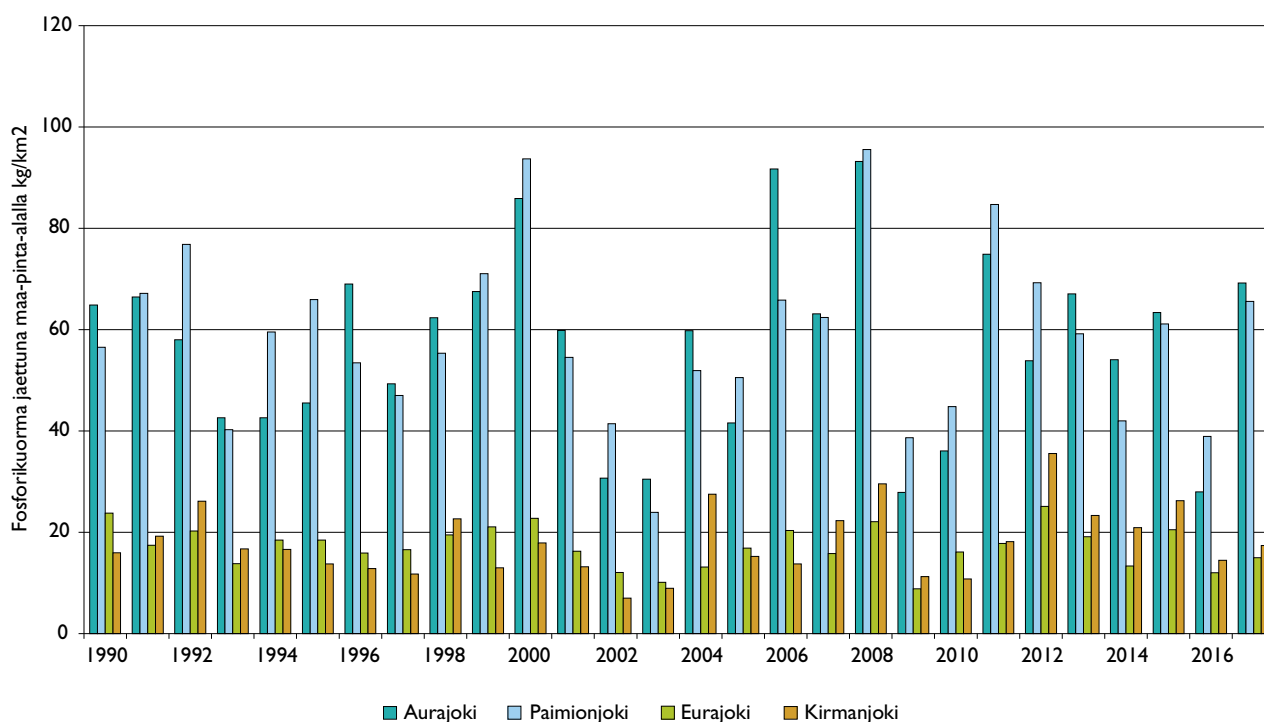
**Taulukko 20.** Pilottialueilla syntyvän lannan sisältämä typpi- ja fosforimäärä suhteutettuna alueen maatalousmaan määrään.

Vesistöalue	Typpeä/ maatalousmaa (kg/ha)	Fosforia/maatalousmaa (kg/ha)
Aurajoki	24,6	7,0
Paimionjoki	24,3	6,4
Eurajoki	174,1	56,8
Iisalmen reitti	58,0	10,0

Taulukossa 20 on esitetty vesistöalueittain alueella syntyvän lannan sisältämä typpi- ja fosforimäärä suhteutettuna kyseisen alueen maatalousmaan määrään. Eurajoella typpeä muodostuu 174 kg/ha ja fosforia vastaavasti 56 kg/ha. Muilla alueilla typpimäärät ovat vähäisempiä ja vaihtelevat välillä 24–58 kg/ha. Fosforimäärät ovat luokkaa 6–10 kg/ha.

## 6.5 Fosforikuorman vaihtelu pilottialueilla

Pilottialueiden fosforikuormituksen vuosivaihtelua tarkasteltiin VEMALAn ravinnekuormamallilla. Mallinnettu fosforikuorma (kg) on jaettuna vesistöalueen maa-pinta-alalla jaksolla 1990–2018 (Kuva 38). Iisalmen reitti edustaa tyypillistä järvaltaista reittivesistöä. Eurajoen vesistöalueella yli 25 % on järviä. Aurajoella ja Paimionjoella järvien vaikutus on vähäinen. Eurajoen ja Kirmanjoen (edustaa Iisalmen reittiä, maatalousvaltainen alue, josta on saatavilla vedenlaatuhavaintoja) alueilla järvien tasaava vaikutus nähdään selvästi sekä fosforikuorman tasossa että vaihtelussa. Kun alueella on paljon järviä, osa tulevasta kuormasta pidättyy alueen järviin. Eurajoen maksimikuorma on vain 25 kg/km<sup>2</sup>, Kirmanjoella hieman suurempi 35 kg/km<sup>2</sup>, kun taas Aurajoella ja Paimionjoella maksimikuormat ovat yli 90 kg/km<sup>2</sup>. Fosforikuorman keskihajonta on Aura- ja Paimionjoella 17 kg/km<sup>2</sup>, kun vastaava luku Eurajoella ja Iisalmen reitillä on 4–7 kg/km<sup>2</sup>. Erityisen kuormittavia vuosia Aura- ja Paimionjoella olivat vuodet 2000, 2006, 2008 ja 2011. Vähän kuormittavia vuosia taas 1993, 2002, 2003, 2009 ja 2016.



**Kuva 38.** Pilottialueilla VEMALAlla mallinnettu keskimääräinen fosforikuorma (kg/km<sup>2</sup>/vuosi) vuosina 1990–2017.

## 7 Viljely- ja kiertotalousskenaarioiden muodostaminen

Hankkeen alussa järjestettiin asiantuntijatyöpaja, jonka aiheena oli kiertotalousskenaarioiden työstäminen. Osallistujia työpajassa (16 henkilöä) oli SYKEstä, Lukesta, MMMstä, MTKsta, BSAGista, ETLsta ja Salaojituksen tukisäätiöstä. Tavoitteena oli tuottaa vesienhoidon ja ohjaukskeinojen näkökulmasta toteuttamiskelpoisia skenaarioita, ja arvioida niiden potentiaalisia vaikutuksia vesistöjen kuormituspaineesiin, jotka vastaisivat hankkeen kiertotalousmääritelmän haasteisiin:

- KiertoVesi-hankkeessa kiertotaloudella tarkoitetaan kotieläinten lannan ja muiden maatalouden, elintarvike- ja rehuteollisuuden sivuvirtojen kestävää hyödyntämistä ja ostolannoitteiden korvaamista mahdollisuuksien mukaan peltoviljelyssä sekä vesistöjen kasveihin, kaloihin ja sedimentteihin joutuneiden ravinteiden turvallista palauttamista potentiaalisiksi ravinnevarannoksi.

Skenaariot työstettiin siten, että niiden vaikutukset ovat arvioitavissa hankkeessa käytössä olevilla malleilla. Työryhmän tehtävänä oli siis asettaa skenaarioiden ja mallinnuksen reunaehdot. Aikajänne on suhteellisen lyhyt, noin vuoteen 2027 asti ja työkalujen sallimissa rajoissa ilmastonmuutoksen vaikutukset otetaan huomioon, mm. VIHMAN leudot talvet.

Skenaarioiden vaikutusten vertailutaso on kiintoaine- ja ravinnekuormitus, joka muodostuu vallitsevalla peltoalalla ja pellon käytöllä ilman ympäristötoimenpiteitä. Tämä vertautuu kansalliseen kuormitustasoon ennen EU:iin liittymistä 1990-luvun alussa. Vaikutusvertailuissa peltoala ei muutu tarkastelujakson aikana ja maatilojen elinkeinorakenne säilyy ennallaan. Viljelykäytännön muutokset otetaan niiltä osin huomioon kuin tietoa muutoksista on saatavilla. Pidettiin myös tärkeänä, että yksi skenaarioista koostuu vesienhoitotoimenpideohjelmassa esitettyjen toimenpiteiden vaikuttavuuden laskennasta. Tarkemmin työpajojen antia on kuvattu liitteessä 3.

### 7.1 Skenaarioiden kuvaukset

**Skenaario I: baseline + ilmastonmuutos: Vesistöjen tila pidetään nykyisessä tilassa huomioimalla ilmastonmuutoksen vaikutus ja toteuttamalla nykyisiä vesiensuojelumenetelmiä.**

Vesistöjen nykytila pyritään vain säilyttämään, eikä kuormittuneidenkaan vesistöjen tilaa pyritä parantamaan. Lähtötasona ovat vuoden 2013 mukaiset toimenpiteiden määrät ja toteutusalat. Lisäksi arvioidaan ilmastonmuutoksen aikaansaama kuormituksen kasvu ja sitä vastaava toimenpiteiden lisätarve. Valuma-alueitoimenpiteet perustuvat maatalouden ympäristökorvausjärjestelmään, jossa toimia on kohdennettu myös vesistöjen tarpeen mukaan. Peltoala ja maatalarakenne pysyvät muuttu-

mattomina, samoin kasvinviljelyalat luonnollista vuosivaihtelua lukuun ottamatta. Kalaston nykyisellä lajikoostumuksella voi olla merkittävä vaikutus vesistön tilaan. Vesistöjen kunnostustoimenpiteiden määrät eivät kuitenkaan lisäännä ratkaisevasti, tai ne voivat pysyä ennallaan.

### **Skenaario II: puolikierto: Kaikki kotieläinten lannan ravinteet kierrätetään lannoitteena takaisin peltoviljelyyn.**

Nykyisten VHS-toimenpiteiden lisäksi toteutetaan laajemmin kiertotalouden periaatteita.

Kiertotaloutta toteutetaan korvaamalla mineraalilannoitteita mahdollisimman laaja-alaisesti kotieläinten lannan ravinteilla. Toteutus perustuu käytettävissä olevaan ja uuteen kehitettävään teknologiaan. Lanta levitetään aiempaa suuremmalle peltoalalle ravinnesuosituksia noudattaen ympäristöystävällistä levitystekniikkaa suosien. Levityksessä tulee huomioida lannan ravinnesisältö ja ravinteiden suhteet, sekä levitysajankohdan ja tekniikan mahdolliset ympäristövaikutukset. Prosessoitamaton lanta levitetään kivennäismaille, turvemaille ei lainkaan.

### **Skenaario III: VHS: Vesistöjen hyvä tila pyritään saavuttamaan laaja-alaisilla vesienhoidon suunnittelussa tunnistetuilla vesienhoitotoimenpiteillä ja niitä täydentävällä kipsikäsittelyllä.**

Vesistö-alueilla tehdään maatalouden vesiensuojelutoimenpiteitä siinä laajuudessa, kuin niitä on käynnissä olevan Vesienhoidon suunnittelukauden toimenpideohjelmissa esitetty. Tavoitteena on, että vesistöt saavuttavat tai säilyttävät hyvän ekologisen tilan. Toimenpiteiden määrään vaikuttaa vesistöjen nykytilan ja tavoitetilan ero, valuma-alueen ominaisuudet ja vesiensuojelutoimenpiteiden menetelmäkohtaiset tehokkuudet.

Erillistoimenpiteenä toteutetaan kipsikäsittely savialueiden lohkoilla, joissa on korkea P-luku. Koska kipsin vaikutus kestää noin viisi vuotta, kahdella käsittelyllä saadaan noin 10 vuoden vaikutus. Tavoitteena on alentaa P-lukuja mahdollisimman paljon. Kipsi ei sovellu Järvi-Suomen pelloille sulfaattihuuhtoumien vuoksi.

Vesistökuunnostustoimenpiteitä (mm. hoitokalastus) ja (karjan)lannan ravinteiden kierrätystä toteutetaan vain siinä laajuudessa kuin niitä on kuluvan suunnittelukauden vesienhoitosuunnitelmissa esitetty.

### **Skenaario IV: täysikierto: Kiertotalouden laaja-alainen soveltaminen**

Valuma-alueilla toteutetaan vesiensuojelutoimenpiteitä edelleen siinä laajuudessa, kuin niitä on käynnissä olevan Vesienhoidon suunnittelukauden toimenpideohjelmissa esitetty. Lisäksi kiertotaloutta toteutetaan korvaamalla mineraalilannoitteita mahdollisimman laaja-alaisesti kotieläinten lannan ravinteilla, kuten skenaariossa II. Karjanlannasta fraktioidaan puolet N ja P lannoitteiksi ja arvioidaan kuinka suuri hyöty fraktioinnista olisi mahdollista saavuttaa vesistön kannalta. Valuma-alueiden toimenpiteiden lisäksi kuormittuneimmissa vesistöissä, joissa sisäinen kuormitus on ulkoista kuormitusta suurempi, pyritään tilaa parantamaan myös mahdollisimman laaja-alaisilla vesistökuunnostustoimenpiteillä (mm. rantakasvillisuuden niitto, hoitokalastus).

## 7.2 Skenaarioiden laskenta pilottialueilla

Skenaarioiden vaikutusarviot laskettiin VIHMAlla (Puustinen ym. 2010) ja hankkeessa kehitetyllä NURMAP-lantamallilla. Kipsin vaikutusta arvioitiin koko maan osalta SAVE ja TRAP hankkeiden tulosten pohjalta VIHMA:aan tässä hankkeessa tehdyn laajennuksen avulla (ks. Luku 8.2). Ilmastonmuutoksen vaikutuksia arvioitiin VIHMAlla ns. leutojen vuosien ravinne- ja kiintoainehuuhtouma aineiston avulla (ks. Luku 5.5). Hoitokalastuksen vaikutuksia arvioitiin sekä aiempien tutkimusten että KiertoVesi-hankkeessa tehtyjen selvitysten avulla. Taulukkoon 21 on koottu pilottialueilla ja koko maassa toteutetut skenaariolaskennat.

**Taulukko 21.** Skenaariolaskennan toteutus pilottialueilla ja koko maassa.

	I baseline + cc	II puolikierto	III VHS	IV täyskierto
Aurajoki	VIHMA + Mavi		VIHMA, Kipsi	
Paimionjoki	VIHMA + Mavi		VIHMA, Kipsi	
Iisalmi	VIHMA + Mavi	Lantamalli (nyky)	VIHMA,	Lantamalli (frakt)
Eurajoki	VIHMA + Mavi + hoitokalastus	hoitokalastus	VIHMA, hoito- kalastus	hoitokalastus
Koko maa	VIHMA + Mavi + hoitokalastus	Lantamalli arvio (nyky) + hoitoka- lastus	VIHMA, hoito- kalastus	Lantamalli arvio (frakt) + hoitoka- lastus

## 8 Maatalouden ympäristötoimenpiteet ja vesienhoidon tavoitteet

Ympäristökorvausjärjestelmään sitoutuneilla maataloilla toteutettujen vesienhoitosuunnitelmien ja eri skenaarioihin sisältyvien toimenpiteiden vaikutuksia arvioitiin VIHMAlla. Tavoitteena oli selvittää muokkaus- ja viljelykäytäntöjen muutosten ja talviaikaisen kasvipeitteisyyden käyttöönoton vaikutuksia, ja miten toimenpiteiden toteuttaminen ja esim. kohdentaminen peltojen kaltevuuden mukaan vaikuttaisi kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen. Toimenpiteiden määräarviot ovat talviaikaisen pellonpinnan peitteisyyden pinta-alamuutoksia. Karjanlannan vaikutusten arviointi tehtiin erillisenä arviointina hankkeessa kehitetyllä NURMAP-työkalulla (lukuissa 5.3 ja 5.4) ja tulokset esitetään jäljempänä luvussa 9.3. Kipsin käytön vaikutusten arvioimiseksi VIHMAa päivitettiin uusimpien tutkimustulosten pohjalta.

Arviointien tekeminen edellytti laajaa taustatiedon keräämistä eri tietolähteistä. Vesien tilaa parantavien ympäristötoimenpiteiden tavoitetasojen ja niiden toteutuksen laaja-alaisuuden tarkastelut perustuvat Mavin peltolohkorekisteriin, kahden rakennetutkimuksen (2009–2010 ja 2015–2016) pellonhoitoa käsittelevään osaan sekä kansallisiin vesienhoitosuunnitelmiin. Erilaiset toimenpiteet koskevat skenaariot muodostettiin vaihtoehtoisten toteutustapojen arvioimiseksi tavoiteltaessa vesien hyvää ekologista tilaa.

### 8.1 Tietokantoihin ja vesienhoitosuunnitelmiin perustuvat toimenpiteet

#### Tietojärjestelmistä mallin lähtötiedoiksi

*Mavin peltolohkorekisteriä* koskeva tietopyyntö valmisteltiin kesällä 2017. Lähtökohtana nykyistä ohjelmakautta kuvaavalle aineistolle oli eri tahoilla toimivien tutkijoiden, mallintajien ja vesienhoidon suunnittelijoiden tarpeet. Tavoitteena oli saada tuotettua eri toimenpidekokonaisuuksien laajuutta kuvaavat taulukot. Niiden haluttiin sisältävän tiedot mm. kunnanumerosta ja ELY-keskuksesta, jolloin aineistoista olisi saatavissa helposti laajempien alueiden tunnuslukuja. Tarkemmissa paikkatietoanalyseissä yhdistävänä tekijänä on toimenpiteen kohdennettavuudesta riippuen joko tilatunnus, peruslohkotunnus ja kasvulohkotunnus.

Talviaikainen kasvipeitteisyys ilmoitetaan maataloilta syysilmoituksella. Tätä tietoa tutkittiin yhdessä seuraavana keväänä ilmoitettavan kasvikoodin kanssa. Aineistokäsittelyssä talviaikainen kasvipeitteisyys (jakso 2016–2017) yhdistettiin vuoden 2017 eri kasvien viljelyalaa koskeviin kasvikoodeihin. Esim. syysvilja talviaikaisena kasvipeitteenä yhdistyy loogisesti seuraavan kevään kasvikoodiin, jos se on syksyn ilmoituksessa eritelty syysviljaksi. Kasvipeitteistä alaa saatetaan kuitenkin ilmoittaa vain sen verran, että haluttu kasvipeitteisyysprosentti juuri täyttyy. Kasvipeitteisiä aloja ovat lisäksi esim. osa monimuotoisuus- ja ympäristönhoitonurmista. Kasvi-

peitteisyystoimi on peruslohkolle kohdistettava toimi, jota voidaan toteuttaa vain osalla lohkoista, kun taas monivuotoisuus- ja ympäristönhoitonurmet ovat kasvulohkokohtaisia.

Aineisto koostettiin seuraavalla tavalla:

- Lähtökohtana käytettiin vuoden 2017 peruslohkon vallitsevaa kasvia, jossa vallitsevin kasvilaji yleistetään käsittämään koko peltolohkoa.
- Lohkoaineisto muutettiin myöhempien paikkatietotehtävien keventämiseksi pisteaineistoksi siten, että jokaiselle lohkolle laskettiin keskipiste.
- Vallitsevan kasvin koodin perusteella kasvit jaettiin 13 ryhmään (VIHMAN syöttötiedoiksi).
- Jokaiseen peltolohkoon liitettiin tieto syksyllä 2016 tehdystä mahdollisesta talviaikaisesta kasvipeitteisyysilmoituksesta (onko ilmoitettu) ja miten sen pinta-ala jakaantuu aitoon kasvipeitteisyyteen ja kevytluokattuun alaan.
- Kun kaikki tämä tieto oli yhdistetty, saatiin aineistosta summattua sekä valtakunnallinen tieto että poimittua tiedot kullekin pilottialueelle.

Syksyllä 2016 ilmoitetuista kasvipeitteisyys-toimenpidelohkoista yhteensä 9098 lohkoa jäi yhdistymättä kevään 2017 kasvukoodien kanssa (< 2 %). Kasvipeitteisyystieto saattaa olla aineistossa aliarvio, jos viljelijät ovat ilmoittaneet kasvipeitteisyystiedoksi vain juuri tavoitetasonsa ylittävän kasvipeitteisyysalan. Myöskään kaikki maatilat eivät ole sitoutuneet ympäristökorvausjärjestelmään (vuonna 2017 peltoalasta sitoutuneena ympäristökorvaukseen noin 87 %).

*Rakennetutkimusten* peltomaan hoitoa koskeva osa perustuu maatilakyselyyn, jolla oli selvitetty peltomaan perusmuokkausta koskevat pinta-alatiedot (ha) kyseisenä satovuotena (1.7–30.6 välinen aika). Kyselyissä selvitettiin

- Syyskynntöala (myös kyntö heinä-elokuussa)
- Kevätkynntöala
- Kevennetyn muokkauksen ala (kultivaattori, lautasmuokkain, äes, jyrsin tms.)
- Kylvö muokkaamattomaan maahan (nurmien täydennyskylvöä ei lasketa mukaan).

Muun peltoalan, joka ei sisällynyt tutkimuksen ajankohtana em. perusmuokkauksen menetelmää koskevaan peltoalaan, oletetaan olleen kyselyä koskevalla aikavälillä muokkaamatonta (esim. monivuotisia nurmi- tai puutarhakasveja).

Rakennetutkimuksissa selvitettiin myös peltomaan kasvipeitteisyyttä koskevat pinta-alatiedot saman tutkimusjakson talvikaudella. Näitä kategorioita olivat

- Paljas maa (so. kynnetty tai muulla tavalla muokattu maa, jossa alle 10 % kasvinjätteistä on jäänyt maan pinnalle)
- Kevennetysti muokattu maa (vähintään 10 % kasvinjätteistä on jäänyt maan pinnalle)
- Kasvinjätteet ja/tai sänki (perunapelto sadonkorjuun jälkeen lasketaan paljaaksi maaksi)
- Kerääjä- tai aluskasvi
- Syyskylvöinen yksivuotinen viljelykasvi (esim. syysvilja tai syysöljykasvi).

Muu edellä olevaan luokitteluun kuulumaton peltoala koskee monivuotisia viljely- tai kesantokasveja (esim. monivuotisia nurmi- tai puutarhakasveja).

Ristiintaulukoimalla rakennetutkimuksen tuloksia saman tarkastelujakson tuotantokasvien viljelyalatietoihin saatiin arviot pelloilla toteutettujen maan muok-

kausta koskevien toimenpiteiden pinta-aloista. Kevennetyn muokkauksen osalta syvän ja matalan sänkimuokkauksen pinta-alat ovat asiantuntija-arvioita. Kahden rakennetutkimuksen tulkinta kuvaa edeltävän ohjelmakauden puolella välissä ja nykyisen ohjelmakauden alussa vallinnutta maatalouden ympäristönhoidon tilaa. Rakennetutkimukseen perustuvia vesistökuormitusta koskevia vaikutusarvioita tehtiin vain koko maan maatalousmaalle.

*Vesienhoitosuunnitelmien toimenpideohjelmien* toimenpiteiden määrät ja pinta-alat VIHMA-laskelmissa perustuvat ympäristöhallinnon Hertta-tietokantaan, jossa toimenpiteet on esitetty seuraavasti:

- viherryttämistoimenpiteiden ekologinen ala (ha)
- maatalouden suojavao-ohyökkeet (ha)
- maatalouden kosteikot ja laskeutusaltaat (kpl)
- peltojen talviaikainen eroosion torjunta (ha)
- kasvinsuojeluaineiden käytön vähentäminen ja luonnonmukaisesti viljelty pelto (ha)
- ravinteiden käytön hallinta (ha)
- lannan ja orgaanisen aineksen ympäristöystävällinen käyttö
- maatalouden tilakohtainen neuvonta
- lannan prosessointi
- säätösalaohitus ja -kastelu happamuuden torjunnassa
- peltoviljelyn pohjavesien suojelutoimenpiteet
- happamien sulfaattimaiden nurmet

Eroosion torjunnan nettomääräistä muutosta kuvaava ala laskettiin vähentämällä talviaikaisen eroosion alasta pysyvät nurmenviljelyalat, muut pysyvät kasvipeitteiset ja syysvilja-alat sekä lisäämällä suojavao-ohyökkeitä ja viherryttämistoimia vastaavat pinta-alat. Eroosiota vähentävän peltoalan lisäykseen sisältyy kevennetyn muokkauksen eri vaihtoehdot. Tarkastelussa laskettiin myös kosteikkojen vaikutukset. Mineraalilannoitteiden käytön tarkentamista tai vähenemistä, orgaanisen aineksen ympäristöystävällistä käyttöä ja säätösalaohitusta VIHMA-laskelmissa ei ole mahdollista huomioida.

## 8.2 Toteutetut toimenpiteet ja vesienhoitosuunnitelmien sisältö

VIHMAlla laskettiin useita eri skenaarioita (ks. Luku 7), joiden eroja ja yhtäläisyyksiä on kuvattu alla ja liitteessä 4.

### I vaihe: Nykytilanne ja toimenpiteiden vaikutuspotentiaali

- **Lähtötilanne:** Tilanne ennen ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteitä, viljely perustuu tavanomaisiin muokkauuskäytäntöihin (ks. Kuva 3), jakautuu samassa suhteessa pinta-alojen kanssa eri kaltevuusluokkiin.
- **Nykytilanne (Mavi):** Nykyinen saavutettu toimenpidetaso, Mavin tietokannasta arvioitu tilanne muokkausmenetelmien osalta, jossa eri muokkausmenetelmät jakautuvat samassa suhteessa pinta-alojen kanssa eri kaltevuusluokkiin. Vertaillaan Mavin tietokantaan ja kahden rakennetutkimuksen aineistoihin perustuvia vaikutusarvioita keskenään.
- **Kohdennettu nykytilanne:** Sama kuin Nykytilanne, mutta muokkausmenetelmiä on pyritty kohdentamaan kalteville pelloille niin, että samoilla toimenpidemäärillä kiintoaineen ja PP:n kuormitus vähenisi.

- **VHS:** Nykyisten Vesienhoitosuunnitelmien mukaiset muokkaustoimenpiteet, jossa muokkausmenetelmät jakautuvat samassa suhteessa pinta-alojen kanssa eri kaltevuusluokkiin.
- **Hydrologisen vuosivaihtelun** vaikutus kuormitukseen.

## 2 vaihe: Toimenpiteiden vaikutusten tehostaminen

- **Kohdennettu VHS:** Sama kuin VHS toimenpiteet, mutta muokkausmenetelmiä on pyritty kohdentamaan kaltevilta pelloilta alkaen kuten kohdennetussa Nykytila-skenaarioissakin.
- **VHS+ kipsi:** Sama kuin VHS, mutta lisäksi osalle savimaita on levitetty kipsiä kiintoaine, PP ja DRP kuormituksen vähentämiseksi.
- **Kohdennettu VHS + kipsi:** Kohdennettu VHS, mutta lisäksi osalle savimaita on levitetty kipsiä.
- **Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku:** Kohdennettu VHS jossa P-luvut ovat oletettu vaiheittain alle 15 mg/l ja alle 10 mg/l.
- **Hydrologisen vuosivaihtelun** vaikutus kuormitukseen.

Kaikissa skenaarioissa nykyisten suojavyöhykkeiden oletetaan sisältyvän nurmien (luonnonhoitopelto) alaan. Niinpä myös esimerkiksi VHS-skenaarioissa toimenpiteissä esitetyt suojavyöhykkeiden alat on lisätty muuhun nurmialaan.

Nykytilanteessa on vesiensuojelukosteikkoja toteutettu hyvin vähän ja ne jäävät vaikutuksiltaan koko peltoalan vaikutusarvioinneissa melko olemattomiksi. VHS-skenaarioissa arvioidaan esitetyt kosteikkojen määrät. Kosteikoista ei ole esitetty ominaisuustietoja ja vaikutusarvioissa kosteikkojen ominaisuuksien jakaumista tehtiin asiantuntija-arvio.

VIHMAA täydennettiin kipsin käytön arvioimiseksi. SAVE-hankkeen (<https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/>) ja kirjallisuuden mukaan kipsin käyttö voi vähentää kiintoaineen ja partikkelimaisen fosforin kuormitusta enintään 50 % ja liukoisen fosforin kuormitusta enintään 25 %. Tällä oletuksella VIHMAssa kipsiä levitetään vain savimaille. Järvien valuma-alueet eivät siihen sovellu. Nurmialasta kipsin levitykseen soveltuu neljäsosa (uusittavat nurmet) ja syksyllä suorakylvetty ala ei lainkaan (oraille ei kipsiä). Pääasiallinen kipsin levitysala on siis kevätilja sadonkorjuun jälkeen tai ennen kevätkylvöä.

Lähtötilanteessa kasvinviljely muokkauksen- ja viljelymenetelmien osalta perustuu tavanomaisiin käytäntöihin. Nykytilanteen eri muokkauksikäytäntöjä koskevat pinta-alaosuudet taulukossa 22 perustuvat Mavin tietokantaan ja kuvaavat nykyistä toimenpiteiden tasoa. VHS kuvaa puolestaan vesienhoitosuunnitelmiin sisältyvien toimenpiteiden kokonaismäärää. Lisäksi taulukossa on kipsinlevitysala niissä skenaarioissa ja alueilla, joissa kipsiä on mahdollista levittää. Rakennetutkimuksiin perustuvat kasvipeitteisyys- ja muokkausjakaumat ovat käytännössä toistoa Mavin tietokannan jakaumille ja niitä ei taulukossa 22 erikseen esitetä.

Peltojen kaltevuusjakaumat kaltevuusluokittain ovat taulukossa 23 ja peltoalan jakautuminen neljään maalajiluokkaan taulukossa 24. Aurajoki ja Paimionjoki ovat kaltevuuksiltaan ja maalajeiltaan melko samankaltaisia. Iisalmen reitti on kaltevuuksiltaan melko samankaltainen kuin koko maa. Eurajoen alue on melko tasainen. Maalajien osalta sekä Eurajoella että Iisalmen reitillä on puolestaan muita alueita selvästi enemmän karkeita maita ja vähemmän savimaita (ks. Luku 6). Kaltevuus- ja maalajijakaumat (Taulukot 23, 24) koko maalle ovat KUTI-tutkimuksesta (Puustinen ym. 1994) ja pilottialueiden kaltevuusjakauma korkeusmallista ja maalajijakaumat viljavuustutkimuksista (aineisto 2011–2017).

Pellon fosforitilan pinta-alajakauma viiteen P-lukuluokkaan on esitetty taulukossa 25. Lähtötilanteen ja nykytilanteen P-lukujakauma on pilottialueiden osalta sama,

**Taulukko 22.** Muokkausmenetelmien ja kasvipeitteisyyden osuudet (%) peltoalasta koko maan viljelyalalla ja pilottialueilla. Talviaikainen kasvipeitteisyys on talvikaudelta 2016–2017, kasvikoodit ja peltoala vuodelta 2017. Mavin tietokantapöiminnassa kokonaispeltoala on noin 2300 ha suurempi kuin Luken peltoalatilasto.

Lähtötilanne	Koko maa	Aurajoki	Paimionjoki	Eurajoki	Iisalmen reitti
<b>Yhteensä ha</b>	<b>2 275 245</b>	<b>30 441</b>	<b>45 158</b>	<b>30 046</b>	<b>66 438</b>
Syyskyntö (kevätviljat) sis. avokesannon	51	69	65	76	30
Perinteinen kyntö (syysviljat)	3	9	9	5	0
Kevennetty muokkaus	2	4	3	4	2
Suorakylvö	0	0	0	0	0
Pysyvä kasvipeitteisyys ja kesannot	44	19	22	15	68
<b>Nykytilanne (MAVI)</b>	<b>Koko maa</b>	<b>Aurajoki</b>	<b>Paimionjoki</b>	<b>Eurajoki</b>	<b>Iisalmen reitti</b>
Syyskyntö (kevätviljat) sis. avokesannon	25	33	26	53	25
Perinteinen kyntö (syysviljat)	2	6	6	3	0
Kevennetty muokkaus	19	32	34	20	6
Suorakylvö	6	10	11	8	1
Pysyvä kasvipeitteisyys ja kesannot	48	19	22	15	68
<b>VHS</b>	<b>Koko maa</b>	<b>Aurajoki</b>	<b>Paimionjoki</b>	<b>Eurajoki</b>	<b>Iisalmen reitti</b>
Syyskyntö (kevätviljat) sis. avokesannon	29	8	8	19	28
Perinteinen kyntö (syysviljat)	2	6	6	3	0
Kevennetty muokkaus	17	46	46	47	3
Suorakylvö	5	15	15	14	1
Pysyvä kasvipeitteisyys ja kesannot	47	25	25	17	68
Kipsin levitysala	9	41	49	-	-

**Taulukko 23.** Alueiden peltöjen jakautuminen (% -osuudet) VIHMAN kaltevuusluokkiin.

Kaltevuus (%)	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0
<b>Koko maa</b>	39	25	19	10	7
<b>Aurajoki</b>	46	26	17	10	1
<b>Paimionjoki</b>	46	29	16	9	1
<b>Eurajoki</b>	58	23	13	6	0
<b>Iisalmen reitti</b>	39	20	23	16	2

**Taulukko 24.** Alueiden peltöjen maalajien jakautuminen (%-osuudet) VIHMAN maalajiluokkiin.

Maalajit	Savi	Hiesu	Karkea	Eloperäinen
<b>Koko maa</b>	35	16	35	14
<b>Aurajoki</b>	66	3	30	2
<b>Paimionjoki</b>	79	2	16	3
<b>Eurajoki</b>	22	14	53	10
<b>Iisalmen reitti</b>	15	26	49	10

mutta koko maan osalta nykytilanteen P-luvut ovat hieman lähtötilannetta matalammat. Lähtötilanteen P-lukujakauma on Viljavuuspalvelun aineistosta vuosilta 2000–2010 ja nykytilanteen jakauma vuosilta 2011–2017. Aineistossa on noin 600 000 näytettä vajaalta 400 000 peltolohkolta.

