

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta  
Helsingin yliopisto

**VIHMA-TYÖKALU PELTOVILJELYN KIINTOAINE- JA  
RAVINNEKUORMITUKSEN HALLINTAAN JA VESIEN-  
SUOJELUN TOIMENPITEIDEN SUUNNITTELUUN  
VALLITSEVASSA PELTOVILJELYN  
TOIMINTAYMPÄRISTÖSSÄ**

**Markku Puustinen**

Helsingin yliopisto  
Maataloustieteiden osasto

Väitöskirja

Esitetään Helsingin yliopiston Maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan suostumuksella julkisesti tarkastettavaksi Helsingin yliopiston päärakennuksessa, Unioninkatu 34 Sali U3032, perjantaina 10. helmikuuta 2023 klo 12.

Helsinki 2023

**Kustos**

Professori Laura Alakukku, Helsingin yliopisto

**Ohjaajat**

Professori Laura Alakukku, Helsingin yliopisto

Vanhempi yliopistonlehtori, Dosentti Hanna-Riitta Kymäläinen, Helsingin yliopisto

**Vastaväittäjä**

Dosentti, MMT, Tapio Salo, Luonnonvarakeskus

**Esitarkastajat**

Dosentti, MMT Helena Soinne, Luonnonvarakeskus

Professori Toomas Tamm, Estonia University of Life Sciences

Kansikuva julkaisusta: Heino, S., Puustinen, M., Maijala, T. & Latostenmaa, H. 1992. Vesistökuormituksen vähentäminen peltojen peruskuivatuksessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 406.

ISBN 978-951-51-8887-8 (nid.)

ISBN 978-951-51-8888-5 (PDF)

Unigrafia

Helsinki 2023

# TIIVISTELMÄ

Luonnontilaisilta alueilta kiintoaineen ja ravinteiden ns. luonnon huuhtoutuma koostuu valunnasta ja alueen luontaisten ominaisuuksien määrittämistä valuntaveden pitoisuuksista. Maan kuivatuksella viljelykäyttöön muutettavan alueen veden kierto nopeutuu, mikä vaikuttaa valuntaveden laatuun. Kuivatusjärjestelmien seurauksena muuttuneesta luonnollisesta ainevirtaamasta muodostuu kuivatusalueen mittakaavassa peltoviljelyn kuormituksen perustaso. Viljelykäytännöt ja -menetelmät muuttavat tätä perustasoa viljelyn vuosikierrossa, ja vaikutukset ulottuvat kuivatus- ja uomaverkoston välityksellä vesistöihin.

Tässä työssä kehitettiin viljelyalueiden valumavesien hallintamalli, VIHMA-työkalu, joka on tarkoitettu pelloilla ja peltojen ulkopuolella toteutettavien vesiensuojelutoimenpiteiden suunnitteluun ja vaikutusten arviointiin. Kuormitusarvioinnin laskentapohjana ovat suomalaisten huuhtoutumiskenttien kokeellisesta aineistosta johdetut peltotoimenpidekohtaiset kiintoaineen, typen ja fosforin huuhtoutumisen vuosikuormitusta ennakoivat ominaiskuormituskertoimet. Kertoimet kattavat kaltevuusluokittain ja maalajiryhmittäin tavanomaiset viljelyn vuosikierrossa toteutettavat peltojen talviaikaiseen tilaan vaikuttavat muokkaus- ja kasvipeitteisyysvaihtoehdot. Viljely- ja muokkauskäytäntöjen muutoksiin perustuvien lohko kohtaisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten ennustearvot eli vaikutusluvut perustuvat työkalussa ominaiskuormituskertoimien erotuksiin. Työkalu sisältää myös suomalaisiin tutkimuksiin perustuvat suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen lohko kohtaisiin vesiensuojelutoimenpiteisiin vertautuvat vaikutusluvut.

VIHMA-työkalulla arvioidaan kaksivaiheisesti tarkasteltavien vesistö- ja valuma-alueiden pitkän aikavälin keskimääräistä viljelykäytäntöjen aiheuttamaa kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitusta, ensiksi keskimääräisen kuormituksen ilman ympäristötoimenpiteitä ja toiseksi vaihtoehtoisten ympäristötoimenpiteiden kokonaisvaikutukset. Koko peltoalalla VIHMAN kuormitusarviot kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormituksesta vastasivat maatalouden seurantaverkon pienten valuma-alueiden ominaiskuormituslukuja. Valuma-alueelle tehty VIHMAN kuormitusarviot vastasivat saman alueen pitkäaikaisia seurantatuloksia. Ympäristötoimenpiteitä koskevissa VIHMAN arvioissa syyskylvöön perustuvaa viljelyä korvaavista toimenpiteistä arvioitiin suorakylvön vaikutuksia. Sen asteittaisen toteutuksen kuormitusta vähentävät kokonaisvaikutukset kaltevimmista pelloista alkaen olivat huomattavan suuria kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitukseen. Poikkeuksena oli liukoisen fosforin huuhtoutuminen merkittävä kasvaminen muokkausta kevennettäessä. VIHMAN arvioissa peltojen fosforitilan alentaminen korkeimmista pitoisuusluokista keskimääräiseen pitoisuustasoon oli tehokas liukoisen fosforin huuhtoutumisriskin kasvua estävä toimenpide.

VIHMA työkalun kehittämistyössä pääpaino oli eri tarkastelukulmien, mittakaavojen, kuormitusprosessien ja vaikuttavien tekijöiden, kokonaisvaltainen yhdistäminen. Työkalu kattaa peltoviljelyyn ja hydrologisiin vuosiin liittyvät kiintoaine- ja ravinnekuormituksen ilmiöt keskimääräisinä pitkän aikavälin arvioina. Teknisesti työkalu toimii Excel-pohjaisena laskentasoveltuksena, jossa syöttötiedot ovat tarkasteltavan alueen peltojen ominaisuuksia kuvaavia jakaumia, viljelyn perustietoja sekä toteutettuja tai suunniteltuja ympäristötoimenpiteitä. Työkalun soveltaminen vesiensuojelutoimenpiteiden suunnittelussa tuo kohdealueen ominaispiirteet ja viljelykäytännöt läpinäkyväksi ja vaihtoehtoisten toimenpiteiden vaikutusvertailut toimenpiteiden valintojen ja kohdentamisen perusteiksi. VIHMA työkalua sovelletaan sellaisenaan erilaisilla kohdealueilla ilman erillistä kalibrointia. Käyttö edellyttää alueen ominaisuuksia ja viljelykäytäntöjä kuvaavia syöttötietoja.

**Avainsanat:** eroosio, ravinnekuormitus, partikkelifosfori, liukoinen fosfori, typpi, kuormituksen hallinta, suojavyöhyke, vesiensuojelukosteikko, pelto-toimenpide

## ABSTRACT

From natural areas, the so-called natural leaching consists of volume and concentrations of runoff waters, the latter determined by the natural properties of the area. By draining the land, the water circulation of the area converted to agricultural use speeds up, which affects the quality of the runoff water. The natural material flow, which has changed as a result of the conversion, now forms the basic load level of arable farming on the scale of the drained area. Cultivation practices and methods change this basic level in the annual cycle of cultivation, and the effects extend to downstream water bodies via the drainage and riverbed networks.

In this work, a runoff water management model for agricultural areas, the VIHMA tool, was developed. The VIHMA model is intended for the planning and impact assessments of water conservation measures implemented in- and outside of arable fields. The basis for the calculation of the load assessment is formed by the specific load coefficients that predict the annual loads of solid matter, nitrogen (N) and phosphorus (P). These coefficients are derived from the data collected in Finnish experimental fields. The coefficients cover, by slope class and soil type group, the usual tillage and plant cover options that affect the winter state of the fields in the annual cycle of cultivation. The predicted values of the effects of field-block specific water protection measures are based on changes in cultivation and tillage practices. In other words, on the differences in the specific load factors in the tool with and without measures. Based on Finnish studies, the tool also includes impact figures of buffer zones and wetlands, which are comparable to those of block-specific water protection measures.

The VIHMA tool is used to evaluate the long-term average annual loads of solid matter and nutrients caused by farming practices in the examined catchments in two stages. Firstly, the average load without agri-environmental measures and secondly, the total effects of the simulated agri-environmental measures. As applied for the entire arable area of Finland, VIHMA's estimates of the annual loads of solid matter and nutrients corresponded to the specific loads of the small catchments of the Finnish agricultural monitoring network. Similarly, when applied in a single catchment, VIHMA's load estimates correspond to the long-term monitoring results of the same area. In VIHMA's assessments of agri-environmental measures, the effects of direct sowing were evaluated as a method to replace autumn ploughing. The overall load-reducing effects of gradual implementation of direct sowing, starting from the most sloping fields, were considerably large for both solid matter and nutrients. The exception was a significant increase in leaching of soluble P. In VIHMA's assessment, decreasing the P-status of fields from the highest P-concentration categories to average concentration levels was an effective measure to decrease the risk of soluble P leaching.

In the development work of the VIHMA tool, the focus was on the comprehensive integration of different viewpoints, scales, load processes and influencing factors. The tool covers solid matter and nutrient loads' phenomena related to field cultivation and different hydrological years as average long-term estimates. Technically, the tool functions as an Excel-based calculation application, where the input data are distributions describing i) the characteristics of the fields in the area under consideration, ii) basic information on cultivation and iii) implemented or planned environmental measures. The application of the tool in the planning of water protection measures makes the characteristic features and farming practices of the target area transparent and the impact comparisons of alternative measures become the basis for the selection and targeting of measures. The VIHMA tool is applied as it is in different target areas without separate calibration. VIHMA's use just requires input data describing the area's characteristics and farming practices.

**Keywords:** erosion, nutrient load, particulate phosphorus, soluble phosphorus, nitrogen, load control, buffer zone, water protection wetland, field measures

# ESIPUHE

Pitkällä aikavälillä peltoviljelyssämme on siirrytty laajaperäisestä viljelystä yksipuolisempaan ja tehokkaampaan viljelyyn. Luonteenomaista muutoksesta on ollut tilakohtainen viljelykasvien vähälukuisuus, suurempi tuotantopannosten määrä ja koneketjujen tehokkuus. Samaan aikaan maatilojen lukumäärä ja kokonaispeltoala pienenevät, mutta maatilojen keskimääriset peltoalat kasvoivat. Peltoviljelyn keskittyessä enenevässä määrin tehokkaaseen maan muokkaukseen perustuvaan viljelykasvien viljelyyn monivuotisten nurmien viljelyalat pienenevät. Maatalousmaan viljelykäytön muutosten seurauksena peltoviljelyn ympäristövaikutukset ovat pitkällä aikavälillä yhdessä muun vesistöihin tulevan kuormituksen kanssa ylittäneet vesistöjen sietorajan ja vesistöhaitat tulleet näkyviksi.

Maatalouden ympäristövaikutusten tutkimuksessa huuhtoutumiskenttien keskeisinä tavoitteina on ollut peltoviljelyn vesistökuormituksen hallinta. Tutkimustietoa tuottavia huuhtoutumiskenttiä on lukumääräisesti vähän, ja ne kattavat vain pienen osan laajasti vaihtelevista peltolohkojen ominaisuuksista. Pitkäaikaisiin vesistöjen tilaseurantoihin ja valuma-alueiden kuormituseurantoihin perustuvien vesistöjen tila-arvioiden pohjalta valmisteltuja maatalouden ympäristöohjelmia on otettu laajasti peltoviljelyssä käyttöön. Toimenpiteiden vaikutukset vesistöjen tilassa ovat näkyneet parhaimmillaankin vain melko vaatimattomina muutoksina. Tämä ilmiselvältä näyttävä ristiriita toteutettujen pitkäaikaisten ja laaja-alaisen ympäristötoimenpiteiden ja vähäisten vesientilamuutosten välillä saattaa olla vain johdonmukainen lopputulema, jossa monimutkaisten kuormitusprosessien, kuormitukseen vaikuttavien tekijöiden, niihin vaikuttamismahdollisuuksien ja olosuhteiden merkitystä ei ole selkeästi nähty.

Tämä työ on yhteenveto aiemmin julkaistuista monivuotisiin huuhtoutumiskenttätutkimuksiin perustuvista artikkeleista. Työn keskeinen näkökulma on ollut kokonaisvaltainen tarkastelu kokeelliseen aineistoon sisältyvästä kuormitusvaihtelusta ja vaihtelun lähteistä ja siihen perustuvan erilaiset olosuhteet kattavan arviointimallin kehitystyöstä käytännön peltoviljelyn kuormituksen hallintaan. Työn taustalla olevat artikkelit ovat valmistuneet aikanaan hyvässä yhteistyössä niihin osallistuneiden tutkijoiden ja tutkimuslaitosten kanssa. Tämän pitkäaikaisen tutkimustyön jälkimmäinen osa, yhteenveto on ollut erillinen runsaat kaksi vuotta kestänyt monipolvinen ja vaiheikas prosessi.

Kirjoitustyössä ei ole voitu sivuuttaa vaikutteita vesien- ja merenhoidon suunnittelutyössä sovellettavien kuormitusmallien käytettävyydestä ja luotettavuudesta tehdystä Toimi-hankkeen arviointityöstä ja ns. keskitetyissä malliarvioinneissa tehdystä soveltavasta työstä sekä KiertoVesi-hankkeessa kootusta laajasta näkemyksestä malliarvioiden välttämättömyydestä ja epävarmuuksista. Tämän kirjoitustyön edetessä on pyritty tietoisesti asemoitu-

maan laajempaan vesien- ja merenhoidon viitekehykseen ja tuottamaan arvonnollisää vallitsevaan maatalouden ympäristötietoisuuteen kokoamalla eri tarkastelukulmia yhteen samanaikaiseen tarkasteluun.

Kirjoitustyö on tehty kokonaan vapaa-ajalla ilman työvelvoitteita ja vailla julkista suorituspaikkaa. Laajasti käyttöön tulleiden etätyökäytäntöjen soveltaminen oli luonteva tapa varmistaa monipuoliset työskentelyolosuhteet, joissa työn kommentointi ja keskustelut työn ohjaajien kanssa olivat säännöllisiä, aktiivisia ja askel kerrallaan työtä edistäviä.

Tämän yhteenvedon kirjoittaminen ei olisi ollut mahdollista ilman em. artikkeleita. Niistä haluan kiittää mukana olleita yhteistyötahoja ja kanssakirjoittajia, prof. Eila Turtolaa, vesistöasiantuntija Minna Kukkosta, TkT Jari Koskiahoa, DI Jarmo Linjamaa, limnologi Riitta Niiniojaa, hydrologi Sirkka Tattaria ja DI Kimmo Peltosta. Tässä yhteydessä haluan esittää kiitokset myös työn esitarkastajille dos. MMT Helena Sointelle ja prof. Toomas Tammille. Erityiset kiitokset sitkeydestä ja kärsivällisyydestä kuuluvat työn ohjaajille prof. Laura Alakukulle ja vanhempi yliopistonlehtori, dos. Hanna-Riitta Kymäläiselle.

Työn viimeistelyvaiheessa tarvittavaa teknistä tukea olen saanut TkT Jari Koskiaholta, siitä avusta hänelle suuret kiitokset. Lisäksi haluaa kiittää edellä viitatuista taustavaikutteista Toimi -hankkeessa toimineita hydrologi Sirkka Tattaria ja erityisasiantuntija Turo Hjerpeä sekä tutkija Sari Väisästä tässä työssä valmistuneen työkalun lukuisista excel-versioista ja soveltamisesta keskitetyissä arvioinneissa sekä KiertoVesi-hankkeessa toiminutta MMT Risto Uusitaloa rakentavista fosforikeskusteluista. Lopuksi tämän työprosessin päätösvaiheesta esitän kiitokset vastaväittäjälle dos. MTT Tapio Salolle sekä väitöstyön alkuvaiheessa alkusysäyksen synnyttäneistä keskusteluista prof. Aarne Pehkoselle. Ilman näitä keskusteluja tämä työ ei olisi lähtenyt alkuunkaan liikkeelle, jälkimmäinen kirjoitusvaihe ei olisi käynnistynyt eikä Tapiola olisi mitään vastaan väitettävää.

Työn taustalla olevia pitkäaikaisia kenttätutkimuksia ovat vuosien ajan tasapuolisesti rahoittaneet ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö. Työn jälkimmäisen kirjoitusvaiheen taloudellinen tuki perustuu työeläkevakuutusyhtiöni työeläkerahastoistaan suomiin säännöllisiin kuukausieriin, joka on mahdollistanut täyden keskittyminen aikaa vievään työhön. Lisäksi työn loppuvaiheessa julkaisun teknistä valmistumista on tukenut Sa-laojituksen tukisäätiö. Vallitsevissa olosuhteissa luotu kotityöilmapiiri on ollut seesteinen ja vapaa kaikista ulkotutkimuksellisista häiriötekijöistä. Näille em. tahoille esitän suuret kiitokset saamastani taloudellisesta ja henkisesti tuesta.



# SISÄLLYS

Tiivistelmä .....	3
Abstract.....	5
Esipuhe .....	7
Sisällys .....	9
Osajulkaisuluettelo.....	12
Termit ja lyhenteet .....	14
1 Johdanto .....	20
1.1 Peltoviljelyn kuormitustapahtumat ja ainevirtaamien kulkeutuminen eri mittakaavoissa .....	21
1.1.1 Peltoviljelyn vuosikierto .....	22
1.1.2 Vuosivalunta ja kuivatustarve .....	23
1.1.3 Peltojen valuntaveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat tekijät .....	25
1.1.4 Ainevirtaamat pelloilta vesistöihin .....	30
1.2 Peltoviljelyn vesistökuormituksen arviointi.....	31
1.2.1 Huuhtoutumiskenttätutkimukset.....	31
1.2.2 Pienten valuma-alueiden seurantatutkimukset .....	32
1.2.3 Kuormitusmallit.....	33
1.3 Peltoviljelyn vesistökuormituksen vähentämismahdollisuudet .....	37
1.3.1 Peltotoimenpiteet.....	39
1.3.2 Suojavyöhykkeet .....	43
1.3.3 Kosteikot .....	45
2 Tutkimuksen tavoitteet .....	48
3 Aineisto ja menetelmät .....	50
3.1 Huuhtoutumiskenttien aineistot .....	51

3.1.1	Huuhtoutumiskentät ja kenttäkokeet.....	51
3.1.2	Valunnan mittaaminen sekä kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksien määrittäminen.....	52
3.1.3	Vuosikuormitus – valunnan, kiintoaineen ja ravinnepitoisuuksien vuosi- ja vuodenaikaisvaihtelut .....	52
3.2	Peltojen ominaisuuksien luokittelu .....	54
3.2.1	Kaltevuus ja maalaji .....	54
3.2.2	Peltojen fosforipitoisuus .....	55
3.3	Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli - Vihma.....	55
3.3.1	Vihman ominaiskuormituskertoimet .....	56
3.3.2	Peltoviljelyn vesiensuojelutoimenpiteet vihmassa.....	58
3.3.3	Vihmatyökalun toimintaperiaate.....	61
3.3.4	Vihmatyökalun testaaminen .....	63
4	Tulokset.....	65
4.1	Huuhtoutumiskenttien aineisto .....	65
4.1.1	Valunta ja sen vuodenaikaisvaihtelu .....	65
4.1.2	Valuntaveden kiintoainepitoisuus .....	67
4.1.3	Valuntaveden fosforipitoisuus .....	70
4.1.4	Valuntaveden typpipitoisuus .....	74
4.2	Vihma-työkalun perusta ja rakenne .....	77
4.2.1	Peltotoimenpiteiden ominaiskuormituskertoimet.....	77
4.2.2	Vesiensuojelua edistävät ympäristötoimenpiteet .....	78
4.2.3	Vihman toimintaperiaate ja käyttö.....	82
4.3	Vihma-työkalun käyttökelpoisuuden testaamisessa mittakaavaltaan kahdella erikokoisella alueella saadut kuormitus- ja toimenpiteiden vaikutusarviot.....	83
5	Tulosten tarkastelu .....	89
5.1	Vihmaan perustuva peltoviljelyn vuosikuormitus ja kuormitusvaihtelu .....	90

5.2	Huuhtoutumiskenttäaineisto ja sen tulkinta .....	93
5.3	Ominaiskuormituskertoimien ennustearvot ja lohkokohtainen kuormitus .....	96
5.4	Ympäristötoimenpiteiden vaikutuslukujen ja kokeellisten tulosten vastaavuus.....	102
5.5	Vihma-työkalu eri mittakaavoissa – tulosten merkitys ja läpinäkyvyys.....	107
6	Johtopäätökset .....	111
	References .....	113

# OSAJULKAISULUETTELO

Väitöskirjan yhteenvedo-osa perustuu seuraaviin julkaisuihin

- I 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: 565–579.
- II 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 & Tillage Research* 93: 44–55.
- III Koskiaho, J. & Puustinen, M. 2005. Function and potential of constructed wetlands for the control of water pollution by diffuse loading. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* 40: 1265–1279.
- IV 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 & Environment* 138: 306–317.

Selvitys väittelijän osuudesta osajulkaisuissa

I  
Markku Puustinen on julkaisun vastaava kirjoittaja. Hän on vastannut artikkelissa esitettävän koekentän kenttäkokeista, aineiston käsittelymenetelmää ja käsittelyistä sekä pääosin julkaisun käsikirjoituksesta. Kimmo Peltonen on osallistunut koekenttäaineiston laadun varmistukseen ja käsittelyyn. Jari Koskiaho on osallistunut artikkelin kirjoittamiseen ja korjannut tekstin julkaisukuntoon.

II  
Markku Puustinen on julkaisun vastaava kirjoittaja. Hän on vastannut tutkimusasetelmasta, aineiston luokittelusta, aineiston käsittelystä ja pääosin julkaisun käsikirjoituksesta. Sirkka Tattari on osallistunut hydrologisten vuosien luokitteluperusteiden luomiseen ja käsikirjoituksen viimeistelyyn. Jari Koskiaho on osallistunut artikkelin kirjoittamiseen ja oikolukemiseen. Jarmo Linjama on osallistunut aineiston käsittelyyn ja hydrologisten vuosien luokitteluun.

### III

Markku Puustinen on vastannut ja toteuttanut kosteikkojen ja valuma-alueiden ominaisuuksien yhdistämisen kosteikkojen puhdistustehokkuuden yleistämiseksi ja osallistunut julkaisun käsikirjoitukseen kirjoittamiseen. Jari Koskiahho on julkaisun vastaava kirjoittaja. Hän on koonnut käytettävissä olevan kosteikkoaineiston ja kirjoittanut pääosan käsikirjoituksesta.

### IV

Markku Puustinen on julkaisun vastaava kirjoittaja. Hän on vastannut koe-kenttäaineistojen yhteensovittamisesta, VIHMA-mallin kehittämisestä ja pääosin käsikirjoituksesta. Työssä käytetty kokeellinen aineisto on eri tutkimuslaitosten huuhtoutumiskentiltä koottua pitkän aikavälin aineistoa. Aineistojen tuottamisen ohella Eila Turtola (Luke), Riitta Niinioja (Pkvy), Jari Koskiahho ja Sirkka Tattari (Syke) ovat osallistuneet käsikirjoituksen jäsentelyyn, kirjoittamiseen ja oikolukemiseen. Minna Kukkonen (Pkvy) ja Jarmo Linjama (Syke) ovat osallistuneet aineistojen tuottamiseen, käsittelyyn ja tulosten tarkastamiseen sekä käsikirjoituksen kirjoittamiseen.

# TERMIT JA LYHENTEET

## Termit

*Ainevirtaama* – Valuma- ja vesistöalueelta veden mukana (pitoisuuksina) vesistöihin virtaava ainemäärä ( $\text{kg v}^{-1}$ ,  $\text{tn v}^{-1}$ ) esimerkiksi kiintoaine ja ravinteet.

*Haihdunta* – Sadannan osa, joka haihtuu vapaan veden, kasvuston ja maan pinnalta (evaporaatio) tai kasvien kautta (transpiraatio).

*Huuhtoutumiskenttä* – Koekenttä, jolta mitataan valunta (so. kentältä poistuva vesimäärä) ja määritetään valuntaveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuus. Tulosten perusteella lasketaan kuormitus.

*Huuhtoutumiskentän koejakso* – Tässä tutkimuksessa sadonkorjuun jälkeen alkanut valunnan ja sen pitoisuuksien seurantajakso seuraavan vuoden sadonkorjuuseen saakka.

*Hydrologinen vuosi* – Kasvukauden jälkeen syksyllä alkava seuraavan vuoden kasvukauden loppuun jatkuva jakso.

*Kasvulohko* – Yhtenäisen kasvilajin peittämä peltolohko.

*Kosteikon vaikutusluku* – Vuoden aikana kosteikkoon pidättyvän kiintoaineen ja ravinteiden kokonaismäärä ( $\text{kg v}^{-1}$ ) yläpuolisen valuma-alueen peltohehtaaria kohden ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ). Luku on verrannollinen lohkokohtaisten toimenpiteiden ja suojavyöhykkeiden vaikutuslukuihin.

*Kuormittava vuosi* – Tämän tutkimuksen huuhtoutumiskenttien yhdistetyssä aineistossa valuntapainotteista kiintoaineen vuosipitoisuutta selittäviin syyskauden sateisiin, talven lämpötilaan ja lumen vesiarvoon perustuvassa hydrologisten vuosien luokittelussa keskimääräistä kuormittavimmat vuodet.

*Kuivatusalue* – Peruskuivatuksen yhteydessä määritelty valtaojien piirissä oleva kuivatushyötyä saava alue.

*Liukoinen fosfori* – valuntavedessä pääosin fosfaattifosforista muodostuva vesiliukoinen fosforin muoto. Vesistöalue- ja valuma-alue seurannoissa sekä huuhtoutumiskentillä määritetään liukoisena reaktiivisena fosforina (DRP).

*Lohkokohtainen ympäristötoimenpide* – Kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitusta pienentävä lohko-kohtainen peltotoimenpiteiden muutos, esimerkiksi syyskynnön korvaaminen talviaikaisella sängellä.

*Lohkokohtaisen ympäristötoimenpiteen vaikutusluku* – Alkuperäisen ja sitä korvaavan peltotoimenpiteen ominaiskuormituskertoimien erotus, jolla arvioidaan lohko-kohtaisen peltotoimenpiteen muutoksen ennustettavuutta kiintoaineen ja ravinteiden hehtaari-kohtaiseen vuosikuormitukseen kyseisessä peltoluokassa ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ). Luku on verrannollinen suojavyyhykkeiden ja kosteikkojen vaikutuslukuun.

*Maan sisäinen eroosio* – Maaprofiilin vesihuokosissa veteen liukenemalla vapautuvan (dissolution, dispersio) ja maahiukkasten lämpöliikkeen ylläpitämässä vesisuspensiossa kulkeutuva maa-aines. Esimerkiksi salaojaveden ajoittainen sameus voi osittain johtua maan sisäisestä eroosiosta.

*Maatalouden ympäristötoimenpide* – Vesien suojelua edistävä, kiintoaine- ja ravinnekuormitusta vähentävä peltotoimenpiteen muutos, pellon reunaan perustettu suojavyyhyke tai tässä tarkoituksessa rakennettu kosteikko (tässä työssä). Yleisesti vesien suojelua edistävän toimenpiteen lisäksi peltoluonnon monimuotoisuutta ja kasvihuonekaasujen hillintää edistävä toimenpide.

*Ojasto* – Peltolohkon kuivattamiseksi toteutettu salaojien muodostama yhtenäinen kuivatusjärjestelmä.

*Ominaiskuormitusluku* – Maatalouden seurantaverkon ns. pienten valuma-alueiden pitkäaikaisiin seurantoihin perustuva arvio peltoviljelyn aiheuttamasta hehtaari-kohtaisesta typen ja fosforin keskimääräisestä vuosikuormituksesta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ).

*Ominaiskuormituskerroin* – Tässä tutkimuksessa huuhtoutumiskenttien pitkäaikaiseen aineistoon perustuva viljelyalueiden hallintamallin (VIHMA) peltotoimenpiteisiin eri kaltevuusluokissa ja maalajiryhmissä liitettävä kuormituksen ennustearvio, joka kuvaa erilaisten peltolohkojen keskimääräistä kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitusta hehtaarilta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ).

*Ominaiskuormituskertoimen vaihteluväli* – Huuhtoutumiskenttien pitkäaikaisen aineiston hydrologisten vuosien mukaan luokiteltujen keskimääräistä vähemmän kuormittavien (pieni eroosio) ja keskimääräistä enemmän kuormittavien (suuri eroosio) vuosien aineistoihin perustuva viljelyalueiden hallintamallin (VIHMA) peltotoimenpiteisiin eri kaltevuusluokissa ja maalajiryhmissä liitettävä kiintoaineen ja ravinteiden lohko-kohtaista vuosikuormitusta ennustavien ominaiskuormituskertoimien keskimääräinen ala- ja yläarvo ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ).

*Paikalliskuivatus* – Avo-ojitukseen tai salaojitukseen perustuva peltojen lohkokohmainen kuivatus.

*Peruskuivatus* – Laajan alueen yhtenäinen uomaverkosto, jolla luodaan edellytykset peltojen paikalliskuivatukselle.

*Peruslohko* – Ympäristökijärjestelmässä määritelty teiden, uomien, tilarajojen yms. rajoittama yhtenäinen peltolohko.

*Pintakerrosvalunta* – Sadannasta ja lumen sulannasta muodostuva valunnan osa, joka imeytyy maaperään ja kulkeutuu maan pintakerroksissa uomiin ja/tai vesistöihin.

*Pintavalunta* – Sadannasta ja lumen sulannasta muodostuva valunnan osa, joka kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta maanpinnalla uomiin ja/tai vesistöihin.

*Pohjavesivalunta* – Sadannasta ja lumen sulannasta muodostuva valunnan osa, joka imeytyy maaperään ja poistuu pohjavesien kautta uomiin ja/tai vesistöihin.

*Pellon fosforipitoisuusluokka* – Tässä tutkimuksessa pellon muokkauskerroksen kasveille käyttökelpoiseen fosforipitoisuuteen ( $P_{AAC}$ ) perustuva VIHMA-työkalun luokittelu. Käyttökelpoisen fosforin pitoisuus mg litrassa maata perustuu happamaan ammoniumasetaattiuuttoon (pH 4,65, uuttosuhte 1:10) (Vuorinen ja Mäkitie 1955).

*Peltoeroosio* – Maa-aineksen irtoamista ja kulkeutumista alkuperäiseltä paikaltaan pellon pinnalta pellon ulkopuolelle veden, tuulen tai viljelytoimenpiteiden kuljettamana

*Peltojen luokittelu* – Tässä tutkimuksessa peltojen kaltevuuteen ja maalajiin perustuva luokittelu.

*Peltoviljelyn vuosikierto* – Sadonkorjuun jälkeen syksyllä alkava uusi seuraavan satokauteen tähtäävä ja seuraavaan sadonkorjuuseen päättyvä pelto-  
viljelyn jakso.

*Peltotoimenpide* – Viljelyn vuosikierron aikana kasvinviljelyyn ja maan muokkaukseen liittyvä viljelytoimenpide, joka vaikuttaa pellon talviaikaiseen tilaan syksystä keväeseen sekä kiintoaine- ja ravinnehuuhtoutumien vuosikuormitukseen.



*Perusmuokkaus* – Peltoviljelyn vuosikierrossa sadonkorjuun ja kylvömuokkauksen välissä syksyllä tai keväällä tehtävä peltoviljelyä valmisteleva muokkaus.

*Sadanta* – Eri olomuodoissaan tietyssä ajassa maahan sataneen veden määrä (mm). Yhden mm:n sademäärä vastaa yhtä litraa vettä neliömetrille.

*Sateen intensiteetti* – Aikayksikössä vaakasuoralle pinnalle tuleva sateena tuleva vesimäärä, tavallisimmin mm/h. Määritetään käytännössä esimerkiksi 10 min aikana kertyvää vesimäärää.

*Sateen toistumisaika* – Voimakkuudeltaan (intensiteetti) erilaisten sateiden alueellista ja paikallista esiintymistäajuutta kuvaava, pitkäaikaiseen havaintosarjaan perustuva ennustearvo, esimerkiksi kuinka monen vuoden välein 20 mm:n sademäärän 10 minuutissa ennakoidaan toistuvan.

*Sadannan vajaus* – Kasvukaudella tapahtuva kuukausisadannan ylittävän haihdunnan määrä (mm).

*Salaojavalunta* - Sadannasta ja lumen sulannasta muodostuva valunnan määrä, joka imeytyy maahan ja poistuu salaojien kautta uomiin tai vesistöihin (mm).

*Suojavyöhykkeen vaikutusluku* – Tässä tutkimuksessa suojavyöhykkeettömän ja suojavyöhykkeellisen peltolohkon kiintoaineen, partikkelifosforin, liukoisen fosforin ja typen vuosikuormitusennusteen erotus ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) erilaisilla peltotoimenpideyhdistelmillä ja erilaisissa fosforitilaluokissa. Luku on verrannollinen lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden ja kosteikkojen vaikutuslukuihin.

*Valuma* – Alueelta virtaavan veden määrä litroina sekunnissa pinta-alayksikköä kohden ( $\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ,  $\text{l s}^{-1} \text{km}^{-2}$ ).

*Valuma-alue* – Rajattu alue, josta vesi ja veden mukana kulkeutuva ainevirtaama kulkeutuvat alueen uomissa alapuoliseen vastaanottavaan vesistöön (puro, järvi, meri).

*Valunta* – Sadannan osa, joka virtaa vesistöä kohti maan pinnalla, maaperässä tai kallioperässä. Valunnalla tarkoitetaan itse valuntailmiötä ja aikayksikössä virtaavaa veden määrää pinta-alayksikköä kohden ( $\text{mm a}^{-1}$  tai  $\text{mm d}^{-1}$ ).

*Vesieroosio* – Vesieroosion muotoja pelloilla ovat vesisateen aiheuttamat roiskeet (splash), tasaisen pintavalunnan aiheuttama laminaarinen pintaeroosio (sheet erosion), pellon pinnalla mikrokanavissa virtaavan veden ai-

heuttama mikrokanava eroosio (microchannel erosion), runsaammassa pintavalunnassa noroutuvan ja turbulenttisen valunnan aiheuttama noroeroosio (rill erosion), runsaissa valunnoissa uomautuvan virtaaman maanpintaa syövyttävä rotkoeroosio (gully erosion) sekä valtaojien uomaeroosio (river bank erosion)

*Vesitase* – Veden vuosikierrossa vuosisadannasta haihduntaan, valuntaan ja maan vesivaraston muutokseen jakautuvan veden kierron tasapaino. Pitkällä aikavälillä maan vesivaraston muutosta ei huomioida ja vuosisadanta on yhtä suuri kuin haihdunta ja valunta yhteensä.

Vesiuutto – Muokkauskerroksen fosforipitoisuuden määrittäminen vesiuutolla (1:60) mg kilossa maata.

*Virtaama* – Uoman poikkileikkauksen läpi aikayksikössä kulkeva vesimäärän tilavuus ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ). Keskivirtaama (MQ) on pitkän havaintojakson keskimääräinen virtaama. Keskimääräinen kevätylivirtaama (MHQ) on kevätkaudella tapahtuneiden ylivirtaamien keskimääräinen tilavuus.

*Vähän kuormittava vuosi* – Tämän tutkimuksen huuhtoutumiskenttien yhdistetyssä tutkimusaineistossa valuntapainotteista kiintoaineen vuosipitoisuutta selittäviin syyskauden sateisiin, talven lämpötilaan ja lumen vesiarvoon perustuvassa hydrologisten vuosien luokittelussa keskimääräistä vähemmän kuormittava vuosi

*Yhdistetyt tutkimusaineistot* – Huuhtoutumiskenttien pitkäaikaisten aineistojen muodostama tietokanta.

*Ylivirtaama* (HQ) – Uoman poikkileikkauksen läpi aikayksikössä kulkevan vesimäärän suurin tilavuus ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

### **Lyhenteet**

*MHq* – Keskimääräinen kevätylivaluma ( $\text{l s}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ,  $\text{l s}^{-1} \text{km}^{-2}$ )

*MHQ* – Keskimääräinen kevätylivirtaama ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

*MHQ<sub>1/20</sub>* – Kerran kahdessakymmenessä vuodessa tapahtuva ylivirtaama ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

*Kok P* – Kokonaisfosfori

*Part P* – Kiintoaineeseen sitoutunut partikkelimainen fosfori

*DRP* – Suodatettu liukoinen reaktiivinen fosfori (tekstissä liukoinen fosfori)

*Kok N* – Kokonaistyyppi

*Nit N* – Nitraattityppi

$NO_3^-$  – Nitraattityppi

$NO_2^-$  – Nitriittityppi

$NH_4^+$  – Ammoniumtyppi

$N_{org}$  – Orgaaninen typpi

*Ks-Lt* – Kuiva syksy ja luminen talvi, vrt. vähän kuormittava vuosi

*Ss-VLt* – Sateinen syksy ja vähäluminen talvi, vrt- kuormittava vuosi

$P_{AAC}$  – Happamaan (pH 4,65) ammoniumasetaattiin uuttuvan maan helppo-  
liukoinen fosforin määrä mg litrassa maata (uuttosuhte 1:10)

*VPD* – Euroopan Unionin vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/ 60/ EY),

*VHS* – Vesipuitedirektiivin mukainen vesienhoitosuunnitelma

# 1 JOHDANTO

Maatalousmaalta vesistöihin tulevaa ravinnekuormitusta on Suomessa arvioitu seurantatutkimuksissa maatalouden seurantaverkon pienillä valuma-alueilla yli kolmen vuosikymmenen ajan (Rekolainen ym. 1989, Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 2017a). Maatalouden osuus ihmistoiminnan aiheuttamasta vesistöjen typpikuormituksesta on ollut 2000-luvulla keskimäärin 51 % (34 000–37 000 tn v<sup>-1</sup>) ja fosforikuormituksesta 62 % (2 400–2 700 tn v<sup>-1</sup>) (Rekolainen ym. 2006, Tattari ym. 2017a). Vesienhoidon suuntaviivoissa vuoteen 2015 (Nyroos ym. 2006), sitä vastaavissa aiemmissa kansallisen vesiensuojelun tavoiteohjelmissa (Ympäristöministeriö 1988, 1992, 1998, 2000) sekä nykyisissä vesien- ja merenhoidon suunnitelmien toimenpideohjelmissa (Mäenpää ja Tolonen 2011, Laamanen 2016) maatalouden vesienhoidon tavoitteet ovat perustuneet pienten valuma-alueiden kuormitusarvioihin. Peltoviljelyn kuormitusta kuvaavat seurantaverkon keskimääräiset typen ja fosforin ominaiskuormitusluvut ovat pitkällä aikavälillä pysyneet ennallaan. Ominaista lohkotason kuormitukselle on suuri hydrologinen vuosisaihtelu (Rekolainen 1989, Tattari ym. 2017a).

Vesien- ja merenhoidon täytäntöönpanossa keskeiset maatalouden vesistökuormituksen hallinnan ohjaukseen ovat olleet ympäristötuki- ja ympäristökorvausjärjestelmät. Niitä on valmisteltu eri ohjelmakausilla toteutettavaksi koko EU-jäsenyyden ajan (Ympäristöministeriö 1992, MMM 2000a, 2015). Vuodesta 1995 alkaen toteutettujen maatalouden ympäristöohjelmien toimenpiteiden vesiensuojelun vaikuttavuutta on arvioitu erillisillä pilotti-alueilla viljelijähaastatteluilla ja mallilaskelmien avulla MYTVAS-tutkimuksissa (mm. Palva ym. 2001, Grönroos ym. 2007, Aakkula ja Leppänen 2014 (toim.)) sekä erillisessä MATO-tutkimusohjelmassa (Kuussaari ym. 2021).

Maatalouden vesistökuormituksen keskeinen kysymys, miten peltoviljelyn kuormitusta voidaan suunnitelmallisesti pienentää vesistöjen kannalta kestäväälle tasolle, on edelleen ajankohtainen. Tässä tarkoituksessa keskeisimpien kuormitusmallien soveltuvuutta ja käytettävyyttä vesienhoidon käytännön suunnittelijoiden työssä arvioitiin Toimivimmat mallityökalut-hankkeessa (Tattari ym. 2017b). Arvion yksi johtopäätös oli, että tarvitaan laajaa yhteistyötä tutkijoiden, mallien kehittäjien ja alueellisten suunnittelijoiden välillä kuormitusmallien soveltamiseksi vesienhoidon paikallisen suunnittelun työvälineeksi. Arviossa myös todettiin, että mallien kehitystyö on ollut tutkimuspainotteista, eikä niiden käyttö vesiensuojelun käytännön suunnittelutyössä ole edennyt alkua pidemmälle.

Tässä työssä tarkastellaan 'Viljelyalueiden vesistökuormituksen hallintamallin (VIHMA)' kehittämistä, siihen sisältyviä periaatteita ja työkalun perusteita. Työn keskiössä on eri mittakaavoissa – pelto, kuivatusalue, valuma-alue, koko peltoala – tapahtuva kuormitustarkastelu. Tarkasteltavia kysy-

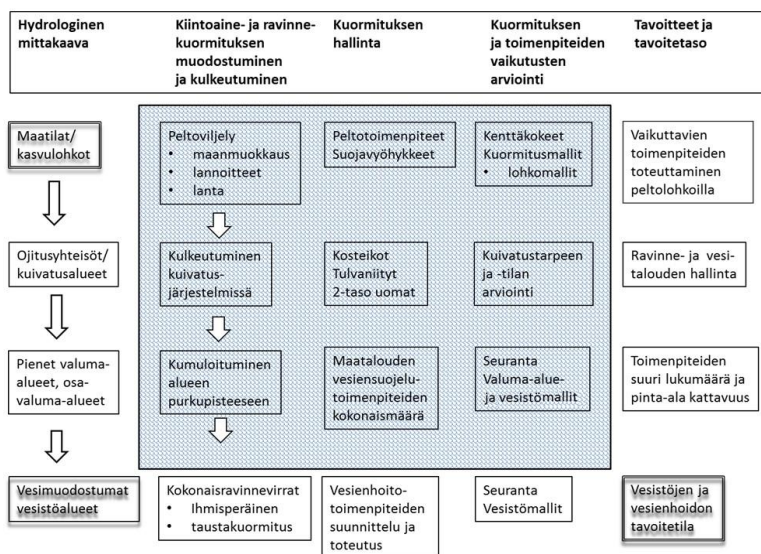
myksiä ovat: miksi peltoviljely aiheuttaa vesistökuormitusta, miten eri toimenpiteet vaikuttavat pelloilla ja kuinka kuormitusmuutosten tulisi näkyä valuma-alueetasolla sekä kuinka läpinäkyvästi ja kokonaisvaltaisesti kehitettävä työkalu vastaa tähän todellisuuteen.

Luvussa 1 tarkastellaan peltoviljelyssä muodostuvaa vesistökuormitusta ja siihen vaikuttavia tekijöitä, kuten vuosisadannasta kuivatusvesinä poistettavan *vesimäärän* (valunnan) ja valunnan *pitoisuuksien* roolia vuosikuormituksessa ja kuormitusvaihteluissa. Peltojen ominaisuuksien vaikuttaessa veden valuntareitteihin ja valunnan pitoisuuksiin kuormitustekijöiden vaikutukset eritellään *luonnollisiksi ja maan käytöstä* johtuviksi. Maankäytön vaikutuksia tarkastellaan erityisesti siltä kannalta, mihin *voidaan vaikuttaa* ja mihin *ei voida vaikuttaa* ja minkälaisia kuormitukseen vaikuttavia yhdysvaikutuksia eri tekijöiden välillä on. Tarkastelun tavoitteena on esittää tutkimustietoon perustuvat perusteet vesiensuojelutoimenpiteille, niiden keskinäiselle vaikutusten vertailtavuudelle ja toimenpiteiden kohdentamiselle valuma-alueen pelloille kuormittavien ominaisuuksiensa mukaan.

## 1.1 Peltoviljelyn kuormitustapahtumat ja ainevirtaamien kulkeutuminen eri mittakaavoissa

Maatalousmaalta vesistöihin tuleva kiintoaine- ja ravinnekuormitus on valuma-alueen pelloilta lohkotason kuormitustapahtumissa liikkeelle lähtenyt kumulatiivinen ainevirtaama (Kuva 1). Maatalouden seurantaverkon pienillä valuma-alueilla kokonaiskuormitus lasketaan seuranta-aineistosta uomavirtaamana tulleen vesimäärän ja veden kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuuksien tulona (Kauppila ja Koskiahho 2003). Valuma-alueen vuosikuormitus ( $\text{kg v}^{-1}$ ,  $\text{tn v}^{-1}$ ) on eri lähteistä tulevan kuormituksen summa, josta maatalousmaan kuormituksen osuus lasketaan valuma-alueiden ominaisuuksien (maatalousmaa vs. metsätalousmaa, muut kuormituslähteet) perusteella, joka laskennallinen kuormitusarvio on ns. maatalouden ominaiskuormitusluku (Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 2017a).

Suomessa valuntahuiput tapahtuvat keväällä lumen sulaessa ja syksyllä runsaampien sateiden seurauksena. Pääosa valuma-alueiden peltojen vuosikuormituksesta voi muodostua jo muutaman viikon aikana (Rekolainen 1989). Leutojen talvien yleistyessä valuntaa esiintyy myös talvikuukausina, jolloin valuma-alueilta tulevat ainevirtaamat jatkuvat syksystä alkaen talvikuukausille saakka ja voivat lisätä merkittävästi ravinteiden vuosikuormitusta (mm. Huttunen ym. 2015).

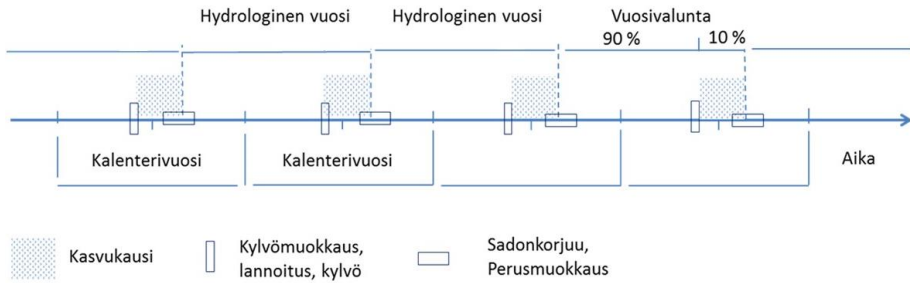


Kuva 1. Maatalouden ainevirtaamien kertyminen pelloilta vesistöalueiden purkupisteeseen. Eri mittakaavojen alueista (pelto, kuivatusalue, valuma-alue, vesistöalue) tapahtuva kuormituksen arviointi ja vesien- ja merenhoidon toimenpiteiden suunnittelu luovat edellytykset vesien tilaan perustuvalla toimenpiteiden määrä-, laatu- ja kohdentamistarpeelle (Puustinen ym. 2019).

### 1.1.1 PELTOVILJELYN VUOSIKIERTO

Maatalouden kiintoaineen ja ravinteiden vesistökuormituksessa pelto ja niillä tehtävät viljelytoimenpiteet ovat ensisijaiset kuormituslähteet. Peltoviljelyn vuosikierto muodostuu syyskuun alusta seuraavan vuoden elokuun loppuun eri viljelyn vaiheita sisältävästä ajallisesta jatkumosta (Kuva 2). Se alkaa sadonkorjuun jälkeen syksyllä tehtävästä kevään kylvö- ja muokkaustoimenpiteitä valmistelevalta perusmuokkauksesta ja päättyy kasvukauden lopulla sadonkorjuuseen. Jakson alussa syksyllä sadanta on haihduntaa suurempi, ja jakson edetessä uuteen kasvukauteen haihdunta kasvaa sadantaa suuremmaksi (Kaitera ja Teräsvirta 1972, Seuna 1977, Järvinen 1978). Vuosi-valunnasta noin 10 % tapahtuu kasvukaudella ja 90 % kasvukauden ulkopuolella (Vrt. Taulukko 1). Hydrologinen vuosi on näin määriteltyä ajallisesti sama kuin viljelyn vuosikierto.

Viljely-, sadonkorjuu- ja muokkaustoimenpiteet tehdään kasvukauden alussa ja lopussa. Kasvukauden alussa ja sen aikana tehtävät toimenpiteet tähtäävät hyvään ja kasvinravinteita tehokkaasti hyödyntävään satoon. Kasvukauden ulkopuolella ympäristökuormituksen kannalta oleellista on, miten peltotoimenpiteet vaikuttavat pellon tilaan ja altistavat pellon pinnan sateiden ja valunnan vaikutuksille (Kuvat 1 ja 2).



Kuva 2. Viljelyn vuosikierrossa (syys-elokuu) kasvukauden ja kevätkylvöisten kasvien viljelytoimenpiteiden ajoittuminen vuosikiertoa vastaavan hydrologisen vuoden aikana (Puustinen ym. 2019).

### 1.1.2 VUOSIVALUNTA JA KUIVATUSTARVE

Eri vuodenaikoina kuivatustarpeen aiheuttavia hydrologisen kierron tapah-tumia ovat sadanta ja haihdunta ja niiden väliset suhteet. Vuosisadannan ja haihdunnan erotuksena muodostuva kolmenkymmenen vuoden (1961–1990) keskimääräinen vuosivalunta maantieteellisen sijainnin mukaan oli noin 300–400 mm (Taulukko 1) ja lumen osuus vuosivalunnasta 30–50 % (Suomen ympäristökeskus 2005, ref. Vakkilainen 2016). Vuositasolla valunta vaihteli välillä 100–500 mm.

Ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020 koko maan keskimääräinen vuosisadanta oli 609 mm (Ilmatieteenlaitos 2021). Tämä on noin 2 % suu-rempi (ei tilastollisesti merkitsevä) kuin edeltävällä vertailukaudella 1981–2010 (Taulukko 1) ja noin 9 % suurempi (tilastollisesti merkitsevä ero) kuin vertailukaudella 1961–1990. Runsaimmin sademäärät ovat kasvaneet talvi-kuukausina joulukuusta helmikuuhun ja pienentyneet elokuussa. Sademää-rien vuosivaihtelu on huomattavan suuri (Ilmatieteenlaitos 2021).

Taulukko 1. Keskimääräinen vuosisadanta, vuosivalunta ja vuodenaikaisvalunta.

Alue	Vuosi- sadanta (mm) <sup>1)</sup>	Vuosi- ja vuodenaikaisvalunta				
		Vuosivalunta (mm) <sup>2)</sup>	Vuodenaikaisvalunta (mm) <sup>3)</sup>			
			Kevät	Kesä	Syksy	Talvi
E-Suomi	650–750	< 300–400	100–200	10–20	50–100	< 50
K-Suomi	600–700	< 300–400	-	-	-	-
P-Suomi	500–600	>300–400	140–180	30–40	< (50–100)	< 50

<sup>1)</sup> Ilmatieteen laitos 2021 (Ilmastollinen vertailukausi 1981–2010)

<sup>2)</sup> Vakkilainen (2016) (Ilmastollinen vertailukausi 1961–1990)

<sup>3)</sup> Huttula (2013) (Ilmastollinen vertailukausi 1961–1990)

Sateesta ja lumen sulannasta maanpinnalle tullut vesi muodostuu ajan- kohdasta riippuen valunnaksi ja/tai haihtuu takaisin ilmakehään suoraan maan pinnalta ja kasvien haihduttamana. Lyhyellä aikavälillä maan vesivarastoihin pidättyvä vesi voi vaikuttaa hetkellisesti valunnan alkamisajankoh- taan, mutta pitkällä aikavälillä valunnan ja haihdunnan summa (vesitase) on yhtä suuri kuin vuosisadanta (Hyvärinen ja Puupponen 1986). Kasvukauden aikana sadantaa suuremman haihdunnan takia sadannan vajeus kolmen ke- säkuukauden aikana voi olla 120–130 mm (Seuna 1977) ja valunta lakkaa peltoalueilta kuivatussyvyyttä vastaavassa maakerroksessa ajoittain lähes kokonaan (Taulukko 1). Vuosien väliset vaihtelut ja paikalliset erot ovat kui- tenkin myös kesäkausilla suuria. KUTI-tutkimuksessa (Puustinen ym. 1994) kolmella sääasemalla (Jokioinen, Kauhava, Kuopio) kolmen vuoden aikana (1990–1992) paikallisiin säätietoihin perustuva touko-lokakuulle arvioitu laskennallinen sadannanvajeus oli ensimmäisenä vuonna 54–144 mm, toise- na vuonna ei ollut sadannanvajeusta (sadanta oli 48–215 mm haihdun- ta suurempi) ja kolmantena vuonna sadannanvajeus oli 29–49 mm. Kasvu- kauden jälkeen haihdunta on hyvin vähäistä, jolloin sadanta alkaa täyttä- mään maan vesivarastoja ja lopulta muuttua jopa suoraan valunnaksi. Maanpinnan ja/tai pintakerroksen huono vedenläpäisevyys voivat myös lisä- tä pintavalunnan osuutta (mm. Turtola ym. 2007).

