



Markus Katainen

TALVIAIKAISEN KASVIPEITTEISYYDEN VAIKUTUKSET
VILJELYALUEIDEN KIINTOAINE- JA
RAVINNEKUORMITUKSEEN

Maantieteen pro gradu -tutkielma

Turku 2018

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

TURUN YLIOPISTO
Luonnontieteiden ja tekniikan tiedekunta
Maantieteen ja geologian laitos

KATAINEN, MARKUS: Talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutukset viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen

Pro gradu -tutkielma, 86 sivua, 14 liitesivua
40 op
Maantiede
Ohjaaja: Petteri Alho
Joulukuu 2018

Vesistöjen rehevöityminen on ongelma monilla maatalousvaltaisilla alueilla, minkä vuoksi maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden rooli vesiensuojelussa on merkittävä. Maatalouden talviaikainen kasvipeitteisyys on ympäristökorvausjärjestelmässä määritelty vesiensuojelutoimenpide, jonka tavoitteena on vähentää vesistöihin päätyvää kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Yli 90 % kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta tulee kasvukauden ulkopuolella, kun osa pelloista on kasvipeitteettömiä ja näin alttiita vesisateiden ja lumen sulamissykliä aiheuttamalle eroosiolle. Kaikkein eniten kiintoaine- ja ravinnekuormitusta tulee kasvipeitteettömiltä jyrkiltä peltolohkoilta. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrän, laadun ja sijainnin vaikutuksia Mättäänöja valuma-alueen kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen. Tutkimuksen tulokset perustuvat VIHMA-mallilla tehtyihin ravinnekuormituslaskelmiin. Kiintoaine- ja ravinnekuormitusta laskettiin yhteensä 28:ssä eri kasvipeitteisyyskenaariossa, joissa kasvipeitteisyyden määrä, laatu ja sijainti vaihtelivat. Skenaarioissa kasvipeitteisyys on joko pelkästään aitoa kasvipeitteisyyttä tai se sisältää myös kevytmuokattua peltoalaa. Kasvipeitteisyyden sijainti vaihtelee skenaarioissa siten, että se on sijoitettu joko nykyisen kasvipeitteisyysjakauman mukaisesti, jyrkimmille peltolohkoille tai eroosioherkimmille peltolohkoille. Kasvipeitteisyyskenaarioiden laadinnassa käytettiin aineistoina tietoja peltolohkojen viljelytoimenpiteistä ja ominaisuuksista sekä valuma-alueen ominaisuuksista. Tutkimuksessa tehtyjen ravinnekuormituslaskelmien perusteella voidaan todeta, että talviaikaisen kasvipeitteisyyden lisääminen vähentää merkittävästi kiintoaineen, partikkelifosforin ja typen kuormitusta. Kuormitus pienenee enemmän, kun kasvipeitteinen peltoala on pelkästään aitoa kasvipeitteisyyttä. Aidon talviaikaisen kasvipeitteisyyden lisääminen kasvattaa kuitenkin liukoisen fosforin kuormitusta kaikissa skenaarioissa. Kiintoaine- ja ravinnekuormitusta voidaan pienentää tehokkaimmin sijoittamalla talviaikaista kasvipeitteisyyttä jyrkimmille tai eroosioherkimmille peltolohkoille. Kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitus pienenee eniten, kun aito talviaikainen kasvipeitteisyys sijoitetaan valuma-alueen jyrkimmille peltolohkoille. Sen sijaan typen ja liukoisen fosforin kuormitus pienenee eniten, kun aito kasvipeitteisyys sijoitetaan eroosioherkimmille peltolohkoille. Kasvipeitteisyyden sijainnin vaikutukset liukoisen fosforin kuormitukseen ovat kuitenkin hyvin pieniä, ja kuormitusta määrittää enemmän talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrä.

Avainsanat: Talviaikainen kasvipeitteisyys, aito kasvipeitteisyys, vesiensuojelutoimenpiteet, kiintoainekuormitus, ravinnekuormitus, eroosio, kevytmuokkaus, viljelytoimenpiteet

UNIVERSITY OF TURKU
Faculty of Science and Engineering
Department of Geography and Geology

KATAINEN, MARKUS: Impacts of wintertime vegetation on erosion and nutrient loading

Master's Thesis, 86 pp., 14 app.

40 ECTS

Geography

December 2018

Eutrophication of water bodies is a major problem in many agricultural areas, and thus agricultural water protection measures are important part of water conservation. Wintertime vegetation is one of the water protection measures that reduces erosion and nutrient leakage from agricultural fields. More than 90 % of the nutrient loading from agricultural fields to water bodies enters outside the growing season. The level of annual nutrient loading is mainly controlled by the conditions of fields outside the growing season. Agricultural fields are more prone to erosion and nutrient leakage during winter months when there is lack of vegetation on the fields. Erosion increases especially due to precipitation and melting snow. The aim of this study is to evaluate the effect of winter time vegetation on suspended sediment and nutrient loading. Empirical VIHMA-model was utilized to run nutrient load calculations with 28 different scenarios, where the quantity and location of the wintertime vegetation changes. Spatial coverage of the wintertime vegetation is defined by slope of the agricultural fields or by erosion sensitivity in different scenarios. Wintertime vegetation includes reduced tillage or contains only real vegetation cover. Features of agricultural fields and data from cultivation practices were used in the scenarios for the model. The results of VIHMA calculation indicate that the loading of suspended sediment, phosphorus and nitrogen can be reduced substantially by increasing the amount of wintertime vegetation in the catchment. The reduction in nutrient loading is greater when wintertime vegetation contains only proper vegetation cover and not reduced tillage. In turn, wintertime vegetation increases the loading of dissolved reactive phosphorus. Loading of suspended sediment, phosphorus and nitrogen is reduced even more when vegetation covers the steepest agricultural fields. Loading of nitrogen and dissolved reactive phosphorus is reduced the most when vegetation covers the fields that are most sensitive to erosion. However, loading of dissolved reactive phosphorus is mainly controlled by quantity of the vegetation.

Keywords: Wintertime vegetation, nutrient loading, erosion, vegetation cover, reduced tillage, cultivation practices, agricultural water protection measures

Sisällysluettelo

1. Johdanto	7
2. Teoria & tausta	11
2.1. Taustaa ympäristötuesta ja vesiensuojelutoimenpiteistä	11
2.1.1. Yleistä maataloustuesta ja ympäristökorvausjärjestelmästä	11
2.1.2. Talviaikainen kasvipeitteisyys.....	12
2.1.3. Vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentaminen	16
2.2. Ravinnekuormitus	17
2.2.1. Eroosio ja ravinteet.....	17
2.2.2. Ulkoinen ja sisäinen ravinnekuormitus	19
2.3. Maatalouden ravinnekuormituksen vesistövaikutukset.....	21
2.4. Maatalouden ravinnekuormitukseen vaikuttavat tekijät.....	22
2.4.1. Viljelyalueiden kasvipeitteisyyden vaikutus maatalouden ravinnekuormitukseen	22
2.4.2. Ilmaston vaikutukset maatalouden ravinnekuormitukseen.....	24
2.5. Viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormituksen mallintaminen	25
2.5.1. Ravinnekuormituksen mittausta ja empiiriset mallinnustyökalut	25
2.5.2. Prosessipohjaiset ravinnekuormituksen mallinnusmenetelmät	27
2.5.3. Viljelyalueiden ravinnekuormituksen arviointiin kehitetty VIHMA	30
2.5.4. RUSLE2015-eroosiomalli	33
3. Tutkimusalue.....	35
4. Aineistot ja menetelmät.....	37
4.1. Tutkimusasetelma.....	37
4.2. VIHMA-mallin lähtötiedot.....	38
4.2.1. Maanviljelijöiltä kerätyt peltolohkokohtaiset aineistot	38
4.2.2. Peltolohkoaineistot ja viljelytiedot	39
4.2.3. Peltolohkojen P-luvut ja maalajit	40
4.2.4. Kosteikkotiedot	41
4.2.5. Peltolohkojen kaltevuudet	42
4.2.6. Peltolohkojen eroosioherkkyys	42
4.3. Lähtötietojen luokittelu VIHMA-malliin	43
4.4. VIHMA-mallilla tehdyt ravinnekuormituslaskelmat.....	46
5. Tulokset.....	50
5.1. Tulosten käsittely	50
5.2. Kiintoaine- ja ravinnekuormitus nykytilassa.....	51
5.3. Kasvipeitteisyyden laadun ja määrän vaikutukset kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen.....	54
5.3.1. Kasvipeitteisyyden vaikutukset kiintoainekuormaan	54
5.3.2. Kasvipeitteisyyden vaikutukset fosforikuormaan	55

5.3.3. Kasvipeitteisyyden vaikutukset typpikuormaan	59
5.4. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset ravinnekuormitukseen	63
5.4.1. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset kiintoainekuormaan	63
5.4.2. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset fosforikuormaan	65
5.4.3. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset typpikuormaan	67
5.5. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset ravinnekuormitukseen	70
5.5.1. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset kiintoainekuormaan	70
5.5.2. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset fosforikuormaan	71
5.5.3. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset typpikuormaan	74
6. Pohdinta	76
7. Johtopäätökset	81
Kiitokset	82
Lähdeluettelo	83
Liitteet	87

1. Johdanto

Viljelyalueiden ravinnekuormitus aiheuttaa vesistöissä rehevöitymistä ja monia muita ekologisia ongelmia. Euroopan Unionin vesipuitedirektiivissä on määritelty, että kaikkialla Euroopan Unionin alueella tulisi saavuttaa vesistöjen hyvä ekologinen tila vuoden 2027 loppuun mennessä (Parkkila 2018). Tähän tavoitteeseen pääseminen vaatii laajamittaista vesiensuojelutoimenpiteiden käyttöä ja toimenpiteiden kohdentamista vesiensuojelullisesti kriittisimmille alueille. Talviaikainen kasvipeitteisyys on yksi ympäristökorvausjärjestelmän tuetuista vesiensuojelutoimenpiteistä (Kasvipeitteisyysvalvonta 2018). Sen vaikutus kohdistuu talven ajalle, jolloin erityisesti kasvipeitteettömissä pelloissa sekä sateet että lumikerroksen sulamissyklit aiheuttavat eroosion kautta ravinnehuuhtoumaa. Talviaikainen kasvipeitteisyys vähentää peltolohkojen eroosiota ja partikkelifosforikuormaan etenkin jyrkillä peltolohkoilla (Huttunen ym. 2010; Puustinen ym. 2010).

Valuma-alue- ja peltolohkotasolla suoritettavat mittaukset ovat toimineet menetelminä, joiden avulla on kartoitettu maataloudesta tulevan ravinnekuormituksen määrää ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Näitä menetelmiä ovat mm. jokiuomasta mitattavat virtaamat ja veden laatutekijät. Tämän lisäksi peltolohkoilta voidaan mitata mm. pintavaluntaa, pinnan alaista valuntaa sekä ravinteiden määrää maaperässä ja kasvillisuudessa (Puustinen ym. 2010). Eri puolilla Suomea on useita koepeltoalueita, joilla on tehty mittauksia vuosikymmenten ajan (Turtola & Jaakkola 1995; Kukkonen ym. 2004; Puustinen ym. 2005). Peltolohkojen muuttuvat ominaisuudet, kuten viljelytoimenpiteet, ja pysyvät ominaisuudet, kuten peltolohkojen maalaji ja kaltevuus vaihtelevat eri koepeltoalueiden välillä. Koepeltoalueilta suoritetuista mittauksista on saatu kasaan laaja empiirinen aineisto, joka kattaa maalajeiltaan, viljelytoimenpiteiltään ja muilta ominaisuuksiltaan erilaisia viljelyalueita.

Maatalouden ravinnekuormitusta ei voida kuitenkaan mitata kaikissa mahdollisissa olosuhteissa, minkä lisäksi mittaukset ovat aikaa vieviä ja kalliita toteuttaa. Tehdyistä mittauksista voi olla vaikea havaita yksittäisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia, koska eri hydrologisten vuosien välinen vaihtelu on usein suurempaa kuin, mitä yksittäisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset (Puustinen ym. 2010). Tämän vuoksi on kehitetty erilaisia empiirisiä ja prosessipohjaisia mallinnusmenetelmiä, joiden avulla eri vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia voidaan tutkia nopeasti ja kustannustehokkaasti. Mallinnusmenetelmien avulla voidaan tutkia erilaisten vesiensuojelun

toimenpideskenaarioiden vesistövaikutuksia, joiden tutkiminen olisi mahdotonta ainoastaan mittausten menetelmiä käyttämällä. Tieto erilaisten toimenpideskenaarioiden vesistövaikutuksista auttaa päätöksentekijöitä ja viljelijöitä kohdentamaan vesiensuojelutoimenpiteitä vesiensuojelullisesti kriittisimmille peltolohkoille. Tällä hetkellä vesiensuojelutoimenpiteet eivät ole sijoittuneet vesiensuojelullisesti kriittisimmille alueille.

Monissa valtioissa on kehitetty empiirisiä maatalouden ravinnekuormituksen arviointityökaluja, jotka on kalibroitu toimimaan paikallisissa olosuhteissa (Puustinen ym. 2010; White ym. 2010). Empiiristen arviointityökalujen etuna on, että ne ovat yksinkertaisia käyttää, eivätkö ne vaadi kalibrointi- ja validointidataa. Empiiristen mallien käyttöä rajoittaa kuitenkin, että ne toimivat ainoastaan niiden kehittämiseen käytetyn mittausdatan puitteissa. Prosessipohjaiset mallit ovat huomattavasti empiirisiä malleja monimutkaisempia, ja niiden käyttö vaatii usein erityisosaamista. Prosessipohjaiset mallit kuvaavat ravinteiden ja kiintoaineen kulkeutumista ja kasaantumista maalla, joissa ja järvissä valuma-alueilla. Euroopassa ja Yhdysvalloissa vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten arviointiin on käytetty yleisimmin prosessipohjaista SWAT-mallia (the Soil and Water Assessment Tool) (Arnold ym. 2005). Suomen olosuhteissa käytetyin prosessipohjainen valuma-aluemalli on Huttusen ym. (2016) kehittämä VEMALA, joka sopii hyvin valtiotason simulointeihin ja suurille valuma-alueille. VEMALAn osamalli, ICECREAM, on peltolohkomittakaavan prosessipohjainen malli, joka simuloi peltolohkoilta tulevaa ravinnekuormitusta. Mallissa käytetään lähtöaineistona peltolohkokohtaisia tietoja, minkä vuoksi se soveltuu myös peltolohkokohtaisten viljelytoimenpiteiden vesistövaikutusten arviointiin.

Suuren mittakaavan prosessipohjaisten mallien lisäksi on kehitetty peltolohkokohtaista lähtöaineistoa käyttäviä empiirisiä mallinnustyökaluja. Päätöksentekijöiden näkökulmasta prosessipohjaiset mallit ovat melko monimutkaisia käyttää ja vaativat suuren määrän kalibrointi- ja validointidataa. Tämän vuoksi monet empiiriset ravinnekuormitusmallit ja arviointityökalut ovat päätöksentekijöiden suosiossa (Huttunen ym. 2010). Näiden mallien avulla voidaan laskea nopeasti ja kustannustehokkaasti eri toimenpidekokonaisuuksien vaikutuksia ravinnekuormitukseen.

Euroopassa ja Yhdysvalloissa on käytössä useita empiirisiä arviointityökaluja, jotka on kalibroitu toimimaan erilaisilla maatalousalueilla. Suomen ympäristökeskus on kehittänyt Suomen olosuhteissa toimivan empiirisen VIHMA-mallin (viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormituksen hallintamalli), jonka avulla voidaan laskea eri

vesiensuojelutoimenpideskenaarioiden vaikutuksia peltolohkoilta tulevaan ravinnekuormitukseen eri hydrologisina vuosina (Puustinen ym. 2010). VIHMA perustuu useita vuosia kestäneisiin koepeltomittauksiin, ja sen antamien ravinnekuormitusarvojen on todettu vastaavan melko hyvin todellisuutta (Huttunen ym. 2010; Puustinen ym. 2010). VIHMAN etuna on, että sitä voidaan käyttää niin valuma-alue kuin vesistötasolla ilman kalibrointi- ja validointiaineistoja. VIHMALLA on laskettu talviaikaisen kasvipeitteisyyden vesistövaikutuksia useissa aiemmissä tutkimuksissa, joissa kasvipeitteisyyden määrät ovat perustuneet enimmäkseen yleisiin jakaumiin ja kasvipeitteisyyden sijainti eri skenaarioissa peltolohkojen kaltevuuteen.

Erosion mallinnukseen on kehitetty Suomen ja Euroopan olosuhteissa toimivaa RUSLE-2015 eroosiomallia, jonka avulla voidaan tuottaa laajamittaisia eroosiokarttoja paikkatieto-ohjelmistoissa (Lilja ym. 2017a). RUSLE-mallin kehitys on perustunut GIS-dataan mittausaineistojen sijaan. Lilja ym. (2017a) muokkasivat tutkimuksessaan mallia paremmin Suomen olosuhteisiin sopivaksi käyttäen kuudelta koepeltoalueelta kerättyä mittausdataa. Mallin antamia kuormitusarvoja säädettiin mittausdatan perusteella vastaamaan Suomen olosuhteita, minkä jälkeen mallin antaman ravinnekuormituksen todettiin vastaavan melko hyvin todellisuutta. RUSLE-mallilla on tehty koko Suomen kattavia eroosiokarttoja, joita hyödynnetään myös tässä tutkimuksessa (Lilja ym. 2017b).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten maatalouden talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrä, laatu ja sijainti vaikuttavat peltolohkoilta tulevaan kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen. Tutkimusalueena on Mättäänojan valuma-alue, joka on pieni osavaluma-alue Paimionjoen valuma-alueella. Tässä tutkimuksessa talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen lasketaan VIHMAMALLILLA. Ravinnekuormitusta lasketaan nykytilan mukaisella kasvipeitteisyydellä ja tämän lisäksi yhteensä 28:ssä eri kasvipeitteisyyskenaariossa. Eri skenaarioissa kasvipeitteisyys sijaitsee valuma-alueella joko nykyisen kaltevuusjakauman mukaisesti, jyrkimmillä peltolohkoilla tai eroosioherkimmillä peltolohkoilla. Skenaarioita varten on kerätty aineistoa peltolohkojen viljelytoimenpiteistä ja ominaisuuksista sekä valuma-alueen ominaisuuksista. Kasvipeitteisyyskenaarioiden laatimisessa on käytetty peltolohkojen korkeusmallista (digital elevation model - DEM) tehtyä kaltevuusaineistoa ja tämän lisäksi RUSLE2015-eroosiomallin tuottamia karttoja peltolohkojen eroosioherkkyydestä (Lilja ym. 2017b). Kerättyjen aineistojen ja VIHMALLA suoritettavien laskelmien perusteella vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- 1) Miten talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrä vaikuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen?
- 2) Miten talviaikaisen kasvipeitteisyyden laatu vaikuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen?
- 3) Miten kasvipeitteisten peltolohkojen kaltevuus vaikuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen?
- 4) Miten kasvipeitteisten peltolohkojen eroosioherkkyys vaikuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen?