P-lukujen osalta laskettiin myös ”alennettujen P-lukujen”-skenaarioita kullekin alueelle. Tällöin alimman ja toiseksi alimman P-lukuluokan osuus pysyi samana kuin nykytilanteessa, mutta koko loppualan P-lukujen oletettiin olevan alle 15 mg/l. Seuraavassa skenaariossa vain alimman P-lukuluokan osuus pysyi muuttumattomana ja loppualalla P-lukujen oletettiin jäävän alle 10 mg/l.

**Taulukko 25.** Alueiden peltojen jakautuminen VIHMAN P-lukuluokkiin (%-osuudet) eri skenaarioissa.

Lähtötilanne	< 6 mg/l	6–9,9 mg/l	10–14,9 mg/l	15–24,9 mg/l	> 25 mg/l
Koko maa	26	34	19	14	6
Aurajoki	25	37	19	10	9
Paimionjoki	41	32	15	7	5
Eurajoki	11	21	20	15	32
lisalmen reitti	35	39	18	6	3
Nykytilanne (MAVI)	< 6 mg/l	6–9,9 mg/l	10–14,9 mg/l	15–24,9 mg/l	> 25 mg/l
Koko maa	33	33	18	8	7
Aurajoki	25	37	19	10	9
Paimionjoki	41	32	15	7	5
Eurajoki	11	21	20	15	32
lisalmen reitti	35	39	18	6	3
Alennettu P-luku enintään 15 mg/l	< 6 mg/l	6–9,9 mg/l	10–14,9 mg/l	15–24,9 mg/l	> 25 mg/l
Koko maa	33	33	33	0	0
Aurajoki	25	37	38	0	0
Paimionjoki	41	32	26	0	0
Eurajoki	11	21	68	0	0
lisalmen reitti	35	39	26	0	0
Alennettu P-luku enintään 10 mg/l	< 6 mg/l	6–9,9 mg/l	10–14,9 mg/l	15–24,9 mg/l	> 25 mg/l
Koko maa	33	67	0	0	0
Aurajoki	25	75	0	0	0
Paimionjoki	41	59	0	0	0
Eurajoki	11	89	0	0	0
lisalmen reitti	35	65	0	0	0

## 9 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Maanmuokkauksen ja talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutuksia koskevat VIHMA-tulokset on esitetty tässä luvussa vaiheittain koko maatalousmaalle ja neljälle pilottialueelle: Aurajoelle, Paimionjoelle, Eurajoelle ja Iisalmen reitille. Ensiksi luvussa 9.1. ovat saavutettua nykytilaa kuvaavat tulokset, siis kuinka paljon kuormitus on nykyisillä toimenpiteillä jo alentunut. Tulokset vertautuvat lähtötilanteen kuormitustasoon ja hehtaarikohtaisiin kuormituslukuihin. Lisäksi arvioidaan nykyisten toimenpiteiden potentiaalista kokonaisvaikutusta sekä leutojen ja kuormittavien vuosien aiheuttamaa kuormituksen kasvuriskiä.

Toisessa vaiheessa, luvussa 9.2. on esitetty tuloksia siitä, kuinka paljon ja miten nykytilanteen kuormitusta voidaan edelleen alentaa. Tässä arvioidaan sitä, kuinka paljon VHS toimenpiteillä nykytilaa voidaan parantaa sekä arvioidaan erilaisten skenaarioiden vaikutuksia. Nämä tulokset vertautuvat alentuneeseen nykytilan kuormitustasoon ja hehtaarikohtaisiin kuormituslukuihin.

Tämän jälkeen luvussa 9.3. arvioitiin kuinka suuri hyöty lannan fraktioinnista olisi mahdollista saavuttaa vesistön kannalta käyttäen NURMAP-tilamallia. Kohdealueena oli Iisalmen reitti. Luvussa 9.4. on arvioitu hoitokalastuksen tehokkuutta ravinteiden poistajana, sekä kalabiomassan ravinteiden kierrätyksen kasvattamisen potentiaalia ja edellytyksiä. Lopuksi luvussa 9.5. tulokset on vedetty yhteen.

### 9.1 Ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteillä saatu kuormituksen aleneminen ja vesienhoidon tavoitteet

Taulukoissa 26–30 on esitetty vuosikuormitus ja ominaiskuormitusluvut kiintoainneelle, partikkelifosforille, liukoiselle fosforille, kokonaisfosforille ja kokonaistypelle ennen vesiensuojelutoimenpiteitä, saavutettu kuormituksen alenema lähtötilasta nykytilaan, VHS:n tavoitetila ja kohdennettu nykytila koko maalle ja kaikille pilottialueille. Kaikki VIHMA-laskelmien tulostaulukot on myös esitetty liitteessä 5. Koko maatalousmaan keskimääräinen laskennallinen vuosieroosio oli lähtötilanteessa ennen nykytilan toimenpiteitä 517 kg hehtaarilta. Kiintoainekseen sitoutuneen partikkelifosforin keskimääräinen huuhtouma oli 0,71 kg ja liukoisen fosforin 0,46 kg hehtaarilta vuodessa. Keskimääräinen kokonaisfosforin huuhtouma oli siten 1,17 kg hehtaarilta vuodessa, josta liukoisen fosforin osuus oli 39 %. Pienten valuma-alueiden seurannoissa fosforin ominaiskuormitusluku on 1,1 kg (Tattari ym. 2017, Vuorenmaa ym. 2002). Keskimääräinen typen huuhtouma oli 16 kg hehtaarilta vuodessa, mikä myös vastaa pienten valuma-alueiden seurantoihin perustuvaa ominaiskuormituslukuja 15 kg hehtaarilta. Koko peltoalalta tuleva fosforikuorma oli ennen toimenpiteitä yhteensä 2 666 tn ja typpikuorma 36 460 tn vuodessa.

Vuosikuormitus ja hehtaarikohtaiset ominaiskuormitusarviot kuvaavat pitkän aikavälin keskimääräistä maatalouden kiintoaine- ja ravinnekuormitusta ja kattavat pellon perinteisen viljelykäytön ja hydrologisen vuosivaihtelun. Nykyisellä ohjelmakaudella toteutetut toimenpiteet ovat pienentäneet tätä maatalousmaan laskennallista kiintoainekuormitusta 17 % ja partikkelimaisen fosforin kuormitusta 13 %. Muokkauksen keventyessä sekä talviaikaisen sängin ja suorakylvöalan laajentuessa liukoisen fosforin huuhtouma oli kasvanut lähtötasostaan 7 %. Tästä johtuen kokonaisfosforin kuormituksen alenema jää 5 %:iin. Syksyllä kynnetyn peltoalan pienentyessä puoleen kokonaistypen laskennallinen kuormitus aleni 13 %. Tässä on huomattava se, että typpilannoitteiden käytön alenemisen mahdollinen vaikutus ei sisälly em. tulokseen.

Rakennetutkimusten (2009–2010 ja 2015–2016) tietojen perusteella laskettu keskimääräinen kiintoaineen ja ravinteiden hehtaarikuormitus oli aivan sama kuin Mavin aineistolla laskettu. Toimenpiteillä saatu kuormituksen aleneminen oli molempiin aineistoihin perustuvissa arvioissa sama, poikkeama oli 1 % -yksikköä. Tästä voidaan päätellä, että nykyinen kuormituksen alenemisen taso saavutettiin jo viimeistään edeltävällä ohjelmakaudella. Suojavyöhykkeet (8 000 ha suojavyöhykkeitä) olivat edeltävällä ohjelmakaudella erikseen määritettäviä toimenpiteitä ja niiden laskennallinen kuormitusta leikkaava vaikutus oli noin 2 %. Nykyisellä kaudella suojavyöhykkeet sisältyvät kokonaisina kasvulohkoina erittelemättä laajempaan ryhmään, joka sisältää mm. luonnonhoitopeltoja. Kosteikkoja on maanlaajuisesti toteutettu niin vähän, että niiden vaikutukset eivät koko peltoalaa koskevassa tarkastelussa näy.

Vesienhoitosuunnitelmissa esitettyjen toimenpiteiden vaikutukset koko maatalousmaalla olivat myös hyvin samanlaiset, osin jopa hiukan suuremmat kuin nykytilan toimenpiteillä. Ts. toteutuneiden nykytilan ja suunniteltujen VHS toimenpiteiden määrät ovat laajuudeltaan samansuuruisia.

Nykytilan ja VHS toimenpiteiden vaikutusten laskennassa toimenpiteet sijoitettiin VIHMAN peltoluokkiin tasaisesti, minkä oletettiin vastaavan parhaiten käytännön toteutusta. Jos sama toimenpiteiden määrä olisi toteutettu kaltevimmista pelloista alkaen (kohdennettu nykytila-skenario), vaikutukset olisivat eroosion ja partikkelimaisen fosforin alenemisessä olleet kaksinkertaisia. Tästä voidaan päätellä, että toimenpiteisiin sisältyy suuri vaikutuspotentiaali, jonka hyödyntäminen edellyttää systemaattista toimenpiteiden kohdentamista kuormittavimmista (eroosio) pelloista alkaen. Liukoisen fosforin ja typen kohdalla tässä vertailussa ei kuitenkaan olisi vaikutusta.

Kohdentamisen merkitys koko maatalousmaalla korostuu vielä toistakin kautta. Kun verrataan nykytilan kuormituksen keskimääräistä alenemista (toimenpiteet toteutettu kohdentamattomina keskimääräisinä hydrologisina vuosina) tilanteeseen, jossa hydrologinen vuosi on hyvin kuormittava, havaitaan että saavutettu hyöty kiintoaine- ja PP-kuormituksen osalta menetetään. Sen sijaan, jos toimenpiteet olisi kohdennettu kaltevimmille pelloille, kuormittavina vuosina ei menetettäisikään saavutettua vähenemää, vaan se olisi edelleen merkittävä. Lohkokohtaisen mallinnetun RUSLE-eroosioriskiaineiston avulla toimenpiteiden kohdentaminen on mahdollista toteuttaa vasta sitten kun se on koko maan osalta kattava.

Liukoisen fosforin huuhtoumat kasvoivat koko maan maatalousmaalla kaikissa perusarvioissa. Tämä vaikuttaa kokonaisfosforin muutokseen siten, että se jää selvästi vaatimattomammaksi kuin partikkelimaisen fosforin väheneminen. Mielenkiintoinen havainto on se, että kuormittava vuosi ei vaikuttanut liukoisen fosforin huuhtoumiin yhtä voimakkaasti kuin eroosioon ja partikkelifosforiin. Toimenpiteiden kohdentaminen kalteville pelloille ei vaikuttanut typpihuuhtoumiin.

**Taulukoissa 26–30** on esitetty aluksi kiintoaineen/ravinteiden keskimääräinen kokonaiskuormitus ja ominaiskuormitus eri alueilla eli lähtötilanne, jossa ei ole vielä toteutettu ympäristökorvausjärjestelmän mukaisia toimenpiteitä. Seuraavaksi on esitetty toimenpiteillä saatava kuormituksen keskimääräinen laskennallinen kuormi-

tuksen muutos eli nykytilanne. VHS toimenpiteet kuvaavat vesienhoidon tavoitetilaa ja kohdentaminen nykyisten toimenpiteiden kokonaispotentiaalia, mikäli toimenpiteitä kohdennettaisiin peltojen kaltevuuksien mukaan. Leudot talvet sarakkeissa on kuormituksen muutosarvio, jos keskimääräinen hydrologinen vuosivaihtelu muuttuisi pysyvästi leutojen talvien suuntaan. Punaiset luvut taulukoissa kuvaavat kuormituksen kasvua.

**Taulukko 26.** VIHMAN tuloksia kiintoaineen osalta.

Kiintoainekuormitus Lähtötilasta nykytilaan	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne t/v	<b>1 177 331</b>		<b>16 127</b>		<b>22 260</b>		<b>14 374</b>		<b>27 44</b>	
Lähtötilanne kg/ha/v	<b>517</b>		<b>530</b>		<b>493</b>		<b>478</b>		<b>413</b>	
Nykytilanne (Mavi)	-17 %	-4 %	-17 %	-2 %	-19 %	-5 %	-11 %	5 %	-3 %	10 %
VHS	-15 %	-2 %	-35 %	-24 %	-32 %	-21 %	-29 %	-18 %	-4 %	9 %
Kohdennettu nykytila	-35 %	-28 %	-32 %	-22 %	-33 %	-24 %	-25 %	-14 %	-23 %	-17 %

**Taulukko 27.** VIHMAN tuloksia partikkelimaisen fosforin osalta.

PP kuormitus Lähtötilasta nykytilaan	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne t/v	<b>1 608</b>		<b>20,1</b>		<b>29,8</b>		<b>16,6</b>		<b>37,0</b>	
Lähtötilanne kg/ha/v	<b>0,71</b>		<b>0,66</b>		<b>0,66</b>		<b>0,55</b>		<b>0,56</b>	
Nykytilanne (Mavi)	-13 %	1 %	-13 %	1 %	-14 %	-1 %	-7 %	5 %	-2 %	10 %
VHS	-11 %	2 %	-27 %	-17 %	-25 %	-15 %	-22 %	-12 %	-3 %	10 %
Kohdennettu nykytila	-27 %	-21 %	-24 %	-16 %	-24 %	-16 %	-17 %	-8 %	-15 %	-8 %

**Taulukko 28.** VIHMAN tuloksia liukoisen fosforin, DRP, osalta.

DRP kuormitus Lähtötilasta nykytilaan	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne t/v	<b>1 058</b>		<b>11,3</b>		<b>14,4</b>		<b>21,2</b>		<b>27,5</b>	
Lähtötilanne kg/ha/v	0,46		0,37		0,32		0,71		0,41	
Nykytilanne (Mavi)	7 %	12 %	20 %	33 %	20 %	28 %	12 %	37 %	1 %	-2 %
VHS	6 %	10 %	32 %	42 %	27 %	34 %	24 %	47 %	0 %	-4 %
Kohdennettu nykytilanne	7 %	12 %	20 %	33 %	20 %	28 %	12 %	37 %	1 %	-2 %

**Taulukko 29.** VIHMAN tuloksia kokonaisfosforin osalta.

TotP kuormitus Lähtötilasta nykytilaan	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne t/v	<b>2 666</b>		<b>31,5</b>		<b>44,2</b>		<b>37,8</b>		<b>64,5</b>	
Lähtötilanne kg/ha/v	<b>1,17</b>		<b>1,03</b>		<b>0,98</b>		<b>1,26</b>		<b>0,97</b>	
Nykytilanne (Mavi)	-5 %	5 %	-1 %	13 %	-3 %	9 %	4 %	23 %	-1 %	5 %
VHS	-5 %	5 %	-6 %	4 %	-8 %	1 %	3 %	21 %	-1 %	4 %
Kohdennettu nykytilanne	-13 %	-8 %	-8 %	2 %	-9 %	-1 %	0 %	17 %	-8 %	-6 %

**Taulukko 30.** VIHMAN tuloksia kokonaistypen osalta.

TotN kuormitus Lähtötilasta nykytilaan	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne t/v	<b>36 460</b>		<b>510,1</b>		<b>743,1</b>		<b>568,2</b>		<b>839,9</b>	
Lähtötilanne kg/ha/v	<b>16,0</b>		<b>16,8</b>		<b>16,5</b>		<b>18,9</b>		<b>12,6</b>	
Nykytilanne (Mavi)	-13 %	-8 %	-17 %	-13 %	-18 %	-14 %	-10 %	-5 %	-3 %	7 %
VHS	-12 %	-6 %	-30 %	-30 %	-28 %	-28 %	-25 %	-24 %	-3 %	8 %
Kohdennettu nykytilanne	-13 %	-8 %	-17 %	-13 %	-18 %	-14 %	-10 %	-5 %	-3 %	7 %

Aurajoen ja Paimionjoen valuma-alueilla peltojen laskennallinen keskimääräinen hehtaarikohtainen vuosikuormitus lähtötilanteessa ennen toimenpiteitä on yhtä suuri ja typpikuormitusta lukuun ottamatta pienempi kuin koko maatalousmaalla. Liukoisen fosforin huuhtouma on Aurajoella ja Paimionjoella selvästi koko maan lukua pienempi ja typpikuormitus suurempi. Eurajoella peltojen keskimääräinen eroosio on pienempi kuin Aurajoella ja Paimionjoella. Eurajoella liukoisen fosforin kuormitus on korkea, jopa partikkelifosforia korkeampi. Iisalmen reitillä keskimääräinen eroosio ja partikkelimaisen fosforin huuhtouma ovat koko maan lukuja huomattavasti pienempiä. Liukoisen fosforin huuhtouma Iisalmen reitillä on koko maan peltoalan keskilukua suurempi. Typen huuhtoutuminen on Iisalmen reitillä huomattavasti muita pienempi. Kokonaisfosforin huuhtoumat ovat samantasoiset kaikilla alueilla.

Aurajoella ja Paimionjoella kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitus on nykytilan toimenpiteillä alentunut suhteellisesti yhtä paljon kuin koko maan peltoalalla. Liukoinen fosfori on lähtötilanteesta kasvanut molemmilla alueilla 20 % ja typpikuormitus pienentynyt 17–18 %. Eurajoella muutokset ovat samansuuntaiset kuin koko maatalousmaalla, mutta selvästi vaatimattomammat. Iisalmen reitillä ei käytännössä ole tapahtunut lainkaan muutoksia.

VIHMAN laskentatulosten mukaan Aurajoella, Paimionjoella ja Eurajoella nykyisillä toimenpiteillä vesienhoidon tavoitteista olisi jääty kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormituksen osalta jälkeen. Jos toimenpiteet toteutettaisiin järjestelmällisesti kaltevista pelloista alkaen, samalla toimenpiteiden laajuudella vesienhoidon tavoitteet olisi lähes kokonaan saavutettu. Iisalmen reitillä vesienhoidon tavoitteet ovat samat kuin on jo nykytilassa saavutettu.

Vesienhoito-ohjelmissa esitettyjen toimenpiteiden vaikutuksista nykyiset toimenpiteet ovat yltäneet kolmella lounaissuomalaisella pilottialueella karkeasti ottaen puoleen väliin. Toteutuneiden ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteiden määrä näillä alueilla on siis ollut suunniteltua vähäisempää. Liukoisen fosforin kuormitus näillä alueilla oli kasvanut yli 20 %, mutta VHS- toimenpiteet olisivat aiheuttaneet vieläkin suuremman kasvun.

Toimenpiteiden kohdentamisella kaltevuuden mukaan olisi myös pilottialueilla saatu samanlainen merkittävä lisähyöty kuin koko maatalousmaalla, mikä olisi estänyt myös kuormittavien vuosien lisäpaineen kohdentamattomaan verrattuna. Vesienhoidon toimenpideohjelmissa esitettyjen tavoitetasojen ja ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteiden vaikutusten ohella keskeisiä tiedontarpeita ovatkin lopulta toimenpiteisiin sisältyvä varsin merkittävä vaikutuspotentiaali. Tätä ei ole käytännössä hyödynnetty tai tunnistettu. Toisaalta liukoisen fosforin huuhtoumien kasvu oli em. tulosten mukaan huomattavan suuri erityisesti lounaissuomalaisilla pilottialueilla, ja joka on eroosion vähentämistarpeista huolimatta saatava hallintaan.

## 9.2 Maatalouden ympäristötoimenpiteiden tehostamismahdollisuudet ja leutojen talvien vaikutus

Skenaariotarkasteluiden avulla on tarkoitus tunnistaa ympäristökuormitukseen liittyviä kipupisteitä ja arvioida niiden merkitystä kuten juuri em. hyödyntämättä jäänyttä vaikutuspotentiaalia tai liukoisen fosforin riskejä ja ongelmia. Seuraavissa taulukoissa koko maatalousmaan ja pilottialueiden skenaariotarkasteluissa ei ole otettu kantaa toimenpiteiden toteutettavuuteen. Osa toimenpiteiden vaikutuksista vaatisi todennäköisesti myös pitkiä aikajaksoja yltääkseen täysimääräisiin ympäristöhyötyihin. Taulukoissa 31–35 oleva kuormitustaso (hehtaarikohtaiset ominaiskuormitusluvut ja kokonaiskuormitus) on laskennallinen nykytilan kuormitus. Skenaarioiden tuloksissa arvioidaan tapoja päästä vesienhoidon tavoitteita täyttävään tilanteeseen.

Kuten edellä jo nykytilaa arvioitaessa todettiin, kiintoaineen ja partikkelimaisen fosforin kuormituksen hallinnassa merkittävä vaikutuspotentiaali sisältyy toimenpiteiden kohdentamiseen pellon kaltevuuden mukaan. Niinpä vesienhoidolle esitetyistä toimenpiteistä (VHS) talviaikaisen kasvipeitteisyyden ja kevennetyn muokkauksen kohdentaminen alentaisi eroosiota koko maatalousmaalla edelleen 20 % ja partikkelimaisen fosforin huuhtoutumista 17 % ja kokonaisfosforin alenema olisi 10 % (Taulukot 31–35). Näissä kohdentamis-skenaarioissa syyskyntöä on jätetty mahdollisimman paljon tasaisille pelloille ja kevennetyt muokkauskäsittelyt, sänki ja pysyvä nurmi sijoitettiin mahdollisimman laajalti kalteville pelloille.

Kipsin levitys leikkaa lohkotasolla eroosiota ja partikkelifosforin kuormitusta erittäin paljon ja liukoisen fosforin kuormitusta merkittävästi. Koska sen käyttö soveltuu vain mereen laskevien jokivesistöjen valuma-alueille ja niiden savimaille, sen laaja-alaisen käytön on näissä laskelmissa oletettu rajoittuvan vain Saaristomeren valuma-alueelle ja siten vaikutukset koko maan vertailussa olisivat kiintoaine ja fosforikuormitukseen vain 2–4 %. Kipsikäsitteilyn heikkoutena on vaikutusten lyhytaikaisuus. Nykytiedon mukaan vaikutukset hiipuvat viiden vuoden kuluessa.

Erityisen tehokas keino eliminoida liukoisen fosforin huuhtoumien nousu kaikissa eroosiota vähentävissä vertailuissa on P-lukujen alentaminen. Jos P-luvut alennettaisiin kaikilla lohkoilla alle 15 mg/l, liukoinen fosfori alenisi 21 %. Jos P-luvut alenisivat kaikilla lohkoilla alle 10 mg/l, liukoisen fosforin huuhtoutuminen alenisi nykytilasta 30 %. Kokonaisfosfori alenisi näissä tilanteissa 18 % ja 23 %. Peltojen P-lukujen aleneminen on kuitenkin hidasta, joten nämä luvut kuvaavat lähinnä sitä potentiaalia, joka olisi mahdollista saavuttaa noin 20 vuoden kuluessa. Tässä tarkastelussa käytetyt P-lukuarvot (15 ja 10 mg/l) tulevat VIHMAN luokkarajoista.

Hydrologinen vuosivaihtelu lähtökohtaisesti sisältyy pitkällä aikavälillä havaittuihin ja toisaalta tässä työssä VIHMAN keskimääräisiin ominaiskuormituslukuihin. Ilmastonmuutos tai vain muutos siihen suuntaan tarkoittaa useimpien ennusteiden mukaan kasvavaa leutojen ja lumettomien talvien esiintymistiheyttä. Tässä hankkeessa ja VIHMA-laskelmissa ilmastonmuutoksella tarkoitetaan nyt jo havaittujen leutojen talvien aiheuttamaa merkittävää kuormituslisää. Tällainen muutos mitätöisi ympäristötoimenpiteillä saadut hyödyt, kuten edellä jo todettiin, ellei siihen tietoisesti varauduta. Toimenpiteiden kohdentamisen jälkeen kuormittavien vuosien vaikutus jäisi kuitenkin merkittävästi pienemmäksi. VIHMA-tulosten mukaan siis kaltevilla, eroosioherkillä alueilla eroosioriskin pienentäminen toimisi hyvin kuormittavissa sääoloissa leutoina talvina.

**Taulukoissa 31–35** on esitetty aluksi (nykytilanne) keskimääräinen kokonaiskuormitus ja ominaiskuormitus eri alueilla sekä eri skenaarioiden toimenpiteillä saatava kuormituksen keskimääräinen laskennallinen muutos nykytilaan (keskimääräiset talvet) verrattuna. Leudot talvet sarakkeissa on kuormitus- ja kuormituksen muutosarvio, jos keskimääräinen hydrologinen vuosivaihtelu olisi muuttunut tai pysyvästi muuttuisi leutojen talvien suuntaan. Punaiset luvut taulukoissa kuvaavat kuormi-

tuksen kasvua toteutetuista toimenpiteistä huolimatta. Harmaalla on merkitty ne skenaariot joilla kuormitus ei muutu edelliseen skenaarioon verrattuna.

- **Kohdennettu VHS:** Sama kuin VHS toimenpiteet, mutta muokkausmenetelmiä on pyritty kohdentamaan kaltevilta pelloilta alkaen kuten kohdennetussa Nykytila-skenaarioissakin.
- **VHS+ kipsi:** Sama kuin VHS, mutta lisäksi osalle savimaita on levitetty kipsiä kiintoaine, PartP ja DRP kuormituksen vähentämiseksi
- **Kohdennettu VHS + kipsi:** Kohdennettu VHS, mutta lisäksi osalle savimaita on levitetty kipsiä.
- **Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku:** Kohdennettu VHS jossa P-luvut ovat oletettu vaiheittain alle 15 mg/l ja alle 10 mg/l.
- **Hydrologisen vuosivaihtelun** vaikutus kuormitukseen

Kohdentamalla Aurajoen, Paimionjoen ja Eurajoen valuma-alueella vesienhoitosuunnitelmien toimenpiteet kuormittavimmista pelloista alkaen, voidaan saada erittäin suuri parannus nykytilaan. Se riittäisi suunnitelluilla VHS-toimenpiteillä ajateltuun tavoitetasoon. Iisalmen reitillä VHS toimet eivät muuta nykytilan kuormitusta. Siellä on siis VIHMAN tulosten mukaan jo saavutettu VHS:ssa asetetut tavoitteet kuormituksen vähentämiseksi.

Aurajoen ja Paimionjoen valuma-alueilla kipsin levityksen vaikutus kiintoaineen ja partikkelimaisen fosforin kuormitukseen ovat suuria sekä VHS + kipsi- että Koh-

**Taulukko 31.** VIHMAN tuloksia kiintoaineen osalta.

Kiintoaine Nykytilanne vs. muut skenaariot	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Nykytilanne t/v	<b>972 744</b>	<b>1 128 055</b>	<b>13 428</b>	<b>15 812</b>	<b>18 138</b>	<b>21 255</b>	<b>12 857</b>	<b>15 044</b>	<b>26 519</b>	<b>30 057</b>
Nykytilanne kg/ha/v	<b>428</b>	<b>496</b>	<b>441</b>	<b>519</b>	<b>402</b>	<b>471</b>	<b>428</b>	<b>501</b>	<b>399</b>	<b>452</b>
VHS+ kipsi	-3 %	<b>12 %</b>	-39 %	-29 %	-40 %	-30 %				
Kohdennettu VHS	-20 %	-12 %	-34 %	-25 %	-29 %	-20 %	-31 %	-22 %	-21 %	-15 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 15	-20 %	-12 %	-34 %	-25 %	-29 %	-20 %	-31 %	-22 %	-21 %	-15 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 10	-20 %	-12 %	-34 %	-25 %	-29 %	-20 %	-31 %	-22 %	-21 %	-15 %
Kohdennettu VHS + kipsi	-24 %	-16 %	-47 %	-40 %	-47 %	-40 %				

**Taulukko 32.** VIHMAN tuloksia partikkelimaisen fosforin osalta.

PartP Nykytilanne vs. muut skenaariot	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Nykytilanne t/v	<b>1 406</b>	<b>1 888</b>	<b>17,6</b>	<b>20,1</b>	<b>25,7</b>	<b>29,8</b>	<b>15,4</b>	<b>16,6</b>	<b>36,2</b>	<b>37,0</b>
Nykytilanne kg/ha/v	<b>0,62</b>	<b>0,83</b>	<b>0,58</b>	<b>0,66</b>	<b>0,57</b>	<b>0,66</b>	<b>0,51</b>	<b>0,55</b>	<b>0,55</b>	<b>0,56</b>
VHS+ kipsi	-4 %	<b>10 %</b>	-36 %	-27 %	-37 %	-28 %				
Kohdennettu VHS	-17 %	-10 %	-23 %	-15 %	-19 %	-11 %	-21 %	-13 %	-14 %	-7 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 15	-17 %	-10 %	-23 %	-15 %	-19 %	-11 %	-21 %	-13 %	-14 %	-7 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 10	-17 %	-10 %	-23 %	-15 %	-19 %	-11 %	-21 %	-13 %	-14 %	-7 %
Kohdennettu VHS + kipsi	-21 %	-14 %	-39 %	-33 %	-39 %	-33 %				

**Taulukko 33.** VIHMAN tuloksia ilukoisen fosforin osalta.

DRP Nykytilanne vs. muut skenaariot	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Nykytilanne t/v	<b>1 137</b>	<b>1 183</b>	<b>13,6</b>	<b>15,1</b>	<b>17,2</b>	<b>18,4</b>	<b>23,8</b>	<b>29,01</b>	<b>27,9</b>	<b>26,9</b>
Nykytilanne kg/ha/v	<b>0,50</b>	<b>0,52</b>	<b>0,45</b>	<b>0,50</b>	<b>0,38</b>	<b>0,41</b>	<b>0,79</b>	<b>0,97</b>	<b>0,42</b>	<b>0,40</b>
VHS+ kipsi	-3 %	<b>1 %</b>	0 %	<b>7 %</b>	-4 %	0 %				
Kohdennettu VHS	-2 %	<b>3 %</b>	<b>10 %</b>	<b>18 %</b>	<b>6 %</b>	<b>12 %</b>	<b>10 %</b>	<b>31 %</b>	-1 %	-5 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 15	-21 %	-21 %	-20 %	-20 %	-15 %	-15 %	-44 %	-39 %	-11 %	-16 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 10	-30 %	-32 %	-34 %	-37 %	-26 %	-29 %	-57 %	-56 %	-20 %	-27 %
Kohdennettu VHS + kipsi	-3 %	<b>1 %</b>	0 %	<b>7 %</b>	-4 %	0 %				

**Taulukko 34.** VIHMAN tuloksia kokonaisfosforin osalta.

TotP Nykytilanne vs. muut skenaariot	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Nykytilanne t/v	<b>2 543</b>	<b>2 801</b>	<b>31,2</b>	<b>35,5</b>	<b>42,9</b>	<b>48,0</b>	<b>39,3</b>	<b>46,6</b>	<b>64,1</b>	<b>67,6</b>
Nykytilanne kg/ha/v	<b>1,12</b>	<b>1,23</b>	<b>1,02</b>	<b>1,17</b>	<b>0,95</b>	<b>1,06</b>	<b>1,31</b>	<b>1,55</b>	<b>0,97</b>	<b>1,02</b>
VHS+ kipsi	-4 %	<b>6 %</b>	-20 %	-12 %	-24 %	-17 %				
Kohdennettu VHS	-10 %	-4 %	-9 %	-1 %	-9 %	-2 %	-2 %	<b>14 %</b>	-8 %	-6 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 15	-18 %	-15 %	-22 %	-17 %	-18 %	-13 %	-35 %	-29 %	-13 %	-11 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 10	-23 %	-20 %	-28 %	-25 %	-22 %	-18 %	-43 %	-39 %	-17 %	-16 %
Kohdennettu VHS + kipsi	-13 %	-7 %	-22 %	-15 %	-25 %	-20 %				

**Taulukko 35.** VIHMAN tuloksia kokonaistypen osalta.

TotN Nykytilanne vs. muut skenaariot	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Nykytilanne t/v	<b>31 553</b>	<b>33 638</b>	<b>424,1</b>	<b>446,2</b>	<b>607,1</b>	<b>637,1</b>	<b>513,6</b>	<b>540,8</b>	<b>813,5</b>	<b>900,2</b>
Nykytilanne kg/ha/v	<b>13,9</b>	<b>14,8</b>	<b>13,9</b>	<b>14,7</b>	<b>13,4</b>	<b>14,1</b>	<b>17,1</b>	<b>18,0</b>	<b>12,2</b>	<b>13,5</b>
VHS+ kipsi	<b>2 %</b>	<b>9 %</b>	-16 %	-16 %	-12 %	-12 %				
Kohdennettu VHS	<b>2 %</b>	<b>9 %</b>	-16 %	-16 %	-12 %	-12 %	-17 %	-16 %	<b>1 %</b>	<b>11 %</b>
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 15	2 %	9 %	-16 %	-16 %	-12 %	-12 %	-17 %	-16 %	1 %	11 %
Kohdennettu VHS ja alennettu P-luku 10	2 %	9 %	-16 %	-16 %	-12 %	-12 %	-17 %	-16 %	1 %	11 %
Kohdennettu VHS + kipsi	2 %	9 %	-16 %	-16 %	-12 %	-12 %				

dennettu VHS + kipsi –skenaarioissa (taulukot 33 ja 34). Liukoisen fosforin kohdalla melko vaatimaton laskennallinen vaikutus johtuu siitä, että missään skenaariossa kipsin levityksen perusteena ei ollut P-luku (Taulukko 35). Jos kipsiä levitetään korkean P-luvun mukaan kohdentaen, se kohdistuisi korkeampaan liukoisen fosforin huuhtoumaan ja siten sen vaikutus olisi myös suurempi kuin taulukossa 35. Kääntöpuolena tässä on taas, että jos kipsin levitys osuisi runsaammassa määrin tasaisille

pelloille, sen vaikutus eroosioon ja partikkelimaiseen fosforiin olisi pienempi kuin taulukossa 35.