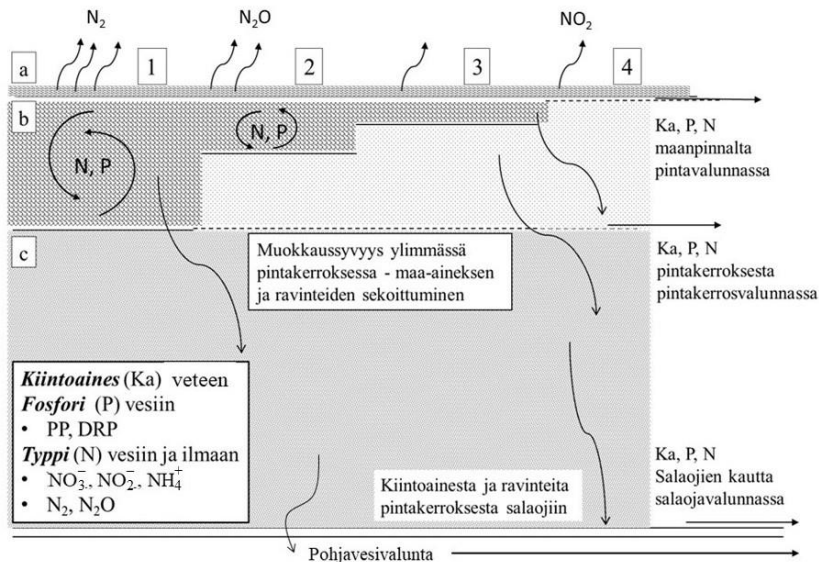
Peltojen kuivatustarve johtuu kasvukauden alkuun ajoittuvasta suuresta vuosivalunnan osuudesta (Taulukko 1). Tämän takia yksi peltoviljelyn kes- keinen ominaispiirre on tiheä peruskuivatuksen ja paikalliskuivatuksen ver- kosto (Puustinen ym. 1994, Peltonen-Sainio ym. 2015). Valtaojien vedenjoh- tokyky peltojen pinta-, pintakerros- ja/tai salaojavalunnasta muodostuvalle kuivatusvedelle (Kuva 3) on mitoitettu pitkän aikavälin keskimääräisestä ke- vätylivalumasta (MHq) kertoimilla (kerroin 1,8–1,9) johdetulle kahdenkym- menen vuoden toistumisajalle määritetylle keskimääräiselle kevätylivalumalle (MHq<sub>1/20</sub>) ja kuivatusaluekohtaiselle virtaamalle (MHQ<sub>1/20</sub>) (Vesihallitus 1986, Järvenpää ja Savolainen 2015). Salaojien mitoituksessa käytettävä mi- toitusvaluma 1 l s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, vuorokausivaluntana 8,6 mm, vastaa myös kahden- kymmenen vuoden toistumisaikaa (Salaojayhdistys 2012). Hydrologinen vuosivaihtelu tulee em. tavalla otetuksi huomioon kuivatusjärjestelmien suunnittelussa.

Ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020 vuosisateiden kasvun ajoittu- minen talvikuukausille (Ilmatieteen laitos 2021) on otettava huomioon arvi- oitaessa peruskuivatusuomien mitoitusvirtaaman (MHQ<sub>1/20</sub>) riittävyttä. Oleellista on se, missä muodossa talvikauden sadanta (lumi vs. vesi) tapah- tuu ja kasvaako vai pieneneekö kevään keskimääräinen ylivaluma (MHq). Toisaalta myös kasvukauden sateiden aiheuttamat, mahdollisesti aiempaa runsaammat valunnat ovat ainevirtaamien kannalta merkityksellisiä. Valun- nan muodostuminen ja sen kulkureitti vaikuttavat kuormituksen muodos- tumisen tapaan, paikkaan ja aikaan. Hydrologiset tapahtumat vuodenaikais- ja vuosivaihteluineen ovat yhteinen tekijä viljelyn vuosikierrossa (Kuva 2) ja valumavesien hallinnassa (Kuva 1).



### 1.1.3 PELTOJEN VALUNTAVEDEN KIINTOAINE- JA RAVINNEPITOISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Pelloilta poistuva kuivatusvesi on vesisateena tullutta tai lumesta sulanutta maan pinnan kanssa kontaktissa ollutta ns. uutta vettä (Seuna ym. 1993). Viljelytoimenpiteet pelloilla (Kuva 3) vaikuttavat muokkauskerroksessa maan fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin ja niiden kautta kuormitusprosesseihin, ts. ne säätelevät kuivatusvetenä poistettavan pintaja salaojavaluntaveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia (Uusitalo ym. 2005). Valunnan pitoisuuksia muuttavat kiintoaineen ja ravinteiden kuormitusprosessit ovat samanaikaisia ja valuntaveden pitoisuudet olennainen osa pelloilta purkautuvan kuormituksen määritystä (Kauppila ja Koskiaho 2003). Seuraavassa tarkastellaan, miten eri tekijät vaikuttavat pelloilta lähtevän valuntaveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin (Kuva 3) ja miten ne liittyvät viljelyn vuosikierron toimenpiteisiin (Kuva 2).



a) Maanpinta, b) ylin pintakerros, c) ylimmän pintakerroksen ja salaojien välinen kerros  
 1) Kyntö (syvyys 20–25 cm), 2) sänkimuokkaus (syvyys 10–15 cm), 3) talviaikainen sänki, kylvömuokkaus keväällä (syvyys 5 cm), 4) suorakylvö, pysyvä nurmi (ei muokkausta)

Kuva 3. Periaatekuva eri muokkauskäytäntöjen vaikutuksesta maan ylimpään pintakerrokseen (muokattavan maakerroksen syvyys ja maan sekoittuminen eri muokkauskäytännöissä 0–25/30 cm kerroksessa) ja valuntaveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin ja ainevirtaamien kulkureiteistä pellon pinnalla, pintakerroksessa, salaojissa sekä ilmaan. Ka=kiintoaine, PP=partikkelifosfori, DRP= liukoinen fosfori (mukaeltu Puustisen ym. (2019) kuvasta).

#### Valuntaveden kiintoainepitoisuuteen vaikuttavat tekijät

Yleisesti peltojen maa-aineksen määrää vähentäviä eroosion muotoja ovat vesierosio, tuulierosio ja viljelystä aiheutuva eroosio (Verheijen ym. 2012). Viljelyyn liittyvällä eroosiolla tarkoitetaan maan muokkauksen aiheuttamaa

välitöntä maa-aineksen siirtymistä ja juurikasvien sadon mukana poistuvaa maa-ainesta (Jones ym. 2008). Tässä yhteydessä tarkasteltavia peltojen pintaan kohdistuvia vesieroosion muotoja ovat roiskeiden aiheuttama eroosio, laminaarinen pintaeroosio, mikrokanava- ja noroeroosio, pellon pintaan tai pelloin reunoihin syöpyneissä urissa ilmenevä rotkoeroosio ja maaprofilissa maahiukkasten mekaanisesta irtoamisesta aiheutuva maan sisäinen eroosio sekä uomaeroosio (Verheijen ym. 2012, Jones ym. 2008). Osa edellä mainituista vesieroosion muodoista vaikuttaa vain peltojen ulkopuolella valuma-alueen kiintoainekulkeumiin. Valuma-alueella kulkeutuvan kiintoaineksen alkuperän (pellolta vs. pellon ulkopuolelta) määräsuhteita ei kovin hyvin tunneta (Bechmann 2012). Esimerkiksi pintavalunnassa maan pinnalla vierimällä sekä veden syövyttämässä noroissa ja syvissä urissa valumalla pelloilta poistuva maa-aines jää vesinäytteillä havaitsematta ja siten peltoeroosioarvioiden ulkopuolelle.

Mekaanisen vesieroosion prosesseja, niihin vaikuttavia tekijöitä ja eroosion hallintaa (Kuva 3) on laajalti arvioitu vuosikymmenien ajan Pohjoismaissa ja Euroopassa (Linsley ym. 1975, Zachar 1982, Aura ym. 2006, Ulén ym. 2012a, Verheijen ym. 2012). Yleisesti esitetyt suorat tai välilliset valunnan kiintoainepitoisuuden ja maa-aineksen kulkeutumiseen vaikuttavat tekijät ovat (Wischmeier ja Smith 1978, Renard ym. 1997):

- sadannan määrä ja sateen intensiteetti
- valunnan määrä ja valunnan vuodenaikaisjakauma
- maalajin eroosioherkkyys (mururakenteen kestävyys) ja maan vedenläpäisevyys (pintavalunnan riski kasvaa läpäisevyyden huonontuessa)
- pellon kaltevuus (kaltevuuden jyrkkeminen lisää pintavaluntaa ja virtausnopeutta)
- kaltevuuden muoto (alaspäin jyrkkenevä kaltevuus lisää pintavaluntaa ja virtausnopeutta)
- kaltevan pellon pituus (pituuden kasvaessa pintavalunta kasvaa kumulatiivisesti lohkon alimmalla osalla)
- maan muokkaus
- maan pintaa suojaava kasvipeitteisyys

Vesisateen aiheuttaman pintavalunnan kiintoainepitoisuus muodostuu sateen rankkuuden mukaan pisaraenergian irrottamasta maa-aineksesta ja sadepisaroiden roiskeista. Hudson (1971) on määrittänyt sateen pisaraenergian ja sateen intensiteetin tulon perusteella eroosiota tuottavan sateen intensiteetin raja-arvoksi  $25 \text{ mm h}^{-1}$ . Käytännössä intensiteetiltään pienemmillä sateilla sadepisaroiden energia ei kykene irrottamaan maa-ainesta, ja toisaalta raja-arvon ylittyessä kestoaltaan jo muutaman minuutin sade aiheuttaa eroosiota. Hudsonin (1971) mukaan lauhkean ilmastovyöhykkeen sateista noin 5 % ylittää tämän arvon, ja eteläisessä Suomessa Kuusiston (1980, 1986) mukaan intensiteetiltään vastaavan sateen toistumisaika on kerran viidessä vuodessa. Vesisateiden suora vaikutus viljelyoloissamme havaittui-

hin eroosiomääriin arvioitiin 'melko pieniksi' (Tiainen 1989, Puustinen 1999). Myös Ulén ym. (2012a) arvioivat sateen suorat vaikutukset peltojen pintaeroosioon matalan intensiteetin vuoksi melko vähäisiksi verrattuna kylästyneessä maassa tapahtuvaan maapartikkeleiden irtoamiseen maagregraateista valunnan kuljettamaksi.

Pääosa pintavalunnasta muodostuu lumisten talvien jälkeen lyhyellä aikavälillä keväällä (luku 1.1.2, Taulukko 1). Pintavalunta on laminaarista, turbulentista ja mikrokanaviin ja noroihin keskittynyttä valuntaa. Pintavalunnan turbulenttisuus ja noroutuminen lisäävät eroosiota moninkertaisesti laminaariseen valuntaan verrattuina, ja siksi pintaeroosio on hyvin herkkä valunnan määrämuutoksille. Käytännössä pintaeroosion eri muotoja ei voida erottaa toisistaan, ja pintaeroosiolla tarkoitetaan näitä kaikkia. Leutoina ja lumettomina talvina pintavalunta paljaalla maalla voi olla jatkuvaa valuntaa. Muita vesieroosion muotoja ovat maan sisäinen eroosio, jossa maahiukkasia vapautuu maaveteen liukenemalla (dispersio) ja maahiukkasten lämpöliikkeeseen (diffuusio) perustuvana veden pitkäkestoisena sameutena (Aura ym. 2006, Ulén ym. 2012a, Verheijen ym. 2012).

Pintavalunnalla on keskeinen rooli maa-aineksen kuljettajana peltojen ulkopuolelle valuntaveden kuljetuskapasiteetin moninkertaistuessa veden määrän ja virtauksen turbulenttisuuden kasvaessa (mm. Verheijen ym. 2012). Voimakkaasti noroutuvan valunnan seurauksena pellon pinnalla virtaavan veden uomautuessa noroja suuremmiksi pintaeroosio voi muuttaa muotoaan rotkoeroosioksi (Schwab ym. 1981, Foth 1984). Voimakkaissa eroosio-tilanteissa erodoituvan kiintoaineen määriä ei voida enää tavanomaisissa vesiseurannoissa määrittää valuntaveden pitoisuuksina. Vaihtoehtoisia ja täydentäviä eroosion määrittämis menetelmiä ovat mm. eroosiossa muodostuneiden norojen tilavuuden mittaaminen, maan pinnan korkeuserojen vaaitseminen (mm. Tiainen ja Puustinen 1989) tai pelloille sijoitettavat erilliset keräimet (Mansikkaniemi 1982).

Peltojen kaltevuudesta ja kaltevuuden muodosta riippuen peltojen jyrkemmällä osilla valuntaveden kuljettamasta maa-aineksesta osa sedimentoituu takaisin pellon tasaisemmille osille ja vain osa poistuu peltojen ulkopuolelle. Lohkotason vesinäytteisiin perustuvat eroosioarviot kuvaavat potentiaalisesti vesistöihin saakka ulottuvaa nettoeroosiota.

### *Valuntaveden fosforipitoisuuteen vaikuttavat tekijät*

Peltoviljelyn kokonaisfosforikuormitus (Kok P) vesistöihin muodostuu valuntaveden kiintoainekseen sitoutuneesta partikkelifosforista (Part P) sekä valuntaveden liukoisesta fosforista. Vesistöalueiden ja maatalouden seuranta-verkon kuormituseurannoissa valuntaveden liukoinen fosfori määritetään liukoisena reaktiivisena fosforina (DRP), joka on pääosin fosfaattifosforia (Ekholm 1994). Lohkotasolla viljelykasvien tarpeita tyydyttävä helppoliukoisen fosforin arviointi perustuu muokkauskerroksen maasta happamalla ammoniumasetaatilla uutetun fosforin määrään ( $P_{AAC}$ ) litrassa maata (Vuorisen

ja Mäkätien 1955). Muokkauskerroksen luontainen ja pitkäaikaisen lannoituksen seurauksena kasvanut fosforivarasto on erilaisissa kemiallisissa muodoissa (Uusitalo 2004, Peltovuori 2006) joko kasveille helposti käytettävissä tai vaikeasti käytettävissä muodossa sekä toisaalta huuhtoutumiselle alttiina tai huuhtoutumiselta suoja:

- maavedessä epäorgaanisena tai orgaanisena liukoisena fosforina
- maapartikkeleiden pinnoille (alumiinin ja raudan oksideihin) pidättyneenä fosforina
- maan orgaanisen aineksen fosforina
- kemiallisesti saostuneena fosforina
- rapautumattoman kiviaineksen apatiittisena fosforina

Muokkauskerroksessa eri muodoissaan olevan fosforin huuhtoutumisriskiä partikkelifosforina ja liukoisena fosforina toteutuvana kuormituksenä (Luku 1.1.1, Kuva 2) kuvaa fosforiyhdisteiden biologiseen käyttökelpoisuuteen perustuvien fosforipoolien väliset määrasuhteet. Jos helposti huuhtoutuvan aktiivisen liukoinen poolin määrä maavedessä on 1, maaveden fosforipitoisuutta ylläpitävä muokkauskerroksen labiili pooli on 100 ja tiukasti maa-ainekseen sitoutunut kasveille käyttökelpoton stabiili pooli on 5000 (Hartikainen 2016).

Maanmuokkaus (Luku 1.1.3, Kuva 3) lisää valuntaveden kiintoainepitoisuutta (erosio) ja sen seurauksena partikkelifosforin pitoisuutta (Uusitalo ja Aura 2005, Ulén ym. 2012b). Muokkauskerroksessa maaveden fosforipitoisuutta ylläpitävä labiili pooli vaikuttaa hydrologisessa kierrossa myös valuntaveden liukoisen fosforin pitoisuuteen (aktiivinen pooli). Matalampaan muokatussa tai kasvipeitteissä maassa fosfori rikastuu vähitellen ohuempaan pintakerrokseen, mikä lisää liukoisen fosforin huuhtoutumisriskiä (Uusi-Kämpä ja Jauhiainen 2010, Uusitalo ym. 2018). Helppoliukoisen fosforin pitoisuuteen (aktiivinen pooli) vaikuttava peltojen keskimääräinen fosforitila ( $P_{AAC}$ ) oli kasvanut 1950-luvun lopulta 5,4 mg:sta 1980-luvun puoleen väliin mennessä 11,8 mg:aan (Kähäri ym. 1987) ja oli 1980–90-lukujen taitteessa keskimäärin 12,5 mg litrassa maata (Sillanpää ja Elonen 1990) kasvin tarpeen ylittävän fosforilannoituksen seurauksena. Vuosien 1996–2000 viljavuusanalyysien ( $n=880\ 000$ ) keskimääräinen fosforipitoisuus oli 14,5 mg ja 2005–2009 viljavuusanalyysien ( $n=1\ 008\ 000$ ) keskimääräinen pitoisuus 13 mg litrassa maata (Lemola ym. 2018). Vesistöihin kohdistuvan kuormituspaineen kannalta oleellinen riski on kasveille helppoliukoista fosforia määrittävän muokkauskerroksen fosforitilan ( $P_{AAC}$ ) ja valuntaveden liukoisen fosforin pitoisuuden (DRP) välinen vahva yhteys (Uusitalo ja Jansson 2002).

KUTI-tutkimuksessa (Puustinen ym. 1994) peltojen vesistökuormitukseen vaikuttavia ominaisuuksia käsittelevässä osassa tutkimuskohteiksi otantana valikoituneiden peltolohkojen muokkauskerroksen fosforitilaa inventoitiin maatalojen viljavuusanalyysien ( $P_{AAC}$ ) tulosten ja tutkimuslohkoilta otetuista maanäytteistä vesiuutolla (uuttosuhde 1:60, nuclepore-suodatus) määritetyn

fosforipitoisuuden (mg kilossa maata) mukaan. Viljavuusanalyysien ( $P_{AAC}$ ) ja vesianalyysien fosforipitoisuuden numeeriset itseisarvot ja jakaumat suuruusjärjestyksessä fraktaaleittain olivat hyvin samanlaiset. Keskimääräiset fosforipitoisuudet olivat 12,1 mg litrassa maata ( $P_{AAC}$ ) ja 12,4 mg kilossa maata (vesiuutto 1:60) ja mediaanit 8 mg litrassa maata ja 9 mg kilossa maata (Taulukko 2). Pellon fosforitilasta riippuvaa ympäristöriskiä tutkimuksessa arvioitiin valuntaveden liukoisen fosforin pitoisuuden ennustearvolla, joka määritettiin vesiuuton (1:60) uuttonesteen fosforipitoisuuden mukaan. Keskimääräinen ennustearvo oli 0,21 mg litrassa ja mediaani 0,15 mg litrassa vettä (Taulukko 2).

Kokonaisfosforin määrä kivennäismaiden pelloilla on kasvanut 1930-luvulta alkaen noin 1000 kg hehtaaria kohden ja on keskimäärin noin 3000 kg ha<sup>-1</sup> (Saarela 2002). Eloperäisillä mailla kokonaisfosforin määrä on keskimäärin noin 500 kg ha<sup>-1</sup> (Saarela 2002), mutta huuhtoutuva fosfori on pääosin liukoisessa muodossa (Huhta ja Jaakkola 1993).

Taulukko 2. Viljelyksessä olevien peltojen fosforipitoisuuden ja valuntavedelle arvioidun liukoisen fosforin ennustepitoisuuden jakauma fraktiileittain (Puustinen ym. 1994).

Suomen peltojen fosforipitoisuusaineisto KUTI- tutkimuksen mukaan	Maan fosforipitoisuus ja valuntaveden liukoisen fosforin pitoisuuden ennustearvot suuruusjärjestyksessä fraktiileittain %-luvun kohdalla						
	5	10	25	50	75	90	95
<i>Maan fosforipitoisuus</i>							
$P_{AAC}$ (1:10) mg/l maata (n=442)	2	3	5	8	13	25	40
Vesiuutto (1:60) mg/kg maata (n=1005)	1	2	4	9	16	26	35
<i>Valuntaveden fosforipitoisuuden ennustearvo</i>							
Vesiuutto (1:60) mg/l (n=1005)	0,02	0,03	0,07	0,15	0,27	0,43	0,58

### *Valuntaveden typpipitoisuuteen vaikuttavat tekijät*

Peltoviljelyn kokonaistyyppikuormitus (Kok N) koostuu valuntaveden liukoisesta epäorgaanisesta ja orgaanisesta tyypestä sekä valuntaveden kuljettamaan kiintoainekseen sitoutuneesta tyypestä. Huuhtoutuvan epäorgaanisen tyypin eri muodoista ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) pääosa on nitraattityyppiä (DI ja Cameron 2002). Maaveden epäorgaanisen tyypin pitoisuutta kasvukauden ulkopuolella säätelee tyypin kierto, jonka keskeisiä vaiheita ovat (DI ja Cameron 2002, Korsath ym. 2002):

- orgaanisen tyypin hajoaminen epäorgaaniseen muotoon ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), mineralisaatio
- epäorgaanisen tyypin sitoutuminen orgaaniseen ainekseen, immobilisaatio
- ammoniumtyypin ( $\text{NH}_4^+$ ) hapettuminen nitraatiksi ja nitriitiksi ( $\text{NO}_3^-$  ja  $\text{NO}_2^-$ ), nitrifikaatio
- nitraattityypin ( $\text{NO}_3^-$ ) pelkistyminen kaasumaiseen muotoon ( $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), denitrifikaatio

Typen kierto maaperässä on luontainen prosessi, joka perustuu maaperän orgaanisen aineksen hajoamiseen. Mineralisaatiossa maan orgaanisen aineksen tyyppi hajoaa epäorgaaniseen muotoon, ja immobilisaatiossa epäorgaanista tyyppiä sitoutuu takaisin orgaaniseen muotoon (Powlson 1993, DI ja Cameron 2002, Peigne ym. 2007). Epäorgaaninen tyyppi on maavedessä helposti huuhtoutuvana nitraattina ( $\text{NO}_3^-$ ) ja nitriittinä ( $\text{NO}_2^-$ ) sekä huuhtoutumiselta paremmin suojassa kationinvaihtopinnoille sitoutuneena ammoniumtyyppinä ( $\text{NH}_4^+$ ). Valuntavedessä on myös liukoista orgaanista tyyppiä ja maa-aineksen eri muodoissa olevaa orgaanista tyyppiä.

Viljelyn vuosikierrossa (Kuva 2) typen huuhtoutumisriski liittyy intensiiviseen maan muokkaukseen (Kuva 3), mikä kiihdyttää orgaanisen typen mineralisoitumista (Stenberg ym. 1999, Kayser ym. 2010). Muokkauksen seurauksena maavedessä on kasvukauden jälkeen herkästi huuhtoutuvaa nitraattityppiä (Vagstad ym. 1997), ja voimakkaasti muokatussa maassa orgaanisen typen mineralisoituminen tuottaa sitä lisää (mm. Accal-Corfini ym. 2010) ja samaan aikaan tyyppiä maasta ottava kasvillisuus puuttuu.

Savi- ja hiesumaiden pelloilla maa-aineksessa on orgaanista tyyppiä 5 000–10 000 kg ja karkeilla kivennäismailla noin 5000 kg (Sippola 1981, Sippola ja Ylärinta 1985), ja turvemaiden 60 cm:n kerroksessa 40 000–60 000 kg ha<sup>-1</sup> (Sippola 1981). Orgaanisen typen mineralisaatiossa siitä on arvioitu vapautuvan vuositasolla vapautuvan 1–3 % epäorgaaniseksi tyypeksi (Russel 1973, Keeney 1981). Leppäsen ja Esalan (1995) selvityksessä ennen kevätkylvöä peltomaasta otettujen 60 cm:n kerroksen maanäytteiden perusteella epäorgaanisen typen määrä vaihteli peltohehtaarilla välillä 7–276 kg.

#### 1.1.4 AINEVIRTAAMAT PELLOILTA VESISTÖIHIN

Kuivatustarkoitukseen tehdyistä valtaojista ja peratuista puroista muodostuva peruskuivatuksen uomaverkosto (Puustinen ym. 1994) kokoaa peltolohkoilta valuntaveden mukana kulkeutuvan kiintoaineen ja ravinteet kuivatus- ja valuma-alueita koskeväksi ilmiöksi (Luku 1.1, Kuva 1). Uomaverkosto kattaa 74 % peltoalasta, jolloin keskimääräisen uomayhteyden pituus paikallisvesien purkupisteestä lähimpään alapuoliseen vesistöön on 2,3 km (mediaani 1 km). Lisäksi peltolohkojen sijainnin vuoksi peltoalasta 13 %:lla on välitön yhteys paikalliskuivatusjärjestelmistä tai pintavalunnan välityksellä vesistöihin. Vain 13 %:lla peltoalasta ei ole uomayhteyttä vesistöihin (Puustinen ym. 1994). Tiheän uomaverkoston vuoksi kolmasosa peltolohkoista rajoittuu vesistöihin ja vesiuomiin (valtaojat mukaan lukien), hiukan yli kolmasosa sijaitsee noin 300 m etäisyydellä ja neljäsosa peltolohkoista kauempana kuin 300 m (Peltonen-Sainio ym. 2015).

Vesistöihin kulkeutunut kiintoaines poikkeaa määrältään ja laadultaan pelloilta erodoituneesta maa-aineksesta. Karkeat maalajitteet liikkuvat uoman pohjalla liukumalla, tasaisesti vierien tai hyppäyksin veden virtausnopeudesta ja turbulentsisuudesta riippuen (Linsley ym. 1975, Schwab ym. 1981). Hienoin maa-aines kulkeutuu helposti sellaisenaan vesistöihin saakka,

kun taas karkeilta maalajeilta erodoitunut aines ja suuret maa-ainesvalumat jäävät matkalle uomien pohjalle. Uomissa voi tapahtua myös kiintoainekuormitusta lisäävää uomaeroosiota, runsaimmillaan jopa 50 % koko alueen kiintoainekuormasta (Bogen 2009).

Ravinnekuormituksen osalta laaja uomaverkosto ja lyhyt uomayhteys vesistöjen ja peltojen välillä (Puustinen ym. 1994, Peltonen-Sainio ym. 2015) aiheuttavat sen, että vesistöihin päätyvä kuormitus on määrällisesti lähes sama kuin pelloilta lähtenyt kuormitus (Kuva 1).

## **1.2 Peltoviljelyn vesistökuormituksen arviointi**

Peltoviljelyn aiheuttaman kiintoaine- ja ravinnekuormituksen mittaamiseen ei ole suoraa menetelmää (Luku 1.1, Kuva 1). Kuormitustulokset ovat mitatun vesimäärään ja veden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin perustuvia laskennallisia arvioita (Kauppila ja Koskiahho 2003). Valuntaveden laadun seurannassa huuhtoutumiskentillä, pienillä valuma-alueilla ja vesistöalueilla käytetään enenevässä määrin veden sameutta ja nitraattipitoisuutta mittaavia jatkuvatoimisia antureita (Linjama ym. 2009). Kokeellisen tutkimuksen ja seurannan tukena kuormituksen arvioinnissa käytetään kuormitusmalleja (Tattari ym. 2017b). Luvuissa 1.2.1–1.2.3 tarkastellaan kuormituksen arviointimenetelmiä ja arvioita peltoviljelyn vuosikuormituksesta.

### **1.2.1 HUUHTOUTUMISKENTTÄTUTKIMUKSET**

Huuhtoutumiskentät ovat yksi tietolähde maatalouden vesistökuormituksen määrän arvioissa (Huhta ja Jaakkola 1993, Turtola ja Paaajnen 1995, Koskiahho ym. 2002, Uusi-Kämppe ja Jauhiainen 2010). Huuhtoutumiskentät ovat mittakaavaltaan lähellä peltolohkoja (Luku 1.1, Kuva 1), ominaisuuksiltaan toisistaan poikkeavia tutkimusyksiköitä (esimerkiksi savimaa vs. turve-maa). Yksittäisten huuhtoutumiskenttien tuloksia ja niiden merkitystä ovat laajemmin arvioineet Valkama ym. (2015a, 2018) meta-analyyttisin menetelmin. Eurooppalaisia, pohjoismaisia ja baltialaisia huuhtoutumiskenttätuloksia ovat esittäneet Verheijen ym. (2012), Skøien ym. (2012) sekä Kindereine ja Karkauckiene (2012).

Pitkäaikaiset huuhtoutumiskenttien havaintosarjat koostuvat samanaikaista kiintoaineen, fosforin ja typen kuormitushavainnoista. Huuhtoutumiskentän kuormitusarvioiden voidaan ajatella kuvaavan ominaisuuksiltaan samankaltaisten peltolohkojen kuormituksen suuruusluokkaa. Kuormitustapahtumat kuormituksen määrääarviot kuvaavat peltolohkojen mittakaavassa tapahtuvia kuormitusprosesseja ja toimivat tässä työssä kokeellisen aineiston lähteenä muodostettaessa ominaiskuormituskertoimia (I, II, IV) ominaisuuksiltaan (maalaji, kaltevuus) samanlaisille peltolohkoille.

## 1.2.2 PIENTEN VALUMA-ALUEIDEN SEURANTATUTKIMUKSET

Maatalouden vesistökuormituksen seurantaverkkoon kuuluvien ns. pienten valuma-alueiden seurannoissa on runsaan kolmenkymmenen vuoden ajan tutkittu veden määrää ja laatua hydrologisesti rajatuilla alueilla (Rekolainen 1989, Vuorenmaa 2002, Tattari ym. 2017a). Seuranta on toteutettu havaintopisteessä, johon seurannassa olevan alueen eri kuormituslähteiden, maatalouden, metsätalouden ja luonnon, ainevirtaamat kertyvät (Kuva 1). Vuodesta 2007 alkaen seurannoissa on mitattu valuntaveden sameus ja nitraattityypen pitoisuus automaattiantureilla. Sameuden perusteella on määritetty valuntaveden kiintoaineen ja partikkelifosforin pitoisuudet (Linjama ym. 2009).

Pienten valuma-alueiden yhtenäinen vertailukelpoinen typpipitoisuuden aikasarja alkaa vuodesta 1981 ja fosforipitoisuuden aikasarja vuodesta 1987 (Tattari ym. 2017a). Vuoteen 2010 ulottuvaan seuranta-aineistoon perustuvat keskimääräiset kuormitusarviot (ominaiskuormitusluvut) ovat 15,5 kg kokonaistyppeä ja 1,1 kg kokonaisfosforia hehtaarilta vuodessa. Liukoisen fosforin ominaiskuormitusluku on 0,18 kg hehtaarilta vuodessa. Eri vuodenaikojen ja vuosien hydrologisen luonteen takia ominaiskuormituslukujen vuosivaihtelu on kokonaisfosforilla 0,9–1,8 kg ha<sup>-1</sup> ja tyypellä 8–20 kg ha<sup>-1</sup> (Taulukko 3).

Pienten valuma-alueiden kiintoainekuormitusta ei ole seurattu intensiivisesti, ja valuma-alueen vertailukelpoisia tuloksia peltoeroosiosta on vähän. Keskimääräiseksi peltojen eroosiomääräksi Tattari ja Rekolainen (2006) ja Turtola ym. (2007) ovat esittäneet 100–1200 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>. Mansikkaniemen (1982) mukaan keskimääräistä sateisempänä vuonna kaltevilla savipellolla eroosiomäärä on 6 000–7 000 kg ha<sup>-1</sup> vuodessa. Euroopassa on paljaalta maalta mitattu 23 000 kg ha<sup>-1</sup>, kevätiljalla 11 000 kg ha<sup>-1</sup>, viljakasveilla 2 000 kg ha<sup>-1</sup>, nurmella 300 kg ha<sup>-1</sup> ja metsäalueilta 100 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup> eroosiomääriä vuodessa (Cerdan ym. 2006).

Taulukko 3. Peltoviljelyn keskimääräinen kokonaisfosforin (Kok P), liukoisen fosforin (DRP) ja kokonaistypen (Kok N) hehtaarikohtainen vuosikuormitus, ns. ominaiskuormitusluvut maatalouden seurantaverkon pieniltä valuma-alueilta eri seurantajaksoilla vuosina 1981–2010 sekä fosfori- ja typpikuormituksen vuosivaihtelu (min–max) kahdella viisivuotisjaksolla vuosina 1981–1990.

Seurantajakso	Ominaiskuormitusluku (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> )			Lähde
	Kok P	DRP	Kok N	
1981–1985	1,11		13,0	Vuorenmaa ym. (2002)
1981–1985	0,90–1,80		8,0–20,0	Rekolainen (1989)
1986–1990	0,99	0,13	18,0	Vuorenmaa ym. (2002)
1986–1990	0,95–1,70		17,5–19,5	Rekolainen (1993)
1991–1995	1,14	0,14	14,0	Vuorenmaa ym. (2002)
1981–2010	1,10	0,18	15,5	Tattari ym. (2017a)

<sup>1)</sup> Kok P ja DRP jaksolta 1987–2010

<sup>2)</sup> Kok N jaksolta 1981–2010



Metsäalueiden eroosion määräksi on määritetty 20–200 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup> (Tattari ja Rekolainen 2006). Hakkuiden jälkeen eroosio on ollut enimmillään jopa 1 200 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup> (Ahtiainen ja Huttunen 1999, Kenttämies ja Mattsson 2006) ja metsän kunnostusojituksen jälkeen keskimäärin 600 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup> (Finér ym. 2010). Turvetuotantoalueiden kiintoainekuormaksi on Vapo (2009) määrittänyt 40–100 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>.

### 1.2.3 KUORMITUSMALLIT

Tattari ym. (2017b) arvioivat vesien- ja merenhoidon tarpeen arviointiin ja toimenpiteiden suunnitteluun soveltuvien mallien käytettävyyttä ja luotettavuutta. He luokittelivat evaluoitavat kuormitusmallit ominaisuuksien perusteella kolmeen tyyppiin (Taulukko 4). Malleja on sovellettu vaiheittain eri kuormituslähteistä tulevan ja vesistöjen tilaa muuttavan kuormituksen eli ns. kuormituspainoiden tunnistamisessa ja vesistöaluekohtaisessa toimenpiteiden tarkemmassa suunnittelussa. Malleja on käytetty soveltamalla niitä yksittäisinä kuormitusmalleina tai ketjuttamalla siten, että yksi malli tuottaa toisen mallin tarvitsemia syöttötietoja.

Kuormituspainoiden tunnistamisessa käytetty VEPS-malli (Taulukko 4) on yleisellä tasolla toimiva pistekuormituksen, maatalouden, metsätalouden, luonnonhuuhtouman, laskeuman ja haja-asutuksen aiheuttaman kuormituksen suuruusluokan osoittava arviointityökalu. Maatalouden typpi- ja fosforikuormitus perustuu mallissa pienten valuma-alueiden seurantojen keskimääräisiin ominaiskuormituslukuihin (Taulukko 3) sekä koekentätuloksiin pohjautuviin tarkennuksiin ja peltopinta-alaan (Tattari ja Linjama 2004, Huttula ym. 2009). Vesistöjen kokonaiskuormitusarviot lasketaan mallissa ympäristön tilan seurantajärjestelmään (VAHTI-järjestelmä, vuodesta 2017 alkaen YLVA-järjestelmä) päivitettävistä, eri kuormituslähteitä koskevista kuormitustiedoista. VEPS-mallia on sovellettu kolmannen jakovaiheen vesistöalueiden ns. kuormituspainoiden tunnistamiseen. Vesistöalueiden toimenpiteiden suunnittelu ja toimenpideohjelmat pohjautuvat tähän ensivaiheen kuormituspainoiden arviointiin.

Vesien- ja merenhoidon toimenpiteiden kustannusten vertailuun on kehitetty parametrinen KUTOVA-työkalu (Hjerpe ym. 2016). Malli laskee ja vertailee toimenpiteiden kustannustehokkuutta pidättyneen fosforikilon kustannuksen (€/kg) perusteella. Työkalun tuloksia voidaan käyttää toimenpiteiden valintakriteereinä.

Kustaa-työkalu on kehitetty hajakuormitteisten valuma-alueiden päästölähteiden kuormitusosuuksien arviointiin. Se arvioi vesistö- tai valumaaluetasolla vuoden aikana muodostuvan kokonaiskuormituksen ja kuormitusjakauman eri kuormituslähteisiin. Työkalu sisältää kiintoaineen, kokonaisfosforin ja kokonaistypen tyypilliset kuormitusluvut ja haja- ja piste-kuormitusta kuvaavat kuormitusluvut vaihteluvälineen. Kuormitusarviot perustuvat tarkasteltavan valuma-alueen pinta-alaan, vesistöjen pinta-alaan,

ja vuositasolla metsä- ja maataloustoimenpiteiden pinta-aloihin sekä piste-kuormituslähteiden yksikkömääriin (pinta-ala, henkilömäärä, eläinmäärä, jne.). Työkalu tuottaa yleiskuvan tarkasteltavalta alueen hajakuormituksesta ja kuormituslähteistä (Launiainen ym. 2014).

VIHTA-työkalu (Äijö ja Tattari 2000) on kehitetty laaja-alaisessa maatalouden ympäristöongelmien hallintaan keskittyvässä EU:n kokeiluhankkeessa, Life-Vihtahanke (Puustinen 2001), maatalouden peltoviljelyn vallitsevan kuormituksen sekä kosteikkojen, laskeutusaltaiden, suojavyöhykkeiden ja säätösalaajituksen vaikutusten ja kustannustehokkuuden arviointiin. Peltoviljelyn kuormituksen arviointi perustui peltojen ominaisuuksiin ja kasvipeitteisyyteen ja toimenpiteiden vaikutukset työkaluun luotuihin kokeellisiin vaikutuskertoimiin ja toimenpiteiden toteutuskustannuksiin. Lohkokohtaiset vesiensuojelutoimenpiteet eivät sisälly VIHTA-työkaluun.

Tilastollisella LLR-mallilla (Taulukko 4) ennustetaan valuma-alueilta tulevan kuormituksen perusteella vastaanottavan järven ravinnepitoisuutta (Kotamäki ym. 2015, Malve ym. 2016). Malli perustuu erilaisissa rehevyytiloissa olevista järvistä mitattuihin pitoisuustietoihin ja järviin tuleviin kuormitustietoihin. Mallia voidaan käyttää yhdessä valuma-alueen kuormitusmallien kanssa. Niillä arvioidaan kuormitustieto toimii LLR-mallin syöttötietona. Tarkastelua voidaan ulottaa usean järven muodostamalle vesistöalueelle yhdistämällä järvioltaat kuormituskaaviolla, joka osoittaa eri altaissa tapahtuvan ravinteiden pidättymisen ja kuormituksen kulkeutumisen järvioltaasta toiseen sekä toimenpiteistä johtuvien kuormitusalenemien laajemmat vaikutukset.

Erosioherkkien peltolohkojen tunnistamiseen kehitetystä RUSLE-mallista (Wischmeier ja Smith 1978, Renard ym. 1997) on kehitetty suomalaisiin olosuhteisiin soveltuva versio (Lilja ym. 2017). Se perustuu karttapohjaiseen laserkeilattuun korkeusmalliaineistoon. Mallin syöttötietoja ovat peltolohkojen ja maalajien ominaisuudet, viljelykäytännöt ja maanpinnan kasvipeitteisyys vallitsevissa sadantaoloissa. Peltolohkojen eroosioherkkyyden perusteella malli tuottaa sekä lohko- että valuma-alueen eroosioarvioita (Taulukko 4).

Laaja-alaisin vesistöalueiden hydrologiaa ja peltoviljelyn kuormitusta yhdistävä kokonaismalli on vesistömallijärjestelmä (VEMALA), joka on alun perin kehitetty vesistöennusteiden tekemiseen (Huttunen ym. 2016). Mallilla tehdään mm. sääennusteiden pohjalta jokivesistöissä reaaliaikaisia tulvaennusteita. Mallia käytetään vesistöjen kolmannen jakovaiheen ravinnehuuhtoumien laskemiseen ja ilmastomuutoksen vaikutusten arviointiin (Huttunen ym. 2015).

Prosessipohjaisista lohkotason kuormitusmalleista ICECREAM arvioi fosforihuuhtoumien määrää (Posch ja Rekolainen 1993, Tattari ym. 2001, Bärnlund ym. 2009) ja COUP-malli typpihiuhtoumia (Jansson ja Karlberg 2001, Rankinen ym. 2007). Molemmat mallit ovat lähinnä tutkimuskäytössä olevia ja kehitettäviä malleja. Syöttötietoina malleissa käytetään mm. maalaji-, kaltevuus-, lannoitus- ja satotietoja (Taulukko 4).

Taulukko 4. Vesien ja merenhoidon suunnittelussa (VHS) käytettäviä eri tyyppisiä kuormitusmalleja (Tattari ym. 2017b) sekä muita tutkimuskäytössä olevia kuormitusmalleja. Mallityypit (T): A=arviointityökalut, E=empiiriset mallit, P=prosessipohjaiset mallit, M=matemaattiset mallit.

T	Malli	Mallin käyttö eri mittakaavoissa	Mallin syöttötiedot	Käyttö Suomessa	Viitteet
A	Vesistöalueiden kuormituspainneiden suuruus, VEPS	Kuormituslähteiden suuruus kolmannen jakovaiheen vesistöalueilla	Maankäyttö, ominais-kuormitusluvut	Kuormitus-paineet, VHS	Tattari ja Linjama (2004)
	Kustannustehokkaat toimenpiteet valuma-alueella, KUTOVA	Toimenpiteiden kustannustehokkuus valuma-alueella, euroa/fosforikilo	Toimenpiteen laatu ja määrä, kustannukset	Toimenpiteen priorisointi kohdealueella, VHS	Hjerppe ym. (2016)
	Valuma-alueen vesistökuormituksen laskentatyökalu, KUSTAA	Hajakuormituksen ja kuormituslähteiden arviointi vesistö- ja valuma-alueella	Pinta-ala, maankäyttö ja toimenpiteet	Vesiensuojelu, kunnostus-hankkeiden suunnittelu, VHS	Launiai-nen ym. (2014)
	Viljelyalueiden valumavesien hallinta, VIHTA	Kosteikkojen, laskeutusaltaiden, suojavyyhykkeiden ja sääätösaloituksen vaikutusten ja kustannus-tehokkuuden vertailu valuma-alueella	Peltojen ominaisuus- ja viljelytiedot, toimenpiteiden laatu ja määrä, kustannukset	Valumavesien käsittely-menettelmien keskinäinen vertailu ja priorisointi	Äijö ja Tattari (2000)
E	Lake Load Response, LLR	Järvivesi-muodostuma	Vesi-muodostuman morfologia, ainevirtaamat	Järvien kemiallinen tilaluokittelu, VHS	Kotamäki ym. (2015)
	Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE	Paikallinen, alueellinen, koko maan peltoala	Peltojen maalajitiedot, kaltevuus, viljelykäyttö, kasvipeite	Laserkeilat-tuun korkeusmalli-aineistoon perustuva eroosioherkkyys, VHS	Renard ym. (1997), Lilja ym. (2017)
P	ICECREAM	Lohkotaso	Maalaji, kaltevuus, lannoitus, kasvi	Tutkimus-käyttö	Posch ja Rekolainen (1993), Bärlund ym. (2009)
	Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system, COUP	Lohkotaso	Viljelykasvi, Lanta, lannoitus, sato	Tutkimus-käyttö	Jansson ja Karlberg (2001), Rankinen ym. (2007)

Taulukko 4 (jatkuu). Vesien ja merenhoidon suunnittelussa (VHS) käytettäviä eri tyyppisiä kuormitusmalleja (Tattari ym. 2017b) sekä muita tutkimuskäytössä olevia kuormitusmalleja. Mallityypit (T): A=arviointityökalut, E=empiiriset mallit, P=prosessipohjaiset mallit, M=matemaattiset mallit.

M	Malli	Mallin käyttö eri mittakaavoissa	Mallin syöttötiedot	Käyttö Suomessa	Viitteet
P	Vesistömalli-järjestelmä, VEMALA	Vesistöalue	Säätiedot	Tulvaennusteet, ainevirtaamat, VHS	Huttunen ym. (2016)
	Coupled Hydrodynamical Ecological model for Regional Shelf seas, COHERENS	Rannikkomeret, järvet	Altaiden syvyyssiedot, säätiedot, tulevat ja lähtevät ainevirtaamat	VHS	Tattari ym. (2017b)
	Soil and Water Assessment Tool, SWAT	Vesistö- ja valuma-alue	Säätiedot, maaperä- ja korkeustiedot, toimenpiteet	Valuma-alueitoimenpiteiden vertailu, VHS	Tattari ym. (2009)
	Integrated Nitrogen in Catchment, INCA	Valuma-alue		Valuma-alueiden ainevirtaamat, VHS	Whitehead ym. (1998), Rankinen ym. (2004)
M	FLUSH	Lohkotaso	Sadanta, maaperä	Tutkimus, veden kulkureitit ja eroosio	Warsta (2011)

Valuma-alueille INCA (Whitehead ym. 1998, Wade ym. 2002) sisältää epäorgaanisen tyypin prosessikuvauksia, mm. kasvien typenottoa, typpi-kierron vaiheita sekä huuhtoutumista maaperässä ja jokivedessä. Mallia on sovellettu monella valuma-alueella, ja sen soveltuvuutta on kehitetty pohjosiin oloihin etenkin maan lämpötilan laskennan osalta (Granolund ym. 2004, Rankinen ym. 2004). SWAT-mallissa valuma-alueen kuormitusarvot perustuvat säätietoihin ja valuma-alueen maaperätietoihin, ja sillä voidaan arvioida mm. kosteikkojen suojavyöhykkeiden, viljelykäytäntöjen muutosten ja lannoituksen vaikutusta osavaluma-alueittain (Tattari ym. 2009).

FLUSH-malli (Warsta 2011) on kehitetty valunnan, valuntareittien (pintavalunta vs. salaojavalunta) ja kiintoainekuormituksen välisten mekanismien tarkasteluun. Erityisesti savipelloilla eroosio toimii kiintoaineen sitoutuneiden ravinteiden väylänä vesistöihin. Mallia on kehitetty kokeellisen aineiston pohjalta ja kuormitusprosessit on mallissa mallinnettu matemaattisesti. Mallin tulokset osoittavat mm. lohkotason vesitaseeseen vaikuttavat tekijät, valuntareittien vaikutuksen eroosioon määrään ja kiintoaineen kulkureitteihin sekä eroosion alkamisajankohdan suhteessa maan muokkaukseen (Luku 1.1.3, Kuva 3).

### 1.3 Peltoviljelyn vesistökuormituksen vähentämismahdollisuudet

Sisävesiin ja mereen tulevaa peltoviljelyn aiheuttamaa kuormitusta  $tn\ v^{-1}$  (Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 2017a) esitetään alennettavaksi prosentuaalisten tavoitteiden mukaan laaja-alaisesti toteutettavilla erilaisilla ympäristötoimenpiteillä (Nyroos ym. 2006, Laamanen 2016). Yleisesti arvioiden peltoviljelyn kiintoaine- ravinnekuormitus vesistöihin vähenee, jos

- o peltoalaa poistetaan pysyvästi aktiiviviljelyksestä, jolloin kokonaispeltoala pienenee
- o vesiensuojelutoimenpiteitä otetaan laaja-alaisesti käyttöön, jolloin ominaiskuormitusluvut ( $kg\ ha^{-1}\ v^{-1}$ ) pienenevät (Taulukko 3) tai
- o samanaikaisesti tehdään molempia edellisiä toimenpiteitä

Peltopinta-ala on pitkällä aikavälillä pienentynyt (1960-luvulla keskimäärin 2,7 milj. ha) ja sittemmin pysynyt EU:hun liittymisvuodesta 1995 lähes samana. Aluksi viljelyala pieniä hetkellisesti ensimmäisen maatalouden ympäristötuen ohjelmakauden (1995–1999) aikana edeltävään viisivuotisjaksoon (1990–1994) verrattuna, mutta sen jälkeen palautui lähes ennalleen ja on pysynyt vakaana (Taulukko 5).

Peltoalan vähentämisen sijaan vuosikuormituksen hallinnan lähtökohtana on hehtaarikohtaisen vuosikuormituksen pienentäminen koko peltoalalla. Maatiloilla on vapaaehtoisesti sitouduttu toteuttamaan ympäristötuen ja ympäristökorvausjärjestelmän ns. hyviä viljelymenetelmiä, suojavyöhykkeitä ja vesiensuojelukosteikkoja (Ympäristöministeriö 1992, Korkman ym. 1993, MMM 2000a, 2000b, 2000c, 2000d, 2015, Mäenpää ja Tolonen 2011, Laamanen 2016). Valuma-alueella toimenpiteiden näkyvät vaikutukset (Luku 1.1, Kuva 1) edellyttävät laaja-alaista toimenpiteiden toteutusta ja tietoa lohko-kohtaisen kuormituksen tarkemmasta alkuperästä toimenpiteiden kohdentamisen lähtökohdaksi (Luku 1.2.2, Taulukko 3). Maatalouden seuranta-verkon veden laadun seurantojen tueksi valuma-alueilta ei ole ollut käytettävissä lohko-kohtaista peltojen ominaisuuksia ja viljelykäytäntöjä koskevaa tietoa (Tattari ym. 2017a).

Taulukko 5. Keskimääräinen viljelyksessä oleva peltoala viisivuotiskausittain (Luke 2021).

Viisivuotiskausot	Viljelyksessä oleva peltoala ha	Peltoalan muutos edeltävältä jaksolta ha
1990–1994	2 287 780	
1995–1999	2 146 320	-141 460
2000–2004	2 202 640	56 320
2005–2009	2 252 520	49 880
2010–2014	2 240 580	-11 940
2015–2019	2 242 960	2 380

Peltoviljelyn vesistökuormituksen hallintaan suunniteltavien toimenpiteiden vaikutusvertailuun sisältyy keskeinen periaate: vesiensuojelutoimenpiteet toteutetaan etukäteen ennen tulevaa vuosikuormitusta. Toteutettavat toimenpiteet eivät muuta tulevaan kuormitukseen vaikuttavista tekijöistä esimerkiksi vuosisadantaa, valuntaa, peltojen kaltevuutta tai maalajia. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna on oleellista arvioida ennalta valittujen toimenpiteiden vaikutuksia valunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin kaikissa pelto-olosuhteissa (Taulukko 6).

Kuivatusvesien (Luku 1.1.2) kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat kuormitusprosessit ja tekijät (Luku 1.1.3) on jäsennetty taulukossa 6 luonnollisiin (pysyviin), muutettuihin (pitkäaikaisiin) ja viljelyperäisiin (muuttuviin) tekijöihin. Kuormitustekijöiden vaikutusta valunnan määrään ja valuntaveden pitoisuuksiin arvioidaan ilman yhdysvaikutuksia. Kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen ennakoituja vaikutusmahdollisuuksia arvioidaan asteikolla kyllä/ei (Taulukko 6). Samankaltaista vaikutuskeinojen ryhmittelyä on tehty eroosioon ja fosforikuormitukseen vaikuttavista taustatekijöistä ja hallintakeinoista (Tiainen 1989, Tiainen ja Puustinen 1989) ja arviota toimenpiteiden suhteellisista vaikutuksista lohko ja valuma-alueitasolla (Ulén ja Kalisky 2005, Kronvang ym. 2005, Grönroos ym. 2007, Ulén ym. 2010).

Taulukko 6. Kiintoaine- ja ravinnekuormituksen vaihtelun lähteiden ja kuormituksen osatekijöihin (valunta, pitoisuus) vaikuttavien tekijöiden/toimenpiteiden luokittelu ja vaikutusmahdollisuuksien arviointi (+ lisäävä, - vähentävä vaikutus, tyhjä ei vaikutusta; plus- ja miinusmerkkien lukumäärä kuvaa vaikutuksen voimakkuutta, merkki suluisa kuvaa vähäistä vaikutusta). Part P = partikkelifosfori, DRP = liukoinen fosfori, Kok N = kokonaistyyppi, Fosforitila ( $P_{AAC}$ ) = muokkauskerroksessa kasveille käyttökelpoisen helppoliukoisen fosforin määrää kuvaava arvo.