2. Teoria & tausta

2.1. Taustaa ympäristötuesta ja vesiensuojelutoimenpiteistä

2.1.1. Yleistä maataloustuesta ja ympäristökorvausjärjestelmästä

Maatalouden tukijärjestelmän tarkoituksena on pitää maatalous kannattava Suomen olosuhteissa sekä toisaalta tukea ympäristön kannalta vastuullista maataloutta. Maatalouden tukijärjestelmän rahoituksesta osa tulee Euroopan Unionilta ja osa Suomen valtiolta. Rahoituslähteen perusteella tuet voidaan jakaa kokonaan EU:n rahoittamiin suoriin tukiin, osittain EU:n rahoittamiin maaseudun kehittämisohjelman tukiin ja kokonaan kansallisesti rahoitettuihin tukiin (Maatalouden tukijärjestelmä 2018). Tukijärjestelmään kuuluu erilaisia eläinperäisiä ja viljeltyyn peltoalaan perustuvia tukimuotoja, joita viljelijöiden on mahdollista hyödyntää. Kaikilla eri tukimuodoilla on omat tavoitteensa ja tukiehtonsa. Tukien päätarkoituksena on pitää yllä maataloustuotannon peruskannattavuutta, mutta viljelijöiden on mahdollista saada myös erillisiä tilojen kehittämiseen tarkoitettuja investointitukia. Vuonna 2015 uusitun tukikokonaisuuden maksatuksesta ja toimeenpanosta vastaa Suomen maaseutuvirasto.

Maatalouden tukijärjestelmän lisäksi on olemassa erillinen ympäristökorvausjärjestelmä, joka perustuu Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmaan. Uusi ympäristökorvausjärjestelmän ohjelmakausi on tullut voimaan vuonna 2014 ja se on voimassa vuoden 2020 loppuun asti. Ympäristökorvausta maksetaan viljelijöille sen mukaan, mitä vesiensuojelutoimenpiteitä he ottavat käyttöön, ja toisaalta, missä päin Suomea tila sijaitsee. Ympäristökorvausjärjestelmässä otetaan huomioon toimenpiteiden alueellinen kohdentaminen sekä tila- ja peltolohkokohtaiset olosuhteet. Pääosa toimenpiteistä sisältyy kerran ohjelmakaudessa tehtävään ympäristösitoumukseen, mikä tekee viljelijöille toimenpiteiden valinnasta teknisesti helpompaa. Tämän seurauksena vain muutamista toimenpiteistä tehdään erillisiä sopimuksia (Ympäristökorvaus 2018).

Sitoutuessaan ympäristösitoumukseen viljelijältä veloitetaan tilakohtaisena toimenpiteenä ravinteiden tasapainoinen käyttö, johon kuuluu viljavuustutkimukset, viljelysuunnittelu, lohko-kohtaiset muistiinpanot, koulutuspäivä, peltomaan laatu- ja suojakaistat. Tämän lisäksi viljelijän on noudatettava ympäristökorvauksen perustasoa ja vähimmäisvaatimuksia, joihin kuuluu enimmäislannoituksen noudattaminen. Tilakohtaisten toimenpiteiden lisäksi viljelijä voi valita peltolohko-kohtaisia toimenpiteitä, joita ovat lietelannan sijoittaminen,

valumavesien hallinnan, ravinteiden ja orgaanisten aineiden kierrättäminen, ympäristönhoitonurmet, peltojen talviaikaisen kasvipeitteisyys, peltoluonnon monimuotoisuus sekä puutarhakasveilla orgaaninen kate ja vaihtoehtoisten kasvinsuojelumenetelmien käyttö. Etelä- ja Länsi-Suomen viljelyalueet ovat vesiensuojelullisesti kriittisimpiä, minkä vuoksi näillä alueilla maksetaan korotettua korvausta talviaikaista kasvipeitteisyydestä, ympäristönhoitonurmiin kuuluvista suojavyöhykkeistä ja luonnonhoitonurmista (Ympäristökorvaus 2018).

Ympäristökorvausjärjestelmässä määriteltyjen vesiensuojelutoimenpiteiden on tarkoitus vähentää maataloudesta tulevaa ravinnekuormitusta ja tämän myötä lopulta parantaa kohdevesistöjen tilaa. Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteet ovat merkittävä osa vesiensuojelun toimenpidekokonaisuutta, jonka avulla pyritään saavuttamaan vesienhoitosuunnitelman mukainen hyvä tai erinomainen vedenlaatu kaikissa kohdevesistöissä (Parkkila 2018). Vesienhoitosuunnitelman mukaisiin veden laadun tavoitteisiin pääseminen vaatii maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden laajamittaisen käytön lisäksi myös muita toimenpiteitä, jotka liittyvät mm. teollisuuden jätevesien käsittelyyn ja metsätalouden päästöihin.

2.1.2. Talviaikainen kasvipeitteisyys

Talviaikainen kasvipeitteisyys on kasvukauden ulkopuolella peltolohkoilla olevaa kasvipeitteisyyttä, joka täyttää ympäristökorvausjärjestelmässä sille määritellyt ehdot. Talviaikaiseen kasvipeitteisyyteen hyväksyttävät lohkot voivat sisältää monivuotisia nurmia, talven yli säilytettäviä yksivuotisia nurmia, monivuotisia puutarhakasveja, kerääjäkasveja, sänkeä, ruokohelpiä, kuminaa, pellavaa, hamppua tai syyskylvöisiä viljoja (kuvat 1. ja 2.). Kaikki edellä mainitut viljelytoimenpiteet ovat aitoa kasvipeitteisyyttä. Tämän lisäksi kasvipeitteisyyttä voi toteuttaa myös kevennetyllä muokkauksella, ja siihen kelpaavat kultivaattorilla tai kultivaattoria kevyemmällä menetelmällä yhteen kertaan muokattu vilja-, öljykasvi-, tattari-, siemenmauste-, kuitupellava- tai härkäpapuala (kuva 3.) (Kasvipeitteisyysvalvonta 2018).



Kuva 1. Monivuotinen nurmipelto. Talven ajaksi pellolle jätettävä kasvimassa sitoo peltomaata, mikä vähentää eroosiota ja kiintoainekuormaa. Monivuotinen nurmipelto on ympäristönkorvausjärjestelmässä aitoa talviaikaista kasvipeitteisyyttä. Kuva on otettu Mättäänojan valuma-alueelta 5.12.2016.

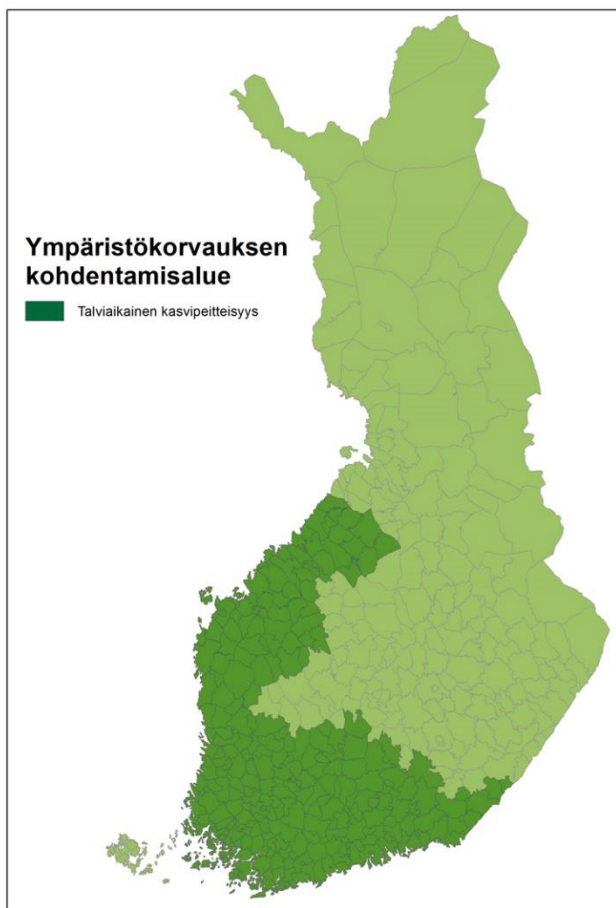


Kuva 2. Sänkipelto, jossa peltomaalle jätetään edellisen vuoden viljakasvuston sänki talven ajaksi. Sänkipeltoa ei muokata, vaan seuraavan vuoden viljeltävä kasvi kylvetään suoraan edellisen vuoden sänkeen. Tätä viljelymenetelmää kutsutaan suorakylvöksi. Sänkipelto kuuluu talviaikaisen kasvipeitteisyyden piiriin. Kuva on otettu Mättäänojan valuma-alueelta 24.04.2017.



Kuva 3. Kultivaattorilla kertaalleen muokattu peltolohko. Kultivaattorin kyntösyvyys on yli 10 cm, kun taas perinteisellä kynnöllä se on normaalisti 15–20 cm. Kevennetty muokkaus parantaa peltolohkon multavuutta ja pienentää talviaikaista eroosiota. Kultivoidulla peltoalalla voidaan täyttää ympäristökorvausjärjestelmän mukaista talviaikaista kasvipeitteisyyttä aina 20 % asti. Kuva on otettu Mättäänojan valuma-alueelta 5.12.2016.

Talviaikaiselle kasvipeitteisyydelle on määritelty ympäristökorvausjärjestelmässä kohdentamisalue (kuva 4.), jolla siitä maksetaan korotettua korvausta (taulukko 1.). Kohdentamisalue sijaitsee Etelä- ja Länsi-Suomen intensiivisillä viljelyalueilla, joissa yksivuotisten kasvien viljely on vallitsevaa, ja joilla vesistöjen tila on suurelta osin heikentynyt. Kohdentamisalueella maksettavan korotetun korvauksen tarkoituksena on lisätä talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrää ja näin vähentää vesistöihin päätyvää ravinnekuormitusta. Kohdentamisalueella kasvipeitteisyyteen hyväksytään enimmillään 20 % kevytmuokattua sitoumusalaa, ja muilla alueilla kevennetyn muokkauksen enimmäisrajoitusta ei ole (Ympäristökorvaus 2018).



Kuva. 4. Ympäristökorvausjärjestelmässä määritelty talviaikaisen kasvipeitteisyyden kohdentamisalue, jolla toimenpiteestä maksetaan korotettua korvausta. Kohdentamisalue kattaa alueet, joilla maanviljely on kaikkein intensiivisintä (Lähde: Tuki- ja kohdentamisaluekartta 2018, mukailten).

Taulukko. 1. Talviaikaisesta kasvipeitteisyydestä maksettavan tuen määrä kohdentamisalueella sekä muualla Suomessa. Mitä suurempi osa sitoumusalasta on kasvipeitteisyyden peitossa, sitä enemmän maanviljelijä saa tukea (Ympäristökorvauksen korvaustasot 2018, mukailten).

Kasvipeitteisen alan prosentiosuus sitoumusalasta (%)	Korvauksen määrä kohdentamisalueella (euroa/ha/v)	Korvauksen määrä muualla Suomessa (euroa/ha/v)
20	4	4
40	18	9
60	36	11
80	54	-

2.1.3. Vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentaminen

Ympäristökorvausjärjestelmän uudella ohjelmakaudella (2014-2020) on kiinnitetty edellisiä ohjelmakausia enemmän huomiota ympäristön tilaa parantavien vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamiseen (Ympäristökorvaus 2018). Vesiensuojelutoimenpiteitä on tärkeä kohdentaa ravinnekuormituksen kannalta riskiherkimmille peltolohkoille, jotta niiden ravinnekuormitusta pienentävät vaikutukset olisivat mahdollisimman suuria. Ympäristökorvausjärjestelmässä vesiensuojelutoimenpiteet ovat tilakohtaisia, mikä ei ota huomioon valuma-alueen näkökulmaa. Tämän vuoksi toimenpiteiden avulla voidaan vain osittain saavuttaa kohdevesistön vesiensuojelutavoitteet (Puustinen ym. 2010). Tähän mennessä ympäristökorvausjärjestelmän vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset kohdevesistöjen tilaan ovat jääneet vaatimattomiksi (Turtola & Lemola 2008; Parkkila 2018). Puustisen ym. (2010) mukaan vesiensuojelutoimenpiteiden ravinnekuormitusta vähentäville vaikutuksille on asetettu suuret odotukset ilman, että ollaan ymmärretty tarvetta valuma-alueen laajamittaiselle vesiensuojelutoimenpiteiden täytäntöönpanolle. Esimerkiksi rakennettuja kosteikkoja on tehty niin vähän, että niiden vaikutukset ravinteiden kokonaiskuormitukseen ovat hyvin vähäisiä. Kosteikkojen avulla voidaan sitoa merkittäviä määriä kiintoainesta ja ravinteita (Puustinen 2007b).

Varsinais-Suomen ELY-keskuksen, Luonnonvarakeskuksen, MTK-Varsinais-Suomen ja MTK-Satakunnan vetämässä KOTOMA-hankkeessa on noussut esille tarve tarkentaa ympäristökorvausjärjestelmän toimenpiteiden kohdentamismenetelmiä seuraavalle ohjelmakaudelle 2021–2025, mikäli vesienhoitosuunnitelman tavoitteet aiotaan edes osittain saavuttaa (Parkkila 2018). Kuluvan ohjelmakauden (2014–2020) aikana toimenpiteiden kohdentuminen ei ole toteutunut vesienhoidolle asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Esimerkiksi Lounais-Suomen alueen suojavyöhykkeistä ainoastaan 20 % on kohdentunut suojavyöhykesuunnitelman mukaisille alueille.

KOTOMA-hankkeessa on kehitetty vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamiselle toimintamalli, jonka avulla kuormittavimmat viljelyalueet voidaan tunnistaa valuma-alue ja peltolohkotasolla. Hankkeessa on testattu Liljan ym. (2017a) kehittämän RUSLE2015-eroosiomallin soveltuvuutta kuormittavimpien viljelyalueiden kartoittamiseen. Tämän lisäksi hankkeessa on hyödynnetty ja kerätty muita alueellisia paikkatietoaineistoja. Hankkeen toimialueena ovat Varsinais-Suomi ja Satakunta, minkä lisäksi mukana on Loimijoen valuma-alue kokonaisuudessaan, käsittäen alueita myös Pirkanmaalta ja Kanta-Hämeestä. KOTOMA-

hankkeessa on alueen ELY-keskusten lisäksi mukana yhteistyökumppaneina Luonnonvarakeskus, MTK-Varsinais-Suomi ja MTK-Satakunta sekä paikalliset maataloustuottajien yhdistykset, minkä lisäksi toimintamallin kehittämiseen on osallistunut myös monia muita yhteistyötahoja (Parkkila 2018).

Hankkeessa kehitettyä vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamisen toimintamallia voidaan hyödyntää Manner-Suomen maatalouden kehittämisohjelman valmistelussa, ravinnekuormituksen mallintamisessa ja vesien- ja merenhoidon toimenpiteiden käytännön toteutuksessa. Kun on tunnistettu ravinnekuormituksen kannalta kriittisimmät alueet, voidaan vesiensuojelutoimenpiteet ja niiden rahoitus kohdistaa mahdollisimman kustannustehokkaasti ja tarkoituksenmukaisesti (Parkkila 2018). Esimerkiksi talviaikainen kasvipeitteisyys ja suojavyöhykkeet vähentävät kiintoainekuormitusta kaikkein tehokkaimmin jyrkillä peltolohkoilla, joille niitä ei ole tällä hetkellä tarpeeksi kohdennettu (Huttunen ym. 2010).

2.2. Ravinnekuormitus

2.2.1. Eroosio ja ravinteet

Eroosiota tapahtuu, kun tuulen, sateen tai virtaavan veden liike-energiaa on riittävän suurta, jotta se saa liikutettua maaperän partikkeleita (Pimentel ym. 1995). Eroosio aiheuttaa kiintoaineen kulkeutumista maalta vesistöihin, jolloin puhutaan kiintoainekuormasta. Viljelyalueiden kasvipeitteisyys suojaaa maaperää eroosiolta ja sitoo ravinteita. Kasvipeitteisyyden suojaava vaikutus on merkittävä etenkin talvella, jolloin lumen sulamissyklit ja vesisateet aiheuttavat eroosiota ja ravinnehuuhtoumaa. Vesistöihin päätyvästä partikkelifosfori- ja kiintoainekuormasta yli 90 % tulee kasvukauden ulkopuolella (Puustinen ym. 2005; Puustinen ym. 2007a). Keskimääräinen eroosio kasvaa peltolohkon kaltevuuden kasvaessa (Puustinen ym. 2005). Eroosiota voidaan vähentää mm. sijoittamalla talviaikaista kasvipeitteisyyttä jyrkimmille peltolohkoille sekä vesistöjen varsille. Peltolohkojen eroosio on ongelmallista viljelijöiden kannalta, koska kiintoaineen mukana huuhtoutuu myös ravinteita, mikä heikentää maan kasvukuntoa ja lisää lannoitustarvetta. Toisaalta peltolohkojen eroosio on ongelmallista kohdevesistöjen kannalta, koska huuhtoutuva kiintoaines ja ravinteet aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä ja samentumista.

Typpi ja fosfori ovat kasveille elintärkeitä ravinteita, joita ilman ne eivät tule toimeen. Typeä ja fosforia on luonnostaan maaperässä, minkä lisäksi niitä käytetään lannoitteissa parantamaan maan kasvukuntoa ja tätä kautta viljasatoa. Peltaja voidaan lannoittaa eläinperäisellä lannalla tai teollisesti tuotetuilla lannoitteilla, ja lannoitustarvetta määrittää maaperän kasvukunnosta, eli siitä miten paljon maaperässä on valmiiksi ravinteita (Ympäristökorvaus 2018). Peltomaan lannoitustarvetta arvioidaan mittaamalla maaperän luonnollisen fosforin määrä (fosforiluku) ja sen perusteella määritellään, miten paljon peltoa saadaan lannoittaa (Viljavuustutkimus 2017).

Ravinteet voivat kulkeutua vesistöihin kolmella eri tavalla: kiinnittyneinä erodoituneisiin sedimenttipartikkeleihin, suspensiossa osana pintavaluntaa tai liuenneena huuhtoumassa. Fosfori voi päätyä viljelyalueilta vesistöön liuenneena reaktiivisena fosforina (DRP) tai sedimenttipartikkeleihin kiinnittyneenä partikkelifosforina (PartP). Kokonaisfosforikuorma (TotP) on partikkelifosforin ja liukoisen fosforin yhdistetty kuormitus. Partikkelifosforikuormitukseen vaikuttavat lähinnä peltolohkojen ominaisuudet, kuten peltolohkon kasvipeitteisyys ja kaltevuus (Puustinen ym. 2010).

Liukoinen fosfori on rehevöitymisen kannalta ongelmallista, koska se on suoraan kasveille käyttökelpoisessa muodossa, mikä lisää erityisesti rehevöitymistä (Jansson & Närvänen 2005). Liuenneen reaktiivisen fosforin kuormituksen ja maaperässä kasvillisuudelle käyttökelpoisessa muodossa olevan fosforin välillä on todettu olevan lineaarinen riippuvuus (Uusitalo & Jansson 2002). Tämä tarkoittaa, että kun liuenneen fosforin määrä maaperässä kasvaa, kasvaa myös liukoisen fosforin kuorma lineaarisessa suhteessa. Suomessa peltojen kasvukuntoa tarkastellaan pintamaasta otettavien maaperänäytteiden avulla. Maaperänäytteistä mitataan mm. P-luku (fosforiluku), joka kertoo liukoisen fosforin määrän (mg/l) maaperän pintakerroksessa. P-lukumittausten pohjalta arvioidaan peltolohkojen lannoitustarvetta ja kasvukuntoa (Viljavuustutkimus 2017).