Typpikuormitus pienenee muokkausta kevennettäessä. Toimenpiteiden kohdentaminen kaltevammille pelloille ei kuitenkaan muuta typen huuhtoumaa. Muokkauksen keventäminen tai talviaikaisen kasvipeitteisyyden lisääminen pienentää typen huuhtoutumista samalla tavalla kaltevilla ja tasaisilla pelloilla. Myöskään P-lukujen alentaminen tai kipsin levittäminen ei vaikuta VIHMAssa typen huuhtoumaan.

Varsinkin Iisalmen reitillä leutoina talvina olisi VIHMAN mukaan alhaisempi liukaisen fosforin kuormitus kuin keskimääräisinä talvina. Tämä johtuu siitä, että Iisalmen reitillä on muihin alueisiin verrattuna huomattavan paljon nurmia, joilla liukaisen fosforin kuormitus on leutoina talvina keskimääräisten talvien kuormitusta matalampaa. Tämä selittyy ehkä sillä, että leutona syksynä nurmi myös kasvaa pidempään ravinteita käyttäen.

## Kosteikot

Kosteikoista VHS- suunnitelmissa esitetään vain niiden lukumäärät, mutta ei niiden kokoa tai suhdetta yläpuoliseen valuma-alueeseen. Nämä ominaisuudet taulukossa 36 perustuvat asiantuntija-arvioihin. Kosteikkojen tehokkuus riippuu sen pinta-alan suhteesta koko valuma-alueeseen ja pelloilta tuleva kiintoaine- ja ravinnekuormitus viljellyn pellon kokonaisalasta. Kosteikkojen vaikutus on laskettu peltolohkoilla toteutettujen toimenpiteiden jälkeen alentuneesta kuormituksesta.

**Taulukko 36.** Kosteikkojen pinta-alaosuus (0–2 % –5 %) yläpuolisesta valuma-alueesta koko maassa ja pilottialueilla.

Kosteikon pinta-alaosuus (%) yläpuolisesta valuma-alueesta	Peltoa yläpuolisella valuma-alueella / ha				
	Koko maa	Aurajoki	Paimionjoki	Eurajoki	Iisalmen reitti
0,2 %	11 909	581	865	707	474
0,3 %	11 909	581	865	707	474
0,4 %	17 864	871	1 298	1 061	711
0,5 %	23 819	1 161	1 730	1 414	948
1 %	17 864	871	1 298	1 061	711
1,5 %	11 909	581	865	707	474
2 %	11 909	581	865	707	474
2,5 %	3 573	174	260	212	142
3,0 %	3 573	174	260	212	142
4,0 %	2 382	116	173	141	95
5,0 %	2 382	116	173	141	95
YHT ha	<b>119 093</b>	<b>5 807</b>	<b>8 651</b>	<b>7 071</b>	<b>4 740</b>
<b>Kosteikkojen lukumäärä VHS:ssa</b>	3 015	147	219	179	120

Taulukossa 37 on esitetty laskennalliset kosteikkojen vaikutukset koko maatalousmaalla ja pilottialueilla. Kosteikoilla olisi siis mahdollista alueesta riippuen vähentää nykytilan kuormitusta 1–5 %. Koko maan osalta vaikutus jää vaatimattomammaksi verrattuna pilottialueisiin, joilla kosteikkojen lukumäärä pinta-alaan suhteutettuna onkin suurempi.

**Taulukko 37.** VHS:n kosteikoilla saatava kuormituksen muutos.

VHS kosteikoilla saavutettava lisämuutos (%)					
	Koko maa	Aurajoki	Paimionjoki	Eurajoki	Iisalmen reitti
Eroosio	-1 %	-3 %	-4 %	-4 %	-2 %
PartP	-1 %	-4 %	-4 %	-5 %	-2 %
DRP	0 %	-2 %	-2 %	-3 %	-1 %
TotP	-1 %	-3 %	-3 %	-3 %	-1 %
TotN	-1 %	-2 %	-2 %	-2 %	-1 %

### 9.3 Kiertovesi-hankkeen skenaariot lannan fraktioinnin osalta

Hankkeessa kehitetyn NURMAP-mallin (ks. luku 5.3 ja 5.4) tausta-aineistossa pintavalunnan keskimääräinen liukoisen fosforin pitoisuus oli 0,22 mg/l ja maan viljavuusfosfori oli aineistossa keskimäärin 12,2 mg/l maata. Suhde täsmää hyvin Luken ja SYKEN laajempiin kenttäaineistoihin (ks. luku 5.1). Ominaiskuormitusarviot liukoiselle ja partikkelifosforille olivat 0,26 ja 0,17 kg/ha/v ja siten kokonaisfosforin ominaiskuormitus oli 0,43 kg/ha. Arviot ovat hieman pienempiä (-35 %) kuin VIHMA-mallin tulokset nurmelle saman kaltevuusluokan pelloille (0,5–1,5 %), jonka mukaan liukoisen fosforin kuormitus on 0,37 ja partikkelifosfori 0,30 sekä kokonaisfosfori 0,67 kg/ha/v. VIHMAN mukaan kokonaisfosforin kuormitus kasvaa 25 %, kun kaltevuus nousee luokkaan 1,5–3,0 %. Uudet arviot ovat samaa tasoa kuin Ruotsissa (Uhlen ja Mattson 2003).

Merkittävin ero aiempiin malleihin oli eroosion määrän arvioinnissa. NURMAPissa ei käytetty haihdutusjäännöstä kuvaamaan eroosioaineksen määrää. Tämä siksi, että niissä kokeissa, joissa on aidosti määritetty kiintoaine, on eroosion määrä huomattavasti pienempi kuin haihdutusjäännöksen perusteella on yleensä arvioitu. Mitattu eroosio nurmipeitteisiltä lohkoilta on yleensä vain luokkaa 10–50 kg/ha/v, joskin aineistoa on hyvin niukasti.

Osana Skenaario IV (täyskierto: Kiertotalouden laaja-alainen soveltaminen) laadittiin Iisalmen reitille sellainen tilannekuva, jossa oletetaan karjanlannan fraktiointitekniikan edistyneen niin, että karjanlannan fosforin ja typen erotus onnistuu täydellisesti, jolloin niiden käyttötapa vastaa mineraalilannoitteiden käyttötappaa niin ravinnesuhteiden säätelyn, levityksen tarkkuuden ja ajoituksen kuin kuljetusmatkojen suhteenkin. Tätä vastaavia erotusteknologioita on onnistuttu jo kehittämään, mutta sen lisäksi skenaariossa oletetaan, että ravinnepäätteiden kuljetus ja varastointi ovat myös mahdollisia. Tällöin lannan ravinteiden käytön aiheuttamaa vesistökuormitusta ei lasketa enää lietelannan tapaan, vaan laskenta vastaa vapailla ravinnesuhteilla tehtävää NPK-väkilannoituksen kuormitusta. Skenaariossa arvioitiin kuinka suuri hyöty fraktioinnista olisi mahdollista saavuttaa vesistön kannalta käyttäen NURMAP-tilamallia (ks. luvut 5.3 & 5.4).

Skenaario laskettiin kahden oletuksen perusteella:

- 1) Pohjois-Savon nurmialasta puolella siirrytään käyttämään karjanlannasta fraktioituja N- ja P-lannoitteita.
- 2) Lannan sisältämä laskennallinen ylijäämäfosfori kuljetetaan alueelta esimerkiksi muun Suomen kasvinviljelytiloille.

Skenaarion lähtötietoina käytettiin seuraavia arvoja:

- Satotaso 70 % tutkimusaineistojen satotasosta (n. 6 t ka/ha/v), mikä vastaa kohtuullisesti maatilojen keskisatoja.

- Liukoista typpeä annettiin vuosittain 155 kg/ha (ProAgrian lohkotietopankin tieto; ks. esim. Virkajärvi ym. 2015).
- Pohjois-Savon peltojen muokkauskerroksen P- luku oli keskimäärin 10,4 mg/l (Lemola ym. 2018)
- Iisalmen reitillä karjanlannassa tulee vuosittain 10 kg P/ha (ks. Taulukko 10).
- Karjanlannan fosforin lisäksi viljelyssä käytetään 5 kg P/ha ostolannoitefosforia (Ylivainio ym. 2014), joten tämän hetkinen peltojen lannoitus on keskimäärin 15 kg P/ha/vuosi.
- Lähtötilanteessa lietteen levitys ajateltiin tehtäväksi kesällä ensimmäisen niiton jälkeen ja menetelmäksi valittiin letkulevitys.
- Skenaariossa kasvien tulevaisuuden lannoitustarve laskettiin Marttisen ym. (2017) perusteella vähentämällä karjanlannan fosforista 13 % (Marttisen laskennallisesti arvioima ns. alueellinen ylijäämäfosforin määrä). Lisälannoitusta ei annettu, koska kyse oli jo ylijäämäisestä suhteesta kasvien tarpeeseen. Uusi lannoitusmäärä oli vuosittain 8,7 kg P/ha.
- Fosforin ylijäämä (13 %) 'siirrettiin' muille alueille, koska fraktiointi mahdollistaa kuljettamisen. Tämän mahdollista kuormitusta ei huomioitu koska sen ajatellaan korvaavan nykyisiä ostolannoitteita.
- Iisalmen reitin nurmiala oli 35600 ha (ks. Taulukko 22)
- Tulokset laskettiin 20 vuoden aikajänteelle.

## Tulokset

Jos Pohjois-Savon nurmialasta puolella siirrytään käyttämään karjanlannasta fraktioituja N- ja P-lannoitteita, ja karjanlannan ylijäämäfosfori 13 % kuljetetaan muualle Suomeen, liukoisen fosforin huuhtouma vähenee heti 2,3 % ja kokonaisfosforin huuhtouma 1,7 %. Lisäksi P-luku laskee vähitellen vuosien aikana. Liukoisen fosforin kuormitus on lopulta 20 vuoden kuluttua 5,4 % ja kokonaisfosfori 3,8 % nykyistä pienempää (Taulukko 38).

Ylijäämäfosforin kuljettamista muualle Suomeen ei kuitenkaan voida pitää kestäväenä ratkaisuna. Jos skenaario (kaikki lietelanta fraktioidaan ja 13 prosentin ylijäämä kuljetetaan pois alueelta) toteutettaisiin koko Pohjois-Savon nurmialalla sataprosenttisesti, peltojen kyntökerroksen P-luku laskisi 20 vuoden aikana välille 4,5 – 7,4 mg/l (huononlainen – välttävä, ks. kuva 39). Jos hyväksyttävänä pellon P-tilan rajana pidetään yleistä satovasterajaa 10 mg PAc/l (nurmet, viljat karkeilla kivennäismailla, Valkama ym. 2015, Sihvonen ym. 2018), raja saavutettaisiin jo kahden vuoden kuluttua. Jos skenaario toteutettaisiin vain 50 prosenttisesti, satovasteraja saavutettaisiin 4 vuoden kuluttua (Kuva 39 b). Koska Pohjois-Savossa peltojen P-luku on jo nykyisellään lähellä satovasterajaa, fosforin kuljettaminen pois alueelta aiheuttaisi nopeasti tilanteen, jossa sadonmuodostuksen turvaamiseksi sitä pitäisi alkaa ostamaan takaisin.

Tämänhetkisen tiedon perusteella nurmen satovasteista, ja nurmisadon fosforipitoisuudesta (Valkama ym. 2015, Bélanger ym. 2017, Hartikainen ym. 2017, Mustonen 2019) on P-luku 8 mg PAc/l nurmien sadonmuodostuksen kannalta toistaiseksi turvallinen viljavuusfosforin alaraja karkeilla kivennäismailla. Tälle tasolle peltojen P-luku laskisi 8–15 vuoden aikana. Vastaus kysymykseen, mikä on sopiva kyntökerroksen P-luku nurmikierrossa – ottaen huomioon myös suojaviljan tai väliviljan viljelytarpeen – tarkentunee tulevina vuosina.

**Taulukko 38.** Vuotuisen fosforikuormituksen väheneminen lisalmen reitin nurmilta absoluuttisesti ja suhteellisesti verrattuna nykytilaan, kun Pohjois-Savon nurmialasta puolella siirrytään käyttämään karjanlannasta fraktioituja N- ja P-lannoitteita, ja lisäksi nykyinen P-ylijäämä (13 %) kuljetetaan pois alueelta. Taulukossa on erikseen ensimmäinen vuosi (vuosi 1) ja vuosi 20. DRP = liukoinen fosfori, ja TOTP = kokonaisfosfori. Laskenta NURMAP-malli.

	Vuosi 1		Vuosi 20	
	DRP	TOTP	DRP	TOTP
Nykytila, kuormitus kg P/vuosi	10 647	14 682	9 635	13 670
Skenaario, Kuormitus, kg P/vuosi	10 400	14 435	9 117	13 153
Skenaarion mukainen vähennys, kg P/vuosi	247	247	517	517
Vähennys, %	2,3	1,7	5,4	3,8

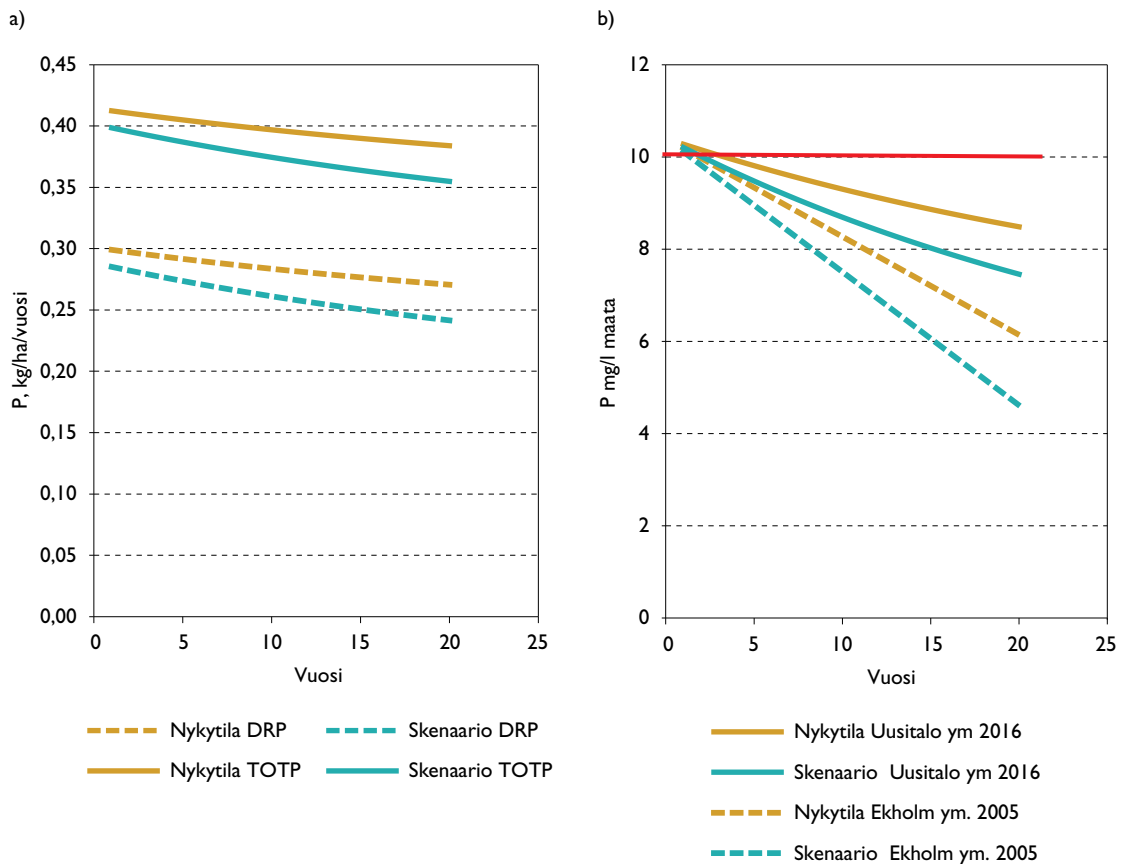
## Pohdinta ja johtopäätökset

Laskentamalli on karkea, koska siinä ei huomioida kasvilajeja, niiden lannoituskäytäntöjä eikä kyntökerroksen P-lukujakaumia. Tällaisenaan se on kokoluokka-arvio siitä, millainen vaikutus lannan fraktioinnilla ja tämänhetkiselä ylijäämäfosforin viennillä maakunnasta ulos voisi olla.

Käytännössä tässä esitetyn laskelman lisäksi lannan täydellinen fraktiointi ja prosessointi NPK-lannoitteiden kaltaisiksi tuotteiksi vähentäisi ravinteiden huuhtoutumista vielä seuraavista kolmesta syystä:

- 1) Ravinteiden alueellisen siirtomahdollisuuden lisäksi fraktiointi parantaisi samalla mekanismilla myös karjatilojen sisäistä lantalogistiikkaa, sillä fraktiointi mahdollistaa fosforijakeen kuljettamisen etäällä sijaitseville lohkoille tilan sisällä. Näin fosforin hyväksikäyttö paranee ja peltolohkojen P-luvut tasoittuvat tilan sisällä.
- 2) Lannan fraktiointi mahdollistaa myös ravinnejakeiden varastoinnin, joten lannoitukset voitaisiin ajoittaa nykyistä paremmin vastaamaan kasvien tarvetta ja viljelykiertoja. Erityisesti voitaisiin välttää syyslevitys. Tämä vähentäisi fosforin huuhtoutumista ns. riskivuosina, jolloin syksyistä lannanlevitystä seuraavat epäedulliset sääolosuhteet aiheuttavat satunnaisesti korkeitakin huuhtoumia. Fraktiointi todennäköisesti vähentäisi myös pellon tiivistymisriskiä tai tallausvauriota, vaikka nurmilla tiivistymisriski ei näytä olevan kovin suuri, ainakaan karkeilla mailla.
- 3) Fraktioidun lannan tyyden satovaste paranee raakalantaan verrattuna, kuitenkin riippuen käytetystä fraktiointitekniikasta.

Laskelman perusteella näyttää selvältä, ettei lisalmen reitin nautakarja-alueella ole kovin suurta kapasiteettia siirtää fosforia muualle Suomeen, sillä kyntökerroksen P-luku laskee nopeasti, kun lannoitusta vähennetään. Toistaiseksi on vaikea arvioida varmasti, miten P-luvun lasku vaikuttaisi eri kasvien viljelymahdollisuuksiin ja satotasoihin tai muihin peltoviljelyyn liittyviin tekijöihin.



**Kuva 39.** Hehtaarikohtaisen P-huuhtouman (a) ja kyntökerroksen viljavuusfosforin (STP, P-luku) kehitys kahdella eri ennustemallilla (b) skenaariossa, jossa peltolohkolla käytettäisiin 100 % fraktioitua lietettä ja ylijäämäfosfori (13 %) vietäisiin alueelta pois. DRP = liukoinen fosfori, ja TOTP = kokonaisfosfori. Vaakasuora referenssiiviiva = karkeiden kivennäismaiden satovasteraja 10 mg PAC/l.

## 9.4 Hoitokalastus fosforin poistajana

Pitkäaikaisen hoitokalastuksen kokemukset suurehkoilta ja suurilta (592 ha – 15500 ha) järviltä osoittavat, että kuormitus- ja rehevyytasoltaan erityyppisiltä järviltä voidaan poistaa merkittäviä määriä fosforia kalabiomassan mukana. Taulukossa 39 esimerkijärvien valuma-alueiden pinta-alasta pellon osuus on 5–29 %. Niiden pitkäaikaisessa hoitokalastussaaliissa (23–63 kg/ha/v) on poistettu fosforia määrä, joka vastaa keskimäärin 10–26 % tulevasta ulkoisesta fosforikuormituksesta. Pelkästään pelloilta tulevaan fosforikuormitukseen suhteutettuna kalastuksella vuosittain poistettu fosforimäärä vastaa 16–47 %.

Hoitokalastuksen vaikutus riippuu myös järven hydrologiasta. Ainetaseyhtälöiden mukaan vain osa ulkoisesta kuormituksesta jää järveen. Kun viipymäaika on lyhyempi, on järveen jäävä ravinnemäärä pienempi. Laajassa kansainvälisessä yhteenvedossa on todettu, että hoitokalastus on vaikuttavinta lyhyemmän viipymän järvissä (Bernes ym. 2015). On kuitenkin huomattava, että hoitokalastuksessa saaliin mukana poistunut fosforin määrä ei ole täysin verrannollinen valuma-alueella vähennetty fosforimäärän kanssa.

Hoitokalastettujen järvien keskimääräiset vuosisaaliit ovat olleet 30–60 kg/ha, joka vastaa fosforipoistumaa 0,24–0,48 kg/ha. Noin 20–30 kg/ha vuodessa riittää lievästi rehevöityneissä järvissä, mutta rehevissä ja voimakkaammin kuormitetuissa se ei riitä rajoittamaan särkikalojen biomassan kasvua (Sarvala ym. 2000 b, Malinen ym. 2017). Esimerkiksi Tuusulanjärvessä on vuosien 1997–2018 hoitokalastuksen saalis ollut keskimäärin 62 kg/ha vuodessa (Hietala 2017, Ruuhijärvi ym. 2017).

**Taulukko 39.** Hoitokalastettujen järvien ominaisuuksia, ulkoisen ja maatalouden kuormituksen ja järveen jäävän fosforin määrä, fosforipoistuma saaliissa ja hoitokalastuksen fosforipotentiaali sekä fosforipoistuman osuus koko ulkoisesta kuormituksesta ja maatalouden aiheuttamasta kuormituksesta. Pyhäjärvi ja Köyliönjärvi kuuluvat Eurajoen vesistöalueeseen.

Järvi	Järven ala km <sup>2</sup>	Keskisyvyys m	Valuma-alueen pelto-%	Viipymä vrk	Ulk. P kuormitus kg/v	Maatalouden P kuormitus kg/v	Retentio %	Järveen jäävä P kg/v	Keskisaalis 1000 kg	P poistuma saalissa kg/v	Saalissa poistuvan P:n osuus ulk. kuormituksesta %	Saalissa poistuvan P:n osuus peltokuormituksesta %
Pyhäjärvi	155	5,4	16	1500	15 132	8734	82	12 408	600	3900	26	45
Tuusulanjärvi	5,9	3,2	26	226	3018	1813	11	332	37	296	10	16
Enäjärvi	5,1	3,2	19	659	1167	957	41	478	15	120	10	13
Köyliönjärvi	12,4	2,6	29	319	3162	1643	46	1455	66	528	17	32
Kymijärvi	6,4	2,8	5	578	951	446	64	609	26	208	22	47

Pitkäaikainen hoitokalastus ei ole rehevissä järvissä johtanut saaliiden romahuttamiseen. Voimakkaan pyynnin kohteena olevat lajit voivat monilajisessa kalayhteisössä korvautua kalastukselta välttyneillä lajeilla. Esimerkiksi Tuusulanjärven ravintoketjukurmuksessa ensimmäisinä vuosina olivat eniten kalastetut lajit särki, kuore ja salakka. Kolmen tehokkaan kalastusvuoden jälkeen lahnan ja pasurin osuus saalin painosta nousi 2000-luvulla suurimmaksi (Hietala 2017, Ruuhijärvi ym. 2017). Kalastuksen lopettamisen tai vähentämisen jälkeen on esimerkiksi Köyliönjärvessä (ulkoisen kuormitus suuri) ja Loppijärvessä (ulkoisen kuormitus kohtalainen) särkikalajien määrä kasvanut, fosfori- ja klorofyllipitoisuus ovat nousseet osoituksena särkikalakantojen nopeasta kasvupotentiaalista ja niiden vaikutuksesta veden laatuun, joita vielä lämpimät kesät ovat voimistaneet.

Koillismaan karummilta järviltä on kokemusta myös särkikalajien heikkenemisestä, kun kysyntä säilykkeiden ja kalatuotteiden raaka-aineena kasvoi ja särjen kilohinta nousi korkeammaksi kuin hoitokalastuksen urakointihinta (Deinhardt 2018).

### Kalabiomassan ravinteiden kierrätyksen potentiaali ja edellytykset

Suomen järvien kalavarat sekä niihin liittyvä ravinteiden poiston ja kierrätyksen potentiaali ovat vielä vajaasti hyödynnettyjä. Vaikka ammattikalastajien tekemän hoitokalastuksen särkikalasaaliit ovat olleet yli 1,4 milj. kg/v ja vapaa-ajan kalastajienkin särkikalasaaliiksi on arvioitu 2,8 milj. kg, edustavat ne vain pientä osaa järvien potentiaalisesta biomass- ja ravinnevarastosta.

KiertoVesi-hankkeessa tehtyjen alustavien arvioiden mukaan järvien kalabiomassa on kymmenien miljoonien kilojen luokkaa. Jyväskylän yliopiston ja Pyhäjärvi-instituutin tekemän arvion perusteella (Ruokonen ym. 2019) kestävä kalastuksen saalispotentiaali on särjellä 19 milj. kg (12–26 milj. kg) ja ahvenella 9 milj. kg (6–12 milj. kg). Sisävesien potentiaalisen lahnaaaliin arvioimiseen ei vielä ollut riittäviä tietoja ja myös suurten järvien kuoreiden määrästä tarvittaisiin tarkempaa tietoa. Lisäksi rehevissä järvissä on myös pasuria ja Uudellamaalla ja Kokemäenjoen vesistössä sulkavaa. Muikulle voi käyttää keskiarvona Marjomäen ym. (2016) määrittämää potentiaalisen saalisarvion alarajaa 8 milj. kg. Jos muiden särkikalajien määräksi arvioidaan 12 milj. kg, on vuotuisen särkikalasaaliin kokonaispotentiaali sisävesiltä

**Taulukko 40.** Sisävesien nykyinen sekä tehostetulla ammatti- ja hoitokalastuksella täydennetty potentiaalinen kalansaalis ja kalastuksen potentiaalinen fosforipoistuma.

Nykyinen sisävesien kalastus						Tehostetun kalastuksen potentiaalinen P:n poisto				
Laji/lajiryhmä	Ammatti-kalastus 1000 kg/v	Vapaa-ajan kalastus 1000 kg/v	Yht. 1000 kg/v	P:n poistot P/v	P:n poisto saaliissa %	Tehostettu kalastus 1000 kg/v	Nyk. + tehostettu 1000 kg/v	Lisäys P:n poistoon t P/v	Pot. P:n poistot P/v	Pot. P poiston osuus %
Muikku* ja siika	3036	980	4016	18	11	4000	8016	18	36	7
Kuore**	354	0	354	2	1	354	708	2	3	1
Kuha ja ahven	867	9294	10161	61	37	2800	12961	20	81	17
Hauki	258	5958	6216	37	23	0	6216	0	37	8
Särkikalat	1400	3576	4976	40	24	35000	39976	280	320	66
Muut	329	917	1246	7	5	0	1246	0	7	2
Yhteensä	6244	20725	26969	165	100	42154	69123	319	484	100

\*Muikulle on käytetty Marjomäen ym. (2016) potentiaalisen saalisarvion alarajaa 8 milj. kg.

\*\*Kuoreelle on arvioitu vastaava saaliin kaksinkertaistuminen kuin muikulle. Hauelle ja muille lajeille ei lisäpotentiaalia ole arvioitu.

noin 40 milj. kg. Kuoreen ja muikun potentiaalinen saalis on tässä arvioitu kaksi kertaa nykyistä suuremmaksi.

Alustavien arvioiden mukaan järvien jatkuvalla hoitokalastuksella voidaan vuosittain poistaa 200–300 t fosforia (Puustinen ym. 2017, Keto ym. 2015). Edellä esitetyn kalastuspotentiaalın mukaan keskeisille lajeille määritetyillä fosforipitoisuuksilla laskettuna tehostetulla kalastuksella voitaisiin pitkällä aikavälillä poistaa järvistä vuosittain yli 484 t fosforia (Taulukko 40). Merkittävin muutos tehostetusta kalastuksesta olisi särkikalajien osuuden kasvu saaliiden fosforivarastossa nykyiseltä 24 % tasolta tasolle 66 %. Tämä arvio ei sisällä kunnostusvaiheessa tehtävän hoitokalastuksen saalistarvetta, jonka aikana saaliin ja poistettavien ravinteiden määrät ovat tilapäisesti suurempia (Jeppesen & Sammalkorpi 2002, Keto ym. 2015, Puustinen ym. 2017). Pitkäaikainen hoitokalastus alentaa ainakin osassa järviä fosforipitoisuutta. Siitä seuraa biologisen tuotannon ja kalasaaliin väheneminen pitkällä aikavälillä.

Hoitokalastukselle olisi nykyistä suurempi vesienhoidollinen tarve, koska särkikalajoilla on merkitystä erityisesti sisäkuormitteisissa järvissä (Keto & Sammalkorpi 1988, Søndergaard ym. 2008), mutta kalastuksen voimistamiselle ei ole ollut taloudellisia edellytyksiä. Urakointina tehtävän hoitokalastuksen kustannus olisi saaliin keskimääräisen hinnan (0,6–0,8 €/kg) ja 40 miljoonan kilon saaliin mukaan yli 30 milj. €/v. Toteutuneissa hoitokalastuksissa yksikköhinta fosforille, noin 75–100 €/kg P, on ollut hyvin lähellä edullisimpien maatalouden vesiensuojelumenetelmien tasoa (ks. Luku 5.6).

Kiertotalouteen ja siniseen biotalouteen liittyvä yritystoiminta, jossa osa särkikalasaaliista käytetään mm. elintarviketeollisuuden raaka-aineena, on 2010-luvun jälkipuoliskolla nopeasti kehittynyt Säkylän Pyhäjärvellä, Järvi-Suomessa ja rannikkoalueella ja siitä on tullut uusi ammattikalastuksen tukijalka (mm. Setälä ym. 2011, Setälä 2015, Ventelä & Jori 2018). Särkikalajoista tehtyjen jalosteiden tuotanto on käynnistynyt lupaavasti ja särkikalajoista on maksettu kalastajille hoitokalastuksien urakointihintaa suurempaa hintaa (jopa 1–2 €/kg). Kysyntä ylittää jo tarjonnan, mutta laadukkaan raaka-aineen saatavuudesta ja logistisista reunaehdoista on tul-

lut rajoittavia tekijöitä (mm. Ruokolainen 2018). Tulevaisuudessa nykyistä suurempi osa hoitokalastuksen saaliista on todennäköisesti mahdollista myydä elintarviketeollisuuden raaka-aineeksi. Tällöin järvien tehostettu kalastus olisi ekologisen yritystoiminnan ohella erittäin kustannustehokas keino poistaa fosforia vesistöistä. Hyötykäytön jälkeen fosforikilolle jäävä hinta voi olla alle 50 €/kg P.

Järvien hoitokalastuksen voimistaminen fosforin poiston tavoitteella tukisi vesien-suojelun, vesienhoidon ja sisävesiin liittyvien elinkeinojen kehittämisen tavoitteita. Ammattikalastajien määrän väheneminen ja ikääntyminen sekä logististen puitteiden riittämättömyys rajoittavat vielä toistaiseksi hoitokalastusvolyymin nopeaa kasvattamista. Särkikalajien sekä muiden lajien määriin ja tuotantoon liittyvän tutkimustiedon avulla olisi mahdollista tarkentaa järvien tehostetun kalastuksen ravinnekierrätykseen liittyviä tavoitteita ja mahdollisuuksia (esim. Ruokonen ym. 2019).

## 9.5 Saatujen tulosten yhteenveto

Tässä luvussa esitetyt eri tietolähteisiin perustuvat tulokset koko maan maatalousmaalle ja pilottialueille ovat laskennallisia arvioita peltoviljelyn aiheuttaman kiintoaine- ja ravinnekuormituksen tasosta ja siinä tapahtuneista muutoksista. Karjan lannan ravinteiden osalta lannoituskäytäntöjen vaikutukset ovat myös malliarvioita. Hoitokalastuksen osalta ravinnesisällöt perustuvat voimassa oleviin ajantasaisiin tilastoihin ja laskennallisiin arvioihin hoitokalastuksen kokonaispotentiaalista.

Lähtökohtana on ollut ympäristötoimenpiteiden vaikutusten arviointi ominaisuuksiltaan erilaisilla alueilla ja erilaisissa hydrologisissa oloissa. Kuormitus- ja toimenpiteiden vaikutusarviot perustuvat eri tietokantoihin ja lähteisiin. Taulukoissa tulokset on esitetty prosentuaalisina muutoksina ja arvioitu sitä, miten on päästy nykytilaan ja miten nykytilasta päästään eteenpäin. Tulokset osoittavat, että toimenpiteiden tai paremminkin toimenpidekokonaisuuksien vaikutukset eri ravinteisiin ovat erisuuruisia ja erisuuntaisia. Lisäksi eri alueilla tulokset ovat keskenään erilaisia. Mainituista syistä johtuen tulosten merkityksen ja kokonaisuuden hahmottaminen on erityisen hankalaa. Tässä kokonaiskuvan hahmottamista selventävä rajaus on tarpeen (ks. Taulukko 41).