Kuormitusvaihtelun lähde	Kuormitukseen vaikuttava tekijä tai toimenpide	Kuormituksen osatekijän (valunta vs. pitoisuus) riippuvuus vaikuttavasta tekijästä						Voidaanko vaikuttaa kyllä/ei
		Vuosi-valunta	Pinta-valunta	Kiinto-aine	Part P	DRP	Kok N	
<i>Luonnollinen tekijä: kaikki peltolohkot, vuosien väliset erot</i>								
Hydrologinen	Vuosisadanta	+++						ei
	Sadannan rankkuus		+++	+++	+++	+	++	ei
	Valunnan jakauma		++	++	++	+	+	ei
<i>Peltolohkon luonnolliset ominaisuudet: peltolohkojen väliset erot</i>								
Luonnollinen	Kaltevuus		+++	+++	+++			ei
	Kivennäismaalajit		+	+	+			ei
	Eloperäiset maalajit			+		++	+++	ei
	Lohkon pituus		++	++	++			kyllä
<i>Muutetut maan ominaisuudet: peltolohkojen väliset erot</i>								
Viljelyperäinen	Fosforitila ( $P_{AAC}$ )				(+)	+++		kyllä
	Tiivistymät		++	++	++			kyllä
<i>Viljelijän toimenpiteet: kaikki peltolohkot, peltolohkojen ja vuosien väliset erot</i>								
Viljelyperäinen	Lannoitus				(+)	+	+	kyllä
	Maanmuokkaus		+/-	+++	+++	---	+++	kyllä
<i>Vesiensuojelutoimenpiteiden perustaminen: vaikuttavat peltolohkoilla ja valumavesissä</i>								
Viljelyperäinen	Peltotoimenpide			---	---	++	---	kyllä
	Suojavyöhyke			---	---	++	---	kyllä
	Kosteikko			---	---	--	---	kyllä

### 1.3.1 PELTOTOIMENPITEET

Vuosisadanta ja -valunta ovat kuormituksen luonnollinen tekijä (Luku 1.1.2, Taulukko 1), joka säätelee vuosikuormitusta ja sen vuosivaihtelua (Øygarden 2003, Skøien ym. 2012) sadannasta ja lumen sulannasta maanpinnalle tulleen veden joutuessa maanpinnan kanssa kontaktiin (Luku 1.1.3, Kuva 3). Hydrologisesta vuodesta ja vuosisadannan luonteesta (lumi vs. vesi) ja jakaumasta riippuen pääosa vuosivalunnasta viljelyn vuosikierrossa (Luku 1.1.1, Kuva 2) voi muodostua muutaman viikon aikana keväällä (Rekolainen 1989) tai leutoina vuosina syksystä alkaen talvikuukausina. Tämän takia vuosikuormitus muuttuu alati vuosien välillä ja toimenpiteiden todellisia vaikutuksia on vaikea arvioida (Skøien ym. 2012, Ulén ym. 2012b). Pienten valu-

ma-alueiden ominaiskuormitusluvut (Luku 1.2.2, Taulukko 3) ovat pitkän aikavälin keskimääräisiä kuormitusarvioita, joihin sisältyvät peltoviljelyn koko vuosikierron eri vaiheet, merkittävimpinä kuormitusriskeinä lannoitus ja muokkaus.

### *Lannoituksen vähentäminen*

Peltoviljelyn vuosikierrossa (Luku 1.1.1, Kuva 2) kylvömuokkaus, kylvö ja lannoitus ajoittuvat kasvukauden alkuun, jolloin kuormittavin vuodenaikajakso on ohi ja pääosa kuivatusvesistä (Luku 1.1.2) on johdettu pelloilta pois. Uuden satokauden viljelysuunnitelmissa typpi- ja fosforilannoitteiden käyttömäärät perustuvat kasvikohtaiseen odotettavissa olevaan satoon ja muokkauskerroksen viljavuuteen, jossa yhteydessä lannoitefosforin määrä säädetään kasvikohtaisen tarpeen mukaan tasapainoon typpilannoitteen määrän kanssa. Satokaudella pyritään mahdollisimman hyvään satoon ja pieneen ravinnetaseeseen.

Viljoilla ja nurmilla (> 80 % peltoalasta) typpilannoitteet lisäävät huuhtoutumisriskiä kasvukauden alussa maaveden nitraattipitoisuuden kasvaessa ja eri ajankohtina toteutettavan lannoituksen yhteydessä kasvukaudella (Bergström ja Brink 1986, Bergström 1987, Turtola ja Kemppainen 1998). Erityisesti pintalannoitus aiheuttaa suurimman huuhtoutumisriskin (Brink ym.1984). Suomessa pintalannoitus koskee lähinnä keväällä nurmien jaksottaista ja syysviljojen täydentävää typpilannoitusta. Kasvukaudella runsaat valuntatapahtumat (Luku 1.1.2, Taulukko 1) ovat kuitenkin poikkeuksia, ja vain osa typen vuosihuuhtoumasta on peräisin samana vuonna annetusta lannoitetyypistä (Addiscott ja Powlson 1992). Kevätviljojen kylvön yhteydessä lannoitteet sijoitetaan maahan.

Kylvökerrokseen sijoitettu fosfori liukenee hitaasti maaveteen kasvien käytettäväksi. Tätä määrää maa-ainekseen sitoutuneen helppoliukoisen fosforin ja maaveden väliset tasapainoreaktiot säätelevät kasvien käytön mukaan. Kasveilta käyttämättä jäänyt lannoitefosfori pidättyy maa-ainekseen (Saarela 2002) ja pitkällä aikavälillä fosforin huuhtoutumisriskiä lisäävä tekijä on muokkauskerroksen helppoliukoisen fosforivaraston suureneminen (vrt. Luku 1.1.3). Valuntaveden mukana (Luku 1.1.2, Taulukko 1) liukoista fosforia huuhtoutuu kasvukauden ulkopuolella.

Pitkällä aikavälillä mineraalilannoitteiden ja lannan ravinteiden yhteenlaskettu hehtaarikohtainen käyttömäärä käytännön viljelyssä ovat merkittävästi alentunut. Fosforin hehtaarikohtainen yhteismäärä on laskenut 1980-luvun lopulta 40 kg:sta vuoden 2005 keskimääräiseen alle 15 kg:aan ja typen määrä 175 kilosta 120 kg:aan (Salo ym. 2007). Hehtaarikohtainen fosforitase oli alentunut 31 kg:sta (v. 1988) ja 7 kg:aan (v. 2005) ja jatkanut alenemista 3,5 kg:aan (v. 2018). Hehtaarikohtainen typpitase oli alentunut 99 kg:sta (v. 1988) ja 56 kg:aan (v. 2005). Kokonaisuudessaan fosforitase on alentunut 88 % ja typpitase 35 % (Luke 2019).



Tavallisimpien viljelykasviemme ravinnetaseiden suuruutta selvittäneen Hyötyä taseista -hankkeen (Turtola ym. 2017) mukaan mineraalilannoitteiden typpitaseen mediaaniarvo kivennäismailla säilörehunurmella, kauralla ja ohralla oli 13–14 kg ha<sup>-1</sup>, kevätvehnällä 32 kg ha<sup>-1</sup> ja syysvehnällä ja rukiilla 56 kg ha<sup>-1</sup>. Eloperäisillä mailla typpitaseet olivat yleisesti pienemmät kuin kivennäismailla. Karjalantaa käytettäessä typpitaseet olivat kauralla ja ohralla hiukan suurempia ja muilla em. viljelykasveilla samanlaisia tai pienempiä kuin mineraalilannoitteita käytettäessä. Korkeimmat typpitaseet johtuivat suuremmasta lannoituksesta sekä ennakoitua huonommaksi jääneestä sadosta. Matalimmat typpitaseet muodostuivat vastaavasti korkeilla satotasoilta ja lannoitus oli ympäristökorvausjärjestelmän enimmäismääriä pienempi.

Samassa hankkeessa Turtola ym. (2017) esittivät viljelykasvikohtaisiin typpitaseisiin perustuvia malliarvioita (COUP) huuhtoutumien kasvusta. Neljäsosa säilörehunurmen typpitaseista sekä neljäsosa kauran ja ohran typpitaseista ylittivät keskimääräistä suuremman huuhtouman aiheuttavan laskennallisen tasearvonsa (60 ja 25 kg ha<sup>-1</sup>). Vastaavasti puolet kevätvehnän taseista ja yli puolet syysvehnän ja rukiin typpitaseista ylittivät keskimääräistä suuremman huuhtouman aiheuttavan laskennallisen tasearvonsa (40 ja 65 kg ha<sup>-1</sup>).

Peltoviljelyn typpi- ja fosforikuormitus (Luku 1.2.2, Taulukko 3) muodostuu viljelyn vuosikierron eri vaiheissa ja kulkeutuu vesistöihin valuntaveden mukana pääosin kasvukauden ulkopuolella (Luku 1.1.2, Taulukko 1, Tattari ym. 2017a). Vallitsevien keskimääräisten lannoituskäytäntöjen (menetelmä, lannoitteiden määrä) suoria vaikutuksia ja osuutta vuosihuuhtoutumista on kuitenkin vaikea todentaa.

Typpilannoitteiden ja huuhtoutumien välisestä yhteydestä tavanomaisilla viljakasveilla on Brink (1984) esittänyt, että keskimääräistä runsaammissa sade- ja valuntatilanteissa typen huuhtoutumisriski kasvaa typpilannoituksen ylittäessä 100 kg ha<sup>-1</sup>. Tätä pienemmällä lannoitusmäärien porrastuksilla 50 kg:sta 100 kg:aan keskimääräisessä hehtaarikohtaisissa kevätviljojen vuosihuuhtoumissa (15 kg ha<sup>-1</sup>) ei myöskään ole nähty eroja (Turtola ja Jaakkola 1985, Eltun ja Fugleberg 1996, Lord ja Mitchell 1998). Vastaavasti nurmilla ei havaittu typen 3 kg:n vuosihuuhtoumissa eroja kaksinkertaisellakaan lannoiteporrastuksella (Turtola ja Jaakkola 1985), vaikka lannoitusmäärät olivat em. korkeampia (100–200 kg typpeä hehtaarille).

Lannoituksen pitkäaikaisaineistojen satovaste- ja meta-analyysissä Val-kama ym. (2009, 2011) havaitsivat, että nykyisiä lannoitusmääriä suuremmilla fosforilannoituksen käyttömäärillä ei myöskään saada suurempaa satoa. Kun lannoitteiden käyttömäärät ovat jo alentuneet, tässä tutkimuksessa lannoitus rajataan viljelyalueiden kuormituksen hallinnan tarkastelusta pois.

### *Maan muokkaus ja talviaikainen kasvipeitteisyys*

Peltoviljelyn vuosikierrossa (Luku 1.1.1, Kuva 2) kyntöön perustuvan perusmuokkauksen, sitä korvaavien muokkauskäytäntöjen sekä talviaikaista kas-

vipeitteisyyttä lisäävien toimenpiteiden (Luku 1.1.3, Kuva 3) toteutus ajoittuu syyskauden alkuun. Tuolloin alkaa runsaampien valuntojen kausi (Luku 1.1.2, Taulukko 1). Taulukossa 6 kuormituksen taustatekijöiden ja vaikuttamismahdollisuuksien tarkastelu kohdentuu tuolloin alkavan kasvukauden ulkopuoliseen jakson eroosio- ja ravinnekuormitusprosesseihin (Luku 1.1.3). Vastaava periaate sisältyy 'hyvien viljelymenetelmien' suosituksiin (Korkman ym.1993).

Peltoviljelyn vuosikierrossa syyskyntö jättää pellon pinnan paljaaksi, ja pintavalunnan kiintoainepitoisuus on muokkaamattomaan ja kasvipeitteiseen verrattuna huomattavasti korkeampi (Ulén ja Kalisky 2005, Skoien ym. 2012). Perusmuokkauksen keventäminen tai korvaaminen talviaikaisella sänkipeitteellä tai suorakylvöllä alentavat valunnan kiintoaine- ja partikkelifosforipitoisuuden (Ulén ym. 2010) ohella myös typen pitoisuuksia kasvukauden ulkopuolisella jaksolla, jolloin pääosa vuosivalunnasta muodostuu. Tällaisiin vaikutuksiin ovat perustuneet jo vuosikymmenien ajan suositellut kevennetyt perusmuokkausmenetelmät, jotka jättävät maan pintaan eroosiolta suojaavaa kasvintähteitä (Baker ja Laflen 1983, Dickey ym. 1985).

Viljelyoloissamme voimakkaasti maata muokkaavat käytännöt ovat olleet tavanomaisin viljelytapa. Esimerkiksi KUTI-tutkimuksen mukaan vuonna 1991 viljelykäytössä (kevätiljat 47 %, nurmet 29 % syysvilja ala 3 % ja kesantoa 21 %) olevan peltoalan perusmuokkauksesta syyskyntönä tehtiin 94 %, kevätkyntönä 3,4 % ja sänkimuokkauksena 1,6 %. Samaan aikaan koko kesantolasta 44 % oli avokesantoa. Yhteensä noin 1,2 milj. ha peltoa oli tuolloin talvikauden paljaan vailla kasvipeitteisyyttä (Puustinen ym. 1994).

Pellon muokkauksen ja kasvipeitteisyyden kiintoaine- ja ravinnekuormitusta käsittelevissä tutkimuksissa on tarkasteltu kuormituksen vaikutusmekanismeja, kuormituksen määriä ja ympäristön kannalta ei toivottuja vaikutuksia (Ulén ja Kalinsky 2005, Verheijen ym. 2012, Uusitalo ym. 2018). Merkittävä haittavaikutus muokkausta kevennettäessä on liukaisen fosforin (DRP) huuhtoutumisriskin kasvaminen (Ulén ja Kalinsky 2005, Ulén ym. 2010), mikä johtuu muokkaussyvyydeltään matalammassa kevennetyssä muokkauksessa, suorakylvössä tai muokkaamattomassa kasvipeitteisessä maassa helppoliukaisen fosforin rikastumisesta maan pintaan tai matalaan pintakerrokseen (Muukkonen ym. 2007, Muukkonen 2010). Tämä todetaan mm. Uusitalon ym. (2018) pitkäaikaisissa kenttäkokeissa muokkaamattoman maan pintavalunnan suurempana liukaisen fosforin kuormituksena kynnetyyn maahan verrattuna. Liukaisen fosforin kasvusta huolimatta pinta- ja salaajavalunnasta muodostuva kokonaisfosforin vuosikuormitus muokkaamattomassa maassa oli pienempi kuin kynnetyssä maassa (Taulukko 7, vrt. Taulukko 6). Vertailu on käytännöllinen arvioitaessa kiintoaine- ja partikkelifosforikuormitusta alentavien toimenpiteiden vaikutuksia kokonaisfosforin kuormitukseen.

Taulukko 7. Fosforin keskimääräinen vuosihuuhtoutuma nurmelta kuuden vuoden aikana sekä kynnetyn ja muokkaamattoman maan fosforihuuhtoutumat yhdeksän vuoden aikana pinta- ja salaojavedessä savimaan huuhtoutumiskentällä (Uusitalo ym. 2018).

Käsittely	DRP (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> )			Part P (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> )			Kok P (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> )		
	pinta	salaoja	Yht.	pinta	salaoja	Yht.	pinta	salaoja	Yht.
Nurmi									
A+C kaista	0,21	0,08	0,28	-	-	0,37	-	-	0,66
B+D kaista	0,26	0,08	0,34	-	-	0,33	-	-	0,67
Kevätvilja									
Kyntö syksyllä	0,06	0,10	0,16	0,24	1,13	1,38	0,30	1,23	1,52
Ei-muokattu	0,24	0,23	0,48	0,19	0,44	0,63	0,43	0,68	1,11

DRP = liukoinen fosfori, Part P = partikkelifosfori, Kok P = kokonaisfosfori

Maan muokkauksen keventäminen tai korvaaminen talviaikaisella kasvi-  
peitteisyydellä vaikuttaa typpihuuhtoumiin saman suuntaisesti kuin eroosi-  
oon. Orgaanisen typen mineralisoitumisen (Luku 1.1.3) hidastuessa se voi  
olla merkittävä osa typpihuuhtoutumien hallintaa (Powlson 1993, Aronsson  
ja Stenberg 2010). Korsaethin ym. (2002) mukaan myöhennetty syyskyntö  
voi vähentää typpihuuhtoutumia, mutta Aronssonin ja Stenbergin (2010) mu-  
kaan se ei ole riittävä toimenpide sen laukaistessa toteutusvaiheessa voimak-  
kaan mineralisaation. Kasvukauden ulkopuolella typpihuuhtoutumat vähe-  
nevät merkittävästi siirryttäessä kevätkyntöön, jolloin pelto jää talven ajaksi  
sänkipeitteiseksi (Lyngstad ja Borresen 1996, Stenberg ym. 1999, Lemola ym.  
2000, Sainju ym. 2009). Syysmuokkauksesta luopuminen (suorakylvö tai  
kevätkuokkaus) kasvattaa pitkällä aikavälillä orgaanisen typen varastoa pin-  
tamaassa. Tämä lisää kasvukauden aikaista mineralisaatiota kasvien hyö-  
dynnettäväksi ja vähentää typpihävikkiä verrattuna syysmuokkaukseen pe-  
rustuvaan viljelymenetelmään (Sainju ym. 2009).

### 1.3.2 SUOJAVYÖHYKKEET

Suojavyöhyke määriteltiin aiemmissa kansallisissa ympäristöohjelmissa pel-  
lon alareunaan perustettavana keskimääräisenä 15 metrin levyisenä kasvi-  
peitteisenä vyöhykkeenä (MMM 2000c), joka vähentää sekä omalta alaltaan,  
että suojavyöhykkeen yläpuoliselta viljelykseen jäävältä peltoalalta tulevan  
pintavalunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuutta (Äijö ja Tattari 2000). Kiin-  
toainetta ja ravinteita pidättävä vaikutus riippuu suojavyöhykkeen leveydes-  
tä, suojavyöhykkeen ja pellon viljelykäytön yhdistelmästä sekä pellon kalte-  
vuudesta (Valkama ym. 2018) ja niitä suositellaan toteutettavaksi kaltevim-  
mille pelloille (Korkman ym. 1993). Taulukossa 8 on koottu monivuotisissa  
kokeissa havaittu erilaisten pellonkäyttö-suojavyöhyke-yhdistelmien kiinto-  
aine- ja fosforikuormitusta vähentävä suhteellinen osuus (Uusi-Kämpä ja  
Jauhiainen 2010) sekä tulosten perusteella laskettu peltotoimenpiteiden ja  
kosteikkojen vaikutuksiin vertautuva hehtaarikohtainen vaikutusluku.

Tulosten perusteella kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormituksen kas-  
vaessa suojavyöhykkeen pidättävä osuus ja laskennallinen hehtaarikohtainen

vaikutusluku kasvavat. Peltolohkoilla, joilla kuormitus on pieni, ei suoja-  
vyöhykkeellä ole merkittävää vaikutusta kiintoaineen ja partikkelifosforin  
kuormitukseen. Esimerkiksi tasaisilla pelloilla (kaltevuus < 1 %) pintavalun-  
nan osuus vuosivalunnasta on hyvin pieni ja kiintoaineen ja partikkelifosforin  
kuormitus ovat matalia. Suojavyöhykkeillä on liukoisen fosforin huuhtou-  
tumisriskiä lisäävä vaikutus, jonka nettovaikutus kokonaisfosforin huuhtou-  
tumaan riippuu partikkelimaisen fosforin (alenee) ja liukoisen fosforin (kas-  
vaa) huuhtoumien välisistä määräeroista (Taulukko 8). Tämä on olennainen  
ympäristöhyötyvertailu kiintoaine- ja partikkelifosforikuormitusta alentaville  
toimenpiteille.

Taulukko 8. Tavanomaisen viljelyn, laidunmaan ja suorakylvön kuormitus ja suojavyöhyk-  
keiden vaikutus pintavalunnan mukana kulkeutuneeseen kiintoaine- ja fosforikuormitukseen  
savimaan suojavyöhykekentällä. Suojavyöhykkeinä olivat poiskorjattava nurmi sekä luonnon  
nurmi, jota ei korjattu. Pellon kaltevuus alle 0,5 % ja suojavyöhykkeen kaltevuus 12–18 %.  
Tulokset ovat 4–10 vuoden keskiarvoja vuosina 1991–2008 tehdyistä kenttäkokeista (Uusi-  
Kämpä ja Jauhiainen 2010).

Pellonkäyttö ja kuormitus ilman suoja- vyöhykettä vs. kahdella suoja- vyöhykenurmella: suoja- vyöhyke 10 m leveä	Vuosikuormitus (kg/ha), suoja- vyöhykkeen suhteellinen vaikutus (%) ja hehtaari- kohtainen kuormituksen aleneminen (vaikutusluku)				Pinta- kerroksen vuosivalunta (mm)
	Kiintoaine	DRP	Part P	Kok P	
Tavanomainen viljely – ei suoja- vyöhykettä <sup>1)</sup>	1060	0,15	0,87	1,02	140
Nurmi poistetaan (vaikutus %)	-53	-7	-44	-36	
<i>Vaikutusluku (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>)<sup>2)</sup></i>	<i>562</i>	<i>0,01</i>	<i>0,38</i>	<i>0,37</i>	
Luonnonnurmi ei poisteta (vaikutus %)	-58	(+) 60	-45	-28	
<i>Vaikutusluku (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>)<sup>2)</sup></i>	<i>615</i>	<i>(+) 0,09</i>	<i>0,39</i>	<i>0,29</i>	
Laidunmaa – ei suoja- vyöhykettä <sup>1)</sup>	280	0,44	0,3	0,7	117
Nurmi poistetaan (vaikutus %)	-11	-18	-10	-13	
<i>Vaikutusluku (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>)<sup>2)</sup></i>	<i>31</i>	<i>0,08</i>	<i>0,03</i>	<i>0,09</i>	
Luonnonnurmi - ei poisteta (vaikutus %)	-14	-36	(+)7	-21	
<i>Vaikutusluku (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>)<sup>2)</sup></i>	<i>39</i>	<i>0,16</i>	<i>(+) 0,02</i>	<i>0,15</i>	
Suorakylvö – ei suoja- vyöhykettä <sup>1)</sup>	530	0,21	0,65	0,78	110
Nurmi poistetaan (vaikutus %)	-22	-5	-23	-14	
<i>Vaikutusluku (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>)<sup>2)</sup></i>	<i>117</i>	<i>0,01</i>	<i>0,15</i>	<i>0,11</i>	
Luonnonnurmi - ei poisteta (vaikutus %)	-26	-29	-25	-23	
<i>Vaikutusluku (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>)<sup>2)</sup></i>	<i>138</i>	<i>0,06</i>	<i>0,16</i>	<i>0,18</i>	

<sup>1)</sup> Kuormitukset julkaisusta Uusi-Kämpä ja Jauhiainen (2010)

<sup>2)</sup> Vaikutusluvut (kg/ha) laskettu kuormituksen ja suoja-  
vyöhykkeen vaikutusprosenttien  
perusteella. Luvut julkaisusta Uusi-Kämpä ja Jauhiainen (2010)

DRP = liukoinen fosfori, Part P = partikkelifosfori, Kok P = kokonaisfosfori

Typpikuormitukseen suojavaöhykkeiden vaikutus vaihtelee laajassa skaalassa Valkaman ym. (2018) meta-analyysiin perustuvassa erityyppisiä suojavaöhyke-pellonkäyttöyhdistelmiä vertailevassa tutkimuksessa. Tarkastelun kohteena olleiden tapausten (46 erillistä tutkimusta vuosina 1980-2017) keskimääräinen kokonaistypen reduktio oli 57 % (-90 – +55 %) ja nitraattitypen reduktio 33 % samalla vaihteluvälillä. Siis joissakin tapauksissa suojavaöhykkeet lisäsivät typen huuhtoutumaa. Tulosten mukaan pelloilta tulevan valuntaveden typpipitoisuuden kasvaessa suojavaöhykkeen tehokkuus parani. Nitraattipitoisuuden kasvaessa pintavalunnassa 0,1 mg:sta litrassa 25 mg:aan retentio parani 8 %:sta 45 %:iin ja pohjavesivalunnassa 60 %:sta 85 %:iin.

Nurmipeitteisen suojavaöhykkeen leventäminen muutamasta metristä 30 metriin paransi tehokkuutta melko vähän, mutta kaltevuuden kasvaessa tasaisesta jyrkkään suojavaöhykkeen tehokkuus parani merkittävästi. Suojavaöhykkeiden vaikutus typpikuormitukseen tasaisilla mailla perustuu suojavaöhykkeelle varatun peltoalan jäädessä pois aktiiviviljelyksestä, jolloin maan muokkaus jää pois ja orgaanisen typen mineralisaation vähentyy tai hidastuu (vrt. Luku 1.1.3). Suojavaöhykkeen ikä heikensi lopulta suojavaöhykkeiden tehokkuutta.

### 1.3.3 KOSTEIKOT

Kosteikkojen vesiensuojelutavoite alentaa valuntaveden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia perustuu pelloilta tulevan veden virtausnopeuden hidastamiseen ja puhdistusprosessien tarvitseman veden viipymisajan pidentämiseen. Tähän vaikuttavat tärkeimmät kosteikkojen ominaisuudet ovat riittävä koko suhteessa yläpuolisen valuma-alueeseen ja oikovirtauksia estävät hydraulista tehokkuutta lisäävät kosteikon rakenteet ja mittasuhteet (Howard-Williams 1985, Leonardson 1994, Willems ym. 1997, Koskiaho ym. 2002, Koskiaho 2003, 2006, Puustinen ym. 2007). Vaikutusten tehokkuutta kuvaa kosteikkoon pidättyvän kiintoaineen ja ravinteiden kuormitusosuus tulevasta kuormituksesta ja siihen perustuva laskennallinen vaikutusluku yläpuolisen peltoalan hehtaaria kohden (Taulukko 9). Vesiensuojelukosteikko kehittyy hitaasti, jopa 5–10 vuotta, jonka jälkeen kosteikko on tehokkaimmillaan (Kadlec 1989).

Vihdissä Hovin kosteikossa (suhteellinen koko 5 % ja peltoisuus 100 %) kiintoainetta ja kokonaisfosforia pidättyi kosteikon valmistuttua siihen tulevasta kuormituksesta 62–68 % ja liukoista fosforia sekä tyypeä 27–36 %. Kosteikon kehittyessä kiintoaineen ja kokonaisfosforin pidättyminen ei käytännössä muuttunut, mutta typen ja liukoisen fosforin pidättyminen nousivat 54–76 %:iin (Tauluko 9).

Taulukko 9. Hovin ja Rantamo-Seittelin kosteikkoon pidättynyt ainemäärä vuodessa kosteikkokohtaaria kohden, suluissa pidättymis-% sekä laskennallinen kuormituksen väheneminen yläpuolisen valuma-alueen peltohehtaaria kohti (vertailuluvut).

Kosteikko/jakso	Keskimääräinen kosteikkoon pidättyvä ainemäärä vuodessa kosteikkokohtaaria kohden (kg), pidättymisprosentti (%) ja vaikutusluku pidättyneen aineksen laskennalliselle peltohehtaarikohtaiselle määrälle (kg)					Vuosi- valunta mm
	Kiintoaine	Kok P	DRP	Kok N	Nit N	
Hovi						
1999–2000 <sup>1)</sup>	24 300 (68)	24,0 (62)	1,2 (27)	280 (36)	220 (35)	341
<i>Vaikutusluku</i> <sup>2)</sup>	1215	1,2	0,06	14	11	
2007–2014 <sup>1)</sup>	17 790 (74)	17,4 (58)	3,4 (76)	131 (54)	131 (69)	310
<i>Vaikutusluku</i> <sup>2)</sup>	890	0,87	0,17	7	7	
Rantamo-Seitteli						
2010–2014 <sup>1)</sup>	2 400 (7)	6,6 (12)	1,2 (24)	81 (9)	27 (6)	322
<i>Vaikutusluku</i> <sup>2)</sup>	71,2	0,2	0,04	2,4	0,8	
2015–2019 <sup>3)</sup>	2 790 (8)	6,8 (13)	3,4 (44)	210 (21)	170 (27)	328
<i>Vaikutusluku</i> <sup>2)</sup>	82,8	0,2	0,1	6,2	5,9	

<sup>1)</sup> Koskiahjo ja Puustinen (2019)

<sup>2)</sup> Kosteikkoon jäävä aines muutettu laskennallisesti kosteikon yläpuolista peltohehtaaria kohden

<sup>3)</sup> Laskettu vuosien 2015–2019 seurantajakson aineistosta (Koskiahjo ja Puustinen 2020:

julkaisematon)

Kok P = kokonaisfosfori, DRP = liukoinen fosfori, Kok N = kokonaistyyppi, Nit N = nitraattityppi

Tuusulassa Rantamo-Seittelin kosteikossa (suhteellinen koko 1,2 % ja peltoisuus 39 %) kosteikon suhteellisen koon vuoksi sen teho oli Hovin kosteikkoa pienempi. Kosteikon valmistumisen jälkeen siihen tulevasta kiintoaineesta ja kokonaisfosforista pidättyi 7–12 % ja liukoisesta fosforista ja kokonaistypistä 9–24 %. Myöhemmässä vaiheessa kiintoaineen ja kokonaisfosforin pidättyminen ei muuttunut, mutta liukoisesta fosforista ja kokonaistypen pidättyminen nousi 21–44 %:iin (Taulukko 9).

Hyvin toimivaan kosteikkoon voi pidättyä 50–70 % siihen tulevasta typpi- ja fosforikuormasta (Koskiahjo ja Puustinen 2019). Kosteikon tehokkuuden seurauksena laskennalliset kosteikkoon jäävästä ainemäärästä johdetut suojavyöhykkeiden vaikutuslukuihin (Taulukko 8) verrannolliset vaikutusluvut (Taulukko 9) kasvavat.

Kosteikon puhdistusprosessit kiintoaineelle ja ravinteille ovat erilaisia. Kuivatusveden mukana tulevasta kiintoaineesta ja partikkelifosforista osa laskeutuu kosteikon pohjalle. Kosteikossa veden liukoisen fosforin pitoisuuden ja pohjamateriaalin välillä vallitsee tasapainotila, joka säätelee liukoisen fosforin pidättymistä ja/tai vapautumista pohjamateriaalin ja veden välillä. Pohjamateriaalin fosforin sitomiskapasiteetti kasvaa, jos se sisältää rautaa ja alumiinia ja kosteikossa on hapelliset olosuhteet (Andersen 1974, Verhoeven ja Meuleman 1999).

Pääasiallinen nitraattitypen 'pidättymismekanismi' kosteikossa on pelkistyminen (denitrifikaatio) typen kaasuiksi ja haihtuminen ilmaan. Typen tehokas pelkistyminen edellyttää kosteikossa mm. orgaanista ainesta, sopivaa lämpötilaa (15–30 °C) ja veden pH:ta (edullisin pH 6,5–8,0) (Leonardson 1994, Verhoeven ja Meuleman 1999). Denitrifikaatiota voi tapahtua myös matalammissa lämpötiloissa, mutta pelkistyminen on hitaampaa. Denitrifi-

kaatiota edistävät hapettomat ja hapelliset rajapinnat, joita muodostuu kosteikoissa hajoavan orgaanisen aineen kuluttaessa veden happea (Leonardson 1994) ja kasvien juurten tuottaessa sitä lisää kosteikon pohjalle.

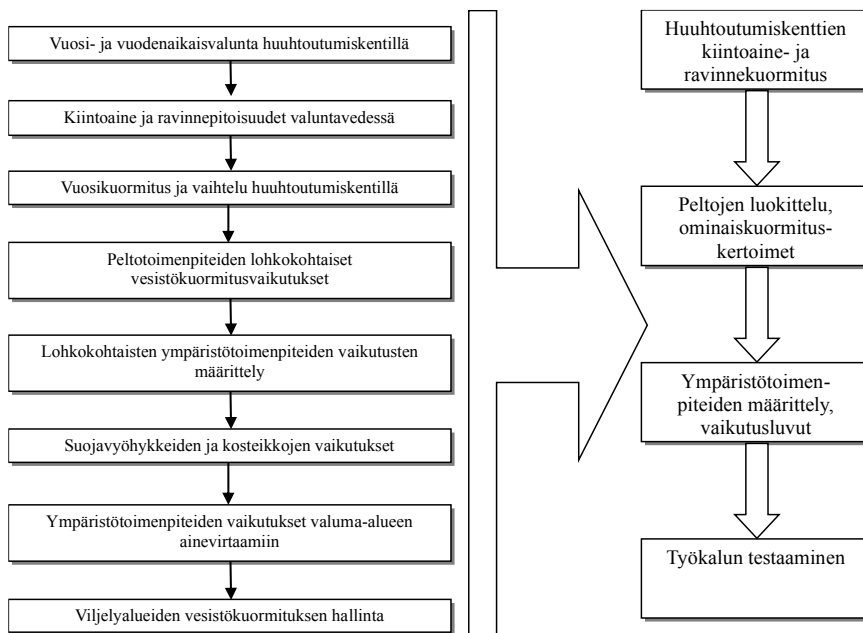
## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Vesien- ja merenhoidon toimenpideohjelmien suunnittelussa vesiensuojelutoimenpiteiden tarve arvioidaan vesistöjen vallitsevan kemiallisen ja ekologisen tilan ja tavoitetilan perusteella (Luku 1). Mitä enemmän vesistöt poikkeavat tavoitetilastaan, sitä enemmän suojelutoimenpiteitä tarvitaan. Maa-seudun kehittämisohjelman ympäristökorvausjärjestelmään sisältyy maataloudessa toteutettavia ympäristötoimenpiteitä (Luku 1). Niitä toteutetaan järjestelmään sitoutuneilla maatiloilla soveltavasti maatilojen lähtökohdista. Vesien- ja merenhoidon toimenpiteiden suunnittelun tavoite on kuitenkin ensisijaisesti vesistöjen tilan parantaminen. Tähän toimenpiteiden suunnitteluvaiheeseen tarvitaan työkalu, jolla haetaan vesistön kannalta parasta ja kattavaa ympäristöratkaisua (Luku 1.3, Taulukko 6). Suomessa on tarve työkalulle, jolla voidaan suunnitella ja arvioida maatalouden ympäristötoimenpiteiden vaikuttavuutta ja vaikutuksia valuma-alueetasolla käyttäen julkisissa tietokannoissa säännöllisesti päivitettävää tietoa (Luku 1.1, Kuva 1, Luku 1.2.3).

Tämän tutkimuksen tavoite oli tuottaa kokeellisen tutkimustiedon perusteella työkalu, jolla voidaan arvioida ja suunnitella valuma-alueittain vesiensuojelua edistävien peltotoimenpiteiden, suoja-vyöhykkeiden ja kosteikkojen vaikutusta maatalousvaltaisilta valuma-alueelta vesistöön tulevaan kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen (Luvut 1.3.1–1.3.3). Tutkimuksen osatavoitteet olivat:

- Selvittää huuhtoutumiskenttien pitkäaikaisten aineistojen pohjalta erilaisten viljelykäytäntöjen ja toimenpiteiden vaikutus kentiltä tulevaan valuntaan, valuntaveden kuormittavien aineiden pitoisuuksiin ja vuosikuormitukseen sekä tarkastella vuosi- ja vuodenaikaisvaihtelua (I, II, IV).
- Kehittää kokeellisen aineiston perusteella 'viljelyalueiden valumavesien hallintamalli' (VIHMA) -työkalu, jossa: a) luokitellaan pellot ominaisuuksiensa mukaan ja määritetään huuhtoutumiskenttien aineistoihin perustuvat ominaiskuormituskertoimet peltoluokittain erilaisille peltotoimenpiteille, b) esitetään pelto-toimenpiteiden muutoksia vastaavat kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormituksen muuttamista kuvaavat hehtaariohtaiset vaikutusluvut, ja c) liitetään suoja-vyöhykkeiden ja kosteikkojen kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormituksen muutoksia vastaavat vaikutusluvut työkaluun (I–IV).
- Testata VIHMA-työkalun toimivuus Suomen peltoalalla vuosikuormituksen laskennassa (IV) ja verrata työkalulla määritettyjä kuormitustuloksia pienten valuma-alueiden pitkäaikaisiin seurantatuloksiin sekä testata työkalun toimivuus ympäristö-toimenpiteiden vaikutusarvioissa pienellä maatalouden seuranta-verkon valuma-alueella (IV).





Kuva 4. Huuhtoutumiskenttien, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen aineistotarkastelut (vasemmalla, I–IV) ja aineistojen kokoaminen tutkimuksen neljään osa-alueeseen (oikealla, IV), joiden perusteella kehitettiin 'viljelyalueiden valumavesien hallintamalli VIHMA' -työkalu.

Tutkimus koostui vaiheittain kuvassa 4 esitetyllä tavalla huuhtoutumiskenttien aineistojen kiintoaine- ja ravinnekuormituksen ja kuormitusvaihteluiden tarkastelusta (I, II, IV), peltojen ominaisuuksien luokittelusta ja ominaiskuormituskertoimien määrittämisestä (IV), vesien suojelemaan edistävien ympäristötoimenpiteiden ja vaikutusten määrittelystä (III, IV) sekä VIHMA-työkalun testaamisesta (IV).

Tutkimuksen lähtökohtana oli arvioida pelkäästään viljely- ja muokkauskäytäntöjen ja peltojen talviaikaisen tilan vaikutusta vuosieroosioon ja ravinteiden vuosikuormitukseen sekä mahdollisuuksia hallita niitä tavanomaisilla ympäristötoimenpiteillä – peltotoimenpiteiden muutoksilla, suojavyöhykkeillä ja kosteikoilla. Tämän tutkimuksen aihepiiristä rajattiin pois mineraalilannoitteiden käytöstä aiheutuva ravinnekuormitusriskin arviointi, karjantilan käyttö peltoviljelyssä, luonnonmukainen viljely sekä uudet ravinnekuormitusta vähentävät menetelmät, kuten kipsin peltolevitys tai kosteikkoihin lisättävät rauta-alumiiniyhdisteet.

### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetty kokeellinen aineisto koostui 1980- ja 1990-lukujen taitteessa alkaneiden ja 2000-luvun alkuun jatkuneiden huuhtoutumiskenttien (I, II, IV) sekä 1990-luvun puolen välin jälkeen aloitettujen kosteikko-tutkimusten tuloksista (III). Tutkimus eteni vaiheittain (Luku 2, Kuva 4) Aurajoen huuhtoutumiskentän valunnasta ja peltotoimenpiteiden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksista (I, II) kuormitukseen vaikuttavien peltojen ominaisuuksien ja pellon talviaikaiseen tilaan vaikuttavien peltotoimenpiteiden luokitteluun (IV). Sen jälkeen määriteltiin peltoluokka-peltotoimenpideryhdistelmille kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitusta ennustavat lohkokohdaiset ominaiskuormituskertoimet. Lohkokohtaisina vesiensuojelutoimenpiteinä toteutettavien peltotoimenpiteiden muutosten hehtaarikohtaisiksi kuormitusvaikutuksiksi määritettiin muutosta vastaavien peltotoimenpiteiden ominaiskuormituskertoimien erotuksena muodostuvat vaikutusluvut (IV).

VIHMA-työkaluun sisältyvät maatalouden vesiensuojelua edistävät ympäristötoimenpiteet koostuivat lohkokohdaisista peltotoimenpiteistä (IV), suojavyöhykkeistä (I, IV) ja kosteikoista (III, IV). Lohkokohtaiset ympäristötoimenpiteet perustuivat peltojen talviaikaisen kasvipeitteisyyden pinta-alan lisäämiseen ja paljaan, muokatun pellon pinta-alan vähenemiseen. Eri toimenpiteiden vaikutuksia kuvaavat vaikutusluvut määritettiin peltoluokittain (IV). Suojavyöhykkeiden kuormituksen vähenemistä kuvaavat laskennalliset vaikutusluvut määritettiin erilaisille pellon kaltevuus-peltoimenpideryhdistelmille (IV). Kosteikkojen vaikutukset kuormitukseen ja siitä vastaavat vaikutusluvut perustuivat kokeellisen tutkimuksen tuloksiin (III, IV). Yhdistämällä peltojen ominaiskuormituskertoimet, ympäristötoimenpiteet ja niiden vaikutusluvut rakennettiin 'Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli' VIHMA (IV).

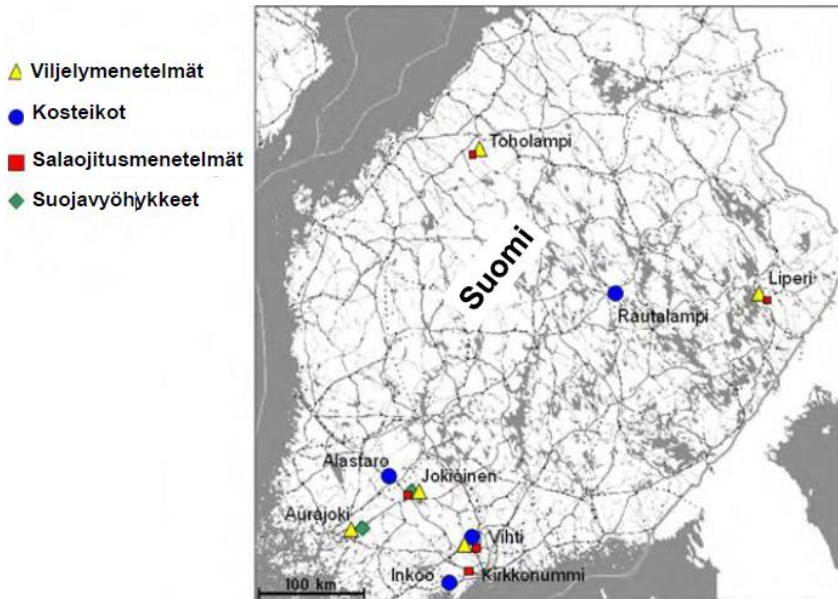
VIHMA-työkalua testattiin tässä tutkimuksessa koko maan peltoalalta muodostuneen kiintoaine- ja ravinnekuormituksen laskennassa (IV). Tuloksia vertailtiin maatalousvaltaisten pienten valuma-alueiden pitkäaikaisiin seurantatuloksiin (IV). Tässä esitettävässä yhteenvedossa vertailua laajennettiin (tulosten tarkastelussa) ympäristötoimenpiteitä koskevien tilastotietojen saatavuuden parantuessa uusimpiin KiertoVesi-hankkeessa esitettyihin maatalouden ympäristötoimenpiteiden vaikutusarvioihin sekä työkaluun tarkennettuun fosforipitoisuusluokitukseen perustuviin liukoisen fosforin huuhtoutumisriskiarvioihin (Puustinen ym. 2019). Näiden vertailujen perusteella arvioitiin työkalun käytettävyyttä ja luotettavuutta. Työkalun käyttö edellyttää tietoa kohdealueen peltoalan ominaisuuksista ja viljelykäytöstä sekä alueelle soveltuvista ympäristötoimenpiteistä (IV).

## 3.1 Huuhtoutumiskenttien aineistot

### 3.1.1 HUUHTOUTUMISKENTÄT JA KENTTÄKOKEET

Liperin, Kotkanojan, Aurajoen ja Toholammin huuhtoutumiskenttien (Kuva 5, Taulukko 10) aineistot ja tulokset yhdistettiin yhteiseen tarkasteluun (IV). Aineistot järjestettiin syksystä sadonkorjuun jälkeen alkavaan seuraavan vuoden sadonkorjuuseen päättyvään viljelyn vuosikierron (Luku 1.1.1, Kuva 2) mukaisesti hydrologisiin vuosijaksoihin (I, IV). Lintulan ja Tohmajärven kentiltä käytettiin aiemmin julkaistut tulokset (IV).

Huuhtoutumiskenttien pinta-ala oli vajaasta hehtaarista 3,2 ha:iin ja kaltevuus tasaisesta, alle 0,5 %:sta, 7–8 %:n kaltevuuteen (Taulukko 10). Kentät kattoivat maalajit savimaista hieta- ja turvemaihin. Huuhtoutumiskenttien kenttäkokeet tehtiin pääosin vuosina 1990–2002 (I, IV). Lintulan ja Tohmajärven kenttien kokeet tehtiin vuosina 1984–1986 (IV, Huhta ja Jaakkola 1993, Koskiaho ym. 2002). Kenttäkokeissa toteutetut peltotoimenpiteet esitetään Taulukossa 10.



Kuva 5. Tutkimuksessa käytettyjen huuhtoutumiskenttien ja tutkimuskosteikkojen sijainti (IV). Salaojitusmenetelmien vaikutuksia tutkimuksessa ei käsitelty.

Taulukko 10. Huuhtoutumiskenttien ominaisuudet, valuntamittaukset ja kentillä tutkitut peltotoimenpiteet (IV). Maan fosforipitoisuus perustuu happamaan ammoniumasetaattiuuttoon (P-ACC) (Vuorinen ja Mäkitie 1955).

Kenttä	Huuhtoutumiskentän ominaisuuksia					Valunta Pinta (q <sub>pk</sub> ), salaoja (q <sub>s</sub> )	Kenttäkokeet Vuosina	
	Maalaji/ syvyys (cm)		P-ACC (mg l <sup>-1</sup> )	Pinta-ala (ha)	Kaltevuus (%)			
	0–25	25–30						
Liperi	As	As	2	0,86	< 0,5	q <sub>pk</sub> , q <sub>s</sub>	1990–1999	
Kotkanoja	As	As	3,5	1,75	2	q <sub>pk</sub> , q <sub>s</sub>	1990–2002	
Aurajoki	HtS	As	22	1,05	7–8	q <sub>pk</sub>	1990–2002	
Toholampi	Ht	HHt	6,5	2,56	0,5 (1–2) <sup>1)</sup>	q <sub>pk</sub> , q <sub>s</sub>	1992–2002	
Lintula	HtS	As	6,5	3,2	3,7–5,7	q <sub>pk</sub> , q <sub>s</sub>	1986–1995	
Tohmajärvi	Ct	Ct	8,5	1,5	< 0,2	q <sub>pk</sub> , q <sub>s</sub>	1984–1986	
Kenttäkokeiden peltotoimenpiteet (I, IV) <sup>2)</sup>								
	NP	SST	CU	NP+WW	STU	DS	GL	BZWW
Liperi	x			x	x		x	
Kotkanoja	x	x			x		x	
Aurajoki	x	x	x	x	x	x	x	x
Toholampi	x						x	
Lintula	x	x						
Tohmajärvi	x						x	

<sup>1)</sup> suluissa sivukaltevuus

<sup>2)</sup> x: sisältyy, tyhjä: ei sisälly

Maalajit: As = aitosavi, HtS = hietasavi, Ht = hieta, HHt = hieno hieta, Ct = saraturve

Peltotoimenpiteet: NP syyskynttö (20–25 cm), SST matala syyssänkimuokkaus (< 10 cm), CU syvä syyssänkimuokkaus (10–15 cm), NP+WW kyntöön ja kylvömuokkaukseen perustuva syysvilja, STU talviaikainen sänki, DS syysuorakylvö, GL nurmi, BZWW suojavyöhyke syysviljaan

### 3.1.2 VALUNNAN MITTAAMINEN SEKÄ KIINTOAINEN- JA RAVINNEPITOISUUKSIEN MÄÄRITTÄMINEN

Huuhtoutumiskenttien pintakerros- ja salaojavalunnan määrä (Taulukko 10) mitattiin kaatuvilla mitta-astioilla (I, IV) paitsi Lintulan kentällä limnigrafilla V-mittapadon purkautumiskäyrän perusteella (Koskiaho ym. 2002). Pohjavedeksi muodostuvan veden määrää ei mitattu. Kaksi-kolme kertaa viikossa otetuista ns. kokoomavesinäytteistä määritettiin kiintoainepitoisuus (SFS-EN 872), kokonaisfosforipitoisuus (SFS 3026), liukoinen fosfori (DRP, SFS 3025) (II) sekä kokonaistyyppi- ja nitraattityyppipitoisuus (I, II, IV). Partikkeli-fosforin (PP) pitoisuus määritettiin kokonaisfosforin ja liukoisen fosforin (DRP) pitoisuuksien erotuksena.

### 3.1.3 VUOSIKUORMITUS – VALUNNAN, KIINTOAINEN JA RAVINNEPITOISUUKSIEN VUOSI- JA VUODENAIKAISVAIHTELUT

Huuhtoutumiskenttien kiintoaineen ja ravinteiden kuormitus laskettiin periodimenetelmällä (I, II, IV, Kauppi ja Koskiaho 2003) jokaisen havaintojakson valunnan määrän ja keskimääräisen valunnan kiintoaine- tai ravinne-pitoisuuden perusteella (kaava 1):

$$L = \sum_{i=1}^n q_i * c_i \quad (1)$$

jossa L = kuormitus seurantajaksolla (kg ha<sup>-1</sup>)  
 q<sub>i</sub> = valunta seurantajaksolla i  
 c<sub>i</sub> = keskimääräinen valunnan pitoisuus seurantajaksolla i  
 n = valuntatapahtumien ja vesinäytteiden lukumäärä seurantajaksolla

Yhdistetyssä aineistossa eri peltotoimenpiteiden kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitusta tarkasteltiin peltotoimenpiteiden huuhtoutumiskenttien välisinä vertailuina (IV). Lintulan (Vihti) ja Tohmajärven huuhtoutumiskentillä toteutettujen toimenpiteiden (Taulukko 10) vaikutusarviot perustuivat aiemmin julkaistuihin tutkimustuloksiin (Huhta ja Jaakkola 1993, Koskiahho ym. 2002), joista Tohmajärven kentältä olivat käytettävissä vain typen ja fosforin vuosihuuhtoumat.

Tässä tutkimuksessa yhdistetyn aineiston valuntaa tarkasteltiin erillisenä ilmiönä hydrologian näkökulmasta (so. valuntojen samankaltaisuus) ja valunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia pellon muokkauksen/kasvipeitteisyyden näkökulmasta (pitoisuuserot). Pitoisuuksia tarkasteltiin myös valunnan kiintoainepitoisuutta selittävien, vähän kuormittavien (kuiva syksy ja luminen talvi, Ks-Lt) ja kuormittavien (sateinen syksy ja vähäluminen talvi, Ss-VLt) vuosien mukaisina havaintoina (vuosityyppiluokittelu, II). Vuosiluokittelu perustui kiintoainepitoisuutta selittäviin yli 6 mm:n vuorokausisateen ylittävien syyskauden (1.9.–20.12.) sadepäivien lukumäärään sekä talvikaudella (21.12.–28.2.) vuorokauden keskilämpötilan 0 °C ylittävien ja lumen vesiaron 2 mm:n alittavien päivien lukumäärään (II). Muiden huuhtoutumiskenttien kuormittavien vuosien jaottelussa noudatettiin edellä esitettyä Aurajoen kentän tutkimusvuosien vuosiluokittelua.

Aineistotarkastelut jäsenneltiin seuraavasti ryhmiteltyinä (I, II, IV):

#### *Huuhtoutumiskenttien yhdistetty aineisto*

- Keskimääräisen vuosi- ja vuodenaikaisvalunta ja vaihtelu – hydrologia
- Peltotoimenpiteiden ja huuhtoutumiskenttien välinen valunnan vertailu – hydrologinen samankaltaisuus ja huuhtoutumiskenttien sijainti
- Keskimääräinen valunnan kiintoaineen ja ravinteiden vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus ja vaihtelu – muokkaus vs. kasvipeitteisyys ja hydrologinen vuosivaihtelu
- Peltotoimenpiteiden ja huuhtoutumiskenttien välinen valunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuuden vertailu – muokkaus vs. kasvipeitteisyys ja huuhtoutumiskenttien olosuhteet

### *Vuosityyppien mukaan luokiteltu aineisto*

- Vuosityyppien välinen vuosi- ja vuodenaikaisvalunnan vertailu – hydrologia
- Vuosityyppien välinen valunnan kiintoaineen ja ravinteiden vuosi ja vuodenaikaispitoisuuksien vertailu – muokkaus vs. kasvipeitteisyys ja huuhtoutumiskenttien olosuhteet

Aurajoen huuhtoutumiskentän pitoisuudet ovat julkaisuissa I ja II esitettyjä tuloksia. Eri toimenpiteiden valuntapainotteisten kiintoaineen, partikkelifosforin ja liukoisin fosforin (DRP) vuosipitoisuuksien tilastollisia eroja tarkasteltiin parittaisena vertailuna (non-parametric Wilcoxon test) kontrollimenetelmään (syysvehnä) artikkelissa I. Vuosityyppien välillä toimenpiteiden valuntapainotteisten vuosipitoisuuksien tilastollisia eroja sekä näiden yhdysvaikutuksia tarkasteltiin artikkelissa II (Univariate Analysis of Variance). Kotkanojan, Toholammin ja Liperin huuhtoutumiskenttien kiintoaineen ja ravinteiden valuntapainotteiset vuosipitoisuudet ovat julkaisussa IV esitettyjen vuosikuormituslaskelmien taustalla oleva pitoisuusaineisto.

## **3.2 Peltojen ominaisuuksien luokittelu**

### **3.2.1 KALTEVUUS JA MAALAJI**

Tutkimuksessa koko maan peltoala luokiteltiin neljän maalajiryhmän ja viiden kaltevuusluokan yhdistelmänä kahteenkymmeneen osaan (Taulukko 11). Luokittelu toimi huuhtoutumiskoekenttien tuloksiin perustuvien peltotoimenpiteiden ominaiskuormituskertoimien alustana (IV).

Peltojen kaltevuuden ja maalajin luokittelu (IV) perustui 1990-luvun alussa tehtyyn Suomen peltojen kuivatustilatutkimukseen (KUTI). Kuivatuksen tilaa selvittävän tutkimuksen ohella hankkeessa inventoitiin laajasti peltojen vesistökuormitukseen vaikuttavia peltojen ominaisuuksia (Puustinen ym. 1994). Peltoluokittelun lähtökohta oli peltotoimenpiteiden vaikutus kiintoaineen vuosikuormitukseen ko. ominaisuuksien muuttuessa (IV). Koko maan peltojen keskikaltevuus oli KUTI-tutkimuksen mukaan 1,6 % (mediaani 0,8 %). Kaltevuuden luokittelussa tavoitteena oli muodostaa suuria, toisistaan erottuvia peltoalaryhmiä. Suomen koko peltoalan (2,2 milj. ha) suhteellinen jakauma peltoluokkiin esitetään Taulukossa 11.

Taulukko 11. Suomen peltojen suhteellinen (%) jakauma maalajin ja kaltevuuden muodostamissa peltoluokissa (IV).