Partikkelifosfori ei ole suoraan kasveille käyttökelpoisessa muodossa, mutta osa siitä muuttuu vesistöissä tapahtuvissa kemiallisissa prosesseissa kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Ekholmin ym. (2005) mukaan kasvien fosforin käyttöönoton kannalta 100 kg PartP-kuorma vastaa n. 16 kg DRP-kuormaa. Partikkelifosforikuormituksen kasvu lisää siis myös liukoisen fosforin kuormitusta.

Typen kuormitukseen vaikuttava monet tekijät, kuten peltolohkon kasvipeitteisyys, maaperä ja typen määrä maaperässä (Puustinen ym. 2010). Kasvipeitteisyys sitoo typeä maaperästä ja

vähentää näin vesistöjen typpikuormitusta. Peltojen eroosio puolestaan kasvattaa typen kokonaiskuormaa (TotN). Vesistöjen kannalta kaikkein haitallisinta on nitraattikuormitus (NO₃-) (Korppoo ym. 2017). Nitraatit ovat suoraan kasveille käyttökelpoisessa muodossa, minkä vuoksi ne rehevöittävät vesistöjä ja lisäävät leväkasvustoja. Kasveille suoraan käyttökelpoisessa muodossa olevien ravinteiden määrää ei voida arvioida ravinteiden kokonaiskuormasta, koska siihen vaikuttavat ravinnekuormituksen lähteet ja vesistöissä tapahtuvat prosessit.

Ravinnekuormitus kasvaa merkittävästi syksyn sadonkorjuun jälkeen, mistä eteenpäin kuormitus kasvaa vielä kumulatiivisesti talven mittaan aina kevääseen asti (Puustinen ym. 2005). Kesällä maataloudesta tuleva kiintoane- ja ravinnekuormitus on vähäisempää, koska peltojen kasvipeitteisyys sitoo tehokkaasti ravinteita. Voimakkaiden rankkasateiden aikaan voidaan kuitenkin havaita merkittäviä piikkejä ravinnekuormituksessa etenkin alkukesällä, kun kaikilla peltolohkoilla ei ole vielä kattavaa kasvipeitteisyyttä.

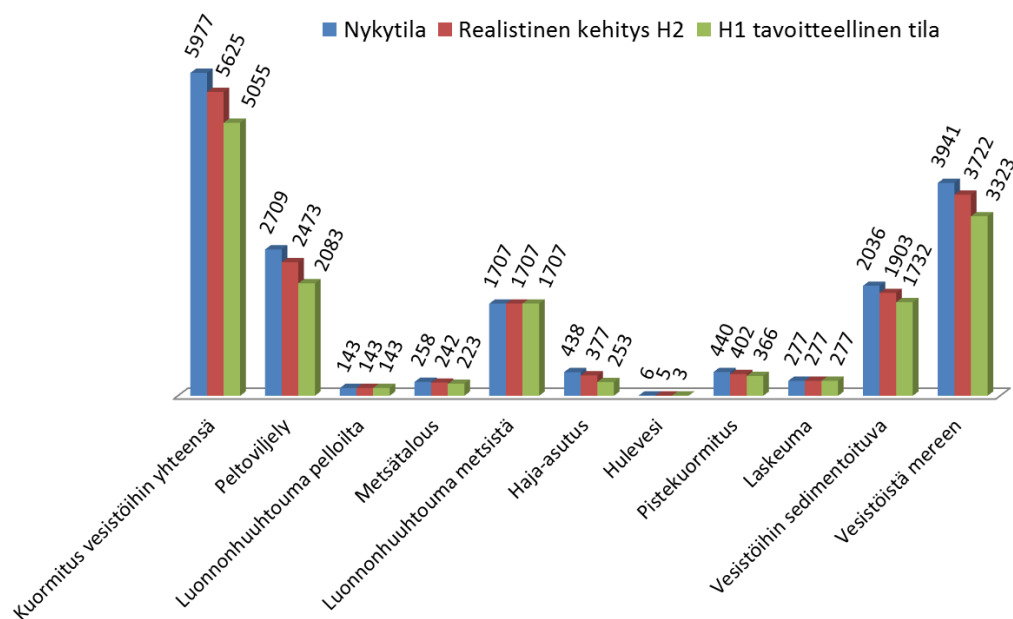
Suomen ympäristöviranomaiset ovat seuranneet maatalouden ravinnekuormitusta 1960-luvulta asti ja mittaustuloksista on raportoitu 5–10 vuoden aikaintervaleilla (Puustinen ym. 2005). Fosforin ja typen keskimääräinen vuosikuormitus hehtaarilta peltomaata nousi 1960-luvulta 1980-luvulle, minkä jälkeen sekä fosforin että typen kuormitus ovat laskeneet. Pelkän suoran kuormituksen lisäksi jokiuoman ja vesistöjen ominaisuuksilla on merkittäviä vaikutus ravinteiden kulkeutumis- ja pidättymisprosesseihin, ja näin lopulta siihen, mitkä ovat ravinteiden lopulliset vaikutukset kohdevesistöissä (Jordan ym. 2017).

2.2.2. Ulkoinen ja sisäinen ravinnekuormitus

Vesistötasolla ravinnekuormitus jaetaan sisäiseen ja ulkoiseen kuormitukseen. Sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan vesistön pohjan sedimenteistä vapautuvia ravinteita (Boström ym. 1982). Fosforia kerrostuu ja varastoituu pohjan sedimentteihin, josta vapautuessaan se rehevöittää vesistöä. Sisäisen kuormituksen määrään vaikuttaa se, miten paljon pohjan sedimentit sitovat ja vapauttavat fosforia. Suomen järvet ovat keskimäärin hyvin matalia, minkä vuoksi sedimenteistä voi vapautua merkittäviä määriä biosaatavaa fosforia, mikä lisää järvien rehevöitymistä etenkin maatalousvaltaisilla alueilla (Knuutila ym. 1994). Fosforin sitoutuminen sedimentteihin vähentää sen määrää vesistöissä, kun taas fosforin vapautuminen ympäristön olosuhteiden muuttuessa lisää fosforin määrää vesistöissä. Petterssonin (1998)

mukaan vesistöjen sisäinen kuormitus on suurimmillaan kesäaikaan. Fosforin vapautumiseen sedimenteistä liittyy monimutkaisia fysikaalisia, biologisia ja kemiallisia prosesseja, mikä tekee sisäisen kuormituksen hallinnasta hyvin haastavaa (Boström ym. 1982).

Ulkoisella kuormituksella tarkoitetaan valuma-alueelta huuhtoutuvaa ja laskeumana vesistöön päätyvää kuormitusta (Tattari ym. 2015). Ulkoisia ravinnekuormituksen lähteitä ovat erilaiset haja- ja pistekuormituksen lähteet sekä luonnolliset lähteet. Maankäyttö ja muu ihmistoiminta aiheuttavat vesistöihin ravinne- ja kiintoainekuormitusta, minkä lisäksi kuormitusta tulee myös luonnollisista lähteistä luonnonhuuhtoumana. Maa- ja metsätalouden, haja-asutuksen sekä rakennettujen alueiden kuormitus on luonteeltaan hajakuormitusta, koska tarkkoja päästölähteitä ei voida paikallistaa. Selvästi paikallistettavissa olevat ravinnekuormituksen lähteet, kuten yhdyskunnat, teollisuus tai turvetuotantolaitokset ovat puolestaan pistekuormituslähteitä. Näiden lisäksi kuormitusta tulee kaupunkien hulevesistä ja ilmaitse laskeumana (kuva 5.).



Kuva 5. Nykyisten toimenpiteiden mukainen, realistinen ja tavoiteskenaario Suomen vesistöistä Itämereen päätyvästä fosforikuormasta (t/v) (lähde: Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus ja arviointijärjestelmä – VEMALA 2018).

Lähes puolet vesistöihin päätyvästä kokonaisfosforikuormasta on peräisin peltoviljelystä, mikä tekee siitä selvästi suurimman yksittäisen fosforin kuormituslähteen. Realistisen kehityksen

mukaan peltoviljelystä Itämereen päätyvää vuosittaista fosforikuormaa voitaisiin pienentää 237 t/v, mikä on vielä kaukana tavoitteellisesta tilasta, jossa peltoviljelyn fosforikuorma pienenesi 626 t/v nykytilaan verrattuna. Itämeren ekologisen tilan on arvioitu parantuvan hyväksi, jos kuormitus saataisiin tavoitetilan mukaiseksi.

2.3. Maatalouden ravinnekuormituksen vesistövaikutukset

Maatalouden ravinnekuormitus aiheuttaa vesistöissä rehevöitymistä, jolla on merkittäviä vaikutuksia vesiekosysteemien toimintaan sekä vesistöjen virkistyskäyttöön. Rehevöityminen on määritelty Itämeren suurimmaksi ympäristöongelmaksi, koska sillä on monia haitallisia vaikutuksia alueen ekosysteemeihin (Puttonen ym. 2014). Rehevöityminen on suuri ongelma myös monissa sisävesissä, etenkin maatalousvaltaisilla alueilla. Typpi- ja fosforikuorma aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä ja kiintoainekuorma vesistöjen samentumista, liettymistä ja umpeenkasvua. Vesistöön kohdistuvien kuormitusvaikutusten voimakkuus ja laajuus riippuvat valuma-alueen ominaisuuksista, maankäytöstä ja alueella suoritetuista vesiensuojelutoimenpiteistä (Tattari ym. 2015).

Ravinnekuormituksen vesistövaikutuksia voidaan mitata vesimuodostuman ekologisen tilan avulla. Vesimuodostuman ekologinen tila määritellään erilaisten biologisten ja hydromorfologisten tekijöiden sekä veden laatutekijöiden perusteella. Ekologiseen tilaan vaikuttavia biologisia laatutekijöitä ovat planktonlevät, piilevät, vesikasvit, pohjaeläimet ja kalat, ja näiden tekijöiden tilaa verrataan olosuhteisiin, joissa ihmistoiminnot eivät ole aiheuttaneet havaittavia vaikutuksia eliöstöön (Hellsten ym. 2012). Vesimuodostuman ekologisen tilan määrittelyssä huomioon otettavia veden laatutekijöitä ovat kokonaisravinteet, pH ja näkösyvyys ja hydromorfologisia tekijöitä ovat mm. keskimääräinen talvialenema ja vaellusesteet.

Maatalousvaltaisilla alueilla vesistöjen ekologinen tila on keskimäärin heikompi kuin alueilla, joilla maataloutta harjoitetaan vähemmän. Maataloustoimintaa on kaikkein eniten Lounais- ja Länsi-Suomessa, mikä näkyy laajalti tyydyttävänä tai välttävänä vesien ekologisenä tilana (kuva 6.). Itä- ja Pohjois-Suomessa maataloutta harjoitetaan huomattavasti vähemmän, ja näin myös maatalouden vesistövaikutukset ovat näillä alueilla keskimäärin pienempiä. Myös Itä- ja Pohjois-Suomessa on kuitenkin intensiivisiä maatalousalueita, joilla maatalouden

ravinnekuormitus on aiheuttanut merkittävää vesistöjen rehevöitymistä ja ekologisen tilan heikentymistä.



Kuva 6. Suomen pintavesien ekologinen tila vuonna 2015 (Pintavesien tila 2018).

2.4. Maatalouden ravinnekuormitukseen vaikuttavat tekijät

2.4.1. Viljelyalueiden kasvipeitteisyyden vaikutus maatalouden ravinnekuormitukseen

Koska valtaosa maatalouden ravinnekuormituksesta tulee kasvukauden ulkopuolella, on peltolohkojen tila kasvukauden jälkeen tärkeässä osassa ravinnekuormituksen kannalta. Suomessa on tehty mittauksia useilta eri koepeltoalueilta, joilta on kerätty aineistoa peltolohkojen ominaisuuksista, valunnasta ja ravinnekuormituksesta (Kukkonen ym. 2004; Puustinen ym. 2005). Puustinen ym. (2005) totesivat koepeltoalueilla suoritetujen mittausten perusteella, että talviaikainen kasvipeitteisyys pienentää merkittävästi kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitusta, mutta toisaalta lisää liukoisen fosforin kuormitusta.

Samankaltaisia tuloksia on saatu myös muissa tutkimuksissa (Kukkonen ym. 2004; Puustinen ym. 2010; Huttunen ym. 2010).

Talven ajan kasvipeitteisten peltolohkojen kaltevuudella on havaittu olevan merkittäviä vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen (Huttunen ym. 2010). Huttunen ym. (2010) mukaan talviaikainen kasvipeitteisyys vähentää kiintoaine- ja fosforikuormaa merkittävästi peltolohkoilla, joiden kaltevuus on yli 3 %. Tätä loivemmilla peltolohkoilla kasvipeitteisyydestä ei ole merkittävää hyötyä kokonaiskuormituksen kannalta, sillä vaikka partikkelifosfori- ja kiintoainekuorma pienenevät, lisääntyy liukoisen fosforin kuormitus merkittävästi. Kiintoaine- ja ravinnekuormituksen määrään vaikuttaa talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrä, laatu ja sijainti valuma-alueella (kuva 7.).

Talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutukset viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen



Kuva 7. Talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutukset viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen perustuvat sen sijaintiin, määrään laatuun valuma-alueella. Kasvipeitteisyyden sijainti voi perustua peltojen eroosioherkkyyteen tai kaltevuuteen.

Puustinen ym. (2005) totesivat yhdeksän vuotta kestäneiden koepeltomittausten perusteella, että partikkelifosforin ja kiintoaineen kuormitus on kaikkein suurinta perinteisesti kynnetyillä peltolohkoilla. Havaintojen perusteella kynnetyjen peltolohkojen kiintoainekuormitus oli 2–3 kertaa suurempaa kuin kevytmuokattujen tai ei lainkaan muokattujen peltolohkojen kuormitus. Syksyllä kynnetyt peltolohkot ovat kaikkein herkimpiä eroosiolle, koska ne ovat talven ajan kasvipeitteettömiä. Kevennetyt muokkausmenetelmät, kuten kultivointi ja lautasmuokkaus, vähentävät peltolohkojen eroosiota ja tätä kautta kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitusta. Kevääseen ajoitetulla muokkauksella voidaan vähentää merkittävästi kiintoaine- ja ravinnekuormitusta (Kukkonen ym. 2004). Kevennettyjen muokkausmenetelmien

ravinnekuormitusta pienentävä vaikutus perustuu alhaisempaan muokkaussyvyyteen. Kevennetyillä muokkausmenetelmillä muokkaussyvyys on alle 15 cm, kun taas perinteisellä kynnöllä muokkaussyvyys on 15–30 cm. Kaikkein eniten kiintoaine- ja partikkelifosforikuormitusta voidaan pienentää siirtymällä intensiivisestä syyskynnöstä pysyvään kasvipeitteisyyteen ja kevääseen ajoitettuun muokkaukseen. Liukoisen fosforin osalta tilanne on päinvastainen, sillä sen kuormitus on suurinta kasvipeitteisillä peltolohkoilla (Puustinen ym. 2005).

Suojavyöhykkeet ovat yksi merkittävimmistä ravinnekuormitusta pienentävistä vesiensuojelutoimenpiteistä. Suojavyöhykkeet ovat vuoden ympäri kasvipeitteisyyden peitossa olevia peltolohkoja, jotka sijaitsevat usein vesistöjen lähellä kaltevuudeltaan melko jyrkillä peltolohkoilla. Suojavyöhykkeiden vesistövaikutuksia on selvitetty useissa tutkimuksissa (Puustinen ym. 2005, Uusi-Kämpä 2005). Suojavyöhykkeiden on todettu vähentävän merkittävästi peltolohkojen eroosiota sekä partikkelifosforin ja typen kuormitusta, mutta kasvattavan selvästi liukoisen fosforin kuormitusta. Suojavyöhykenurmien vaikutukset kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen ovat samanlaisia kuin aidolla kasvipeitteisyydellä.

2.4.2. Ilmaston vaikutukset maatalouden ravinnekuormitukseen

Etenkin kasvukauden ulkopuolisilla sääolosuhteilla on suuri merkitys kiintoaine- ja ravinnekuormituksen kannalta, sillä yli 90 % koko vuoden ravinnekuormituksesta tulee kasvukauden ulkopuolella (Puustinen ym. 2005). Ravinnekuormitus vaihtelee suuresti eri hydrologisten vuosien välillä, niin että kuormitus on kaikkein suurinta vuosina, jolloin talvi on lauha ja sateinen, ja puolestaan pienintä vuosina, jolloin talvi on kylmä ja luminen (Puustinen ym. 2010). Kesällä kasvipeitteisyys sitoo tehokkaasti maaperää ja ravinteita, minkä vuoksi edes voimakkaat kesäsateet eivät vaikuta suuremmin vuosikuormitukseen. Talviaikaan peltolohkot ovat usein kasvipeitteettömiä, mikä altistaa niitä eroosiolle ja ravinteiden huuhtoutumiselle. Talviaikaiset vesisateet sekä roudan ja lumen sulamissyklit lisäävät peltolohkojen eroosiota ja ravinnekuormitusta. Ravinnekuormituksen vaihtelu on hydrologisten vuosien välillä usein suurempaa kuin, mitä vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset ravinnekuormitukseen. Tämän vuoksi vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia voi olla vaikea havaita hydrologisten vuosien välisestä vaihteluista (Puustinen ym. 2010).

Ilmastonmuutoksen myötä Suomen keskilämpötilojen ennustetaan nousevan 2–7 astetta ja sademäärän kasvavan 15–40 % vuosisadan loppuun mennessä (Kellomäki ym. 2010). Ennusteiden mukaan talvet lämpenevät kaikkein voimakkaimmin, mikä tarkoittaa, että yhä suurempi osa talvikauden sateista tulee vetenä, etenkin Etelä- ja Länsi-Suomessa. Ilmastomallit ennustavat myös, että roudan ja lumipeitteen määrä vähenee tulevassa ilmastossa. Kun peltolohkoilla ei ole eroosiolta suojaavaa routa- ja lumikerrosta, on se hyvin herkkä vesisateen aiheuttamalle eroosiolle. Jo tämän hetken ilmastossa eroosio ja ravinnekuormitus ovat lauhoina talvina suurempia kuin vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset (Puustinen ym. 2010). Tämän tarkoittaa, että ravinnekuormitus saattaa lisääntyä ilmastonmuutoksen myötä, vaikka vesiensuojelutoimenpiteitä lisättäisiin ja ne kohdennettaisiin riskiherkimmille peltolohkoille.

2.5. Viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormituksen mallintaminen

2.5.1. Ravinnekuormituksen mittaus ja empiiriset mallinnustyökalut

Maataloudesta vesistöihin päätyvää ravinnekuormitusta on mitattu Suomessa vuosikymmenten ajan. Yleisimpiä ravinnekuormituksen mittaukseen käytettyjä menetelmiä ovat vesinäytteiden otto ja erilaiset peltolohkotasolla suoritettavat mittaukset, kuten pintavalunta, pintakerroksen alainen valunta, ravinteiden pitoisuudet maaperässä ja viljelykasveissa sekä veden laatutekijät (Puustinen ym. 2010). Ravinnekuormituksen määrää arvioinnissa käytetään yleisesti myös virtaamamittauksia (White ym. 2010). Suomessa on tehty mittauksia useilta koepeltoalueilta, joista suurin osa sijaitsee Etelä- ja Lounais-Suomen savipeltoalueilla (Turtola & Jaakkola 1995; Kukkonen ym. 2004; Puustinen ym. 2005).

Vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusta ravinnekuormitukseen ei voida aina mitata kaikissa mahdollisissa olosuhteissa, minkä vuoksi avuksi tarvitaan ravinnekuormituksen mallinnusmenetelmiä, joilla näitä olosuhteita voidaan simuloida. Ravinnekuormitusmalleja käytetään yhä enenevässä määrin menetelmänä, joka tukee vesien ekologisen tilan arviointia. Mallien antamia tuloksia käytetään hyväksi vesiensuojeluun liittyvän päätöksenteon tukena ja suunniteltaessa vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamista (Parkkila 2018). Suunnittelun apuna voidaan käyttää yksinkertaisia empiirisiä ravinnekuormituksen arviointityökaluja tai monimutkaisempia prosessipohjaisia malleja. Usein eri mallinnusmenetelmiä yhdistämällä saadaan kaikkein kattavin tieto tutkittavan valuma-alueen ravinnekuormituksesta. Useisiin ravinnekuormitusmalleihin on kehitetty työkaluja, joilla voidaan simuloida maatalouden

vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia ravinnekuormitukseen (Puustinen ym. 2010; Huttunen ym. 2016). Erilaisia vesiensuojelun toimenpideskenaariota simuloimalla saadaan tietoa siitä, mitkä toimenpiteet vähentävät ravinnekuormitusta tehokkaimmin, ja mille peltolohkoille toimenpiteet kannattaa sijoittaa.

Maataloudesta tuleva hajakuormitus nousi monissa maissa tieteellisen tutkimuksen kohteeksi 1960-luvulla. Maatalouden ravinnekuormituksen tutkimus keskittyi tuolloin paljon empiirisiin ja tilastollisiin analyyseihin sekä niistä rakennettuihin empiirisiin malleihin (White ym. 2010). Ensimmäiset empiiriset mallit olivat yksinkertaisia tilastollisia suhteita esimerkiksi ravinnekuormituksen ja maankäytön tai virtaaman välillä. Yksinkertaisista empiirisistä malleista on myöhemmin kehitetty monimutkaisempia versioita, jotka ottavat laajemmin huomioon valuma-alueen maankäyttöä. Sekä Yhdysvalloissa että Euroopassa on kehitetty paikallisiin olosuhteisiin sopivia empiirisiä malleja, joita kehitettäessä on laskettu eri maatalouden viljely- ja muokkausmenetelmille ominaisia kuormitusarvoja (Puustinen ym. 2010; White ym. 2010). Näissä ravinnekuormitusmalleissa tarvittavan lähtöaineiston määrä on vähäinen, mikä tekee niistä hyvin helppokäyttöisiä. Tällaisia empiirisiä malleja käytetään laajalti päätöksenteon tukena niin Yhdysvalloissa kuin Euroopassa.

Yhdysvalloissa ravinnekuormituksen arviointiin käytetään usein kulkeutumiskertoimiin perustuvia mallinnustyökaluja, kuten taulukkolaskentaohjelmassa toimivat STEPL (Spreadsheet Tool for the Estimation of Pollutant Load) ja PLOAD (White ym. 2010). Kulkeutumiskerroinmalleilla voidaan laskea suuren mittakaavan ravinnekuormitusta, ja näissä malleissa käytetään usein aineistoina kaukokartoitukseen ja GIS-dataan perustuvia maankäyttöluokkia sekä empiiristen aineistojen perusteella laskettuja ravinteiden kulkeutumiskertoimia. Kulkeutumiskertoimiin perustuvissa malleissa lähestymistapa on yksinkertainen ja lähtöaineistojen määrä on melko pieni, minkä vuoksi ne sopivat hyvin valuma-alue ja valtiotason ravinnekuormituslaskelmiin. Euroopassa paljon käytettyjä kulkeutumiskerroinmalleja ovat mm. PolFlow, N_EXRET ja Moneris (De Wit 2001; Lepistö ym. 2006; Venohr ym. 2011).

Kulkeutumiskertoimiin perustuvissa mallinnustyökaluissa vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset on johdettu mittausdatasta. Vesiensuojelutoimenpiteet ja niiden vaikutukset ovat vahvasti paikkasidonnaisia, minkä vuoksi erilaisilta viljelyalueilta kerätyn mittausdatan yhdistäminen voi johtaa merkittäviin epävarmuuksiin ravinnekuormituslaskelmissa (Gitau ym. 2004). Toinen yleisesti käytössä oleva empiirinen mallinnustyökalu perustuu fosfori-

indekseihin (White ym. 2010). Fosfori-indeksejä käytetään vesiensuojelun suunnittelun tukena ja eläinlannan levittämisen säätelyssä. Fosfori-indeksit ovat työkaluja, jotka tuottavat kategorisen luokituksen peltolohkojen fosforihuuhtoumasta. Fosfori-indeksit on todettu arvokkaiksi työkaluiksi peltolohkolta lähtevän fosforikuorman arvioinnissa. Fosfori-indeksejä ei ole kuitenkaan alun perin kehitetty kvantitatiiviseksi fosforin huuhtouman arviointimenetelmäksi (Lemunyon & Gilbert 1993). Kaikkiin empiirisiin malleihin liittyy rajoitteena se, että niillä voidaan laskea vain viljelyalueilta tai muista maankäyttömuodoista tulevan ravinnekuormituksen määrää, eikä sitä miten ravinteet tästä eteenpäin kulkeutuvat vesistöissä.

2.5.2. Prosessipohjaiset ravinnekuormituksen mallinnusmenetelmät

Ravinnekuormituksen simulointiin on kehitetty monilla eri toimintaperiaatteilla toimivia osittain tai täysin prosessipohjaisia malleja. Jokien hallitsemilla valuma-alueilla toimivat parhaiten täysin tai osittain prosessipohjaiset ja dynaamiset ravinnekuormitusmallit, kuten INCA ja SWAT (Wade ym. 2002; Arnold ym. 2005). Näiden mallien hyötynä on, että niitä voidaan käyttää monilla eri temporaalisilla ja spatiaalisilla mittakaavatasoilla. SWAT-mallia on käytetty yleisesti Euroopassa ja Yhdysvalloissa vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusten arviointiin. Mallin soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin on myös tarkasteltu (Bärlund ym. 2007). Bärlund ym. (2007) mukaan SWAT-mallista löytyvät ravinteiden huuhtoutumiseen vaikuttavat vesiensuojelutoimenpiteet, mutta niiden kuvailua täytyy muuttaa, jotta toimenpiteiden ravinnekuormitusvaikutukset saadaan vastaamaan paikallisia olosuhteita. SWAT- ja INCA-mallit eivät kuitenkaan tällä hetkellä sovellu monimutkaisten järvien peittämien valuma-alueiden mallinnukseen tai valtiotason simulointeihin (Huttunen ym. 2016).

Monimutkaisten valuma-alueiden kuvailuun on kehitetty prosessipohjaisia 3D-malleja, jotka perustuvat hydrologian ja ravinnehuuhtouman fysikaaliseen kuvailuun, kuten NELUP- ja NTT watershed -malli (Lunn ym. 1996; Heng ym.1998). Näiden mallien käyttöä rajoittaa kuitenkin suuri lähtötietojen määrä, mikä vaikeuttaa mallin kalibrointia suurilla valuma-alueilla. Monissa maissa on kehitetty valtiotason ravinnekuormitussimulointeihin ja monimutkaisiin jokisysteemeihin soveltua malleja, jotka simuloivat ravinteiden kulkeutumista ja pidättymistä maalla, joissa ja järvissä. Tällaisia malleja ovat mm. Ruotsin olosuhteisiin kehitetyt HBV-N ja HBV-P, Itämeren valuma-alueelle kehitetty HYPE sekä Suomen olosuhteisiin kehitetty

VEMALA-malli (Arheimer & Brandt 1998; Andersson ym. 2002; Donnelly ym. 2011; Huttunen ym. 2016).

Suomen olosuhteisiin kehitetty VEMALA on operatiivinen malli, joka simuloi ravinteiden prosesseja, huuhtoutumista ja kulkeutumista maalla, joissa ja järvissä valuma-alueella (Huttunen ym. 2006, 2016). Malli simuloi vesistöihin päätyvää ravinteiden kokonaisuormaa sekä ravinteiden pidättymistä vesistöissä ja kulkeutumista mereen. Malli laskee typen ja fosforin valuntaa ja kulkeutumista vuorokauden aika-akselilla. Simulointeja voidaan suorittaa menneisyyteen ja tulevaisuuteen, käyttää ilmastoskenaarioita sekä simuloida eri toimenpideskenaarioiden vaikutusta ravinnekuormitukseen. VEMALA koostuu pääosin kahdesta osamallista: hydrologiaa kuvaavasta WSFS-mallista ja ravinneprosesseja simuloivasta VEMALA-mallista (Huttunen ym. 2016). Suomen ympäristökeskus käyttää mallia päätöksenteon tukena vesipuitteiden mukaisten toimenpiteiden suunnittelussa.

VEMALA-mallia on kehitetty useiden vuosien ajan, ja operatiivisessa käytössä on neljä malliversiota, joilla voidaan simuloida eri ravinteita ja prosesseja. Käytössä olevat versiot ovat VEMALA 1.1, VEMALA-N, VEMALA-ICECREAM ja VEMALA v.3 (Taulukko 2.). Kaikki mallinnusversiot käyttävät hydrologian simulointiin WSFS-mallia. Malliversioiden kehitys on johtanut yhä prosessipohjaisempaan ravinnekuormitusmalliin (Huttunen ym. 2006, 2016).

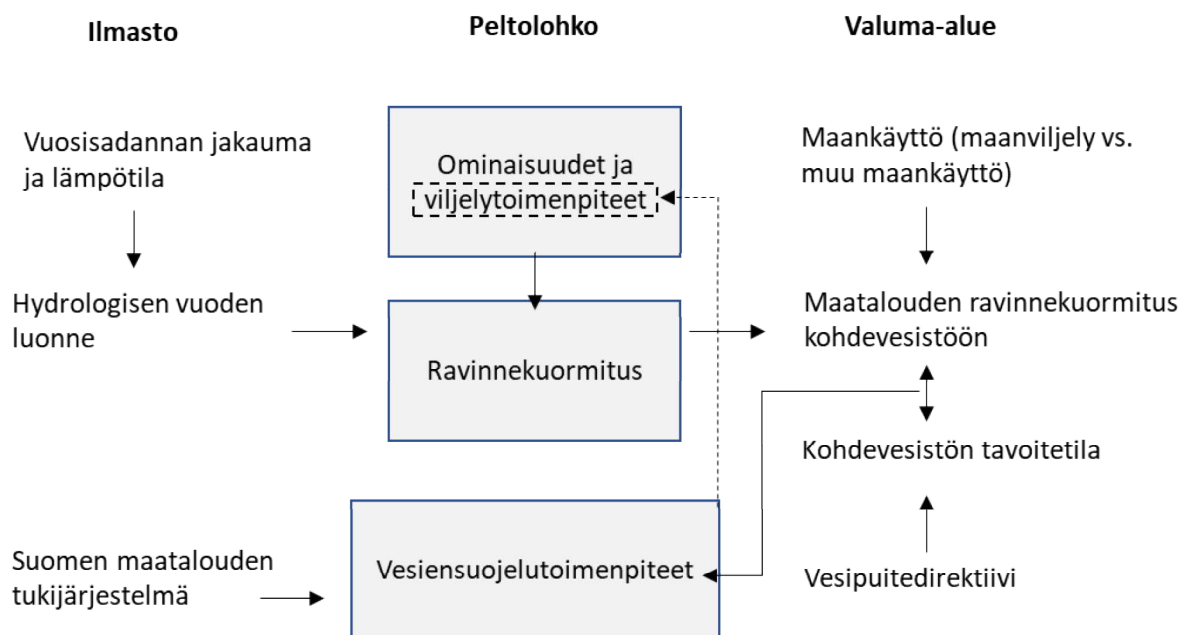
Taulukko 2. Kuvaus VEMALAn neljästä eri malliversiosta. Taulukossa näkyy, mitä ravinteita eri malliversiot simuloivat, mitä hydrologista mallia ne käyttävät, ja mitä prosesseja malliversiot kuvaavat (Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus ja arviointijärjestelmä – VEMALA 2018).

Versio	Ravinteet	Hydrologin en malli	Kuormitus maataloudesta	Kuormitus muualta maa- alueilta	Jokimalli	Järvimalli
VEMALA 1.1	TP, TN, SS	WSFS	Pitoisuuden ja valunnan suhde	Pitoisuuden ja valunnan suhde	Ravinteiden kulkeutumismall	Ravinteiden massatasemalli
VEMALA- ICECREA M	TP	WSFS, pelloilla ICECREAM	peltomittakaava n prosessipohjain en malli	pitoisuuden ja valunnan suhde	i	
VEMALA- N	TN, NO ₃ ⁻	WSFS	Osittain prosessipohjain en, 5 kasviluokkaa	Osittain prosessipohjain en, 1 metsäluokka		
VEMALA v.3	TN, TP, SS, TOC, PO ₄ ³⁻ , PP, Porg, NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Norg, kasviplankto n, O ₂	WSFS	VEMALA-ICECREAM (TP), VEMALA-N (NO ₃ ⁻ , Norg), VEMALA 1.1 (SS, TOC)		Biogeokemiallin en malli	Biogeokemiallin en malli

VEMALA-ICECREAM on prosessipohjainen malli, joka simuloi maataloudesta tulevaa fosforikuormaa ja eroosiota peltolohkomittakaavassa (Tattari ym. 2001; Jaakkola ym. 2012; Huttunen ym. 2016). Simuloinneissa käytetään lähtötietoina peltolohkojen maalajia, kaltevuutta, peltolohkon kokoa ja peltolohkoilla tehtyjä viljelytoimenpiteitä. Malli simuloi kuormituksen jokaiselle peltolohkolle erikseen, ja sen tuloksia voidaan käyttää lähtöaineistona maatalouden kuormitukselle VEMALAssa. ICECREAM-mallilla voidaan simuloida erilaisten peltolohkokohtaisten toimenpiteiden vaikutusta ravinnekuormitukseen. Mallilla simuloitavia toimenpideskenaarioita ovat lannoituskäytännöt, eri viljelykasvilajit, perinteiset muokkausmenetelmät, suorakylvö, viljelytoimenpiteiden ajankohta ja suojavyöhykkeet (Huttunen ym. 2016). ICECREAM-mallin on todettu yliarvioivan eroosion määrää etenkin suhteellisen jyrkillä (7–8 %) savipelloilla (Tattari ym. 2001).

2.5.3. Viljelyalueiden ravinnekuormituksen arviointiin kehitetty VIHMA

VIHMA (Valuma-alueiden kiintoaine- ja ravinnekuormituksen hallintamalli) on Suomen ympäristökeskuksessa kehitetty empiirinen ravinnekuormitusmalli, joka laskee viljelyalueilta tulevaa kiintoaine- ja ravinnekuormitusta sekä peltolohkoilla tehtävien vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusta ravinnekuormitukseen (kuva 8.) (Puustinen ym. 2010). Puustinen ym. (2010) ovat rakentaneet VIHMAA perustuen pitkäaikaisista peltolohkoilla suoritetuista kenttämittauksista saatuihin aineistoihin. Eri viljely- ja muokkausmenetelmille on laskettu ominaiskuormituslukuja perustuen vuosien ajan koepelloilta kerättyihin mittaustuloksiin. Mittaustulosten puuttuessa mallin rakentamisessa on käytetty myös interpolointimenetelmiä ja asiantuntija-arvioita. VIHMA laskee peltolohkoilta tulevaa kiintoaine-, PartP-, DRP-, TotP, TotN- sekä NO₃N- vuosikuormitusta (kg/v) ja ominaiskuormitusta (kg/ha/v).



Kuva 8. VIHMA-mallin rooli valuma-alueiden vesiensuojelussa. Ilmastotekijät sekä peltolohkojen ominaisuudet ja viljelytoimenpiteet vaikuttavat kohdevesistöön päätyvän ravinnekuormituksen määrään. Vesipuitedirektiivissä on määritelty kohdevesistöille hyvä ekologinen tavoitetila, johon tulisi päästä lisäämällä vesiensuojelutoimenpiteiden määrää ja kohdentamalla niitä kuormittavimmille peltolohkoille. VIHMAN avulla voidaan arvioida eri vesiensuojelutoimenpidetekonaisuuksien vaikutuksia ravinnekuormitukseen, mikä puolestaan auttaa päätöksentekijöitä kohdentamaan toimenpiteitä paremmin kuormittavimmille peltolohkoille (Puustinen ym. 2010, mukailten).

VIHMA-mallissa yhdistetään tietoa peltolohkoilla tehdyistä viljelytoimenpiteistä ja peltolohkon ominaisuuksista valuma-alueetasolla. Pysyviä ravinnekuormitukseen vaikuttavia peltolohkojen ominaisuuksia ovat maalaji ja kaltevuus (Puustinen ym. 1994). Peltolohkon P-luku (fosforiluku) on hitaasti pitkällä aikavälillä muuttuva ominaisuus. Peltolohkoilla suoritettujen viljelytoimenpiteiden nopeasti muuttuvia ominaisuuksia, jotka voivat vaihdella vuosittain. Nämä ravinnekuormitusta selittävät tekijät johtavat suureen määrään eri luokkia, mikä lisää mallin monimutkaisuutta (Puustinen ym. 2005, 2010).

VIHMA-mallin laskelmat perustuvat työkaluun laskettuihin ominaiskuormituslukuihin ja valuma-alueen peltolohkojen ominaisuuksiin. Ominaiskuormitusluvut (kg/ha/v) kuvaavat ominaisuuksiltaan ja viljelykäytöltään erilaisilta pelloilta tulevaa keskimääräistä kiintoaine- ja ravinnekuormitusta vuodessa. Luvut perustuvat suomalaisten koepeltoalueiden pitkäaikaisiin mittauksisiin sekä koekenttätuloksista laskennallisesti johdettuihin arvoihin. Ominaiskuormituslukujen minimi- ja maksimiarvot kuvaavat hydrologisesta vuosityypistä riippuvaa pitkän aikavälin keskimääräistä minimi- ja maksimikuormitusta. (Puustinen ym. 2010).

Mallissa on ominaisuuskuormituslukuja eri viljelymenetelmille viidessä kaltevuusluokassa, neljässä maalajiluokassa ja kolmessa P-lukuluokassa (Puustinen ym. 2010). Luokitellut maalajiluokat ovat savimaat, kivennäismaat, hiesut ja eloperäiset maalajit. Peltolohkojen viisi kaltevuusluokkaa ovat < 0,5 %, 0,5–1,5 %, 1,5–3 %, 3–6 % ja > 6 %. P-lukujen luokat ovat < 8 mg/l (maata), 8–14 mg/l ja > 14 mg/l. P-luku kuvaa kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevan liukoisen fosforin määrää muokkauskerroksessa. Peltolohkojen viljelymenetelmät on luokiteltu vuoden ympäri pysyvän kasvipeitteisyyden ja syyskynnön välillä seuraavasti: Intensiivinen syyskyntö (normaali kyntöaura), matala sänkimuokkaus (syvyys < 10 cm), syvä sänkimuokkaus (syvyys 10–15 cm), syysvilja (perinteinen kyntö ja kylvömuokkaus), syysviljan suorakylvö, talviaikainen sänki, kevätviljan suorakylvö ja pysyvä kasvipeitteisyys (nurmet).