Maatalouden vesiensuojelussa ympäristöohjelmat ovat rakentuneet eroosion vähentämiseen tähtäävien toimenpiteiden ympärille. Siitä on odotettu kokonaisfosforihuuhtoumien merkittävää alenemista partikkelimaisen fosforin huuhtoumien vähentyessä. Fosforiongelman ja sen hallinnan mittasuhteet käyvät esille kun vertaillaan eri lähteiden varastojen kokoa vaikkapa huuhtoumien määrään. Vuosittain muodostuvassa lannassa on fosforia yhteensä 19 300 tn, josta naudun lannassa on 10 300 tn, sian lannassa 2 700 tn, siipikarjan lannassa 2 400 tn, turkislannassa 3 200 tn ja muissa lannoissa 700 tn. Vuosittainen mineraalilannoitteiden fosforisisältö on 11 300 tn. On myös arvioitu, että pitkällä aikavälillä lannoituksen ylijäämä on kasvattanut peltojen fosforivarastoa 1 000 kg hehtaaria kohti (Saarela 2002) eli yhteensä 2,2 milj. tn. Maataloudessa peltoviljelyn aiheuttama kokonaisfosforin laskennallinen vuosihuuhtouma ilman ympäristötoimenpiteitä on 2 666 tn ja nykyisten toimenpiteiden jälkeen 2 543 tn.

Nykyisiin maatalouden vesiensuojelutoimenpiteisiin sisältyy näiden laskelmien mukaan hyödyntämätöntä potentiaalia. Jo pelkästään toimenpiteiden kohdentaminen kaltevimmista pelloista alkaen lisäisi niiden vaikuttavuutta. Leutojen talvien riski on hyvin suuri. Toimenpiteiden kohdentaminen koko maan peltoalalla näyttäisi riittävän eliminoimaan tämän riskin, mutta ei enää Aura-Paimiojoella.

Eroosion vähentämiseen liittyvä liukoisen fosforin ongelma korostuu korkeilla P-luvun alueilla. Näissä tilanteissa laaja-alainen kipsin käyttö vähentää merkittävästi kokonaisfosforin huuhtoumia. Lohkotasolla se leikkaa puolet kiintoaine ja partikke-

**Taulukko 41.** Maatalouden fosforikuormitus vuodessa ja toimenpiteiden laskennallinen vaikutus, vesihoidon toimenpiteiden vaikutus ja erilaisten vaihtoehtojen laskennallinen vaikutus

Fosforikuormitus ja siihen vaikuttaminen	Fosforin kokonaiskuormitus (tn) vuodessa, kuormituksen muutos ja vertailulukuja				
	Koko maa	Aurajoki	Paimionjoki	Eurajoki	lisalmen reitti
<b>Alkutilasta nykytilaan</b>					
Kokonaisfosforikuormituksen lähtötaso ilman toimenpiteitä	2 666	31,5	44,2	37,8	64,5
Kuormitusmuutos nykyisillä vesiensuojelutoimenpiteillä	- 123	- 0,275	- 1,23	0	- 0,388
VHS toimenpiteiden laskennallinen vaikutus	- 102	- 0,958	- 2,26	0	- 0,193
Nykyisten toimenpiteiden kohdentamisen lisävaikutus	- 233	- 2,51	-2,92	0	-4,74
Nykytilan säilyttämisen lisätarve leutoina talvina	- 258	-4,29	-5,04	-8,72	-3,46
<b>Nykytilasta parempaan ympäristön tilaan</b>					
Kokonaisfosforikuormituksen nykyinen taso	2 543	31,1	42,9	39,3	64,1
VHS toimenpiteiden täysimääräinen toteuttaminen	0	- 0,682	- 1,03	0	0
VHS toimenpiteiden kohdentamisesta lisää	- 239	- 1,17	-1,63	0	- 4,56
Kipsin levityksen vaikutus	- 82	- 4,66	- 6,88	-	-
P-luvut laskeminen alle 15 mg/l	- 216	- 4,85	- 4,76	- 12,66	- 2,97
tai alle 10 mg/l	- 320	- 6,79	- 6,77	- 15,84	- 5,47
Nykyisellä kalastuksella saatava fosforipoistuma	- 166			- 4,6	
Hoitokalastuksen kokonaispotentiaali	- 484			- 5,4*	- 8,67**

\*Pitkän aikavälin hoitokalastuksen fosforipoistuman perusteena Pyhäjärvellä nykyinen keskimääräinen vuosisaalis (Taulukko 39), Köyliönjärvellä Tuusulanjärven nykyinen keskisaalis 64 kg/ha/v.

\*\*Perustuu arvioon: Vallinkoski, V.-M. & Poutiainen, T. 2011. Pohjois-Savon järvien kunnostuksen yleissuunnitelma. Julkaisematon raportti. Pohjois-Savon ELY-keskus.

livosforin kuormasta ja neljänneksen liukoisen fosforin huuhtoumasta. Sen vuoksi laaja-alaisena levityksenä siitä saadaan näkyvät vaikutukset valuma-alueetasolla.

Ajallisesti ja alueellisesti rajallisten vaikutustensa vuoksi menetelmää ei voida pitää pysyvänä menetelmänä. Se antaa kuitenkin lisää aikaa P-lukujen alentamiselle, jonka seurauksena pitkällä aikavälillä liukoisen fosforin huuhtomia on mahdollista leikata merkittävästi ja pysyvästi. Eurajoen alueella P-luvut ovat hyvin korkeita, mutta kipsin käyttö välivaiheena P-lukujen alentamiseksi ei ole siellä mahdollista järvien vuoksi. Tällaisilla alueilla tarvittaisiin muita nopeavaikutteisia P-luvun alentamiskeinoja. Hoitokalastuksen laskennallinen vaikutus vesistöjen fosforin poistossa on suuri. Vertailtaessa sitä laaja-alaisiin peltotoimenpiteisiin päästään samantasoisiin vertailulukuihin.

## 10 Johtopäätökset ja suositukset

Mallien käyttö on yksi tehokkaimpia toimenpiteiden vaikutusten arviointitapoja. Niiden tuottamien tulosten luotettavuus riippuu kuitenkin syöttötietojen saatavuudesta ja laadusta. Näiltä osin tilanne ei ole hyvä. Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteitä koskeva tarkin tieto tulee tällä hetkellä peltolohkoketeristä. **Aineistojen käyttö edellyttää** laajaa ja syvällistä asiantuntemusta maatalouden viljelykäytännöistä ja niissä tapahtuneista muutoksista nettomääräisten muutosten esiin tuomiseksi. Tilastoinnissa käytetyt termit eivät myöskään ole aina yksiselitteisiä, tai varsinkaan yhteensopivia mallien lähtötietotarpeiden kanssa. Myöskään esimerkiksi kansallisissa vesienhoitosuunnitelmissa esitettyjen toimenpiteiden laajuus ei välttämättä aina kuvaa todellista muutosta. Niinpä ilman tarkempaa analyysia lukujen käyttäminen mallinnuksen lähtötietoina saattaa johtaa merkittäviin vaikutusten yli- tai aliarviointiin. Käytettävissä olevan kokeellisen tutkimus- ja seurantatiedon avoimuutta ja hyödynnettävyyttä tulisikin edistää ja aineistojen laajemman käytön edellytyksiä parantaa.

Tässä hankkeessa tähän pyrittiin kokoamalla kolmen eri mittakaavan mittausaineistot avoimen datan tutkimustietoaalustalle (<https://ckan.ymparisto.fi/dataset/sediment-and-nutrient-loading-to-surface-waters-in-3-different-scales>), josta ne ovat vapaasti ladattavissa. Tämä vapaasti käytettävissä oleva aineisto on hyödyllinen huuhtoumamallien kalibroinnissa ja testauksessa. Se muodostaa **ainutlaatuisen tietovarannon** käytettäväksi kuormituksen ja vesiensuojelutoimien skaalaustarkasteluihin. Kun vesiensuojelutoimien vaikutuksia vesistöihin seurataan, tulosten arvioinnissa on oleellista ottaa huomioon tarkasteltavan alueen koko ja maatalouden kuormituspaine. Se mikä näkyy toimenpiteiden vaikutuksessa lohkotasolla, ei välttämättä enää näy suuremmalla alueella. Lohkotasolla ja pienillä valuma-alueilla vuosien välinen pitoisuusvaihtelu on myös suurempaa kuin suurilla vesistöalueilla.

Vesistökuormituksen **vähentäminen Suomessa perustuu lähinnä eroosiontorjuntaan**. Erityisenä tavoitteena on ollut syksyllä kynnetyt peltoalan pienentäminen ja korvaaminen talviaikaisella kasvipeitteisyydellä. Nykyään syksyllä kynnetyt pellon ala, runsas 500 000 hehtaaria, on enää puolet aiemmasta. Kehityksen jatkaminen siten, että syksyllä kynnettäisiin enintään vain monivuotisen nurmen uusimisessa tarvittava peltoala (250 000 – 300 000 ha), olisi samalla **askel kohti tehokkaampaa hiilen sidontaa** maatalousmaalla.

Eroosion alentaminen pienentää vesiin kulkeutuvan kiintoainekseen sitoutuneen fosforin määrää ja on merkittävä osatekijä kokonaisfosforin alentamisessa. **Muokkauksen keventäminen alentaa myös typen huuhtoutumista**, kun orgaanisen aineksen ja typen mineralisoitumisen hidastuu.

Useimpien **eroosiontorjuntatoimien käänköpuolena on kuitenkin liuenneen fosforin huuhtouman kasvu**. Liuenneen fosforin huuhtouma kasvaa, kun kasvinjätteet kertyvät muokkaamattoman maan pinnalle ja niistä vapautuva helppoliukoinen fosfori kerrostuu pellon pintaan. Fosforin kerrostuneisuutta voidaan purkaa ajoittaisella

kynnöllä. Oleellista vesistökuormituksen kannalta on kuitenkin se, että **pellon pinta ei olisi paljaana talvikaudella.**

Samalla toimenpiteellä ja sen toteuttamiskustannuksilla, on mahdollista vähentää kuormitusta paljon tai vähän, riippuen sen pellon ominaisuuksista, tässä työssä pellon kaltevuudesta, jolla toimenpide toteutetaan. Koska kaltevilta pelloilta lähtee enemmän kiintoaine ja siihen sitoutuneen fosforin kuormitusta, kannattaisi erityisesti näillä pelloilla **suosia kynnön sijaan esimerkiksi talviaikaista kasvipeitteisyyttä ja kevennettyä muokkausta.** Näiden toimenpiteiden **kohdentaminen kaltevimille pelloille** tulisi olla pysyvänä ohjeistuksena.

Hankkeessa arvioitiin, että VHS-toimenpiteiden kohdentaminen peltojen kaltevuuden mukaan koko maatalousmaalla alentaisi nykytilan kiintoaine ja partikkelifosfori kuormitusta noin 20 %. Laskennallista nykytilan typpikuormitusta toimenpiteiden kohdentaminen pellon kaltevuuden perusteella ei pienentäisi, mutta **typpihuuhtoumia voidaan vähentää esimerkiksi lisäämällä kerääjä- ja aluskasvien käyttöä.** Joillakin alueilla myös säätösaloajituksen lisääminen voisi edelleen vähentää typpihuuhtoumia.

Fosforilannoitusta on ympäristöohjelmissa pyritty rajoittamaan siten, että kasvien ravinteiden saantia ei vaaranneta. Rajoitukset ovat kuitenkin nostattaneet ajoittain keskustelua siitä, ovatko ne jo liian tiukkoja, vaikka fosforin lannoitusvaikutus satoa rajoittavana ravinteena on huomattavasti pienempi kuin typellä tai kaliumilla. Fosforin käyttöä on rajoitettu lähinnä korkeimmissa P-lukuluokissa. Edelleen fosforilannoitusta kuitenkin jatketaan myös sellaisilla pelloilla, joilla fosforin ei voida olettaa antavan sadonlisää. **Jos fosforilannoitus tehtäisiin ainoastaan pelloilla, joilla siitä voidaan odottaa sadonlisää, vuotuiset fosforilisäykset voitaisiin jättää tekemättä noin puolella peltoalasta.**

P-lukujen lasku ei yksinään suuresti muuta eroosioon liittyvää partikkelifosforin kuormitusta. Väkilannoitteiden käyttö on 1990-luvun alusta tähän päivään vähentynyt runsaasta 30 kg:sta alle 10 kg:aan hehtaaria kohden. Tämän seurauksena fosforitaseet pienenevät ja peltojen P-luvut vähitellen alenevat, mikä on jo nyt havaittavissa tilastoissa korkeiden fosforiluokkien osuuksien pienemisenä. Kehityskulkua kannattaa jatkaa **säätelämällä fosforilannoitteiden käyttömääriä korkeiden P-lukujen pelloilla.**

Erityisen pohdinnan paikka on se, millä P-lukutasoilla fosforin käyttö kannattaa lopettaa. Jos fosforilannoituksesta ei saada satovastetta, lannoituskustannusta ei saada sadossa takaisin. On **kiinnitettävä huomiota myös pellon perusparannuksiin, kalkitukseen ja riittävään vesitalouden ja rakenteen hoitoon** resurssitehokkuuden lisäämiseksi. Asteittainen peltojen P-luvun alentaminen alle 15 mg/l fosforilannoitteiden käyttöä vähentämällä vähentäisi liukoisen fosforin huuhtoumaa n. 20 % nykytilasta. Jos P-lukuja alennettaisiin pitoisuustasolle alle 10 mg/l, saataisiin fosforin huuhtoumaan 30 % alenema. Näin suuri liukoisen fosforin alenema kompensoisi laskennallisesti kokonaan muokkauksen keventämisestä aiheutuvan liukoisen fosforin huuhtoutumisen kasvun.

Erityistoimet liunneen fosforin huuhtoumien vähentäjänä ovat perusteltuja, erityisesti savialueiden pelloilla, joilla on korkeat P-luvut. Käytettäessä kipsiä, liukoisen fosforin huuhtoumat lohkotasolla pienenevät neljänneksellä ja kiintoaine ja partikkelifosforin pitoisuudet puolella ja siitä saadaan merkittävä lohkotason hyöty. Koko valtakunnan tasolla kipsin kokonaisvaikutukset jäävät hyvin pieniksi, koska kipsiä ei voida käyttää sisävesiin laskevilla valuma-alueilla, mikä tarkoittaa suurinta osaa Suomesta. **Mereen laskevilla valuma-alueilla kipsin vaikutukset voivat kuitenkin olla merkittäviä.** Kipsin vesistökuormitusta vähentävä vaikutus kestää tämän hetkisen tutkimustiedon mukaan vain noin 5 vuotta. Tämä kuitenkin antaa aikaa korkeiden P-lukujen laskulle ja maan eroosiokestävyyden parantamiselle.

Kipsin ohella rakennekalkitus (CaO:a tai Ca(OH)<sub>2</sub>:a sisältävien kalkkien käyttö maanparannuksessa) ja metsäteollisuuden kuitujen lisäys maahan ovat lupaavia menetelmiä maan eroosioherkkyyden vähentämiseksi. Näitä aineita on tutkittu kenttäkokeissa ja suuremman mittakaavan valuma-aluekokeita on suunnitteilla. On selvää, että **valikoimaan tarvitaan useampia keinoja vähentää eroosiota**. Viljelijän on voitava valita omaan viljelykiertoonsa sopivimpia menetelmiä, jotta vesiensuojelua edistävien maanparannusaineiden käytöstä tulisi niin laaja-alaista, että niillä olisi todellisia vaikutuksia. Kokeelliselle tutkimukselle onkin jatkuva tarve myös tulevaisuudessa.

Ilmaston muuttuessa Suomen talvet todennäköisesti muuttuvat leudommiksi ja saateisemmiksi ja tällä on vaikutusta myös toimenpiteiden tehokkuuteen, varsinkin, kun suurin osa kuormituksesta muodostuu juuri kasvukauden ulkopuolella. VIHMA-arvioiden mukaan leutojen talvien myötä käytännössä menetettäisiin lisääntyneen talviaikaisen kasvipeitteisyyden avulla saavutetut vesistökuormituksen vähenemät. Todennäköisesti **ilmaston muuttuessa tarvitaan entistä enemmän toimenpiteitä**, jotta voidaan edes ylläpitää saavutetut vesistökuormituksen vähenemät.

Esimerkiksi kohdentamalla toimenpiteitä peltojen kaltevuuden mukaan leutojen vuosien vaikutukset leikkaisivat kuitenkin huomattavasti vähemmän saavutettuja kuormitusvähennyksiä. Liukoisen fosforin kuormitukseen leudot talvet eivät VIHMAN mukaan juuri vaikuta. VIHMAN kuormituslukujen taustalla olevassa kokeellisessa aineistossa sadannat ja valunnat olivat samat. Muuttuneet valunnan pitoisuudet kuormittavina vuosina aiheuttivat erilaiset kiintoaine- ja ravinnekuormat. Jos ilmastomuutoksen seurauksena sadannat ja valunnat kasvavat, vaikutukset kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen myös kasvaisivat.

**Lannan ravinteissa huomio pitää kiinnittää eri lantalajien liukoisen typen, kokonaistypen ja fosforin suhteisiin.** Kuivalannoissa fosforin määrä lannassa rajoittaa lannan levitysmääriä, jolloin typpilannoitteilla täytetään syntynyt typpivaje. Tämä korostuu viljanviljelyssä. Sen sijaan käytettäessä naudnan lietelantaa nurmelle, kokonaistyppeen perustuva nitraattiasetus rajoittaa käyttömäärän niin, että fosfori rajoittaa käyttöä vain harvoin. Tämän vuoksi nautakarjatilat ovat suurelta osin ympäristökorvausjärjestelmässä mukana ja samasta syystä nautakarjatilojen pellon P-luku esimerkiksi Iisalmen reitillä on keskimäärin tavoitetilassa.

Tässä hankkeessa kehitettiin **uusi nurmipeitteisen pellon fosforin huuhtoutumismalli NURMAP** karjanlannan vaihtoehtoisten käyttötapojen vaikutusten arvioimiseksi. Mallissa lietelannan levitystekniikka ja ajankohta eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkittävästi fosforikuormitukseen, lukuun ottamatta syksyllä hajalevitettyä lietettä, jonka kuormitus oli selvästi muita vaihtoehtoja suurempaa. Nykyisin tämä levitystapa onkin määräysten vastainen. Osasyys menetelmäerojen puuttumiseen oli tutkimusaineistojen vähäisyys, sekä eri olosuhteissa tehtyjen tutkimusten vertailujen vaikeus.

Karjanlannan fosfori aiheutti suuremman kuormituksen annettua fosforikiloa kohden kuin mineraalilannoitteiden fosfori. Todennäköinen syy tähän eroon on se, että mineraalilannoitus annetaan keväällä mutta karjanlantaa ei. Mineraalifosforilla on aikaa ja teknisesti hyvät mahdollisuudet olla kasvien käytettävissä ja sitoutua maahan. Lietelannan fosforin sitoutuminen maahan voi estyä heikomman maakonaktin (pl sijoitus), kiinnityspaikoista kilpailevien orgaanisten happojen ja keskimäärin vähempien kasvupäivien vuoksi (kevätlannoitus vs. kesälannoitus). Siten **lietteen ravinteiden fraktiointi vähentäisi fosforin kuormitusriskiä** parhaimmillaan 32–34 % heti ja pidemmällä aikavälillä 40–48 % (suora vaikutus, kaikki lanta fraktioitu). **Lannan fraktioinnilla on useita kuormitusta alentavia epäsuoria vaikutuksia**, joita ei voida näin yksinkertaisella mallilla tarkastella. On ilmeistä, ettei nautakarjavaltaisella Iisalmen reitin alueella ole sellaista fosforiylijäämää, jota kannattaa merkit-

tävässä mitassa siirtää muualle Suomeen. Tulokset vastaavat Luken pitkäaikaisten lannoituskokeiden ja nautakarjatalouden ravinnekiertolaskelmien tuloksia.

Toimiva kiertotalous on erityisen hyödyllinen alueellisten ravinne-epätasapainojen tasaajana, mutta siitä on hyötyä myös suurilla nautatiloilla tilan sisäisen lantalogistiikan tehostajana. Sitä tehokkaammin kiertotalous lannan ravinteiden kohdalla on onnistunut, mitä kattavammin lannan fosfori korvaa, siis käytännössä alentaa, väkilannoitteiden fosforin käyttöä. Vuosittain muodostuva lanta sisältää niin paljon ravinteita, että sillä saataisiin katettua fosforitarve lähes kokonaan ja melkein puolet typpitarpeesta. Kun näköpiirissä ei ole vuosittain muodostuvan lannan määrässä kertaluokan alenemista, lannan ravinteet ovatkin kiertotalouden keskiössä. **Lannan prosessointi tavalla tai toisella, jolla typpi, fosfori ja puhdas vesi saadaan erotetuiksi toisistaan ja konsentroiduksi pienempään tilavuuteen**, on polku, jolla kiertotalouden edut on mahdollista saavuttaa. Prosessointia tarvitaan, kun perinteinen lannan käyttö ei syystä tai toisesta ole enää mahdollista. Myös prosessoinnissa tapahtuu usein ympäristökuormitusta mm. ilmapäästöjä. Liukoisen typen osuuden nostaminen kokonaistypestä olisi myös hyödyksi. Hyötyjen realisoituminen vesistövaikutuksiksi edellyttää koko tuotantoketjun kestävyyttä eroosiontorjunnasta lähtien.

Usein ajatellaan, että valuma-alue toimilla pitäisi kokonaan estää vesistöjen rehevöityminen. Monin paikoin se on kuitenkin jo myöhäistä, koska sisäinen kuormitus on merkittävää useissa maatalouden kuormittamissa järvissä. Niinpä puhuttaessa kiertotaloudesta, tulee keinovalikoimaan lukea mukaan esimerkiksi **ravinteiden poistaminen suoraan vesistöistä hoitokalastusta lisäämällä**. Systemaattisella hoitokalastuksella olisi mahdollista poistaa merkittävä määrä ravinteita vesistöistä, sillä sisävesien nykyinen kalastus palauttaa vain noin kolmasosan siitä ravinnepotentiaalista, joka kalastukseen sisältyy. Estetäänkö vesistöön tulevaa ravinnekuormaa sen syntypaikalla vai otetaanko vastaava määrä ravinteita suoraan vesistöistä pois, saattaa vaikuttaa eri tavalla vesistön rehevöitymisprosessiin ja vesistön tilaan, mitä olisi jatkossa syytä edelleen tutkia.

**Ilmaston muuttuessa myös hoitokalastuksen merkitys voi entisestään kasvaa.** Talvien lauhtuminen ja kuormituksen kasvu suosivat särkikaloja, jotka voimistavat järvien sisäistä fosforikuormitusta ja tehostetun kalastuksen potentiaalinen fosforinpoisto on suurempi kuin arvio fosforikuormituksen kasvusta leutoina talvina.

**Muunnettaessa poistokalastuksella saadut ravinnemäärät yhteismitalliseksi valuma-alue toimenpiteiden ravinnepoistumiin, voidaan toimenpiteitä myös vertailla keskenään ja arvioida esimerkiksi niiden kustannustehokkuutta.** Jos vesistöt huomioidaan valuma-alueeseen kuuluvaksi osaksi, on luonnollista ajatella vesistökunnostustoimenpiteet samanarvoisiksi tai ainakin luontevaksi jatkumoksi valuma-alue toimien kanssa.

Karkeasti voidaan sanoa, että ravinne toimii kasveille ja leville samalla tavalla, olipa sen alkuperä mikä tahansa. Niinpä siirtyminen kiertotalouteen ei automaattisesti vähennä vesistöihin kulkeutuvaa kuormitusta. Vain kun kasvit käyttävät kaikki käytettävissä olevat ravinteet kasvamiseen ja esimerkiksi pysyvillä kasvipeitteillä voidaan estää tai ainakin minimoida myös kiintoaineen kulkeutuminen vesistöihin, eivät vesistöt enää joudu maalla tehtyjen toimien maksumiehiksi. Ilmastonmuutos tulee kuitenkin todennäköisesti vaatimaan lisääntyviä toimenpiteitä, jotta edes pysyttäisiin saavutetulla tasolla. Kaikkia nykyisiä keinoja ei kuitenkaan vielä käytetä läheskään koko niiden potentiaalin osalta ja uudemmilla menetelmillä voidaan saada paljon aikaan ainakin hetkellisesti. Kiertotalous ei ole välttämättä automaattisesti vesistöjen ravinnekuormituksen vähentämiseen. Kuitenkin monien asioiden, myös ravinteiden, pitää kierrä jatkossa tehokkaammin, sillä rajallinen maailma ei voi kuluttaa rajattomasti.

## Suosituksset

### Tutkimustarpeita

- Eri kasvien fosforilannoitustarvetta tulisi selvittää kattavin lannoituskokein, kestäviä lannoitussuosituksia ei voida vielä antaa kaikille merkittävillä sato- kasveille ja uusille lajikkeille.
- Koekentillä ja tilatasolla tapahtuvaa kokeellista tutkimusta tulisi jatkaa maan rakenteeseen, hiilen sidontaan, fosforihuuhtoumiin ja lannan käyttöön liittyvien ongelmien ratkaisemiseksi.
- Pitkäaikaisten, hyvin kontrolloitujen, vaikutuksiltaan monipuolisten kokeiden määrää tulisi lisätä.
- Maatalousseurantaverkko tulisi perustaa samaan tapaan kuin metsätaloudessa.

### Erosion ja kuormituksen torjunta

- Eroosiontorjunnan sivuvaikutuksena tulevan liuenneen fosforin kuorman kasvua ja vesistövaikutuksia tulee seurata.
- Maatalousmaan korkeat P-luvut tulisi hallitusti alentaa tasolle, jossa nykyinen sadontuotanto säilytetään vähintään ennallaan ja samalla vesistövaikutukset minimoidaan.
- Kipsiä käytetään suunnitelmallisesti rajoitetun ajan sen käytölle soveltuvilla rannikon vesistöalueilla eroosion ja liukoisen fosforin kuormituksen hallintaan.
- Muiden maanparannusaineiden tutkimuksia tulee laajentaa valuma-aluekokeisiin.

### Ympäristötoimenpiteet

- Jatketaan uudessa ympäristöohjelmassa peltomaan eroosion torjuntaa.
- Eroosiota vähentävät toimenpiteet kohdennetaan eroosioherkimmille pelloille kaltevuuden perusteella, so. sopeutumista ilmastonmuutoksen kuormitusris- kiin.
- Vesistöihin viettävät jyrkät pellot tai pellon osat jätetään pysyvästi suojavyö- hykkeiksi.
- Ympäristötoimenpiteiden laajuus pidetään ennallaan, kohdennetaan parem- min ja tarvittaessa lisätään toimenpiteitä nykyisen hyvän ympäristön tilan ylläpitämiseksi.
- Laajennetaan edelleen kerääjäkasvien käyttöä eroosion ja typpihuuhtoumien torjunnassa.
- Arvioidaan viljelyjärjestelmien laaja-alainen toimivuus kevennettyyn muok- kaukseen perustuvassa maataloustuotannossa sekä arvioidaan enimmäispel- toala, jossa perusmuokkaus voidaan toteuttaa syyskyntönä.

### Lannan hyödyntäminen

- Lannan fraktiointia erillisiksi N- ja P-lannoitteiksi ja puhtaaksi vedeksi tulee edistää.
- On harkittava, tarvitaanko lisää erilaisten lantalajien ja levitystekniikoiden tutkimusta, esimerkkinä kuivalannat, jonka käytöstä ei ole lainkaan tutki- mustuloksia.

## Vesistökuunnostus

- Valuma-alue ja vesistökuunnostustoimet ovat pääsääntöisesti toisiaan tukevia. Järvien hoitokalastus tukee valuma-alueen vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia veden laatuun, mutta ei ole vaihtoehto valuma-alue-toimenpiteiden toteuttamiselle.
- Järvien tilasta huolehtiminen parantaa myös niiden kykyä pidättää ravinteita.
- Lisätään tutkimusta, jossa selvitetään ravinteiden poiston potentiaalia kala- ja vesikasvibiomassassa suoraan vesistöistä, ja sitä kuinka tehokasta se on valuma-alue toimenpiteiden vaikutuksiin verrattuna.

## Ympäristöohjelmat

- Toimenpiteiden alueellinen kohdentamistarve määritetään VHS tavoitteiden ja toteuman perusteella. Kohdentamistarve on sitä suurempi mitä enemmän tavoitteista on jääty jälkeen.
- VHS:n toimenpideohjelmat päivitetään vallitsevan tilanteen mukaan.
- Toimenpiteiden tarvetta harkitaan paikallisten kuivatusalueiden tai pienten valuma-alueiden tasolla.
- Erilaisen viljelytoimenpiteiden vaikutusarviointiin tähtäävien ravinnekuoritusmallien kehittämistä tulee jatkaa niin, että ne sisältävät enemmän relevantteja viljelytoimenpiteitä.

## Kirjallisuus

- Aakkula, J. & Leppänen, J. (toim.) 2014. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta tutkimus (MYTVAS 3). Loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö 3, 265 s.
- Ahlgren, I., Frisk, T. & Kamp-Nielsen, L. 1988. Empirical and theoretical models of phosphorus loading, retention and concentration vs. lake trophic state. *Hydrobiologia* 170: 285-303.
- Akkal-Corfini, N., Morvan, T., Menasseri-Aubry, S., Bissuel-Belayque, C., Poulain, D., Orsini, F., Leterme, P. 2010. Nitrogen mineralization, plant uptake and nitrate leaching following the incorporation of (15N)-labeled cauliflower crop residues (*Brassica oleracea*) into the soil: a 3-year lysimeter study. *Plant Soil* (2010) 328: 17-26.
- Andraski, B.J., D.H. Mueller, and T.C. Daniel. 1985. Phosphorus losses in runoff as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1523-1527.
- Antikainen, T., Ylikännö, M., Onnela, M., Leija, J., Salonen, J., Hakanen, P., Rantala, J. 2017. Suomalaisen sianlihantuotannon strategia 2017-2030. 14 s.
- Aronsson, H., Torstensson, G., Bergström, L. 2007. Leaching and crop uptake of N, P and K from organic and conventional cropping systems on a clay soil. *Soil Use and Management*, March 2007, 23, 71-81.
- Aronsson, H. & Stenberg, M. 2010. Leaching of nitrogen from a 3-yr grain crop rotation a clay soil. *Soil Use and management*, September 2010, 26, 274-285.
- Aronsson, H., Hansen, E. M., Thomsen, I. K., Liu, J., Ogaard, A. F., Känkänen, H., Ulen, B. 2016. The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. *Journal of soil and water conservation* 71 1: 41-55.
- Baker, J.L. & Lafen, J.M. 1983. Runoff losses of nutrients and soil from ground fall-fertilized after soybean harvest. *Transactions of the ASAE* 26(4):1122-1127.
- Ball, P.R. & Keeney, D.R. 1981. Nitrogen losses from urine-affected areas of a New Zealand pasture under contrasting seasonal conditions. *Proceedings of the 14th international grassland congress*, 14:342-344.
- van Beek, C. L., van den Eertwegh G.A.P.H., van Schaik, F.H., Velthof, G.L., Oenema, O. 2004. The contribution of dairy farming on peat soil to N and P loading of surface water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70:85-95, 2004.
- Bélangier, G., Ziadi, N., Lajeunesse, J., Jouany, C., Virkajarvi, P., Sinaj, S., Nyiraneza, J. 2017. Phosphorus-nitrogen relationships of forage grasses in response to mineral phosphorus fertilization. *Field Crops Research* 204:31-41.
- Bergström, L. 1987. Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeter. *Journal of Environmental Quality* 16:11-18.
- Bergström, L. & Brink, N. 1986. Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil. *Plant and Soil* 93: 333-345.
- Bernes, C., Carpenter, S.R., Gårdmark, A., Larsson, P., Persson, L., Skov, C., Speed, J.D.M., van Donk, E. 2015. What is the influence of a reduction of planktivorous and benthivorous fish on water quality in temperate eutrophic lakes? A systematic review. *Environmental Evidence*, 4, 7. DOI: 10.1186/s13750-015-0032-9.
- Berry, P. M., Sylvester-Bradley, R., Philipps, L., Hatch, D. J., Cuttle, S. P., Rayns, F. W., Gosling, P. 2002. Is the productivity of farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management*, 18: 248-255.
- Blomquist, J., Simonsson, M., A., E., Berglund, K. 2018. Structure liming enhances aggregate stability and gives varying crop responses on clayey soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 68(4): 311-322.
- Boros, G., Jyväsjärvi, J., Takács, P., Mozsár, A., Tátrai, I., Søndergaard, M., Jones, R.I. 2012. Between-lake variation in the elemental composition of roach (*Rutilus rutilus* L.). *Aquat. Ecol.* 46, DOI: 10.1007/s10452-012-9402-3.
- Boros, G., Takacs, P., Vanni, M. 2015. The fate of phosphorus in decomposing fish carcasses: a mesocosm experiment. *Freshw. Biol.* 60: 479-489.
- Brink, N. 1979. Utläkning av kväve från agroecosystem. *Ekohydrologi* 5:29-34.
- Brink, N., 1984. Faktorer som påverkar växtnäring förluster i åkermark. *Nordforsk, Miljövårdsserien Publ.* 2:79-88.
- Brix, H. 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science & Technology* 35(5): 11-17.
- Cavalli, D., Cabassi, G., Borrelli, L., Geromel, G., Bechini, L., Degano, L., Marino Gallina, P. 2016. Nitrogen fertilizer replacement value of undigested liquid cattle manure and digestates. *European Journal of Agronomy* 73: 34-41.
- Collentine, D., Eckersten, H., Norman Haldén, A., Ryd Ottoson, J., Salomon, E., Sundin, S., Tattari, S., Braun, J., Kuussaari, M. 2013. Consequences of future nutrient load scenarios on multiple benefits of agricultural production. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, Report from the Department of Crop Production Ecology 17, 65 p. ISBN 978-91-576-9178-1.
- Constantin, J., Mary, B., Laurent, F., Aubrion, G., Fontaine, A., Kerveillant, P., Beaudoin, N. 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135 (2010) 268-278.