Maalaji	Kaltevuus (%)					Yhteensä
	<0,5	0,5–1,5	1,5–3	3–6	>6	
Savi	12,8	9,2	6,8	3,7	2,2	34,7
Hiesu	5,3	4,1	3,3	2,0	1,3	16,0
Hieta	11,5	8,6	7,3	4,4	3,2	35,0
Eloperäinen	9,1	2,9	1,8	0,3	0,2	14,3
Yhteensä	38,7	24,8	19,2	10,4	6,9	100

### 3.2.2 PELTOJEN FOSFORIPITOISUUS

Peltojen muokkauskerroksen happamalla ammoniumasetaatilla uutettu helppoliukoisen fosforin pitoisuus (ns. viljavuusfosfori,  $P_{AAC}$ ) jaettiin kolmeen luokkaan ( $P_{AAC} < 8$  mg l<sup>-1</sup>, 8–14 mg l<sup>-1</sup> ja >14 mg l<sup>-1</sup>) (IV). Vuosien 2000–2006 viljavuusfosforitilaston mukaan koko maan peltoalasta alimassa fosforin pitoisuusluokassa oli 45 %, keskimmaisessä 25 % ja korkeimmassa luokassa 30 % pelloista (IV). Viljavuusanalyysin tulkinassa ( $P_{AAC}$ ) fosforin pitoisuusrajat laadullisessa luokittelussa maan viljavuudelle (huono, tyydyttävä, hyvä, korkea, arveluttavan korkea) poikkeavat toisistaan eri maalajiryhmissä. Tämän tutkimuksen luokittelussa kaikilla maalajiryhmillä käytettiin samaa edellä määritettyjä pitoisuuden luokittelurajoja.

Myöhemmin peltojen fosforipitoisuus laajennettiin viisiportaiseksi ( $P_{AAC} < 6$  mg l<sup>-1</sup>, 6–9,9 mg l<sup>-1</sup>, 10–14,9 mg l<sup>-1</sup>, 15–24,9 mg l<sup>-1</sup> ja >25 mg l<sup>-1</sup>), joihin peltoala jakaantui vuosien 2000–2009 viljavuusfosforitilaston mukaan: osuudet pienimmästä fosforiluokasta luokasta alkaen olivat 26 %, 34 %, 19 %, 14 % ja 6 % (Puustinen ym. 2019). Tarkennetun fosforiluokituksen vaikutuksia liukoisen fosforin kuormitusarvioihin tarkastellaan tulosten tarkasteluosassa (luku 5).

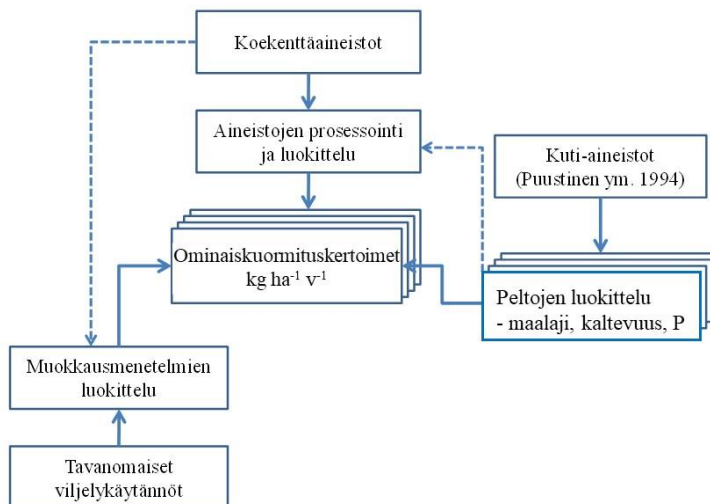
## 3.3 Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli - Vihma

VIHMA-työkalun ydin ovat huuhtoutumiskenttien aineistosta määritetyt ominaiskuormituskertoimet sekä vesistökuormitusta vähentävien peltotoimenpiteiden, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen kuormitusmuutosta kuvaavien vaikutuslukujen kytkeminen osaksi työkalun käyttöä (IV, Kuva 4). Ominaiskuormituskertoimet ja vesistökuormitusta vähentävien toimenpiteiden vaikutusluvut toimivat työkalun 'malliparametreina', kertoimina.

### 3.3.1 VIHMAN OMINAISKUORMITUSKERTOIMET

Peltotoimenpiteiden ominaiskuormituskertoimet (Kuva 6) eri peltoluokissa (Taulukko 11) määritettiin joko suoraan tai välillisesti huuhtoutumiskenttien (Luku 3.1.1, Taulukko 10) tulosten perusteella (IV). Savimaiden jyrkimmässä peltoluokassa kiintoaineen ja partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimia määrittäessä sovellettiin Aurajoen, tasaisimmassa kaltevuusluokassa Liperin ja keskimmaisessä kaltevuusluokassa Kotkanojan kentän tuloksia (IV). Aurajoen kuormitustulokset perustuivat pintavaluntaan (salaojavaluntaa ei mitattu), Kotkanojalla pinta- ja salaojavaluntaan ja Liperissä salaojavaluntaan (pintavaluntaa ei esiintynyt). Kaltevimmassa peltoluokassa ominaiskuormituskertoimia korotettiin salaojavalunnan puuttumisen vuoksi 15 % koekentän mittaustuloksiin verrattuna (IV).

Aurajoen huuhtoutumiskentältä kuormitustuloksia (Luku 3.1.1, Taulukko 10) oli kaikista VIHMAN peltotoimenpiteistä ja ominaiskuormituskertoimilla on kokeellinen vastine (I, II, IV). Tasaisimmassa ja keskimmaisessä peltoluokassa kaikille muokkaus- ja kasvipeitteisyyskäsittelyille ei ollut suoraa vastinetta kenttäkokeista. Ne johdettiin Aurajoen kentän tuloksiin (I) perustuvien eri peltotoimenpiteiden ominaiskuormituskertoimien suhteellisten erojen perusteella (IV). Kahdelle savimaiden kaltevuusluokalle (0,5–1,5 ja 3–6 %) ei ole vertailtavissa olevaa huuhtoutumiskenttää, ja näille luokille kuormituskertoimet johdettiin lineaarisesti interpoloimalla viereisten kaltevuusluokien ominaiskuormituskertoimista (IV).



Kuva 6. Ominaiskuormituskertoimien määrittäminen kiintoaineelle, partikkelifosforille, liukoiselle fosforille, kokonaistypelle ja nitraattitypelle huuhtoutumiskoekenttientulosten perusteella erilaisille muokkaus- ja pellon kasvipeitteisyyskäsittelyille (peltotoimenpiteet) eri peltoluokissa ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ), ( $P=P_{\text{AAC:n}}$  mukaan) (IV).



Peltoluokittelussa hieta- ja sitä karkeampien kivennäismaiden (Taulukko 11) keskimäistä kaltevuusluokkaa (1,5–3,0 %) vastasi Toholammin huuhtoutumiskenttä (Taulukko 10). Kentällä toteutetun syyskynnön ja pysyvän nurmen kuormitustulosten perusteella määriteltiin ominaiskuormitusker- toimet (eroosio ja partikkelifosfori) vastaavaan peltoluokkaan. Muut tämän maalajiryhmän kertoimet (kaltevuusluokat ja peltotoimet) johdettiin nurmen ja syyskynnön ominaiskuormituskertoimista savimaiden peltotoimenpiteiden välisten suhteellisten erojen perusteella (IV).

Kokeellisten kuormitustulosten niukkuuden maalajiryhmiä myös yhdis- teltiin Taulukossa 12 esitetyllä tavalla joidenkin ominaiskuormituskertoimien osalta (IV). Hiesumailla kiintoaineen ominaiskuormituskertoimina sovellet- tiin savimaiden peltotoimenpiteiden kuormituskertoimia ja partikkelimaisen fosforin ominaiskuormituskertoimet määritettiin savi- ja hietamaiden pelto- toimenpiteiden ominaiskuormituskertoimien keskiarvoista (IV).

Taulukko 12. Käytettävissä olleiden kokeellisen huuhtoutumiskenttätutkimuksen tuloksiin perustuneiden viljelykäyttöä ja peltoluokkia koskevien ominaiskuormituskertoimien maalajiryhmittely VIHMAssa.

Peltojen vesistökuormituksen ominaiskuormituskertoimet ja maalajiryhmät	Ominaiskuormituskertoimet maan viljelykäytön ja peltoluokan mukaan maalajiryhmittäin	
	Viljelykäyttö	Peltoluokka
<i>Kiintoaineen kertoimet</i>		
Savi- ja hiesumaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Pellon kaltevuusluokka
Karkeat kivennäismaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Pellon kaltevuusluokka
Eloperäiset maat	Sama kerroin eri käsittelyille	Sama kerroin eri fosforiluokissa
<i>Partikkelifosforin kertoimet</i>		
Savimaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Pellon kaltevuusluokka
Hiesumaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Pellon kaltevuusluokka
Karkeat kivennäismaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Pellon kaltevuusluokka
Eloperäiset maat	Sama kerroin eri käsittelyille	Sama kerroin eri fosforiluokissa
<i>Liukoisen fosforin kertoimet</i>		
Kaikki kivennäismaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Pellon fosforipitoisuusluokka
Eloperäiset maat	Sama kerroin eri käsittelyille	Sama kerroin eri fosforiluokissa
<i>Typen kertoimet</i>		
Savi- ja hiesumaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Ei kaltevuusluokittelua
Karkeat kivennäismaat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Ei kaltevuusluokittelua
Eloperäiset maat	Muokkaus-kasvipeitteisyys	Ei kaltevuusluokittelua

Liukoisen fosforin (DRP) ominaiskuormituskertoimet eri peltotoimenpiteille määritettiin kivennäismaille kolmessa fosforipitoisuusluokassa ja eloperäisille maille kiinteänä kertoimena (Taulukko 12). Kivennäismaiden kertoimet johdettiin maan fosforipitoisuuden perusteella (suuri pitoisuus: Aura-joki, pieni pitoisuus: Kotkanoja) kaikille maan fosforipitoisuusluokille ja muokkaus-kasvipeitteisyyskäsittelyille huuhtoutumiskenttien tulosten perusteella (IV). Liukoisen fosforin valuntapainotteisen keskimääräisen vuosipitoisuuden ja maan fosforipitoisuuden välinen suhde oletettiin lineaariseksi laboratoriotutkimusten tulosten perusteella (Uusitalo ja Aura 2005). Ominaiskuormituskertoimet määritettiin eri peltotoimenpiteille lineaarista suhdetta kuvaavilta suorilta fosforipitoisuusluokkien keskikohdasta (IV Kuva 5).

Kokonaistypen ja nitraattitypen ominaiskuormituskertoimet määritettiin muokkaus-kasvipeitteisyyskäsittelyille maalajiryhmittäin (Taulukko 12). Savi- ja hiesumaan kokonaistypen (Tot N) ja nitraattitypen (Nit N) ominaiskuormituskertoimet eri peltotoimenpiteille muodostettiin savimaiden huuhtoutumiskenttien (Aurajoki, Kotkanoja, Liperi) keskimääräisenä typen vuosikuormana (IV). Karkeiden kivennäismaiden ominaiskuormituskertoimet (syyskyntö, nurmi) muodostettiin Toholammin vuosikuormitustuloksista ja peltotoimenpiteiden välinen suhteellinen ero savimaiden ominaiskuormituskertoimista.

Eloperäisten maiden ominaiskuormituskertoimet perustuivat Tohmajärven huuhtoutumiskentän kuormitusmittausten vuosikeskiarvoihin (IV). Ominaiskuormituskertoimen ala- ja yläarvo (*Ksy-Lta* – *Ssy-VLta*) määritettiin hydrologisesti erilaisten vuosityyppien mukaan (Luku 3.1.3). Arvot kuvaavat kahteen osaan luokitellun aineiston eli vähän kuormittavien ja kuormittavien vuosien keskimääräistä vuosikuormitusta (II, IV).

### **3.3.2 PELTOVILJELYN VESIENSUOJELUTOIMENPITEET VIHMASSA**

Peltoviljelyn vesiensuojelua edistäviksi ympäristötoimenpiteiksi VIHMAssa määritettiin hehtaarikohtaista kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitusta vähentävät lohko-kohtaiset toimenpiteet sekä suojavyöhykkeet ja kosteikat (Kuva 7, IV). Lohko-kohtaisten toimenpiteiden ja suojavyöhykkeiden ympäristövaikutuksiin perustuvassa arvioinnissa keskeisimpänä lähtökohtana oli peltolohkoilla toteutettava eroosion torjunta. Samanaikainen ravinnehuuhtoutumien aleneminen oli toimenpiteiden lisäarvoa tuova ominaisuus. Kosteikkojen toiminnan arvioinnissa oleellista oli, että vaikutukset kohdistuivat peltolohkoilta jo lähteneeseen kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen.

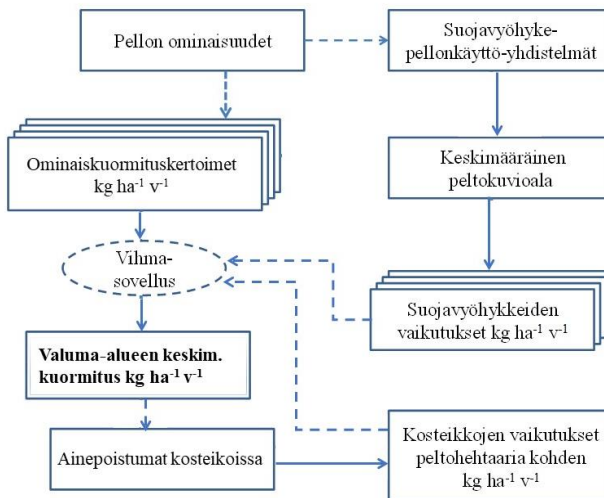
#### *Lohko-kohtaiset ympäristötoimenpiteet*

Lohko-kohtaisiksi ympäristötoimenpiteiksi määriteltiin peltotoimenpiteiden muutokset, joiden seurauksena pellon pinnan laatu muuttuu suojaamatto-

masta paljaasta maasta kasvipeitteeseen suuntaan kasvukauden ulkopuolisen jakson ajaksi syksystä keväeseen. Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvut perustuivat VIHMAssa peltotoimenpiteiden muutosta vastaaviin kiintoaineen ja ravinteiden ominaiskuormituskertoimien (Luku 3.3.1, Kuva 6, Taulukko 12) peltoluokkakohtaisiin erotuksiin (IV). Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden laaja-alaiset vaikutukset vallitsevaan kuormitukseen (kuormitus ilman ympäristötoimenpiteitä) VIHMAssa perustuvat toimenpidekohtaisiin vaikutuslukuihin ja muutoksen laajuutta kuvaaviin toimenpiteiden pinta-alaan.

### *Suojavyöhykkeiden ja peltoimenpiteiden yhdistelmät eri kaltevuusluokissa*

Peltolohkojen reunaan perustettavien suojavyöhykkeiden kaltevuus-peltotoimenpide-yhdistelmiin oli käytettävissä niukasti tuloksia huuhtoutumiskentiltä. Tässä tutkimuksessa suojavyöhyke-peltotoimenpide-yhdistelmien vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen arvioitiin kaltevuusluokittain suojavyöhykkeettömän ja suojavyöhykkeellisen peltolohkon kuormituseroihin perustuvilla menetelmäkohtaisilla vaikutusluvuilla (Kuva 7 ja IV). Valuma-alueetasolla laskennalliset vaikutukset perustuvat suojavyöhykkeiden kokonaismäärään.



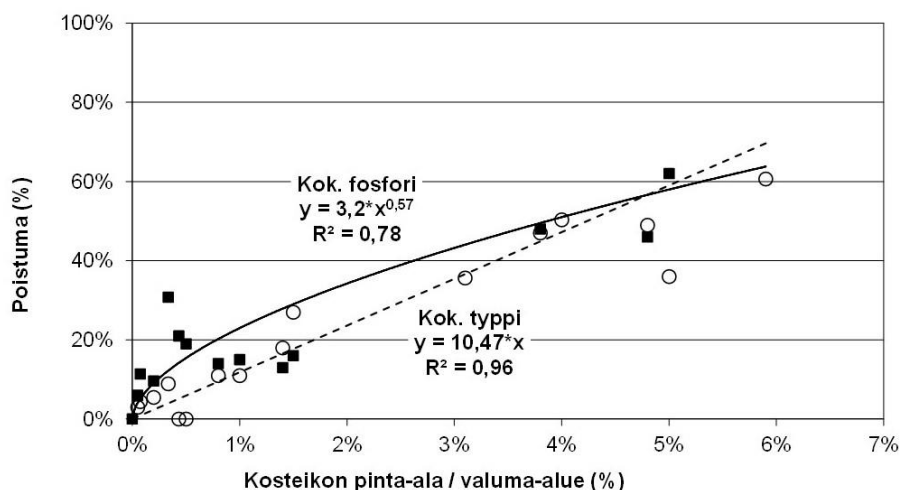
Kuva 7. Valuma-alueen peltoviljelyn laskennallista kuormitusta alentavat suojavyöhyke-pellonkäyttö-yhdistelmien ja kosteikkojen vaikutusluvut kiintoaineelle, partikkelifosforille, liukoiselle fosforille, kokonaistypelle ja nitraattitypelle ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) VIHMAssa (IV).

Suojavyöhyke-kaltevuus-peltotoimenpide yhdistelmien hehtaarikohtaista vuosikuormituksen muutosta kuvaavat laskennalliset vaikutusluvut määritettiin keskimääräisellä 2,2 ha:n peltolohkolla, jonka pituus on 183 m ja uomaan tai vesistöön rajoittuva leveys 120 m (Puustinen ym. 1994). Lohkolle

perustetun 15 m:n leveän suojavyöhykkeen ja pelto-pellonkäyttö yhdistelmän vuosikuormitus määräytyi nurmipeitteisen suojavyöhykkeen (0,18 ha) ja viljelykäyttöön jäävän pellon osan (2,02 ha) pinta-alojen ja vastaavien ominaiskuormituskertoimien (Luku 3.3.1) perusteella. Suojavyöhyke-peltotoimenpide-yhdistelmien vaikutusluvut eri kaltevuusluokissa määritettiin suojavyöhykkeettömän ja suojavyöhykkeellisen lohkon kuormituseroina (IV).

#### *Eri kokoiset vesiensuojelukosteikot*

Eri kokoisten kosteikkojen pidätystehokkuus (hehtaariohtainen vaikutusluku kuvassa 7) perustui kosteikon ja yläpuolisen valuma-alueen pinta-alojen väliseen suhteeseen ja sen määrittämään veden viipymäaikaan (III). Kosteikon suhteellisen koon kasvaessa veden viipymäaika pitenee ja valuntavedessä tulevalle kiintoaineelle ja ravinteille jää enemmän aikaa pidättyä kosteikkoon (Kuva 8). Valuntaveden viipymäaika sovellettiin maatalouden vesiensuojelua edistävien kosteikkojen suunnittelu- ja mitoitusohjeissa (Puustinen ym. 2007) kosteikon tehokkuuden määrittämisessä. Tässä tutkimuksessa VIHMAN erikokoisten kosteikkojen vaikutukset määritettiin portaittain suhteelliselta kooltaan 0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4 %, 0,5 %, 1,0 %, 1,5 %, 2,0 %, 3,0 %, 4,0 % ja 5,0 % kokoisille kosteikoille (IV).



Kuva 8. Kosteikon tehokkuus riippuu sen suhteellisesta koosta (IV). Y on valuntaveden kuljettamasta kokonaisfosforista ja kokonaistypestä kosteikkoon pidättynyt osuus ja x kosteikon pinta-alan suhde yläpuolisen valuma-alueen pinta-alaan (Puustinen ym. 2007).

Kokonaisfosforin pidättymistä kuvaavaa yhtälöä (Puustinen ym. 2007, Kuva 8) sovellettiin VIHMAssa partikkelimaiseen fosforiin ja kiintoaineen pidättymiseen. Kokonaistypen yhtälöä sovellettiin nitraattitypen pidättymi-

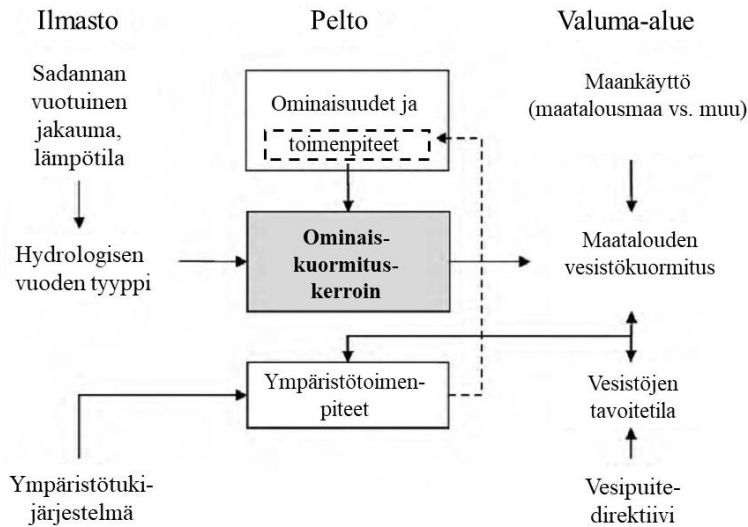
seen. Liukoisen fosforin pidättyminen kosteikkoon arvioitiin lineaarisesti kosteikon suhteellisen koon (0–5 %) välillä erikokoisille kosteikoille, jossa pidättymisprosentti oli 0–45 %. Kosteikkoon tuleva kiintoaineen ja ravinteiden määrä perustui yläpuolisen peltoalan peltoluokkien pinta-alaan, peltoimenpiteiden pinta-alaan ja ominaiskuormituskertoimiin. Peltotoimenpiteiden ja suojavyöhykkeiden vaikutuksiin verrannollinen kosteikkojen tehokkuutta kuvaavaa vaikutusluku on kosteikkoon pidättyvä ainemäärä jaettuna yläpuolisen valuma-alueen peltoalalla (IV).

### 3.3.3 VIHMATYÖKALUN TOIMINTAPERIAATE

Luvuissa 3.3.1–3.3.2 kuvatuista osista muodostuvan VIHMA-työkalun toimintaperiaate esitetään Kuvassa 9. Työkalua käytetään kuormitusarvioiden ja ympäristötoimenpiteiden vaikutusten laskennassa kaksivaiheisena taulukkolaskentana (IV). Ensimmäisessä vaiheessa lasketaan tarkasteltavan alueen viljelykäytäntöjä (pellon talviaikainen tila) vastaava kiintoaine- ja ravinnekuormitus ilman ympäristötoimenpiteitä (kuormituksen vertailutaso) ja toisessa vaiheessa viljelykäytäntöjen muutoksia ja ympäristötoimenpiteiden vaikutuksia vastaava kiintoaine- ja ravinnekuormitus (muuttunut kuormitus).

Työkalun syöttötietoina käytetään tarkasteltavan alueen peltojen ominaisuuksia kuvaavaa hehtaarimääristä peltoluokkajakaumaa (Luvun 3.2.1 Taulukossa 11 valtakunnallinen jakauma), viljelyn vuosikierrossa (Luku 1.1.1, Kuva 2) pellon syysmuokkaukseen ja talviaikaiseen kasvipeitteisyysasteeseen vaikuttavaa (Luku 1.1.3, Kuva 3) alueen viljelykasvien pinta-alaa sekä pellon fosforitilajakaumaa. Viljelykasvien pinta-alaa vastaava peltojen talviaikainen hehtaarimääräinen tila kootaan excelin taulukkopohjiin peltoluokittain (kaltevuus vs. maalaji). Lohkokohtaisen viljelykasveja ja fosforitilaa koskevan paikkatiedon puuttuessa molempien tekijöiden peltoluokkakohtaiset pinta-alatiedot määritetään koko tarkasteltavan alueen viljelykasvien suhteellisten pinta-alaosuuksiensa ja fosforipitoisuuden jakauman mukaan (IV).

Alueen kiintoaine- ja ravinnekuormituksen arvioinnissa laskentataulukoiden yhdistelmäsolujen pinta-ala (so. peltoluokka-viljelykasviin perustuva talviaikainen tila) kerrotaan niitä vastaavilla jäsentelyltään samanlaisten kiintoaine- ja partikkelifosforin kerrointaulukoiden kertoimilla (Luku 3.3.1 Taulukko 12, Liitteet 1-2), peltojen fosforitilan luokkajakauman mukaisesti pellon talviaikaista tilaa vastaavien liukoisen fosforin kertoimilla (Luku 3.3.1 Taulukko 12, Liite 3) ja maalajiryhmittäin pellon talviaikaista tilaa vastaavien kokonaistypen ja nitraattitypen kertoimilla (Luku 3.3.1 Taulukko 12, Liite 4). Alueen kiintoaine- ja ravinnekuormitus on solukohtaisten kuormitusarvioiden summa. Ilman ympäristötoimenpiteitä, esimerkiksi koko kevätilja-ala kynnetään pääsääntöisesti syksyllä, laskettu kuormitus on vertailutaso, johon vaihtoehtoisia ympäristötoimenpiteiden vaikutuksia verrataan.



Kuva 9. VIHMA-työkalun toimintaperiaate (IV). Valuma-alueen kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitus lasketaan ominaiskuormituskertoimien ja eri peltoluokkiin sisältyvien peltohehtaarien ja viljelykäytön mukaan (IV). Ympäristötoimenpiteet ovat lohkokohtaisia toimenpiteitä, suojavyyhykkeitä ja kosteikkoja.

Kuormitusta alentavien toimenpiteiden vaikutusten laskennassa pelto-  
luokkien ja viljelykasvien pinta-alojen rajoissa talviaikaista pellon tilaa muu-  
tetaan lisäämällä kevennettyä muokkausta ja kasvipeitteisyyttä sekä laske-  
taan vaihtoehtoisten suojavyyhyke- ja kosteikkomäärien vaikutusarviot. Liu-  
koisen fosforin huuhtoumien alentamista arvioidaan lisäämällä fosforipitoi-  
suusluokkien peltoalaosuutta alempiin luokkiin. Toimenpiteiden kokonais-  
vaikutukset tarkasteltavalla alueella on kuormituksen vertailutason ja toi-  
menpiteiden jälkeisen kuormitusarvion erotus.

Kuormitustulokset esitetään pelloilta lähtevänä keskimääräisenä hehtaari-  
kohtaisena ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) vuosikuormituksena ja alueen kokonaisvuosikuor-  
mituksena ( $\text{kg v}^{-1}$ ,  $\text{tn v}^{-1}$ ). Tuloksissa esitetään vastaavat kuormitusluvut myös  
peltojen kaltevuusluokittain ja peltotoimenpiteittäin (syyskynä, syysvilja ja  
nurmi) sekä suhteellisina osuuksina alueen kokonaiskuormituksesta. Kuor-  
mitustulokset ilman ympäristötoimenpiteitä vastaavat tarkasteltavan alueen  
pitkäaikaista keskimääräistä kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Vaihtoeh-  
toisten ympäristötoimenpiteiden yhdistelmällä saadaan laskettua alueen  
kuormituksen alentamismahdollisuudet.

Käytettäessä ominaiskuormituskertoimien vaihteluvälin ylä- ja alarajan  
ominaiskuormituskertoimia voidaan arvioida vuosikuormituksen keskimää-  
räistä hydrologista vuosivaihtelua kolmella eri tasolla (IV). Pitkän aikavälin  
keskimääräistä vuosikuormitusta vertautuu pienten valuma-alueiden pitkä-  
aikaisiin seurantoihin perustuviin keskimääräisiin ns. ominaiskuormituslu-  
kuihin. Kuormittavien vuosien (Ssy-VLta) ja vähän kuormittavien vuosien

(Ksy-Lta) mukaan lasketut kuormitusarviot kuvaavat keskimääräistä vuosikuormituksen vaihtelua.

### 3.3.4 VIHMATYÖKALUN TESTAAMINEN

Tässä tutkimuksessa kehitetyn VIHMA-työkalun käyttötarkoitus on soveltaa sitä millä tahansa alueella peltoviljelyn aiheuttaman vallitsevan kuormituksen ja ympäristötoimenpiteiden vaikutusten arviointiin. Työkalun käyttö ei edellytä alueelta kokeellista kuormitustietoa sen tuottaessa itse alueen ominaisuuksiin perustuvat kuormitusarviot.

VIHMA-työkalua testattiin vuoden 2004 Suomen koko peltoalalla ja viljelytiedoilla sekä maatalouden seurantaverkkoon kuuluvalla Savijoen valuma-alueella vuosien 2000–2005 viljelyalalla ja ympäristötoimenpiteillä (IV). Koko peltoalan kasviryhmäkohtaiset pinta-alat ovat taulukossa 13. Vuoden 2004 peltoviljelyn kuormitusarvioinnissa nurmiala oli talvikauden yli pysyvästi nurmipeitteisenä (28 % peltoalasta) ja syysvilja-ala toteutettu kynnettyyn ja kylvömuokattuun maahan (3 %). Kevätviljan, muiden viljelykasvien ja kesantoalan (avokesanto) perusmuokkaus tehtiin syyskynntönä. Talven yli paljaana vailla kasvipeitteisyyttä oli 69 % peltoalasta (IV). Koko peltoalaa kattavia VIHMA-työkalun syöttötiedoiksi soveltuvia tietoja ympäristötoimenpiteistä ei ollut käytettävissä vuodelta 2004.

Savijoen valuma-alueella peltojen maalaji oli savea ja pellot melko tasaisia. Peltoalasta 47 %:lla kaltevuus oli alle 1,5 % ja 10 %:lla suurempi kuin 6 %. Peltoalasta 43 %:lla kaltevuus oli välillä 1,5–6 %. Koko peltoalasta (601 ha) 430 ha oli kynnetty syksyllä ja talven yli paljaana vailla kasvillisuutta, 65 ha syysvehnällä ja 106 ha nurmella (IV). Toteutettujen ympäristötoimenpiteiden vaikutukset perustuivat VIHMAN testauksessa MYTVAS2 tutkimuksen (Turtola ja Lemola 2008) esittämiin vuosien 2000–2002 ja 2003–2005 valuma-alueen ympäristötoimenpiteisiin, lähinnä syyskynntöä korvaavaan sänkimuokkaukseen ja talviaikaiseen sänkeen sekä asteittaiseen suorakylvöalan lisäämiseen kaltevimmista pelloista alkaen koko kevät- ja syysvilja-alalle (IV). Kynntöalaa vähentävä sänkimuokkauksen ja talviaikaisen sängen pinta-ala laajenivat valuma-alueella 140 ha:sta (2000–2002) 340 ha:iin (2003–2005). Kynntöalan ohella pysyvän nurmen ala pieneni valuma-alueella runsaasta 100 ha:sta 20 ha:iin.

KiertoVesi-hankkeessa (Puustinen ym. 2019) VIHMA-työkalulla koko peltoalalle lasketut kuormitusarviot ja ympäristötoimenpiteiden vaikutusarviot perustuivat vuosien 2009–2010 (Tike 2013) ja 2016–2017 (Mavi 2017) ympäristötoimenpiteiden laajuutta kuvaavaan tietoon sekä vastaavien vuosien (Taulukko 13) peltoala- ja viljelytietoihin (Luke 2021). Laskennallinen kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitus (so. vertailutaso) ei sisällä ympäristötoimenpiteitä. Perusmuokkauksesta 95 % oli syykynntöä ja 5 % sänkeä ja sänkimuokkausta sekä kesantoalasta kolmasosa oli avokesantoa ja kaksi kolmasosaa viherkesantoa (Puustinen ym. 1994). Ympäristötoimenpiteet olivat

pääasiassa kevennettyä muokkausta ja talviaikaista kasvipeitteisyyttä ja näiden kuormitusvaikutukset vertautuvat em. kuormituksen vertailutasoon.

Peltolohkojen keskimääräisen pinta-alan 2,2 ha (mediaani 1,6 ha) mukaan (Puustinen ym. 1994) VIHMA-työkalun koko peltoalan testauksessa ominaiskuormituskertoimien katettavana oli noin 1,0 miljoonaa peltolohkoa (Taulukko 13). Kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitusta arvioitaessa peltoluokkien määrä perustui taulukon 11 peltoalan jakaumaan ja liukoisen fosfaattifosforin kuormitusta arvioitaessa viljavuusluokan ( $P_{AAC}$ ) jakaumaan. Savijoella peltolohkojen kokonaismäärä oli alle 300 peltolohkoa.

Taulukko 13. Peltoala ja pellon käyttö Suomessa vuonna 2004 (IV) sekä vuosina 2010 ja 2016 (Puustinen ym. 2019).

Vuosi	Pellon käyttö (ha) kasvilajeittain					Koko peltoala
	Kevätviljat	Syysviljat	Nurmet	Muut viljelykasvit	Kesanto	
2004	1 229 000	78 800	655 100	60 000	195 500	2 218 800
2010	1 129 100	47 500	730 200	39 700	307 000	2 253 500
2016	1 188 200	50 500	722 300	52 500	260 900	2 274 400

Tulokset esitetään peltoluokkien ja eri peltotoimenpiteiden (kyntö, syysvilja, nurmi) kokonaiskuormituksena, kuormitusosuuksina, keskimääräisenä hehtaarikohtaisena kuormituksena ja esitetään keskimääräinen vuosivaihtelu (IV). Työkalun testauksessa laskettuja VIHMAN kuormitusarvioita vertaillaan riippumattomiin kuormitusarvioihin tulosten tarkasteluosassa. Koko peltoalaa koskevia keskimääräisiä hehtaarikohtaisia kuormitusarvioita verrataan valtakunnallisiin ominaiskuormituslukuihin ja muihin riippumattomiin valuma-alueen tutkimustuloksiin ja Savijoelle laskettuja kuormitusarvioita saman alueen seurantatuloksiin (Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 2017a, Rätty ym. 2020). Lisäksi laskentatuloksia vertaillaan KiertoVesi-hankkeessa esitettyihin vuosien 2010 ja 2016 kuormitusarvioihin tulosten tarkasteluosassa (luku 5).



## 4 TULOKSET

Tutkimuksen tulokset esitellään vaiheittain alkaen huuhtoutumiskenttien aineistojen valuntaveden määrästä ja kuormittavien aineiden pitoisuuksista (Luku 2, Kuva 4, Luku 3.1.1, Taulukko 10) ja edeten peltojen ominaisuuksiin perustuviin peltoluokkiin kytkettävien ominaiskuormituskertoimien ja vesiensuojelua edistävien peltoviljelyn ympäristötoimenpiteiden tehokkuutta kuvaavien vaikutuslukujen määrittelyyn (Luvut 3.3.1–3.3.2, Kuvat 6–8). Sen jälkeen esitetään tutkimuksessa kehitetyn VIHMA-työkalun testaustuloksia koko Suomen maatalousmaalla ja vallitsevalla peltojen viljelykäytöllä (Luvut 3.3.3–3.3.4, Kuva 9, Taulukko 13), joiden perusteella arvioidaan työkalun käyttömahdollisuuksia ja luotettavuutta vesienhoidon suunnitteluvälineenä.

### 4.1 Huuhtoutumiskenttien aineisto

#### 4.1.1 VALUNTA JA SEN VUODENAIKAISVAIHTELU

Valuntojen vuosi- ja vuodenaikaisvaihtelut riippuvat ensisijaisesti hydrologi- sen vuoden sadannasta ja sadannan jakaumasta sekä paikallisiin sääilmiöi- hin vaikuttavasta vertailukohteen maantieteellisestä sijainnista. Huuhtoutu- miskenttien välillä oli etäisyyttä niin etelä-pohjoissuunnassa kuin itä- länsisuunnassa (Luku 3.1.1, Kuva 5). Huuhtoutumiskentillä mitattuihin va- luntoihin sisältyi siten luonnollisia eroja kentän sijainnin ja eri seurantavuosi- sien vuoksi. Sen sijaan huuhtoutumiskentän sisällä samoina seurantavuosina mitattujen valuntojen tulisi hydrologian takia olla koeruuduilla samansuu- ruiset.

Huuhtoutumiskenttien yhdistetyssä aineistossa keskimääräinen vuosiva- lunta oli Kotkanojan kentällä noin 40 mm (18 %) suurempi kuin Aurajoen ja Toholammin kentillä (Taulukko 14). Suurin vuosivalunta Aurajoen, Kot- kanojan ja Toholammin kentillä oli noin kaksinkertainen pienimpään vuosi- valuntaan verrattuna. Liperin koekentällä vuosivalunta oli lähes 100 mm muita koekenttiä suurempi. Huuhtoutumiskenttien seurantavuodet eivät olleet aineistossa täysin samoja vuosia (Taulukko 14). Aurajoen kentällä mi- tattiin vain pintavalunta (koejärjestelyn oletuksena salaojavalunnan vähäi- syys) muokkauskerroksen paksuutta vastaavasta kerroksesta. Em. poik- keavuuksista huolimatta kolmen huuhtoutumiskentän keskimääräiset valun- nat olivat lähes samaa suuruusluokkaa. Liperin tasaisella koekentällä ei ollut pintavaluntaa ja talvikuukausina salaojavaluntaa. Muita kenttiä huomatta- vasti suurempi valunta johtui lumen suuresta määrästä.

Taulukko 14. Huuhtoutumiskenttien yhdistetyn aineiston keskimääräinen vuosivalunta, vuosivalunnan minimi ja maksimi sekä vuodenaikaisvalunnan osuus vuosivalunnasta ja valuntaosuuden minimi ja maksimi koejaksoilla eri peltotoimenpiteissä (I, IV). Aurajoen valunta ja vuodenaikaisosuudet artikkelista I, Kotkanojan, Liperin ja Toholammin valunta on artikkelissa IV keskimääräisen kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormituksen valunta. Ei vuodenaikaisvaluntaa (-).

<i>Huuhtoutumiskenttä/ peltotoimenpide ja koevuodet 1990...2002</i>	Keskimääräinen vuosivalunta (mm) ja valunnan vuodenaikaisjakauma (%) (minimi–maksimi)				
	Vuosivalunta	Syksy <sup>1)</sup>	Talvi	Kevät	Kesä
<i>Aurajoki pintakerros</i>					
Syyskytä (90–94, 97–02)	234	40	31	29	(-)
	163–349	24–51	14–46	10–47	
Syysvehnä (90–94, 97–02) <sup>2)</sup>	219	32	40	28	(-)
	152–334	8–51	24–65	12–42	
Sänki (90–94, 97–02)	208	40	31	29	(-)
	149–311	14–64	12–48	16–47	
Nurmi (98–02)	209	32	36	32	(-)
	190–233	23–41	15–42	25–44	
<i>Kotkanoja pinta+salaoja</i>					
Syyskytä (91–92, 93–01)	255	28	15	51	6
	169–328	14–50	1–32	32–80	0–23
Kultivointi (96–01)	252	35	21	40	4
	236–260	20–50	4–33	27–58	0–12
Sänki (94–96, 01–02)	276	22	18	44	16
	206–363	15–34	1–33	30–53	3–30
Nurmi (92–94)	259	37	9	39	15
	191–328	25–44	8–10	24–64	0–24
<i>Liperi pinta+salaoja</i>					
Syyskytä (90–92, 93–95)	420	16	(-)	77	7
	402–432	0–30		67–86	2–17
Ruis (90–92, 93–94) <sup>2)</sup>	338	15	(-)	75	10
	289–364	0–29		67–80	4–21
Sänki (90–94)	306	23	(-)	67	10
	272–342	0–47		43–81	5–19
Nurmi (89–93, 95–99)	247	25	(-)	66	9
	141–401	0–44		42–96	0–39
<i>Toholampi pinta+salaoja</i>					
Syyskytä (92–93, 00–01)	216	38	4	55	4
	158–296	4–71	0–24	27–73	0–10
Nurmi (94–96, 98–99)	225	29	7	56	9
	160–275	4–49	0–15	40–83	0–35

1) Syksy (syys-marraskuu), talvi (joulu-helmikuu), kevät (maaliskuu–toukokuu), kesä (kesä-elokuu)

2) Syysvehnän ja rukiin kylvö kynnettyyn ja kylvömuokattuun maahan

Keskimääräisten vuosivaluntojen ero peltotoimenpiteiden välillä kullakin kolmella huuhtoutumiskentällä oli 9–26 mm (4–12 %) eli pienempi kuin em. huuhtoutumiskenttien välinen ero (Taulukko 14). Myös tässä vertailussa Liperi poikkesi muista kentistä. Peltotoimenpiteissä pienimmän ja suurimman valunnan erotus oli 114 mm. Vuosivalunnoista kolmen kesäkauden aikana muodostui keskimäärin 0–16 % ja loput lähes 90 % kasvukauden ulkopuolella (Taulukko 14). Aurajoen kentällä ei koejaksojen kesäkuukausina tullut lainkaan mitattavaa valuntaa.

Hydrologisten vuosien mukaan luokitellussa Aurajoen huuhtoutumiskentän aineistossa kuormittavien vuosien (sateinen syksy – leuto lumeton tai

vähäluminen talvi, Ss-VLt) keskimääräinen vuosivalunta oli eri peltotoimenpiteissä (kolme toimenpidettä 9 koevuodelta) 0–33 mm (0–17 %) suurempi kuin vähän kuormittavien vuosien (kuiva syksy – lumipeitteinen talvi, Ks-Lt) vuosivalunta (Taulukko 15). Vuodenaikaisvalunnoissa ei ollut merkittävää eroa vuosityyppien välillä. Kuormittavina vuosina valunta muodostui jatkuvana pitkäaikaisena valuntana, jolloin talvivalunta oli hiukan suurempi ja vastaavasti kevätvalunta hiukan pienempi vähän kuormittavan vuoden ja-kaumaan verrattuna (II).

Taulukko 15. Hydrologisen vuosityypin mukaan Aurajoen huuhtoutumiskentän aineistoluokittelussa vähän kuormittavien (kuiva syksy, lumipeitteinen talvi, Ks-Lt) ja kuormittavien (sateinen syksy, leuto lumeton tai vähäluminen talvi, Ss-VLt) vuosien keskimääräinen vuosi- ja vuodenaikaisvalunta koejaksolla 1990–2002 kolmessa peltotoimenpiteessä (II). Ei vuodenaikaisvaluntaa (-).

Peltotoimenpide/ vuosityyppi		Keskimääräinen vuosivalunta (mm) ja vuodenaikaisvalunnan osuus (%)				
		Vuosivalunta	Syksy <sup>1)</sup>	Talvi	Kevät	Kesä
Syyskyntö	Ks-Lt	228	39	28	33	(-)
	Ss-VLt	239	40	33	27	(-)
Syysvehnä <sup>2)</sup>	Ks-Lt	220	30	41	29	(-)
	Ss-VLt	218	34	39	27	(-)
Sänki	Ks-Lt	189	39	30	31	(-)
	Ss-VLt	222	40	32	28	(-)

<sup>1)</sup> Syksy (syys-marraskuu), talvi (joulu-helmikuu), kevät (maalis-toukokuu), kesä (kesä-elokuu)

<sup>2)</sup> Syysvehnän kylvö kynnettyyn ja kylvömuokattuun maahan

#### 4.1.2 VALUNTAVEDEN KIINTOAINEPITOISUUS

Huuhtoutumiskenttien yhdistetyssä aineistossa valuntaveden kiintoaineen valuntapainotteiset vuosipitoisuudet olivat kullakin koekentällä omilla tasoiltaan (Taulukko 16). Aurajoen kaltevalla kentällä pitoisuudet kynnetystä maasta olivat kolminkertaisia Kotkanojan pitoisuuksiin ja kolmekymmenkertaisia Liperin pitoisuuksiin verrattuna. Vuosi- ja vuodenaikaispitoisuuden vaihtelu oli suuri kaikissa käsittelyissä kaikilla koekentillä. Vuosipitoisuuksien vaihtelut olivat kaksin-kolminkertaisia.

Savimaan kenttien kiintoainepitoisuudet olivat syksyllä korkeimmat (Taulukko 16). Liperissä pitoisuudet olivat niin matalia, että eri vuodenaikoina pitoisuuksissa ei käytännössä ollut eroja. Kesäkaudella satunnaisesti havaittu poikkeuksellisen runsaaseen valuntatapahtumaan liittyvä (vertaa Taulukko 14) maksimipitoisuus oli Kotkanojalla ja Toholammilla havaintosarjaansa suhteutettuna suuri.

Taulukko 16. Huuhtoutumiskenttien yhdistetyn aineiston valuntaveden keskimääräinen kiintoaineen valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus sekä pitoisuuksien minimi ja maksimi koejaksoilla eri peltotoimenpiteissä (I, IV). Aurajoen vuosipitoisuuden minimi ja maksimi artikkelista I kuva 3 ja vuodenaikaispitoisuuden minimi ja maksimi huuhtoutumiskenttien yhdistetystä aineistosta. Kotkanojan, Liperin ja Toholammin kiintoaineen pitoisuudet ovat artikkelin IV taulukossa 4 esitetyn vuosikuormituksen muodostama yhdistetyn aineiston valuntapainotteinen vuosipitoisuus sekä pitoisuuden vuosi- ja vuodenaikaisvaihtelu (minimi ja maksimi). Ei vuodenaikaisvaluntaa tai valunnan pitoisuutta ole määritetty (-). Koevuodet kuten taulukossa 14.

Kenttä/pelto-toimenpide	Kiintoaineen keskimääräinen valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus (minimi-maksimi) (mg l <sup>-1</sup> )				
	Vuosi	Syysy <sup>1)</sup>	Talvi	Kevät	Kesä
<i>Aurajoki</i> <sup>3)</sup>					
Syyskynnö	900	1300	690	580	(-)
	445–1535	545–3230	210–1700	270–1460	
Syysvehnä <sup>2)</sup>	720	1125	545	505	(-)
	400–1135	550–1900	190–1190	300–900	
Sänki	380	560	270	265	(-)
	180–675	220–950	55–495	90–510	
Nurmi	273	460	205	160	(-)
	215–300	430–480	80–280	90–200	
<i>Kotkanoja</i> <sup>4)</sup>					
Syyskynnö	310	460	200	210	710
	160–420	245–715	45–280	125–345	345–1430
Kultivointi	345	465	160	340	350
	195–405	325–595	60–215	185–655	220–380
Sänki	215	240	50	180	485
	150–265	180–280	30–160	95–270	330–550
Nurmi	235	155	160	260	415
	60–340	80–185	-	70–570	-
<i>Liperi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskynnö	28	15	(-)	31	19
	16–54	9–37		17–56	-
Ruis <sup>2)</sup>	27	24	(-)	28	20
	20–48	9–31		15–50	-
Sänki	25	13	(-)	27	39
	22–39	9–35		12–45	-
Nurmi	21	12	(-)	24	22
	10–56	7–18		11–57	-
<i>Toholampi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskynnö	170	240	105	150	380
	40–300	130–350	10–210	45–675	255–2580
Nurmi	110	120	50	100	250
	40–235	55–135	15–70	40–225	95–465

1) Syysy (syys-marraskuu), talvi (joulu-helmikuu), kevät (maalis-toukokuu), kesä (kesä-elokuu)

2) Syysvehnän ja rukiin kylvö kynnettyyn ja kylvömuokattuun maahan

3) Pintakerrosvalunta

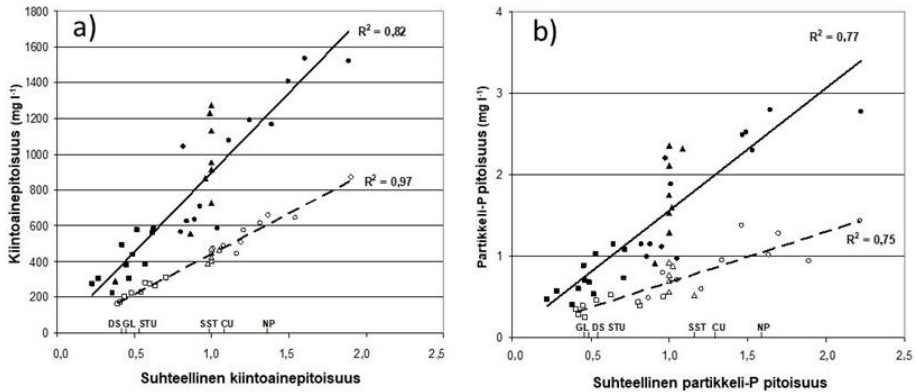
4) Pintakerrosvalunta + salaojavalunta

Peltotoimenpiteiden väliset pitoisuserot koekentillä olivat sitä suuremmat, mitä suurempi huuhtoutumiskentän kiintoainepitoisuus oli. Aurajoen kentän syyskynnyltä alalta valunnan kiintoainepitoisuus oli nurmeen verrattuna 3,3-kertainen, Kotkanojalla 1,3-kertainen ja Liperissä 1,3-kertainen. Toholammilla kynnetyn maan kiintoainepitoisuus suhteessa nurmeen oli

1,5-kertainen. Kentän kaltevuuden loivetessa pitoisuuserot kynnetyn ja nurmipeitteisen peltotoimenpiteen välillä pienenevät (Taulukko 16).

Hydrologisten vuosien ja valunnan kiintoainepitoisuuksien perusteella tehdyssä aineistoluokittelussa (Luku 3.1.3) kiintoaineen vuosipitoisuudet (Taulukko 16) Aurajoen aineistossa jaettiin kahteen erilliseen ryhmään (Kuva 10a). Pitoisuuksien ero kuormittavien vuosien (Ss-VLt) ja vähän kuormittavaan vuosien (Ks-Lt) välillä oli kaikissa peltokäsittelyissä nurmea lukuun ottamatta suuri (II). Myös muilla koekentillä kuormittavien ja vähän kuormittavien vuosien välinen kiintoainepitoisuuden ero oli selvä, mutta ei ollut yhtä suuri kuin Aurajoen kentällä (IV).

Talvikaudeksi kasvipeitteisyyttä maanpinnan suojaksi jättävien sekä kasvipeitteisyydestä maanpinnan paljaaksi jättävien peltotoimenpiteiden valuntaveden kiintoaineen vuosipitoisuudet Aurajoella parittaisessa vertailussa poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi vertailutasona toimivan syyvehnän vuosipitoisuudesta (I). Kiintoaineen vuosipitoisuudet kussakin Aurajoen peltotoimenpiteessä vuosityyppien välillä poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (II), ja peltotoimenpiteillä ja vuosityypeillä oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus (Kuva 10a). Peltotoimenpiteistä aiheutuvien kiintoaineen vuosikuormien vertailuissa merkitseviä tilastollisia peltotoimenpiteiden välisiä eroja oli Aurajoella ja Liperissä ja vuosityyppien välisiä merkitseviä eroja Aurajoella ja Kotkanojalla (IV). Yleisesti kiintoaineen keskimääräiset vuosikuormat olivat kullakin huuhtoutumiskentällä omalla tasollaan (IV) ja johtuivat kenttäkohtaisista vuosipitoisuuksista (Taulukko 16).



Kuva 10. Hydrologisen vuosityypin mukainen Aurajoen huuhtoutumiskentän peltotoimenpiteiden valuntapainotteisen kiintoaineen (a) ja partikkelifosforin (b) vuosipitoisuuden aineistoluokittelu (II, vrt. luku 3.1.3). Avoimet symbolit kuvaavat vähän kuormittavan (Ks-Lt) ja umpinaiset symbolit kuormittavan (Ss-VLt) vuoden pitoisuuksia. Vaaka-akselilla DS = suorakylvö syksyllä, GL = pysyvä nurmi, STU = talviaikainen sänki, SST = matala sänkimuokkaus, CU = syvä sänkimuokkaus, NP = syyskyntö ja vertailutaso 1,0 = syyssvehnä (II). X-akselilla peltotoimenpiteen vuosipitoisuus on suhteutettu syyssvehnään (=1,0). Kuva havainnollistaa Aurajoen aineistossa vuosityyppien vaikutusta valunnan kiintoaine- ja partikkelifosforin pitoisuuteen.

### 4.1.3 VALUNTAVEDEN FOSFORIPITOISUUS

Huuhoutumiskenttien yhdistetyssä aineistossa valuntaveden partikkelifosforin valuntapainotteiset vuosipitoisuudet olivat kullakin koekentällä omilla tasoillaan (Taulukko 17). Aurajoen kaltevalla kentällä pitoisuudet kynnetystä maasta olivat viisinkertaisia Kotkanojan pitoisuuksiin ja viisitoistakertaisia Liperin pitoisuuksiin verrattuna. Vuosi- ja vuodenaikaispitoisuuden vaihtelu oli suuri kaikissa käsittelyissä kaikilla koekentillä. Suurimman ja pienimmän vuosipitoisuuden välinen ero oli kolme-nelinkertainen.

Savimaan kenttien partikkelifosforipitoisuudet olivat syksyllä suurimmat (Taulukko 17). Liperissä pitoisuudet olivat pieniä, ja pitoisuuksissa ei käytännössä ollut eroja eri vuodenaikoina. Kesäkaudella satunnaisesti havaittu poikkeuksellisen runsaaseen valuntatapahtumaan liittyvä (vertaa Taulukko 14) maksimipitoisuus oli Kotkanojalla ja Toholammilla havaintosarjaansa suhteutettuna suuri. Partikkelifosforin suuri kesäkauden valuntatapahtumaan liittyvä pitoisuus johtui suuresta valunnan kiintoainepitoisuudesta.