VIHMA-mallilla voidaan laskea ravinnekuormitusta hyvin sekä valuma- että vesistöalueetasolla. Työkalulla laskettujen ravinnekuormitusarvojen on todettu vastaavat hyvin pitkän ajan valuma-alue seurannasta saatuja tuloksia (Puustinen ym. 2010). VIHMAlla voidaan laskea melko luotettavasti vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia myös isommassa valuma-alue mittakaavassa, vaikka hydrologisten vuosien välinen vaihtelu on suurta.

Mallin kehittäminen on perustunut viiden tutkimusalueen koepelloilta kerättyihin mittausaineistoihin. Suurin osa koepeltoalueista sijaitsee Etelä- ja Lounais-Suomen savipeltoalueilla. Kaikkein pisimmältä ajalta havaintoaineistoa kertyi Kotkanojalta (Turtola & Jaakkola 1995; Turtola 1999), Liperistä (Kukkonen ym. 2004) ja Tohmajärveltä (Huhta & Jaakkola 1993). Myöhemmin perustettuja koepeltoalueita ovat Aurajoki (Puustinen ym. 2005) ja Lintupaju (Uusi-Kämpä 2005), Toholampi (Turtola & Kemppainen 1998) ja Lintula (Koskiaho ym. 2002). Tohmajärvellä koepeltojen maalaji oli saraturve, Toholammella karkea siltti ja muilla koepeltoalueilla savi. Aurajoen ja Lintupajun peltolohkot olivat kaltevuudeltaan hyvin jyrkkiä (7–18 %) ja muilla koepeltoalueilla peltolohkot olivat kaltevuudeltaan enimmäkseen loivia (< 2 %), lukuun ottamatta Lintupajun koepeltoaluetta, jossa peltolohkojen kaltevuudet olivat suhteellisen jyrkkiä (4–6 %). Aurajoen ja Lintupajun koepeltoalueilla mitattiin ainoastaan peltolohkojen pintavaluntaa (eng. surface runoff). Muilla koepeltoalueilla mitattiin pintavalunnan lisäksi maanpinnan alapuolista valuntaa (eng. subsurface drainage flow) ja veden laatutekijöitä. Peltolohkojen eroosio ja ravinnehuuhtoumaa laskettiin useiden vuosien ajan mitattujen valunta-arvojen ja virtaamaan suhteutettujen vesinäytteiden perusteella. Vesinäytteiden suhteuttaminen virtamaan parantaa peltolohkojen eroosion ja ravinnehuuhtouman määrän arvioimista (Puustinen ym. 2010).

Aurajoen ja Lintupajun koepeltoalueilla mitattiin myös suojavyöhykkeiden ja -kaistojen vaikutusta eroosion ja ravinnehuuhtouman määrään. Tämän lisäksi aineistoja on kerätty neljältä eri rakennetulta kosteikolta: Hovin rakennettu kosteikko (Koskiaho ym. 2003, Liikanen ym. 2004), Rautalammen sedimentaatioallas, Alastaron kosteikko (Häikiö 1998) ja Flytträskin rakennettu kosteikko (Koskiaho ym. 2003). Rautalammen sedimentaatioallas ja Hovin kosteikko rakennettiin tutkimuskäyttöön, kun taas Alastaron ja Flytträskin kosteikot ovat osittain luonnontilaisia.

Koepeltolohkoilta mitatuissa vuosittaisissa ravinnekuormitusluvuissa oli paljon vuosien välistä vaihtelua, mutta Puustinen ym. (2007a) löysivät tutkimuksessaan vuosien välillä tiettyjä samankaltaisuuksia. Kahdentoista kuukauden tutkimusjaksot luokiteltiin kahteen eri hydrologisen vuoden luokkaan: 1) Sateinen syksy ja lauha ja sateinen talvi. 2) Kuiva syksy ja kylmä syksy ja luminen talvi. Eroosion ja ravinnekuormituksen vaihtelu eri hydrologisina vuosina perustuivat Aurajoen koepeltoalueilta kerättyihin aineistoihin (Puustinen ym. 2005). Myöhemmin Puustinen ym. (2010) käyttivät Aurajoen tutkimuksen vuosia laskiessaan samanlaisia laskelmia myös Kotkanojan ja Liperin aineistoista. Laskelmiin perustuen vuodet

on ryhmitelty VIHMA-mallissa kolmeen luokkaan: Korkean ravinnekuormituksen, keskimääräisen ravinnekuormituksen ja vähäisen ravinnekuormituksen vuodet. Hydrologisen vuoden luonteen mukaan vastaavat vuodet ovat: lauha ja sateinen talvi, keskimääräinen talvi, kuiva syksy ja luminen talvi. VIHMA laskee pitkän ajan keskimääräistä vuosikuormitusta erikseen jokaiselle hydrologiselle vuodelle (Puustinen ym. 2010).

2.5.4. RUSLE2015-eroosiomalli

RUSLE2015 on Euroopan alueelle kehitetty eroosiomalli, joka mahdollistaa laajamittaisten eroosiokarttojen tuottamisen paikkatieto-ohjelmistojä hyödyntäen (Lilja ym. 2017a). RUSLE2015-malli on kehitetty aikaisemmasta kenttämittauksiin perustuvasta RUSLE -mallista, mutta kenttämittausten sijaan sen kehitys on perustunut vahvasti kaukokartoitusmenetelmiin. Mallin tuottamia tuloksia voidaan pitää tieteellisesti kiistanalaisina, koska ne eivät perustu simuloiteihin tai kenttämittauksiin. Aiempien kenttämittauksiin perustuneiden USLE- ja RUSLE -mallien on ollut vaikea laskea pohjoisten maatalousalueiden eroosiota. Nämä mallit on kehitetty alun perin perustuen Yhdysvalloista koepeltolohkoilta kerättyihin laajamittaisiin aineistoihin. Suomen ja muiden pohjoisten maatalousalueiden sääolosuhteet ja peltolohkojen ominaisuudet ovat hyvin erilaisia verrattuna Yhdysvaltoihin, minkä vuoksi mallia on täytynyt kehittää vastaamaan paremmin Suomen olosuhteita.

Lilja ym. (2017a) arvioivat RUSLE2015-mallin toimivuutta Suomen olosuhteissa ja optimoivat mallin antamia kuormitusarvoja käyttäen mittausaineistoa kuudelta pitkäaikaiselta koepeltoalueelta. Optimoinnin jälkeen mallin tulosten arvioitiin kuvaavan melko hyvin peltolohkojen todellista eroosiota Suomen olosuhteissa. RUSLE2015-mallilla Suomen peltolohkojen keskimääräiseksi eroosioksi on laskettu $0.460 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (Lilja ym. 2017b), mikä vastaa melko hyvin aiemmin VIHMAlla laskettua keskimääräistä eroosiota ($0.530 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) (Puustinen ym. 2010). VIHMAN laskelmat toimivat RUSLE-mallin laskelmien referenssiaineistona. RUSLE-mallin on todettu toimivan parhaiten, kun vuosittainen eroosio vaihtelee 7 ja $45 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ välillä (Lilja ym. 2017a).

RUSLE2015-malli perustuu GIS-dataan ja mallissa on käytetty ainoastaan Euroopan alueelta kerättyjä aineistoja. Maaperän eroosio lasketaan mallissa seuraavalla kaavalla:

$$A = R * K * LS * C * P$$

, missä R on sateen aiheuttaman eroosion määrä, K on maaperän eroosioherkkyys, LS on topografinen tekijä, C on kasvipeitteisyys ja viljelytoimenpiteet, P on eroosion kontrollointitoimenpiteet.

R-kerroin kuvaa eroosiota, jonka sadepisarat aiheuttavat osuessaan maanpintaan (splash-dominated soil detachment), mikä on Suomessa suhteellisen pientä. Tämän vuoksi R-kerroin ei kuvaa täysin eroosion määrää etenkin savimailla (Lilja ym. 2017a). Suomessa lumen ja roudan sulamissykleillä on suuri vaikutus peltolohkojen eroosioon. K-kerroin kuvaa maaperän eroosioherkkyttä, ja sen arvo riippuu eloperäisen aineksen pitoisuudesta, maaperän rakenteesta, läpäisevyydestä ja profiilirakenteesta. LS-kerroin on laskettu DEM-aineistosta (digital elevation model) ja se on riippuvainen DEMin resoluutiosta.

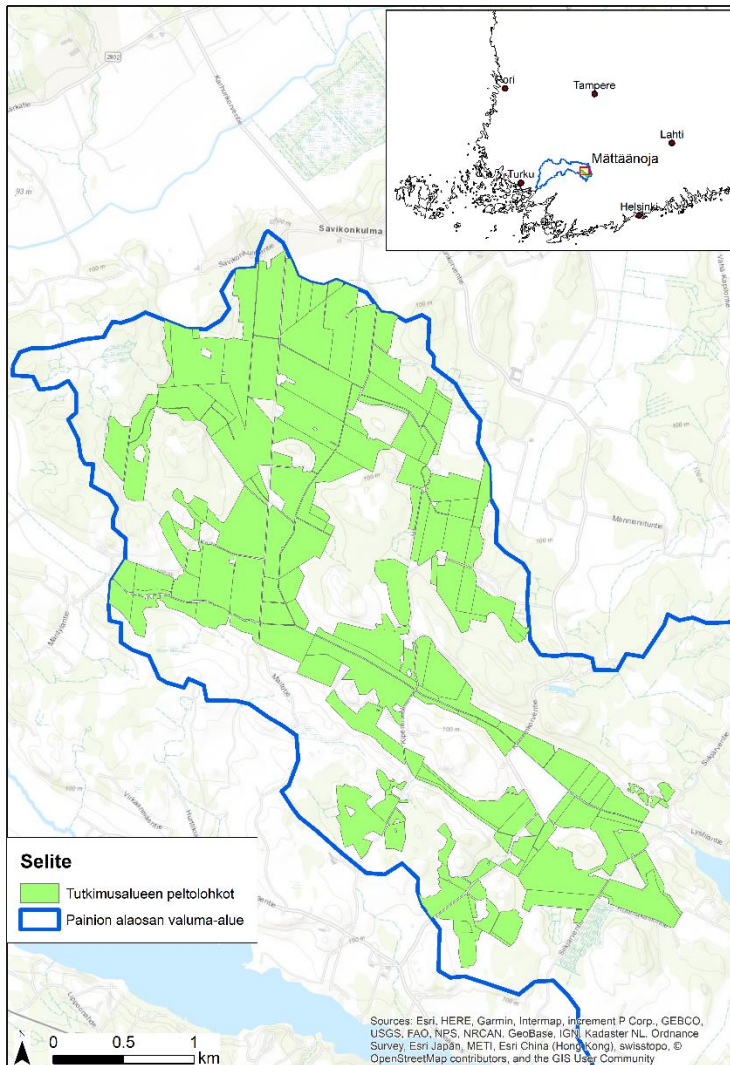
C-arvo kuvaa peltolohkoilla suoritettavia viljelytoimenpiteitä ja kasvipeitteisyyden määrää. Lilja ym. (2017a) suorittavat herkkyysanalyysijä, joiden perusteella C-kertoimella todettiin olevan kaikkein suurin vaikutus mallinnustulosten tarkkuuteen. Analyysin tulosten mukaan kevytmuokattujen peltojen ja nurmipeltojen eroosiolta suojaava vaikutus on pienempi boreaalisissa olosuhteissa, kuin mitä RUSLE2015-mallin tulosten perusteella voisi olettaa. Mallinnustarkkuus parani, kun C-arvoja optimoitiin vastaamaan paremmin Suomen olosuhteita. Peltomaan kasvipeitteettömäksi jättävät muokkausmenetelmät aiheuttivat ristiriitaisia mallinnustuloksia. Tämän arvioidaan johtuvan jäätymis- ja sulamissykleistä, jotka vaikuttavat eniten kasvipeitteettömään maaperään. Jäätymis- ja sulamissykliä vaikutuksista maaperään tarvitaan vielä lisää tutkimustietoa, jotta C-kerroin saadaan optimoitua boreaaliin olosuhteisiin. P-kerroin kuvaa peltolohkoilla eroosion kontrollointiin käytettäviä toimenpiteitä. RUSLE-tyyppisissä malleissa P-kerroin on kaikista kertoimista epävarmin. Salaojitus on suojakaistojen ohella tärkein eroosiolta suojaava toimenpide, eikä näiden toimenpiteiden eroosiota ehkäisevistä vaikutuksista tiedetä tarkasti.

RUSLE2015-mallin vahvuutena on sen helppokäyttöisyys, mikä mahdollistaa eroosiokarttojen tuottamisen kätevästi paikkatieto-ohjelmistoissa. Lilja ym. (2017b) tuottivat RUSLE2015-

mallilla eroosiokarttoja Suomen viljelyalueilta. Tuotettu rasteriaineisto on resoluutioltaan 2 x 2 m, ja siinä on laskettu jokaiselle pikselille ominaiskuormitus (t/ha/v).

3. Tutkimusalue

Tutkimusalue kattaa Mättäänojan valuma-alueen, joka on osa Painion alaosan valuma-aluetta (kuva 9). Painion alaosan valuma-alue on 3. jakovaiheen osavaluma-alue Paimionjoen valuma-alueella. Mättäänojan valuma-alueen pinta-ala on 1050 ha (10,5 km²) ja tästä peltoalaa on noin 560 ha (5,6 km²). Mättäänoja laskee vetensä valuma-alueen kaakkoispuolella sijaitsevaan Painionjärveen. Mättäänojan alajuoksulle on tehty kosteikko ja neljä pohjapatoa vuonna 2014. Peltoala on kokonaisuudessaan kosteikon yläjuoksun puolella, ja näin kaikki pelloilta huuhtoutuvat vedet ja ravinteet virtaavat kosteikon läpi ennen päätymistään Painionjärveen. Kosteikon ja pohjapatojen tavoitteena on pidättää kiintoainesta ja ravinteita, ja näin vähentää ravinnekuormituksen määrää.



Kuva. 9. Mättäänöjan tutkimusalue on osa Painion alaosan valuma-aluetta, joka on kolmannen jakovaiheen osavaluma-alue Paimionjoen valuma-alueella. Tutkimusalueen peltolohkojen pinta-ala on 560 ha. Valuma-alueen pinta-alasta yli 50 % on peltoja.

Tutkimusalueen peltolohkojen vallitseva maalaji on savi, mutta tutkimusalueella on myös kivennäismaita ja eloperäisiä maita. Valtaosa tutkimusalueen viljelyalasta on kevätkylvöisiä viljoja (59 %) ja syysviljojen osuus on ainoastaan n. 8 % (taulukko 3.). Kevätviljoista 24,5 % on syyskynnöllä muokattua alaa, 48,1 % kevytmuokattua alaa (30,5 % kultivoitua ja 17,5 % sänkimuokattua), 20,6 % sänkipeltoa ja 6,7 % suorakylvettyä alaa. Ympäristökorvausjärjestelmän mukainen talviaikainen kasvipeitteisyys kattaa 84,5 % peltoalasta. Talviaikainen kasvipeitteisyys sisältää ympäristösitoumuksen mukaisen kasvipeitteisyyden, jossa on mukana myös kevytmuokattu peltoala. Kasvipeitteisyyttä täyttävästä pinta-alasta 35,8 % on kevytmuokattua peltoalaa ja loput 64,2 % aitoa

kasvipeitteisyyttä. Aito kasvipeitteisyys sisältää sänkimuokkauksen, suorakylvön, kaikki syyskylvöiset viljat, pysyvän kasvipeitteisyyden ja kesannot. Suojavyöhykesitoumuksen alaisia nurmia on yhteensä 39 ha.

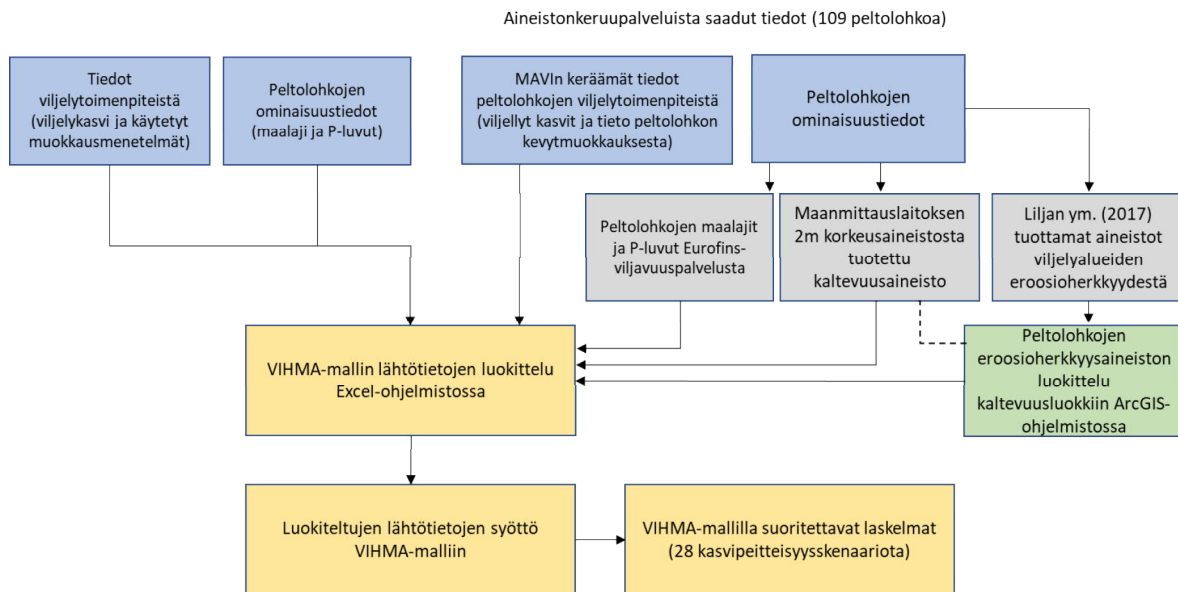
Taulukko 3. Viljelyalan (ha) jakauma eri kaltevuusluokissa. Kevätviljat sisältävät kyntöalan, kevytmuokatun alan, sänkipellot ja suorakylvetyt alan. Syysviljat sisältävät kaikki syyskylvöiset viljakasvit.