- Cooke G. D., Welch E. B., Peterson S. A., Nichols S. A. 2005. Restoration and management of lakes and reservoirs. Lewis Publishers, 3rd ed. ISBN 1-56670-625-4, 591 s.
- Deinhardt, M. 2018. Vähempiarvoisen kalan arvoketjun kehittäminen Koillismaalla. Hankekuvaus. <https://www.slideshare.net/LukeFinland/manuel-deinhardt-vhempiarvoisen-kalan-arvoketjun-kehittaminen-koillismaalla>.
- Di, H. J. & Cameron, K. C. 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 237-256, 2002.
- Djordjic, F., Ulén, B., Bergström, L. 2000. Temporal and spatial variations of phosphorus losses and drainage in a structured clay soil. *Water Research*, Volume 34(5): 1687-1695.
- Ekhholm P. 1994. Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in southern Finland. *Hydrobiologia* 287:179–194. doi:10.1007/BF00010733
- Petri Ekhholm, E., Punntila, E., Luomanperä, S. 2018. Kipsi on tehokas vesiensuojelukeino. *Leipä levämmäksi* (3): 36-39
- Ekhholm P., Malve O., Kirkkala T. 1997. Internal and external loading as regulators of nutrient concentrations in the agriculturally loaded Lake Pyhäjärvi (southwest Finland). *Hydrobiologia* 345:3–14.
- Ekhholm, P., Krogerus, K. 2003. Determining algal-available phosphorus of differing origin: Routine phosphorus analyses versus algal assays. *Hydrobiologia* 492:29–42. doi:10.1023/A:1024857626784
- Ekhholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P., Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 110: 266–278. doi:10.1016/j.agee.2005.04.014
- Ekhholm P., Huttunen, M., Marttunen, M., Puustinen, M., Rankinen, K., Riihimäki, J., Räike, A., Tattari, S. 2019. Maatalouden vesiensuojelun innovatiiviset menetelmät – Esiselvitys valuma-alueiden valinnasta ja toimenpiteiden kohdentamisesta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja (valmisteilla).
- Ellison, M.E. & Brett, M.T. 2006. Particulate phosphorus bioavailability as a function of stream flow and land cover. *Water Res.* 40:1258–1268.
- Eltun, R. & Fugleberg, O. 1996. The Apelsvoll cropping system experiment VI. Runoff and nitrogen losses. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10: 229-248.
- Evans, R.O., Skaggs, W., Gilliam, J.W. 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *J. Irrigation and Drainage Eng.* 121 (4): 271–276.
- Geranmayeh, P. 2017. Strukturkalkning i stor skala - Vad krävs och vad kostar det? Underlag till vitbok för projektet Levande Kust. BalticSea2020.
- Goss, M. J., Howse, K. R., Christian, D. G., Catt, J. A., Pepper, T. J. 1998. Nitrate leaching: modifying the loss from mineralized organic matter. *European Journal of Soil Science* 49: 649-659.
- Grönroos, J. 2014. Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentämismahdollisuudet ja -kustannukset. Ympäristöministeriön raportteja 26, 91 s.
- Gustafson, A. & Torstenson, G. 1984. Växtnäringsförkluster i Vagle. Uppsala, Sveriges landbruksuniversitetet. Avdelning för vattenvård. *Ekohydrologi* 15:27-38.
- Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U. 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 439-446.
- Hansson, L.-A., Annadotter, H., Bergman, E. 1998. Biomanipulation as an Application of Food-Chain Theory: Constraints, Synthesis, and Recommendations for Temperate Lakes. *Ecosystems* 1: 558-574.
- Halvorson, A. D., Wienhold, B. J., Black, A. L., 2002. Tillage, nitrogen, and cropping systems effects on soil carbon sequestration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 906-912.
- Hamnér, K. & Kirchmann, H. 2005. Net nitrogen immobilization in soil induced by small additions of energy sources. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 55(3): 177-185.
- Hartikainen, M., Kykkänen, S., Hyrkäs, M., Virkajärvi, P., Suomela, R., Luoma, S. 2017. Nurmen P-kertalanhoitus (Yara N1) 2014-2016. In: Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2014-2016 / toim. Johanna Kanninen. Luonnonvarakeskus, Luke. 10-40.
- Hellstedt, M., Luostarinen, S., Regina, K., Särkijärvi, S., Grönroos, J., Haapala, H. 2017. Lypsykarjantvetoiden ammoniakkipäästöjen nykytaso ja vähentämismenetelmät. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53, 64 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-453-3>
- Hietala, J. 2017 (toim.). Tuusulanjärven kunnostus vuosina 1999–2013. Hoitotoimia ja seuranta. Uudenmaan ELY-keskuksen raportteja 56/2017. ISBN 978-952-314-622-8 (PDF).
- Hjerne, O. & Hansson, S. 2002. The role of fish and fisheries in Baltic Sea nutrient dynamics. *Limnol. Oceanogr.* 47:1023-1032.
- Hjerpe, T. & Väisänen, S. 2015. A practical tool for selecting cost-effective combinations of phosphorus loading mitigation measures in Finnish catchments. *Journal of River Basin Management*. Volume 13, Issue 3, 2015. DOI:10.1080/15715124.2015.1012516.
- Hjerpe, T., Seppälä, E., Marttunen, M. 2013. Tehokkuutta vesienhoitoon – uusia työkaluja suunnittelijoille. *Vesitalous* 4/2013, 36-40.
- Horppila, J. & Kairesalo, T. 1990. A fading recovery: the role of roach (*Rutilus rutilus* L.) in maintaining high phytoplankton productivity and biomass in Lake Vesijärvi, southern Finland. *Hydrobiologia* 200/2001: 165-183.
- Horppila, J., Holmroos, H., Niemistö, J., Massa, I., Nygren, N., Schönach, P., Tapio, P., Tammeorg, O. 2017. Variations of internal phosphorus loading and water quality in a hypertrophic lake during 40 years of different management efforts. *Ecol. Eng.* 107: 264-274.
- Howard-Williams, C. 1985. Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands: A theoretical and applied perspective. *Freshwater Biology* 15: 391–431.

- Hudson, N.W. 1971. Soil Conservation. Batsford Ltd, London 388 s.
- Huettl, P.J., Wendt, R.C., Corey, R.B. 1979. Prediction of algal-available phosphorus in runoff suspensions. *J. Environ. Qual.* 8:130–132.
- Huser, B. 2017. Lake restoration using aluminium salts: recent advances, results and potential hurdles. *Esitys Vesistökuunnostusverkoston vuosiseminaari 2017*. Tampere. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesistokunnostusverkosto/Tapahtumat/Vuosiseminaarit/Vuosiseminaari\\_2017](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesistokunnostusverkosto/Tapahtumat/Vuosiseminaarit/Vuosiseminaari_2017)
- 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 Modeling & Assessment* 21:83-109. doi:10.1007/s10666-015-9470-6.
- Hytönen, J., Jylhä, P., Little, K. 2017. Tutkikalannoitus ja heinäntorjunta suopellon metsityksessä männällä. *Metsätieteen aikakauskirja 2017-7814*. <https://doi.org/10.14214/ma.7814>
- Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Miettinen, A., Lemola, R., Rankinen, K., Regina, K., Turtola, E. 2019. Arviot ympäristökorvauksen toimenpiteiden ympäristövaikutuksista. MYTTEHO –hanke, liite1. <https://mmm.fi/myttheo>
- Iloa, M. 2014. Rehuteollisuus myllerryksessä. *Käytännön Maamies* 09/2014. 26.9.2014.
- Jaakkola, A. 1984. Leaching losses of nitrogen from clay soil under grass and cereal crops in Finland. *Plant and Soil* 76: 59-66.
- Jansson, M., Andersson, R., Berggren, H., Leonardson, L. 1994. Wetlands and lakes as nitrogen traps. *Ambio* 23: 320–325.
- Jeppesen, E., Jensen, J.P., Sondergaard, M., Landkildehus, F. 2000. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshw. Biol.* 54: 201-218.
- Jeppesen, E. & Sammalkorpi, I. 2002. Lakes. *Julkaisussa: Perrow, Martin R., Davy, A. J. (ed.) 2002. Handbook of ecological restoration. Vol. 2: Restoration in practice. Cambridge University Press 2002. 444 s. ISBN 0-521-79129-4.*
- Jiao, Y., Whalen, J., Hendershot, W. 2007. Phosphate Sorption and Release in a Sandy-Loam Soil as Influenced by Fertilizer Sources. *Soil Science Society of America Journal*. 71. 118-124. 10.2136/sssaj2006.0028.
- Jumppanen, K. 1990. Säkylän Pyhäjärven ainetaseet, veden laatu ja kasviplanktonin perustuotanto v. 1989. – Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys r.y. tutkimuslustoista 61: 1–33.
- Järvenranta, K., Virkajärvi, P., Heinonen-Tanski, H. 2014. The flows and balances of P, K, Ca and Mg on intensively managed Boreal high input grass and low input grass-clover pastures. *Agricultural and Food Science* 23 (2): 106–117.
- Kaasinen, S. 2010. Ravinnetaseet TEHO-tiloilla. 31.1.2010. 54 s. + 1 liitesivu.
- Kadlec, R.H. & Wallace, S.D. 2009. *Treatment Wetlands*, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1046 s.
- Kajava, S. & Sairanen, A. 2019. Maitotilojen ravinteiden porttitaseet. *Julkaisussa: EuroMaito -verkosto – tukea maidontuotannon resurssitehokkuuden ja kestävyuden kehittämiseen. EuroMaito -hankkeen loppuraportti. Käsikirjoitus.*
- Kajava, S., Sairanen, A., Jääskeläinen, M. 2019. Säilörehuntuotannon tehokkuus. *Julkaisussa: Kajava, S. (toim.) EuroMaito-verkosto – tukea maidontuotannon resurssitehokkuuden ja kestävyuden kehittämiseen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 26/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 6–15.*
- Karjalainen, S.-M., Välimaa, A.-L., Hellsten, S., Virtanen, E. 2017. Vesiruton hyötykäyttö biotaloudessa – järvien riesasta raaka-aineeksi. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2017.*
- Kauppila, J., Ekholm, P., Niskanen, O., Valve, H., Iho, A. 2017. Muuttuva kotieläintalous ja vesistökuorimituksen sääntely. *Ympäristöpolitiikan ja -oikeuden vuosikirja 10: 227–273. Itä-Suomen yliopisto.*
- Kayser, M., Muller, J., Isselstein J. 2010. Nitrogen management in organic farming: comparison of crops rotation residual effects on yields, N leaching and soil conditions. *Nutr Cycl Agroecosyst* (2010) 87:21-31.
- Kempainen, E. 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae* 28 (3): 163–284. *Seria Agrogeologia et -Chimica. Dissertation, University of Helsinki, Helsinki.*
- Kempainen, E. 1992. Karjanlanta ja muut eloperäiset lannoitteet. s. 255–294. *Julkaisussa: Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kempainen, E. (toim.). Maa, viljely ja ympäristö. Werner Söderström Osakeyhtiö, Helsinki. 334 s.*
- Keto, J. & Sammalkorpi, I. 1988. A fading recovery: a conceptual model for Lake Vesijärvi management and research. *Aqua Fennica* 18: 193-204.
- Keto, J. & Sammalkorpi, I. 1995. Vesijärven kunnostuksen taustaa. *Teoksessa Sammalkorpi, I., Keto, J., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Mäkelä, M., Vääriskoski, J. & Lammi, E. 1995 (toim.). Vesijärvi-projekti 1987-1995. Ravintoketjukunnostus, tutkimukset ja toimenpidekokeilut. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A. 218: 9-13.*
- Keto, A., Sammalkorpi, I., Huttunen, M. 2015. *Hoitokalastuksella vauhtia vesienhoitoon? Vesistökuunnostusverkoston vuosiseminaari 2015. Rauma.*
- Kitchell, J. F., Koonce, J.F., Tennis, P.S. 1975. Phosphorus flux through fishes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19:2478–2484.
- Knuuttila, S., Pietiläinen, O.P., Kauppi, L. 1994. Nutrient balances and phytoplankton dynamics in two agriculturally loaded shallow lakes. *Hydrobiologia* 276, 359–369.
- Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N., Moyer, B.G., Elwinger, G.F. 2002. Effect of mineral and manure phosphorus sources on runoff phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 31: 2026–2033.

- Koljonen, S., Sammalkorpi, I., Hellsten, S., Ilmonen, J., Louhi, P. 2018. Seuranta vesistöjen kunnostushankkeissa. *Vesitalous* 6/2018.
- Korhonen, M. 2011. Hyvällä nurmisadolla voi alentaa tuotantokustannuksia. Julkaisussa: Menesty säilörehulla. TilaArtturi projekti 2007-2009 loppuraportti. 17 s.
- Korsaeth, A. 2008. Relations between nitrogen leaching and food productivity in organic and conventional cropping systems in a long-term field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127 (2008) 177-188.
- Korsaeth, A., Henriksen, T.M. & Bakken L.R. 2002. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and nitrogen losses. *Soil Biology & Biochemistry* 34 (2002) 789-799.
- Koskiaho, J. 2006. Retention performance and hydraulic design of constructed wetlands treating runoff waters from arable land. *Acta Universitatis Ouluensis C* 252. 70 s. (väitöskirja).
- Koskiaho, J. & Puustinen, M. 2019. Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecological Engineering* (painossa).
- Kotakorpi, M. 2017. Kymijärven kalasto vuonna 2016. Raportti. Lahden ympäristöpalvelut. 21 s.
- Kriszan, M., Amelung, W., Schellberg, J., Gebbing, T., Kühbauch, W. 2009. Long-term changes of the 15N natural abundance of plants and soil in a temperate grassland. *Plant and Soil* 325:157-169.
- Kunnari, E. 2008. Vesipuidedirektiivin mukainen kustannustehokkuusanalyysi maatalouden vesienhoitotoimenpiteille Excel-sovelluksena. Pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto, Taloustieteenlaitos, Ympäristöekonomia. 69 s.
- Kuusisto, E. & Hakala, J. 2007. Suomen järvien syvyysuhteet. *Terra* 119:3-4.
- Kuussaari, M., Heliölä, J., Tiainen, J., Helenius, J. (toim.) 2008. Maatalouden ympäristötuen merkitys luonnon monimuotoisuudelle ja maisemalle : MYTVAS-loppuraportti 2000-2006. Helsinki : Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 208 s. Kirja <http://hdl.handle.net/10138/38366>
- Känkänen, H., Eriksson, C., Rökköläinen, M., Vuorinen, M. 2003. Soil nitrate N as influenced by annually undersown cover crops in spring cereals. *Agricultural and Food Science in Finland* 12 3-4: 165-176.
- Köhler, K., Duynisveld, H. M., Böttcher, J. 2006. Nitrogen fertilization and nitrate leaching into groundwater on arable sandy soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2006, 196, 185-195.
- Laakso, J., Uusitalo, R., Leppänen, J., Yli-Halla, M. 2017a. Sediment from Agricultural Constructed Wetland Immobilizes Soil Phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 46(2): 356–363.
- Laakso, J., Uusitalo, R., Leppänen, J., Yli-Halla, M. 2017b. Amending soils with sediment material from constructed wetlands increases phosphorus sorption. *Geophysical Research Abstracts* 19, EGU2017-18820. EGU General Assembly 2017, Vienna, Austria.
- Lappalainen, K.M. 1990. Rehevöityminen seurausilmiöineen. Julkaisussa: Ilmavirta V. (toim.), Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet. Helsinki. Yliopistopaino, s. 108-133. ISBN 951-570-051-5.
- Ledgard, S. F. 2001. Nitrogen cycling in low input legume based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant and Soil* 228: 43-59, 2001.
- Lemola, R., Turtola, E., Eriksson, C. 2000. Undersowing italian ryegrass diminishes nitrogen leaching from spring barley. *Agricultural and Food Science in Finland* 9: 201-215.
- Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M., Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. 209 s.
- Leonardson, L. 1994. Vätmarker som kvävefällor, Svenska och internationella erfarenheter (Wetlands as nitrogen sinks, Swedish and international experience). *Naturvårdsverkets rapport* 4176. Naturvårdsverket, Tukholma, Ruotsi. 265 s. (ruotsinkielinen, sis. englannink. tiivistelmän).
- Lepistö, A. 1996. Hydrological processes contributing to nitrogen leaching from forested catchments in Nordic conditions. Helsinki : Finnish Environment Institute, Finland, Monographs of the Boreal Environment Research, 72 s. <http://hdl.handle.net/10138/39315>
- Lepistö, A., Granlund, K., Kortelainen, P., Räike, A. 2006. Nitrogen in river basins: Sources, retention in the surface waters and peatlands, and fluxes to estuaries in Finland. *Science of Total Environment* 365: 238-259.
- Lilja, H., Hyväluoma, J., Puustinen, M., Uusi-Kämppe, J., Turtola, E. 2017. Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions. *Geoderma Regional* 10: 77-84.
- Linden, B. 1981. Ammonium- och nitratkvävetts rörelser och fördelning i marken II Litteraturrevysikt.
- Luostarinen, S. (toim.), Logrén, J. (toim.), Grönroos, J. (toim.), Lehtonen, H. (toim.), Paavola, T. (toim.), Rankinen, K. (toim.), Rintala, J. (toim.), Salo, T. (toim.), Ylivainio, K. (toim.), Järvenpää, M. (toim.) 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. MTT raportti 212, 117 s. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti21.pdf>
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., Munther, J. 2017a. Finnish Normative Manure System - system documentation and first results. *Natural resources and bioeconomy studies* 48/2017. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. 74 p.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., Munther, J. 2017b. SUOMEN NORMILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 54 s.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., Munther, J. 2018. Modeling manure quantity and quality in Finland. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 2 60: 14 p.

- 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. Maa- ja metsätalousministeriö. 88 s.
- Lyngstad, I. & Borresen, T. 1996. Effects of undersown cover crops on yields and soil mineral nitrogen in cereal production in southeast Norway. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10:55-70.
- Maranger, R., Caraco, N., Duhamel, J., Amylot, M. et al. 2008. Nitrogen transfer from sea to land via commercial fisheries. *Nature Geoscience*. DOI: 10.1038/ngeo108
- Marjomäki T.J., Keskinen T., Karjalainen J. 2016. The potential ecologically sustainable yield of vendace (*Coregonus albula*) from large Finnish lakes. *Hydrobiologia* 780: 125–134.
- Malinen, T., Kervinen, J., Peltonen, T. 2017. Tuusulanjärven lahna-, pasuri- ja särkikannat vuosina 2005–2011. Teoksessa Hietala (toim.) 2017 s. 51-61.
- Marttila, J. 2005. Ravinnetaseet maatalouden vesistökuormituksen arviointikeinona. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Biotieteellinen tiedekunta, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Akvaattiset tieteet / limnologia. 69 s. (16 liitesivua).
- 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., Koskiahho, 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. Helsinki. 45 s.
- Marttunen, M., Dufva, M., Martinmäki, K., Sammalkorpi, I., Hjerpe, T., Huttunen, I., Lehtoranta, V., Joensuu, E., Seppälä, E., Partanen-Hertell, M. 2012. Vesienhoidon vuorovaikutteinen suunnittelu. Yhteenveto Karvianjoen tulevaisuustarkastelut-hankkeen tuloksista. Suomen ympäristö 15/2012.
- Mattila, P.K., Joki-Tokola, E., Tanni, R. 2003. Effect of treatment and application technique of cattle slurry on its utilization by ley: II. Recovery of nitrogen and composition of herbage yield. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 231–242.
- Mazumder, A. 1994. Phosphorus-chlorophyll relationships under contrasting herbivory and thermal stratification: predictions and patterns. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 390-400.
- Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., De Meester, L., Paerl, H., Scheffer, M. 2011. Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland waters* 1: 101-105.
- Mustonen, S. (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys r.y. Helsinki 1986, 504 s.
- Mustonen, A., Hyrkäs, M., Virkajärvi, P., Korhonen, P. 2019. Fosforilannoituksesta niukasti hyötyä heikon P-luvun mailla. Teoksessa: Pulkka E-K., Rantala, T., Antikainen, S., Eskelinen, P., Partanen, J. (toim.). Lanta liikkeelle ja ravinteet kiertoon. Ravinներenki ja Lantalogiistiikka hankkeiden tulostulokaisu. Savonia. s 16-17
- Muukkonen, P., Hartikainen, H., Alakukku, L. 2009. Boardmill sludge reduces phosphorus losses conservation-tilled clay soil. *Soil & tillage research* 104(2): 285-291.
- Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T. M., Sarkkola, S. 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609: 974-981.
- Niskanen, O. & Lehtonen, E. 2014. Maatilojen tilusrakenne ja pellonraivaus Suomessa 2000-luvulla. MTT Raportti 150, 27 s.
- Nousiainen, J. 2011. Porttitase kertoo ravinteiden hyödyntämisen. Julkaisussa: Menesty säilörehulla. TilaArtturi-projekti 2007–2009 loppuraportti. s. 20–22.
- Nürnberg, G., Tarvainen, M., Ventelä, A-M., Sarvala, J. 2012. Internal phosphorus load estimation during biomanipulation in a large polymictic and mesotrophic lake. *Inland Waters* 2: 147–162.
- Olin, M., Rask, M., Ruuhijärvi, J., Saarijärvi, E., Keskitalo, J. 2005. Effects of mass removal of fish on the nutrient status of a eutrophic lake in southern Finland. *Verh. int. Verein. Limnol.* 29:704-710, DOI: 10.1080/03680770.2005.11902770
- Olin S. 2013. Ympäristövirtaama - rakennetun joen ekosysteemin turvaaminen. *Vesitalous* 2013; 54 (5): 13-15.
- Oravainen, R. 2017. Kokemuksia suomalaisten järvien kemikaloinneista. Esitys Vesistökuunnostusverkoston vuosiseminaari 2017. Tampere. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesistokunnostusverkosto/Tapahtumat/Vuosiseminaarit/Vuosiseminaari\\_2017](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesistokunnostusverkosto/Tapahtumat/Vuosiseminaarit/Vuosiseminaari_2017)
- Ovaska, S, Liski, E., Äijö, H., Häggblom, O., Paasonen-Kivekäs, M. 2019. Perusparannukset ja ravinnetase suomalaisessa peltoviljelyssä (PERA). Poster Maataloustieteen päivillä. Suomen maa- ja elintarviketalous 2018. Toim. Niemi, J. & Väre, M. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 34/2018. 100 s.
- Øgaard, A. 1996. Effect of Fresh and Composted Cattle Manure on Phosphate Retention in Soil. *Acta Agriculturae Scandinavica B - Plant Soil Sciences*. 46. 98-105. 10.1080/09064719609413121.
- Paasonen-Kivekäs, M., Peltonen, R., Vakkilainen, P., Äijö, H. 2016. Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö. Salaojayhdistys ry, toinen täydennetty painos. Grano Oy, Helsinki, ISBN 978-952-5345-34-6, 448 s.
- Palva, R., Hellstedt, M., Luostarinen, S., Winqvist, E., Salo, T., Lehtoranta, S., Grönroos, J., Vuoremaa, A., Hamina, H., Puolamäki, K. 2018. Lisähyötyä siipikarjanlannasta. Keinoja lannankäytön tehostamiseen. 23 s.
- Partanen, K., Karhapää, M., Voutila, L., Ylivainio, K. 2010. Ruokinnan keinot sianlannan fosforipitoisuuden alentamiseksi. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote Nro 26. 7 s. Maataloustieteen päivät 2010.

- Peigne, J., Ball, B. C., Roger-Estrate, J., David, C. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management*, June 2007, 23, 129-144.
- Peltovuori, T. 2006. Phosphorus in agricultural soils of Finland – characterization of reserves and retention in mineral soils. Doctoral dissertation, Univ. Helsinki, Finland, 69 p.
- Pitkänen, J. 1999. Viljelytekniikan vaikutus pintavirtailuun peltoalueella. Effect of soil management on surface runoff at field scale. Teoksessa Salo, R. & Ylihalla, M. (toim.) *Maataloustieteen päivät 2000. Kasvintuotanto ja maaperä. Puutarhatuotanto*. Helsinki, 10-11.1.2000. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A 67:22-33.
- Powlson, D.S. & Johnston, A.E. 1994. Long-term field experiments: their importance in understanding sustainable land use. In: *Soil Resilience and Sustainable Land Use* (eds. D.J. Greenland & I. Szabolcs), CAB International, Wallingford, UK, s. 367-393.
- Prairie, Y.T. & Kalff, J. 1986. Effect of Catchment Size on Phosphorus Export. *Water Resources Bulletin* 22(3): 465–470. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1986.tb01901.x>
- Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J., Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormituksen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja-sarja A* 198, 319.
- Puustinen, M., Koskiaho, J., Peltonen, K. 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105(4): 565–579.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J., Linjama, J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil and Tillage Research* 93(1): 44-55. <http://www.sciencedirect.com>
- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiaho, J., Linjama, J., Niinioja, R., Tattari, S. 2010. VIHMA - A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138(3–4): 306–317.
- Puustinen, M., Sammalkorpi, I., Tattari, S., Ruuhijärvi, J., Uusitalo, R., Väisänen, S. 2017. Vesienhoitoa pellossa ja järvessä. *Vesitalous* 2017; 58 (4): 30-34.
- Rajala, J., Myyrinmaa, J., Vuori, T., Kitula, J., Vahtera, H., Ahtela, I., Lankoski, J., Santapukki, A. 2001. Ravinnetaseopas. Kestävä maatalous Vantaanjoella. Uudenmaan ympäristökeskus. 30 s.
- Rankinen, K., Keinänen, H., Cano Bernal, J.E. 2016. Influence of climate and land use changes on nutrient fluxes from Finnish rivers to the Baltic Sea. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216 (2016) 100–115.
- Rask, M., Olin, M., Ruuhijärvi, J. 2010. Fish-based assessment of ecological status of Finnish lakes loaded by diffuse nutrient pollution from agriculture. *Fisheries Management & Ecology* 17: 126-133.
- Rasmussen, K. 1980. Fertilizer application and ground water pollution. *Ann. Agric. Fenn.* 19:71-80.
- Reddy, K.R. & D'Angelo, E.M. 1994. Soil processes regulating water quality in wetlands. In: Mitsch, W.J. (Ed.), *Global Wetlands: Old World and New*. Elsevier Science B.V, Amsterdam, The Netherlands, s. 309–324.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and Nitrogen Load from Forest and Agricultural Areas in Finland. *Aqua Fennica* 19(2): 95–107.
- Ruokolainen, J. 2018. Järvien hoitokalastussaaliin hyötykäyttö etenee, terveiset Särkikalat ja kiertotalous - resurssien taloudellinen hyödyntäminen-seminaarista. *Vesistökunnostusverkoston seminaari* 28.11.2018.
- Ruokonen, T., Marjomäki, T., Suomi, I., Forsman, T., Keskinen, T., Karjalainen, J. 2019. Sisävesien talouslajien saalispotentiaali Suomessa. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja. 2/2019, 33 s.
- Ruuhijärvi, J., Rask, M., Vesala, S., Westermark, A., Olin, M., Keskitalo, J. and Lehtovaara, A. 2010. Recovery of the fish community and changes in the lower trophic levels in a eutrophic lake after a winter kill of fish. *Hydrobiologia* 646:145-158.
- Ruuhijärvi, J., Rask, M., Vesala, S., Olin, M. 2017. Tuusulanjärven kalakantojen muutokset järven kunnostuksen vuosina 1996- 2012. Teoksessa Hietala (toim.), s. 45-50.
- Räike, A., Rankinen, K., Lepistö, A., Pietiläinen, O-P., Knuutila, S. 2009. Tyyppikuormitus Itämereen on kasvussa *Vesitalous* 2009; 50 (6): 22-24.
- Räty, M., Saarijärvi, K., Virkajärvi, P., Saarijärvi, E., Kröger, H. 2014. Jatkuva toiminen ravinnekuormituksen seuranta verkosto Kirmanjärven valuma-alueella. In: *Maataloustieteen Päivät 2014, 8.–9.1.2014, Viikki, Helsinki: esitelmät ja posterit / Toim. Mikko Hakojärvi ja Nina Schulman. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro 30. 7 s.*
- Räty, M., Järvenranta, K., Hyrkäs, M., Virkajärvi, P. 2019. Lietteen syyslevitys – huuhtoumariski vai ponnostus seuraavan kesän satoon? Julkaisussa: Pulkka, E-K., Rantala, T., Antikainen, S., Eskelinen, P. & Partanen, J. (toim.) 2019. Lanta liikkeelle ja ravinteet kierto. Ravinnerenki- ja Lantalogistiikka-hankkeiden tulosjulkaisu. Lantalogistiikka- ja Ravinnerenki -hankkeet, Savonia-ammattikorkeakoulu Oy. s. 42–43. [http://ravinnerenki.savonia.fi/images/Tulosjulkaisu\\_final.pdf](http://ravinnerenki.savonia.fi/images/Tulosjulkaisu_final.pdf)
- Räty, M., Virkajärvi, P., Järvenranta, K., Hyrkäs, M. 2018. Nurmelle kesällä ja syksyllä sijoittamalla levitetyn lietelannan satovaikutus ja ravinnehuuhtouma. s. 205. Julkaisussa: Puhakainen, T. & Hakojärvi, M. (toim.). Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote No 34. *Maataloustieteen Päivät 2018, 10.–11.1.2018 Viikki, Helsinki. Esitelmä- ja posteritivistelmät.*
- Röman, E., Ekholm, P., Tattari, S., Koskiaho, J., Kotamäki, N. 2018. Catchment characteristics predicting nitrogen and phosphorus losses in Finland. *River research and applications* 34(5): 397–405.