Peltotoimenpiteiden väliset valuntaveden partikkelifosforin pitoisuuserot koekentillä olivat sitä suuremmat, mitä korkeampia huuhoutumiskentän pitoisuustasot olivat (Taulukko 17). Aurajoen kentän syyskynnetyltä alalta valunnan partikkelifosforin pitoisuus oli nurmeen verrattuna 3,5-kertainen, Kotkanojalla 1,4-kertainen ja Liperissä 1,1-kertainen. Toholammilla valunnan partikkelimaisen fosforin pitoisuus kynnetystä maasta oli pienempi kuin nurmella (suhdeluku 0,8). Kentän kaltevuuden loivetessa pitoisuuserot kynnetyn ja nurmipeitteisen peltotoimenpiteen välillä pienenevät (Taulukko 17).

Aurajoen huuhoutumiskentällä valuntaveden kiintoaine- ja partikkelifosforipitoisuuden välillä (syysvehnä) oli vahva riippuvuus (Kuva 11). Tämä vuoksi partikkelifosforin pitoisuudet vaihtelivat samalla tavalla kuin valunnan kiintoainepitoisuus. Hydrologisten vuosien ja valunnan kiintoainepitoisuuksien perusteella tehdyssä aineistoluokittelussa (Luku 3.1.3) partikkelifosforin vuosipitoisuudet (Taulukko 17) jakaantuivat kahteen ryhmään ja pitoisuuserot kuormittavien vuosien (Ss-VLt) ja vähän kuormittavien vuosien (Ks-Lt) välillä olivat kaikissa peltotoimenpiteissä nurmea lukuun ottamatta suuret (Kuva 10b, II). Muilla koekentillä valuntaveden partikkelifosforipitoisuudet olivat myös kuormittavina vuosina (so. samat vuodet) vähän kuormittavia vuosia suuremmat, mutta ero ei ollut yhtä suuri kuin Aurajoen kentällä (IV).

Taulukko 17. Huuhtoutumiskenttien yhdistetyn aineiston valuntaveden keskimääräinen partikkelifosforin valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus sekä pitoisuuksien minimi ja maksimi koejaksoilla eri peltotoimenpiteissä (I, IV). Aurajoen vuosipitoisuuden minimi ja maksimi artikkelista I kuva 3 ja vuodenaikaispitoisuuden minimi ja maksimi huuhtoutumiskenttien yhdistetystä aineistosta. Kotkanojan, Liperin ja Toholammin partikkelifosforin pitoisuudet ovat artikkelin IV taulukossa 4 esitetyn vuosikuormituksen muodostama yhdistetyn aineiston valuntapainotteinen vuosipitoisuus sekä pitoisuuden vuosi- ja vuodenaikaisvaihtelu (minimi ja maksimi). Ei vuodenaikasivaluntaa tai valunnan pitoisuutta ole määritetty (-). Koevuodet kuten taulukossa 14.

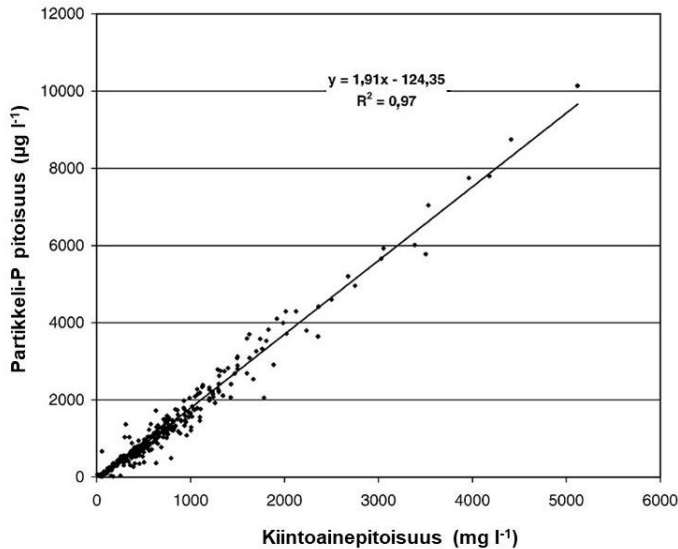
Kenttä/pelto-toimenpide	Partikkelifosforin keskimääräinen valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus (minimi–maksimi) (mg l <sup>-1</sup> )				
	Vuosi	Syksy <sup>1)</sup>	Talvi	Kevät	Kesä
<i>Aurajoki</i> <sup>3)</sup>					
Syyskylvö	1,58 0,60–2,79	2,27 0,63–6,35	1,30 0,32–3,17	0,97 0,47–2,78	(-)
Syysvehnä <sup>2)</sup>	1,30 0,54–2,13	2,06 0,74–3,34	1,04 0,30–2,31	0,82 0,48–1,44	(-)
Sänki	0,71 0,29–1,25	1,03 0,40–1,76	0,53 0,12–1,03	0,48 0,22–1,01	(-)
Nurmi	0,45 0,39–0,52	0,79 0,74–0,86	0,36 0,16–0,52	0,22 0,14–0,27	(-)
<i>Kotkanoja</i> <sup>4)</sup>					
Syyskylvö	0,28 0,13–0,44	0,43 0,17–0,67	0,18 0,06–0,30	0,19 0,09–0,33	0,58 0,27–1,17
Kultivointi	0,36 0,21–0,47	0,48 0,26–0,70	0,16 0,07–0,26	0,36 0,17–0,64	0,28 0,28–0,29
Sänki	0,22 0,15–0,29	0,24 0,21–0,27	0,06 0,05–0,19	0,19 0,09–0,29	0,45 0,17–0,58
Nurmi	0,20 0,11–0,26	0,17 0,13–0,18	0,13 0,06–0,18	0,18 0,10–0,30	0,37 -
<i>Liperi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskylvö	0,08 0,05–0,12	0,04 0,02–0,07	(-)	0,09 0,05–0,13	0,05 -
Ruis <sup>2)</sup>	0,08 0,06–0,11	0,04 0,02–0,11	(-)	0,09 0,07–0,11	0,04 -
Sänki	0,06 0,06–0,08	0,03 0,02–0,07	(-)	0,06 0,04–0,08	0,07 -
Nurmi	0,07 0,04–0,16	0,04 0,01–0,06	(-)	0,08 0,03–0,16	0,08 -
<i>Toholampi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskylvö	0,11 0,04–0,24	0,05 0,02–0,21	0,05 0,01–0,12	0,17 0,04–0,64	0,53 0,20–2,59
Nurmi	0,14 0,07–0,31	0,06 0,03–0,11	0,06 0,04–0,07	0,20 0,07–0,64	0,07 0,01–0,34

1) Syksy (syys-marraskuu), talvi (joulu-helmikuu), kevät (maalis-toukokuu), kesä (kesä-elokuu)

2) Syysvehnän ja rukiin kylvö kynnettyyn ja kylvömuokattuun maahan

3) Pintakerrosvalunta

4) Pintakerrosvalunta + salaojavalunta



Kuva 11. Valuntaveden partikkelifosforipitoisuuden ja kiintoainepitoisuuden välinen riippuvuus Aurajoen koekentällä (syysvehnä) koejaksolla 1990–2002 (I).

Talvikaudeksi maanpinnan suojaksi kasvipeitteisyyttä jättävissä peltotoimenpiteissä valuntaveden partikkelifosforin vuosipitoisuudet olivat Aurajoella tilastollisesti merkitsevästi pienempiä ja kasvipeitteisyydestä maanpinnan paljaaksi jättävissä peltotoimenpiteissä merkitsevästi suurempia kuin vertailutasona toimivan syyvehnän vuosipitoisuus (I). Partikkelifosforin vuosipitoisuudet kussakin Aurajoen peltotoimenpiteessä vuosityyppien välillä poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (II), ja peltotoimenpiteillä ja vuosityypeillä oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus (Kuva 10b). Peltotoimenpiteistä aiheutuvien partikkelifosforin vuosikuormien vertailuissa merkitseviä tilastollisia peltotoimenpiteiden välisiä eroja oli Aurajoella ja Liperissä ja vuosityyppien välisiä merkitseviä eroja Aurajoella (IV). Yleisesti huuhtoutumiskenttien partikkelifosforin keskimääräiset vuosikuormat olivat kullakin huuhtoutumiskentällä omalla tasollaan (IV) ja johtuivat kenttäkohtaisista vuosipitoisuuksista (Taulukko 17).

Huuhtoutumiskenttien yhdistetyssä aineistossa valuntaveden liukaisen fosforin (DRP) keskimääräiset valuntapainotteiset vuosipitoisuudet kasvoivat (I, II, Taulukko 18) kiintoaine- ja partikkelifosforipitoisuuden pienentyessä (Taulukot 16 ja 17). Aurajoella liukaisen fosforin valuntapainotteiset vuosipitoisuudet olivat suuria muihin huuhtoutumiskenttien pitoisuuksiin verrattuna. Aurajoella maan fosforipitoisuus oli muita kenttiä suurempi (Luku 3.1.1, Taulukko 10). Eri peltotoimenpiteistä sängellä ja nurmella liukaisen fosforin pitoisuudet olivat lähes kaksinkertaisia kynnettyyn maahan verrattuna. Vuodenaikojen väliset pitoisuserot olivat pieniä (Taulukko 18).



Taulukko 18. Huuhtoutumiskenttien yhdistetyn aineiston valuntaveden keskimääräinen liukoisen fosforin (DRP) valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus pitoisuuksien minimi ja maksimi koejaksoilla ei peltotoimenpiteissä (I, IV). Aurajoen vuosipitoisuuden minimi ja maksimi artikkelista I kuva 3 ja vuodenaikaispitoisuuden minimi ja maksimi yhdistetystä aineistosta. Kotkanojan, Liperin ja Toholammin liukoisen fosforin pitoisuudet ovat artikkelin IV taulukossa 4 esitetyn vuosikuormituksen muodostama yhdistetyn aineiston valuntapainotteinen vuosipitoisuus sekä pitoisuuden vuosi- ja vuodenaikaisvaihtelu (minimi ja maksimi). Ei vuodenaikaisvaluntaa tai valunnan pitoisuutta ole määritetty (-). Koevuodet kuten taulukossa 14.

Kenttä/pelto-toimenpide	Liukoisen fosforin keskimääräinen valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus (minimi-maksimi) (mg l <sup>-1</sup> )				
	Vuosi	Syysy <sup>1)</sup>	Talvi	Kevät	Kesä
<i>Aurajoki</i> <sup>3)</sup>					
Syyskylä	0,25	0,29	0,22	0,22	(-)
	0,19–0,34	0,18–0,38	0,12–0,31	0,12–0,30	
Syysvehnä <sup>2)</sup>	0,25	0,35	0,20	0,21	(-)
	0,18–0,55	0,22–0,43	0,13–0,27	0,13–0,28	
Sänki	0,43	0,53	0,37	0,33	(-)
	0,24–0,63	0,29–0,87	0,18–0,96	0,20–0,59	
Nurmi	0,43	0,38	0,40	0,52	(-)
	0,27–0,55	0,26–0,49	0,22–0,62	0,33–0,71	
<i>Kotkanoja</i> <sup>4)</sup>					
Syyskylä	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
	0,03–0,05	0,02–0,06	0,02–0,06	0,02–0,05	0,03–0,06
Kultivointi	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04
	0,04–0,05	0,03–0,05	0,04–0,08	0,04–0,05	0,04–0,09
Sänki	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06
	0,03–0,05	0,03–0,05	0,03–0,05	0,03–0,05	0,05–0,07
Nurmi	0,08	0,07	0,12	0,09	0,05
	0,05–0,14	0,03–0,18	0,06–0,21	0,07–0,11	-
<i>Liperi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskylä	0,22	0,06	(-)	0,23	0,46
	0,07–0,37	0,04–0,06		0,07–0,41	-
Ruis <sup>2)</sup>	0,20	0,09	(-)	0,24	0,08
	0,10–0,32	0,05–0,07		0,10–0,38	-
Sänki	0,12	0,03	(-)	0,16	0,06
	0,05–0,23	0,03–0,04		0,04–0,27	-
Nurmi	0,09	0,06	(-)	0,10	0,12
	0,04–0,21	0,03–0,07		0,03–0,26	-
<i>Toholampi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskylä	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	0,01–0,03	0,01–0,08	0,01–0,02	0,01–0,02	0,02–0,03
Nurmi	0,08	0,05	0,12	0,11	0,03
	0,03–0,17	0,03–0,13	0,04–0,17	0,03–0,30	0,01–0,07

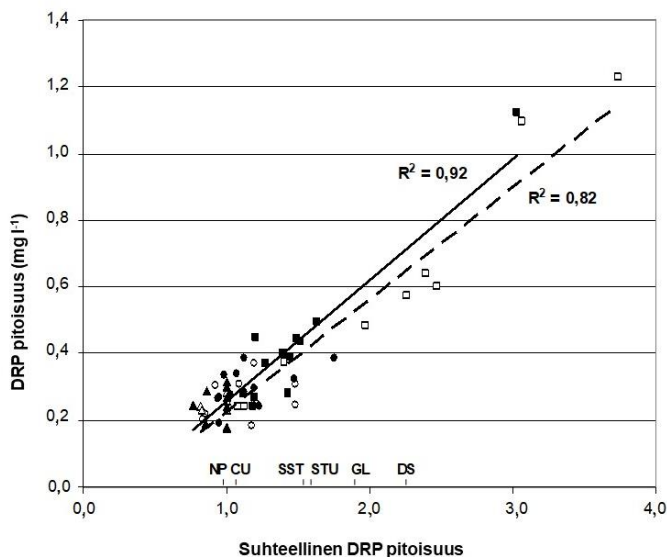
1) Syysy (syys-marraskuu), talvi (joului-helmikuu), kevät (maalii-toukokuu), kesä (kesä-elokuu)

2) Syysvehnä ja rukiin kylvi kynnetyyn ja kylviömuokattuun maahan

3) Pintakerrosvalunta

4) Pintakerrosvalunta + salaojavalunta

Talvikaudeksi maanpinnan suojaksi kasvipeitteisyyttä jättävissä peltotoimenpiteissä valuntaveden liukoisen fosforin vuosipitoisuudet olivat Aurajoella tilastollisesti merkitsevästi suurempia ja kasvipeitteisyydestä maanpinnan paljaaksi jättävissä peltotoimenpiteissä merkitsevästi pienempiä kuin vertailutasona toimivan syyvehnän vuosipitoisuus, siis päinvastaisessa järjestyksessä kuin kiintoaine- ja partikkelifosforipitoisuuksien vertailuissa (I). Vuosityyppien välillä toimenpiteiden liukoisen fosforin pitoisuuksissa ei ollut eroja (II), ei myöskään yhdysvaikutuksia (Kuva 12). Liukoisen fosforin vuosikuormia vertailtaessa peltotoimenpiteiden välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja oli Aurajoella, Kotkanojalla ja Liperissä, vuosityyppien välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja Liperissä (IV). Yleisesti keskimääräiset DRP-vuosikuormat huuhtoutumiskentillä vaihtelivat 0,1–1,0 kg hehtaarilta vuodessa (IV) kenttäkohtaistiin vuosipitoisuuksiin perustuen (Taulukko 18).



Kuva 12. Hydrologisen vuosityypin mukainen Aurajoen huuhtoutumiskentän peltotoimenpiteiden valuntapainotteisen liukoisen fosforin (DRP) vuosipitoisuuden aineistoluokittelu (II, vrt. luku 3.1.3). Avoimet symbolit kuvaavat vähän kuormittavan (Ks-Lt) ja umpinaiset symbolit kuormittavan (Ss-VL) vuoden pitoisuuksia. Vaaka-akselilla DS = suorakylvö syksyllä, GL = pysyvä nurmi, STU = talviaikainen sänki, SST = matala sänkimuokkaus, CU = syvä sänkimuokkaus, NP = syyskyntö ja vertailutaso 1,0 = syyvehnä (II). X-akselilla peltotoimenpiteen vuosipitoisuus on suhteutettu syyvehnään (=1,0). Kuva havainnollistaa Aurajoen aineistossa vuosityyppien vaikutusta valunnan DRP-pitoisuuteen.

#### 4.1.4 VALUNTAVEDEN TYPPIPITOISUUS

Huuhtoutumiskenttien yhdistetyssä aineistossa valuntaveden kokonaistypen keskimääräiset vuosi- ja vuodenaikaispitoisuudet sekä pitoisuuksien vaihtelu eri kentillä olivat samaa suuruusluokkaa (Taulukko 19). Eri peltotoimenpiteissä valuntapainotteiset vuosipitoisuudet poikkesivat toisistaan ja pitoi-

suuksien vuosivaihtelut olivat suuria, 3–4-kertaisia. Muokkauksen keventyessä ja kasvipeitteisyyden lisääntyessä valuntaveden tyypin pitoisuudet pienenevät. Suurimmat typpipitoisuudet havaittiin syksyllä ja pienimmät keväällä. Peltotoimenpiteiden väliset erot huuhtoutumiskentillä olivat 2–3-kertaisia (Taulukko 19).

Taulukko 19. Kokonaistypen keskimääräinen valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus sekä vuosi- ja vuodenaikaispitoisuuden minimi ja maksimi koejaksoilla eri peltotoimenpiteissä artikkelin IV taulukossa 4 esitetyn vuosikuormituksen muodostama yhdistetyn aineiston valuntapainotteinen vuosipitoisuus sekä pitoisuuden vuosi- ja vuodenaikaisvaihtelu. Ei vuodenaikasivaluntaa tai valunnan pitoisuutta ole määritetty (-). Koevuodet kuten taulukossa 14.

Kenttä/ pelto- toimenpide	Kokonaistypen keskimääräinen valuntapainotteinen vuosi- ja vuodenaikaispitoisuus (minimi–maksimi) (mg l <sup>-1</sup> )				
	Vuosi	Syky <sup>1)</sup>	Talvi	Kevät	Kesä
<i>Aurajoki</i> <sup>3)</sup>					
Syyskyntö	6,7 2,7–14,0	9,5 3,0–21,3	4,1 1,9–7,1	5,7 3,0–10,8	(-)
Syysvehnä <sup>2)</sup>	5,0 2,4–8,3	7,9 3,2–12,3	2,7 1,5–5,1	5,0 2,9–9,8	(-)
Sänki	2,9 1,5–4,5	3,6 1,4–6,8	2,2 0,9–5,5	2,8 1,7–6,2	(-)
Nurmi	2,2 1,2–3,9	2,4 1,5–3,4	1,5 0,9–3,0	2,7 1,3–4,8	(-)
<i>Kotkanoja</i> <sup>4)</sup>					
Syyskyntö	5,8 2,9–11,9	7,5 3,6–23,7	5,9 2,1–12,5	4,6 2,6–5,7	7,6 3,8–17,4
Kultivointi	4,5 2,2–5,5	5,4 3,8–11,0	3,4 1,2–5,8	3,6 2,1–5,0	10,8 4,0–11,1
Sänki	3,8 2,8–7,2	4,1 4,0–4,5	2,1 1,5–4,1	2,6 1,4–4,1	8,3 8,4–14,3
Nurmi	3,5 1,9–4,4	3,7 2,3–4,1	1,8 1,3–2,2	2,3 1,9–2,8	7,5 -
<i>Liperi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskyntö	3,7 2,4–6,0	2,3 2,0–3,9	(-)	3,6 2,6–4,6	8,4 -
Ruis <sup>2)</sup>	7,3 6,1–9,8	11,5 9,8–15,1	(-)	7,2 4,6–7,9	2,4 -
Sänki	5,2 3,5–8,0	3,1 1,6–5,6	(-)	4,2 2,6–6,2	16,2 -
Nurmi	2,3 1,1–3,5	2,2 0,6–4,2	(-)	2,4 1,2–3,7	2,4 -
<i>Toholampi</i> <sup>4)</sup>					
Syyskyntö	4,1 1,6–6,3	4,5 1,7–6,5	4,8 1,0–8,9	3,6 1,4–6,1	4,6 -
Nurmi	2,7 1,5–4,2	3,1 0,8–5,5	1,3 1,2–1,4	2,3 1,1–4,8	5,2 3,4–8,7

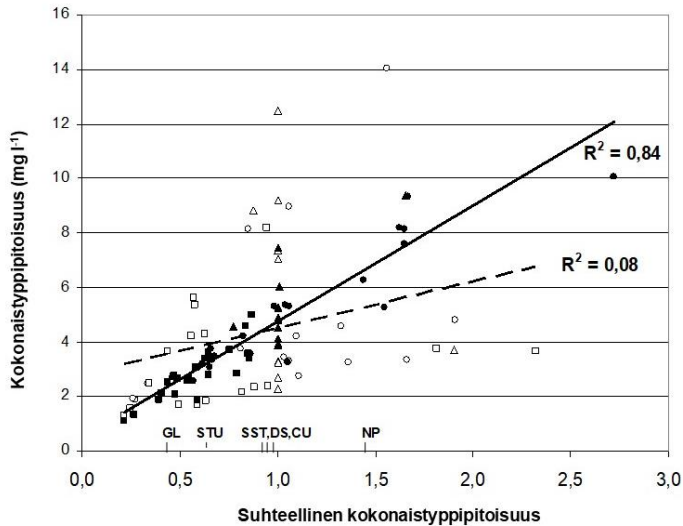
<sup>1)</sup> Syky (syys-marraskuu), talvi (joulu-helmikuu), kevät (maalis-toukokuu), kesä (kesä-elokuu)

<sup>2)</sup> Syysvehnän ja rukiin kylvö kynnettyyn ja kylvömuokattuun maahan

<sup>3)</sup> Pintakerrosvalunta

<sup>4)</sup> Pintakerrosvalunta + salaojavalunta

Hydrologisten vuosien perusteella tehdyssä aineistoluokittelussa (Luku 3.1.3) Aurajoella kokonaistypen vuosipitoisuudet (Taulukko 19) jakaantuivat kahteen ryhmään Kuvassa 13 esitetyllä tavalla. Kuormittavina vuosina (Ss-VL<sub>t</sub>) muokatuista maan pinnan paljaaksi vaille kasvillisuutta jättävissä peltotoimenpiteissä valuntaveden typpipitoisuudet olivat suuremmat vähän kuormittaviin vuosiin (Ks-L<sub>t</sub>) verrattuna ja muokkaamattomissa kasvipeiteisissä peltotoimenpiteissä pitoisuuserot vuosityyppien välillä olivat päinvastoin (II). Kuormittavina vuosina valuntaveden typpipitoisuuksien ja peltotoimenpiteiden välillä oli Aurajoella vahva korrelaatio, mutta vähän kuormittavina vuosina sitä ei ollut (Kuva 13).



Kuva 13. Hydrologisen vuosityypin mukainen Aurajoen huuhtoutumiskentän peltotoimenpiteiden valuntapainotteisen kokonaistypen vuosipitoisuuden aineistoluokittelu (II, vrt. luku 3.1.3). Avoimet symbolit kuvaavat vähän kuormittavan (Ks-L<sub>t</sub>) ja umpinaiset symbolit kuormittavan (Ss-VL<sub>t</sub>) vuoden pitoisuuksia. Vaaka-akselilla DS = suorakylvö syksyllä, GL = py-syvä nurmi, STU = talviaikainen sänki, SST = matala sänkimuokkaus, CU = syvä sänkimuokkaus, NP = syyskynä ja vertailutaso 1,0 = syysvehnä (II). X-akselilla peltotoimenpiteen vuosipitoisuus on suhteutettu syysvehnään (=1,0). Kuva havainnollistaa Aurajoen aineistossa vuosityyppien vaikutusta valunnan kokonaistypen pitoisuuteen.

Peltotoimenpiteiden kokonaistypen vuosikuormat ja toimenpiteiden väliset erot huuhtoutumiskentillä (IV) olivat vuosipitoisuuden mukaisesti (Taulukko 19) saman suuntaiset. Suuren vuosivaihtelun vuoksi peltotoimenpiteiden vuosikuormat eivät kuitenkaan eronneet tilastollisesti merkittävästi toisistaan (IV). Koekenttien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä kuormituseroja (IV). Nitraattityypen vuosikuormitus ja sen vaihtelu eri peltotoimenpiteissä ja koekentillä oli samalla tavalla vuosipitoisuuden määrittämä kuin kokonaistypen vuosikuormitus (IV).

## 4.2 Vihma-työkalun perusta ja rakenne

VIHMA-työkalu koottiin yhdistämällä Suomen peltojen ominaisuudet, pelto-toimenpiteet, huuhtoutumiskenttien aineistoihin perustuvat ominaiskuormituskertoimet ja vesiensuojelua edistävien ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvut yhdeksi arviointimenetelmäksi (Luku 3.3.3, Kuva 9). Tässä luvussa esitetään työkalun kehittämisen eri vaiheiden tulokset.

### 4.2.1 PELTOTOIMENPITEIDEN OMINAISKUORMITUSKERTOIMET

Kiintoaineen ja ravinteiden vuosihuuhtoutumien arvioinnissa käytettävät ominaiskuormituskertoimet johdettiin huuhtoutumiskenttien valunta-, kiintoaine- ja ravinnepitoisuusaineistoista (Luvut 4.1.1–4.1.4, Taulukot 14–19) lasketusta vuosikuormituksesta seuraaville peltoimenpiteille: syyskyntö (20–25 cm), syvä sänkimuokkaus (10–15 cm), matala sänkimuokkaus (5–10 cm), syysvilja (perustettu kynnettyyn ja kylvömuokattuun maahan), talviaikainen sänki, suorakylvö ja nurmi (IV). Eri vaihtoehdot sisältyvät viljelyn vuosikierrossa vallitsevaan tavanomaiseen viljelykasvien viljelyyn ja viljelykiertoihin (Luku 2.1.1, Kuva 2). Huuhtoutumiskenttien keskimääräisiin peltotoimenpiteiden vuosikuormitukseen (I, II, IV) perustuvat ominaiskuormituskertoimet (Liitteet 1–4) ovat maalajiryhmä-, kaltevuusluokka- ja maan fosforipitoisuusluokkakohtaisia (Luku 3.3.1, Taulukko 12).

Työkalun kertoimet olivat joko suoria vastineita huuhtoutumiskenttien keskimääräisille hehtaarikohtaisille vuosikuormille tai aineistosta johdettuja arvioita eri peltotoimenpiteille peltoluokkiin, joihin ei kokeellista vastinetta ollut (IV). Ominaiskuormituskertoimet (Liitteet 1–4) toimivat VIHMA-työkalussa eri peltotoimenpiteiden keskimääräistä vuosikuormitusta kuvaavina hehtaarikohtaisina arvioina ominaisuuksiensa perusteella eri peltoluokkiin sijoittuville peltolohkoille.

Ominaiskuormituskertoimien vaihteluvälin ylä- ja ala-arvot (Liitteet 1–4) perustuivat hydrologisten vuosien (Ksy-Lta ja Ssy-VLta, II) keskimääräiseen vuosikuormitukseen (II, Luku 3.1.3). Kiintoaineen, partikkelifosforin ja typen ominaiskuormituskertoimien vaihteluväli oli pienempi kuin yksittäisten vuosien minimi- ja maksimikuormitus (IV: Kuvat 3, 4 ja 6).

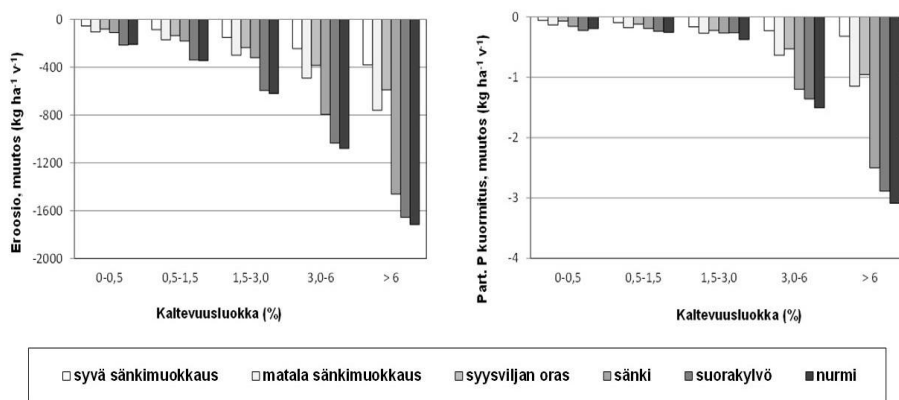
Ominaiskuormituskertoimet ovat VIHMAssa kiinteitä taulukkoarvoja (Liitteet 1–4). Valuma-alueella VIHMA laskee peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen peltolohkojen ominaisuuksien mukaan eri peltoluokkiin jakautuvien ja niillä toteutettavia peltotoimenpiteitä (so. syksyllä tehtävä hehtaarimääräinen maan muokkaus vs. talviaikainen kasvipeitteisyys) vastaavien ominaiskuormituskertoimien perusteella pitkän aikavälin keskimääräisen vallitsevan kuormituksen.

## 4.2.2 VESIENSUOJELUA EDISTÄVÄT YMPÄRISTÖTOIMENPITEET

### *Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvut*

Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvut VIHMA laskee sisäisenä laskentana lohkokohtaisten vallitsevien peltotoimenpiteiden ominaiskuormituskertoimien (Luku 3.3.1, Taulukko 12, Liitteet 1–4) ja korvaavien peltotoimenpiteiden (so. muutetut käytännöt) ominaiskuormituskerrotoimien erotuksena (Luku 3.3.2). Keskimääräisiin ominaiskuormituskertoimiin perustuvat vaikutusluvut ennakoivat tarkasteltavalla alueella lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden kokonaisvaikutusta vertailutasoonsa ilman hydrologista vuosivaihtelua (esim. Kuva 14).

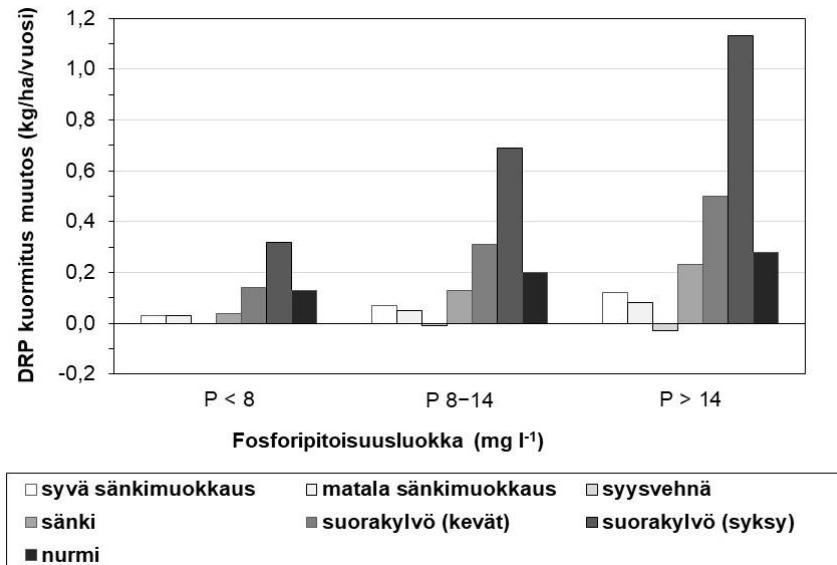
Vaihtoehtoisten toimenpidemuutosyhdistelmien ja niitä vastaavien vaikutuslukujen lukumäärä on suuri. Lohkokohtaisten toimenpiteiden muutosten vaikutukset ovat laskettavissa peltoluokittain suoraan ominaiskuormituskerrotoimista liitteissä 1–4. Kuvissa 14–16 esitetään syyskyntöä korvaavien kevenetyn muokkauksen ja maan talviaikaista kasvipeitteisyyttä lisäävien peltotoimenpiteiden ominaiskuormituslukujen erotuksiin perustuvista lohkokohtaista ympäristötoimenpiteiden vaikutuksista kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitukseen.



Kuva 14. Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden (syyskyntö korvataan kevyemmällä muokkauksella tai talviaikaisella kasvipeitteisyydellä) vaikutukset a) kiintoaineen (savi- ja hiesumaat) ja b) partikkelifosforin (savimaat) vuosikuormitukseen kaltevuusluokittain. Kuormituksen aleneminen (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>) perustuu liitteissä 1 ja 2 esitettyihin toimenpiteiden muutoksia vastaavien ominaiskuormituskertoimien erotuksiin.

Kiintoaineen ja partikkelifosforin vuosikuormitus pienenee vertailutaso- taan sitä enemmän, mitä suurempi peltotoimenpiteen muutos on kynnetystä maasta kasvipeitteisyyden suuntaan ja mitä kaltevammalla pellolla se toteu- tetaan (Kuvat 14 ja 15). Kiintoainekuormituksen aleneminen (Kuva 14a) pe- rustuu peltotoimenpiteiden muutoksiin savi- ja hiesumailla ja partikkelifos- forin kuormituksen aleneminen (Kuva 14b) peltotoimenpiteiden muutoksiin savimailla (vrt. Luku 3.3.1, Taulukko 12).

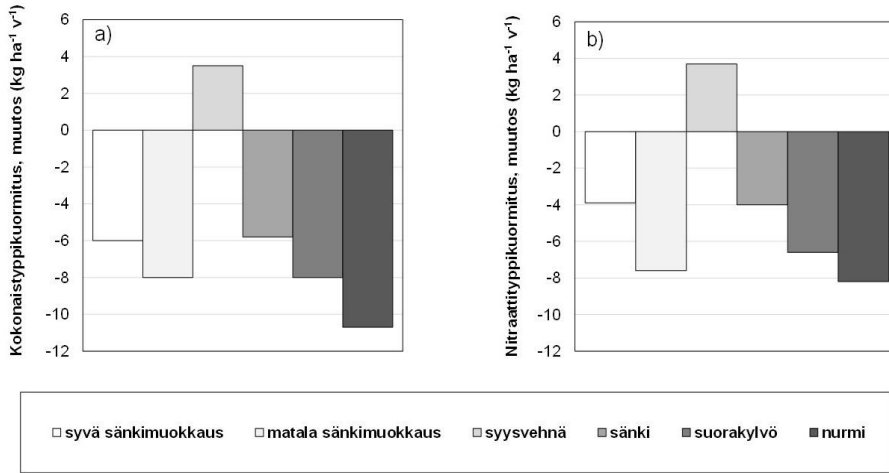
Liukoisin fosforin (DRP) vuosikuormituksen muutosta kuvaavat vaiku- tusluvut kasvavat (kuormitus kasvaa) kivennäismailla (vrt. Luku 3.3.1, Tau- lukko 10) korvattaessa syyskynntö kevennetyllä muokkauksella tai maan talvi- aikaista kasvipeitteisyyttä lisäävillä toimenpiteillä kaikissa fosforipitoisuus- luokissa (Kuva 15). Vaikutusluvut ennakoivat sitä suurempaa liukoisin fosforin kuormituksen kasvua mitä suurempi peltotoimenpiteen muutos on kas- viteitteisyyden suuntaan ja mitä korkeampi pellon fosforitila on.



Kuva 15. Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden (syyskynntö korvataan kevyemmällä muokkauksella tai talviaikaisella kasvipeitteisyydellä) vaikutukset liukoisin fosforin (DRP) vuosikuormitukseen kivennäismailla maan fosforitilaluokittain ( $P_{AAC} < 8 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $8-14 \text{ mg l}^{-1}$  ja  $> 14 \text{ mg l}^{-1}$ ). Kuormituksen kasvaminen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ) perustuu liitteessä 3 esitettyihin toimen- piteiden muutoksia vastaavien ominaiskuormituskertoimien erotuksiin. x-akselilla maan fosforipitoisuusluokka.

Kokonaistypen ja nitraattitypen vaikutusluvut ennakoivat vuosikuormi- tuksen alenemista savi- ja hiesumailla (vrt. Luku 3.3.1, Taulukko 10) korvat- taessa syyskynntö kevennetyllä muokkauksella tai maan talviaikaista kasvi- peitteisyyttä lisäävillä toimenpiteillä (Kuva 16). Lohkokohtaiset vaikutusluvut ovat samat kaikissa kaltevuusluokissa. Vaikutuslukujen ennakoima vuosi- kuormitus pienenee sitä enemmän, mitä suurempi toimenpiteen muutos on

kasvipeitteisyyden suuntaan. Vaikutukset ovat samansuuntaisia kuin kiintoainekumituksessa.



Kuva 16. Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden (syyskylvä korvataan kevyemmällä muokkauksella tai talviaikaisella kasvipeitteisyydellä) vaikutukset a) kokonaistyyppien ja b) partikkelifosforin vuosikuormitukseen savi- ja hiesumailta kaltevuusluokittain. Kuormituksen aleneminen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) perustuu liitteessä 4 esitettyihin toimenpiteiden muutoksiin vastavien ominaiskuormituskertoimien erotuksiin.

Edellä esitetyt vaikutusluvut kuvaavat pitkän aikavälin keskimääräisen kuormituksen toimenpidekohtaista kuormituksen alenemista lohkokasolla korvattaessa syyskylvä vaihtoehtoisella toimenpiteellä. Vastaavat vaikutusluvut VIHMA laskee sisäisenä laskentana mille tahansa lohkokohdaiselle toimenpidemuutokselle. Jos kuormituslaskennassa muutettuihin lohkokohdaisiin toimenpiteisiin yhdistetään ominaiskuormituskertoimien yläarvot (so. kuormittavien vuosien kertoimet) ja kuormituksen vertailutaso perustuu keskimääräisiin kertoimiin, vaikutusluvut sisältävät nettomääräisenä ympäristötoimenpiteen kuormitusta vähentävän ja hydrologisen vuoden kuormitusta lisäävän vaikutuksen. Valuma-alueella kuormituksen muutos on kuormituksen vertailutason ja toimenpiteiden jälkeen lasketun kuormituksen erotus. Kuormituksen muutosarvioita on mahdollista tehdä erilaisilla toimenpiteiden ja hydrologisten vuosien yhdistelmillä.

### Suojavyöhykkeiden vaikutusluvut

VIHMAN suojavyöhyke-peltotoimenpide-yhdistelmien vaikutusluvut esitetään Liitteessä 5. Ne olivat arvioita suojavyöhykkeettömän ja suojavyöhykkeellisen pellon vuosikuormituksen eroista, ts. suojavyöhykkeen perustamisesta saatavasta kuormitusmuutoksesta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ). Erilaisien suojavyöhyke-peltolohko-yhdistelmien määrä on suuri, eikä kokeellista suojavyöhykkei-



tä koskevaa suoraa tutkimustietoa eri vaihtoehdoille ollut käytettävissä. Suojavyöhykkeiden vaikutusluvut määriteltiin edellä esitettyjen VIHMAN ominaiskuormituskertoimien ja keskimääräisen peltolohkon avulla (Luku 3.3.2, IV). Suojavyöhykkeiden vaikutusluvut ovat verrannollisia edellä esitettyihin lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden vaikutuslukuihin.

Pelloilta muodostuvan kiintoaineen, partikkelifosforin ja typen vuosikuormituksen pienenemistä kuvaavat suojavyöhykkeiden vaikutusluvut esitetään Liitteissä 5a ja 5b. Vaikutuslukujen vaihteluväli kuvaa suojavyöhykkeistä saatavan kuormitusmuutoksen keskimääräistä vaihtelua vähän kuormittavien (Ks-Lt) ja kuormittavien (Ss-VLt) hydrologisten vuosien välillä (II). Kaikissa yhdistelmissä suojavyöhykkeiden vaikutuskertoimet osoittavat kuormituksen vähenemistä. Poikkeuksena oli suojavyöhyke-sänki- ja suojavyöhyke-suorakylvö-yhdistelmien vaihteluväli, joissa typpikuormituksen muutosta kuvaava vaikutusluku oli muista yhdistelmistä poiketen vähän kuormittavana vuonna (Ks-Lt) suurempi kuin kuormittavana vuonna (Ss-VLt).

Liukoisen fosforin (DRP) vuosikuormituksen muutosta arvioivat suojavyöhykkeiden vaikutusluvut (suojavyöhyke vs. pellon muokkaus-kasvipeitteisyysaste vs. fosforipitoisuusluokka) esitetään liitteessä 5c. Vaikutusluvut ennakoivat suojavyöhykkeille liukoisen fosforin keskimääräisen vuosikuormituksen kasvua lukuun ottamatta suojavyöhyke-suorakylvövaihtoehtoa, jonka yhteydessä suojavyöhykkeen vaikutusluku ennakoi vuosikuormituksen alenemistä.

### *Kosteikkojen vaikutusluvut*

Vastaanottavan vesistön näkökulmasta kosteikon tulisi pidättää mahdollisimman suuri osa siihen tulevasta kiintoaine- ja ravinnekuormasta (III). Kosteikon kiintoaineen ja ravinteiden pidätyskykyä kuvaa kosteikon suhteellisesta koosta (kosteikon pinta-ala suhteessa yläpuolisen valuma-alueen pinta-alaan) riippuva pidättymis-% (Luku 3.3.2, Kuva 8). Kosteikkojen laskennallinen vaikutusluku kuvaa yläpuolisen valuma-alueen peltohehtaaria kohti jyvitettyä pidättyvää ainemäärää vuodessa (Taulukko 20). Kosteikon pidätysvaikutusta kuvaavat vaikutusluvut riippuvat kosteikon pidättymis-%:sta (Luku 3.3.2, Kuva 8) ja siihen tulevasta yläpuolisen valuma-alueen peltojen keskimääräisestä kuormittavuudesta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ).

Taulukossa 20 esitetyt vaikutusluvut perustuivat VIHMAN testaamisen (Luku 3.3.4, Taulukko 13) yhteydessä laskettuun koko peltoalan keskimääräiseen kuormitustasoon (IV). Kosteikon vaikutusluvut ovat vertailtavissa lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden ja suojavyöhykkeiden vaikutuslukuihin. Jos kosteikkojen tehokkuus (pidättymis-%) riippuu pelkästään sen suhteellisesta koosta ja kosteikkoon tulevan kuormituksen määrä ei vaikuta pidättymis-%:iin, erilaisten kosteikko - valuma-alue - peltoisuus - yhdistelmien perusteella on pääteltävissä seuraavat kosteikkojen toimintaa kuvaavat yleistyksiset (III):

- Kosteikon suhteellisen koon kasvaessa, peltoisuus-%:n pysyessä ennallaan ja peltojen kuormittavuuden ollessa keskimääräinen kosteikkoon pidättyvän kiintoaineen ja ravinteiden kokonaismäärä kasvaa ja laskennallinen pidättyvä ainemäärä yläpuolisen valuma-alueen peltohehtaaria kohden kasvaa
- Kosteikon yläpuolisen valuma-alueen peltoisuus-%:n kasvaessa, kosteikon suhteellisen koon pysyessä ennallaan ja peltojen kuormittavuuden ollessa keskimääräinen kosteikkoon pidättyvän kiintoaineen ja ravinteiden kokonaismäärä kasvaa ja laskennallinen pidättyvä ainemäärä yläpuolisen valuma-alueen peltohehtaaria kohden pysyy ennallaan
- Kosteikon yläpuolisen valuma-alueen peltojen kuormittavuuden kasvaessa ja kosteikon suhteellisen koon pysyessä ennallaan kosteikkoon pidättyvän kiintoaineen ja ravinteiden kokonaismäärä kasvaa ja laskennallinen pidättyvä ainemäärä peltohehtaaria kohden kasvaa

Taulukko 20. Mitoitukseltaan (kosteikon pinta-alan ja yläpuolisen valuma-alueen pinta-alan suhde) eri kokoisten kosteikkojen pidättämä kiintoaineen ja ravinteiden laskennallinen määrä yläpuolisen valuma-alueen peltohehtaaria kohden keskimääräisellä peltojen kuormitustasolla (IV).

Kosteikon pinta- alaosuus valuma- alueenpinta-alasta (%)	Kosteikkoon pidättynyt valuma-alueen peltohehtaaria kohden laskettu laskennallinen ainemäärä (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> )				
	Kiintoaine	Part P	DRP	Kok N	Nit N
0,1	40	0,05	< 0,01	0,19	0,13
0,2	59	0,07	0,01	0,38	0,26
0,3	75	0,09	0,01	0,57	0,39
0,4	88	0,11	0,01	0,76	0,53
0,5	100	0,12	0,02	0,96	0,66
1	148	0,18	0,04	1,91	1,32
1,5	187	0,22	0,06	2,87	1,97
2	220	0,26	0,07	3,82	2,63
3	277	0,33	0,11	5,7	3,90
4	327	0,39	0,15	7,6	5,30
5	370	0,45	0,18	9,6	6,60

Part P = partikkelifosfori, DRP=liukoinen fosfori, Kok N=kokonaistyyppi, Nit N=nitraattityppi

### 4.2.3 VIHMAN TOIMINTAPERIAATE JA KÄYTTÖ

VIHMA-työkalu on Excel-pohjainen laskenta-alusta, jonka ydin muodostuu edellä kuvatuista ominaiskuormituskertoimista (Liitteet 1–4) sekä lohkokoh-  
taisista ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvuista (Luku 4.2.2 Kuvat 14–16),  
suojavaikuttajien vaikutusluvuista (Liite 5) ja kosteikkojen vaikutusluvuista  
(Luku 4.2.2 Taulukko 20). Työkalua käytetään lisäämällä siihen tarkastelta-  
van alueen hehtaariohjeet (viljelykasvit vs. pellon talviaikainen tila pelto-

luokittain) ja suhteellisista jakaumista (pellon fosforitila) koostuvat syöttötiedot. Tiedoista muodostuu tarkasteltavan alueen taulukkomuotoinen pelto kuvaus (Luku 3.3.3 Kuva 9), joka kuormituslaskennassa tuottaa työkalun kertoimien ja vaikutuslukujen kanssa alueen kuormitusarviot. Työkalua voidaan soveltaa eri kokoisilla alueilla kuivatusalueen mittakaavasta alkaen koko maan peltoalalle.

VIHMAssa voidaan muuttaa peltotoimenpiteitä, kohdentaa toimenpiteitä kaltevimille pelloille, alentaa maan fosforipitoisuutta ja arvioida erilaisten yhdistelmien kokonaisvaikutuksia valuma-alueella. Työkalulla voidaan arvioida myös hydrologisten vuosivaihteluiden vaikutuksia käyttämällä keskimääräisten ominaiskuormituskertoimien sijaan kuormittavien tai kuormittavien vuosien kertoimia. Työkalussa voidaan myös arvioida peltoalan poistamista viljelyksessä ja vertailla sitä ympäristötoimenpiteiden toimenpiteiden vaikutuksiin.

### **4.3 Vihma-työkalun käyttökelpoisuuden testaamisessa mittakaavaltaan kahdella erikokoisella alueella saadut kuormitus- ja toimenpiteiden vaikutusarviot**

VIHMAN käyttökelpoisuuden testaamisessa tuotetut kuormitusarviot ovat ennustearvoja peltoviljelyn keskimääräisestä kokonaiskuormituksesta ja pelto luokkakohtaisesta vuosikuormituksesta (Taulukko 21) sekä keskimääräisestä hehtaarikohtaisesta vuosikuormituksesta ja kuormituksen keskimääräisestä vuosivaihtelusta (Taulukko 22). Kuormituksen ennustearvot esitetään myös luokiteltuna peltojen talviaikaisen tilan mukaan – perusmuokkaus, syysvilja, pysyvä nurmi (Taulukko 23). Koko maan peltoalalla työkalun testauksessa syöttötiedot olivat vuoden 2004 peltoala- ja viljelytietoja (Luku 3.3.4, Taulukko 13). Savijoen valuma-alueella viljelyalatiedot ja toteutukseltaan eriaisteiset suorakylvön toteutusalat olivat artikkelista IV ja ympäristötoimenpiteiden määrät MYTVAS2-tutkimuksesta (Turtola ja Lemola 2008). Savijoen kuormitusennusteet esitetään luvun lopussa.

VIHMA on tarkoitettu sovellettavaksi millä tahansa alueella tuottamaan kuormituksen ennustearvoja mitatun kuormitustiedon puuttuessa. Työkalun testauksessa tuotettujen kuormitusennusteiden vertailuvastineet ovat pienten valuma-alueiden seurantoihin perustuvat ominaiskuormitusluvut (koko maa) ja yksittäisen valuma-alueen seurantulokset (Savijoki). Näitä tarkastellaan laajemmin tulosten tarkastelussa sekä vertaillaan KiertoVesi-hankkeessa VIHMAlla laskettuihin kuormitusarvioihin (Puustinen ym. 2019).

### *Peltoviljelyn keskimääräinen vuosikuormitus ja vuosivaihtelu*

Kiintoaineen ja partikkelifosforin keskimääräinen kokonaiskuormitus vuodessa ( $\text{tn v}^{-1}$ ) jakaantuivat eri kaltevuusluokkiin suuruusluokaltaan melko tasaisesti (Taulukko 21). Liukoisen fosforin (DRP), kokonaistypen ja nitraattitypen vuosikuormat painottuivat kahteen tasaisimpaan peltoluokkaan. Keskimääräinen hehtaarikohtainen kiintoaineen vuosikuormitus oli  $605 \text{ kg ha}^{-1}$ , partikkelifosforin  $0,79 \text{ kg ha}^{-1}$ , liukoisen fosforin  $0,45 \text{ kg ha}^{-1}$ , kokonaisfosforin  $1,24 \text{ kg ha}^{-1}$  (so. liukoinen ja partikkelifosfori yhteensä) ja kokonaistypen vuosikuormitus  $18,3 \text{ kg ha}^{-1}$  (Taulukko 22) (IV).

Kiintoaineen ja partikkelifosforin keskimääräisen hehtaarikohtaisen vuosikuormituksen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ) ja keskimääräisen vuosivaihtelun (Ks-Lt vs. Ss-VLt) perusteella kaksi kaltevinta peltoluokkaa olivat erittäin kuormittavia tasaisempiin luokkiin verrattuna (Taulukko 22). Kuormittavien vuosien keskimääräinen vuosikuormitus oli kaltevimmassa peltoluokissa kaksinkertainen vähän kuormittavien vuosien keskimääräiseen vuosikuormitukseen verrattuna. Kaltevuuden vaikutus tyyppikuormitukseen ja liukoisen fosforin hehtaarikohtaiseen kuormittavuuteen ei ollut merkittävä (Taulukko 22). Liukoisen fosforin keskimääräinen vuosivaihtelu (Ks-Lt vs. Ss-VLt) oli hyvin vähäistä (IV).

Pellon viljelyn vaikutusta kiintoaineen ja ravinteiden kuormitukseen arviointiin ryhmittelemällä taulukoissa 21 ja 22 esitetyt tulokset kolmeen pellon muokkaus-kasvipeitteisyys-luokkaan (Taulukko 23). Kiintoaineen, partikkelifosforin ja typen keskimääräisen vuosikuormituksen perusteella tarkasteltuna syksyllä kynnetty peltoala oli selkeästi kuormittavin. Liukoisen fosforin keskimääräinen vuosikuormitus oli suurin nurmipelloilta.

Taulukko 21. VIHMAlla laskettu peltoviljelyn kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitusarvio ilman ympäristötoimenpiteitä kaltevuusluokittain vuoden 2004 peltoalatiedoilla (Luku 3.3.4, Taulukko 13) (IV).

Kuormittaja	Arvio keskimääräisestä kokonaiskuormituksesta ( $\text{tn v}^{-1}$ ) kaltevuusluokittain (%)					Yhteensä
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0	
Kiintoaine	214 121	228 126	311 848	292 493	291 090	1 337 677
Part P	357	281	317	375	420	1750
DRP	420	239	180	91	59	930
Kok P	777	520	497	466	479	2680
Kok N	16 716	9 645	7 323	3 763	2 444	39 890
Nit N	11 599	6 746	5 143	2 663	1 732	27 883

Part P = partikkelifosfori, DRP = liukoinen fosfori, Kok P = kokonaisfosfori, Kok N = kokonaistyyppi  
Nit N = nitraattityppi

Taulukko 22. VIHMAlla laskettu kiintoaineen ja ravinteiden keskimääräinen hehtaarikohtainen vuosikuormitusarvio ja vuosikuormituksen keskimääräinen vaihteluväli (vähän kuormitettava vuosi (Ks-Lt) ja kuormittava vuosi (Ss-VLt)) (II, IV) ilman ympäristötoimenpiteitä vuoden 2004 peltoalatieidoilla (Luku 3.3.4, Taulukko 13) peltojen kaltevuusluokittain (II, IV).

Kuormittaja vaihteluväli	Keskimääräinen hehtaarikohtainen vuosikuormitusarvio (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> ) kaltevuusluokittain (%)					Keskim.
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0	
Kiintoaine	250	415	730	1 255	1 930	605
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	205–285	335–480	585–850	905–1540	1310–2435	460–720
Part P	0,42	0,51	0,74	1,61	2,79	0,79
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,37–0,45	0,45–0,56	0,64–0,82	1,05–2,06	1,60–3,74	0,60–0,94
DRP	0,49	0,43	0,42	0,39	0,39	0,45
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,48–0,54	0,43–0,48	0,42–0,46	0,39–0,43	0,39–0,43	0,44–0,49
Kok N	19,7	17,9	17,6	16,7	16,7	18,3
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	14,3–21,2	12,9–19,1	12,6–18,7	11,8–17,6	11,9–17,6	13,2–19,6
Nit N	13,6	12,5	12,3	11,7	11,8	12,8
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	10,5–15,8	9,5–14,4	9,4–14,1	8,9–13,4	8,9–13,4	9,8–14,7

Part P = partikkelifosfori, DRP = liukoinen fosfori, Kok N = kokonaistyyppi, Nit N = nitraattityppi

Taulukko 23. VIHMAlla laskettu arvio kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormituksesta muokkauksen ja kasvipeitteisyyden mukaan ilman ympäristötoimenpiteitä vuoden 2004 peltoalatieidoilla (Luku 3.3.4, Taulukko 13) sekä kuormituksen keskimääräinen vaihteluväli (vähän kuormitettava vuosi (Ks-Lt) ja kuormittava vuosi (Ss-VLt)) (II, IV).