	< 0,5 %	0,5 -1,5 %	1,5-3,0 %	3,0-6,0 %	> 6,0 %	Pinta-ala (ha)
Kevätviljat	0	215.7	93.5	18.4	0	327.6
Syysviljat	0	36.9	9.2	0	0	46.2
Pysyvät nurmet	0	43.3	89.6	10.3	0.3	143.5
Avokesanto	0	3.2	0	0	0	3.2
Suojavyöhyke	0	19.4	11.1	7.4	0.8	38.7
Yhteensä (ha)	0	318.5	203.4	36.1	1.1	559.1

4. Aineistot ja menetelmät

4.1. Tutkimusasetelma

VIHMA-mallilla suoritettavia laskelmia varten on kerätty aineistoja Mättäänöjan peltolohkojen ominaisuuksista ja viljelytoimenpiteistä. Peltolohkojen ominaisuuksia ovat kaltevuus, eroosioherkkyys, p-luku ja maalaji. Kaltevuusaineisto on tuotettu Maanmittauslaitoksen 2m korkeusmallista (Digital elevation model, DEM). Ravinnekuormituslaskelmissa käytettävät eroosioherkkyysaineistot perustuvat Lilja ym. (2017b) RUSLE2015-mallilla tuottamaan kiintoaineen ominaiskuormitusta kuvaavaan rasteriaineistoon. Mallinuksissa käytettävät P-luvut (fosforiluku) ja maalajit perustuvat maanviljelijöiltä suoraan kerättyihin peltolohkokohtaisiin aineistoihin ja EuroFins-viljavuuspalvelun tietoihin Someron kunnan keskimääräisistä P-luvuista ja maaleista. Peltolohkokohtaisia tietoja viljelytoimenpiteistä on kerätty suoraan alueella toimivilta maanviljelijöiltä, ja näiden tietojen puuttuessa on käytetty Mavin maanviljelijöiltä keräämiä tietoja. Viljelymenetelmiin perustuvia tietoja ovat peltolohkon viljelykasvi ja käytetyt muokkausmenetelmät. Aineistojen käsittelyyn ja luokitteluun on käytetty Excel- ja ArcGIS-ohjelmistoja (kuva 10.).



Kuva 10. VIHMA-mallilla suoritettavia kuormituslaskelmia varten kerätyt aineistot ja käytetyt menetelmät. Lähtötietoja on kerätty suoraan maanviljelijöiltä ja eri aineistonkeruupalveluista (Maaseutuvirtasto, Eurofins ja Maanmittauslaitos). Kerättyjä aineistoja on käsitelty ja muokattu VIHMA-mallia varten Excel- ja ArcGIS-ohjelmistoissa.

4.2. VIHMA-mallin lähtötiedot

4.2.1. Maanviljelijöiltä kerätyt peltolohkokohtaiset aineistot

Tutkimusta varten on kerätty peltolohkokohtaisia tietoja neljältä Mättäänöjan alueella toimivalta maanviljelijältä. Viljelijöiltä kerättyjä tietoja ovat peltolohkojen viljelykasvit, käytetyt muokkausmenetelmät, talven ajan kasvipeitteiset lohkot, p-luvut (fosforiluvut) ja maalajit (taulukko 4.). Kaikkiaan tietoja viljelytoimenpiteistä kertyi yhteensä 118 peltolohkoilta, mutta maalajeista ja P-luvuista on tietoja vain pieneltä osalta peltolohkoista. Peltolohkokohtaisia tietoja on kerätty maanviljelijöiltä joulukuussa 2016 ja helmikuussa 2017. Kerätyt peltolohkotiedot kattavat 2016 vuoden kevään ja syksyn tilanteen. Viljelijöiltä kerätyt peltolohkotiedot toimivat lähtötietoina VIHMA-mallissa. Mallin lähtöaineistona käytetään viljelijöiltä saatuja tietoja käytetyistä muokkausmenetelmistä ja kasvipeitteisyydestä.

Taulukko 4. Esimerkkitaulukko viljelijöiltä kerätyistä peltolohkokohtaisista tiedoista. Kevään ja syksyn kasvipeitteisyydet kuvaavat vuoden 2016 tilannetta. Viljelijöiltä on kerätty tiedot käytetyistä muokkausmenetelmistä sekä peltolohkojen P-luvusta ja maalajeista.

Peltolohkon Kasvilaji 2016	Käytetyt muokkausmenetelmät	Kevään kasvipeitteisyys	Syksyn kasvipeitteisyys	P-luku	Maalaji
Moniv. kuivaheinä-, säilörehu- ja tuorerehunurmet	Ei muokkausta vuonna 2016	Ei kasvipeitettä	Kasvipeite	1.8	HeS
Moniv. kuivaheinä-, säilörehu- ja tuorerehunurmet	Ei muokkausta	Kasvipeite	Kasvipeite	4.4	HeS
Moniv. kuivaheinä-, säilörehu- ja tuorerehunurmet	Kynnetty 2016	Kasvipeite	Ei kasvipeitettä	2.6	HeS

4.2.2. Peltolohkoaineistot ja viljelytiedot

Peltolohkoaineistot ovat Maaseutuviraston (Mavi) kokoamia aineistoja ja ne koostuvat peltolohkorekisterin tiedoista sekä viljelytiedoista, jotka on yhdistetty yhdeksi aineistoksi ArcGIS -ohjelmistossa peruslohkotunnusten perusteella. Maaseutuviraston peltolohkorekisterin tietoja ovat peruslohkotunnus, peltolohkon pinta-ala, kehämitta ja rajatyypit. Viljelytiedot koostuvat jokaisen kalenterivuoden syksyllä viljelijöiden Maaseutuvirastolle ilmoittamista peltolohkokohtaisista tiedoista. Nämä tiedot sisältävät tilatunnukset, peruslohkotunnukset, kasvitunnukset, viljeltyt kasvilajit, luomutuotannon vaiheen, pinta-alat sekä tiedot kevytmuokkauksesta ja aidosta talviaikaisesta kasvipeitteisyydestä. Kynnetyn peltoalan määrä on arvioitu Mavin tiedoista perustuen kevytmuokatun peltoalan ja kevätiljojen määrään. Tutkimuksessa käytetyt viljely- ja peruslohkotiedot ovat vuoden 2016 tietoja. Tietoja kevytmuokatuista peltolohkoista ja talviaikaisesta kasvipeitteisyydestä on käytetty suoraan hyödyksi nykyisen kasvipeitteisyysjakauman laadinnassa. Varsinais-Suomen ELY-keskus on luovuttanut peltolohkokohtaiset tiedot tämän tutkimuksen käyttöön.

Muokkausmenetelmien osalta tutkimuksessa käytetään kahta eri lähtöaineistoa: tarkempia aineistoja, jotka perustuvat viljelijöiltä kerättyihin tietoihin ja Mavin keräämiin viljelytietoihin

sekä tarkempien aineistojen puuttuessa muokkausmenetelmien yleistä jakaumaa (taulukko 5.). Mavin aineistot sisältävät tiedon siitä, onko peltolohkolla käytetty kevytmuokkausta, eivätkä tarkempaa tietoa siitä, mitä kevytmuokkausmenetelmää on käytetty. Tämän vuoksi kevytmuokatut peltolohkot on jaettu matalaan ja syvään sänkimuokkaukseen Tilastokeskuksen yleisen jakauman perusteella. VIHMA-mallissa kevytmuokattu peltoala on jaettu matalaan sänkimuokkaukseen ja kultivointiin. Syvä sänkimuokkaus edustaa Tilastokeskuksen tiedoissa kulivointia. Kuormituslaskelmissa käytetään sekä suoraan viljelijöiltä kerättyjä tietoja muokkausmenetelmistä että Mavin viljelijöiltä keräämiä tietoja kevytmuokkauksesta, minkä lisäksi näiden tietojen puuttuessa yleistä muokkausmenetelmien jakaumaa.

Taulukko 5. Yleinen viljelymenetelmien jakaumat kevätiljoille. Rakennetutkimuksen tiedot näyttävät viljelymenetelmien keskimääräisen jakauman koko Suomen alueella. Viljelymenetelmien jakauma perustuu vuonna 2010 Tilastokeskuksen tekemään rakennetutkimukseen. Tiedot muokkausmenetelmien yleisistä jakaumista on saatu tämän tutkimuksen käyttöön Suomen ympäristökeskukselta.

	Kevätviljat (ha)	%
Kynnetty tai paljas maa	341,801	35.25%
Syvä sänkimuokkaus	109,373	11.28%
Matala sänkimuokkaus	72,915	7.52%
Sänkipeite	310,383	32.01%
Kerääjäkasvi	21,086	2.17%
Suorakylvö	114,182	11.77%
Nurmipeite		0.00%
Yhteensä	969,740	100.00%

4.2.3. Peltolohkojen P-luvut ja maalajit

Peltolohkojen maalajit ja P-luvut (fosforiluku) ovat Eurofins-viljavuuspalvelusta kerättyjä aineistoja, jotka perustuvat peltolohkoilta otetuista maaperänäytteistä tehtyihin laboratorioanalyysiin. Tilastotietoja voi hakea palvelusta kuntakohtaisesti, maakuntakohtaisesti tai koko maan osalta. Aikavälien 2001–2005 ja 2006–2010 tilastotiedot ovat ilmaiseksi saatavilla Excel-muodossa, mutta uusimman jakson (2011–2015) tilastotiedot ovat maksullisia aineistoja. Varsinais-Suomen ELY-keskus on antanut uusimman mittausjakson (2011–2015) tilastotiedot tämän tutkimuksen käyttöön.

Maalajitiedot ovat haettavissa viljavuuspalvelusta kunnittain maalajisuhteina. Tätä tutkimusta varten on haettu tiedot Someron kunnan viljelyalueiden maalajijakaumasta. Tiedot käsittävät pintamaalajien näytemäärät ja prosentuaaliset osuudet Someron kunnan alueella. VIHMAN lähtöaineistojen luokittelua varten maalajit on jaettu savimaiden, kivennäismaiden, hiesujen ja eloperäisten maiden suhteellisiin osuuksiin valuma-alueella.

Viljavuuspalvelusta on myös haettu tiedot Someron kunnan P-luvuista (fosforiluku). P-luvut on tilastoitu viljavuuspalvelussa viljavuusluokittain: huono, huononlainen, välttävä, tyydyttävä, hyvä, korkea ja arveluttavan korkea. Ne perustuvat maaperänäytteistä mitatun fosforin määrään (mg/l) ja tiedot sisältävät myös näytemäärien suhteelliset osuudet eri viljavuusluokissa. VIHMAa varten Someron kunnan P-lukujakaumat on luokiteltu kolmeen luokkaan: alle 8 mg/l, 8–14 mg/l ja yli 14 mg/l. Tiedot peltolohkojen P-luvuista ja maalajeista eivät ole tarkkoja tutkimusalueen tietoja vaan yleisiä jakaumia Someron kunnan alueelta. Tarkempia peltolohkokohtaisia tietoja P-luvuista ja maalajeista ei ole saatavilla.

4.2.4. Kosteikkotiedot

VIHMA-malliin tarvitaan lähtötietoina valuma-alueella sijaitsevien kosteikkojen pinta-alat sekä kosteikkojen yläpuolisten peltolohkojen pinta-alat (ha). Mavi tilastoi erityistuen piiriin kuuluvien kosteikkojen pinta-alat, koska tukea maksetaan kosteikoista pinta-alan perusteella. Sen sijaan erityistuen ulkopuolella olevien kosteikkojen pinta-alatietoja ei tilastoida. Erityistuen ulkopuolelle jäävien kosteikkojen pinta-alatiedot löytyvät kuitenkin pääsääntöisesti kosteikkosuunnitelmista. Kosteikkosuunnitelmien puuttuessa kosteikkojen kokoa täytyy arvioida ilmakuivista.

Mättäänöjan valuma-alueella sijaitsee yksi kosteikko (Mättäänöjan kosteikko). Mättäänöjan kosteikko ei kuulu erityistuen piiriin, minkä vuoksi Mavi ei ole tilastoinut kosteikon pinta-alaa. Varsinais-Suomen ELY-keskus on antanut tutkimusta varten Mättäänöjan kosteikkosuunnitelman, jossa on tieto kosteikon pinta-alasta (0,82 ha).

VIHMAan laitetaan lähtötietona kosteikon pinta-alan suhde valuma-alueen pinta-alaan. Esimerkiksi jos 1 ha kokokoisen kosteikon yläpuolinen valuma-alue on 100 ha, on kosteikon suhteellinen osuus koko valuma-alueesta 1 %. Tämän lisäksi VIHMAan tarvitaan kosteikon yläpuolisen valuma-alueen peltoala (ha). Mättäänöjan kosteikon yläpuolisen valuma-alueen

pinta-ala on 1048 ha (10,48 km²), josta peltoalueiden pinta-ala on n. 560 ha (5,6 km²). Kosteikon suhteellinen osuus koko valuma-alueesta on näin noin 0,08 %.

4.2.5. Peltolohkojen kaltevuudet

Peltolohkojen kaltevuudet on laskettu ArcGIS -ohjelmistossa Maanmittauslaitoksen 2m korkeusmallista (digital elevation model). Se on maanpinnan korkeutta kuvaava korkeusmalli, jonka ruutukoko on 2x2 m. Korkeusmalli on tuotettu laserkeilausaineistosta, jonka pistetiheys on vähintään 0,5 pistettä neliömetrillä. Tutkimuksessa käytettävä korkeusmalli 2m on ladattu Paituli-paikkatietopalvelusta.

ArcGIS-ohjelmistossa on tehty VIHMA-mallin lähtötietojen luokittelua varten kaltevuusaineisto, joka perustuu Maanmittauslaitoksen 2m korkeusmalliin. Ensimmäisessä vaiheessa korkeusmallista on leikattu Mättäänojan valuma-alueen peltolohkot, minkä jälkeen leikatusta korkeusaineistosta on laskettu peltolohkojen kaltevuudet slope-työkalulla (Spatial analyst tools → surface → slope). Analyysin tuloksena on saatu kaltevuusrasteri (2x2 m), josta on tämän jälkeen laskettu zonal statistics -työkalulla (Spatial analyst tools → surface → zonal statistics as a table) jokaisen peltolohkon keskikaltevuus. Tämän jälkeen peltolohkojen keskikaltevuustiedot on yhdistetty peruslohkotunnuksen perusteella viljelytietojen kanssa Join by attributes- työkalulla.

VIHMAa varten peltolohkot on luokiteltu ArcGIS- ohjelmistossa keskikaltevuuden perusteella viiteen luokkaan: < 0,5 %, 0,5–1,5 %, 1,5–3 %, 3–6 % ja > 6 %. Luokitellusta aineistosta näkyy eri viljelytoimenpiteiden määrä hehtaareina kaltevuusluokittain. Tiedot viljelytoimenpiteistä kaltevuusluokittain on tämän jälkeen tuotu Excel-ohjelmistoon, jossa on suoritettu lopullinen aineiston luokittelu VIHMA-laskelmia varten.

4.2.6. Peltolohkojen eroosioherkkyys

Tutkimuksessa käytettävä peltolohkojen eroosioherkkyysaineisto on Liljan ym. (2017b) RUSLE2015-mallilla tuottama rasteriaineisto (resoluutio 2 x 2 m), joka kattaa kaikki viljelyalueet. Rasteriaineiston jokaisella 2 x 2 m pikselillä on kiintoaineen ominaiskuormitusarvo (t ha⁻¹ yr⁻¹). VIHMAN lähtöaineistojen luokittelua varten

eroosioaineisto on käsitelty ArcGIS-ohjelmistossa. Rasteriaineistosta on ensin leikattu Mättäänöjan valuma-alueen peltolohkot, minkä jälkeen jokaiselle Mättäänöjan peltolohkolle on laskettu keskimääräinen eroosio zonal statistics -työkalun avulla (Spatial analyst tools → surface → zonal statistics as a table), minkä jälkeen työkalulla tuotettu eroosioaineisto on yhdistetty MAVIn viljelytietoihin Join by attributes -työkalulla.

VIHMA-laskelmia varten peltolohkot on luokiteltava kaltevuusjakauman mukaan. Seuraavassa vaiheessa eroosioherkimpien peltolohkojen viljelytoimenpiteet on jaettu kaltevuusluokkiin jokaisen kasvipeitteisyyskenaarion osalta. Tämä tarkoittaa, että esim. skenaariossa, jossa 30 % kasvipeitteisyys sijoitetaan eroosioherkimmille peltolohkoille, luokitellaan 30 % eroosioherkimmistä peltolohkoista kaltevuusluokkiin. Tämän jälkeen skenaarion mukaiset viljelytoimenpiteet sijoitetaan mallin lähtötiedoiksi luokitellun kaltevuusjakauman mukaisesti. Eroosioherkimmät peltolohkot kuuluvat enimmäkseen jyrkimpiin kaltevuusluokkiin, mutta osa niistä on loivemmissa kaltevuusluokissa (1,5–3 %).

4.3. Lähtötietojen luokittelu VIHMA-malliin

Kaikkien lähtötietojen lopullinen luokittelu VIHMA-laskelmia varten on tehty Excel -ohjelmistossa. Tutkimusalueen viljelytoimenpiteet (ha) on luokiteltu maalajeittain eri kaltevuusluokkiin. VIHMAssa maalajiluokat ovat savimaat, hiesut, karkeat kivennäismaalajit ja eloperäiset maalajit ja kaltevuusluokat ovat < 0,5 %, 0,5–1,5 %, 1,5–3 %, 3–6 % ja > 6 % (taulukko 6.). Peltolohkojen viljelytoimenpiteet on jaettu VIHMAssa neljään yläluokkaan: kevätkylvöiset viljat, syyskylvöiset viljat, pysyvä kasvipeitteisyys ja kesannot. Näistä jokaisella yläluokalla on alaluokkia. Kevätkylvöisten viljojen alaluokat ovat normaali syyskylvö, kultivointi syksyllä (10–15 cm), sänkimuokkaus syksyllä (alle 10 cm), talviaikainen sänki ja suorakylvö keväällä. Syyskylvöisten viljojen alaluokat ovat perinteinen kylvö/kylvö ja syysuorakylvö. Pysyvän kasvipeitteisyyden alaluokat ovat niitto- ja tuorehununurmet sekä pysyvä laidun. Kesantojen alaluokat ovat avokesanto ja nurmikesanto. Tutkimusalueen peltolohkojen maalaji- ja P-lukujakauma on määritetty Someron kunnan jakaumien perusteella. Someron kunnan peltolohkoista 76,76 % on savimaita, 7,05 % hiesuja, 13,65 % kivennäismaalajeja ja 2,53 % eloperäisiä maalajeja. P-luvuista 53 % on < 8 mg/l, 33 % 8–14 mg/l ja 14 % > 14 %.

Taulukko 7. Suojavyöhykepeltojen tiedot laitetaan VIHMAssa erillisiin taulukoihin, joissa suojavyöhykkeiden pinta-ala laitetaan hehtaareina viljelytoimenpiteittäin kaltevuusluokkiin samalla tavalla kuin muiden viljelytoimenpiteiden tiedot. Myös suojavyöhykepeltojen tiedoille on jokaisen maalajin osalta oma taulukko. Oheisessa taulukossa on luokiteltu suojavyöhykkeet savipelloille.