- Saarela, I. 2002. Phosphorus in Finnish soils in the 1900s with particular reference to the acid ammonium acetate soil test. *Agricultural and Food Science*, 11(4), 257-271.
- Saarijärvi, E. & Sammalkorpi, I. 2005. Kunnostustarpeen määrittäminen. Teoksessa: Järvien kunnostus, Ulvi T. ja Lakso E. (toim.). Suomen ympäristökeskus, Edita, ISBN 951-37-4337-3, s. 61-74.
- Saarijärvi, K. & Virkajärvi, P. 2009. Nitrogen dynamics of cattle dung and urine patches on intensively managed boreal pasture. *The Journal of agricultural science* 147 4: 479-491.
- Saarijärvi, K. & Virkajärvi, P. 2010. Surface Runoff Simulator (SIMU) hastens the research on phosphorus losses from grassland, in: Schnyder, H. et al. (Eds.). *Grassland in a changing world. Proceedings of the 23th General Meeting of the European Grassland federation. August 29th – September 2nd 2010. Kiel, Germany. Grassland Science in Europe, Vol 14, 78–80.*
- Saarijärvi, K., Virkajärvi, P., Heinonen-Tanski, H., Taipainen, I. 2004. N and P leaching and microbial contamination from intensively managed pasture and cut sward on sandy soil in Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104: 621-630.
- Saarnio, S., Rätty, M., Hyrkäs, M., Virkajärvi, P. 2018. Biochar changed nutrient content and leaching from the top layer of grass field during the simulated snow-melt. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 265: 156–165.
- Saarinen, M., Kurppa, S., Nissinen, A., Mäkelä, J. (toim.) 2011. Aterioiden ja asumisen valinnat kulutuksen ympäristövaikutusten ytimessä. ConsEnv-hankkeen loppuraportti. (in Finnish) (Meal choices and alternatives in housing as the key issues of environmental impacts of consumption. Final report of ConsEnv-project) Suomen ympäristö 14/ 2011.
- Saarnio, S., Rätty, M., Hyrkäs, M., Virkajärvi, P. 2018. Biochar addition changed the nutrient content and runoff water quality from the top layer of a grass field during simulated snowmelt. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 265: 156–165.
- Saavalainen, J. 1984. Salaojittajan käsikirja II A, Salaojituksen suunnittelu. Helsinki: Vesanpaino.
- Sainju, U. M., Caesar-Tronthat, T., Lenssen, A. W., Evans, R. G., Kolberg, R. 2009. Tillage and cropping sequence impactys on nitrogen cycling in dryland farming in eastern Montana, USA. *Soill & Tillage Research* 103(2009) 382-341.
- Salmi, P., Kulmala, A., Lillunen, A., Koskinen, J. 2010. Karjanlannan typpi- ja fosforimäärät sekä niiden jakautuminen Satakunnassa ja Varsinais-Suomessa. TEHO-hankkeen julkaisuja 4/2010. 2. Korjattu painos. TEHO-hanke / Varsinais-Suomen ELY-keskus. 29 s.
- Salo, T. & Turtola, E. 2006. Nitrogen balance as indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113 (2006) 98-107.
- Salo, T., Turtola, E., Virkajärvi, P., Saarijärvi, K., Kuisma, P., Tuomisto, J., Muurinen, S., Turakainen, M. 2013. Nitrogen fertilizer rates, N balances, and related risk of N leaching in Finnish agriculture. MTT Report 102. 37 p. <http://jukuri.mtt.fi/handle/10024/395552/browse?type=dateaccessioned&order=DESC>
- Salo, T., Ylivainio, K., Partanen, K., Rinne, M., Nousiainen, J., Kapuinen, P., Esala, M., Peltonen, S., Valaja, J. 2011. Lannan lannoituskäytön kehittäminen ja ravinteiden tehokas käyttö. Julkaisussa: Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. (toim.). Lannan kestävä hyödyntäminen. HYÖTYLANTA-tutkimusohjelman loppuraportti. MTT Raportti 21. s. 17–40.
- Sammalkorpi, I. 2000. The role of fish behaviour in biomanipulation of a large lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27: 1464-1742.
- Sarvala, J. & Jumppanen, K. 1988. Nutrients and planktivorous fish as regulators of productivity in Lake Pyhäjärvi, SW Finland. *Aqua Fennica* 18: 137-155.
- Sarvala, J. (toim.) 1995. Särkikalojen poistopyynnin merkitys rehevöityneen järven kunnostamisessa. – Suomen Akatemian tutkimushanke 1071292, loppuraportti 31.3.1995. Turun yliopiston biologian laitos, Turku. 72 s. Moniste.
- Sarvala, J., Helminen, H., Kirkkala, T. 1997. Pyhäjärven veden laatu ja sitä säätelevät tekijät. *Vesitalous* 18: 38-41.
- Sarvala, J., Helminen, H., Karjalainen, J. 2000a. Restoration of Finnish lakes using fish removal: changes in the chlorophyll-phosphorus relationship indicate multiple controlling mechanisms. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27: 1473-1479.
- Sarvala, J., Ventelä A-M, Helminen H, Hirvonen A, Saarikari V, Salonen S, Sydänoja A, Vuorio K. 2000b. Restoration of the eutrophicated Köyliönjärvi (SW Finland) through fish removal: whole-lake vs. mesocosm experiences. – *Boreal Env. Res.* 5: 39–52.
- Sarvala, J. & Heikkilä, J. 2019. Adaptive management of a shallow lake based on intensive ecological monitoring: from aeration, submerged plant removal and biomanipulation to chemical treatment. Manuscript based on a presentation given by J. Sarvala in the International Symposium LahtiLakes 2018, Restoration of eutrophic lakes - current practices and future challenges, 4-6 June 2018, Lahti, Finland.
- Sarvilinna, A. & Sammalkorpi, I. 2010. Rehevöityneen järven kunnostus ja hoito. *Ympäristöopas*, 2010.
- Seidel, K., Kayser, M., Muller, J., Isselstein J. 2009. The effect of grassland renovation on soil mineral nitrogen and nitrate leaching during winter. *J. Plant Nutr. Soil Sci* 2009, 172, 512-519.
- Shapiro, J. 1980. The Importance of Trophic-Level Interactions to the Abundance and Species Composition of Algae in Lakes. In: Barica J., Mur L.R. (eds) *Hypertrophic Ecosystems. Developments in Hydrobiology* 2: 105-116.
- Sharpley, A.N. 1993. Estimating phosphorus in agricultural runoff available to several algae using iron-oxide paper strips. *J. Environ. Quality* 22:678–680. doi:10.2134/jeq1993.00472425002200040007x

- Sihvonen, M., Hyytiäinen, K., Valkama, E., Turtola, E. 2018 Phosphorus and Nitrogen Yield Response Models for Dynamic Bio-Economic Optimization: An Empirical Approach. *Agronomy* (2018) 8, 41. doi:10.3390/agronomy8040041
- Sippola, J. 1981. Viljelymaan typpivarat. *Koetoiminta ja käytäntö* 39:51.
- Sippola, J. 1986. Maan typpivarojen mineraloituminen. *Koetoiminta ja käytäntö* 43: 67.
- Sippola, J. & Ylärinta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. *Annales Agricuturae Fenniae* 24:117-124.
- Søndergaard, M., Liboriussen, L., Pedersen, A.R., Jeppesen, E. 2008. Lake Restoration by Fish Removal: Short- and Long-Term Effects in 36 Danish Lakes. *Ecosystems* 11: 1291-1305.
- Søndergaard, M., Bjerring, R., Jeppesen, E., 2012. Persistent internal loading during summer in shallow lakes. *Hydrobiologia* 710: 91- 107.
- Smolders, A. & Roelofs, J. G. M. 1993. Sulphate-mediated iron limitation and eutrophication in aquatic ecosystems. *Aquatic Botany* 46: 247-253
- Stenberg, M., Aronsson, H., Linden, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with catch crop. *Soil & Tillage Research* 50:115-125.
- Suojala-Ahlfors, T. (toim.). 2017. Vihannesten ja mansikan tasapainoinen fosfori- ja typpilannoitus. *Luonnonvara- ja biotaloudentutkimus* 44/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 84 p.
- Tammelin, M. & Kauppila T. 2018. Quaternary landforms and basin morphology control the natural eutrophy of boreal lakes and their sensitivity to anthropogenic forcing. *Frontiers in ecology and evolution*. 6 (65)1-18. doi: 10.3389/fevo.2018.00065
- Tattari, S., Koskiaho, J., Kosunen, M., Lepistö, A., Linjama, J., Puustinen, M. 2017. Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2010. *Environmental Monitoring and Assessment* 189:95, 25 p.
- Taylor, A.W. & Kunishi, H.M. 1971. Phosphorus equilibria on stream sediment and soil in a watershed draining an agricultural region. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 19: 827-831.
- Tisdale, S.L. & Nelson, W.N. 1975. *Soil Fertility and Fertilizers*. MacMillan, University of Minnesota. Book digitized in 2010, 694 s.
- Turtola, E. & Jaakkola, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. *Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote* 6.
- Turtola, E. & Kemppainen, E. 1998. Nitrogen and phosphorus losses in surface runoff and drainage water after application of slurry and mineral fertilizer to perennial grass ley. *Agricultural and Food Science* 7: 569-581.
- Turtola, E. & Yli-Halla, M. 1999. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: Accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 165-174.
- Turtola, E., Lemola, R., Laitinen, R., Kiljala, J., Esala, M., Rämö, S., Huttu, S., Joki-Tokola, E., Hakkola, H., Lehto, E. 2005. Ympäristökuormitus luonnonmukaisessa viljelyssä. *Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus*. 70 s.
- Turtola, E., Alakukku, L., Uusitalo, R., Kaseva, A. 2007. Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil. *Agricultural and Food Science* 16: 332-351.
- Turtola, E. & Ylivainio, K. (toim.) 2009. Suomen kotieläintalouden fosforikierto - säästöpotentiaali maataloilla ja aluetasolla. *Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Maa- ja elintarviketalous* 138, 244 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-216-4>
- Ulén, B. 1985. Erosion of phosphorus from arable land. *Ekohydrologi*, 20, 26-35.
- Ulén, B. & Mattson, L. 2003. Transport of phosphorus forms and of nitrate through a clay soil under grass and cereal production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 129-140.
- Ulén, B., Larsbo, M., Kreuger, J., Svanbäck, A. 2013. Spatial variation in herbicide leaching from a marine heavy clay soil via subsurface drains. *Pesticide Management Sciences* 70:405-414.
- Ulvi, T. & Lakso, E. 2005. Järvien kunnostus. *Ympäristöopas* 114. Suomen ympäristökeskus.
- Uusi-Kämpä, J. & Kilpinen, M. 2000. Suojakaistat ravinnekuormituksen vähentäjänä. *Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja*. Sarja A 83. Jokioinen.
- Uusi-Kämpä, J. 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24(5): 491-502.
- Uusi-Kämpä, J. & Heinonen-Tanski, H. 2008. Evaluating slurry broadcasting and injection to ley for phosphorus losses and fecal microorganisms in surface runoff. *Journal of Environmental Quality* 37: 2339-2350.
- Uusi-Kämpä, J. & Jauhiainen, L. 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 75-85.
- Uusi-Kämpä, J. & Mattila, P. 2010. Nitrogen losses from grass ley after slurry application – surface broadcasting vs. injection. *Agricultural and Food Science* 19: 327-340.
- Uusi-Kämpä, J., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Rosendahl, R., Virtanen, S., Yli-Halla, M., Ylivainio, K., Österholm, P., Turtola, E. 2012. Greenhouse gas emissions and nutrient losses to water from an acid sulfate soil with different drainage systems. In: Österholm, P., Yli-Halla, M., Edén, P. (Eds.). *Proceedings of the 7th International Acid Sulfate Soil Conference*, Vaasa, Finland, 2012. Geological Survey of Finland, Guide 52: 141-143.
- Uusitalo, R. and E. Aura. 2005. A rainfall simulation study on the relationships between soil test P versus dissolved and potentially bioavailable particulate forms in runoff. *Agric. Food Sci.* 14: 335-345.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Lemola, R. 2007. Phosphorus losses from a sub-drained clayey soil as affected by cultivation practices. *Agric. Food Sci.* 16:352-365. doi:10.2137/145960607784125393

- Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Valkama, E., Ketoja, E., Vaahtoranta, A., Virkajärvi, P., Grönroos, J., Lemola, R., Ylivainio, K., Rasa, K., Turtola, E. 2016. A Simple dynamic model of soil test phosphorus responses to phosphorus balances. *Journal of Environmental Quality* 45: 977–983.
- Uusitalo, R., Lemola, R., Turtola, E. 2018. Surface and subsurface phosphorus discharge from a clay soil in nine-year study comparing no-till and plowing. *Journal of Environmental Quality* doi:10.2134/jeq2018.06.0242
- Vagstad, N., Eggestad, H.O., Høyås, T.R. 1997. Mineral nitrogen in agricultural soils and nitrogen losses: relation to soil properties, weather conditions and farm practices. *Ambio* 26(5): 266–271.
- Vadas, A., Joern, B.C., Moore, P.A. Jr. 2012. Simulating Soil Phosphorus Dynamics for a Phosphorus Loss Quantification Tool. *J. Environ. Qual.* 41: 1750–1757.
- Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P., Turtola, E. 2009. Phosphorus fertilization: A meta-analysis of 80 years of research in Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 130: 75–85.
- Valkama, E., Uusitalo, R., Turtola, E. 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, E., Virkajärvi, P., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Turtola, E. 2015. Meta-analysis of grass ley response to phosphorus fertilization in Finland. *Grass and Forage Science* 71: 36–53.
- Valkama, P. & Mikkilä, E. 2018. Veden laadun sekä maan lämpötilan ja kosteuden seuranta. Rakennekalkituksen vaikutukset. Liite 1. Lohkon ominaispiirteet huomioiva ravinnekuormitusmallinnus ja sen kehittäminen (LOHKO-hanke) -hankkeen jatkohanke (LOHKO II). [https://www.mtk.fi/ymparisto/Vesiasiat/lohko/fi\\_FI/Lohko\\_II\\_hankekuvaus/\\_files/101278212325509278/default/Veden%20laadun,%20maan%20%20C3%A4mp%C3%B6tilan%20ja%20kosteuden%20seuranta%20sek%C3%A4%20rakennekalkitus\\_final.pdf](https://www.mtk.fi/ymparisto/Vesiasiat/lohko/fi_FI/Lohko_II_hankekuvaus/_files/101278212325509278/default/Veden%20laadun,%20maan%20%20C3%A4mp%C3%B6tilan%20ja%20kosteuden%20seuranta%20sek%C3%A4%20rakennekalkitus_final.pdf).
- van Middelkoop, J.C. & Holshof, G. 2017. Nitrogen fertilizer replacement value of concentrated liquid fraction of separated pig slurry applied to grassland, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48 (10): 1132–1144.
- Vanni M.J., Boros G., McIntyre, P.B. 2013. When are fish sources versus sinks of nutrients in lake ecosystems? *Ecology* 94: 2195–2206.
- Ventelä, A.-M., Tarvainen, M., Helminen, H., Sarvala, J. 2007. Long-term management of Pyhäjärvi (southwest Finland): eutrophication, restoration—recovery? *Lake Reserv. Manag.* 23: 428–438.
- Ventelä, A.-M. & Jori, M. 2018. Tanakka-hanke – kohti taloudellisesti kannattavaa hoitokalastusta. Särkikalat ja kiertotalous – resurssien taloudellinen hyödyntäminen- seminaari. Jyväskylä 28.11.2019.
- Verhoeven, J.T.A. & Meuleman, A.F.M. 1999. Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. *Ecological Engineering* 12(1): 5–12.
- Virkajärvi, P., Kykkänen, S., Rätty, M., Hyrkäs, M., Järvenranta, K., Isolahti, M., Kauppila, R. 2014. Nurmen kaliumtalous. Maan reservikaliumin merkitys kaliumlannoituksen suunnittelussa. *MTT Raportti* 165. 52 s.
- Virkajärvi, P., Rinne, M., Mononen, J., Niskanen, O., Järvenranta, K., Sairanen, A. 2015. Dairy production systems in Finland. Julkaisussa: van den Pol-van Dasselaar, A., Aarts, H.F.M., De Vliegher, A., Elgersma, A., Reheul, D., Reijneveld, J.A., Verloop, J. & Hopkins, A. (toim.). *Grassland and forages in high output dairy farming systems. Proceedings of the 18th symposium of the European Grassland Federation. Wageningen, the Netherlands 15–17 June 2015.* s. 51–66.
- Virkajärvi, P., Kykkänen, S., Hyrkäs, M., Korhonen, P., Hartikainen, M., Kärkönen, A., Toivakka, M., Kauppila, R. 2018. Uudet tyypilläännoituskokeet haastavat vanhat käsitykset nurmien satovasteista. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote Nro 35. Maataloustieteen päivät 2018.* 7 s.
- Virtanen, H. & Nousiainen, J. 2005. Nitrogen and phosphorus balances in Finnish dairy farms. *Agricultural and Food Sciences* 14:166–180.
- Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K., Kauppila, P. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76: 213–248.
- Vuorinen J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeological Publications* 63: 1–44.
- Väisänen, S. (toim.) 2013. Mallit avuksi vesienhoidonsuunnitteluun GisBloom-hankkeen pilottilueilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2013. Suomen ympäristökeskus.
- Xue, Y., Kovacic, D.A., David, M.B., Gentry, L.E., Mulvaney, R.L., Lindau, C.W. 1999. In situ measurements of denitrification in constructed wetlands. *Journal of Environmental Quality* 28: 263–269.
- Yli-Halla, M., Nykänen, A., Siimes, K., Tuhkanen, R. 2001. Ympäristötuen ehdot ja maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus. *MTT:n julkaisuja. sarja A 77.* 45 s.
- Ylivainio, K. & Peltovuori, T., 2012, Phosphorus acquisition by barley (*Hordeum vulgare* L.) at suboptimal soil temperature *Agricultural and Food Science.* 21, 4, s. 453–461.
- 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. *MTT report* 124. Jokioinen. 35 s
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R., Turtola, E. 2015. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland. *Natural resources and bioeconomy studies* 62/2015. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. 32 s.
- 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.

## LIITTEET

### Liite I. Lyhenteitä ja termejä

#### Lyhenteitä

**DRP:** Vesiliukoinen fosfaattifosfori, liukoinen fosfori ja liuennut reaktiivinen fosfori (Dissolved reactive phosphorus)

**K:** Kalium

**Ka:** Kiintoaine, sisältää kivennäismaata ja orgaanista maata

**N:** Typpi

**N<sub>tot</sub>:** Kokonaistyyppi

**NO<sub>3</sub>:** Nitraattityppi

**NO<sub>2</sub>:** Nitriittityppi

**NH<sub>4</sub>:** Ammoniumtyppi

**P:** Fosfori, kokonaisfosfori

**P<sub>tot</sub>:** Kokonaisfosfori

**PP tai PartP:** Kiintoaineeseen sitoutunut partikkelimainen fosfori

**TotN:** Kokonaistyyppi

**TotP:** Kokonaisfosfori

**TSS:** Kiintoaine (Total suspended solids)

#### Termejä

**Denitrifikaatio:** Typpikierron vaihe, jossa nitraatti- ja nitriittityppi hajoaa maassa typpikaasuksi ja/tai typpioksidiksi ja vapautuu ilmaan

**Eroosio:** Viljelyoloissamme valuntaveden kuljettaman maa-aineksen liikettä pelloilta peltojen ulkopuolelle

**Hoitokalastus:** Järven tilaa tai kalapopulaation parantamista tähtäävä kalastus

**Immobilisaatio:** Typpikierron vaihe, jossa epäorgaaninen typpi sitoutuu biologisessa prosessissa maan orgaaniseen ainekseen

**Karkea maa:** Karkea hieta sitä karkeammat kivennäismaat

**Keskimääräisen talvet, km. talvet:** Vuodet, joissa vähemmän sateisia syksyjä, joita seuraa kylmä ja luminen talvi

**Kevennetty muokkaus:** Kyntösyvyyttä matalampaan muokkaussyvyyteen ulottuva runsaasti pellon pintaan kasvillisuutta jättävä perusmuokkausmenetelmä

**Kivennäismaa:** Maalajit, joissa eloperäisen aineksen osuus on alle 20 %

**KUTOVA:** Kustannustehokkaiden toimenpiteiden valintatyökalu

**Kylvömuokkaus:** Viljelykasvien kylvöä edeltävä ylintä pintakerrosta (n. 5 cm) muokkaava maanmuokkaus

**Kyntö:** Intensiivinen noin 20 cm:n syvyyteen maata kääntävä ja kasvien jäänteet peittävä perusmuokkausmenetelmä

**Leudot talvet:** Vuodet, joissa sateista syksyä seuraa leudot ja märät talvet, osaltaan indikoi ilmastonmuutosta, ei kuitenkaan huomioi esim. kesäisiä rankkasateita,

**Lysimetri:** Maanpinnan tasaan upotettu, ympäröivää maata vastaavalla maalla täytetty astia, jossa mitataan mm. veden läpäisyä ja ravinteiden huuhtoutumista

**Mavi:** Maaseutuvirasto

**Monivuotinen nurmi:** Nurmipeitteinen pelto yhtäjaksoisesti usean vuoden ajan

**Mineraalilannoite:** Epäorgaanisista aineista valmistettu lannoite, jota lisätään viljelysmaahan kasvien kasvun parantamiseksi

**Mineralisoituminen:** Orgaanisen typen hajoaminen epäorgaaniseen muotoon

**Nitrifikaatio:** Ammoniumtypen muuttuminen nitraatiksi

**NURMAP:** Nurmipeitteisen pellon fosforin huuhtoutumismalli

**Orgaaniset lannoitteet:** Olomuodoiltaan orgaanisia ravinteita sisältävien lannoitemateriaalien yleisnimike

**Perusmuokkaus:** Viljelykasvien kylvöä valmistava ensimmäinen valmistava maanmuokkaus

**Pienet valuma-alueet:** Valuma-alueen koko 0,1–20 km<sup>2</sup>

**P-luku:** Maan fosforipitoisuutta kuvaa luku (P mg/litrassa maata), joka perustuu happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4,65) uuttuneen fosforin määrään uuttosuhteella 1:10

**Ravintoketjukurkennostus:** Ravintoketjukurkennostuksen eli biomanipulaation tarkoituksena on vähentää ylitähdä särkekalakantaa tehokalastusten avulla.

**Sisäinen kuormitus:** Järven pohjaan varastoituneiden ravinteiden uudelleen vapautumista veteen

**Suorakylvö:** Kylvömenetelmä, jossa kylvö toteutetaan muokkaamattomaan maahan

**Sänki:** Sadonkorjuun jälkeen pellon pintaa peittävä viljan sänki

**Sänkimuokkaus:** Äkeellä tai kultivaattorilla tehtävä kevennetty muokkaus

**Talviaikainen kasvipeitteisyys:** Syksystä talven yli pellon pintaa peittävydeltään vaihteleva kasvipeitteisyys

**Ulkoisen kuormitus:** Valuma-alueelta tulevaa kiintoaine- ja ravinnekuormitusta

**VEMALA:** Vesistömallijärjestelmä, Watershed simulation and forecasting system (WSFS)

**Vesistökurkennostus:** Järven kemiallista ja ekologiset tilaa kohentavien toimenpiteiden yleisnimike

**Vesistökuormitus:** Vesistöihin tulevaa kiintoaine- ja ravinnekuormaa

**VHS:** Vesipuidedirektiivin mukainen vesienhoitosuunnitelma

**VIHMA:** Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli

**Viljavuus-P:** Suomessa happamaan ammoniumasetaattiuuttoon (pH 4,65, uutto-suhde 1:10) perustuva maan fosforipitoisuuden määrittäminen kasveille käyttökelpoisen fosforin määrästä

**Väkilannoite:** Pääasiassa kaupallisten ja tehdasvalmisteisten mineraalilannoitteiden yleisnimike

## Liite 2. Hylätyn aineiston kuvaus

Kun aineistosta poistettiin poikkeavan suuria PP- tai TOTP-havaintoja, se vinoutui pienempien arvojen suuntaan. Poistettujen havaintojen kuvaus on esitetty alla olevassa taulukossa 1 ja niiden keskimääräinen ero käytettyyn aineistoon taulukossa 2. Merkittävimmät erot aineistojen keskiarvoissa olivat liuenneen kiintoaineen, kiintoainesfosforin ja kokonaisfosforin huuhtoutumien määrässä (Taulukko 2). Liukoisen fosforiin aineiston karsimisella ei juuri ollut merkitystä. Poikkeavien havaintojen prosentuaalinen osuus oli noin 8 %.

**Taulukko 1.** Nurmipeitevuosien fosforin huuhtoutumisen mallintamisessa hylätyn aineiston kuvaus. DRP = liennut reaktiivinen fosfori; TOTP = kokonaisfosfori.

Muuttuja	Yksikkö	N	Keskiarvo	Medi-aani	Std	Min	Max
Pintakerroksen viljavuus-P <sup>1)</sup>	mg/l	5	14,3	13,4	2,2	11,9	17,4
Väkilannoituksen P	kg/ha/v	5	11,0	5,5	12,9	0	26,7
Karjanlannan P	kg/ha/v	5	24,4	30,2	23,3	0	48,0
Pintavalunta	mm	5	113	62	84	47	225
Liennut kiintoaine <sup>2)</sup>	kg/ha/v	5	795	620	395	400	1375
P pitoisuus maassa /eroosioaineksessa	mg/kg	5	1073	1242	624	418	1919
Havaittu DRP pitoisuus pintavalunnassa	mg/l	5	0,26	0,32	0,11	0,12	0,36
Havaittu DRP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/v	5	0,34	0,17	0,32	0,06	0,72
Havaittu PP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/v	5	0,69	0,57	0,25	0,50	1,09
Havaittu TOTP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/v	5	1,03	1,22	0,30	0,55	1,26
Havaittu TOTP lysimetri/salaoja valunnassa	kg/ha/v	2	0,012	0,012	0,006	0,008	0,016

<sup>1)</sup> Hapan ammoniumasetaattiuutto (Vuorinen & Mäkitie 1955).

<sup>2)</sup> Kiintoaine: haihdutusjäännös.

**Taulukko 2.** Nurmipeitevuosien fosforin huuhtoutumisen mallintamisessa käytetyn ja hylätyn aineiston keskiarvojen erot, DRP = liennut reaktiivinen fosfori, TOTP = kokonaisfosfori.

Muuttuja	Yksikkö	Estimointi-havainnot	Käyttämättömät havainnot	Suhdeluku, % <sup>2)</sup>	Kaikki
Pintakerroksen viljavuus-P <sup>1)</sup>	mg/l	12,1	14,3	118	12,3
Väkilannoituksen P	kg/ha/v	6,4	11,1	173	6,8
Karjanlannan P	kg/ha/v	13,6	24,5	180	14,5
Pintavalunta	mm	110	112,8	103	110,2
Liennut kiintoaine <sup>3)</sup>	kg/ha/v	123	795,6	647	184,1
P pitoisuus maassa /eroosioaineksessa	mg/kg	1440	1073	75	1407
Havaittu DRP pitoisuus pintavalunnassa	mg/l	0,22	0,26	120	0,22
Havaittu DRP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/v	0,26	0,34	131	0,27
Havaittu PP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/v	0,17	0,69	408	0,21
Havaittu TOTP huuhtouma pintavalunnassa	kg/ha/v	0,43	1,03	240	0,48
Havaittu TOTP lysimetri/salaoja valunnassa	kg/ha/v	0,031	0,012	39	0,03

<sup>1)</sup> hapan ammoniumasetaattiuutto (Vuorinen & Mäkitie 1955).

<sup>2)</sup> Käyttämättömien havaintojen keskiarvo/Estimointiaineiston keskiarvo) x 100.

<sup>3)</sup> Kiintoaine: haihdutusjäännös.

### Liite 3. Learning-cafe antia

Hankkeessa järjestettiin kaksi Learning cafe –tilaisuutta, joihin osallistui tutkijaryhmän lisäksi hankkeen ohjausryhmän jäseniä ja sidosryhmien edustajia. Kummassakin tilaisuudessa käsiteltiin kolmea teemaa, joista pidettiin lyhyet alustukset. Teemoihin liittyvistä kysymyksistä keskusteltiin pienryhmissä sekä koko osallistujajoukon kesken. Ensimmäiseen Learning cafe –tilaisuuteen osallistui 18 henkilöä ja toiseen 20 henkilöä. Tässä luvussa tilaisuuksia käsitellään erillisinä kokonaisuuksina, joista on koottu alustusten ja niihin liittyvien keskustelujen anti yhteen. Lisäksi kokonaisuutta on lavennettu kysymyksiin liittyvän kirjallisuuden avulla. Tilaisuuksien vapaan keskustelun tuottamaa antia hyödynnettiin skenaariomallinnusten suunnittelussa ja toteutuksessa.

## 10.1. Ensimmäinen Learning cafe 30.11.2017

Tilaisuuden teemat olivat 1) huuhtoumien ja ravinnepitoisuuksien trendit eri mittakaavoissa, 2) karjanlannan käyttö lannoituksessa ja 3) fosforilannoituksen ohjauskeinot.

### I. Ravinnepitoisuuksien ja huuhtoumien trendit eri mittakaavoissa (Sirkka Tattari SYKE)

Perämereen laskevilla jokivesistöjen valuma-alueilla viimeisimmässä trenditarkasteluissa näkyy fosforikuormien alenemista. Pienillä valuma-alueilla ja Pohjanlahden isoilla vesistöalueilla typpikuormitus on seurantatutkimusten mukaan ollut kasvussa. Tässä tarkastelussa pienten valuma-alueiden aineistot ulottuvat vuoteen 2010 (Tattari ym. 2017). Mistä erot eri valuma-alueilla johtuvat? Onko kuormitusta vähentäviä toimenpiteitä tehty enemmän isoilla valuma-alueilla kuin tutkituilla pienillä valuma-alueilla? Ovatko satotasot ja typenotto vähentyneet, kun typpi- ja fosforilannoitusta on vähennetty? Lisääkö kasvukauden ulkopuolella mineralisoitua orgaaninen typpi kuormitusta ja onko erikoiskasvien merkitys luultua suurempi?

Ilmastonmuutos tulee lisäämään ravinnekuormitusriskiä merkittävästi, minkä vuoksi kuormitusta vähentäviä toimenpiteitä on tehtävä nykyistä enemmän. Sen osoittivat esim. Baltic COMPASS-hankkeen mallinnustulokset (Collentine ym. 2013). VIHMAan on rakennettu erilaisia vuosia kuvaavat vaihtoehdot (normaalit/leudot talvet). Esimerkiksi Aurajoen aineistolle VIHMAlla lasketut tulokset osoittivat, että valunnan pysyessä ennallaan pitoisuudet ja samalla kuormat kasvoivat leutoina talvina (Puustinen ym. 2010). Kun arvioidaan, että ilmastonmuutos lisää sadantaa ja valuntaa, on kuormituksen kasvu sitäkin suurempi. Kuormitusta vähentävien toimenpiteiden vaikuttavuuden selville saamiseksi pitäisi kuormitustrendeistä pystyä erottamaan ilmaston muuttumisen vaikutus. Myös turvemaille raivattujen peltojen vaikutus kuormitustrendeihin olisi hyvä saada eroteltua, mutta systemaattisia aikasarjoja niistä ei ole saatavilla.

Yksittäisten toimenpiteiden vaikuttavuuden selvittäminen kuormitukseen on haastavaa. Jo pelkästään mittausepävarmuudet tai maatalouspolitiikan muutokset (kansallinen kesannointivelvoite, pellonraivauskielto, EU-ajan ympäristöohjelmat, nurmien CAP-tuki jne.) voivat vaikuttaa kuormitusarvioiden tarkkuuteen. Trenditarkasteluihin aineisto on kuitenkin riittävä. KiertoVesi –hankkeessa voitaisiin tehdä aikajana, jossa kuormitustrendien yhteyteen merkittäisiin maataloussektorilla tapahtuneita suuria muutoksia. Tarkempaa mallintamista varten tarvittaisiin lisää mittausdataa vesistöistä ja maaperästä.

Onko ns. kiertotaloustyyppi osasyllinen typpikuormituksen lisääntymiseen? Hankkeessa tulisi pohtia mikä on todellisuudessa mineraali- ja orgaanisen typpilannoituksen osuus typpihuuhtoumissa.

Onko orgaanisen typen määrä kivennäismailla kasvanut vai pysynyt ennallaan? Typeä sitoutuu nurmiviljelyssä merkittävästi. Typpitaseen avulla ei pystytä kuvaamaan typpikuormitusriskiä.

Mallien avulla voidaan laskea erilaisten ympäristötoimenpiteiden tai vallitsevan maatalouskäytännön vaikutusta eroosioon ja ravinnekuormitukseen. Käytettyjen mallien tulisi olla läpinäkyviä (rakenne ja parametrisointi). Mallien antamia tuloksia raportoitaessa tulisi malliin liittyvä epävarmuus myös raportoida. Mallit vaativat jatkuvaa seurantatiedon tuotantoa, jonka avulla mallien luotettavuus voidaan osoittaa.

### Keskustelu ja esitykseen liittyvät huomiot:

- Ruokavaliomuutos vaikuttaisi kuormitukseen, kun maatalousmaata jää pois käytöstä ravintotottumusten muuttuessa kasvis- ja kalapainotteisemmiksi. Se edellyttää, että viljelykäytöstä pois jäävän maan ominaiskuormitus laskee lähelle luonnonhuuhtoumaa. Ei voida tarkastella skenaarioissa.
- Maataloudessa on käynnissä rakennemuutos, jossa tilakoko kasvaa suurelta osin vuokratilajelyn lisääntyessä. Vuokrapelloilla tärkeät perusparannukset, kuten kuivatustilasta huolehtiminen, jäävät usein tekemättä ja maatalouden rakennemuutos siltä osin toimii kuormitusta lisäävästi. Hankkeissa huonojen satojen on havaittu olevan yhteydessä heikkoon pellon kuivatustilaan (mm. Ovaska ym. 2019). Rakennemuutosta ei tarkastella skenaarioissa.
- Suojavyöhykkeiden pinta-ala lisääntyi voimakkaasti nykyisellä ohjelmakaudella, mutta suojavyöhykkeiden heikon kohdentumisen vuoksi toimenpiteen ominaisvaikuttavuus pinta-alaa kohti laski. Skenaariomallinnuksissa eroosioon vaikuttavien toimenpiteiden vaikutus lasketaan sekä kohdentamatta että kohdentamalla toimenpiteet eroosioriskialueille.
- Pysyvät suojavyöhykkeet tulisi sijoittaa kaltevimmille peltolohkoille vesistöjen varteen sekä tulvista vuosittain kärsiville pellon osille.
- Pysyvät nurmet lisäävät fosforin kerrostumista maan pintaan, josta se voi pintavalumien mukana kulkeutua vesistöihin. Peltolohkotasolla fosforin kerrostuminen on lisännyt liukoisen fosforin kuormitusta (Uusitalo ym. 2018, Uusi-Kämpä & Kilpinen 2000) ja tästä syystä pitkäaikaisilta nurmilta kuten suojavyöhykkeiltä, kasvusto tulisi korjata pois fosforin kerrostumisen hidastamiseksi. Korjattua satoa voitaisiin käyttää biokaasun tuotannossa.
- Miten tulisi priorisoida valuma-alue- ja vesistökunnostustoimenpiteet? Priorisointi tulisi tehdä ottamalla huomioon vesistön tila sekä vesistöön kohdistuva kuormituspaine.
- Vuonna 2017 ympäristökorvausjärjestelmään sitoutuneiden viljelijöiden peltosten osuus oli 87 % aktiiviviljelyssä olleesta pinta-alasta. Kokonaan ympäristökorvausjärjestelmän ulkopuolella oli noin 6 % peltoalasta, mikä tarkoittaa koko tilan ulkopuolelle jäämistä. Loput ympäristökorvauksen ulkopuolisesta alasta on ympäristökorvaukseen sitoutuneilla tiloilla, mutta kyseiset pellot eivät ole korvauskelpoisia (mm. raiviot). Learning cafessa keskusteltiin ympäristökorvaukseen sitoutumislaajuuden merkityksestä. Suuri sitoutumisaste merkitsee laajaa toimenpiteiden toteuttamispinta-alaa, mitä pidettiin tärkeänä. Nykyisellä ohjelmakaudella fosforilannoituksen ehtoja kiristettiin edelliseen ohjelmakauteen verrattuna. Sallittuja fosforilannoitusmääriä madallettiin tai poistettiin kokonaan korkeammassa fosforiluokissa. Lisäksi karjanlannan fosforipitoisuus otetaan nyt täysimääräisesti huomioon lannoituksessa. Kiristyneet vaatimukset ovat saattaneet olla syynä siihen, että siipikarjantautantoa harjoitettavia tiloja on jäänyt runsaasti ohjelman ulkopuolelle.

- Laajasti toteutettujen toimenpiteiden lisäksi ohjelmassa on kohdennettuja toimenpiteitä tietyt ominaisuudet täyttävälle peltolohkoille, kuten valumavesien hallintaan liittyvät hoitotoimenpiteet ja investointituet säätösaloajitukseen, säätökasteluun ja kuivatusvesien kierrätykseen. Toimenpiteiden avulla satotaso pyritään parantamaan nostamalla vedenpintaa maakerroksessa. Samalla hidastetaan maan orgaanisen aineksen hajoamista ja happamia päästöjä. Näitä toimenpiteitä ei otettu skenaariotarkastelussa huomioon.