Peltotoimenpide vaihteluväli	Arvio keskimääräisestä kokonaiskuormituksesta (tn v <sup>-1</sup> )					
	Kiintoaine	Part P	DRP	Kok P	Kok N	Nit N
Syyskyntö	750	0,93	0,33	1,26	21,1	15
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	550–905	0,67–1,13	0,30–0,39		15,4–22,9	12,0–17,5
Syysviljat	565	0,75	0,32	1,07	25,2	19,5
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	405–695	0,55–0,91	0,30–0,37		20,3–25,2	17,0–20,7
Nurmet	250	0,45	0,49	0,94	9,5	5,7
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	240–260	0,43–0,48	0,55–0,45		6,9–10,8	3,4–7,3
Keskimäärin	605	0,79	0,45		18,3	12,8
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	460–720	0,60–0,94	0,44–0,49		13,2–19,6	9,8–14,7

Part P = partikkelifosfori, DRP = liukoinen fosfori, Kok P = kokonaisfosfori, Kok N = kokonaistyyppi, Nit N = nitraattityppi

### *Peltoviljelyn vuosikuormituksen osuus peltoluokittain*

Koko peltoalalta tulevan keskimääräisen kiintoaine- ja ravinnekuormituksen (Taulukko 21) suhteellinen jakauma kaltevuusluokittain (artikkelin IV Taulukko 7) on esitetty maalajiryhmittäin Taulukossa 24, mitä verrattiin kaltevuusluokkien ja maalajiryhmien peltoalan suhteelliseen jakaumaan (Luku 3.2.1, Taulukko 11). Kivennäismaiden kahdessa kaltevimmassa peltoluokassa (Taulukko 24) kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitusosuudet (43,6 ja 45,1 %) olivat lähes kolminkertaisia peltoalaosuuteensa (16,8 %) verrattuna. Kolmessa kaltevimmassa kivennäismaiden luokassa vastaavat kuormitus-

osuudet (66,5 % ja 61,9 %) olivat kaksinkertaiset peltoalaosuuksiinsa verrattuna.

Näiden tulosten mukaan liukoisen fosforin kuormitusosuus eloperäisiltä mailta (29 %) oli kaksinkertainen peltoalaosuuteensa (14,3 %) verrattuna (Taulukko 24). Kivennäismailta liukoisen fosforin osuus kokonaiskuormituksesta oli peltoalaosuuttaan pienempi, ja mikä poikkeama oli samanlainen kussakin peltoluokassa. Peltojen fosforipitoisuuden luokittelujakauma oletettiin laskennassa samanlaiseksi kaikissa kivennäismaiden kaltevuusluokissa (Taulukko 24).

Taulukko 24. Kiintoaine- ja ravinnekuormituksen (Taulukko 21) suhteellinen osuus (%) kaltevuusluokittain (IV) ja maalajiryhmittäin (vrt. peltoalajakauma, luku 3.2.1, Taulukko 11). Peltoalaosuuttaan suurempi kuormitusosuus varjostettu harmaalla

Maalaji	Kaltevuus (%)					Yhteensä
	<0,5	0,5–1,5	1,5–3	3–6	>6	
<i>Kiintoaine</i>						
Savi	5,6	6,5	8,4	7,4	6,8	34,7
Hiesu	2,3	2,9	4,0	3,9	4,1	17,3
Hieta	5,8	6,9	10,5	10,4	10,9	44,5
Eloperäinen	2,3	0,7	0,4	0,1	0,0	3,6
Yhteensä	16	17,1	23,2	21,9	21,8	100
<i>Part P</i>						
Savi	6,8	6,6	7,4	8,7	9,1	38,6
Hiesu	2,5	2,6	3,2	4,1	4,9	17,3
Hieta	4,8	4,8	6,3	8,3	9,9	34
Eloperäinen	6,3	2,0	1,3	0,2	0,1	10
Yhteensä	20,4	16,1	18,1	21,4	24,0	100
<i>DRP</i>						
Savi	11,6	8,3	6,1	3,3	2,0	31,4
Hiesu	4,1	3,2	2,5	1,5	1,0	12,4
Hieta	8,9	6,7	5,7	3,5	2,4	27,2
Eloperäinen	18,5	5,9	3,7	0,6	0,4	29
Yhteensä	42,5	24,1	18,0	9,0	5,8	100
<i>Nit N</i>						
Savi	10,4	7,5	5,5	3,0	1,8	28,2
Hiesu	4,3	3,4	2,6	1,6	1,1	13,0
Hieta	11,2	8,4	7,2	4,4	3,0	34,2
Eloperäinen	15,7	5,0	3,1	0,5	0,3	24,6
Yhteensä	41,6	24,2	18,4	9,5	6,2	100
<i>Kok N</i>						
Savi	10,7	7,7	5,7	3,1	1,8	29,0
Hiesu	4,4	3,5	2,7	1,6	1,1	13,4
Hieta	10,6	7,9	6,8	4,2	2,8	32,2
Eloperäinen	16,2	5,2	3,2	0,5	0,4	25,5
Yhteensä	41,9	24,2	18,4	9,4	6,1	100

Part P = partikkelifosfori, DRP = liukoinen fosfori, Nit N = nitraattityppi, Kok N = kokonaistyyppi

Tulosarvioiden mukaan typpikuormituksesta 65,8 % tuli kahdesta tasaisimmasta peltoluokasta (Taulukko 24), mikä vastasi peltoalan jakaumaa (63,5 % pelloista kahdessa tasaisimmassa luokassa). Maalajiluokittain tarkasteltuna eloperäisten maiden typpikuormituksen osuus oli peltoalaosuuttaan suurempi.

Peltoalan ja kokonaiskuormituksen osuusjakaumien vertailun mukaan suurin kiintoaine- ja ravinnekuormitus ei muodostunut samoilta pelloilta (Luku 3.2.1, Taulukko 11 ja Taulukko 24). Kiintoaine- ja partikkelifosforin kuormittavimmat pellot olivat kaltevat kivennäismaiden lohkot, ja typpikuormituksen kuormittavimmat pellot olivat eloperäisten maiden lohkoja. Liukoisen fosforin huuhtoutuminen kytkeytyi eloperäisiin maihin sekä peltojen korkeaan fosforipitoisuuteen ja talviaikaiseen kasvipeitteisyyteen (IV).

### *Peltoviljelyn hehtaarikohtainen vuosikuormitus pellon käytön mukaan*

VIHMALLA lasketusta Suomen koko peltopinta-alalta tulevasta kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta 70–85 % muodostui syksyllä kynnettyä peltoalalta (Taulukko 25). Syysviljan merkitys kokonaiskuormituksesta oli pieni pienen viljelyalan vuoksi (Luku 3.3.4, Taulukko 13). Liukoista fosforia lukuun ottamatta nurmelta keskimääräisen vuosikuormituksen osuus kokonaiskuormituksesta oli peltoalaosuutta pienempi (vrt. Taulukko 11). Nurmialalta arvioitu liukoisen fosforin kuormitusosuus (Taulukko 25) oli suurempi kuin nurmialan osuus koko peltoalasta (vrt. Taulukko 13).

Taulukko 25. VIHMALLA lasketun kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormituksen suhteellinen osuus muokkauksen ja kasvipeitteisyyden mukaan ilman ympäristötoimenpiteitä vuoden 2004 peltoalatiiedoilla (Luku 3.3.4, Taulukko 13).

Muokkaus vs. maanpinnan laatu	Kuormittava tekijä					
	Erosio	Part P	DRP	Kok P	Kok N	Nit N
Syyskyntö	85,7	81,1	61,0	74,1	81,0	82,6
Syysviljat	2,8	2,9	2,6	2,8	4,2	4,7
Nurmet	11,5	16,1	36,4	23,1	14,8	12,7
Yhteensä	100	100	100	100	100	100

Part P = partikkelifosfori, DRP = liukoinen fosfori, Kok P = kokonaisfosfori, Kok N = kokonaistyyppi, Nit N = nitraattityppi

### *Peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormitus ja kuormituksen alentaminen valuma-alueella*

Savijoen-valuma-alueen pelloilta tulevan kiintoaineen vuosikuormitus ilman ympäristötoimenpiteitä (VIHMALLA laskettu vertailutaso) oli yhteensä 486 750 kg, kokonaisfosforin kuormitus 924 kg, partikkelifosforin kuormitus 710 kg, liukoisen fosforin (DRP) kuormitus 213 kg, kokonaistypen kuormitus 9840 kg ja nitraattitypen vuosikuormitus 6820 kg. Alueen peltopinta-alalle

(601 ha) tasaisesti jaettuna keskimääräinen eroosio oli  $810 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ , partikkelifosforin vuosikuormitus  $1,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ , liukoisen fosforin vuosikuormitus  $0,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ , kokonaistypen vuosikuormitus  $16,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  ja nitraattitypen vuosikuormitus  $11,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  (IV).

Kevennetty muokkaus ja talviaikainen sänki alensivat Savijoella VIHMA-laskelmien mukaan vuosien 2000–2002 toteutuksen laajuudella kiintoaineen, partikkelifosforin ja kokonaistypen vertailutason kuormitusta 1–2 %. Toimenpiteiden laaja-alaistuessa vuosina 2003–2005 kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitus aleni 4–5 % ja kokonaistyyppi runsaat 16 % (IV). Kohdennettuina kaltevimmille pelloille kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitus VIHMAN testauksessa aleni 8–10 % ja kokonaistypen kuormitus em. 16 %. Liukoisen fosforin kuormitus ensimmäisellä jaksolla kasvoi 0,1 % ja toisella jaksolla 7,4 % (IV).

Suorakylvön asteittainen soveltaminen kaltevimmilla pelloilla alensi VIHMAN testitulosten mukaan kiintoaineen ja partikkelifosforin vertailutason kuormitusta 30–40 % ja kokonaistypen kuormitusta 6–17 %. Koko peltoalalla toteutettuna suorakylvö alensi kiintoaineen, partikkelifosforin ja kokonaistypen vuosikuormitusta 40–60 % vertailutasostaan. Liukoisen fosforin vuosikuormitus suorakylvövaihtoehdoissa kasvoi aluksi 20 % ja koko peltoalalla toteutettuna 90 % vertailutason kuormituksesta (IV). Suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen vaikutuksia ei niiden vähäisyyden vuoksi sisällytetty VIHMA-työkalun testaukseen.



## 5 TULOSTEN TARKASTELU

Tulosten tarkastelu esitetään VIHMA-työkalun kehitystyön vaiheisiin verrattuna käänteisessä järjestyksessä. Tarkastelu alkaa työkalun testaamisesta koko viljellyn peltoalan ja Savijoen valuma-alueen kuormituksen arvioimiseksi ja päättyy lohko-kohtaisten ympäristötoimenpiteiden, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen vaikutuslukujen ja riippumattomien menetelmäkohtaisten kokeellisten tulosten vertailuun. Tämän pohjalta lopuksi arvioidaan työkalun tarkoitustaan vastaavaa käyttöä valuma-alueen kuormituksen hallinnassa.

Vuoden 2004 peltoala- ja viljelytietoihin (Luku 3.3.4, Taulukko 13) perustuvaa peltoviljelyn kokonaiskuormitusta (Luku 4.3, Taulukko 21) ja keskimääräistä hehtaari-kohtaista vuosikuormitusta (Taulukko 22) verrataan maatalouden valtakunnallisiin kuormitusarvioihin sekä maatalouden seurantaverkon pienten valuma-alueiden ominaiskuormituslukuihin (Luku 1.2.2, Taulukko 3, Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 2017a) ja muihin riippumattomiin valuma-alueen tutkimustuloksiin (Räty ym. 2020). Savijoen valuma-alueen kuormitusarvioita verrataan pitkäaikaisiin valuma-aluekohtaisiin seurantatuloksiin (Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 2017a). Tämän jälkeen tarkastellaan VIHMAN ominaiskuormituskertoimien (Liitteet 1–4) ja taustaineistona käytetyn huuhtoutumiskenttien yhdistetyn aineiston (Luvut 4.1.1–4.1.4, Taulukot 14–19) yhdistäviä piirteitä ja samankaltaisuutta. Seuraavaksi vertaillaan VIHMAN ominaiskuormituskertoimia sekä vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuslukuja vastaaviin riippumattomiin menetelmäkohtaisiin kokeellisiin tutkimustuloksiin.

Sovellettaessa VIHMA-työkalua KiertoVesi-hankkeessa ympäristötoimenpiteiden vaikutusarviointiin (Puustinen ym. 2019) toimenpiteet perustuvat Maatalouslaskenta 2010 yhteydessä toteutettuun maanmuokkausta ja talviaikaista kasvipeitteisyyttä selvittävään otantatutkimukseen (Tike 2013) ja Maaseutuviraston KiertoVesi-hankkeelle tuottamiin peltolohkokisterin vuosien 2016–2017 ympäristötoimenpiteitä koskeviin pinta-alalaskelmiin (Mavi 2017). Kasvikohtaiset pellonkäyttötiedot (Luku 3.3.4, Taulukko 13) perustuivat vuosien 2010 ja 2016 viljelytilastoihin (Luku 2021). VIHMA-työkalua myös kehitettiin lisäämällä fosforiluokkia kolmesta viiteen (Luku 3.2.2). Vuoden 2004 peltotietoihin perustuvien kuormitusarvioiden ja valuma-alueen ympäristötoimenpiteiden (Turtola ja Lemola 2008) vaikutusarvioiden tarkastelua täydennetään KiertoVesi-hankkeen kuormitusarvioilla ja ympäristötoimenpiteiden vaikutusarvioilla. Työkalun käytettävyyttä ympäristötoimenpiteiden suunnittelussa tarkastellaan edellä esitettyjen näkökulmien ja suuruusluokkavertailujen pohjalta kokonaisvaltaisena arviona.

## 5.1 Vihmaan perustuva peltoviljelyn vuosikuormitus ja kuormitusvaihtelu

### *Peltoviljelyn kokonaiskuormitus*

Vuoden 2004 peltoalaan ja viljelykasvien viljelyalaan perustuvat VIHMAlla lasketut vuosikuormitusarviot ilman ympäristötoimenpiteitä, kokonaisfosfori 2 680 tn ja kokonaistyyppi 39 890 tn (Luku 4.3, Taulukko 21), olivat samaa suuruusluokkaa kuin maatalouden seurantaverkon pieniin valuma-alueisiin perustuva valtakunnallinen maatalouden vuosikuormitus. Tattarin ym. (2017a) esittämä arvio runsaan kahdenkymmenen vuoden seurantajakson ajalta kokonaisfosforin keskimääräisestä vuosikuormituksesta oli 2 400–2700 tn ja kokonaistypen vuosikuormituksesta 34 000–37 000 tn. Samaa suuruusluokkaa VIHMAN vuosikuormitusarvion kanssa oli myös VEMALAMallilla YLVA-järjestelmään vuosittain päivitettävä maatalouden valtakunnallinen kokonaisfosforin vuosikuormitusarvio 2 200 tn ja kokonaistypen vuosikuormitusarvio 36 000 tn (Syke 2020). KiertoVesi-hankkeessa vuosien 2009–2010 ja 2016–2017 pelto- ja viljelyalatietoihin perustuvat VIHMAN kuormitusarviot ilman ympäristötoimenpiteitä, kokonaisfosfori 2 670 tn ja kokonaistyyppi 36 460 tn (Puustinen ym. 2019), olivat samaa suuruusluokkaa kuin vuoden 2004 peltoalatietoihin perustuvat arviot.

Kokonaiskuormituksen erityispiirre oli suuri vuosivaihtelu. VIHMAssa kuormittavien vuosien ja vähän kuormittavien vuosien ominaiskuormituskertoimiin perustuva laskennallinen vuosikuormituksen (vuoden 2004 peltoalatiedot: kokonaisfosfori 2 300–3 200 tn ja kokonaistyyppi 29 200–43 400 tn (IV)), vaihtelu oli määrittämenetelmän takia pienempi kuin todellinen valuma-alueen vuosivaihtelu. Vuorenmaan ym. (2002) viiden vuoden jaksossa tehty valuma-alueiden seuranta-aineiston tarkastelussa (periodit I-III) jaksot olivat kuormittavuudeltaan erilaisia ja kokonaisfosforin vuosikuormitus vaihteli välillä 1 200–3 700 tn ja kokonaistypen vuosikuormitus välillä 29 000–49 000 tn.

### *Peltoviljelyn hehtaarikohtainen vuosikuormitus*

Edellä vertailluista vuoden 2004 peltoalaan ja pellon käyttöön perustuvista VIHMAN ja pienten valuma-alueiden kokonaiskuormituksen vuosiarvioiden vastaavuudesta seuraa, että VIHMAN keskimääräiset hehtaarikohtaiset vuosikuormitusarviot, kokonaisfosfori 1,2 kg ja kokonaistyyppi 18,3 kg hehtaarilta (Luku 4.3, Taulukko 22 ja IV), olivat myös samaa suuruusluokkaa kuin maatalouden seurantaverkon ominaiskuormitusluvut, kokonaisfosfori 1,1 kg ja kokonaistyyppi 15,5 kg hehtaarilta (Tattari ym. 2017a). Poikkeuksena oli liukoisien fosforin VIHMAlla laskettu vuosikuormitusarvio 0,45 kg (Luku 4.3, Taulukko 22), joka oli suurempi kuin seurantaverkon ominaiskuormitusluku 0,18 kg. Kiintoaineen keskimääräiselle VIHMAN vuosikuormitusarviolle

605 kg hehtaarilta ei ole vertailtavaa maatalouden seurantaverkkoon perustuvaa ominaiskuormituslukua.

KiertoVesi-hankkeessa VIHMAlla vuosien 2009–2010 ja 2016–2017 peltoalatiedoilla laskettu hehtaariohtainen kokonaisfosforin vuosikuormitus oli edelleen 1,2 kg/ha, mutta kokonaistypen (16,0 kg/ha) ja kiintoaineen (520 kg/ha) kuormitusarviot olivat vuoden 2004 arviota pienempiä (Puustinen ym. 2019). Tämä johtui suuremmasta kasvipeitteisyysalasta (Luku 3.3.4, Taulukko 13), ts. kuormitusarviossa nurmen viljelyala oli suurempi ja kesantoalasta kaksi kolmasosaa oli kasvipeitteistä.

Hehtaariohtaisten VIHMAN kuormitusarvioiden vuosivaihtelut kokonaisfosforilla 1,0–1,4 kg ja kokonaistypellä 13,2–19,6 kg olivat pienemmät kuin maatalouden seurantaverkon pienillä valuma-alueilla. Kymmenen vuoden seurantajaksolla kokonaisfosforin ominaiskuormitusluvut vaihtelivat välillä 0,9–1,8 kg ja kokonaistypen ominaiskuormitusluvut välillä 8–20 kg hehtaarilta (Rekolainen 1989, 1993). Kiintoaineella VIHMAN keskimääräinen hehtaariohtainen kuormitusarvio vaihteli välillä 460–720 kg.

VIHMAN kuormitusarvioiden laskennassa talviaikainen pellon tila (muokkaus vs. kasvipeitteisyys) perustui viljelykasvien pinta-alaan (Luku 3.3.4, Taulukko 13) ja viljelyn vuosikiertoon (Luku 1.1.1, Kuva 2). Kuormitusarviot ovat arvioita peltolohkoilta paikallisvesien purkupisteessä pääosin kasvukauden ulkopuolella poistuvasta vuosikuormituksesta. Maatalouden seurantaverkon ominaiskuormitusluvut (Luku 1.2.2, Taulukko 3) ovat arvioita valuma-alueiden purkupisteestä poistuvasta alueiden koko peltoalan vuosikuormituksesta. Huomattavaa on se, että VIHMAN kuormitusarvioissa vuosivaihtelu on pienempi kuin seurantaverkon valuma-alueilla havaittu vaihtelu. Keskimääräisten kuormitusarvioiden pienet erot ovat lähtökohtaisesti oikeansuuntaisia ja johdonmukaisia valuma-alueiden peruskuivatuuksissa ja valuntaveden kokoavissa uomissa tapahtuvien luontaiseen kiintoaineen ja ravinteiden pidättymisen vuoksi. Oleellista vertailussa on huomioida se, että maatalouden seurantaverkon pienten valuma-alueiden keskeinen rooli on toimia koko peltoviljelyn vesistökuormituksen valtakunnallisena arviointi- ja seurantajärjestelmänä. Koko peltoalalle lasketut VIHMAN kuormitusarviot ovat käytännössä samansuuruiset.

### *Peltoviljelyn kuormitus valuma-alueella*

VIHMAN keskimääräinen vuosien 2000–2002 ja 2003–2005 peltoala- ja viljelytietoihin (Turtola ja Lemola 2008) perustuva Savijoen-valuma-alueen hehtaariohtainen vuosieroosio on 810 kg, partikkelifosforin vuosikuormitus 1,2 kg, liukoisen fosforin 0,4 kg, kokonaistypen 16,4 ja nitraattityypen vuosikuormitus 11,4 kg (IV). Pienten valuma-alueiden seurantatulosten mukaan Savijoen koko valuma-alueetta (pellon osuus koko alasta 39,1 %) koskeva pitkän aikavälin vuosikuormitus oli molemmissa seurantatutkimuksissa (Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 20017a) kokonaisfosforilla 0,63 kg ja kokonaistypellä 8,2 kg hehtaarilta vuodessa. Liukoisen fosforin vuosikuormitus

oli 0,09 kg ja nitraattityypen kuormitus 6,0 kg hehtaarilta vuodessa (Vuoremaa ym. 2002). Pellon osuus huomioiden VIHMAN laskennalliset arviot peltohehtaarikohtaisesta Savijoen kuormituksesta ovat kokonaisfosforilla samaa suuruusluokkaa ja tyypellä vähän pienempiä kuin em. seurantatulokset.

### *Kuormitustulosten vertailuja*

Koko peltoalalle laskettu VIHMAN keskimääräinen kiintoaineen vuosikuormitusarvio vertautui hyvin Tattarin ja Rekolaisen (2006) sekä Turtolan ym. (2007) arvioihin 100–1200 kg/ha sijoittumalla näiden arvioiden puoleen väliin. Rätty ym. (2020) arvioivat nurmivaltaisen Kirmajärven tutkimusvaluma-alueen (pellon osuus 93 %, maalaji karkea kivennäismaa ja kaltevuus alle 1,5 %) viiden vuoden seurantajakson (2011–2015) havaintojen perusteella keskimääräiseksi vuosieroosioksi 115 kg/ha. VIHMAN tasaisimman peltoluokan kuormitusarvio 250 kg/ha vuodessa (Luku 4.3, Taulukko 22) oli suurempi kuin em. Kirmajärven arvio, mutta laskennalliseen VIHMAN arvioon sisältyi suurimmalta osin syyskyntöä. VIHMAN keskimääräinen kuormitusarvio nurmipeitteisille pelloille oli 250 kg/ha vuodessa (Luku 4.3, Taulukko 23), mutta tämä laskennallinen arvio kattoi kaikki kaltevuusluokat ja maalaajat.

Erosion suurta vuosivaihtelua sisältäviä valuma-alueiden arvioita on mm. kuudelta norjalaiselta maatalouden valuma-alueelta, joissa vallitseva valuma-alueiden maalaji vaihteli hiesusavesta hiekkaan, ja valuma-aluekohtainen 8–18 vuoden aikana havainnoitu keskimääräinen hehtaarikohtainen vuosieroosio vaihteli välillä 40–1 630 kg (Bechmann ym. 2008). Kahdeksalla ruotsalaisella maatalouden valuma-alueella, joissa vallitseva valuma-alueiden maalaji vaihteli savesta ja hietasaveen, valuma-aluekohtainen 5–7 vuoden aikana havainnoitu keskimääräinen hehtaarikohtainen vuosieroosio vaihteli maalajista riippuen välillä 10–1 750 kg (Kyllmar 2009).

VIHMAN laskemaa kokonaisfosforin ja liukoisen reaktiivisen fosforin koko peltoalan keskimääräistä vuosikuormitusta vastasi Rädyn ym. (2020) esittämä hehtaarikohtainen vuosikuormitus 1,0 kg ja 0,5 kg. Yksittäisellä norjalaisella valuma-alueella Bechmanin (2012) mukaan 12 vuoden seurannassa keskimääräinen kokonaisfosforin hehtaarikohtainen vuosihuutouma oli 2,3 kg, josta liukoista fosforia oli keskimäärin 0,2 kg. VIHMAN kokonaisfosforin keskimääräinen kuormitusarvio oli tätä arviota pienempi ja liukoisen fosforin kuormitusarvio suurempi. Rädyn ym. (2017) esittämä Kirmajärven kokonaistypen vuosikuormitus 19,0 kg/ha oli VIHMAN laskemaa valtakunnallista arviota ja pienten valuma-alueiden ominaiskuormituslukua suurempi.

VIHMAN kuormitusarvioissa suurimman ja pienimmän hehtaarikohtaisen kiintoaineen, kokonaisfosforin ja kokonaistypen vuosikuormituksen ero oli 1,4–1,6-kertainen (Luku 4.3, Taulukko 22), mikä on pienempi kuin yleisesti kokeellisten tulosten vuosivaihtelu. Maatalouden seurantaverkon valu-

ma-alueilla kokonaisfosforin suurin havaittu vuosikuormitus oli kaksinkertainen ja typen vuosivaihtelu yli kaksinkertainen pienimpään vuosikuormitukseen verrattuna. Rädyn ym. (2020) esittämä Kirmajärven peltojen kokonaisfosforin hehtaarikohtainen vuosikuormitus vaihteli välillä 0,6–1,5 kg, liukoinen fosfori välillä 0,2–0,8 kg ja kokonaistyyppi välillä 13–30 kg. Kuudelta norjalaisella maatalouden valuma-alueella kokonaisfosforin hehtaarikohtainen vuosikuormitus vaihteli välillä 0,2–2,3 kg (Bechmann ym. 2008). Vastaavasti kahdeksalla ruotsalaisella maatalouden valuma-alueella valuma-aluekohtainen kokonaisfosforin vuosikuormitus vaihteli välillä 0,1–1,7 kg/ha (Kyllmar 2009).

## 5.2 Huuhtoutumiskenttäaineisto ja sen tulkinta

VIHMAN kuormitusarviot perustuivat todellisiin peltoala- ja viljelytilastoihin ja huuhtoutumiskenttäaineistoista johdettuihin ominaiskuormituskertoimiin. Huuhtoutumiskenttäaineistot on koottu pitkällä aikavälillä erilaisten hydrologisten vuosien aikana. Myös käytännön viljelyssä vuosikierron (Luku 1.1.1, Kuva 2) aikana hydrologinen vaihtelu on luonnollista ja vuodet ovat keskenään erilaisia. Valuma-alue seurannoissa alueiden peltoviljely on tavanomaista viljelyä ja seuranta ensisijaisesti hydrologista seurantaa. Oleellinen mielenkiinnon kohde tässä on se, että VIHMAN laskennalliset kuormitusarviot ovat suurusluokaltaan samat kuin maatalouden seurantaverkon pienten valuma-alueiden ominaiskuormitusluvut.

Tämän takia huuhtoutumiskenttäaineistoa tarkastellaan kenttien ominaisuuksien ja kenttäkokeissa toteutettujen peltotoimenpiteiden kuormituserojen välisinä vertailuina avaamalla aineistot (IV) läpinäkyvästi erillisiksi vuosi- ja vuodenaikaisvalunnoiksi (Luku 4.1.1, Taulukko 14) ja valunnan pitoisuuksiksi (Luvut 4.1.2–4.1.4, Taulukot 16–19). Aineiston tarkastelussa oleellista on valunnan ja valunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksien vertailu peltotoimenpiteiden välillä huuhtoutumiskenttien sisäisenä sekä huuhtoutumiskenttien välisenä tarkasteluna (Luku 2, Kuva 4). Tavoitteena on arvioida ominaiskuormituskertoimia muodostettaessa käytetyn huuhtoutumiskenttäaineiston havaintoihin sisältyvän kokeellisen kuormitustiedon välittymistä ominaiskuormituskertoimien ennustearvoiksi.

### *Vuosivalunta ja vaihtelu*

Yhdistetyssä huuhtoutumiskenttäaineistossa vuosivalunnat muodostuivat hydrologisten vuosien aikana (Luku 1.1.1.) mitatusta eri reiteissä kulkevasta pintavalunnasta ja/tai salaajavalunnasta (Luku 3.1.1, Taulukko 10). Seuranta-jaksot huuhtoutumiskentillä ja eri peltotoimenpiteissä eivät olleet täysin samoja (Luku 4.1.1, Taulukko 14). Pohjavesivaluntaa huuhtoutumiskentillä ei mitattu. Erilaisten koejärjestelyjen ja seurantavuosien takia vuosivaluntoihin sisältyy epätarkkuutta. Tämä takia vuosivaluntoja tarkastellaan vesitaseen

pohjalta (vrt. Luku 1.1.2) vain suuruusluokittain seuraavien hydrologisten lainalaisuuksien mukaan: huuhtoutumiskenttien välillä vuosivaluntojen mahdolliset erot ovat luonnollisia maantieteellisen sijaintinsa vuoksi, valuntojen vuosivaihtelu on luontaisesti suuri ja huuhtoutumiskoekenttien sisällä eri peltotoimenpiteissä vuosivaluntojen tulisi olla samansuuruisia.

Huuhtoutumiskenttien välistä valuntaeroa kuvaava peltotoimenpiteiden (Luku 4.1.1, Taulukko 14) keskimääräinen vuosivalunta Aurajoella oli 218 mm, Toholammilla 221 mm, Kotkanojalla 261 mm ja Liperissä 328 mm. Yksittäisten seurantavuosien välistä valunnan vuosivaihtelua kuvaava peltotoimenpiteiden suurimpien ja pienimpien vuosivaluntojen keskiarvojen erotus oli Aurajoella 143 mm, Toholammilla 127 mm, Kotkanojalla 119 mm ja Liperissä 109 mm. Huuhtoutumiskentillä suurin vuosivalunta pienimpään vuosivaluntaan verrattuna oli 1,4–1,9-kertainen. Vuosityyppien (Ksy-Lta, Ssy-VLta, II) mukaan luokitellun aineistossa valunnan vuosivaihtelu oli samankaltainen kuin koko aineistossa ja keskimääräiset vuosityyppien väliset vuosivalunnat luokitelluissa aineistoissa suuruusluokaltaan samanlaiset (Luku 4.1.1, Taulukko 15).

Merkityksellinen piirre käytettävissä olleessa kokeellisessa aineistossa oli peltotoimenpiteiden valuntojen samankaltaisuus kenttien sisällä (Luku 4.1.1, Taulukko 14). Huuhtoutumiskenttien sisällä eri käsittelyissä suurimman ja pienimmän keskimääräisen vuosivalunnan ero oli Aurajoella 25 mm, Toholammilla 9 mm ja Kotkanojalla 24 mm. Liperin huuhtoutumiskentällä vuosivalunta poikkesi muiden kenttien vuosivalunnasta merkittävästi. Liperin huuhtoutumiskentän sijainnin takia lumen vesi-arvot olivat korkeat ja peltotoimenpiteiden seurantajaksot toteutettiin osittain eri vuosina.

Pääosa huuhtoutumiskenttien valunnasta muodostui kasvukauden ulkopuolella (Luku 4.1.1, Taulukko 12). Tällöin haihdunta on vähäistä. Pohjavesivaluntaa ei mitattu, mutta merkittävästi erilainen pohjaveden muodostuminen lyhyen valuntakauden aikana eri muokkaus- kasvi- ja kasvipeitteisyyskäsittelyissä ei ole todennäköistä. Samankaltaista pohdintaa esittivät Skaggs ym. (2008), mutta päinvastaisessa tilanteessa asettaessaan kyseenalaiseksi johtopäätökset säätösalaajituksen ja tavanomaisen salaajituksen vuosivalunnan suurten valuntaerojen syistä. He totesivat, että säätösalaajituksessa keinotekoisesti aiheutettu korkeampi pohjaveden pinta lisää kokonaisuutena haihduntaa, mutta se lisää samanaikaisesti myös valunnan ohivuotoa pohjavesivaluntana koekenttien mittauspisteiden ohi, mikä selitti ojitusmenetelmien välisiä suuria valuntaeroja.

Vuosivaluntojen vaihtelu huuhtoutumiskentillä ja valuma-alueilla on hyvin samanlainen, mutta valuma-alueilla valuntaveden määrät ovat suuremmat. Tattarin ym. (2017a) pienillä valuma-alueilla vuosivalunnat vaihtelivat runsaan kahdenkymmenen vuoden aikana keskimääräisesti välillä 222–435 mm, ja valunnan aiheuttamat vuosisadannat olivat 600–700 mm (Luku 1.1.2, Taulukko 1). Pohjavesivalunta sisältyy valuma-alueiden valunnan mittaukseen. Huuhtoutumiskenttien ja valuma-alueiden vertailussa merkityksellistä on valuntojen paikka- ja aluesidonaisuus (Luku 1.1.2, Taulukko 1).

Pohjoismaissa ja Baltian maissa huuhtoutumiskentillä ja valuma-alueilla on esitetty sekä samaa suuruusluokkaa olevia että selvästi suurempia vuosivaluntoja kuin tässä tutkimuksessa. Bechmanin (2012) yhdentoista vuoden kokeissa kahdella koealueella keskimääräinen vuosivalunta oli 305 mm (vuosisadanta 722 mm) ja valuma-alueilla runsaan kymmenen vuoden aikana välillä 250–450 mm (vuosisadanta 800 mm). Vastaavasti Skøienin ym. (2012) kahdenkymmen vuoden kenttäkokeissa keskimääräinen pintavalunta oli 235 mm ja salaojavalunta 275 mm (vuosisadanta 800 mm). Kinderien ja Karcauskien (2012) kolmen koealueen viiden vuoden kenttäkokeissa keskimääräiset vuosivalunnat vaihtelivat eri kaltevuusluokissa 240–415 mm välillä (vuosisadanta 786–1016 mm). Oleellista on em. vuosisateisiin liittyvä huuhtoutumiskenttien vuosivaluntojen suuri vaihtelu: yleisesti suurin vuosivalunta oli em. kokeissa 3–4 kertaa pienintä vuosivaluntaa suurempi.

### *Valuntaveden pitoisuudet ja pitoisuusvaihtelut*

Huuhtoutumiskenttien valuntapainotteisten vuosipitoisuuksien tarkastelu jäseneltiin samalla tavalla kuin valuntojen tarkastelu. Oleellista oli huuhtoutumiskenttien välisen, vuosien välisen ja toimenpiteiden välisen kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuusvaihteluiden tarkastelu. Vuosipitoisuuksien (Luvut 4.1.2–4.1.4, Taulukot 16–19) keskinäinen vertailu havainnollisti vuosikuormitukseen keskeisimmin vaikuttavien tekijöiden erot.

Huuhtoutumiskenttien väliset kiintoaineen ja partikkelifosforin keskimääräisen vuosipitoisuuden väliset erot (Taulukot 16–17) olivat monikymmenkertaisia, mikä selitti kaltevuudeltaan erilaisten kenttien vuosikuormituksen suuret erot. Liukoisen fosforin vuosipitoisuuksien erot (Taulukko 18) koekenttien välillä olivat 5–10-kertaisia, mitä selitti huuhtoutumiskenttien erilainen maan fosforipitoisuusluokka ( $P_{AAC}$ ). Typen keskimääräiset valuntapainotteiset vuosipitoisuudet (Taulukko 19) huuhtoutumiskentillä olivat pääosin samanlaisia.

Hydrologisessa vuosivaihtelussa kiintoaineen ja partikkelifosforin pienimmän ja suurimman vuosipitoisuuden väliset erot olivat 3–5-kertaisia muokatuilla mailla ja 2–3-kertaisia nurmipeitteisillä mailla. Liukoisella fosfaattifosforilla pienimmän ja suurimman vuosipitoisuuden ero oli 2–5-kertainen ja kokonaistypellä 2–4-kertainen. Koekenttien sisällä valuntapainotteisten pitoisuuksien vuosivaihtelu oli suurin vaihtelun lähde.

Peltotoimenpiteiden välinen valuntapainotteinen kiintoaineen ja partikkelifosforin vuosipitoisuuden ero oli huuhtoutumiskenttien sisällä enimmäkseen 2–4-kertaisia (syyskyntö vs. pysyvä nurmi). Liukoisen fosforin vuosipitoisuuksien erot toimenpiteiden välillä olivat 2–3-kertaisia ja kokonaistypellä 2–3-kertaisia. Näistä peltotoimenpiteiden välisistä pitoisuseroista eroista muodostui huuhtoutumiskentillä pääosa eri peltotoimenpiteiden välisistä kuormituseroista ja hydrologisesta vuosivaihtelusta kaikkia peltotoimenpiteitä koskeva suuri kuormituksen vuosivaihtelu.

Edellä esitettyyn lohkokohtaisten toimenpiteiden pitoisuuseroihin perustuu ensisijaisesti lohkokohtaisten viljelytoimenpiteiden vaikutuspotentiaali vesiensuojelutoimenpiteinä (Luku 1.3, Taulukko 6). Vastaavia eri toimenpiteiden välisiä valunnan pitoisuuseroja ovat esittäneet mm. Ulen ja Kalisky (2005) usean vuoden (1994/2001) kenttäkokeista hiesusavella. Syyskynnössä valuntapainotteiset kiintoaineen ja partikkelifosforin vuosipitoisuudet olivat 420 mg ja 0,42 mg litrassa valuntavettä ja kevätkynnössä 300 mg l<sup>-1</sup> ja 0,19 mg l<sup>-1</sup>. Samassa aineistossa syyskynnetyn pellon valuntaveden liukoisen reaktiivisen fosforin pitoisuus oli 0,046 mg l<sup>-1</sup> ja kevätkynnössä 0,061 mg l<sup>-1</sup>.

Kuormitusriskin kasvaessa myös toimenpiteiden väliset pitoisuuserot kasvavat. Gronstenin ym. (2007a) mukaan maltillisen eroosioriskin olosuhteissa (moderate erosion risk) valuntapainotteiset kiintoaineen ja kokonaisfosforin pitoisuudet syyskynnössä olivat 630 mg l<sup>-1</sup> ja 1,31 mg l<sup>-1</sup>, matalassa sänkimuokkauksessa 420 mg l<sup>-1</sup> ja 0,80 mg l<sup>-1</sup> ja suorakylvössä 250 mg l<sup>-1</sup> ja 0,55 mg l<sup>-1</sup>. Vastaavat pitoisuudet korkean eroosioriskin olosuhteissa (high erosion risk) olivat syyskynnössä 2000 mg l<sup>-1</sup> ja 2,37 mg l<sup>-1</sup>, matalassa sänkimuokkauksessa 1800 mg l<sup>-1</sup> ja 1,39 mg l<sup>-1</sup> ja suorakylvössä 330 mg l<sup>-1</sup> ja 1,05 mg l<sup>-1</sup>.

### **5.3 Ominaiskuormituskertoimien ennustearvot ja lohkokohtainen kuormitus**

Edellä tarkasteltiin VIHMAlla laskettuja koko maatalouden kuormitusarvioita ja maatalousverkon pienten valuma-alueiden ominaiskuormituslukuja (Luku 5.1) sekä tämän tutkimuksen pohja-aineistona käytetyn huuhtoutumiskenttien yhdistetyn aineiston ominaisuuksia (Luku 5.2). Seuravaksi tarkastellaan yksityiskohtaisemmin ominaiskuormituskertoimien (Liitteet 1–4) ennustearvoja peltoluokkiensa vuosikuormituksen ja kuormituksen vuosivaihtelun kuvaajana. Huomionarvoista tarkastelussa ovat koko peltoalaa jakavien peltoluokkien kokonaisalojen taustalla oleva suuri peltolohkojen lukumäärä sekä kertoimien ennustearvojen yleistettävyyys suunniteltuun tarkoitukseensa.

Ominaiskuormituskertoimien ennustearvojen ja kokeellisten tulosten vertailussa olennaista on suuruusluokkatarkastelu. Kattava vertailu edellyttäisi monivuotista kokeellista aineistoa ominaisuuksiltaan erilaisilta peltolohkoilta. Riippumatonta kokeelliseen tutkimukseen perustuvaa kansallista lohko- ja peltoluokkakohtaista tutkimustietoa on käytettävissä niukasti, ja em. suuruusluokkavertailua tehtiin pohjoismaisiin tutkimuksiin.

Valuma-aluetasolla peltolohkojen lukumäärä (Taulukossa 26 koko peltoala) ominaiskuormituskerrointa kohden on oleellisesti pienempi, alueen mukaan tuhansia lohkoja ja paikallisesti kuivatusalueen mittakaavassa joitakin satoja. Tätä pienemmillä alueilla tai yksittäisillä peltolohkoilla ominaiskuormituskertoimia ei ole järkevää soveltaa vuosikuormituksen arviointiin. Lohkotasolla kuormituksen vuosivaihtelu on suuri ja ominaiskuormituskertoimet ovat peltoluokkiensa keskimääräisiä kuormitusarvioita



Taulukko 26. VIHMAN kuormitusarviossa peltolohkojen lukumäärä (kpl) kaltevuusjakauman, viljelykasvien viljelyalan ja maan fosforipitoisuusluokkien suhteellisen osuuden mukaan keskimääräisen peltolohkon pinta-alan ja vuoden 2004 peltoalan ja viljelytietojen sekä peltojen P-lukujakauman mukaan arvioituna.

Peltolohkot	Pellon kaltevuusluokka (%)					Yhteensä
	<0,5	0,5–1,5	1,5–3	3–6	>6	
Lohkoja (kpl)	390 000	250 000	193 600	104 900	70 000	1 008 500
	Pellon viljelykäyttö					
	Kevätviljat	Syysviljat	Nurmet	Muut viljelykasvit	Kesanto	yhteensä
Lohkoja (kpl)	558 600	35 800	297 900	27 300	88 900	1 008 500
	VIHMAN maan fosforipitoisuusluokka (mg l <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>					
	<6	6–10	10–15	5–25	>25	yhteensä
Lohkoja (kpl)	272 300	342 900	191 600	141 200	60 500	1 008 500

<sup>1)</sup> Viisiportainen fosforipitoisuusluokitus julkaisusta Puustinen ym. (2019)

### *Kiintoaineen ominaiskuormituskertoimien ennustearvo*

Ominaiskuormituskertoimien ennustearvot kiintoaineen hehtaarikohtaisesta vuosikuormituksesta vaihtelivat kivennäismailla eri kaltevuusluokissa välillä 115–2 705 kg (Liite 1). Kuormittavina vuosina karkeilla kivennäismailla kaltevimmassa peltoluokassa kynnetyn maan suurin kertoimien yläarvo oli 3 465 kg ja savi- ja hiesumailla 3 015 kg. Mansikkaniemen (1982) esittämät kokeelliset arviot jyrkältä savimaan pelloilta pintavaluntana muodostuvasta eroosiosta olivat yhden sateisen vuoden aikana 6 200 kg ja vähäsateisena vuonna 1 500 kg hehtaarilta vuodessa. Mansikkaniemen sateisen vuoden eroosio on selvästi suurempi ja vähäsateisen vuoden eroosio samaa suuruusluokkaa kuin VIHMAN vastaavat kertoimien ala- ja yläarvot (Liite 1). VIHMAN ominaiskuormituskertoimien ala- ja yläarvot ovat vähän kuormittavien ja kuormittavien vuosien kiintoainekuormituksen keskimääräisiä ennustearvoja ja Mansikkaniemen arvio yksittäisen kuormittavan vuoden tulos. Kaltevuudeltaan tasaisten maiden eroosiosta ei ole käytettävissä riippumattomia kansallisia vertailutuloksia.

Viideltä norjalaiselta koelalalta (keskimääräinen vuosisadanta 800 mm) Skøienin ym. (2012) yhdentoista vuoden ajalta keskimääräiset tulokset suurimman kiintoainekuormituksen tuottamalta Bjørnebekkin koelalalta (kaltevuus 13 %, hiesusavi) olivat osittain samaa suuruusluokkaa kuin VIHMAN kaltevimmassa peltoluokassa ominaiskuormituskertoimien ennustearvot (Liite 1). Heidän esittämänsä syyskynnetyn pellon ja syysviljan keskimääräiset hehtaarikohtaiset vuosieroosioarviot (5 100 ja 7 600 kg) olivat suurempia ja syksyllä äestetyllä pellon ja keväällä kynnetyn pellon vuosieroosioarviot (1 800 ja 600 kg) samaa suuruusluokkaa kuin VIHMAssa. Kiintoaineen vuosikuormi-

tus vaihteli tällä alueella (100–22 300 kg) oleellisesti enemmän kuin VIHMAN kertoimien ennustearvot.

Skøienin ym. (2012) edellä mainituilla viidellä kuormittavuudeltaan erilaisella koealalla tehdyssä syksyllä kynnetyn ja keväällä muokatun pellon keskimääräisen vuosieroosion vertailussa seitsemän vuoden ajalta he esittivät seuraavat erot: Bjørnebekk 7000 ja 780 kg, Askim 4 300 kg ja 410 kg, Hellrud 2 600 kg ja 220 kg, Osaker 1 100 kg ja 200 kg sekä Syverud 180 kg ja 100 kg. Näistä kolmella kuormittavimmalla alueella kevätmuokkauksen vuosieroosio oli noin kymmenesosa syyskynnön vuosieroosiosta ja vähiten kuormittavimmalla alueella puolet syyskynnön vuosieroosiosta. VIHMAssa vastaavien peltotoimenpiteiden väliset erot myös pienenevät kuormituksen alentuessa. Talviaikaisen sängin ominaiskuormituskertoimen ennustearvo kaltevimmassa peltoluokassa oli runsas kolmasosa, toiseksi kaltevimmassa peltoluokassa puolet ja kolmessa tasaisimmassa peltoluokassa kaksikolmasosaa syyskynnetyin kertoimen kiintoainekuormituksen ennustearvosta.

Ruotsalaisten kahdeksanvuotisten Ulénin ja Kaliskyn (2005) kenttakoetulokset (kaltevuus 10 %, hiesusavi) eri peltotoimenpiteiden keskimääräiset hehtaarikohtaisesta vuosieroosiosta olivat pienemmät kuin VIHMAN kaltevimman peltoluokan ominaiskuormituskertoimien ennustearvot (Liite 1). Heidän kenttäkokeissaan syyskynnetyin pellon keskimääräinen eroosio oli hehtaarilta 644 kg, syvään kolme kertaa kultivoidun pellon 398 kg, syysvehnän 358 kg, keväällä kynnetyn pellon (sänki) 223 kg sekä suorakylvetyinpellon 108 kg.

Vastaavia viiden vuoden kokeisiin perustuvia VIHMAN ominaiskuormituskertoimien ennustearvoja pienempiä keskimääräisiä hehtaarikohtaisia eroosiotuloksia syyskyntö-kevätiljayhdistelmälle ja syysvehnä-suorakylvöyhdistelmälle (780 ja 110 kg) ovat esittäneet Gronstenin ym. (2007, ref. Skøien ym. 2012). Liettuassa Kinderienen ja Karcauskienein (2012) esittivät viiden vuoden kokeiden perusteella (kaltevuus 7–11 %, vuosisadanta 786–1 016 mm) vilja-nurmikierron hehtaarikohtaiseksi vuosieroosioksi 590–640 kg ja avokesantoa sisältävässä kierrossa keskimäärin 13 200 kg. Kaikissa edellisissä koekenttien tuloksissa toistuu VIHMAN keskimääräistä vuosivaihtelua suurempi kuormituksen vuosivaihtelu.

#### *Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimien ennustearvo*

Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimien keskimääräiset ennustearvot hehtaarikohtaiselle vuosikuormitukselle vaihtelivat kivennäismailla eri kaltevuusluokissa välillä 0,2–4,2 kg (Liite 2). Uusitalon ym. (2018) tutkimuksessa savimaan partikkelifosforin hehtaarikohtainen vuosikuormitus oli näiden rajojen sisällä: kynnettäessä 1,4 kg, suorakylvössä 0,6 kg ja viljeltäessä nurmea 0,3 kg (Luku 1.3.1, Taulukko 7). Tarkemmassa peltotoimenpidekohtaisessa vertailussa vastaavalla maalajilla ja kaltevuusluokassa VIHMAN ominaiskuormituskertoimen (kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>) oli kynnettäessä (1,0) pienempi, sänkipeit-

teiselle (0,7) samaa suuruusluokkaa ja nurmella (0,6) suurempi kuin Uusitalon ym. (2018) tutkimuksessa.

VIHMAN ominaiskuormituskertoimien ennustearvoja pienempiä partikkelifosforin keskimääräisiä vuosikuormitusarvioita ovat esittäneet Ulén ja Kalisky (2005) kahdeksanvuotisissa kenttäkokeissaan. Heidän tutkimuksessaan syyskynnetyn pellon keskimääräinen hehtaarikuormitus oli 0,3 kg, syvään kolme kertaa kultivoidun pellon 0,2 kg, syysvehnän 0,2 kg, keväällä kynnetyn pellon (sänki) 0,2 kg sekä suorakylvetyn pellon 0,1 kg. Pienet partikkelifosforin kuormitusarviot ovat seurausta koealueiden melko vähäisestä eroosiosta, kun valuntaveden kiintoaineen ja partikkelifosforin pitoisuuden välillä on vahva riippuvuus (Ulén ym. 2012b). Samanlainen kokeellisessa aineistossa oleva kiintoaineen ja partikkelifosforin yhteys sisältyy VIHMAN ominaiskuormituskertoimiin (I, V).

Viideltä norjalaiselta kuormittavuudeltaan erilaiselta koealalta Skøien ym. (2012) esittivät seitsemänvuotiset fosforitulokset syyskynnetyltä ja kevätkuokatuolta koealoilta kokonaisfosforina. Hehtaarikohtaiset vuosikuormat olivat seuraavat: Bjørnebekk 8,4 kg ja 1,5 kg, Askim 4,5 kg ja 0,8 kg, Hellerud 3,0 kg ja 0,8 kg, Osaker 1,3 kg ja 0,4 kg, Syverud 0,4 kg ja 0,5 kg. Kahdella kuormittavimmalla alueella kevätkuokkauksessa kokonaisfosforin keskimääräinen vuosikuorma oli viidesosa ja kahdella keskimmaisella alueella noin kolmasosa syyskynnön vuosikuormituksesta. Vähiten kuormittavimmalla alueella ei ollut syyskynnön ja kevätkuokkauksen välillä eroa. VIHMAssa vastaavien peltotoimenpiteiden väliset erot ja niiden muutos kuormittavuuden muuttuessa ovat samankaltaisia. Talviaikaisen sängen ominaiskuormituskertoimen ennustearvo kivennäismaiden kiintoainekuormitukselle oli kahdessa kaltevimmassa peltoluokassa alle puolet ja kolmessa tasaisimmassa kaksi kolmasosaa syyskynnetyn kertoimen ennustearvosta.

Kinderienen ja Karcauskien (2012) liettualaisissa viiden vuoden kenttäkokeissa vilja-nurmikierrossa kokonaisfosforikuormitus vaihteli välillä 0,1–1,1 kg ja avokesantoa sisältävässä kierrossa välillä 0,7–3,3 kg. VIHMAN kertoimien ennustearvot ovat osittain samaa suuruusluokkaa ja osin pienemmät kuin edelliset kuormitusarviot.

### *Liukoisien fosforin ominaiskuormituskertoimien ennustearvo*

Kolmeportaisessa fosforitilaluokituksessa liukoisien fosforin ominaiskuormituskertoimien hehtaarikohtaiset huuhtoumien ennustearvot kivennäismaiden peltotoimenpiteissä vaihtelivat välillä 0,12–1,58 kg vuodessa (Liite 3). Uusitalon ym. (2018) mukaan savimaan kentällä hehtaarikohtainen liukoisien fosforin vuosihuhtoutuma kynnetyllä maalla oli 0,16 kg, ei muokatulla maalla 0,48 kg ja nurmella 0,28–0,34 kg. VIHMAN pienimmän fosforitilaluokan ( $P_{AAC} < 8$  mg/l) ominaiskuormituskerroin (Liite 3) kynnetyllä savi- maalla (0,12 kg/ha/v) oli samaa tasoa, sänkipeitteisellä maalla (0,16 kg) pienempi ja nurmella (0,25 kg) samaa tasoa kuin Uusitalon ym. (2018) tutkimuksessa.

Ulénin ja Kaliskyn (2005) kahdeksanvuotisissa kenttäkokeissa (kaltevuus 10 %, koeruudun pituus 22 m) keskimääräinen liukoisen fosforin hehtaari-kohtainen vuosikuormitus oli syyskynnössä 0,04 kg, syksyllä lautasäkeellä äestetyssä pellossa 0,02 kg, syvässä kolme kertaa kultivoidussa maassa 0,04 kg, syysvehnällä 0,05 kg, kevätkynnössä (sänki) 0,05 kg, kevätkyntö- ja kerääjäkasviyhdistelmässä 0,04 kg ja suorakylvössä 0,16 kg. VIHMAN ominaiskuormituskertoimiin verrattuna em. kuormitusarvot ovat matalia, mutta suorakylvössä vastaavalla tavalla muita suurempi.