Pellot, joille perustetaan suojavyöhykkeet	Kaltevuusluokka					
	< 0,5 ha	0,5 -1,5 ha	1,5-3,0 ha	3,0-6,0 ha	> 6,0 ha	
Kevätkylvöiset (viljat, juurikas, peruna)						
Syysmuokkaus						
Normaali syyskyntö	0	0	0	0	0	0
Kevennetty muokkaus						
Kultivointi syksyllä (10-15cm)	0	0	0	0	0	0
Sänkimuokkaus syksyllä (alle 10cm)	0	0	0	0	0	0
Talviaikainen säntki	0	0	0	0	0	0
Muokkamatta viljely						
Suorakylvö (keväällä)	0	0	0	0	0	0
Talviaikainen kasvipeitteisyys						
Syysviljat (kaikki syyskylvöiset)						
Perinteinen kyntö/kylvö	0	0	0	0	0	0
Syysuorakylvö	0	0	0	0	0	0
Pysyvä kasvipeitteisyys						
Pysyvät nurmet						
Niitto- ja tuorerehunurmet	0	15	9	6	1	30
Pysyvä laidun	0	0	0	0	0	0
Energiakasvit						
Ruokohelpi	0	0	0	0	0	0
Kesanto						
Avokesanto	0	0	0	0	0	0
Nurmikesanto	0	0	0	0	0	0
	0	15	9	6	1	30

Taulukko 8. VIHMA-mallin lähtötiedot kosteikoista ja laskeutusaltaista. Mättäänajalla on yksi kosteikko, jonka suhteellinen koko on 0,08 % valuma-alueesta, ja jonka yläpuoleisen valuma-alueen peltopinta-ala on 560 ha.

NYKYTILA	
	Ei erittelyä maalajien mukaan
4. Kosteikot ja laskeutusaltaat	
	Peltoa yläpuol.
Laskeutusaltaan koko:	val.-alueella / ha
Laskeutusaltaan koko VA:sta 0,05 %	0
Laskeutusaltaan koko VA:sta 0,1 %	0
Laskeutusaltaan koko VA:sta 0,2 %	0
Kosteikon koko:	
Kosteikon koko VA:sta 0,3 %	560
Kosteikon koko VA:sta 0,4 %	0
Kosteikon koko VA:sta 0,5 %	0
Kosteikon koko VA:sta 1 %	0
Kosteikon koko VA:sta 1,5 %	0
Kosteikon koko VA:sta 2 %	0
Kosteikon koko VA:sta 2,5 %	0
Kosteikon koko VA:sta 3,0 %	0
Kosteikon koko VA:sta 4,0 %	0
Kosteikon koko VA:sta 5,0 %	0
YHT	560

4.4. VIHMA-mallilla tehdyt ravinnekuormituslaskelmat

VIHMalla on laskettu kiintoaine- ja ravinnekuormitusta nykytilassa sekä neljässä kasvipeitteisyyskenaariossa, joissa nykytilan mukainen kasvipeitteisyys on sijoitettu kaltevimmille tai eroosioherkimmille peltolohkoille (Skenaariot nykytila 1–5) (Taulukko 9.). Nykytilan mukaisissa skenaarioissa on käytössä vuoden 2016 viljelytoimenpiteet, talviaikainen kasvipeitteisyys ja suojavyöhykkeet. Nykytilan mukaisissa skenaarioissa on ympäristösitoumuksen mukaista talviaikaista kasvipeitteisyyttä 84,5 % ja aitoa kasvipeitteisyyttä 54,2 % Mättäänajan peltoalasta. Ympäristösitoumuksen mukainen kasvipeitteisyys sisältää myös kevytmuokatun peltoalan.

Nykytilan lisäksi kuormitusta on laskettu 24 kasvipeitteisyyskenaariossa, joissa kasvipeitteisyyden prosentuaalinen määrä valuma-alueella muuttuu. Kasvipeitteisyyttä on eri skenaariossa 30 %, 50 %, 70 % tai 90 %, ja se on joko aitoa kasvipeitteisyyttä tai kasvipeitteistä

ja kevytluokattua alaa. Kun skenaarioissa puhutaan kasvipeitteisyydestä, on niissä mukana myös kevytluokattu peltoala. Aito kasvipeitteisyys kattaa sen sijaan vain aidon ympäristösitoumuksessa määritetyn kasvipeitteisyyden. Kasvipeitteisyyden sijainti muuttuu skenaarioissa siten, että se sijaitsee joko nykyisen kasvipeitteisyysjakauman mukaisesti, jyrkimmillä peltolohkoilla tai eroosioherkimmillä peltolohkoilla. Kahdeksassa ensimmäisessä skenaariossa kasvipeitteisyys on sijoittunut valuma-alueelle nykyisen kasvipeitteisyysjakauman mukaisesti (skenaariot 1–8). Skenaarioissa 9–16 kasvipeitteisyys on sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille ja skenaarioissa 17–24 eroosioherkimmille peltolohkoille.

Kasvipeitteisyyskkenaariossa 1–4, 9–12 ja 17–20 kasvipeitteiset lohkot sisältävät kaikki ympäristösitoumuksessa talviaikaisen kasvipeitteisyyden piiriin kuuluvat viljelytoimenpiteet. Tähän kuuluvat kevytluokkaus, sänkipelto, syysviljat, kerääjäkasvit, pysyvä kasvipeitteisyys ja kesannot. Skenaarioissa 5–8, 13–16 ja 21–24. kasvipeitteiset peltolohkot sisältävät ainoastaan aidon ympäristösitoumuksessa määritellyn kasvipeitteisyyden. Aitoon kasvipeitteisyyteen ei kuulu kevytluokattu peltoala. Suojavyöhykenurmia ei määritellä erikseen talviaikaisen kasvipeitteisyyden piiriin, eikä niiden määrä tai sijainti muutu nykyisestä eri kasvipeitteisyyskkenaarioiden välillä.

Taulukko 9. VIHMA-mallin ravinnekuormituslaskelmissa käytetyt kasvipeitteisyyskkenaariot. Skenaarioita on yhteensä 28, ja niissä kasvipeitteisyyden määrä ja sijainti vaihtelevat.

Nykytila 1.	Nykytilassa on käytössä tämänhetkiset viljelytoimenpiteet, talviaikainen kasvipeitteisyys ja suojavyöhykkeet.
Nykytila 2.	Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Nykytila 3.	Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Nykytila 4.	Aito kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Nykytila 5.	Aito kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Skenaario 1.	30 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 2.	50 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 3.	70 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 4.	90 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 5.	30 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 6.	50 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 7.	70 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 8.	90 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys tasaisesti koko alueella.
Skenaario 9.	30 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 10.	50 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 11.	70 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 12.	90 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 13.	30 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 14.	50 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 15.	70 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 16.	90 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.
Skenaario 17.	30 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Skenaario 18.	50 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Skenaario 19.	70 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.

Skenaario 20.	90 % kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Skenaario 21.	30 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Skenaario 22.	50 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Skenaario 23.	70 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.
Skenaario 24.	90 % aito kasvipeitteisyys talvella. Kasvipeitteisyys sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille.

Lähtötietoina VIHMAan laitetaan ensin Excel-ohjelmistossa luokitellut nykytilan mukaiset viljelytoimenpiteet hehtaareina. Viljelytoimenpiteet on luokiteltu maalajeittain eri kaltevuusluokkiin. Nykytilan mukaisen kasvipeitteisyyden lisäksi jokaiseen kuormituslaskelmaan lisätään myös yksi kasvipeitteisyyskenaario, jossa viljelytoimenpiteet on luokiteltu skenaarion mukaan maalajeittain eri kaltevuusluokkiin. Kasvipeitteisyyskenaarion lähtötiedoille on VIHMAssa erilliset taulukot, joissa viljelytoimenpiteiden jakaumaa muutetaan kulloisenkin skenaarion mukaan. VIHMAlla laskettavista 28 kasvipeitteisyyskenaariosta on tehty 28 erillistä ravinnekuormituslaskelmaa, joista jokainen kattaa nykytilan mukaisen ravinnekuormituslaskelman ja yhden kasvipeitteisyyskenaarion mukaisen laskelman.

VIHMAssa on laskettu valmiiksi jokaiselle viljelytoimenpideluokalle empiiriseen aineistoon perustuvat ominaiskuormitusluvut, joiden perusteella se laskee ravinnekuormitusta. VIHMA laskee tulokset automaattisesti suoraan lähtötiedoista, ja laskennan tulokset on eritelty erillisillä tulosvälilehdillä. VIHMAN tulosvälilehdillä esitetään kiintoaineen, TotP, PartP, DRP, TotN ja NO₃N kuormitus kokonaiskuormituksena (kg/v) sekä pinta-alaan suhteutettuna ominaiskuormituksena (kg/ha/v). Tulosvälilehdillä näkyvät eri viljelytoimenpiteiden kiintoaine- ja ravinnekuormitukset maalajeittain ja kaltevuusluokittain. VIHMA laskee ravinnekuormitusta erikseen lauhille, keskimääräisille ja kylmille talville.

5. Tulokset

5.1. Tulosten käsittely

Tuloksissa käsitellään VIHMAlla tehdyistä ravinnekuormituslaskelmista saatuja tuloksia. VIHMAlla on laskettu yhteensä 28 eri kasvipeitteisyyskenaarioihin perustuvaa ravinnekuormituslaskelmaa, jotka on tarkemmin eritelty aineistot ja menetelmät -osiossa. Tulososio 5.2. käsittelee nykytilan mukaista kiintoaine- ja ravinnekuormitusta eri hydrologisina vuosina sekä viljelytoimenpiteittäin ja kaltevuusluokittain (skenaario: nykytila 1.) (taulukko 10.). Tulososio 5.3. käsittelee kasvipeitteisyyden määrän ja laadun vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen (skenaariot: nykytila 1 ja skenaariot 1–8). Kasvipeitteisyyden laadun vaikutuksia ravinnekuormitukseen tarkastellaan skenaarion nykytila 1 avulla ja määrän vaikutuksia skenaarioiden 1–8 avulla. Tulososio 5.4. käsittelee peltolohkojen kaltevuuden vaikutusta ravinnekuormitukseen (skenaariot 1–8 ja 9–16) ja tulososio 5.5. peltolohkojen eroosioherkkyyden vaikutusta ravinnekuormitukseen (skenaariot 1–8 ja 17–24). Kaikkien VIHMAlla laskettujen kasvipeitteisyyskenaarioiden kuormitus- ja ominaiskuormitusluvut löytyvät liitteistä.

Taulukko 10. Tulososiot ja niissä käsitellyt kasvipeitteisyyskenaariot.

Tulokset	Skenaariot
5.2. Kiintoaine- ja ravinnekuormitus nykytilassa	Nykytila 1
5.3. Kasvipeitteisyyden laadun ja määrän vaikutukset kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen	Nykytila 1 ja skenaariot 1–8
5.4. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen	Skenaariot 1–8 ja 9–16
5.5. Peltolohkojen eroosioherkkyyden vaikutukset kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen	Skenaariot 1–8 ja 17–24

5.2. Kiintoaine- ja ravinnekuormitus nykytilassa

Nykytilan mukaisella kasvipeitteisyydellä Mättäänöjan viljelyalueiden kiintoainekuormitus on keskimääräisinä talvina n. 235 261 kg/v. Kylminä talvina kiintoainekuorma on selvästi keskimääräisiä talvia pienempää (189 167 kg/v) ja lauhoina talvina suurempaa (271 522 kg/v) (Taulukko 11.). Suhteessa keskimääräisiin talviin kiintoainekuorma kasvaa lauhoina talvina n. 15 % ja pienenee kylminä talvina n. 20 %. Myös partikkelifosforin (PartP), kokonaisfosforin (TotP), -typen (TotN) ja nitraattien (NO₃-N) kuormitus on suurinta lauhoina talvina ja pienintä kylminä talvina. Reaktiivisen liukoisen fosforin (DRP) kuormitus puolestaan kasvaa sekä lauhoina että kylminä talvina suhteessa keskimääräiseen talveen, niin että se on kaikkein suurinta kylminä talvina. DRP-kuormituksen muutokset hydrologisten vuosien välillä ovat kuitenkin melko pieniä.

Taulukko 11. VIHMA-mallilla laskettu kiintoaine- ja ravinnekuormitus nykyisellä kasvipeitteisyydellä (skenaario nykytila 1.). Malli laskee kuormituksen erikseen kolmelle hydrologiselle vuodelle (keskimääräiset talvet, lauhat talvet ja kylmät talvet), minkä lisäksi VIHMA laskee erikseen viljelyalueiden vuosittaista kokonaiskuormitusta (kg/v) ja ominaiskuormitusta (kg/ha/v).

Nykytilan mukainen kasvipeitteisyys			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Kiintoaine	235 261	271 522	189 168
PartP	317	356	268
DRP	161	164	168
TotP	477	519	437
TotN	6368	6832	5319
NO ₃ -N	4237	4695	3623
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Kiintoaine	452	522	364
PartP	0.609	0.683	0.516
DRP	0.309	0.315	0.324
TotP	0.917	0.998	0.839
TotN	12.2	13.1	10.2
NO ₃ -N	8.1	9.0	7.0

Valtaosa tutkimusalueen peltolohkoista (299 ha) on kaltevuudeltaan loivia (0,5–1,5 %), minkä vuoksi suurin osa kiintoainekuormasta on peräisin loivilta peltolohkoilta (taulukko 12.). Ominaiskuormitusluvut (kg/ha/v) ovat kuitenkin loivilla peltolohkoilla huomattavasti jyrkkiä

peltolohkoja pienempiä, joten suhteessa pinta-alaan jyrkempien peltolohkojen kiintoainekuormitus on loivia peltolohkoja suurempaa. Suurin ominaiskuormitusluku (974 kg/ha/v) on kaltevuusluokan (3–6 %) peltolohkoilla. Jyrkimmän kaltevuusluokan (> 6 %) ominaiskuormitusluku ei ole suurin, koska kaikki tämän kaltevuusluokan peltolohkot ovat pysyviä nurmia, joilla eroosio on huomattavasti kevätiljoja pienempää, koska ne ovat talven ajan kasvipeitteisiä.

Taulukko 12. Mättäänojan viljelytoimenpiteiden kiintoainekuormitus kaltevuusluokittain nykytilan mukaisella kasvipeitteisyydellä. Taulukossa kuvataan eri viljelytoimenpiteiden keskimääräistä vuosikuormitusta (kg/v) keskimääräisenä talvena kaltevuusluokittain.

Kiintoainekuormitus nykytilassa		0,5–1,5	1,5–3,0	3,0–6,0	> 6,0	Yhteensä
Syyskynnetyt (kevätiljat)	kg/v	90 934	62 784	23 317		177034
syysviljat	kg/v	10 815	5501			16315
pysyvät nurmet	kg/v	7902	27 537	4645	168	40252
avokesanto	kg/v	1659				1659
Yhteensä	kg/v	111310	95 822	27 962	168	235260
		309.9				
Ominaiskuormitus	kg/ha/v	372.2	498.2	974.4	648.3	452.1
Peltolohkot	ha	299.1	192.3	28.7	0.3	520.4

Valtaosa kiintoainekuormasta tulee peltolohkoilta, joilla viljellään kevätiljoja. Kevätiljoilla on suurin kiintoainekuorma, koska valtaosa näistä peltolohkoista on kynnettyjä tai kevytmuokattuja. Syksyllä muokatut peltolohkot ovat talven ajan kasvipeitteettömiä, mikä altistaa niitä suuremmalle eroosiolle ja kasvattaa kiintoainekuormaa. Pysyvillä nurmilla ja avokesannoilla kiintoainekuormat ovat huomattavasti muita viljelytoimenpiteitä pienempiä.

Reaktiivisen liukoisin fosforin (DRP) kuormitus on absoluuttisesti suurinta lovilla peltolohkoilla (Taulukko 13.). Suurin osa DRP-kuormasta on peräisin loivilta peltolohkoilta, jossa kasvatetaan kevätiljoja. Liukoisin fosforin ominaiskuormitusluvut (kg/ha/v) ovat hyvin lähellä toisiaan eri kaltevuusluokkien välillä.

Taulukko 13. Reaktiivisen liukoisen fosforin kuormitus (kg/v) kaltevuusluokittain nykytilan mukaisella kasvipeitteisyydellä. Kuormitusarvot kuvaavat tilannetta keskimääräisenä talvena.

DRP-kuormitus nykytilassa		0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht.
Syyskynnetyt (kevätiljat)	kg/v	61.3	28.8	5.0	0	95.1
syysviljat	kg/v	18.0	3.4	0	0	21.4
pysyvät nurmet	kg/v	17.2	35.7	4.0	0.1	57.0
avokesanto	kg/v	0.7	0	0	0	0.7
Yhteensä	kg/v	97.3	67.9	9.0	0.1	174.3
Ominaiskuormitus	kg/ha/v	0.3253	0.3532	0.3121	0.3865	0.3349
Peltolohkot	ha	299.1	192.3	28.7	0.3	520.4

Myös typen kokonaiskuormituksesta (TotN) suurin osa tulee loivilta peltolohkoilta, jossa viljellään kevätiljoja (Taulukko 14.). Typen ominaiskuormitusluvut pienenevät kaltevuusluokan kasvaessa, mikä johtuu kevätiljojen suhteellisen osuuden pienenemisestä. Typen kuormitus on suurempaa kevätiljoilla kuin pysyvillä nurmilla ja kesannoilla.

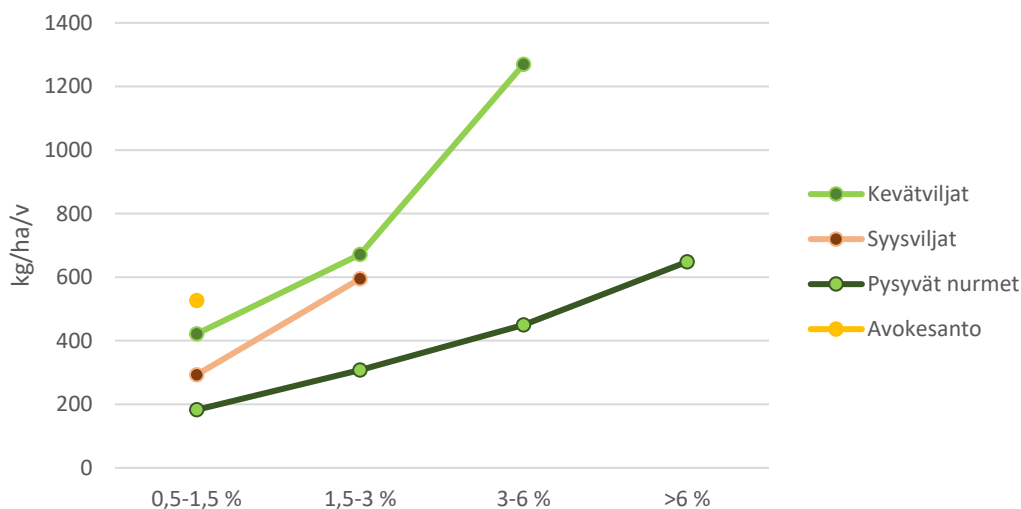
Taulukko 14. Typen kokonaiskuormitus kaltevuusluokittain nykytilan mukaisella kasvipeitteisyydellä. Kuormitusarvot kuvaavat tilannetta keskimääräisenä talvena.