## 2. Miten lannan käytön vaikutukset poikkeavat mineraalilannoitteen käytön vaikutuksista ravinnehuuhtoumien kannalta? (Perttu Virkajärvi/Luke)

Lannalla ja väkilannoitteilla on monia eroja. Lantaa levitetään suurempi määrä kuin väkilannoitteita. Myös levitysaikakohdassa on eroa. Mineraalilannoitteita levitetään kasvavalle tai kylvettävälle kasville. Toisaalta lantaa voidaan levittää myös syksyllä kasvittomaan maahan. Tällä pyritään pienentämään lannan varastoimistarvetta talvella sekä lannan levitysmääriä keväällä. Märkä ja tiivistymiselle altis maa ei kestä raskasta peltoliikennettä. Myös lannan sijoitusvyvyys poikkeaa väkilannoitteiden sijoitusvyvydestä. Levitystekniikasta riippuen lanta voidaan sijoittaa eri syvyyksiin, maan pintaan, multaamalla esim. kyntäen tai kevennetyllä muokkauksella juuri ennen kylvöitä. Voidaan käyttää myös levitysyksikön perään kiinnitettyä multainta. Kasvaville nurmille lietalantaa voidaan levittää maan pintaan letkulevittimien tai veitsimultaimen avulla. Lietalantaa voidaan myös sijoittaa eri syvyyksille maahan riippuen käytetyistä levityslaitteista. Mineraalilannoitteet levitetään yleensä joko maan pintaan (nurmet ja syksyllä kylvetyt kasvit keväällä) tai muutaman sentin syvyyteen kylvön yhteydessä.

Lannan ravinnesuhteet poikkeavat väkilannoitteiden ravinnesuhteista ja eri eläinten lantojen ravinnesuhteet myös toisistaan (Luostarinen ym. 2017b). Myös kuivikkeiden käyttö vaikuttaa lannan koostumukseen. Tarkoittaahan sana lanta eläinten ulostamaa sontaa ja virtsaa sekä kuivikkeita yhteensä. Suomessa lannasta 2/3 on lietalantaa ja loput kiinteää lantaa. Lanta sisältää liukoisia ravinteita ja orgaaniseen ainekseen sitoutuneita ravinteita. Osa lannan orgaanisista ravinteista vapautuu mikrobiologisen prosessin (ammonifikaatio ja nitrifikaatio) kautta, mihin taas vaikuttaa hyvin paljon orgaanisen aineksen koostumus (mm. C/N-suhde) sekä maaperän olosuhteet (maan lämpötila ja kosteus). Ravinteiden vapautumista orgaanisesta aineksesta on vaikea hallita. Lannan ravinteiden hyötysuhdetta kasvinviljelyssä heikentää ravinteiden vapautumisen ja kasvien tarpeen välinen eriaikaisuus (mm. Sørensen, 2004). Lannan käyttö voi myös lisätä ravinteiden huuhtoutumista, jos lantaa levitetään samoille lohkoille usein. Tällöin maan kokonaistyyppivarasto kasvaa ja varastoituneen typen mineralisoituminen kasvien kasvun kannalta epäedulliseen aikaan lisää typen huuhtoutumisriskiä.

Lannan liukoisen typen määrä tunnetaan, mutta koostumusta ei tunneta. Sama koskee lannan liukoista hiiltä. Maassa tapahtuvia prosesseja ei täysin tunneta, mutta typen kierron tiedetään olevan nopeaa. Nautakarjan lannan analysointi laboratoriossa on erityisen hankalaa.

Sääolojen suuri vaihtelu ja sen huono ennustettavuus on riski orgaanisten lantojen viljelykäytössä ja huuhtoutumien hallinnassa. Esimerkiksi lietteen syyssi joitus runsaalla levitysmäärällä tai märkänä syksynä on riskialtis toimenpide (Räty ym.2015). Sitä vastoin normaalina vuotena ja maltillisilla levitysmäärillä ei välttämättä ole mitään eroa eri lannoitustyyppien välillä. Lietalannan levitykseen liittyviä ongelmia voidaan helpottaa fraktioinnilla. Karjanlannan separointi ei kuitenkaan erottele fosforia niin hyvin kuivajakeeseen kuin on ajateltu, eikä siten paranna lannan fosforin kierrätettävyyttä etäämmälle lannan tuotantopaikasta. Linkoseparointi on

osoittautunut parhaimmaksi menetelmäksi naudon lietteen neste- ja kuivajakeen erottelemiseksi. Nauta on märehtijä, jonka lanta sisältää paljon kuituja. Samat fraktiointimenetelmät eivät sovellu naudun lannan fraktiointiin kuin sian tai siipikarjan lannoille. Nurmen sulamaton kuitu tukkii helposti separaattorit.

KiertoVesi -hankkeessa luodaan empiirisen kenttäkoeaineiston avulla karjanlannan huuhtoutumismalli, jota tullaan käyttämään Iisalmen reitin pilottialueen ja koko maan laskennassa puolikierto ja täyskiertoskenaarioissa.

### Keskustelu ja esitykseen liittyvät huomiot:

- Väkilannoitteiden ja lannan rinnakkaiskäytössä ei ole ylilannoitusvaaraa, vaan pikemminkin päinvastoin. Täydentämällä lannoitusta väkilannoitteiden avulla pystytään lannoittamaan kasvin tarpeen kannalta parhaalla mahdollisella tavalla.
- Starttifosforin käyttö saattaa olla järkevää, koska keväällä on kylmempää ja juuret olisi hyvä saada nopeasti kasvamaan. Näin myös fosforitaseet voisivat parantua.
- Tutkimuksissa on saatu positiivisia taseita myös karjatalousalueille. Syinä voivat olla esim. porttitaseet, hehtaariperusteiset tuet ja heikot sadot.
- Kotieläinten lanta riittäisi tällä hetkellä Suomen peltojen fosforilannoitukseen (Ylivainio ym. 2015). Ongelmana kuitenkin on se, että fosforiköyhät maat sijaitsevat usein etäällä alueista, joilla on lannan ravinteita liikaa. Pitkät kuljetusmatkat ja lannan hankala kuljetettavuus luovat haasteita lantaravinteiden täysmääräiselle kierrätykselle. Kun fosforiluvut tulevaisuudessa laskevat, tilanne muuttuu ja ravinteita tarvitaan muualta lisää (väkilannoiteravinteet, puhdistamoliete ym.).
- Voisi olla järkevämpää laskea levitettävän lannan ravinnepitoisuudet ja määrät eläinten ruokinnan perusteella eikä lannan laboratorioanalyysien avulla.
- Fosforilannoituksesta vain 10 % päätyy suoraan kasviin. Loppu fosforista tulee maasta.
- Voidaanko oikeasti päästä yhtä hyviin satoihiin tiukemmilla fosforilannoitusrajoituksilla? Käytännön kokemukset ovat olleet päinvastaisia.

### 3. Mitä tilalle, jos fosforilannoituksen rajoituksista luovutaan? (Risto Uusitalo/Luke)

Nykyiset ympäristökorvauksen lannoitusrajoitukset tähtäävät fosforiluokan ylläpitämiseen "välttävän" ja "tyydyttävän" fosforiluokan välimaastossa, mikä on kompromissi tutkimustulosten ja erilaisten lievennysten kesken. Lievennyksiä tehtäessä on ajateltu mm. kotieläintiloja, joilla maan P-luvut ovat osalla peltoalaa suhteellisen korkeita. Ilman lievennyksiä lannan levittäminen ainoastaan omille pelloille voisi olla mahdotonta. Lievennyksiksi voidaan katsoa myös korkeat sallitut fosforin käyttömäärät sellaisille kasveille, joilta ei ole kattavia koetuloksia. Tällöin fosforirajat on asetettu niin väljiksi, että fosforin niukkuus ei varmasti alenna satotasoja.

Ideaalitilanteessa viljelijöillä olisi käytössään kattavat suositukset, jotka perustuvat monivuotisiin viljelykokeisiin erilaisilla mailla ympäri maata. Nyt kattavia koetuloksia on olemassa ainoastaan viljoille ja nurmille. Viljeltäessä näitä kasveja savi- ja kivennäismailla "välttävää" paremmassa fosforiluokassa fosforilannoituksella ei ole saatu satovasteita. Ainoastaan eloperäisillä mailla voi odottaa satovastetta lisätylle fosforille "tyydyttävässä" maan P-tilassa (Valkama ym. 2009, 2011). Erikoiskasvilla, kuten sipulilla ja keräkaalilla, tehdyissä kokeissa on käynyt ilmi, että ympäristökorvausohjelman sallimat lannoitemäärät ovat huomattavan korkeita (Suojala-Ahlfors ym. 2017). Sipulin ja keräkaalin satovasteet fosforille ovat olleet melko samantapaisia kuin viljojen ja nurmien vastaavat ja satovasteen todennäköisyys on hyvin pieni

viljavuusluokkaa ”tydyttävä” korkeammissa luokissa. Tiloilla tehdyissä porkkanan-viljelykokeissa fosforilannoituksella saadut sadonlisät ovat olleet niin ikään vähäisiä (Suojala-Ahlfors ym. 2017).

Viljelijöiden voidaan olettaa toimivan rationaalisesti siinäkin tilanteessa, että lannoitusrajoituksia ei aseteta. Rationaalinen toiminta kuitenkin edellyttää sitä, että tarjolla on tutkittua tietoa ja niihin perustuvat kattavat lannoitusuusitukset. Maa-analyyseihin perustuvat lannoitus suunnitelmat ja eri lannoitusvaihtoehtojen taloudelliset vaikutukset olisivat niin ikään tarpeen päätöksenteon apuna. Näiden apuvälineiden tuottaminen olisi luontevasti tutkimuslaitosten tehtävänä.

Kunkin viljelijän rationaalinen toiminta ei välttämättä johda kokonaisuuden kannalta optimaaliseen tilanteeseen. Tilastoaineistoista ilmenee, että tällä hetkellä väkilannoitefosforia myydään eniten siellä, missä lantafosforia on eniten tarjolla. Lannan käytön alueelliselle suunnittelulle ja lannan kuljettamisen helpottamiselle onkin selkeä tarve. Jos lanta ei päädy pelloille, joissa siitä saadaan sadonlisää, ei kaikista lannan ravinteista saada tuotannon kannalta hyötyjä. Sen sijaan todennäköisyyks ulkoisvaikutuksille, kuten ravinteiden huuhtoutumiselle, kasvaa. Mahdollisen lannoituksen sääntelyn purkamisen yhteydessä olisi varmistettava tilojen välisen yhteistyön ja lannan ravinteiden erottamisen ja kuljettamisen tehostuminen. Lannan lisäksi myös muilla kierrätettävillä ravinteilla voitaisiin korvata mineraalilannoitteita, jos tuotteet voidaan muuntaa helposti käytettävään muotoon.

Keskustelussa tuotiin esiin viljelijöiden kiinnostus erilaisia uusia ”smart farming” -käytäntöjä kohtaan. Esimerkiksi typpisensorien ja niiden antaman tiedon käyttö täydennyslannoituksen apuna on herättänyt viljelijöissä paljon kiinnostusta. Vihannesten lannoituskokeiden tuloksista kertovia julkaisuja on ladattu verkkopalveluista runsaasti, mikä osoittaa kiinnostusta tähän vähän tutkittuun aiheeseen olevan olemassa. Ravinteiden järkevään käyttöön ylipäättään, sekä kierrätyslannoitteisiin ja nyt suurelta osin hyödyntämättömiin peltobiomassoihin liittyy potentiaalia ravinnetarpeen tyydyttäjinä ja tämän aihepiirin tutkimus on vilkasta. Fosforin vesistökuormituksen kannalta maan P-lukujen kehityksellä on suuri rooli erityisesti vähemmän erodoituvilla mailla, minkä vuoksi fosforilannoitus säilyy tärkeänä osana ympäristön huomioon ottavaa viljelyä.

Koska maan P-lukujen lasku on hidasta, vesistökuormitusta nopeasti vähentävien toimenpiteiden tarve nähtiin niin ikään suureksi. Tähän ryhmään kuuluu erilaiset maanparannusaineet, joilla vähennetään maan eroosiotaipumusta. Käsittelyt, jotka kohdennetaan erityisen kuormittaviin paikkoihin, ovat paikallisesti kustannustehokkaita, mutta suurten muutosten aikaansaamiseksi käsiteltävien alojen olisi myös oltava merkittäviä. Kipsin käyttö on saanut suurta huomiota, mutta sitä täydentämään olisi saatava muitakin, pitkään vaikuttavia menetelmiä, jotka soveltuvat erilaisiin viljelykiertoihin ja viljelijöiden muihin tarpeisiin. Tutkimus kuitenkin ottaa oman aikansa ja pitkäaikaisia tuloksia saadaan ainoastaan pitkäaikaisen seurannan avulla.

## Loppuyhteenveto (Markku Puustinen/SYKE)

Toimenpiteitä peltojen ravinnekuormituksen vähentämiseksi on tehty jo pitkään. Miksi tulokset eivät kuitenkaan näy valuma-alueetasolla, kun lohkotasolla toimenpiteillä saadaan selviä vaikutuksia?

Meiltä puuttuu linkki lohkotasolta valuma-alueelle. Kuivatusalueiden (<10 km<sup>2</sup>) ja ojitusyhteisöjen kautta voidaan luoda uudenlainen lähestymistapa. Tehdään oma järjestelmä koko ”suljetulle systeemille”, joka sisältää tarkat toimenpidesuunnitelmat ja viljelyjärjestelmät. Seurannan avulla katsotaan päästäänkö tavoiteltuihin vähenemiin myös lohkotasoa suuremmilla alueilla. Idea pohjautuu Bilke -hankkeeseen. Ojitusisännöitsijät herätellään koulutuksilla ja kehitellään uusi järjestelmä kuivatusalueetasolla. Eteenpäin on päästävä!

## 10.2. Toinen Learning cafe 8.5.2018

Toisen Learning cafen teemat olivat 1) ulkoisen kuormituksen vähentämisen haasteet, 2) vesistöjen kunnostustoimenpiteiden mahdollisuudet vesien tilan parantamisessa (hoitokalastus ja vesikasvillisuuden poisto) ja 3) järvien ja järvien valuma-alueiden hoitotoimien kannattavuus.

### 1. Mitkä ovat ulkoisen kuormituksen vähentämisen haasteet? (Ahti Lepistö SYKE)

Suomesta Itämereen päätyvää ravinnekuormaa seurataan 31 joen purkupisteessä. Näiden valuma-alueiden yhteen laskettu pinta-ala käsittää yli 90 % Suomen Itämeren valuma-alueesta. Jokien mereen kuljettama ainevirtaama on massatasapainoyhtälön mukaisesti valuma-alueen eri lähteistä tuleva kokonaiskuormitus, josta on vähennetty ravinteiden pidättyminen (Räike ym. 2009). Ainevirtaamat voidaan arvioida jokisuilta suhteellisen tarkasti ja luotettavasti. Seurantatulosten mukaan valtakunnallisesti fosforikuormituksen määrä näyttää hitaasti vähentyneen jaksolla 1970-2015. Typpikuormituksessa ei ole merkittäviä muutoksia. Perämeren valuma-alueella typpikuormitus rannikkovesiin on selvemmin kasvussa, kun taas fosforin kuormitus laskussa (Rankinen ym. 2016). Sateisimpina vuosina kuormitushuiput ovat suuria. Vuosien välinen fosfori- että typpikuormituksen vaihtelu on suuri.

Maatalouden ravinnekuormitukseen vaikuttavat niin luonnonolot (esim. maaperä, kaltevuus, sateisuus) kuin itse maataloustoimet (esim. viljelykasvi, muokkaus, lannoitus, lannanlevitys). Maatalouden ravinnekuormitusta voidaan arvioida monessa eri mittakaavassa. Lohkokokeilla saadaan tietoa eri viljely- ja vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksesta. Tulosten yleistäminen vaatii kokeita hyvin monenlaisissa ympäristöoloissa. Maatalousvaltaisten valuma-alueiden seurannalla saadaan tarkempi tieto vesiin päätyvästä kuormituksesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, mutta tuloksista ei voida erottaa yksittäisten toimien vaikutusta. Maa- ja metsätalouden kuormitusta ja kuormituksen pitkäaikaismuutoksia valuma-alueella on tutkittu hiljattain 30-vuoden seuranta-aineistojen perusteella. Kuormitus on säilynyt samalla tasolla verrattuna aiempiin vastaaviin tutkimuksiin (Vuorenmaa ym., 2002, Tattari ym. 2017).

Maatalouden koekentillä nähdään tehtyjen toimenpiteiden seurauksena selkeitä eroja pitoisuuksissa. Samoin nähdään fosforikuormituksen vähenemistä isoilla vesistöalueilla. Learning Cafessa kommentoitiin, ettei kannata jäädä tuijottamaan vain muutamaa pientä valuma-aluetta joissa muutosta ei nähdä, koska valuma-alueiden havaintoverkossakin (Tattari ym., 2017) on vain yksi pieni alue joka on kokonaisuudessaan maatalousmaata. Muutokset isojen vesistöalueiden suistoissa taas kertovat absoluuttisesta muutoksesta ja sen suunnasta, mutta niissä ei toisaalta pystytä tarkemmin määrittämään kaikkia muutokseen johtaneita syitä.

Turvemaiden ojituksen aiheuttama kuormitus näyttää olevan aiemmin arvioitua suurempaa ja pitkäkestoisempaa (Nieminen ym. 2017). Mikäli metsätalouden piirissä olevilta alueilta tuleva kuormitus arvioidaan uusissa tutkimuksissa suuremmaksi, eikä isoilta vesistöalueilta tulevaa kokonaiskuormituksen arviota ole perusteltua nostaa, täytyy eri lähteistä tulevan ihmistoiminnan aiheuttaman kuormituksen välisiä suhteita tarkastella uudelleen. On todennäköistä, että aiemmasta luonnonhuhutouma-arviosta osa tuleekin metsäojituksen pitkäkestoisien vaikutuksen piirissä olevilta alueilta.

Turvellot voivat kuormittaa merkittävästi, mutta mitattua tietoa on niukasti. Näyttääkin siltä, että Perämereen laskevilla vesistöalueilla on ns. hot spot –kuormituskohteita; eli sekä vanhoja turvemetsien ojitusaluetta, että turvellot ja suuria lantamääriä, kaikkea samoilla alueilla. Samoilla alueilla on myös paljon happamia

sulfaattimaita, joiden typpikuormitus voi olla hyvinkin korkea (Uusi-Kämpä ym. 2012). Muuttuva ilmasto ja hydrologia (esim. voimistuvat orgaanisen aineksen hajoamisprosessit ja eroosio sekä vesivirrat maaperän pintakerroksissa) lisäävät osaltaan typen ja orgaanisen hiilen kuormitusta sisä- ja rannikkovesiin.

Läpinäkyvin ja yleistettävien kuva kuormituksesta saadaan, kun eri skaaloissa ja eri menetelmin saatua tietoa yhdistetään.

Lisäksi keskusteltiin vesistö- ja merialueiden eroista, joihin pitäisi kiinnittää enemmän huomiota. Miten kauan järvet kestävät jatkuvaa kuormitusta? Vesistöalueilla ravinteiden pidäytyminen vaihtelee paljon ja korreloi tyypillisesti vesistöalueen järvisyyteen (mm. Lepistö ym. 2006). Samoin sekä vesistöjen että merialueiden sietokyky vaihtelee paljon. Alla esityksessä ja keskustelussa esiin nousseita eroja ja huomioita :

- Perämeri vs. Saaristomeri: Typen kuormituksen vähentäminen on haasteellista erityisesti Perämerellä. Mikä on kasvavan orgaanisen kuormituksen aiheuttama riski alueella?
- Saaristomeren alueella taas N- ja P-kuormitus on ennallaan ja edelleen liian suuri.
- Pitäisi keskittyä samalla tehokkuudella järviin kuin meriin, etteivät ne ala purkaa ravinteita eteenpäin.
- Selkämeren tilanne on huononemassa ja syvänveden happipitoisuudet laskussa. Syntyy paikallinen katastrofi, jos ravinteita lähtee laajasti purkautumaan pintavesiin ruokkimaan leväkukintoja.
- Suomenlahden tilanteeseen on kuitenkin pystytty vaikuttamaan, mm. Venäjän isot pistemäiset lähteet saatu hallintaan.

## 2. Onko biomassan poisto vesistöistä tehokasta?

(Ilkka Sammalkorpi SYKE) ja

## 3. Kannattaako hoitaa järviä vai valuma-alueita?

(Anne-Mari Ventelä PJI)

Alkutuotannon kannalta on tärkeää, että vastaanottavan vesistön mekanismit ja erityisesti ravintoketju toimivat tehokkaasti siirtäen ravinteita trofiatasolta toiselle. Monissa vesistöissä mekanismi on heikentynyt ylitiheän särkikalakannan seurauksena. Kalastuksen lisäämisellä voidaan tehostaa ravinteiden kiertoa vesistöissä ja parantaa vesistön puskurikykyä valuma-alueilta tulevalle ravinnehuuhtoumalle.

Maatalouden ravinteita vuotaa vesistöihin valumien mukana. Pääsääntöisesti on helpompaa ja halvempaa estää vahinkoa syntymästä kuin korjata sen aiheuttamia vaikutuksia. Suomen vesistöjen osalta ollaan ainakin paikoitellen kuitenkin siinä tilanteessa, että pelkkä ennaltaehkäisy maalla ei enää riitä korjaamaan vahinkoja, vaan toimenpiteitä tarvitaan myös itse vesistöissä. Vesistöissä tehtävillä kunnostuksilla voidaan saada näkyvämpiä ja nopeampia vaikutuksia, kuin mitä pelkän maalta tulevan kuormituksen lisähillitseminen tuottaisi. Siksi vesistökunnostustoimenpiteet, kuten hoitokalastus, tulisikin nähdä entistä selvemmin yhtenä monista keinoista myös vesien ravinnekuormituksen ongelmien hoidossa (Puustinen ym. 2017).

Kun ulkoinen kuormitus lisää järvien veden ja sedimentin fosforipitoisuuksia, biologisen tuotannon kasvu vaikuttaa aikaa myöten myös kalastoon. Ensin biomassat alkavat kasvaa ja kun rehevöityminen etenee ja vesi samenee, olosuhteet alkavat suosia särkikaloja. Kuormitetuissa järvissä myös petokalojen osuus kalastossa pienenee (mm. Olin ym. 2013). Myös valikoiva, särkikaloja välttelevä kalastus kasvattaa särkikalojen biomassaa edelleen.

Rehevimmissä suomalaisissa järvissä kalamäärä on koekalastuksien perusteella jopa kymmenen kertaa korkeampi kuin karuissa järvissä ja särkikalojen osuus biomassasta on usein suuri jo lievästi rehevöityneissä järvissä. Ravintoketjukurinostuksien tuloksista on todettu, että sinilevä- ja särkikalavaltaisten järvien teho-

kalastuksella poistettavan määrän tavoitetaso voi arvioida kasvukauden kokonaisfosforipitoisuuden perusteella (Jeppesen & Sammalkorpi 2002). Sen perusteella esimerkiksi fosforipitoisuudella 50 µg/l olisi kunnostettavan järven saalistavoite intensiivivaiheessa noin 130 kg/ha/vuosi.

Vesistökunnostuksessa päähuomio on fosforin poistossa. Nykyisellä ammattimaisella ja vapaa-ajan kalastuksella, joiden vuosisaalis on alle 7 kg/ha, poistuu vesistöistä fosforia 120 tn ja typpeä 410 tn vuodessa. Etenkin kuormitettuja ja särkikalavaltaisia järviämme voi pitää keskimäärin selvästi alikalastettuina. Rehevän järven kunnostuksessa biomanipulaatiolla on kaksi vaihetta. Ensin vähennetään biomassaa täysimääräisellä hoitokalastuksella ja seuraavassa vaiheessa pyritään ylläpitämään tämä saavutettu alempi biomassataso ylläpitävällä hoitokalastuksella.

Sisäisen ja ulkoisen kuormituksen taso ja valuma-alueiden ominaisuudet vaikuttavat mitä ja kuinka paljon toimenpiteitä kannattaa tehdä (Puustinen ym. 2017). Vesistökunnostustoimenpiteillä yhdessä valuma-aluetoimenpiteiden kanssa on suuret mahdollisuudet parantaa vesien tilaa. Hoitokalastuksen tarvetta on todennäköisesti suurella osalla tyydyttävään ja välttävään tilaan luokitelluista yli 700 järvestä, joiden pinta-ala on yli 4000 km<sup>2</sup>.

Vesistöt ovat kiinteässä yhteydessä valuma-alueeseensa. Veden ja ravinteiden luontainen liikesuunta on yksisuuntainen, valuma-alueilta vesistöihin. Vesiensuojelutoimenpiteet on yleensä ajateltu tehtäväksi siellä missä kuormitus käynnistyy, eli lähteillään. Tämä periaate on edelleen hyvä ja käyttökelpoinen. Vesistöjen tilan ylläpitämiseksi ja parantamiseksi yhtä tehokkaita voivat olla myös kunnostustoimenpiteet, esim. hoitokalastus. Kalasaaliin mukana poistettua fosforimäärää voidaan verrata valuma-alueen pelloilla toteutettavaan ympäristötoimenpiteeseen laskemalla kuinka monella peltohehtaarilla ympäristötoimenpidettä tulisi toteuttaa, että sillä saataisiin vastaava fosforin vähenemä aikaiseksi.

## Learning Cafen keskusteluissa ja esityksissä esiin

### nousseita näkemyksiä ja huomioita:

- Kustannuksiltaan järvien hoitotoimet ovat kilpailukykyisiä esim. valuma-alueen vesiensuojelumenetelmien kanssa.
- Tarjontaa on enemmän kuin kysyntää, tällä hetkellä järvet ovat alikalastettuja.
- Kunnostus on vain tilapäinen toimenpide – vesien parempaa tilaa täytyy ylläpitää hoitotoimin.
- Suuri kalan biomassapotentiaali mahdollistaa ja edellyttää teollisen tuotannon: mittakaavan pitää olla riittävän suuri.
- Ilman valuma-alue toimia ei kannata lähteä liikkeelle – vesiensuojelu valuma-alueella ja kalastus järvessä täydentävät toisiaan.
- Yleensä tarkastellaan vain kokonaisravinteita. Huonovointisissa järvissä liukoinen fosfori kulutetaan kesällä. Kun järven tila on parempi, liuennutta fosforia jää käyttämättä ja sen pitoisuudet vedessä kasvavat.
- Vaatiiko hoitokalastus hankerahaa? Esim. Tuusulanjärvellä kaikki maksetaan hankerahalla – kalalle ei löydy käyttöä.
- Hoitokalastuksen osaavia yrittäjiä Suomessa joitakin kymmeniä, työ vaatii ammattitaitoa. Itä-Suomen alueella on paljon kiinnostusta kehittää tuotantoa. Konekanta, keskittäminen ja lajittelu – kaikki vaativat paljon kehitystyötä.
- Paljonko järvemme kestävät kalastusta, esim. tietynkokoista särkeä? Raaka-aineen jatkuva saatavuus saattaa koitua ongelmaksi. Pakastaminen toimii kuitenkin hyvin.
- Mikä on ruokavaliota koskevien suositusten merkitys Itämeren alueella? Hanke meneillään, jossa on tarkoitus osoittaa haitta-aineiden pitoisuuksien olevan nykyään niin pieniä, ettei silakan syönnille tarvita enää rajoituksia.

### Case Pyhäjärvi

- Case Pyhäjärvi on ehkä maailman suurimpia biomanipulaatiokohteita. Pyhäjärven hoitokalastus alkoi vuonna 1995 kuntien ja teollisuuden rahoittama. Järvellä on 60 ammattikalastajaa.
- Kaloissa on jopa 25 % järven kokonaisfosforivarannosta.
- Hyvää yhteistyötä valuma-alueen viljelijöiden ja muiden paikallisten toimijoiden kesken.
- Vuosien saatossa valuma-alueella on testattu monenlaisia, innovatiivisiakin, menetelmiä kuormituksen vähentämiseksi.
- Hoitokalastus on ennemminkin kaupallista kalastusta (muikku ja siika, maksaneet itse itsensä). Myös särjen ja kuoreen kalastus ollut kaupallista viime vuosina (Apetit järvikalapihvit), mutta edelleen myös osa jää hyödyntämättä.
- Hoitokalastus on tullut maksamaan noin 60 t €/v.
- Hoitokalastuksen saaliit parhaimmillaan 50 kg/ha, ja huonoimmillaan 8 kg/ha.

## Liite 4. VIHMA-laskelmien lähtötiedot eri skenaarioissa

### Koko maa

#### Lähtötilanne

Peltopinta-ala / ha

Kaltevuusluokka

Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht

Syysmuokkaus

Normaali syyskyntö

Kevennetty muokkaus

Kultivointi syksyllä

Sänkimuokkaus syksyllä

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

Suorakylvö (kevällä)

Talviaikainen kasvipeitteisyys

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

Perinteinen kyntö/kylvö

Syyssuorakylvö

Pysyvä kasvipeitteisyys

Nurmet ja energiakasvit

Kesanto

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	442 067	283 289	219 320	118 798	78 818	<b>1 142 293</b>	50 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	21 207	13 590	10 521	5 699	3 781	<b>54 799</b>	2 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	26 891	17 233	13 341	7 227	4 795	<b>69 486</b>	3 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	383 657	245 858	190 341	103 102	68 404	<b>991 361</b>	44 %
	6 697	4 292	3 323	1 800	1 194	<b>17 306</b>	1 %
	<b>880 520</b>	<b>564 261</b>	<b>436 847</b>	<b>236 625</b>	<b>156 992</b>	<b>2 275 245</b>	
	39 %	25 %	19 %	10 %	7 %		

#### Nykytilanne

Peltopinta-ala / ha

Kaltevuusluokka

Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

Syysmuokkaus

Normaali syyskyntö

Kevennetty muokkaus

Kultivointi syksyllä

Sänkimuokkaus syksyllä

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

Suorakylvö (kevällä)

Talviaikainen kasvipeitteisyys

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

Perinteinen kyntö/kylvö

Syyssuorakylvö

Pysyvä kasvipeitteisyys

Nurmet ja energiakasvit

Kesanto

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	< 0,5
	213 132	136 581	105 740	57 276	38 000	<b>550 729</b>	24 %
	43 919	28 145	21 790	11 803	7 831	<b>113 487</b>	5 %
	29 280	18 763	14 526	7 868	5 220	<b>75 658</b>	3 %
	94 623	60 637	46 945	25 428	16 871	<b>244 504</b>	11 %
	43 193	27 680	21 429	11 608	7 701	<b>111 611</b>	5 %
	18 813	12 056	9 334	5 056	3 354	<b>48 613</b>	2 %
	8 078	5 177	4 008	2 171	1 440	<b>20 873</b>	1 %
	422 784	270 931	209 753	113 616	75 380	<b>1 092 464</b>	48 %
	6 697	4 292	3 323	1 800	1 194	<b>17 306</b>	1 %
	<b>880 520</b>	<b>564 261</b>	<b>436 847</b>	<b>236 625</b>	<b>156 992</b>	<b>2 275 245</b>	
	39 %	25 %	19 %	10 %	7 %		

## Kohdennettu nykytilanne

### Peltopinta-ala / ha

### Kaltevuusluokka

#### Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

#### Syysmuokkaus

##### Normaali syyskyntö

440 583	110 146	0	0	0	550 729	24 %
---------	---------	---	---	---	---------	------

##### Kevennetty muokkaus

##### Kultivointi syksyllä

88 804	24 683	0	0	0	113 487	5 %
--------	--------	---	---	---	---------	-----

##### Sänkimuokkaus syksyllä

59 202	16 456	0	0	0	75 658	3 %
--------	--------	---	---	---	--------	-----

##### Talviaikainen sänki

109 323	105 837	29 344	0	0	244 504	11 %
---------	---------	--------	---	---	---------	------

##### Muokkaamatta viljely

##### Suorakylvö (kevääällä)

0	958	7 980	3 192	99 481	111 611	5 %
---	-----	-------	-------	--------	---------	-----

#### Talviaikainen kasvipeitteisyys

##### Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

37 324	11 289	0	0	0	48 613	2 %
--------	--------	---	---	---	--------	-----

##### Perinteinen kyntö/kylvö

0	0	1 730	574	18 569	20 873	1 %
---	---	-------	-----	--------	--------	-----

##### Syysuorakylvö

#### Pysyvä kasvipeitteisyys

##### Nurmet ja energiakasvit

131 439	291 431	397 793	232 859	38 942	1 092 464	48 %
---------	---------	---------	---------	--------	-----------	------

#### Kesanto

##### Avokesanto

13 845	3 461	0	0	0	17 306	1 %
--------	-------	---	---	---	--------	-----

yht

880 520	564 261	436 847	236 625	156 992	2 275 245	
---------	---------	---------	---------	---------	-----------	--

39 %	25 %	19 %	10 %	7 %		
------	------	------	------	-----	--	--

## VHS

### Peltopinta-ala / ha

### Kaltevuusluokka

#### Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

#### Syysmuokkaus

##### Normaali syyskyntö

256 574	164 420	127 293	68 950	45 746	662 983	29 %
---------	---------	---------	--------	--------	---------	------

##### Kevennetty muokkaus

##### Kultivointi syksyllä

38 866	24 906	19 282	10 445	6 930	100 428	4 %
--------	--------	--------	--------	-------	---------	-----

##### Sänkimuokkaus syksyllä

25 910	16 604	12 855	6 963	4 620	66 952	3 %
--------	--------	--------	-------	-------	--------	-----

##### Talviaikainen sänki

83 735	53 660	41 543	22 502	14 929	216 369	10 %
--------	--------	--------	--------	--------	---------	------

##### Muokkaamatta viljely

##### Suorakylvö (kevääällä)

38 223	24 494	18 963	10 272	6 815	98 768	4 %
--------	--------	--------	--------	-------	--------	-----

#### Talviaikainen kasvipeitteisyys

##### Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

18 039	11 560	8 950	4 848	3 216	46 613	2 %
--------	--------	-------	-------	-------	--------	-----