VIHMAN kolmeportaisessa peltojen fosforitilaluokituksessa ylimmän luokan ( $P_{AAC} > 14 \text{ mg l}^{-1}$ ) ominaiskuormituskertoimien (Liite 3, IV) vuosihuutoumien ennustearvot ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ) olivat kolminkertaisia pienimmän luokan ( $P_{AAC} < 8 \text{ mg l}^{-1}$ ) ennustearvoihin verrattuna (Liite 3). Laajennetussa viisiportaisessa fosforitilan luokituksessa toiseksi ylimmän luokan ( $P_{AAC} 15\text{--}25 \text{ mg l}^{-1}$ ) ominaiskuormituskertoimien ennustearvot olivat nelinkertaisia ja korkeimman luokan ( $P_{AAC} > 25 \text{ mg l}^{-1}$ ) kymmenkertaisia pienimmän luokan ( $P_{AAC} < 6 \text{ mg l}^{-1}$ ) ennustearvoihin verrattuna (Puustinen ym. 2019). Molemmilla fosforitilaluokituksilla laskettu Suomen peltoalan vuotuinen liukoisen fosforin keskimääräinen vuosikuormitusarvio oli samansuuruisen, 0,45 kg ja 0,46 kg hehtaarilta (Luku 4.3, Taulukko 22, Puustinen ym. 2019).

VIHMAN fosforitilaluokkia ( $P_{AAC}$ ) vastaavia kokeellisia liukoisen fosforin huuhtoumatuloksia on niukasti ominaiskuormituskertoimien vuosikuormituksen ennustearvojen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ) vertailuun. Ennustearvojen vertailun sijaan ominaiskuormituskertoimia vastaavaa valuntaveteen (so. ominaiskuormituskertoimien kokeellinen valunta) muodostuvaa keskimääräistä ennustepitoisuutta ( $\text{mg l}^{-1}$ ) vertailtiin Uusitalon ja Janssonin (2002) mukaan laskettuihin ennustearvoihin (Taulukko 27) sekä Kuti-tutkimuksen ennustepitoisuuksiin (Luku 1.1.3, Taulukko 2).

VIHMAN viisiportaisessa fosforitilaluokituksessa ( $P_{AAC}$ ) muokatuilla kivennäismailla (syyskyntö, syvä sänkimuokkaus ja matala sänkimuokkaus) ominaiskuormituskertoimia vastaavat valunnan keskimääräiset liukoisen fosforin ennustepitoisuudet olivat 0,06–0,60  $\text{mg l}^{-1}$  (Taulukko 27). Kivennäismaiden maanäytteiden sadetuskokeissa määritetty VIHMAN viisiportaista fosforitilaluokitusta ( $P_{AAC}$ ) vastaavat Uusitalon ja Janssonin (2002) ennustepitoisuudet muokatuille maille vaihtelivat välillä 0,06–0,69  $\text{mg l}^{-1}$  (Taulukko 27). Tässä vertailussa kolmessa alimmassa luokassa pitoisuudet ovat samat ja kahdessa korkeimmassa fosforipitoisuusluokassa VIHMAN pitoisuusarvot ovat hiukan pienemmät verrattuna Uusitalon arvoihin.

KUTI-tutkimuksessa (Puustinen ym. 1994) peltolohkojen fosforipitoisuutta (vesiuutto 1:60) vastaavat valuntaveden ennustepitoisuudet ( $n=1005$ ) vaihtelivat välillä 0,02–0,58  $\text{mg l}^{-1}$  (Luku 1.1.3, Taulukko 2). Suuruusjärjestyksessä 25, 50, 75 ja 95 % fraktiileja vastaavat valuntaveden ennustearvot olivat 0,07  $\text{mg l}^{-1}$ , 0,15  $\text{mg l}^{-1}$  (mediaani.), 0,27  $\text{mg l}^{-1}$  ja 0,58  $\text{mg l}^{-1}$ . Ominaiskuormituskertoimien ja sadetuskokeiden fosforitilaa ( $P_{AAC}$ ) vastaavien ennustepitoisuuksien (Taulukko 27) sekä KUTI-tutkimuksen ennustepitoisuuksien

(vesiuutto 1:60) jakaumat (Taulukko 2) olivat samanaisia. Tämä viittaa VIHMAN ominaiskuormituskertoimien hyvään edustavuuteen liukoisen fosforin vuosihuuhoutumien ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) ennusteissa muokatuilla kivennäismailla.

Taulukko 27. VIHMAN laajennetussa viisiportaisessa fosforipitoisuusluokittelussa ( $P_{\text{AAC}}$ ) muokattujen kivennäismaiden ominaiskuormituskertoimien ennustearvoihin perustava keskimäärinen valunnan liukoisin fosforin pitoisuus (Puustinen ym. 2019) ja Uusitalon ja Janssonin (2002) mukaan määritetyt (perustuu muokattujen kivennäismaiden maanäytteiden sadetukseen ja valuntaveden analyysiin) ennustearvot eri fosforipitoisuusluokissa.

Peltojen fosforitilaineistot	Pellon pinta-alajakauma ja valuntaveden liukoisin fosforin pitoisuuden ennustearvo fosforipitoisuusluokittain ( $P_{\text{AAC}}$ (mg litrassa maata))				
	<6	6–10	10–15	15–25	>25
Viljavuuslaboratoriot 2000–2012 <sup>1)</sup> , ka=11,0 mg l <sup>-1</sup> , mediaani 8,5 mg l <sup>-1</sup> , n=358 400, Fosforiluokkien peltoalaosuus (%)	26	34	19	14	6
Viljavuuslaboratoriot 2005–2009 <sup>2)</sup> , ka=12,9 mg l <sup>-1</sup> , n=1 008 300, Fosforiluokkien peltoalaosuus (%), Painotettu keskiarvo	31 4,6	28 8,3	18 12,7	13 19,5	8 46,5
Muokattujen maiden <sup>1)</sup> ominaiskuormituskertoimia vastaava valuntaveden liukoisin fosforin ennustepitoisuus (mg l <sup>-1</sup> )	0,06	0,11	0,17	0,25	0,60
Valuntaveden liukoisin fosforin ennustearvo <sup>2)</sup> (mg l <sup>-1</sup> ) ja pitoisuuden ala- ja yläraja (95 %:n luottamusväli) muokatuilla mailla	0,06 0,05–0,08	0,11 0,10–0,15	0,18 0,15–0,22	0,28 0,24–0,34	0,69 0,58–0,83

<sup>1)</sup> Tausta-aineisto KiertoVesi-hankkeessa (Puustinen ym. 2019)

<sup>2)</sup> Tausta-aineisto arvioitaessa Uusitalon ja Janssonin (2002) tulosten mukaan liukoisin fosforin ennustearvoja VIHMAN viisiportaiselle fosforitilaluokitukselle (julkaisematon)

### *Typen ominaiskuormituskertoimien ennustearvo*

Kokonaistypen keskimääräistä hehtaarikohtaista vuosikuormitusta kuvaavat VIHMAN peltotoimenpiteiden ominaiskuormituskertoimet (Liite 4) kivennäismailla vaihtelivat välillä 7,2–23,5 kg ja nitraattitypen kertoimet välillä

4,2–19,3 kg. Kertoimien lukuarvoja hiukan suurempia vastaavia kokeellisia seurantatuloksia on mm. Kirmajärven valuma-alueelta (Räty ym. 2020). Sen sijaan esimerkiksi Korsathin (2008) määrittämät norjalaiset kokeelliset pitkäaikaiset typpihuuhtoumat (salaaja- ja pintavalunta) ovat huomattavasti näitä suurempia, perinteisessä viljelyksessä pääasiassa kevätilja-syyskyntöyhdistelmässä 39,1–54,3 kg ja luonnonmukaisessa viljelyksessä pääasiassa kevätilja-kerääjäkasviyhdistelmissä 28,7–39,1 kg hehtaarilta vuodessa. Myös Din ja Cameronin (2002) kokoamien tulosten mukaan typpikuormitus ja sen vaihtelu voi olla huomattavan suuri, Englannissa laitumilla typpihuuhtoumat ovat vaihdelleet 11–134 kg ja kevätiljoilla 4–87 kg ja USA:ssa maissi-soijaviljelmillä 8–107 kg hehtaarilta vuodessa.

Eloperäisillä mailla kokonaistypen VIHMAN ominaiskuormituskertoimet olivat 21,6–42,8 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup> ja nitraattityypen kertoimet 12,6–32,2 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>. Van Beekin ym. (2004) eloperäisen maan nurmipeitteisessä kokeessa keskimääräinen kokonaistypen vuosikuormitus oli 32 kg hehtaarilta. Tästä määrästä he arvioivat 43–50 % olleen peräisin lannoitteista (karjalanta), 17–31 % orgaanisen aineksen mineralisaatiosta ja 8–27 % maan typpirikkaasta kerroksesta.

#### *Ominaiskuormituskertoimien vaihtelu*

Huuhtoutumiskenttien yhdistetyssä aineistossa valuntapainotteiset kiintoaineen ja ravinteiden vuosipitoisuudet (vrt. Luku 1.3, Taulukko 6; Luku 4.1, Taulukot 14–19) määrittivät pääosin peltotoimenpiteiden keskimääräisen vuosikuormituksen väliset erot. Vuosivalunnan ja vuosipitoisuuksien suuren vaihtelun vuoksi vuosikuormituksen vaihtelu oli suuri. Kokeellisissa tutkimuksissa keskimääräiset kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitustulokset sisältävät yleisesti kuormituksen suuren vuosivaihtelun (Van Beek ym. 2004, Ulén ja Kalisky 2005, Kinderiene ja Karcauskiene 2012, Skøien ym. 2012).

Ominaiskuormituskertoimien ala- ja yläarvojen (Liitteet 1–4) kuvaama kuormituksen vuosivaihtelu oli melko suuri (Ks-Lt ja Ss-VLt), mutta keskimääräisinä arvioina määritystapansa vuoksi pienempi kuin kuormituksen todellinen vuosivaihtelu (artikkelin IV Kuvat 3, 4 ja 6). Huomattava on, että muista kuormitussuureista poiketen liukoisen fosforin pitoisuudet huomattavasta vuosivaihtelustaan huolimatta eivät jakaantuneet aineistoluokittelussa (II, Kuva 4) erillisiksi ryhmiksi kuten esimerkiksi kiintoaine- ja partikkeli-fosforipitoisuudet. Liukoisen fosforin ominaiskuormituskertoimien vaihteluväli (Liite 3) oli hyvin pieni (IV).

## **5.4 Ympäristötoimenpiteiden vaikutuslukujen ja kokeellisten tulosten vastaavuus**

Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvut perustuivat ominaiskuormituskertoimien välisiin erotuksiin (Luku 4.2.2, Kuvat 14–16).

VIHMAssa lohkotason vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuslukujen ennustearvojen luotettavuus perustuu ominaiskuormituskertoimien luotettavuuteen. Vaikutuslukuja voidaan vertailla suoraan eri viljelykäytäntöjen kuormituseroja selvittäneiden kokeellisten tutkimusten tuloksiin tai epäsuorasti eri viljelykäytännöistä mitatun kuormituksen perusteella. Suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen vaikutusluvut ovat laskennallisia hehtaarikohtaisia lukuarvoja ja perustuvat joko suoraan tai välillisesti toimenpiteiden vaikutustutkimuksen tuloksiin. VIHMAssa kaikkien ympäristötoimenpiteiden hehtaarikohtaiset vaikutusluvut ovat keskenään vertailtavissa, ja kokonaisuhyödyt tarkasteltavalla alueella muodostuvat toimenpiteiden vaikutusten piirissä olevien peltolohkojen kokonaisalan yhteisvaikutuksena

### *Lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvut*

Korvattaessa syyskyntö kevyemmällä muokkauksella tai talviaikaisella nurmipeitteellä hehtaarikohtainen kiintoaineen vuosikuormitus aleni savimailla VIHMAn vaikutuslukujen mukaan 50–1700 kg vuodessa ja partikkelifosforin vuosikuormitus 0,05–3,0 kg (Luku 4.2.2, Kuvat 14–16). VIHMAn lohkokohtaisille peltotoimenpiteiden muutoksiin perustuvilla ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvuille ei ollut käytettävissä vastaavalla tavalla esitettyjä suoria kokeellisia vastineita kirjallisuudessa.

Viiden norjalaisen koealueen Skøienin ym. (2012) kokeellisiin tulosten mukaan neljällä runsaasti kuormittavalla koealueella kevätmuokkauksessa eroosion ja kokonaisfosforin vuosikuorma oli 10–30 % vastaavasta syyskynnön vuosikuormituksesta. Kuormittavuudeltaan pienimmällä alueella kevätmuokkauksessa eroosio oli noin 50 % syyskynnön eroosiosta, mutta kokonaisfosforin vuosikuormituksessa ei ollut eroja. Em. suhteelliset erot ovat suuruusluokaltaan samankaltaisia kuin VIHMAssa. Kaltevuuden kasvaessa kyntö korvaavan toimenpiteen alentava vaikutus kiintoaineen ja partikkelifosforin vuosikuormitukseen moninkertaistuu. VIHMAn mukaan lohkokohtaisten talviaikaista kasvipeitteisyyttä lisäävien toimenpiteiden kohdentaminen kaltevimmille pelloille kiintoaineen ja partikkelifosforin vuosikuormituksen hallinnassa tehostaa niiden vaikuttavuutta merkittävästi.

Liukoisen fosforin ominaiskuormituskertoimet nurmella olivat noin kaksinkertaisia syyskynnön kertoimiin verrattuna molemmissa fosforitilaluokituksissa (Liite 3, Puustinen ym. 2019). Tämä vastaa kokeellisia havaintoja fosforivaraston rikastumisesta matalaan kerrokseen maan pinnalla (Ulén ym. 2010), minkä seurauksena valuntaveden liukoisen fosforin pitoisuudet kasvavat muokkausta kevennettäessä (Luku 4.1.3, Taulukko 18). Viisiportaisessa fosforitilaluokittelussa liukoisen fosforin ominaiskuormituskertoimien ennustearvot ylemmissä luokissa lisäsivät ympäristöriskiä kolmeportaiseen luokitukseen verrattuna. Myös Ulénin ym. (2010) mukaan liukoisen fosforin huuhtoutumisriski kasvaa eroosiota vähentävissä viljelykäytännöissä. Esimerkiksi suorakylvö vähentää eroosiota ja PP-kuormitusta, mutta pintavannan liukoisen fosforin pitoisuutta suurentavat kasvillisuudesta vapautuva

liukoinen fosfori sekä maan pintaan rikastuva fosfori, mikä ilmiö voimistuu pellon fosforitilan kasvaessa (Ulén ym. 2010).

Korvattaessa syyskyntö kevyemmällä muokkauksella tai talviaikaisella nurmipeitteellä hehtaarikohtainen typpikuormitus myös alenee. Ominaiskuormituskertoimien eroihin perustuvien vaikutuslukujen ennustearvot ovat kivennäismailla 0–10 kg ja eloperäisillä mailla 0–15 kg hehtaarilta vuodessa. VIHMAN lohkokohtaisten toimenpiteiden vertailulukuihin suoraan verrattavia kokeellisia tuloksia ei ole. Din ja Cameronin (2002) mukaan muokkauksen keventäminen hidastaa orgaanisen aineksen mineralisaatiota ja siten typpihuuhtoumia, mikä vastaa VIHMAN toimenpiteiden vaikutuksia.

### *Suojavyöhykkeiden vaikutusluvut*

Suojavyöhyke - pellon kaltevuus - pellon viljelykäyttö -yhdistelmien hehtaarikohtaiset kuormitusvaikutukset määritettiin (Luku 3.2.2) Äijön ja Tattarin (2000) esittämän ajatusmallin mukaan: a) suojavyöhykkeen pinta-ala pienentää viljelykseen jäävän peltolohkon pinta-alaa, ja b) pysyvästi kasvipeitteinen suojavyöhyke pidättää osan viljelykseen jäävältä peltolohkolta pinta-valuntana tulevan veden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksista. Suojavyöhykkeiden vaikutusluvut määritettiin 15 m leveälle, nurmipeitteiselle, kaltevuudeltaan muuttuvalle suojavyöhykkeelle keskimääräisellä kivennäismaiden 2,2 ha:n peltolohkoyhdistelmälle (IV). Todellisuudessa erilaisia suojavyöhykeyhdistelmiä on suuri määrä, kun peltolohkojen pinta-ala ja lohkon reunaan perustettavan suojavyöhykkeen pinta alat käytännön tilanteissa vaihtelevat. Kaikki suojavyöhykkeiden vaikutusluvut ovat verrattavissa edellä esitettyjen lohkokohtaisten ympäristötoimenpiteiden vaikutuslukuihin, ja niiden laajalaisia vaikutuksia arvioidaan valuma-alueella kokonaismäärän perusteella.

Kiintoaineen vuosikuormituksen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) alenemista ennakoivat suojavyöhykeyhdistelmien hehtaarikohtaiset vaikutusluvut savi- ja hiesumailla (Liite 5) vaihtelivat välillä 48–680 kg (yli 1,5 % kaltevuudet). Uusikämpän ja Jauhiaisen (2010) suojavyöhykekentällä (pelto tasainen savimaa, suojavyöhykkeen kaltevuus yli 10 %) nurmipeitteiset suojavyöhykkeet (viljelty nurmi, joka poistetaan ja luonnonnurmi, jota ei poisteta) alensivat syyskynntöön perustuvassa tavanomaisessa viljelyssä kiintoaineen hehtaarikohtaista vuosikuormitusta 562–615 kg, suorakylvössä 117–138 kg ja laidunmaalla 31–39 kg (Luku 1.3.2, Taulukko 8). VIHMAssa vastaavat kaltevimman peltoluokan (kaltevuus > 6 %) vaikutusluvut olivat kynnetyllä maalla ja suorakylvössä samaa suuruusluokkaa. Laidunmaa-suojavyöhykeyhdistelmälle VIHMAssa ei ole määritetty kiintoaineen muutosta kuvaavaa vaikutuslukua. Suojavyöhyke-nurmipeitteisyys-yhdistelmälle VIHMAN vaikutuskerroin on määritystavan takia laskennallisesti 0 kg, mikä vastaa käytännössä em. kokeellista suojavyöhykkeen vaikutusta laidunmaalla (Taulukko 8).

Kiintoainekuormituksen vuosikuormituksen suhteellinen alenema Uusikämpän ja Jauhiaisen (2010) suojavyöhykeyhdistelmissä (syyskyntö,



suorakylvö ja laidunmaa) suojavyyöhykkeettömään verrattuna oli 11–58 % (Luku 1.3.2, Taulukko 8). Aurajoen koekentällä syysvehnä-suojavyyöhykeyhdistelmä vähensi kiintoainekuormitusta 50 % verrattuna suojavyyöhykkeettömään syysvehnään (I). VIHMAN kolmessa kaltevimmassa peltoluokassa suojavyyöhykeyhdistelmien vaikutuslukujen (Liite 5) ennustearvon mukainen kiintoaineen vuosikuormituksen alenema on 15–30 %.

Partikkelifosforin vuosikuormituksen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) alenemista ennakoivat suojavyyöhykeyhdistelmien hehtaarikohtaiset vaikutusluvut savimailla (Liite 5) vaihtelivat välillä 0,11–1,21 kg (yli 1,5 % kaltevuudet). Uusikämpän ja Jauhiais (2010) mukaan syyskyntöön perustuvassa tavanomaisessa viljelyssä suojavyyöhyke alensi partikkelifosforin hehtaarikohtaista vuosikuormitusta 0,38–0,39 kg ja suorakylvön vuosikuormitusta 0,15–0,16 kg (Luku 1.3.2, Taulukko 8). Laidunmaalla, poistettaessa suojavyyöhykkeen nurmi, partikkelifosforin hehtaarikohtainen vuosikuormitus aleni 0,03 kg ja jätettäessä nurmi korjaamatta kasvoi 0,02 kg. VIHMAssa kynnetyin maan (1,21 kg) ja suorakylvön (0,31 kg) vaikutusluvut (Liite 5) kaltevimmassa peltoluokassa (kaltevuus > 6 %) olivat molemmat selvästi suurempia kuin em. Uusikämpän ja Jauhiais tulokset. Laidunmaa-suojavyyöhykeyhdistelmälle VIHMAssa ei ole määritetty partikkelifosforin muutosta kuvaavaa vaikutuslukua. Suojavyyöhyke-nurmipeitteisyys-yhdistelmälle VIHMAN vaikutuskerroin on määrittävänä takia laskennallisesti 0 kg, mikä on käytännössä sama kuin em. koekellinen suojavyyöhykkeen vaikutus laidunmaalla (Taulukko 8).

Partikkelifosforin vuosikuormituksen suhteellinen alenema Uusikämpän ja Jauhiais (2010) suojavyyöhykeyhdistelmissä suojavyyöhykkeettömään verrattuna oli kyntöön ja suorakylvöön perustuvassa viljelyssä 23–45 % (Luku 1.3.2, Taulukko 8). Laidunmaalla suojavyyöhykkeen vaikutus vuosikuormitukseen vaihteli 10 % kuormitusalenemasta 7 % kuormituksen lisäykseen. Aurajoen koekentällä syysvehnä-suojavyyöhykeyhdistelmä vähensi partikkelifosforin vuosikuormitusta 50 % verrattuna suojavyyöhykkeettömään syysvehnään (I). VIHMAN vaikutuslukujen (Liite 5) ennustearvo kolmessa kaltevimmassa peltoluokassa vastaa suojavyyöhykeyhdistelmissä partikkelifosforin vuosikuormituksen 15–30 % alenemaa.

Liukoisen fosforin (DRP) vuosikuormitukseen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) kasvipeitteisyyttä vailla olevissa (paljas maa) yhdistelmissä suojavyyöhykkeen vaikutusluvut ennakoivat 0,03–0,14 kg:n kasvua ja suorakylvöyhdistelmässä 0,04–0,24 kg:n alenemista (Liite 5). Uusikämpän ja Jauhiais (2010) mukaan kyntöön perustuvassa tavanomaisessa viljelyssä suojavyyöhyke pienensi liukoisen fosforin hehtaarikohtaista vuosikuormaa 0,01 kg poistettaessa suojavyyöhykkeen nurmi ja lisäsi vuosikuormaa 0,09 kg jätettäessä luonnonnurmi korjaamatta. Suorakylvössä molemmat nurmipeitteiset suojavyyöhykkeet pienensivät liukoisen fosforin hehtaarikohtaista vuosikuormitusta 0,01–0,06 kg ja laidunmaalla 0,08–0,16 kg. VIHMAssa kynnetyllä maalla liukoisen fosforin vaikutusluvut (Liite 5) ennakoivat vuosikuormituksen saman suuruusluokan hehtaarikohtaista kasvua (0,03–0,13 kg) ja suorakylvössä suurempaa vuosikuormituksen alenemista (0,04–0,24 kg).

Liukoisen fosforin vuosikuormituksen suhteellinen muutos Uusikämpän ja Jauhaisen (2010) suojavyöhykeyhdistelmissä suojavyöhykkeettömään verrattuna kyntöön perustuvassa viljelyssä vaihteli 7 % kuormitusalenemasta 60 % kuormituslisäykseen (Luku 1.3.2, Taulukko 8). Suorakylvössä ja laidunmaalla suojavyöhykkeet pienensivät vuosikuormitusta 5–36 %. Aurajoella syysvehnä-suojavyöhykeyhdistelmä lisäsi liukoisen fosforin huuhtoutumaa 15 % verrattuna suojavyöhykkeettömään syysvehnään (I). VIHMAssa liukoisella fosforilla suojavyöhykkeen vaikutusluvut kasvipeitteisyyttä vailla olevien paljaiden maiden yhdistelmissä ennakoivat vuosikuormituksen 30 % kasvua ja suorakylvöyhdistelmässä kuormituksen 30 % alenemista. Vastaavia havaintoja kasvipeitteisyyden liukoisen fosforin huuhtoumia lisäävistä vaikutuksista ovat raportoineet mm. Virkajärvi ja Uusikämpä (2006).

Kokonaistypen vuosikuormituksen ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) hehtaarikohtaista alenemaa ennakoivat VIHMAN suojavyöhykkeiden vaikutusluvut vaihtelivat välillä 1,6–5,0 kg (Liite 5). Tämä vastaa suojavyöhykeyhdistelmissä vuosikuormituksen 15–30 %:n alenemista. Valkaman ym. (2018) mukaan pintavalunnan ja pohjavesivalunnan kuljettaman kokonaistypen ja nitraattitypen vuosikuormituksen muutos erityyppisten suojavyöhyke-pellonkäyttöyhdistelmien vertailuissa vaihteli 90 %:n alenemasta 55 %:n lisäykseen. Keskimäärin tarkastelussa olleet suojavyöhykkeet alensivat kokonaistypen hehtaarikohtaista vuosikuormitusta 57 % ja nitraattitypen kuormitusta 33 %.

Merkittävä havainto Valkaman ym. (2018) tutkimuksessa oli, että suojavyöhykkeen tehokkuus parani pelloilta tulevan veden typpipitoisuuden kasvaessa. Kun valunnan nitraattipitoisuus kasvoi pintavalunnassa 0,1 mg:sta 25 mg:aan litrassa, suojavyöhykkeen vaikutus pintavalunnan kuormitukseen parani 8 %:sta 45 %:iin ja pohjavesivalunnan kuormitukseen 60 %:sta 85 %:iin. Suojavyöhykkeen vanhetessa sen tehokkuus heikkeni. Oleellista oli myös, että nurmipeitteisen suojavyöhykkeen leveyden kasvattaminen muutamasta metristä 30 metriin paransi tehokkuutta melko vähän, mutta peltolohkon kaltevuuden kasvaessa tasaisesta hyvin kaltevaksi suojavyöhykkeen tehokkuus parani merkittävästi.

VIHMAssa suojavyöhykkeiden vaikutusluvut määritettiin 2,2 ha:n peltolohkoille perustettavalle 15 m:n levyiselle vyöhykkeelle ja suositellaan kaltevuudeltaan yli 1,5 % pelloille. Vaikutukset vastaavat Valkaman ym. (2018) tutkimuksessa esitettyjä tuloksia, jossa arvioitavina olivat mm. suojavyöhykkeen leveys ja pellon kaltevuus.

### *Kosteikkojen vaikutusluvut*

Ominaisuuksiltaan erilaisten kosteikko-valuma-alueyhdistelmien yläpuolisen valuma-alueen peltoalalle jyvitetty laskennalliset hehtaarikohtaiset vaikutusluvut (Luku 4.2.2, Taulukko 20) perustuvat kosteikon ja yläpuolisen valuma-alueen pinta-alan väliseen suhteeseen (so. kosteikon suhteelliseen kokoon). Kosteikkojen vuosikuormituksen muutosta kuvaavien vaikutuslukujen hehtaarikohtaiset ennustearvot vaihtelivat kosteikon suhteellisen koon

(0,5–5,0 %) mukaan kiintoaineella välillä 100–370 kg, partikkelifosforilla välillä 0,12–0,45 kg, liukoisella fosforilla välillä 0,02–0,18 kg ja kokonaistypellä välillä 0,96–9,60 kg. Nämä arvot ovat lohko-kohtaisten ympäristötoimenpiteiden (Luku 4.2.2, Kuvat 14–16) ja suojavaikotuslaitteiden vaikutuslukuun (Liite 5) verrattuna samaa suuruusluokkaa.

Vaikutusarviot ovat samaa suuruusluokkaa kuin keskimäärin Rantamo-Seittelin (suhteellinen koko 1,2 %) ja Hovin kosteikon uudempien tulosten (suhteellinen koko 5 %) mukaan yläpuolista peltoalahehtaaria kohden: kiintoainetta 70–890 kg, kokonaisfosforia 0,15–0,87, liukoista fosforia 0,05–0,17 ja kokonaistyppeä 2,4–7,0 kg vuodessa (Luku 1.3.3, Taulukko 9, Koskiahon ja Puustinen 2019).

## **5.5 Vihma-työkalu eri mittakaavoissa – tulosten merkitys ja läpinäkyvyys**

VIHMA-työkaluun ensisijainen käyttötarkoitus oli arvioida vesiensuojelua edistävien ympäristötoimenpiteiden vaikutuksia eri kokoisilla valuma- ja vesistöalueilla. Savijoen-valuma-alueella VIHMAlla keskimääräisillä vuosien 2000–2002 ja 2003–2005 peltoala- ja viljelytiedoilla (Turtola ja Lemola 2008) arvioitu eroosio oli 810 kg, partikkelifosforin vuosikuormitus 1,2 kg, liukoisen fosforin 0,4 kg, kokonaistypen 16,4 ja nitraattityypen vuosikuormitus 11,4 kg peltohehtaarialta (IV). Pienten valuma-alueiden seurantatulosten mukaan Savijoen koko aluetta (pellon osuus koko alasta 39,1 %) koskeva pitkän aikavälin kokonaisfosforin vuosikuormitus oli 0,63 kg ja kokonaistypen vuosikuormitus 8,2 kg hehtaarialta vuodessa (Vuorenmaa ym. 2002, Tattari ym. 20017b). Liukoisen fosforin vuosikuormitus oli 0,09 kg ja nitraattityypen kuormitus 6,0 kg hehtaarialta vuodessa (Vuorenmaa ym. 2002). Pellon osuus huomioiden VIHMAN arviot peltohehtaariohjeesta Savijoen kuormituksesta vastasivat suuruusluokaltaan seurantatuloksia.

Ympäristötoimenpiteiden vaikutusarvioissa MYTVAS2 tutkimuksessa (Turtola ja Lemola 2008) esitettyjen Savijoen lohko-kohtaisten ympäristötoimenpiteiden ja erilaisten toimenpideyhdistelmien vaikutukset vaihtelivat pienillä pinta-alaosuuksilla toteutetun kevennetyn muokkauksen vaatimattomasta 1–2 %:n alenemasta koko viljan viljelyalalla toteutetun suorakylvön merkittäviin yli 40 %:n kuormitusalenemiin (IV). Toimenpiteiden kohdentamisen kuormittavimmille pelloilla tehosti vaikutuksia. Toisaalta liukoisen fosforin huuhtoumien kasvu oli myös VIHMAN arvioissa merkittävä haitta.

Keskeinen VIHMA-työkaluun sisältyvä toiminta-ajatus on sen tavassa arvioida peltoviljelyn vesistökuormitusta – miten tavanomaisilla käytännön toimenpiteillä hallitaan pelloilta vesistöihin virtaavien kuivatusvesien (vuosi-valunta) laatua. Vastaava periaate sisältyy odotusarvoisesti jo ns. 'Hyviin viljelymenetelmiin' (Korkman ym. 1993) ja laajasti maatalouden ympäristöohjelmassa esitettyihin vesiensuojelu toimenpiteisiin (mm. MMM 2015). Saaristomeren tilan parantamiseksi laaditussa tiekartassa 'Toimet Saaristomeren maatalouskuormituksen poistamiseksi Itämeren kuormittajalialta' on esi-

tetty kaksi keskeistä tämän tutkimuksen asiakokonaisuuksiin (valunta ja valuntaveden laatu) liittyvää toimenpidettä: 'parannettava peltojen ojituksia ja maaperän kasvuolosuhteita' sekä 'lisätä peltojen kasvipeitteisyyttä' (Ympäristöministeriö 2022).

VIHMA-työkalun yleistä käyttökelpoisuutta on arvioitu TOIMI-hankkeessa (Tattari ym. 2017b) muiden vesienhoidon suunnittelutyöhön tarkoitettujen kuormitusmallien evaluoinnin yhteydessä (Luku 1.2.3, Taulukko 4). Merkittävä useiden mallien käytettävyyttä koskeva havainto oli, että kattavasti ympäristötoimenpiteet sisältävät tietokannat ovat mallien käyttötarkoitukseen vaikeasti sovellettavissa. Evaluoinnissa käytetyistä pääkriteereistä uskottavuus (tieteellinen perusta, tulosten epävarmuus, luotettavuus), relevanssi (hyödynnettävyys, käytettävyys) ja legitimitetti (sidosryhmien osallistuminen, hyväksyttävyys) erityisesti uskottavuuden parantaminen lisäisi VIHMA-työkalun käytettävyyttä. TOIMI-hankkeen keskeisin johtopäätös oli: vesistöjen tilaseurannan ohella tarvitaan välttämättä täydentäviä malliarvioita vesien todellisesta tilasta ja kuormituksen hallinnasta. Tässä tarkoituksessa työkalua on käytetty suunnittelutyössä ns. keskitetyissä kuormitusarvioinneissa lohko kohtaisten toimenpiteiden, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen vaikutusten alueelliseen arviointiin (Väisänen 2013, toim.).

VIHMAa käytettäessä työkalu 'sovitaan' ominaisuuksiltaan erilaisille ja erikokoisille valuma- ja vesistöalueille tarkasteltavan alueen peltoalaa koskevilla peltoala- ja peltojen ominaisuuksien jakaumatiedoilla. Työkalun kiinteät ominaiskuormituskertoimet ja ympäristötoimenpiteiden vaikutusluvut summautuvat syöttötietojen perusteella halutuiksi tarkastelualueen kuormituksen ja kuormitusmuutosten arvioiksi. Syöttötietojen tarkkuus paranee, jos käytettävissä on peltolohkojen ominaisuustiedot lohko kohtaisena paikkatietona. Työkalua sovelletaan valuma-alueen arvioinnissa ilman erillistä kalibrointivaihetta.

VIHMAN ominaiskuormituskertoimien ennustearvot ja niiden minimi- ja maksimi arvot määrittävänä vuoksi ovat pitkäaikaisen tausta-aineistonsa hydrologisen vuosivaihtelun minimi- tai maksimikuormituksen (valunta, pitoisuus, vuosikuormitus) välisellä keskialueella. Hydrologinen vuosivaihtelu suurimpana kuormitusvaihtelun lähteenä vaikuttaa viljelyn koko vuosikierron aikana peltolohkojen kuormitustapahtumiin, joista valuma-alueiden peltojen kiintoaineen ja ravinteiden vuosikuormitus muodostuu.

Lohko kohtaiset ympäristötoimenpiteet tehdään viljelyn vuosikierrossa joka vuosi uudestaan ja niiden vaikutukset vertautuvat kuormitukseen ilman lohko kohtaisia ympäristötoimenpiteitä. Tämä on VIHMAN käyttöön liittyvä oleellinen periaate, vallitseva kuormituksen vertailutaso lasketaan ilman ympäristötoimenpiteitä. Tarkasteltavan alueen kuormituksen arviointi esimerkiksi vertailemalla peltoluokkien kuormitusjakaumia vastaaviin peltoala-osuuksiin osoittaa alueen ominaisuuksiin perustuvaa kuormituksen peltoluokko kohtaisista alkuperää ja sen merkitystä kokonaiskuormituksessa. Esimerkiksi koko maan peltoalan kuormitusarviossa (Luku 4.3, Taulukko 21) kuormitus oli peräisin eri peltoluokista (Luku 4.3, Taulukko 24) seuraavasti:

- kiintoaineesta 66 % kolmesta kaltevimmasta kivennäismaan peltoluokasta
- partikkelifosforista 62 % kolmesta kaltevimmasta kivennäismaan peltoluokasta
- liukoisesta fosforista 57 % kolmesta tasaisimmasta kivennäismaan peltoluokasta ja 29 % eloperäisiltä mailta
- kokonaistypestä ja nitraattitypestä 61 % kolmesta tasaisimmasta peltoluokasta, 24–25 % eloperäisiltä mailta

Mitä enemmän peltoluokkien kuormitusosuus ylittää vastaavan peltoalaosuuden, sitä suurempi on myös keskimääräinen hehtaarikohtainen vuosikuormitus. Ympäristötoimenpiteet tulisi kohdentaa tällaisille peltolohkoilla. Oleellista vertailussa on se, että kiintoaineen, liukoisen fosforin ja typen kuormittavimmat peltoluokakohtaiset lähteet eivät ole samoja peltolohkoja. Lohkokohtaisilla ympäristötoimenpiteillä, suojavyöhykkeillä ja vesiensuojelukosteikoilla kullakin alennetaan valuntaveden pitoisuuksia.

Koko peltoalan kuormitusarvioissa peltolohkorekisterin (2016–2017) tietoihin perustuvassa arvioissa koko peltoalasta (2 275 200 ha) oli syksyllä kynnety 25 % (VIHMAN vertailutaso 51 %), syyskyntö vs. syysvilja-ala oli 2 % (vertailutaso 3 %), kevennetty syysmuokkausala 19 % (vertailutaso 2 %), suorakylvöala 6 % (vertailutaso 0 %) ja pysyvä kasvipeitteisyysala 48 % (vertailutaso 44 %). Näillä pellonkäyttömuutoksilla VIHMAN arvioiden mukaan kiintoaineen keskimääräinen hehtaarikohtainen vuosikuormitus (517 kg) olisi alentunut 17 %, partikkelifosforin vuosikuormitus (0,71 kg) 13 %, kokonaistypen vuosikuormitus (16 kg) 13 % ja nitraattitypen vuosikuormitus (11 kg) 16 %. Liukoisen fosforin (DRP) vuosikuormitus (0,46 kg) olisi kasvanut 7 % vertailutasoonsa verrattuna, jolloin kokonaisfosforin vuosikuormituksen aleneminen olisi 5 % (Puustinen ym. 2019). Ympäristötoimenpiteiden vaikutusarviossa toimenpiteet toteutettiin satunnaisesti kaikille peltoluokille kohdentamatta niitä peltojen kuormittavuuden perusteella. Toteutettujen suojavyöhykkeiden kokonaisvaikutus 1–2 % sisältyy kasvipeitteiseen peltoalaan ja kosteikkoja oli toteutettu niin vähän, ettei niillä ollut VIHMAN arvioissa vaikutusta (Puustinen ym. 2019).

VIHMAssa liukoisen fosforin huuhtoutumisriski arvioidaan peltotoimenpiteiden ja pellon fosforitilan yhteisvaikutuksena. Pitkällä aikavälillä koko peltoalan fosforipitoisuuden kasvaminen (vrt. Luku 1.1.3) keskimääräisestä 5,4 mg:sta (Kähäri ym. 1987) 12,5 mg:aan litrassa maata (Sillanpää ja Elonen 1990) on ominaiskuormituskertoimien keskimääräisten ennustearvojen (Taulukko 27) perusteella kaksinkertaistanut koko peltoalan liukoisen fosforin huuhtoutumat. Tämä on merkittävästi suurempi muutos kuin muokkauksen keventämisestä aiheutunut liukoisen fosforin huuhtoumien 5 %:n kasvu (Puustinen ym. 2019).

Suurin liukoisen fosforin kuormituksen alentamispotentiaali VIHMAssa sisältyy fosforipitoisuusluokkien jakaumien muutokseen ts. peltojen fosforiluokkien ( $P_{AAC}$ ) alentamiseen. Koko maan peltoalasta 20 % sijoittuu viisiporraisessa fosforitilaluokituksessa kahteen korkeimpaan luokkaan (Taulukko

27). Vastaava vertailu valuma-alueilla tuo esille alueen peltojen ominaisuuksiin soveltuvat paikalliset vaikutuskeinot ja liukoisen fosforin huuhtoutumisriskin kompensointipotentiaalin.

VIHMALLA arvioidaan toimenpiteiden kokonaisvaikutuksia esimerkiksi ryhmiteltyinä peltotoimenpiteiden, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen suhteen. Kun peltotoimenpiteet kohdennetaan kuormittavimmille pelloille, ympäristöhyödyt kasvavat toimenpiteiden ja olosuhteiden yhteisvaikutusten vuoksi (Puustinen ym. 2019). VIHMA-työkalulla on mahdollista arvioida tarkasteltavalla alueella kaikkien ympäristötoimenpiteiden kokonaisvaikutuksia vaihtoehtoisilla toteutustavoilla vertaamalla

- kohdennettujen toimenpiteiden vaikutuksia kohdentamattomiin toimenpiteisiin
- alennetun fosforipitoisuusjakauman vaikutusta vallitsevaan jakaumaan
- kuormittavien vuosien vaikutusta ympäristötoimenpiteiden vaikutukseen
- suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen vaikutuspotentiaalia lohkoikohtaisesti toimenpiteisiin

ja vaikuttaa alueen kokonaiskuormitukseen

- toteuttamalla lohkoikohtaiset ympäristötoimenpiteet joka vuosi uudestaan
- alentamalla lohkoitasolla valuntaveden pitoisuuksia ja toteuttamalla valuma-alueitasolla ympäristötoimenpiteitä laaja-alaisesti
- tehostamalla lohkoikohtaisten ympäristötoimenpiteiden valuma-alueen vaikutuksia suojavyöhykkeillä ja kosteikoilla
- kohdentamalla ympäristötoimenpiteet kuormittavimmille pelloille tai valuma-alueen kuormittavimpiin osiin

Muut kuormitusmallit tai laskentatyökalut (Luku 1.2.3, Taulukko 4) eivät sisällä vastaavia vertailtavissa olevia kertoimia tai kuormituksen ennustearvoja. Esimerkiksi Äijön ja Tattarin (2000) raportoimassa viljelyalueiden valumavesien hallintamallissa (VIHTA) kosteikkojen ja suojavyöhykkeiden valuma-alueen kokonaisvaikutukset on määritetty yleisenä arviona. Laaja-alaisempaan valuma-alueiden vesistökuormituksen laskentaan (Kustaa-työkalu) kootut, eri kuormituslähteistä tulevaa kuormitusta kuvaavat kuormituskertoimet (Launiainen ym. 2014) perustuvat maatalouden osalta artikkeliin IV.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli kokeelliseen tutkimustietoon perustuvan valuma-alueella ja sitä laajemmassa mittakaavassa sovellettavan suunnittelutyökalun (VIHMA) kehittäminen ja testaaminen. Työkalua testattiin laajuudeltaan kahdessa erilaisessa mittakaavassa. Peltojen ominaisuuksiin ja viljelykäytäntöihin perustuvat pinta-alajakaumat olivat työkalun syöttötietoja, ja saatujen työkalun kuormitusarvioiden vastaavuutta verrattiin riippumattomiin käytettävissä oleviin kuormitustietoihin. Työkalun testaukseen sisältyi myös vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten arviointi.

Tulosvertailujen perusteella työkalu toimi valuma-alueen mittakaavassa seurantoihin perustuvien ja koko maan peltoalalla valtakunnallisten kuormitusarvioiden kanssa samansuuruisissa arvioissa vesiensuojelutoimenpiteiden – peltotoimenpiteet, suojavyöhykkeet ja kosteikot – suunnittelun sekä toimenpiteiden vesiensuojeluvaikutusten arvioinnin välineenä. Tämä on merkittävä työkalun ominaisuus sovellettaessa sitä alueilla, joista ei ole saatavilla lainkaan kuormitustietoa.

VIHMA-työkalu laskee kuormitusarviot valuma-alueen tai sitä suuremman alueen peltojen ominaisuuksiin perustuvien, eri peltoluokkiin sisältyvien peltopinta-alojen, viljelytoimenpiteiden pinta-alojen ja työkalun ominaiskuormituskertoimien ennustearvojen mukaan. Kertoimet perustuivat kokeellisen aineiston valuntaveden määrän ja samanaikaisten veden laatua kuvaavien pitoisuusanalyysien (kiintoaine, ravinteet) mukaan laskettuun vuosikuormitukseen. Kertoimet ovat pitkän aikavälin keskimääräisiä kuormitusennusteita ja minimi- ja maksimiarvot vähän kuormittavien ja kuormittavien vuosien keskimääräisiä kuormitusennusteita. Kertoimien taustalla ovat kokeelliseen aineistoon sisältyvät ominaisuudet ja piirteet.

Huuhtoutumiskentillä kuormituksen kokonaisvaihtelusta vaihtelun lähteiden (eri tekijöiden väliset kuormituserot) vaikutukset kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitukseen olivat suuruusjärjestyksessä kaltevuus, hydrologinen vuosivaihtelu, talviaikaista pellon tilaa määrittävä kasvipeitteisyysaste vs. maan muokkaus (peltotoimenpide) sekä hydrologisen vuosityypin ja peltotoimenpiteiden yhdysvaikutus. Vuosikuormituksen keskimääräisen vaihtelun arviointi perustui valunnan vuodenaikaisjakaumien ja valunnan kiintoaineen ja ravinteiden pitoisuuksien eroihin. Valunnan suuresta vuosivaihtelusta huolimatta vuosityyppien keskimääräiset vuosivalunnat olivat yhtä suuret.

Liukoisen fosforin (DRP) kuormituksen kokonaisvaihtelun lähteet olivat pellon fosforitilan ( $P_{AAC}$ ) ja pellon talvikauden tilaa määrittävän peltotoimenpiteen aiheuttamat valuntaveden pitoisuuserot. Typpikuormituksen kokonaisvaihtelun lähteet olivat hydrologiseen vuosivaihteluun ja peltotoimenpiteeseen liittyvät valuntaveden pitoisuuserot.

VIHMAN ominaiskuormituskertoimien vuosivaihtelu (kertoimien ala- ja yläarvot) huuhtoutumiskentillä havaittua vuosivaihtelua pienempi. Peltoluokkien (kaltevuus) ja peltotoimenpiteiden väliset kertoimien erot (kiintoaine ja partikkelifosfori) perustuvat näiden välisiin valuntaveden kokeellisiin pitoisuuseroihin. Yhdysvaikutusten vuoksi hydrologisesti kuormittavina vuosina kuormittavissa olosuhteissa (kaltevuus) kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitusarvot muokatuissa maissa kasvoivat merkittävästi suuremmiksi vähemmän kuormittavien peltujen kuormitusarvioihin verrattuna. Typen vuosikuormitusta ennakoivat kertoimet perustuvat maan muokkaukseen vs. kasvipeitteisyyteen ja ovat samansuuruisia kaikissa kivennäismaiden kaltevuusluokissa. Liukoisen fosforin vuosikuormitusarvio VIHMAssa määräytyy pellon muokkauksen vs. kasvipeitteisyyden ja fosforitilan ( $P_{AAC}$ ) mukaan. Liukoisen fosforin kuormitusvaihteluun hydrologisten vuosien luokittelu (so. vähän kuormittavat ja kuormittavat vuodet) ei vaikuttanut.

Edellä esitetyn perusteella VIHMA soveltuu valuma-alueen mittakaavassa vallitsevan kuormituksen arviointiin ja toimenpiteiden suunnitteluun. Lohkokohtaiset ympäristötoimenpiteet ovat VIHMAssa kuormitusta vähentävien viljelykäytäntöjen muutoksia ja niiden kuormitusta muuttavat vaikutusluvut ominaiskuormituskertoimien erotuksina. Työkaluun liitetyt suojavyöhyke - pellon viljelykäyttöyhdistelmien ja erikokoisten kosteikkojen vaikutusluvut ovat verrannollisia lohkoikohtaisiin ympäristötoimenpiteiden vaikutuslukuihin. Keskeisimmät VIHMAN testaukseen perustuvat johtopäätökset:

Työkalu soveltuu valuma-alueella tai sitä suuremmalla alueella

- peltoviljelyn lohkoikohtaisten vesisuojelutoimenpiteiden, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen suunnitteluun ja toimenpiteiden kokonaisvaikutusten arviointiin
- peltoviljelyn kiintoaineen ja ravinteiden keskimääräisen hehtaarikohdaisen vuosikuormituksen ja kuormituksen vuosivaihtelun arviointiin
- peltoviljelyn kiintoaineen ja ravinteiden keskimääräisen kokonaiskuormituksen ja vuosivaihtelun arviointiin
- peltoviljelyn kiintoaineen ja ravinteiden peltoluokkoikohtaisen kokonaiskuormituksen ja eri peltoluokkien kuormitusjakauman arviointiin
- toimenpiteiden kohdentamisella saatavan vesiensuojeluhyödyn arviointiin
- hydrologisesti kuormittavien vuosien vaikutusten kompensoimiseksi tarvittavien lisätoimenpiteiden arviointiin



## REFERENCES

- Aakkula, J. & Leppänen, J. (toim.) 2014. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYTVAS 3): Loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3. 265 s. Maa- ja metsätalousministeriö.
- Addiscott, T. M. & Powlson, D. S. 1992. Partitioning losses of nitrogen fertilizer between leaching and denitrification. *The Journal of Agricultural Science* 118:101–107.
- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research*. 4: 101–114.
- 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 (<sup>15</sup>N)-labeled cauliflower crop residues (*Brassica oleracea*) into the soil: a 3-year lysimeter study. *Plant Soil* 328:17–26.
- Andersen, J. M. 1974. Nitrogen and phosphorus budgets and the role of sediments in six shallow Danish lakes. *Arch. Hydrobiol.* 74:528–550.
- Antikainen, R., Haapanen, R., Lemola, R., Nousiainen J. I. & Rekolainen, S. 2008. Nitrogen and Phosphorus Flows in the Finnish Agricultural and Forest Sectors, 1910–2000. *Water Air Pollution* 194:163–177.
- Aronsson, H. & Stenberg, M. 2010. Leaching of nitrogen from a 3-yr grain crop rotation a clay soil. *Soil Use and management* 26:274–285.
- Aura, E., Saarela, K. & Rätty, M. 2006. Savimaiden eroosio. MTT:n selvityksiä 118. 32 s.
- Baker, J. L. & Laflen, J. M. 1983. Runoff losses of nutrients and soil from ground fall-fertilized after soybean harvest. *Transactions of the ASAE* 26:1122–1127
- Bechmann M. 2012. Effect of tillage on sediment and phosphorus losses from a field and a catchment in southeastern Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science* 62:206–216.
- Bechman, M., Deelstra, J., Stålnacke, P., Eggestrad, H. O., Øygarden, L. & Pengerud, A. 2008. Monitoring catchment scale agricultural pollution in Norway – Policy instruments, implementation of mitigation methods and trends in nutrient and sediment losses. *Environmental Science and Policy* 11: 101-114.
- 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.
- Bergström, L. 1987. Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drainaged 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.
- Bogen, J. 2009. The impact of environmental changes in the sediment loads of Norwegian rivers. *Catena* 79:252–256.
- Brink, N. 1984. Faktorer som påverkar växtnäringsförluster i åkermark. Jordbrukets förorening av vattenmiljön. Tjugonde nordiska symposiet om vattenforskning, 8.-10.5.1984. Helsingfors, Nordforsk, miljövårdsserien, publikation 2:79–88

- Bärlund, I., Tattari, S., Puustinen, M., Koskiaho, J., Yli-Halla, M. & Posch, M. 2009. Soil parameter variability affecting simulated fieldscale water balance, erosion and phosphorus losses. *Agricultural and Food Science* 18:402–416.
- Cerdan, O., Poesen, J., Govers, G., Saby, N., Le Bissonnais, Y., Gobin A., Vacca, A., Quinton, J., Auerswald, K., Klik, A., Kvaad, F. & Roxo, M. J. 2006. Sheet and Rill erosion. *Julkaisussa: Boardman, J., Poesen, J., (toim.) 2006. Soil erosion in Europe.* ss. 501-513.
- Di, H. J. & Cameron, K. C. 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 237–256.
- Dickey, E. C., Shelton, D. P., Jasa, P. J. & Peterson, T. R. 1985. Soil Erosion from tillage Systems Used in Soybean and Corn Residues. *Transactions of the ASAE* 28:1124–1129.
- Djordjic, F. & Spännar, M. 2012. Identification of critical source areas for erosion and phosphorus losses in small agricultural catchment in central Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science* 62:229–240.
- Ekholm, P. 1994. Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in southern Finland. *Hydrobiologia* 287:179–194.
- Eltun, R. & Fugleberg, O. 1996. The Apelsvoll cropping system experiment VI. Run-off and nitrogen losses. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10:229–248.
- Finér, L., Matsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Lauren, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S. & Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesikuormituksen laskenta. *Suomen Ympäristökeskus* 10.
- Foth, H. D. 1984. *Fundamentals of Soil Science*. John Wiley & sons, USA. 435 s.
- Granlund, K., Rankinen, K. & Lepistö, A. 2004. Testing the INCA model in a small agricultural catchment in southern Finland. *Hydrology and Earth System Sciences* 8:717–728.
- Granlund, K., Räike, A., Ekholm, P., Rankinen, K. & Rekolainen, S. 2005. Assessment of water protection targets for agricultural nutrient loading in Finland. *Journal of Hydrology* 304:251–260.
- Gronsten, H. A., Øygarden, L. & Skevdal, R. 2007a. Nutrient runoff, phosphorus reduced tillage, soil erosion and winter wheat. *Bioforsk report vol 2*:60.
- Gronsten, H. A., Øygarden, L. & Skevdal, R. 2007b. Soil and nutrient loss according to tillage practice for winter cereals. *NJF report 3*:161–162.
- Grönroos, J., Hietala-Koivu, R., Kuussaari, M., Laitinen, P., Lankoski, J., Lemola, R., Miettinen, A., Perälä, P., Puustinen, M., Schulman, A., Salo, T., Siimes, K. & Turtola, E. 2007. *Analyyysi maatalouden ympäristöjärjestelmästä 2000–2006. Suomen Ympäristö 19. Ympäristönsuojelu.*
- Hartikainen, H. 2016. Aineiden käyttäytyminen maaperässä - Fosfori. *Julkaisussa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. 2016. Maan vesija ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö: ss. 182–190.*
- Hjerppe, T., Seppälä, E., Väisänen, S. & Marttunen, M. 2016. Monetary assessment of the recreational benefits of improved water quality – description of a new model and a case study. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60:11, 1944-1966.
- 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.

- Huhta, H. & Jaakkola, A. 1993. Viljelykasvin ja lannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumisen turvemaasta Tohmajärven huuhtoutumiskentällä v. 1983–87. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 20. 66 s.
- Huttula 2013 – Hydrologia, valunta - määrittely. Valunnan luonne Suomessa. Esitelmä 15.1.2013.  
<https://docplayer.fi/46547891-Hydrologia-l10-valunta-valunta-maarittely.html>
- Huttula, T., Bilaletdin, E., Härmä, P., Kallio, K., Linjama, L., Lehtinen, K., Luotonen, H., Malve, O., Vehviläinen, B. & Villa, L. 2009. Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen. Automatisointi ja muut uudet menetelmät. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13. 73 s.
- Huttunen I., Lehtonen H., Huttunen M., Piirainen V., Korppoo M., Veijalainen N., Viitasalo M. & Vehviläinen B. 2015. Effects of climate change and agricultural adaptation on nutrient loading from Finnish catchments to the Baltic Sea. *Science of the Total Environment* 529:168–181
- 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. *Environment Model Assess* 21:83–109.
- Hyvärinen, V. & Puupponen, M. 1986. Valunta. Julkaisussa: Mustonen, S. (toim.) *Sovellettu hydrologia: 152–225*. Vesiyhdistys ry. Helsinki.
- Ilmatieteenlaitos 2021. Ilmastolliset vertailukaudet 1961–1990, 1981–2010 ja 1991–2020. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastollinen-vertailukausi>
- Jaakkola, A. 1984. Leaching losses of nitrogen from clay soil under grass and cereal crops in Finland. *Plant and Soil* 76: 59-66.
- Jones, R. J. A., Verheijen, F. G. A., Reuter, H. I., & Jones, A. R. (toim.) 2008. *Environmental Assessments of Soil for Monitoring: Procedures & Protocols*.
- Järvenpää, L. & Savolainen, M. 2015. Maankuivatuksen ja kastelun suunnittelu. *Ympäristöhallinnon ohjeita* 4. 191 s.
- Järvinen, E.A. 1978. Astioista ja lysimetreistä tapahtuva haihdunta. Diplomityö teknillisessä korkeakoulussa. Espoo.
- Kadlec, R.H. 1989. Dynamics of inorganic and organic materials in wetlands ecosystems.
- Kaitera, P. & Teräsvirta, H. 1972. Snow evaporation in South and North Finland, 1969/1970 and 1970/1971. *Aqua Fennica* ss.11–19.
- Kauppila, P. & Koskiaho, J. 2003. Evaluation of annual loads of nutrient and suspended solids in Baltic rivers. *Nordic Hydrology* 34:203–220.
- 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* 87:21–31.
- Kinderiene, I. & Karcauskiene, D. 2012. Effect of different crop rotations on soil erosion and nutrient losses under natural rainfall conditions in Western Lithuania. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 62:199–205.
- Korkman, J., Ijas, J., Pehkonen, A., Rekolainen, S., Valpasvuo-Jaatinen, P. & Tiilikkala, K. 1993. Hyvät viljelymenetelmät. Maaseudun ympäristöohjelman mukaiset viljelysuositukset. Maa- ja metsätalousministeriö. Työryhmämuistio 7. 31 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* 127:177-188.
- 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* 34:789–799.

- Koskiaho, J. 2003. Flow velocity retardation and sediment retention in two constructed wetland-ponds. *Ecological Engineering* 19:325–337.
- Koskiaho, J. 2006. Retention performance and hydraulic design of constructed wetlands treating runoff waters from arable land. *Acta Universitatis Ouluensis C* 252. 70 s.
- Koskiaho, J., Ekholm, P., Rätty, M., Riihimäki, J. & Puustinen, M. 2003. Retaining agricultural nutrients in constructed wetlands-experiences under boreal conditions. *Ecological Engineering* 20:89–105.
- Koskiaho, J., Kivisaari, S., Vermeulen, S., Kauppila, R., Kallio, K. & Puustinen, M. 2002. Reduced tillage: influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. *Agricultural and Food science in Finland* 11:37–50.
- Koskiaho, J. & Puustinen, M. 2019. Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecological Engineering* 137:65–75.
- Kronvang, B., Bechmann, M., Lundekvam, H., Behrendt, H., Rubaek, G. H., Schoumans, O. F., Syversen, N., Andersen, H. E. & Hoffman C. C. 2005. Phosphorus Losses from Agricultural Areas in River Basins: Effect and Uncertainties of Targeted Mitigation Measures. *J. Environ. Qual.* 34:2129–2144.
- Kuusisto, E. 1980. On the intensity of rainfall in Finland. *Aqua Fennica* 10:3–11.
- Kuusisto, E. 1986. Sadanta. *Julkaisussa: Mustonen, S. (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia: ss. 29–46.*
- Kuussaari, M., Hyvönen, T., Koskiaho, J., Lemola, R. & Tattari, S. (toim.) 2021. Ratkaisuja ja kehitysehdotuksia maatalouden ympäristöhaasteisiin Mato-tutkimusohjelman perusteella. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 17. 189 s.
- Kähäri, J., Mäntylähti, V. & Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981–1985. 105 s.
- Laamanen, M. (toim.) 2016. Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma 2016–2021. Ympäristöministeriön raportteja 5.
- Launiainen, S., Sarkkola, S., Laurén, A. Puustinen, M., Tattari, S., Mattsson, T., Piirainen, S., Heinonen, J., Alakukku, A. & Finér., L. 2014. KUSTAA-työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33. 35 s.
- 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
- Leonardson, L. 1994. Våtmarker som kvävefällor, Svenska och internationella erfarenheter (Wetlands as nitrogen sinks, Swedish and international experience). *Naturvårdsverkets rapport* 4176. 265 s.
- Leppänen, E. ja Esala, M. 1995. Keväisen mineraalityypianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamisessa. Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote 1. 29 s.
- 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.
- Linjama, J., Puustinen, M., Koskiaho, J., Tattari, S. Kotilainen, H. & Granlund, K. 2009. Implementation of automatic sensors for continuous monitoring of runoff quantity and quality in small catchments. *Agricultural and Food Science* 18:417–427.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A. & Paulhaus. J. L. 1975. *Hydrology for Engineers*. 482 s.

- Lord, E. & Mitchell, D. J. 1998. Effects of nitrogen inputs to cereals in nitrate leaching from sandy soils. *Soil Use and Management* 14:78–83.
- Luke 2021. Peltoalan käyttö 1910–2020  
[http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_02%20Maatalous\\_04%20Tuotanto\\_22%20Kytossa%20oleva%20omaatalousmaa/?tablelist=true&xid=dc711a9e-de6d-454b-82c2-74ff79a3a5e0](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_22%20Kytossa%20oleva%20omaatalousmaa/?tablelist=true&xid=dc711a9e-de6d-454b-82c2-74ff79a3a5e0)
- 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.
- Malve, O., Hjerpe, T., Tattari, S., Väisänen, S., Huttunen, I., Kotamäki, N., Kallio, K., Taskinen, A. & Kauppila P. 2016. Participatory operations model for cost-efficient monitoring and modeling of river basins — A systematic approach *Science of the Total Environment* 540: 79–89.
- Mansikkaniemi, H. 1982. Soil erosion in areas of intensive cultivation in Southern Finland. *Fennia* 160: 225–276.
- Mavi 2017. Peltolohkorekisteriin perustuvat laskelmat ympäristötoimenpiteiden toteutuksen laajuudesta KiertoVesi-hankkeelle.
- MMM 2000a. Horisontaalinen maaseudun kehittämissuunnitelma. EU:n yhteisen maatalouspolitiikan liitännäistoimenpiteet. Manner-Suomi. 229 s.
- MMM, 2000b. Maatalouden ympäristötuen erityistuet. Valumavesien käsittely. Kosteikot ja laskeutusaltaat. Maa- ja metsätalousministeriö.
- MMM, 2000c. Maatalouden ympäristötuen erityistuet. Suojavyöhykkeiden perustaminen ja hoito. Maa- ja metsätalousministeriö.
- MMM, 2000d. Maatalouden ympäristötuen erityistuet v. 2000–2006. Valumavesien käsittely. Säättösalaojitus, Säättökastelu, Valumavesien kierrätys. Maa- ja metsätalousministeriö.
- MMM 2007. Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma vuosille 2007–2013. 282 s.
- MMM 2021. Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelma 2014–2020.  
<https://www.maaseutu.fi/maaseutuverkosto/maaseutuohjelma>
- Muukkonen, P., Hartikainen, H., Lahti, K., Särkelä A., Puustinen, M. & Alakukku, L. 2007. Influence of no-tillage on the distribution and lability of phosphorus in Finnish clay soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120:299–306.
- Mäenpää, M. & Tolonen, S. (toim.) 2011. Kooste vesienhoitoalueiden vesienhoitosuunnitelmista vuoteen 2015. Suomen Ympäristö 23. Ympäristönsuojelu.
- Nyroos, H., Partanen-Hertell, M., Silvo, K. & Kleemola, P. (toim.) 2006 – Vesien-suojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Taustaselvityksen lähtökohdat ja yhteenvedo tuloksista. Suomen Ympäristö 55. Ympäristönsuojelu. 68 s.
- Øygarden, L. 2003. Rill and gully development during an extreme winter runoff event in Norway. *Catena* 50:217–242.
- Palva, R., Rankinen, K., Granlund, K., Grönroos, J., Nikander, A. & Rekolainen, S. 2001. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 1995–1999. Mytvas-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 478. Ympäristönsuojelu. 92 s.
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S. & Alewell, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Sci Total Environ.* 511:801–814.
- Peigne, J., Ball, B. C., Roger-Estrate, J. & David, C. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* 23:129–144.

- Peltonen-Sainio, P., Laurila, H., Jauhiainen, L. & Alakukku, L. 2015. Proximity of waterways to Finnish farmlands and associated characteristics of regional land use. *Agricultural and Food Science* 24:24–38.
- Peltovuori, T. 2006. Phosphorus in agricultural soils of Finland – characterization of reserves and retention in mineral soil profiles. PhD thesis. *Pro Terra* 26. Department of Applied Chemistry and Microbiology, University of Helsinki.
- Posch, M., & Rekolainen, S. (1993). Erosivity factor in the universal soil loss equation estimated from Finnish rainfall data. *Agricultural Science in Finland* 2:271–279.
- Powlson, D. S. 1993. Understanding the soil-nitrogen cycle. *Soil Use and Management* 9:86–94.
- Puustinen, M. 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. *Lisensiaatti työ. Suomen ympäristö 285. Ympäristönsuojelu*. 116 s.
- Puustinen, M. 2001 (toim.). Management of the Runoff Water from Arable Land. Final Report of the EU/LIFE Project.
- Puustinen, M., Koskiahho, J., Jormola, J., Järvenpää, L., Karhunen, A., Mikkola-Roos, M., Pitkänen, J., Riihimäki, J., Svenberg, M. & Vikberg, P. 2007. Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. *Suomen ympäristö 21. Ympäristönsuojelu*. 77 s.
- Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J. & Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja–sarja A 198*. 319 s.
- Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Rätty, M., Järvenranta, K., Koskiahho, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R., Uusi-Kämpä, J., Lepistö, A., Hjerpe, T., Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan. *KiertoVesi-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22*. 142 s.
- Rankinen, K., Kaste, Ø., & Butterfield, D. (2004). Adaptation of the Integrated Nitrogen Model for Catchments (INCA) to seasonally snow-covered catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(4), 695–705.
- Rankinen, K., Salo, T., Granlund, K. & Rita H. 2007. Simulated nitrogen leaching, nitrogen mass field balances and their correlation on four farms in southwestern Finland during the period 2000–2005. *Agricultural and Food Science* 16:3–16.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and Nitrogen Load from Forest and Agricultural Areas in Finland. *Aqua Fennica* 19:95–107.
- Rekolainen, S., 1993. Assessment and Mitigation of Agricultural Water Pollution. *Publications of the Water and Environment Research Institute* 12. 34 s.
- Rekolainen, S., Vuoristo, H., Kauppi, L., Bäck, S., Eerola, M., Jouttijärvi, T., Kaukoranta, E., Kenttämies, K., Mitiikka, S., Pitkänen, H., Polso, A., Puustinen, M., Rautio, L. M., Räike, A., Räsänen, J., Santala, E., Silvo, K. & Tattari, S. 2006. Rehevöittävä kuormituksen vähentäminen. *Taustaselvitys osa I. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22*.
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K. & Yoder D.C. (toim.) 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 703.
- Russel, E. W. 1973, Soil conditions and plant growth. London. 849 p.
- Rätty M., Järvenranta, K., Saarijärvi, E., Koskiahho, J. ja Virkajärvi, P. 2020. Losses of phosphorus, nitrogen, dissolved organic carbon and soil from a small agricultur-

- al and forested catchment in east-central Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 302, 13 s.
- Saarela, I. 2002. Phosphorus in Finnish soils in the 1900s with particular reference to the acid ammonium acetate soil test. *Agricultural and Food Science* 11:257–271.
- Sainju, U. M., Caesar-Tronthat, T., Lenssen, A. W., Evans, R. G., Kolberg, R. 2009. Tillage and cropping sequence impacts on nitrogen cycling in dryland farming in eastern Montana, USA. *Soil & Tillage Research* 103:382–341.
- Salaojayhdistys 2012. Peltosalaojituksen suunnittelu. Salaojayhdistys. <http://www.salaojayhdistys.fi/pdf/Peltosalaoja1.pdf>
- Salo, T. & Turtola, E. 2006. Nitrogen balance as indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113:98–107.
- Seuna, P. 1977. Kasteluun vaikuttavista hydrometeorologisista tekijöistä. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 24.
- Schwab, O. G., Frevert, R. K., Edminster, T. W. & Barnes, K. K. 1981. *Soil and Water Conservation Engineering*. John Wiley & Sons, USA. 525 s.
- Seuna, P. & Lepistö, A. 1993. Mitä vettä uomassa virtaa – veden kulkeutumisreitit valuma-alueella. *Vesitalous* 3:1–6
- Sippola, J. 1981. Viljelymaan typpivarat. Koetoiminta ja käytäntö 39.
- Sippola, J. & Ylärinta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. *Annales Agriculturae Fenniae* 24:117–124.
- Skøien S. E., Børresen T. & Bechmann M. 2012. Effect of tillage methods on soil erosion in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 62:191–198.
- 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.
- Syke 2021. Vesistöjen kuormitus ja luonnonhuuhtouma. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat\\_ja\\_tilastot/vesistojen\\_kuormitus\\_ja\\_luonnon\\_huuhtouma](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/vesistojen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma)
- Tattari, S., Bärlund, I., Rekolainen S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H.-R. & Yli-Halla, M. 2001. Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of ASAE* 44:297–307.
- Tattari, S. & Linjama, J. 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi. *Vesitalous* 45:26–30.
- Tattari, S., Koskiahho, J., Bärlund, I. & Jaakkola, E. 2009. Testing a river basing model with sensitivity analysis and autocalibration for an agricultural catchment in SW Finland. *Agricultural and Food Science* 18:428–439.
- Tattari, S., Koskiahho, J., Kosunen, M., Lepistö, A., Linjama, J. & Puustinen, M. 2017a. Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2010—can the efficiency of undertaken water protection measures seen? *Environmental Monitoring and Assessment* 189:95, 25 s
- Tattari, S., Puustinen, M., Ahtiainen, H., Hjerpe, T., Huttunen, M., Iho, A., Koikkalainen, K., Kotamäki, N., Lehtonen, H., Lilja, H., Martinmäki-Aulaskari, K., Niskanen, O., Oinonen, S., Röman, E & Väisänen, S. 2017b. (Toim. Tattari, S. & Puustinen, M.) Suositus mallien käytöstä vesien- ja merenhoidossa. Toimivimmat mallityökalut vesistövaikutusten ja ravinteiden kierrätyksen kustannustehokkaaseen hallintaan. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 70. 91 s.

- Tattari, S. & Rekolainen, S. 2006. Finland. Julkaisussa: Boardman, J. & Poesen, J. (toim.) Soil Erosion in Europe: 27–32. Wiley. West Sussex, Enland.
- Tiainen, I. 1989. Eroosio ja fosforin kulkeutuminen pelloilta . Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden laboratorio. Diplomityö.
- Tiainen, I. ja Puustinen, M. 1989. Peltoviljelyn vaikutus eroosioon. Kirjallisuusselvitys viljelytapojen ja -menetelmien sekä kuivatuksen ja viljelykasvin vaikutusta eroosioon. Vesi- ja ympäristöhallituksen moniste 190.
- Tike 2013. Maatalouslaskenta 2010. Viljelysmaan muokkaus ja talviaikainen peitteisyys. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/FIN\\_FIN\\_ENG\\_REP\\_vol\\_II\\_2010%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/FIN_FIN_ENG_REP_vol_II_2010%20(5).pdf)
- 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. & Jaakkola, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 6. 43 s.
- 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. & Paajanen, A. 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management* 28:295–310.
- Turtola, E., Salo, T., Miettinen, A., Iho, A., Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Tuomisto, J., Sipilä, A., Muurinen, S., Turakainen, M., Lemola, R., Jauhiainen, L., Uusitalo, R., Grönroos, J., Mylly, M., Heikkinen, J., Merilaita, S. Cano Bernal, J., Savela, P., Kartio, M., Salopelto, J., Finér, A. & Jaakkola, M. 2017. Hyötyä taseista - Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15. 70 s.
- Ulén, B., Aronsson, H., Bechmann, M., Krogstad, T., Øygarden, L. & Stenberg, M. 2010. Soil Tillage methods to control phosphorus loss and potential side effects: a Scandinavian review. *Soil Use and Management* 26:94–107.
- Ulén, B., Bechmann, M., Øygarden, L. & Kyllmar, K. 2012a. Soil erosion in Nordic countries – future challenges and research needs. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science* 62:176–184.
- Ulén, B., Von Brömssen, C., Kyllmar, K., Djodjic, F., Stjernman Forsberg, L. & Andersson S. 2012b. Long-term temporal dynamics and trends of particle-bound phosphorus and nitrate in agricultural stream waters. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 62:217–228.
- Ulén, B. & Kalisky, T. 2005. Water erosion and phosphorus problems in an agricultural catchment – Need for natural research for implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science & Policy* 8:477–484.
- 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.
- Uusitalo, R. 2004. Fosfori maatalouden kuormituksessa, Vesitalous 3.
- Uusitalo, R. & Aura, E. 2005. A Rainfall simulation study of relationship between soil test P versus dissolved and potentially bioavailable particulate phosphorus forms in runoff. *Agricultural and Food Science* 14:335–345.
- Uusitalo, R. & Jansson, H. 2002. Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with acetate buffer. *Agricultural and Food Science in Finland* 11:343–353.



- 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* 47:1478–1486.
- 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* 26:266–272.
- Vakkilainen, P. 2016. Hydrologian perusteita. Julkaisussa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltonen, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. 2016. Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö.
- Valkama, E., Lemola, R., Känkänen, H. & Turtola, E. 2015a. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 203:93–101.
- Valkama, E., Usva, K., Saarinen, M. & Uusi-Kämppe, J. 2018. Meta-analysis on Nitrogen Retention by Buffer Zones. *Journal of Environmental Quality* 48:270–279.
- 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., 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., Virkajärvi, P., Uusitalo, R., Ylivainio, K. & Turtola, E. 2015b. Meta-analysis of grass ley response to phosphorus fertilization in Finland. *Grass and Forage Science* 71:36–53.
- Warsta, L. 2011. Modelling water flow and soil erosion in clayey, subsurface drained agricultural field. Väitöskirja. Aalto yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötieteen laitos.
- Verheijen F. G. A., Jones R. J. A., Rickson R. J., Smith C. J., Bastos A. C., Nunes J. P. & Keizer J. J. 2012. Concise overview of European soil erosion research and evaluation. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 62:185–190.
- Verhoeven, J. T. A. & Meuleman, A. F. M. 1999. Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. *Ecol. Eng.* 12:5–12.
- Vesihallitus 1986. Maankuivatuksen suunnittelu, osat I ja II. Vesihallituksen tiedotus 278.
- 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. *Agroecological Publications* 63:1–44.
- Väisänen, S. (toim.) 2013. Mallit avuksi vesienhoidonsuunnitteluun GisBloom-hankkeen pilottialueilla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29. Helsinki, Suomen ympäristökeskus, 188 s.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Agriculture Handbook No. 537*. USDA 58 s.
- Zachar, D. 1982. Soil erosion. *Developments in soil science* 10: 84–86. Elsevier, Amsterdam.
- Ympäristöministeriö 1988. Vesiensuojelun tavoiteohjelma vuoteen 1995. Valtioneuvoston periaatepäätös. Sarja B, 12:49. Ympäristönsuojeluosasto.

- Ympäristöministeriö 1992. Ehdotus maaseudun ympäristöohjelmaksi, 1992. Maaseudun ympäristötyöryhmän muistio. Työryhmän mietintö 68. 47 s. Ympäristönsuojeluosasto
- Ympäristöministeriö 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Suomen ympäristö 226. Helsinki. 82 s.
- Ympäristöministeriö 2000. Vesien suojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005. Suomen ympäristö 402. 98 s. Ympäristönsuojelu.
- Ympäristöministeriö 2022. <https://ym.fi/-/tiekartassa-toimet-saaristomerenn-maatalouskuormituksen-poistamiseksi-itameren-kuormittajalistalta>
- Äijö, H., Myllys, M., Nurminen, J., Turunen, M., Wartsa, L., Paasonen-Kivekäs, M., Korpelainen, E., Salo, H., Sikkilä, M., Alakukku, L., Koivusalo, H. & Puustinen, M. 2014. Salaojitusmekaniikat ja pellon vesitalouden optimointi. PVO2 – Loppuraportti. hanke. Salaojituksen tutkimusyhdystys ry:n tiedote 31.
- Äijö, H. & Tattari, S. 2000. Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli. Suomen ympäristö 442. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus.

Liite 1. Huuhtoutumiskenttäaineistoihin perustuvat kiintoaineen ominaiskuormituskertoimet (Vrt. Taulukko 12) ja kertoimien ala- ja yläarvot peltotoimenpiteille kaltevuusluokittain (vrt. Kuva 10a). Kertoimet ovat peltojen talviaikaista tilaa koskevia ennustearvoja keskimääräisestä vuosieroosiosta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) ja kertoimien ala- ja yläarvot (kertoimien vaihteluväli) arvioita vähän kuormittavien (Ks-Lt) ja kuormittavien vuosien (Ss-VLt) keskimääräisestä vuosieroosiosta (II, IV, Launiainen ym. 2014).

Liitetaulukko 1a. Kiintoaineen ominaiskuormituskertoimet savi- ja hiesumailla

Peltotoimenpide vaihteluväli	Kiintoaineen ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) kaltevuusluokittain (%)				
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0
Syyskylvö	325	525	925	1520	2350
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	255–385	410–620	720–1090	1055–1890	1530–3015
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	270	440	775	1275	1970
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	210–320	340–520	605–910	895–1535	1310–2410
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	220	355	625	1030	1590
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	170–260	275–420	485–735	655–1385	895–2290
Syysvilja	245	390	690	1135	1760
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	190–285	305–460	540–815	740–1450	1020–2345
Sänki	215	345	605	725	890
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	165–252	270–405	470–710	500–900	540–1170
Suorakylvö (syksy, kevät)	110	185	330	485	695
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	95–120	160–200	290–355	425–520	610–755
Nurmi	115	180	305	440	635
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	110–120	170–190	290–320	420–465	605–670

Liitetaulukko 1b. Kiintoaineen ominaiskuormituskertoimet karkeilla kivennäismailla

Peltotoimenpide vaihteluväli	Kiintoaineen ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) kaltevuusluokittain (%)				
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0
Syyskylvö	375	605	1065	1750	2705
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	290–440	470–710	830–1250	1215–2175	1760–3465
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	315	505	890	1465	2265
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	245–370	395–595	695–1050	1030–1765	1505–2775
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	255	410	720	1180	1830
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	195–295	320–480	560–845	755–1590	10302–635
Syysvilja	280	450	795	1305	2020
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	215–330	350–530	620–935	850–1670	1175–2700
Sänki	245	395	695	830	1020
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	190–290	310–465	540–820	575–1035	620–1345
Suorakylvö (syksy, kevät)	125	210	380	555	800
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	110–140	185–230	335–410	490–600	705–865
Nurmi	135	205	350	510	730
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	130–140	195–215	330–365	480–535	695–770

Liitetaulukko 1c. Kiintoaineen ominaiskuormituskertoimet eloperäisillä maille

Peltotoimenpide	Kiintoaineen ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) kaltevuusluokittain				
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0
Syyskylvö	150	150	150	150	150
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	150	150	150	150	150
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	150	150	150	150	150
Syysvilja	150	150	150	150	150
Sänki	150	150	150	150	150
Suorakylvö (syksy, kevät)	150	150	150	150	150
Nurmi	150	150	150	150	150

Liite 2. Huuhtoutumiskenttäaineistoihin perustuvat partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet (Vrt. Taulukko 12) ja kertoimien ala- ja yläarvot peltotoimenpiteille kaltevuusluokittain (vrt. Kuva 10b). Kertoimet ovat peltojen talviaikaista tilaa koskevia ennustearvoja keskimääräisestä vuosikuormituksesta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) ja kertoimien ala- ja yläarvot (kertoimien vaihteluväli) arvioita vähän kuormittavien (Ksy-Lta) ja kuormittavien vuosien (Ssy-VLta) keskimääräisestä vuosikuormituksesta (II, IV, Launiainen ym. 2014).

Liitetaulukko 2a. Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet savimailla

Peltotoimenpide vaihteluväli	Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) kaltevuusluokittain (%)				
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0
Syyskyntö	0,47	0,64	0,97	2,30	4,15
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,40–0,53	0,54–0,72	0,81–1,09	1,40–3,01	2,22–5,70
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	0,42	0,55	0,81	2,07	3,83
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,35–0,47	0,46–0,62	0,68–0,91	1,41–2,51	2,44–4,76
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	0,34	0,46	0,70	1,66	3,00
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,29–0,39	0,39–0,52	0,59–0,79	1,02–2,28	1,63–4,37
Syysvilja	0,41	0,52	0,75	1,77	3,19
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,34–0,46	0,44–0,59	0,63–0,84	1,09–2,31	1,73–4,37
Sänki	0,32	0,45	0,71	1,10	1,65
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,27–0,36	0,38–0,51	0,60–0,80	0,73–1,40	0,91–2,24
Suorakylvö (syksy, kevät)	0,25	0,40	0,71	0,94	1,26
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,21–0,27	0,34–0,44	0,61–0,77	0,81–1,03	1,09–1,38
Nurmi	0,28	0,39	0,60	0,79	1,06
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,26–0,30	0,36–0,42	0,56–0,64	0,74–0,85	0,99–1,14

Liitetaulukko 2b. Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet hiesumailla

Peltotoimenpide vaihteluväli	Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) kaltevuusluokittain (%)				
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0
Syyskyntö	0,42	0,57	0,87	2,04	3,69
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,35–0,48	0,48–0,64	0,73–0,97	1,25–2,68	1,97–5,07
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	0,37	0,49	0,72	1,84	3,41
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,31–0,42	0,410–,55	0,61–0,81	1,26–2,24	2,17–4,23
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	0,31	0,41	0,63	1,48	2,67
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,26–0,34	0,35–0,46	0,52–0,70	0,91–2,03	1,45–3,89
Syysvilja	0,36	0,46	0,67	1,57	2,84
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,30–0,41	0,39–0,52	0,56–0,75	0,97–2,06	1,54–3,89
Sänki	0,28	0,40	0,63	0,98	1,47
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,24–0,32	0,34–0,45	0,53–0,71	0,65–1,25	0,81–2,00
Suorakylvö (syksy, kevät)	0,22	0,36	0,63	0,84	1,13
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,19–0,24	0,31–0,39	0,54–0,69	0,72–0,91	0,97–1,23
Nurmi	0,25	0,34	0,53	0,70	0,95
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,23–0,27	0,32–0,37	0,50–0,57	0,66–0,76	0,88–1,01

Liitetaulukko 2c. Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet karkeilla kivennäismailla

Peltotoimenpide vaihteluväli	Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> ) kaltevuusluokittain (%)				
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0
Syyskyntö	0,37	0,50	0,76	1,79	3,24
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,31–0,42	0,42–0,56	0,64–0,85	1,09–2,35	1,73–4,44
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	0,32	0,43	0,63	1,61	2,99
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,27–0,37	0,36–0,48	0,53–0,71	1,10–1,96	1,90–3,71
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	0,27	0,36	0,55	1,30	2,34
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,22–0,30	0,30–0,41	0,46–0,62	0,80–1,78	1,27–3,41
Syysvilja	0,32	0,41	0,58	1,38	2,49
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,27–0,36	0,34–0,46	0,49–0,66	0,85–1,80	1,35–3,41
Sänki	0,25	0,35	0,55	0,86	1,29
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,21–0,28	0,29–0,40	0,47–0,62	0,57–1,09	0,71–1,75
Suorakylvö (syksy, kevät)	0,20	0,31	0,55	0,73	0,99
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,17–0,21	0,27–0,34	0,48–0,60	0,63–0,80	0,85–1,08
Nurmi	0,22	0,30	0,47	0,62	0,83
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,20–0,24	0,28–0,32	0,44–0,50	0,57–0,66	0,77–0,89

Liitetaulukko 2d. Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet eloperäisillä mailla

Peltotoimenpide	Partikkelifosforin ominaiskuormituskertoimet (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> ) kaltevuusluokittain (%)				
	< 0,5	0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0
Syyskyntö	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Syysvilja	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Sänki	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Suorakylvö (syksy, kevät)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Nurmi	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55

Liite 3. Huuhtoutumiskenttäaineistoihin perustuvat liukoisen fosforin (DRP) ominaiskuormituskertoimet (Vrt. Taulukko 12) ja kertoimien ala- ja yläarvot peltotoimenpiteille fosforitilaluokittain (vrt. Kuva 12). Kertoimet ovat peltojen talviaikaista tilaa koskevia ennustearvoja keskimääräisestä vuosikuormituksesta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) ja kertoimien ala- ja yläarvot (kertoimien vaihteluväli) arvioita vähän kuormittavien (Ks-Lt) ja kuormittavien vuosien (Ss-VLt) keskimääräisestä vuosikuormituksesta (II, IV, Launiainen ym. 2014).

Liitetaulukko 3a. Liukoisen fosforin (DRP) ominaiskuormituskertoimet kivennäismailla pellon fosforitilaluokittain.

Peltotoimenpide vaihteluväli	DRP:n ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) muokkauskerroksen fosforitilaluokittain ( $P_{\text{ACC}}$ , $\text{mg l}^{-1}$ )		
	$P_{\text{ACC}} < 8$	$P_{\text{ACC}} 8-14$	$P_{\text{ACC}} > 14$
Syyskyntö	0,12	0,27	0,45
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,11–0,12	0,25–0,33	0,41–0,57
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	0,15	0,34	0,57
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,15–0,15 <sup>(1)</sup>	0,33–0,39	0,54–0,67
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	0,15	0,32	0,53
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,12–0,17	0,27–0,42	0,44–0,72
Syysvilja	0,12	0,26	0,42
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,11–0,12	0,24–0,30	0,39–0,51
Sänki	0,16	0,40	0,68
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,14–0,17	0,39–0,45	0,67–0,78
Suorakylvö (kevät)	0,26	0,58	0,95
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,26–0,26 <sup>(1)</sup>	0,58–0,63	0,95–1,08
Suorakylvö (syksy)	0,44	0,96	1,58
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,55–0,35 <sup>(2)</sup>	1,21–0,88 <sup>(2)</sup>	1,98–1,49 <sup>(2)</sup>
Nurmi	0,25	0,47	0,73
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,30–0,20 <sup>(2)</sup>	0,56–0,41 <sup>(2)</sup>	0,86–0,66 <sup>(2)</sup>

1) Kertoimien ala- ja yläarvoissa syvässä sänkimuokkauksessa ja suorakylvössä (kevät) ei eroa (fosforiluokka  $P_{\text{ACC}} < 8$ )

2) Kertoimien ala- ja yläarvot suorakylvössä (syksy) ja nurmella vähän kuormittavina ja kuormittavina vuosina ovat päinvastaisessa järjestyksessä kuin muissa peltotoimenpiteissä (Vrt. liitteet 1 ja 2).

Liitetaulukko 3b. Liukoisen fosforin (DRP) ominaiskuormituskertoimet eloperäisillä mailla pellon fosforitilaluokittain.

Peltotoimenpide vaihteluväli	DRP:n ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) muokkauskerroksen fosforitilaluokittain ( $P_{\text{ACC}}$ , $\text{mg l}^{-1}$ )		
	$P_{\text{ACC}} < 8$	$P_{\text{ACC}} 8-14$	$P_{\text{ACC}} > 14$
Syyskyntö	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94
Syysvilja	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94
Sänki	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94
Suorakylvö (kevät)	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94
Suorakylvö (syksy)	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94
Nurmi	0,85	0,85	0,85
<i>Ks-Lt – Ss-VLt</i>	0,77–0,94	0,77–0,94	0,77–0,94

Liite 4. Huuhtoutumiskenttäaineistoihin perustuvat kokonaistypen (Kok N) ja nitraattitypen (Nit N) ominaiskuormituskertoimet (Vrt. Taulukko 12) sekä kertoimien ala- ja yläarvot peltotoimenpiteille (vrt. Kuva 13). Kertoimet ovat peltojen talviaikaista tilaa koskevia ennustearvoja keskimääräisestä typen vuosikuormituksesta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ), kertoimien ala- ja yläarvot arvioita vähän kuormittavien (Ksy-Lta) ja kuormittavien vuosien (Ssy-VLta) keskimääräisestä vuosikuormituksesta (kertoimien vaihteluväli) (II, IV, Launiainen ym. 2014).

Liitetaulukko 4a. Kokonaistypen ja nitraattitypen ominaiskuormituskertoimet savi- ja hiesumailla.

Peltotoimenpide vaihteluväli	Kokonaistypen ja nitraattitypen ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ )	
	Kok N	Nit N
Syyskyntö	17,9	12,4
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	13,1–19,4	9,9–14,4
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	11,9	8,5
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	10,6–12,7	7,4–9,4
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	9,9	4,8
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	5,1–15,5	3,1–6,8
Syysvilja	21,4	16,1
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	17,2–21,4	14,0–17,1
Sänki	12,1	8,4
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	14,3–9,3 <sup>(1)</sup>	10,6–6,1 <sup>(1)</sup>
Suorakylvö (kevät, syksy)	9,9	5,8
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	11,1–9,0 <sup>(1)</sup>	5,5–6,2
Nurmi	7,2	4,2
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	5,2–8,2	2,5–5,4

1) Kertoimien ala- ja yläarvot (Ksy-Lta – Ssy-VLta) sängellä ja suorakylvössä ovat päinvastaisessa järjestyksessä kuin muissa peltotoimenpiteissä (Vrt. liitteet 1 ja 2).

Liitetaulukko 4b. Kokonaistypen ja nitraattitypen ominaiskuormituskertoimet karkeilla kivennäismailla.

Peltotoimenpide vaihteluväli	Kokonaistypen ja nitraattitypen ominaiskuormituskertoimet ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ )	
	Kok N	Nit N
Syyskyntö	19,7	14,9
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	14,4–21,3	11,9–17,3
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	13,1	10,2
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	11,7–14,0	8,9–11,3
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	10,9	5,8
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	5,6–17,1	3,7–8,2
Syysvilja	23,5	19,3
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	18,9–23,5	16,8–20,5
Sänki	13,3	10,1
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	15,7–10,2 <sup>(1)</sup>	12,7–7,3 <sup>(1)</sup>
Suorakylvö (kevät, syksy)	10,9	7,0
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	12,2–9,9 <sup>(1)</sup>	6,6–7,4
Nurmi	7,9	5,0
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	5,7–9,0	3,0–6,5

1) Kertoimien ala- ja yläarvot (Ksy-Lta – Ssy-VLta) sängellä ja suorakylvössä ovat päinvastaisessa järjestyksessä kuin muissa peltotoimenpiteissä (Vrt. Liitteet 1 ja 2).

Liitetaulukko 4 c. Kokonaistypen ja nitraattitypen ominaiskuormituskertoimet eloperäisillä mailla

Peltotoimenpide vaihteluväli	Kokonaistypen ja nitraattitypen ominaiskuormituskertoimet (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> )	
	Kok N	Nit N
Syyskyntö	35,8	24,8
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	26,2–38,8	19,8–28,8
Sänkimuokkaus (10–15 cm)	29,8	21,3
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	26,5–31,8	18,5–23,5
Sänkimuokkaus (< 10 cm)	24,8	12,0
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	12,8–38,8	7,8–17,0
Syysvilja	42,8	32,2
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	34,4–42,8	28,0–34,2
Sänki	30,3	21,0
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	35,8–23,3 <sup>(1)</sup>	26,5–15,3 <sup>(1)</sup>
Suorakylvö (kevät, syksy)	24,8	14,5
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	27,8–22,5 <sup>(1)</sup>	13,8–15,5
Nurmi	21,6	12,6
<i>Ksy-Lta – Ssy-VLta</i>	15,6–24,6	7,5–16,2

1) Kertoimien ala- ja yläarvot (*Ksy-Lta – Ssy-VLta*) sängellä ja suorakylvössä ovat päinvastaisessa järjestyksessä kuin muissa peltotoimenpiteissä (Vrt. Liitteet 1 ja 2).



Liite 5. Suojavyöhyke-peltotoimenpide-yhdistelmien vaikutusluvut ja vaikutuslukujen ala- ja yläarvot 15 m leveälle vyöhykkeelle keskimääräisellä 2,2 ha:n peltolohkolla kaltevuusluokittain. Luvut ovat ennustearvoja keskimääräisen vuosikuormituksen muutoksesta ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ ) ja ala- ja yläarvot vähän kuormittavien (Ks-Lt) ja kuormittavien vuosien (Ss-VL<sub>t</sub>) kuormituksen muutoksesta (II, IV). Vaikutusluvut perustuvat liitteiden 1–4 ominaiskuormituskertoimien ennustearvoilla määritettyyn suojavyöhykkeettömän ja suojavyöhykkeellisen peltolohkon kuormituseroon.

Liitetaulukko 5a. Suojavyöhykkeen vaikutusluvut kiintoaineen, kokonaistypen ja nitraattitypen vuosikuormitukseen (kuormitus alenee) kivennäismailla.

Suojavyöhyke, peltotoimenpide	Suojavyöhykkeen vaikutusluku ( $\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$ )		kaltevuusluokittain		
	< 0,5	0,5-1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 6,0	> 6,0
<b>Kiintoaine, Savi- ja hiesumaat</b>					
Kynnetty	32 (23–39)	77 (57–92)	180 (135–210)	365 (245–465)	680 (425–885)
Syvä sänkim.	25 (18–31)	62 (46–75)	145(110–175)	300 (205–370)	560 (360–695)
Matala sänkim.	19 (13–23)	47 (34–57)	110 (83–135)	235 (140–330)	445 (230–660)
Syysvilja	22 (15–27)	53 (39–65)	130 (95–155)	265 (160–345)	495 (270–675)
Sänki	18 (12–22)	45 (33–55)	110 (80–130)	155 (98–200)	225 (120–310)
Suorakylvö	5 (3–6)	17 (14–19)	48 (41–52)	92 (79–101)	165 (140–180)
<b>Karkeat kivennäismaat</b>					
Kynnetty	35 (25–45)	90 (65–105)	205 (155–230)	420 (285–535)	780 (490–1015)
Syvä sänkim.	30 (20–35)	70 (50–85)	165 (125–185)	345 (235–425)	645 (410–800)
Matala sänkim.	20 (15–25)	55 (40–65)	130 (95–145)	270 (160–380)	510 (265–755)
Syysvilja	25 (15–30)	60 (45–75)	145 (110–165)	305 (185–400)	570 (310–775)
Sänki	20 (15–25)	50 (40–65)	125 (90–140)	180 (115–230)	260 (135–355)
Suorakylvö	5 (5–5)	20 (15–20)	55 (45–60)	105 (90–115)	190 (160–205)
<b>Kokonaistyyppi, Savi- ja hiesumaat</b>					
Kynnetty	1,7 (1,3–1,8)	2,5 (1,9–2,7)	3,3 (2,5–3,6)	4,2 (3,1–4,5)	5,0 (3,7–5,4)
Syvä sänkim.	0,9 (0,9–1,0)	1,5 (1,4–1,5)	2,0 (1,9–2,1)	2,6 (2,4–2,7)	3,1 (2,9–3,3)
Matala sänkim.	0,7 (0,2–1,3)	1,1 (0,5–2,0)	1,6 (0,7–2,7)	2,0 (0,9–3,4)	2,5 (1,2–4,2)
Syysvilja	2,1 (1,8–2,1)	3,1 (2,6–3,1)	4,1 (3,4–4,1)	5,1 (4,1–5,1)	6,1 (4,9–6,1)
Sänki <sup>(1)</sup>	1,0 (1,4–0,5)	1,5 (2,1–0,9)	2,1 (2,7–1,4)	2,6 (3,4–1,8)	3,2 (4,0–2,2)
Suorakylvö <sup>(1)</sup>	0,7 (1,0–0,5)	1,1 (1,5–0,9)	1,6 (2,0–1,3)	2,0 (2,5–1,7)	2,5 (3,0–2,1)
<b>Karkeat kivennäismaat</b>					
Kynnetty	1,9 (1,4–2,0)	2,8 (2,0–3,0)	3,7 (2,7–3,9)	4,6 (3,4–4,9)	5,5 (4,0–5,9)
Syvä sänkim.	1,0 (1,0–1,1)	1,6 (1,6–1,7)	2,2 (2,1–2,3)	2,8 (2,6–3,0)	3,4 (3,2–3,6)
Satala sänkim.	0,8 (0,3–1,5)	1,3 (0,3–2,2)	1,8 (0,8–3,0)	2,3 (1,0–3,8)	2,8 (1,3–4,6)
Syysvilja	2,4 (2,0–2,3)	3,4 (2,8–3,3)	4,5 (3,7–4,5)	5,6 (4,6–5,6)	6,7 (5,4–6,7)
Sänki <sup>(1)</sup>	1,1 (1,5–0,6)	1,7 (2,3–1,0)	2,3 (3,0–1,5)	2,9 (3,7–2,0)	3,5 (4,4–2,4)
Suorakylvö <sup>(1)</sup>	0,8 (1,1–0,5)	1,3 (1,7–1,0)	1,8 (2,2–1,4)	2,3 (2,8–1,9)	2,8 (3,3–2,4)
<b>Nitraatti tyyppi, Savi- ja hiesumaat</b>					
Kynnetty	1,2 (1,1–1,4)	1,8 (1,5–2,1)	2,4 (2,0–2,7)	3,0 (2,4–3,4)	3,5 (2,9–4,0)
Syvä sänkim.	0,7 (0,7–0,8)	1,1 (1,1–1,2)	1,5 (1,4–1,6)	1,9 (1,8–2,1)	2,3 (2,1–2,5)
Matala sänkim.	0,5 (0,2–0,4)	0,5 (0,3–0,7)	0,7 (0,5–1,1)	0,9 (0,6–1,4)	1,2 (0,8–1,7)
Syysvilja	1,7 (1,6–1,7)	2,5 (2,2–2,5)	3,2 (2,9–3,3)	3,9 (3,5–4,1)	4,7 (4,2–4,9)
Sänki <sup>(1)</sup>	0,7 (1,2–0,3)	1,1 (1,6–0,6)	1,5 (2,1–0,9)	1,9 (2,6 –1,2)	2,3 (3,1–1,5)
Suorakylvö <sup>(1)</sup>	0,4 (0,5–0,4)	0,7 (0,8–0,6)	0,9 (1,0–0,9)	1,2 (1,3–1,2)	1,5 (1,5–1,5)
<b>Karkeat kivennäismaat</b>					
Kynnetty	1,5 (1,3–1,7)	2,2 (1,8–2,5)	2,9 (2,4–3,3)	3,6 (2,9–4,1)	4,2 (5,5–4,9)
Syvä sänkim.	0,9 (0,9–0,9)	1,4 (1,3–1,4)	1,8 (1,7–2,0)	2,3 (2,1–2,5)	2,8 (2,5–3,0)
Matala sänkim.	0,3 (0,2–0,5)	0,6 (0,4–0,9)	0,9 (0,6–1,3)	1,1 (0,7–1,6)	1,4 (0,9–2,0)
Syysvilja	2,1 (1,9–2,1)	2,9 (2,7–3,0)	3,8 (3,4–4,0)	4,7 (4,2–4,9)	5,6 (5,0–5,9)
Sänki <sup>(1)</sup>	0,9 (1,4–0,4)	1,3 (2,0–0,7)	1,8 (2,5–1,1)	2,3 (3,1–1,4)	2,7 (3,7–1,7)
Suorakylvö <sup>(1)</sup>	0,5 (0,6–0,4)	0,8 (0,9–0,8)	1,1 (1,2–1,1)	1,5 (1,5–1,4)	1,8 (1,8–1,8)

<sup>1)</sup> Kokonaistypen ja nitraatti typen vaikutuslukujen ala- ja yläarvot (so. vähän kuormittavien ja kuormittavien vuosien ennustearvot) ovat sängellä ja suorakylvössä päinvastaisessa järjestyksessä kuin muissa suojavyöhyke-peltotoimenpide-yhdistelmissä (vrt. Kuva 13)

Liitetaulukko 5b. Suojavyöhykkeen vaikutusluvut partikkelifosforin vuosikuormitukseen (kuormitus alenee) kivennäismailla.

Suojavyöhyke vs. peltotoimenpide	Vuosikuormituksen alenemista kuvaava suojavyöhykkeen vaikutusluku (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> ) kaltevuusluokittain				
	< 0,5	0,5-1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 6,0	> 6,0
<b>Partikkeli fosfori, Savimaat</b>					
Kynnetty	0,04	0,08	0,16	0,55	1,21
	0,03–0,04	0,06–0,09	0,13–0,19	0,31–0,73	0,61–1,68
Syvä sänkimuokkaus	0,03	0,06	0,13	0,48	1,11
	0,02–0,04	0,05–0,07	0,10–0,15	0,31–0,60	0,68–1,39
Matalasänkimuokkaus	0,02	0,05	0,10	0,38	0,85
	0,02–0,03	0,04–0,06	0,08–0,12	0,21–0,54	0,43–1,27
Syysvilja	0,03	0,06	0,12	0,41	0,91
	0,02–0,03	0,05–0,07	0,09–0,13	0,23–0,54	0,46–1,27
Sänki	0,02	0,05	0,11	0,23	0,43
	0,01–0,02	0,04–0,05	0,09–0,12	0,13–0,30	0,20–0,60
Suorakylvö	0,01	0,04	0,11	0,18	0,31
	0,01–0,01	0,03–0,04	0,09–0,12	0,15–0,20	0,26–0,34
<b>Hiesumaat</b>					
Kynnetty	0,03	0,07	0,15	0,48	1,07
	0,03–0,04	0,06–0,08	0,12–0,17	0,28–0,65	0,54–1,50
Syvä sänkim.	0,03	0,06	0,11	0,43	0,98
	0,02–0,03	0,05–0,07	0,09–0,13	0,28–0,53	0,60–1,23
Matala sänkim.	0,02	0,04	0,09	0,34	0,75
	0,01–0,02	0,03–0,05	0,07–0,11	0,19–0,48	0,38–1,13
Syysvilja	0,03	0,05	0,10	0,36	0,81
	0,02–0,03	0,04–0,06	0,08–0,12	0,20–0,48	0,41–1,13
Sänki	0,02	0,03	0,09	0,20	0,38
	0,01–0,02	0,03–0,05	0,71–1,21	0,12–0,27	0,18–0,54
Suorakylvö	0,01	0,03	0,09	0,17	0,27
	0,01–0,01	0,03–0,04	0,72–1,17	0,14–0,18	0,23–0,30
<b>Karkeat kivennäismaat</b>					
Kynnetty	0,03	0,06	0,13	0,42	0,94
	0,02–0,03	0,05–0,07	0,10–0,15	0,24–0,57	0,48–1,31
Syvä sänkim.	0,02	0,05	0,10	0,38	0,86
	0,02–0,03	0,04–0,06	0,08–0,11	0,25–0,47	0,53–1,08
Matala sänkim.	0,02	0,04	0,08	0,29	0,66
	0,01–0,02	0,03–0,05	0,06–0,10	0,17–0,42	0,33–0,99
Syysvilja	0,02	0,05	0,09	0,32	0,71
	0,02–0,03	0,04–0,05	0,07–0,10	0,18–0,42	0,36–0,99
Sänki	0,01	0,04	0,08	0,18	0,33
	0,01–0,02	0,03–0,04	0,07–0,10	0,10–0,24	0,16–0,47
Suorakylvö	0,01	0,03	0,08	0,14	0,24
	0,01–0,01	0,02–0,03	0,07–0,09	0,12–0,16	0,20–0,26

Liitetaulukko 5c. Suojavyöhykkeen vaikutusluvut liukoisen fosforin (DRP) vuosikuormitukseen (so. kuormitus kasvaa) kivennäismailla eri fosforitilaluokissa

Suojavyöhyke vs. peltotoimenpide	DRP:n vuosikuormituksen kasvua kuvaava suojavyöhykkeen vaikutusluku (kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> ) kaltevuusluokittain (%) ja pellon fosforitilaluokittain				
	< 0,5	0,5 – 1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 6,0	> 6,0
<i>P<sub>ACC</sub> &lt; 8</i>					
Kynnetty	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
	0,02–0,01	0,03–0,02	0,03 – 0,02	0,04 – 0,03	0,04 – 0,03
Syvä sänkim.	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
	0,02–0,01	0,03–0,02	0,03 – 0,02	0,04 – 0,03	0,05 – 0,04
Matala sänkim.	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
	0,02–0,01	0,03–0,02	0,03 – 0,03	0,04 – 0,03	0,04 – 0,04
Syysvilja	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
	0,02–0,01	0,03–0,02	0,03 – 0,02	0,04 – 0,03	0,04 – 0,03
Sänki	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04
	0,02–0,01	0,03–0,02	0,03 – 0,03	0,04 – 0,03	0,05 – 0,04
Suorakylvö <sup>(1)</sup>	-0,01	-0,02	-0,04	-0,05	-0,06
	0,01–0,02	0,02–0,03	0,03 – 0,04	0,04 – 0,05	0,06 – 0,06
<i>P<sub>ACC</sub> 8–14</i>					
Kynnetty	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
	0,04–0,02	0,05–0,04	0,06–0,05	0,07 – 0,07	0,08 – 0,08
Syvä sänkim.	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09
	0,03–0,02	0,05–0,04	0,06–0,06	0,08 – 0,07	0,09 – 0,09
Matala sänkim.	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09
	0,04–0,02	0,05–0,04	0,06–0,06	0,07 – 0,08	0,09 – 0,10
Syysvilja	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08
	0,04–0,02	0,05–0,04	0,06–0,05	0,07 – 0,06	0,08 – 0,08
Sänki	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
	0,03–0,02	0,05–0,04	0,07–0,06	0,09 – 0,08	0,10 – 0,10
Suorakylvö <sup>(1)</sup>	-0,04	-0,06	-0,09	-0,12	-0,14
	(0,03–0,05)	(0,05–0,08)	(0,08–0,10)	(0,11 – 0,13)	(0,13 – 0,16)
<i>P<sub>ACC</sub> &gt; 14</i>					
Kynnetty	0,04	0,06	0,08	0,11	0,13
	0,06–0,03	0,07–0,06	0,09 – 0,09	0,11 – 0,11	0,13 – 0,14
Syvä sänkim.	0,04	0,07	0,09	0,12	0,14
	0,05–0,03	0,08–0,06	0,10 – 0,09	0,13 – 0,12	0,15 – 0,15
Matala sänkim.	0,04	0,07	0,09	0,11	0,14
	0,05–0,03	0,07–0,06	0,09 – 0,09	0,12 – 0,13	0,14 – 0,16
Syysvilja	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12
	0,06–0,04	0,07–0,06	0,09 – 0,08	0,11 – 0,11	0,13 – 0,13
Sänki	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16
	0,05–0,03	0,08–0,06	0,11 – 0,10	0,14 – 0,13	0,17 – 0,17
Suorakylvö <sup>(1)</sup>	-0,06	-0,11	-0,15	-0,19	-0,24
	0,05–0,08	0,09–0,13	0,14 – 0,18	0,18 – 0,23	0,23 – 0,24

<sup>1)</sup>Liukoisen fosforin vaikutusluvun ennustearvo suojavyöhyke-suorakylvö- yhdistelmässä tarkoittaa liukoisen fosforin kuormituksen alenemista suojavyöhykkeettömään verrattuna.