##### Perinteinen kyntö/kylvö

7 812	5 006	3 876	2 099	1 393	20 187	1 %
-------	-------	-------	-------	-------	--------	-----

##### Syysuorakylvö

#### Pysyvä kasvipeitteisyys

##### Nurmet ja energiakasvit

410 181	262 855	203 501	110 230	73 133	1 059 900	47 %
---------	---------	---------	---------	--------	-----------	------

#### Kesanto

##### Avokesanto

0	0	0	0	0	0	0 %
---	---	---	---	---	---	-----

yht

879 341	563 506	436 262	236 309	156 782	2 272 200	
---------	---------	---------	---------	---------	-----------	--

39 %	25 %	19 %	10 %	7 %		
------	------	------	------	-----	--	--

## Kohdennettu VHS

### Peltopinta-ala / ha

### Kaltevuusluokka

### Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

### Syysmuokkaus

#### Normaali syyskyntö

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	< 0,5
	530 386	132 597	0	0	0	662 983	29 %
Kevennetty muokkaus							
Kultivointi syksyllä	62 416	38 012	0	0	0	100 428	4 %
Sänkimuokkaus syksyllä	42 782	24 170	0	0	0	66 952	3 %
Talviaikainen sänki	75 761	92 472	48 136	0	0	216 369	10 %
Muokkaamatta viljely							
Suorakylvö (keväällä)	0	706	7 171	2 857	88 034	98 768	4 %
<b>Talviaikainen kasvipeitteisyys</b>							
Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)							
Perinteinen kyntö/kylvö	37 153	9 460	0	0	0	46 613	2 %
Syysuorakylvö	0	0	1 155	577	18 455	20 187	1 %
<b>Pysyvä kasvipeitteisyys</b>							
Nurmet ja energiakasvit	130 842	266 089	379 801	232 875	50 293	1 059 900	47 %
<b>Kesanto</b>							
Avokesanto	0	0	0	0	0	0	0 %
yht	879 341	563 505	436 262	236 309	156 782	2 272 200	
	39 %	25 %	19 %	10 %	7 %		

## Aurajoki

### Lähtötilanne

*Peltopinta-ala / ha*

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	< 0,5
	9 583	5 472	3 461	1 983	155	<b>20 654</b>	68 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	504	288	182	104	8	<b>1 087</b>	4 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	1 281	732	463	265	21	<b>2 761</b>	9 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	2 652	1 514	958	549	43	<b>5 715</b>	19 %
	104	59	38	22	2	<b>224</b>	1 %
	<b>14 124</b>	<b>8 066</b>	<b>5 100</b>	<b>2 922</b>	<b>229</b>	<b>30 441</b>	
	46 %	26 %	17 %	10 %	1 %		

### Nykytilanne

*Peltopinta-ala / ha*

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	< 0,5
	4 587	2 619	1 656	949	74	<b>9 886</b>	32 %
	1 518	867	548	314	25	<b>3 272</b>	11 %
	1 012	578	365	209	16	<b>2 181</b>	7 %
	1 980	1 131	715	410	32	<b>4 268</b>	14 %
	990	565	358	205	16	<b>2 134</b>	7 %
	854	488	308	177	14	<b>1 841</b>	6 %
	427	244	154	88	7	<b>920</b>	3 %
	2 652	1 514	958	549	43	<b>5 715</b>	19 %
	104	59	38	22	2	<b>224</b>	1 %
	<b>14 124</b>	<b>8 066</b>	<b>5 100</b>	<b>2 922</b>	<b>229</b>	<b>30 441</b>	
	46 %	26 %	17 %	10 %	1 %		

## Kohdennettu nykytilanne

Peltopinta-ala / ha

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvä*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kylvä/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	< 0,5
	7 940	1 946	0	0	0	<b>9 886</b>	32 %
	1 662	1 610	0	0	0	<b>3 272</b>	11 %
	1 108	1 073	0	0	0	<b>2 181</b>	7 %
	1 430	1 733	1 105	0	0	<b>4 268</b>	14 %
	34	0	420	1 680	0	<b>2 134</b>	7 %
	1 841	0	0	0	0	<b>1 841</b>	6 %
	15	0	181	724	0	<b>920</b>	3 %
	91	1 580	3 297	518	229	<b>5 715</b>	19 %
	4	123	97	0	0	<b>224</b>	1 %
	<b>14 124</b>	<b>8 066</b>	<b>5 100</b>	<b>2 922</b>	<b>229</b>	<b>30 441</b>	
	46 %	26 %	17 %	10 %	1 %		

## VHS

Peltopinta-ala / ha

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht    < 0,5

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvä*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kylvä/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	< 0,5
	1 174	670	424	243	19	<b>2 529</b>	8 %
	1 709	976	617	354	28	<b>3 684</b>	12 %
	1 139	651	411	236	18	<b>2 456</b>	8 %
	3 662	2 091	1 323	758	59	<b>7 893</b>	26 %
	1 628	930	588	337	26	<b>3 508</b>	12 %
	781	446	282	162	13	<b>1 684</b>	6 %
	521	297	188	108	8	<b>1 122</b>	4 %
	3 509	2 004	1 267	726	57	<b>7 564</b>	25 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	<b>14 124</b>	<b>8 065</b>	<b>5 100</b>	<b>2 922</b>	<b>229</b>	<b>30 440</b>	
	46 %	26 %	17 %	10 %	1 %		

## Kohdennettu VHS

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5

0,5 -1,5

1,5-3,0

3,0-6,0

> 6,0

yht

< 0,5

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	< 0,5
Syysmuokkaus							
<i>Normaali syyskyntö</i>	2 032	498	0	0	0	2 529	8 %
Kevennetty muokkaus							
<i>Kultivointi syksyllä</i>	2 774	909	0	0	0	3 684	12 %
<i>Sänkimuokkaus syksyllä</i>	1 771	685	0	0	0	2 456	8 %
Talviaikainen sänki	5 670	2 223	0	0	0	7 893	26 %
Muokkaamatta viljely							
<i>Suorakylvö (kevääällä)</i>	56	0	1 746	1 707	0	3 508	12 %
<b>Talviaikainen kasvipeitteisyys</b>							
Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)							
<i>Perinteinen kyntö/kylvö</i>	1 684	0	0	0	0	1 684	6 %
<i>Syysuorakylvö</i>	18	0	515	523	66	1 122	4 %
<b>Pysyvä kasvipeitteisyys</b>							
Nurmet ja energiakasvit	120	3 750	2 839	692	163	7 564	25 %
<b>Kesanto</b>							
Avokesanto	0	0	0	0	0	0	0 %
yht	14 124	8 065	5 100	2 922	229	30 440	
	46 %	26 %	17 %	10 %	1 %		

## Paimionjoki

### Lähtötilanne

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkiylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakiylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskiylvöiset)

*Perinteinen kylvö/kiylvö*

*Syysuorakiylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	13 342	8 275	4 588	2 498	240	<b>28 942</b>	64 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	702	436	241	131	13	<b>1 523</b>	3 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	1 939	1 203	667	363	35	<b>4 207</b>	9 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	4 677	2 900	1 608	875	84	<b>10 145</b>	22 %
	157	97	54	29	2	<b>340</b>	1 %
<b>yht</b>	<b>20 817</b>	<b>12 911</b>	<b>7 158</b>	<b>3 897</b>	<b>374</b>	<b>45 157</b>	
	46 %	29 %	16 %	9 %	1 %		

### Nykytilanne

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkiylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakiylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskiylvöiset)

*Perinteinen kylvö/kiylvö*

*Syysuorakiylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	5 344	3 314	1 838	1 000	96	<b>11 592</b>	26 %
	2 396	1 486	824	449	43	<b>5 198</b>	12 %
	1 598	991	549	299	29	<b>3 466</b>	8 %
	3 138	1 946	1 079	587	56	<b>6 806</b>	15 %
	1 569	973	539	294	28	<b>3 403</b>	8 %
	1 293	802	445	242	23	<b>2 805</b>	6 %
	646	401	222	121	12	<b>1 402</b>	3 %
	4 677	2 900	1 608	875	84	<b>10 145</b>	22 %
	157	97	54	29	2	<b>340</b>	1 %
<b>yht</b>	<b>20 817</b>	<b>12 911</b>	<b>7 158</b>	<b>3 897</b>	<b>374</b>	<b>45 157</b>	
	46 %	29 %	16 %	9 %	1 %		

## Kohdennettu nykytilanne

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

9 351	2 241	0	0	0	11 592	26 %
-------	-------	---	---	---	--------	------

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

3 539	1 659	0	0	0	5 198	12 %
-------	-------	---	---	---	-------	------

*Sänkimuokkaus syksyllä*

2 360	1 106	0	0	0	3 466	8 %
-------	-------	---	---	---	-------	-----

Talviaikainen sänki

2 228	4 268	310	0	0	6 806	15 %
-------	-------	-----	---	---	-------	------

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

114	133	1 714	1 276	165	3 403	8 %
-----	-----	-------	-------	-----	-------	-----

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

2 243	562	0	0	0	2 805	6 %
-------	-----	---	---	---	-------	-----

*Syysuorakylvö*

47	55	706	526	68	1 402	3 %
----	----	-----	-----	----	-------	-----

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

661	2 821	4 428	2 095	141	10 145	22 %
-----	-------	-------	-------	-----	--------	------

**Kesanto**

Avokesanto

274	67	0	0	7	348	1 %
-----	----	---	---	---	-----	-----

yht

20 817	12 911	7 158	3 897	382	45 165	
--------	--------	-------	-------	-----	--------	--

46 %    29 %    16 %    9 %    1 %

## VHS

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    yht

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

1 730	1 073	595	324	31	3 753	8 %
-------	-------	-----	-----	----	-------	-----

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

2 519	1 562	866	472	45	5 465	12 %
-------	-------	-----	-----	----	-------	------

*Sänkimuokkaus syksyllä*

1 680	1 042	578	314	30	3 643	8 %
-------	-------	-----	-----	----	-------	-----

Talviaikainen sänki

5 398	3 348	1 856	1 011	97	11 711	26 %
-------	-------	-------	-------	----	--------	------

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

2 399	1 488	825	449	43	5 205	12 %
-------	-------	-----	-----	----	-------	------

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

1 151	714	396	216	21	2 498	6 %
-------	-----	-----	-----	----	-------	-----

*Syysuorakylvö*

768	476	264	144	14	1 665	4 %
-----	-----	-----	-----	----	-------	-----

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

5 172	3 208	1 778	968	93	11 219	25 %
-------	-------	-------	-----	----	--------	------

**Kesanto**

Avokesanto

0	0	0	0	0	0	0 %
---	---	---	---	---	---	-----

yht

20 818	12 911	7 158	3 897	374	45 158	
--------	--------	-------	-------	-----	--------	--

46 %    29 %    16 %    9 %    1 %

## Kohdennettu VHS

Peltopinta-ala / ha

Kaltevuusluokka

Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)

< 0,5

0,5 -1,5

1,5-3,0

3,0-6,0

> 6,0

yht

Syysmuokkaus

Normaali syyskyntö

Kevennetty muokkaus

Kultivointi syksyllä

Sänkimuokkaus syksyllä

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

Suorakylvö (kevällä)

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

Perinteinen kyntö/kylvö

Syyssuorakylvö

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
Syysmuokkaus							
Normaali syyskyntö	3 027	725	0	0	0	3 753	8 %
Kevennetty muokkaus							
Kultivointi syksyllä	3 887	1 578	0	0	0	5 465	12 %
Sänkimuokkaus syksyllä	2 591	1 052	0	0	0	3 643	8 %
Talviaikainen sänki	8 319	3 392	0	0	0	11 711	26 %
Muokkaamatta viljely							
Suorakylvö (kevällä)	174	0	2 779	2 002	249	5 205	12 %
<b>Talviaikainen kasvipeitteisyys</b>							
Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)							
Perinteinen kyntö/kylvö	2 015	483	0	0	0	2 498	6 %
Syyssuorakylvö	56	0	885	644	80	1 665	4 %
<b>Pysyvä kasvipeitteisyys</b>							
Nurmet ja energiakasvit	749	5 681	3 495	1 251	45	11 219	25 %
<b>Kesanto</b>							
Avokesanto	0	0	0	0	0	0	0 %
<b>yht</b>	<b>20 818</b>	<b>12 911</b>	<b>7 158</b>	<b>3 897</b>	<b>374</b>	<b>45 158</b>	
	46 %	29 %	16 %	9 %	1 %		

## Eurajoki

### Lähtötilanne

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	<b>yht</b>	
	13 110	5 205	2 928	1 312	50	<b>22 604</b>	75 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	690	274	154	69	3	<b>1 190</b>	4 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	898	357	201	90	3	<b>1 549</b>	5 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	2 678	1 063	598	268	10	<b>4 618</b>	15 %
	49	20	11	5	0	<b>85</b>	0 %
	<b>17 426</b>	<b>6 918</b>	<b>3 891</b>	<b>1 744</b>	<b>67</b>	<b>30 046</b>	
	58 %	23 %	13 %	6 %	0 %		

### Nykytilanne

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	<b>yht</b>	
	9 270	3 680	2 070	928	35	<b>15 983</b>	53 %
	853	339	191	85	3	<b>1 471</b>	5 %
	568	226	127	57	2	<b>980</b>	3 %
	2 072	823	463	207	8	<b>3 573</b>	12 %
	1 036	411	231	104	4	<b>1 787</b>	6 %
	599	238	134	60	2	<b>1 033</b>	3 %
	299	119	67	30	1	<b>516</b>	2 %
	2 678	1 063	598	268	10	<b>4 618</b>	15 %
	49	20	11	5	0	<b>85</b>	0 %
	<b>17 426</b>	<b>6 918</b>	<b>3 891</b>	<b>1 744</b>	<b>67</b>	<b>30 046</b>	
	58 %	23 %	13 %	6 %	0 %		

## Kohdennettu nykytilanne

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syyssuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	13 122	2 861	0	0	0	<b>15 983</b>	53 %
	597	874	0	0	0	<b>1 471</b>	5 %
	440	498	42	0	0	<b>980</b>	3 %
	1 624	1 489	460	0	0	<b>3 573</b>	12 %
	187	0	800	800	0	<b>1 787</b>	6 %
	848	185	0	0	0	<b>1 033</b>	3 %
	54	0	147	315	0	<b>516</b>	2 %
	484	995	2 443	629	66	<b>4 618</b>	15 %
	70	15	0	0	0	<b>85</b>	0 %
<b>yht</b>	<b>17 427</b>	<b>6 918</b>	<b>3 891</b>	<b>1 744</b>	<b>66</b>	<b>30 046</b>	
	58 %	23 %	13 %	6 %	0 %		

## VHS

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (keväällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syyssuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	3 388	1 345	756	339	13	<b>5 841</b>	19 %
	2 142	850	478	214	8	<b>3 694</b>	12 %
	1 428	567	319	143	5	<b>2 463</b>	8 %
	4 591	1 822	1 025	459	17	<b>7 915</b>	26 %
	2 040	810	456	204	8	<b>3 518</b>	12 %
	539	214	120	54	2	<b>930</b>	3 %
	360	143	80	36	1	<b>620</b>	2 %
	2 938	1 166	656	294	11	<b>5 065</b>	17 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
<b>yht</b>	<b>17 426</b>	<b>6 918</b>	<b>3 891</b>	<b>1 744</b>	<b>66</b>	<b>30 046</b>	
	58 %	23 %	13 %	6 %	0 %		

## Kohdennettu VHS

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5

0,5 -1,5

1,5-3,0

3,0-6,0

> 6,0

yht

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	4 795	1 046	0	0	0	5 841	19 %
	2 742	951	0	0	0	3 694	12 %
	1 828	634	0	0	0	2 463	8 %
	5 987	1 818	111	0	0	7 915	26 %
	369	0	1 989	1 160	0	3 518	12 %
	763	166	0	0	0	930	3 %
	65	0	222	333	0	620	2 %
	876	2 302	1 570	251	67	5 065	17 %
	0	0	0	0	0	0	0 %
yht	17 426	6 917	3 892	1 744	67	30 046	
	58 %	23 %	13 %	6 %	0 %		

## lisalmen reitti

### Lähtötilanne

*Peltopinta-ala / ha*

Kaltevuusluokka

**Kevätkiylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakiylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskiylvöiset)

*Perinteinen kylvö/kiylvö*

*Syysuorakiylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	7 573	3 825	4 489	3 059	314	<b>19 260</b>	29 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	398	201	236	161	16	<b>1 012</b>	2 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	79	40	47	32	3	<b>201</b>	0 %
	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0 %
	17 743	8 962	10 516	7 167	735	<b>45 123</b>	68 %
	331	167	196	134	14	<b>842</b>	1 %
	<b>26 124</b>	<b>13 196</b>	<b>15 484</b>	<b>10 553</b>	<b>1 082</b>	<b>66 438</b>	
	39 %	20 %	23 %	16 %	2 %		

### Nykytilanne

*Peltopinta-ala / ha*

Kaltevuusluokka

**Kevätkiylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskylvö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakiylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskiylvöiset)

*Perinteinen kylvö/kiylvö*

*Syysuorakiylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
	6 229	3 146	3 692	2 516	258	<b>15 842</b>	24 %
	518	262	307	209	21	<b>1 318</b>	2 %
	345	174	205	139	14	<b>878</b>	1 %
	576	291	341	233	24	<b>1 464</b>	2 %
	288	145	171	116	12	<b>732</b>	1 %
	53	27	31	21	2	<b>134</b>	0 %
	26	13	16	11	1	<b>67</b>	0 %
	17 758	8 970	10 525	7 173	735	<b>45 161</b>	68 %
	331	167	196	134	14	<b>842</b>	1 %
	<b>26 124</b>	<b>13 196</b>	<b>15 484</b>	<b>10 553</b>	<b>1 082</b>	<b>66 438</b>	
	39 %	20 %	23 %	16 %	2 %		

## Kohdennettu nykytilanne

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	<b>yht</b>	
	14 418	1 424	0	0	0	<b>15 842</b>	24 %
	1 200	118	0	0	0	<b>1 318</b>	2 %
	799	79	0	0	0	<b>878</b>	1 %
	1 277	187	0	0	0	<b>1 464</b>	2 %
	74	0	0	0	658	<b>732</b>	1 %
	122	12	0	0	0	<b>134</b>	0 %
	7	0	0	0	60	<b>67</b>	0 %
	7 462	11 299	15 484	10 552	364	<b>45 161</b>	68 %
	766	76	0	0	0	<b>842</b>	1 %
<b>yht</b>	<b>26 124</b>	<b>13 196</b>	<b>15 484</b>	<b>10 552</b>	<b>1 082</b>	<b>66 438</b>	
	39 %	20 %	23 %	16 %	2 %		

## VHS

**Peltopinta-ala / ha**

Kaltevuusluokka

**Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)**

< 0,5    0,5 -1,5    1,5-3,0    3,0-6,0    > 6,0    **yht**

Syysmuokkaus

*Normaali syyskyntö*

Kevennetty muokkaus

*Kultivointi syksyllä*

*Sänkimuokkaus syksyllä*

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

*Suorakylvö (kevääällä)*

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

*Perinteinen kyntö/kylvö*

*Syysuorakylvö*

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	<b>yht</b>	
	6 923	3 497	4 103	2 797	287	<b>17 607</b>	27 %
	203	103	120	82	8	<b>516</b>	1 %
	135	68	80	55	6	<b>344</b>	1 %
	435	220	258	176	18	<b>1 107</b>	2 %
	193	98	115	78	8	<b>492</b>	1 %
	47	24	28	19	2	<b>121</b>	0 %
	32	16	19	13	1	<b>80</b>	0 %
	17 823	9 003	10 564	7 200	738	<b>45 328</b>	68 %
	331	167	196	134	14	<b>842</b>	1 %
<b>yht</b>	<b>26 124</b>	<b>13 195</b>	<b>15 484</b>	<b>10 552</b>	<b>1 082</b>	<b>66 437</b>	
	39 %	20 %	23 %	16 %	2 %		

## Kohdennettu VHS

Peltopinta-ala / ha

Kaltevuusluokka

Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)

< 0,5

0,5 -1,5

1,5-3,0

3,0-6,0

> 6,0

yht

Syysmuokkaus

Normaali syyskyntö

Kevennetty muokkaus

Kultivointi syksyllä

Sänkimuokkaus syksyllä

Talviaikainen sänki

Muokkaamatta viljely

Suorakylvö (keväällä)

**Talviaikainen kasvipeitteisyys**

Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)

Perinteinen kyntö/kylvö

Syysuorakylvö

**Pysyvä kasvipeitteisyys**

Nurmet ja energiakasvit

**Kesanto**

Avokesanto

yht

	< 0,5	0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht	
Normaali syyskyntö	16 025	1 582	0	0	0	17 607	27 %
Kevennetty muokkaus							
Kultivointi syksyllä	470	46	0	0	0	516	1 %
Sänkimuokkaus syksyllä	310	34	0	0	0	344	1 %
Talviaikainen sänki	962	144	0	0	0	1 107	2 %
Muokkaamatta viljely							
Suorakylvö (keväällä)	50	0	0	0	442	492	1 %
<b>Talviaikainen kasvipeitteisyys</b>							
Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)							
Perinteinen kyntö/kylvö	110	11	0	0	0	121	0 %
Syysuorakylvö	8	0	0	0	72	80	0 %
<b>Pysyvä kasvipeitteisyys</b>							
Nurmet ja energiakasvit	7 422	11 302	15 484	10 553	568	45 328	68 %
<b>Kesanto</b>							
Avokesanto	767	76	0	0	0	842	1 %
yht	26 124	13 195	15 484	10 553	1 082	66 437	
	39 %	20 %	23 %	16 %	2 %		

**Kokonaiskuormitus kg/v**

Kliintoaine	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
<b>Kokonaiskuormitus (kg/v)</b>										
Lähtötilanne	1 177 330 735	1 384 546 972	16 126 959	19 108 882	22 259 587	26 288 133	14 373 946	16 887 657	27 443 202	31 190 877
Nykytilanne	972 744 217	1 128 054 906	13 427 700	15 811 939	18 137 999	21 254 882	12 856 530	15 044 294	26 519 004	30 057 167
VHS	995 023 525	1 157 348 523	10 552 183	12 290 732	15 059 185	17 509 829	10 190 237	11 848 389	26 472 379	30 027 429
Kohdennettu nykytilanne	764 391 238	843 433 747	11 036 212	12 599 986	14 927 119	16 950 298	10 754 245	12 294 340	21 016 942	22 839 135
VHS + kipsi	940 094 843	1 091 624 214	8 191 340	9 499 461	10 944 071	12 649 464				
Kohdennettu VHS	774 020 663	856 665 878	8 928 780	10 051 172	12 879 088	14 500 360	8 815 859	9 997 038	20 830 961	22 647 832
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	774 020 663	856 665 878	8 928 780	10 051 172	12 879 088	14 500 360	8 815 859	9 997 038	20 830 961	22 647 832
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	774 020 663	856 665 878	8 928 780	10 051 172	12 879 088	14 500 360	8 815 859	9 997 038	20 830 961	22 647 832
Kohdennettu VHS + kipsi	738 253 218	815 709 376	7 152 981	8 014 962	9 691 637	10 843 266				

PartP	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
<b>Kokonaiskuormitus (kg/v)</b>										
Lähtötilanne	1 608 181	1 888 115	20 130	23 563	29 767	34 620	16 644	19 005	37 008	41 763
Nykytilanne	1 406 361	1 617 447	17 587	20 372	25 686	29 520	15 425	17 512	36 241	40 758
VHS	1 422 643	1 642 778	14 673	16 767	22 268	25 354	12 951	14 571	35 999	40 537
Kohdennettu nykytilanne	1 173 439	1 268 658	15 336	17 002	22 768	25 134	13 895	15 272	31 503	33 931
VHS + kipsi	1 341 687	1 545 483	11 227	12 766	16 271	18 407				
Kohdennettu VHS	1 169 913	1 266 072	13 551	14 941	20 711	22 801	12 203	13 367	31 123	33 524
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	1 169 913	1 266 072	13 551	14 941	20 711	22 801	12 203	13 367	31 123	33 524
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	1 169 913	1 266 072	13 551	14 941	20 711	22 801	12 203	13 367	31 123	33 524
Kohdennettu VHS + kipsi	1 115 223	1 205 304	10 718	11 785	15 655	17 167				

DRP	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
<b>Kokonaiskuormitus (kg/v)</b>										
<i>Lähtötilanne</i>	1 057 732	1 114 624	11 327	12 930	14 384	15 749	21 202	26 414	27 533	26 482
<i>Nykytilanne</i>	1 136 691	1 183 208	13 594	15 097	17 235	18 435	23 843	29 053	27 912	26 852
VHS	1 115 533	1 165 324	14 915	16 083	18 311	19 296	26 218	31 232	27 593	26 520
<i>Kohdennettu nykytilanne</i>	1 136 691	1 183 208	13 594	15 097	17 235	18 435	23 843	29 053	27 912	26 852
VHS + kipsi	1 097 992	1 145 882	13 601	14 589	16 495	17 293				
Kohdennettu VHS	1 115 532	1 165 324	14 915	16 083	18 311	19 296	26 218	31 232	27 593	26 520
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	900 566	899 109	10 824	10 908	14 648	14 671	13 495	14 432	24 841	23 311
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	796 294	771 328	8 920	8 514	12 676	12 190	10 334	10 421	22 354	20 412
<i>Kohdennettu VHS + kipsi</i>	1 097 992	1 145 882	13 601	14 589	16 495	17 293				

TotP	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
<b>Kokonaiskuormitus (kg/v)</b>										
<i>Lähtötilanne</i>	2 665 913	3 002 739	31 457	36 493	44 150	50 369	37 846	45 419	64 541	68 244
<i>Nykytilanne</i>	2 543 052	2 800 655	31 182	35 468	42 920	47 955	39 268	46 565	64 153	67 610
VHS	2 538 176	2 808 102	29 588	32 850	40 579	44 650	39 169	45 803	63 592	67 057
<i>Kohdennettu nykytilanne</i>	2 310 131	2 451 866	28 931	32 098	40 003	43 569	37 738	44 325	59 414	60 783
VHS + kipsi	2 439 679	2 691 365	24 827	27 356	32 766	35 701				
Kohdennettu VHS	2 285 445	2 431 397	28 467	31 024	39 022	42 097	38 421	44 599	58 715	60 044
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	2 070 479	2 165 182	24 375	25 849	35 359	37 471	25 639	27 799	55 964	56 835
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	1 966 207	2 037 401	22 471	23 455	33 887	34 991	22 598	23 788	53 477	53 937
<i>Kohdennettu VHS + kipsi</i>	2 213 215	2 351 186	24 319	26 374	32 150	34 461				

TotN	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
<b>Kokonaiskuormitus (kg/v)</b>										
<i>Lähtötilanne</i>	36 460 756	39 627 633	510 059	545 663	743 081	795 599	568 190	609 407	839 863	927 589
<i>Nykytilanne</i>	31 552 653	33 637 945	424 114	446 175	607 125	637 086	513 583	540 778	813 529	900 191
<b>VHS</b>	<b>32 113 126</b>	<b>34 349 834</b>	<b>355 870</b>	<b>357 743</b>	<b>533 747</b>	<b>536 604</b>	<b>427 072</b>	<b>432 406</b>	<b>818 851</b>	<b>905 169</b>
<i>Kohdennettu nykytilanne</i>	31 552 658	33 637 949	424 114	446 175	607 125	637 086	513 583	540 778	813 529	900 191
<i>VHS + kipsi</i>	32 113 126	34 349 834	355 870	357 743	533 747	536 604				
<i>Kohdennettu VHS</i>	32 113 124	34 349 832	355 870	357 743	533 747	536 604	427 072	432 406	818 851	905 169
<i>Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15</i>	32 113 124	34 349 832	355 870	357 743	533 747	536 604	427 072	432 406	818 851	905 169
<i>Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10</i>	32 113 124	34 349 832	355 870	357 743	533 747	536 604	427 072	432 406	818 851	905 169
<i>Kohdennettu VHS + kipsi</i>	32 113 124	34 349 832	355 870	357 743	533 747	536 604				

## Ominaiskuormitukset kg/ha/v

Kiintoaine	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
<b>Ominaiskuormitus (kg/ha/v)</b>										
<i>Lähtötilanne</i>	517	609	530	628	493	582	478	562	413	469
<i>Nykytilanne</i>	428	496	441	519	402	471	428	501	399	452
<b>VHS</b>	<b>438</b>	<b>509</b>	<b>347</b>	<b>404</b>	<b>333</b>	<b>388</b>	<b>339</b>	<b>394</b>	<b>398</b>	<b>452</b>
<i>Kohdennettu nykytilanne</i>	336	371	363	414	331	375	358	409	316	344
<i>VHS + kipsi</i>	414	480	269	312	242	280				
<b>Kohdennettu VHS</b>	<b>341</b>	<b>377</b>	<b>293</b>	<b>330</b>	<b>285</b>	<b>321</b>	<b>293</b>	<b>333</b>	<b>314</b>	<b>341</b>
<i>Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15</i>	341	377	293	330	285	321	293	333	314	341
<i>Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10</i>	341	377	293	330	285	321	293	333	314	341
<b>Kohdennettu VHS + kipsi</b>	<b>325</b>	<b>359</b>	<b>235</b>	<b>263</b>	<b>215</b>	<b>240</b>				

PartP	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Ominaiskuormitus (kg/ha/v)	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne	0,71	0,83	0,66	0,77	0,66	0,77	0,55	0,63	0,56	0,63
Nykytilanne	0,62	0,71	0,58	0,67	0,57	0,65	0,51	0,58	0,55	0,61
VHS	0,63	0,72	0,48	0,55	0,49	0,56	0,43	0,48	0,54	0,61
Kohdennettu nykytilanne	0,52	0,56	0,50	0,56	0,50	0,56	0,46	0,51	0,47	0,51
VHS + kipsi	0,59	0,68	0,37	0,42	0,36	0,41				
Kohdennettu VHS	0,51	0,56	0,45	0,49	0,46	0,50	0,41	0,44	0,47	0,50
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	0,51	0,56	0,45	0,49	0,46	0,50	0,41	0,44	0,47	0,50
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	0,51	0,56	0,45	0,49	0,46	0,50	0,41	0,44	0,47	0,50
Kohdennettu VHS + kipsi	0,49	0,53	0,35	0,39	0,35	0,38				

DRP	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Ominaiskuormitus (kg/ha/v)	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne	0,46	0,49	0,37	0,42	0,32	0,35	0,71	0,88	0,41	0,40
Nykytilanne	0,50	0,52	0,45	0,50	0,38	0,41	0,79	0,97	0,42	0,40
VHS	0,49	0,51	0,49	0,53	0,41	0,43	0,87	1,04	0,42	0,40
Kohdennettu nykytilanne	0,50	0,52	0,45	0,50	0,38	0,41	0,79	0,97	0,42	0,40
VHS + kipsi	0,48	0,50	0,45	0,48	0,37	0,38				
Kohdennettu VHS	0,49	0,51	0,49	0,53	0,41	0,43	0,87	1,04	0,42	0,40
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	0,40	0,40	0,36	0,36	0,32	0,32	0,45	0,48	0,37	0,35
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	0,35	0,34	0,29	0,28	0,28	0,27	0,34	0,35	0,34	0,31
Kohdennettu VHS + kipsi	0,48	0,50	0,45	0,48	0,37	0,38				

TotP	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne	1,17	1,32	1,03	1,20	0,98	1,12	1,26	1,51	0,97	1,03
Nykytilanne	1,12	1,23	1,02	1,17	0,95	1,06	1,31	1,55	0,97	1,02
VHS	1,12	1,24	0,97	1,08	0,90	0,99	1,30	1,52	0,96	1,01
Kohdennettu nykytilanne	1,02	1,08	0,95	1,05	0,89	0,96	1,26	1,48	0,89	0,91
VHS + kipsi	1,07	1,18	0,82	0,90	0,73	0,79				
Kohdennettu VHS	1,01	1,07	0,94	1,02	0,86	0,93	1,28	1,48	0,88	0,90
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	0,91	0,95	0,80	0,85	0,78	0,83	0,85	0,93	0,84	0,86
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	0,87	0,90	0,74	0,77	0,74	0,77	0,75	0,79	0,80	0,81
Kohdennettu VHS + kipsi	0,97	1,03	0,80	0,87	0,71	0,76				

TotN	koko maa		Aurajoki		Paimionjoki		Eurajoki		Iisalmen reitti	
	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet	Km. talvet	Leudot talvet
Lähtötilanne	16,02	17,42	16,76	17,93	16,46	17,62	18,91	20,28	12,64	13,96
Nykytilanne	13,87	14,78	13,93	14,66	13,44	14,11	17,09	18,00	12,24	13,55
VHS	14,13	15,12	11,69	11,75	11,82	11,88	14,21	14,39	12,33	13,62
Kohdennettu nykytilanne	13,87	14,78	13,93	14,66	13,44	14,11	17,09	18,00	12,24	13,55
VHS + kipsi	14,13	15,12	11,69	11,75	11,82	11,88				
Kohdennettu VHS	14,13	15,12	11,69	11,75	11,82	11,88	14,21	14,39	12,33	13,62
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 15	14,13	15,12	11,69	11,75	11,82	11,88	14,21	14,39	12,33	13,62
Kohdennettu VHS ja P-luut alle 10	14,13	15,12	11,69	11,75	11,82	11,88	14,21	14,39	12,33	13,62
Kohdennettu VHS + kipsi	14,13	15,12	11,69	11,75	11,82	11,88				





**ISBN 978-952-11-5035-7 (nid.)**

**ISBN 978-952-11-5036-4 (PDF)**

**ISSN 1796-1718 (pain.)**

**ISSN 1796-1726 (verkköj.)**