TotN-kuormitus nykytilassa		0,5 -1,5	1,5-3,0	3,0-6,0	> 6,0	yht.
Syyskynnetyt (kevätiljat)	kg/v	2979	1231	219	0	4428
syysviljat	kg/v	609	176	0	0	786
pysyvät nurmet	kg/v	332	687	75	1.9	1096
avokesanto	kg/v	59	0	0	0	59
Yhteensä	kg/v	3979	2094	294	1.9	6368
Ominaiskuormitus	kg/ha/v	13.3	10.9	10.2	7.3	12.2
Peltolohkot	ha	299.1	192.3	28.7	0.3	520.4

5.3. Kasvipeitteisyyden laadun ja määrän vaikutukset kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen

5.3.1. Kasvipeitteisyyden vaikutukset kiintoainekuormaan

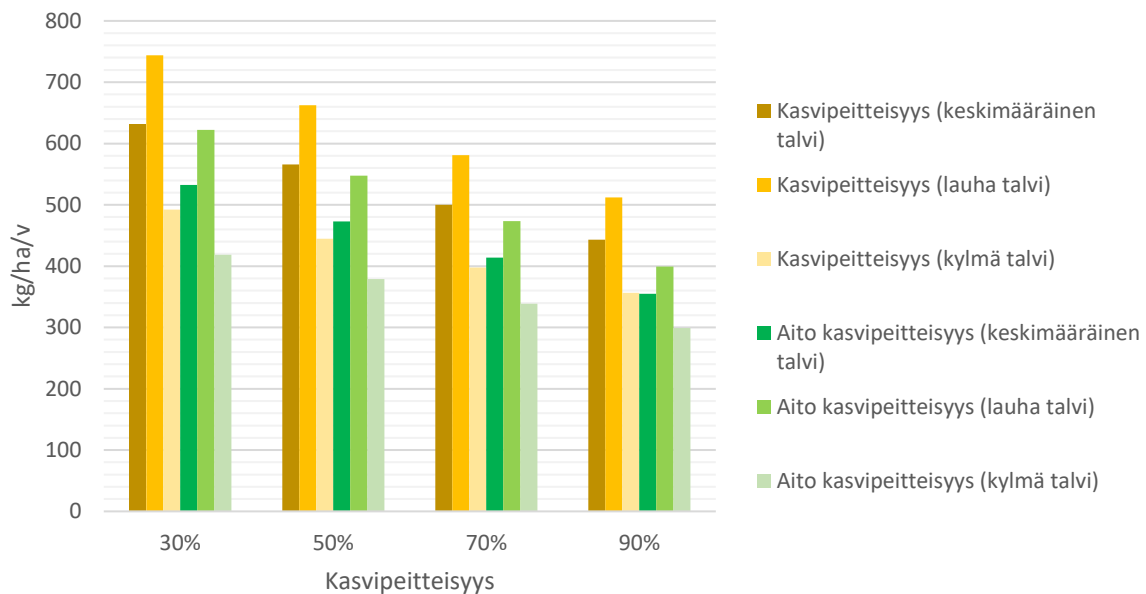
Kiintoaineen ominaiskuormitus on kaikkein suurinta kevätiljoilla ja avokesannoilla (kuva 11.) Ominaiskuormitusluvut suurenevat kaikilla viljelytoimenpiteillä kaltevuusluokan kasvaessa. Kevätiljoihin kuuluvat syyskynnetyt ja kevytmuokatut pellot sekä sänki ja suorakylvetyt pellot. Etenkin syyskynnetyn peltoalan osuus kasvattaa kevätiljojen ominaiskuormituslukuja. Sänkipelloilla ja kevytmuokatuilla peltolohkoilla kiintoainekuormitus on pienempää kuin kynnetyillä peltolohkoilla, mutta kuitenkin suurempaa kuin kasvipeitteisillä peltolohkoilla. Kiintoainekuormitus on kaikkein pienintä pysyvillä nurmipelloilla, jotka ovat vuoden ympäri kasvipeitteisiä.



Kuva 11. Kiintoaineen ominaiskuormitusluvut kaltevuusluokittain kevätiljoille, syysviljoille, pysyville nurmille ja avokesannoille. Kaltevuusluokat: 0.5–1.5 %, 1.5–3 %, 3–6% ja > 6 %. Kiintoainekuormitus on selvästi suurinta jyrkillä peltolohkoilla, joilla viljellään kevätiljoja (skenaario nykytila 1.).

Kiintoainekuormitus on kaikkina hydrologisina vuosina sitä pienempää, mitä suurempi osa valuma-alueen peltoalasta on talviaikaista kasvipeitteisyyttä (Kuva 12.). Aito kasvipeitteisyys pienentää kiintoainekuormitusta enemmän kuin kasvipeitteinen ja kevytmuokattu ala. Kiintoainekuormitus on kaikkein suurinta skenaarioissa, jossa talviaikaista kasvipeitteisyyttä on 30 % ja mukana on myös kevytmuokattua peltoalaa (skenaariot 1,9 ja 17). Lisäämällä aidon

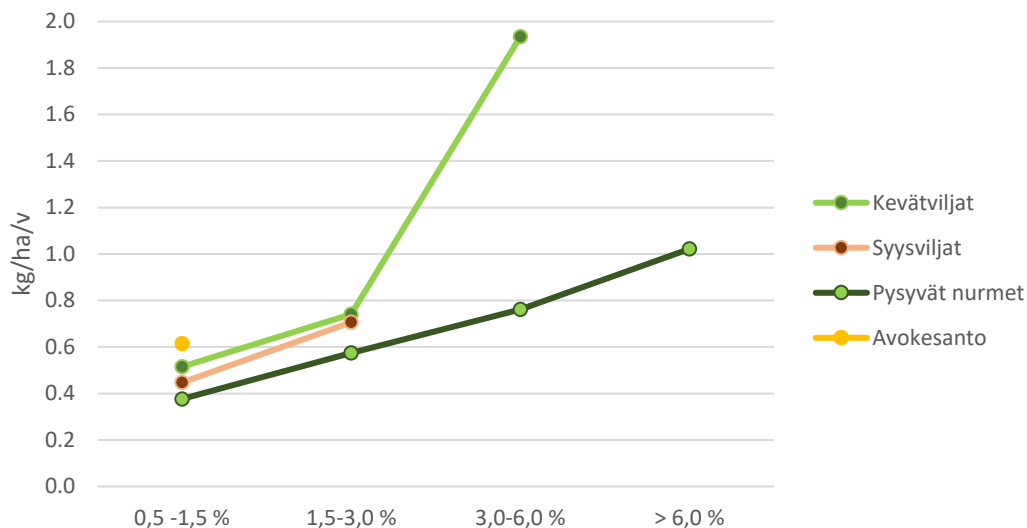
kasvipeitteisyyden määrää 30 %:sta 90:iin, voidaan vähentää kiintoainekuormitusta 34 %. Kaikissa skenaarioissa kiintoainekuormitus on suurinta lauhoina talvina ja pienintä kylminä talvina. Aidon kasvipeitteisyyden määrän ja kiintoainekuormituksen välillä on tilastollisesti erittäin merkitsevä negatiivinen korrelaatio kaikkina hydrologisina vuosina ($r = -0.99$, $n = 4$, 1-suuntaisen testin p -arvo $<0,001$).



Kuva 12. Kiintoainekuorma keskimääräisinä, lauhoina ja kylminä talvina eri kasvipeitteisyysskenaarioissa, kun kasvipeitteisyyden jakauma noudattaa nykyistä kaltevuusjakaumaa (skenaariot 1–8). Aito kasvipeitteisyys vähentää kiintoainekuormaa merkittävästi.

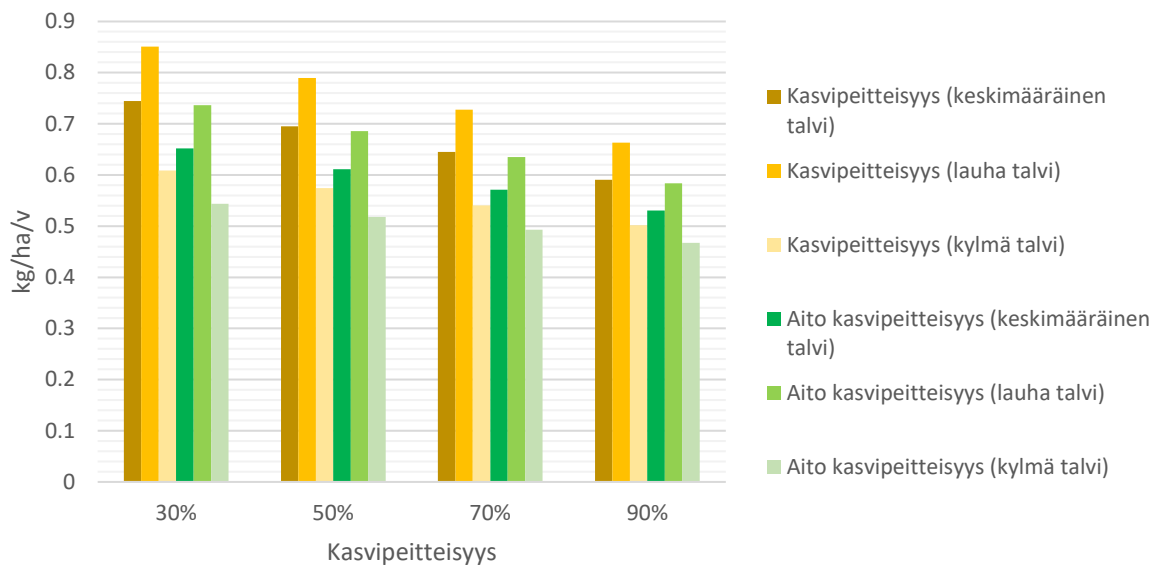
5.3.2. Kasvipeitteisyyden vaikutukset fosforikuormaan

Partikkelifosforin ominaiskuormitus eri viljelytoimenpiteillä ja eri kaltevuusluokissa noudattaa melko vahvasti kiintoainekuormituksen jakaumaa (kuva 13.). Loivimmassa kaltevuusluokassa 0,5–1,5 % partikkelifosforin ominaiskuormitus on kaikkein suurinta avokesannoilla ja pienintä pysyvillä nurmilla. Kaikkien viljelytoimenpiteiden ominaiskuormitus kasvaa, kun peltolohkon kaltevuus kasvaa. Partikkelifosforin ominaiskuormitus on selvästi suurinta kevätiljoilla kaltevuusluokassa 3–6 %. Etenkin syyskynnetyn peltoalan osuus kevätiljoissa kasvattaa partikkelifosforin kuormaa.



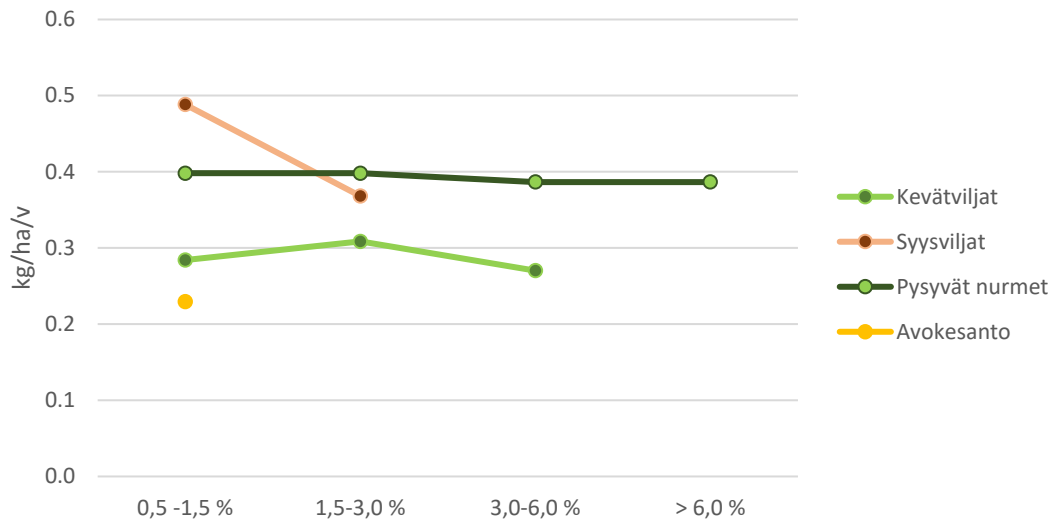
Kuva 13. Partikkelifosforin ominaiskuormitusluvut kaltevuusluokittain kevätiljoille, syysviljoille, pysyville nurmille ja avokesannoille. Partikkelifosforin kuormitus on selvästi suurinta jyrkillä pelloilla, joilla viljellään kevätiljoja (skenaario nykytila 1.).

Partikkelifosforin kuormitus pienenee kaikkina hydrologisina vuosina, kun kasvipeitteisyyden määrää skenaarioissa kasvatetaan (Kuva 14.). Aito kasvipeitteisyys pienentää kuormitusta enemmän kuin kevytmuokattu peltoala. Partikkelifosforin kuormitus on kaikissa kasvipeitteisyyskenaarioissa pienintä kylminä talvina ja suurinta lauhoina talvina. Partikkelifosforin kuormitus pienenee 19 % keskimääräisinä talvina, kun aidon kasvipeitteisyyden määrää lisätään 30 %:sta 90 %:iin. Aidon kasvipeitteisyyden määrän ja partikkelifosforikuormituksen välillä on kaikkina hydrologisina vuosina tilastollisesti merkitsevä negatiivinen korrelaatio ($r = -1$, $n = 4$, 1-suuntaisen testin p -arvo = 0,009).



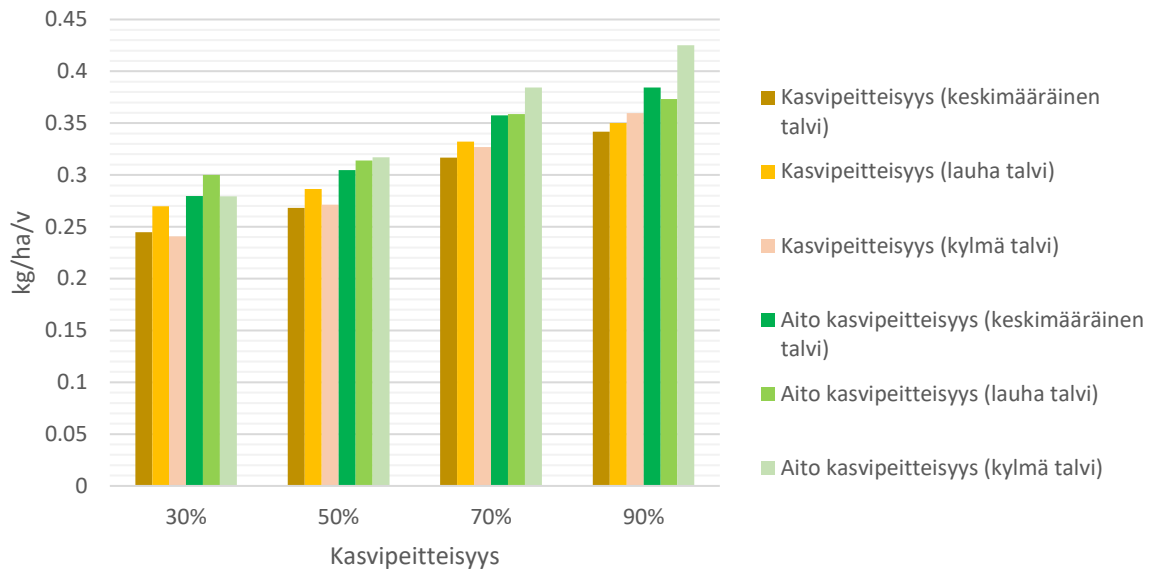
Kuva 14. Partikkelifosforin kuorma keskimääräisinä, lauhoina ja kyminä talvina, kun kasvipeitteisyyden jakauma noudattaa nykytilan mukaista kaltevuusjakaumaa (skenaariot 1–8). Aito kasvipeitteisyys vähentää partikkelifosforikuormaa merkittävästi.

Reaktiivisen liukoisen fosforin (DRP) kuormitus on suurinta loivimmassa kaltevuusluokassa syysviljoilla (0,46 kg/ha/v) ja pienintä avokesannoilla (0,23 kg/ha/v) (kuva 15.). Pysyvillä nurmilla DRP-kuormitus on suurta kaikissa kaltevuusluokissa. Syysviljoilla DRP-kuormitus pienenee kaltevuusluokan kasvaessa, mutta muissa viljelytoimenpiteissä kaltevuusluokalla ei ole merkittävää vaikutusta DRP-kuormituksen määrään.



Kuva 15. Reaktiivisen liukoisen fosforin ominaiskuormitusluvut kaltevuusluokittain kevätiljoille, syysviljoille, pysyville nurmille ja avokesannoille. Liukoisen fosforin kuormitus on suurinta syysviljoilla ja pysyvillä nurmilla ja selvästi pienintä avokesannoilla (skenaario nykytila 1.).

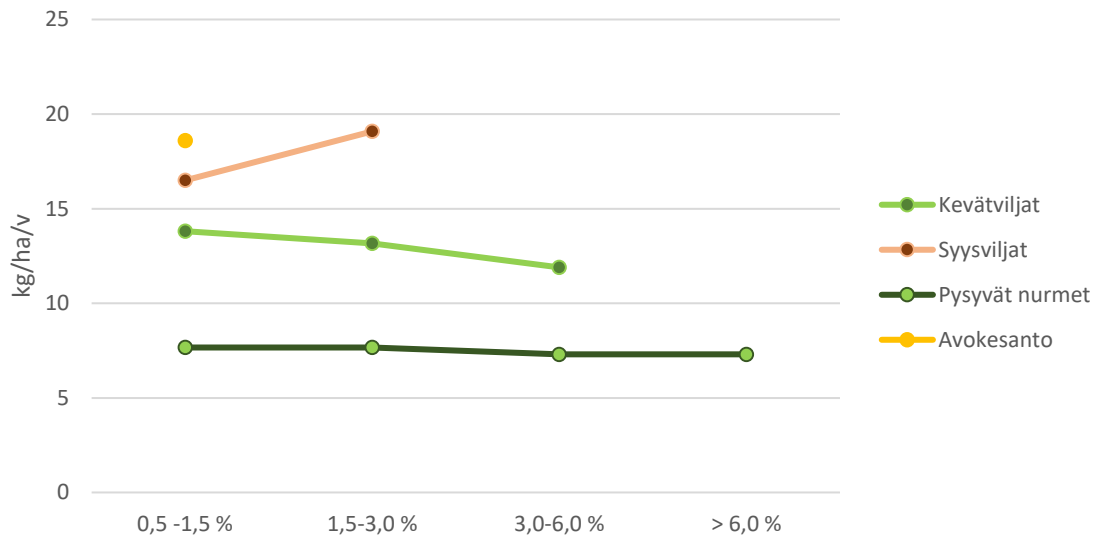
DRP-kuormitus kasvaa, kun kasvipeitteisyyden määrää lisätään, ja kuormitus on suurinta, kun kasvipeitteinen peltoala on aitoa kasvipeitteisyyttä (Kuva 16.). Liukoisen fosforin kuormitus on suurinta lauhoina talvina, kun 30 % peltoalasta on aitoa kasvipeitteisyyttä. Kun aidon kasvipeitteisyyden määrää lisätään, muuttuu DRP-kuormitus kaikkein suurimmaksi kylminä talvina. DRP-kuormitus kasvaa 37 % keskimääräisinä talvina, kun aidon kasvipeitteisyyden määrää lisätään 30 %:sta 90:iin. Aidon kasvipeitteisyyden määrän ja DRP-kuormituksen välillä on tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r = 0,99$, $n = 4$, 1-suuntaisen testin p -arvo = 0,01) kaikkina hydrologisina vuosina.



Kuva 16. Liukoisen fosforin kuorma keskimääräisinä, lauhoina ja kyminä talvina, kun kasvipeitteisyyden jakauma noudattaa nykytilan mukaista kaltevuusjakaumaa (skenaariot 1–8). Liukoisen fosforin kuorma kasvaa, kun kasvipeitteisyyden määrä skenaarioissa lisääntyy.

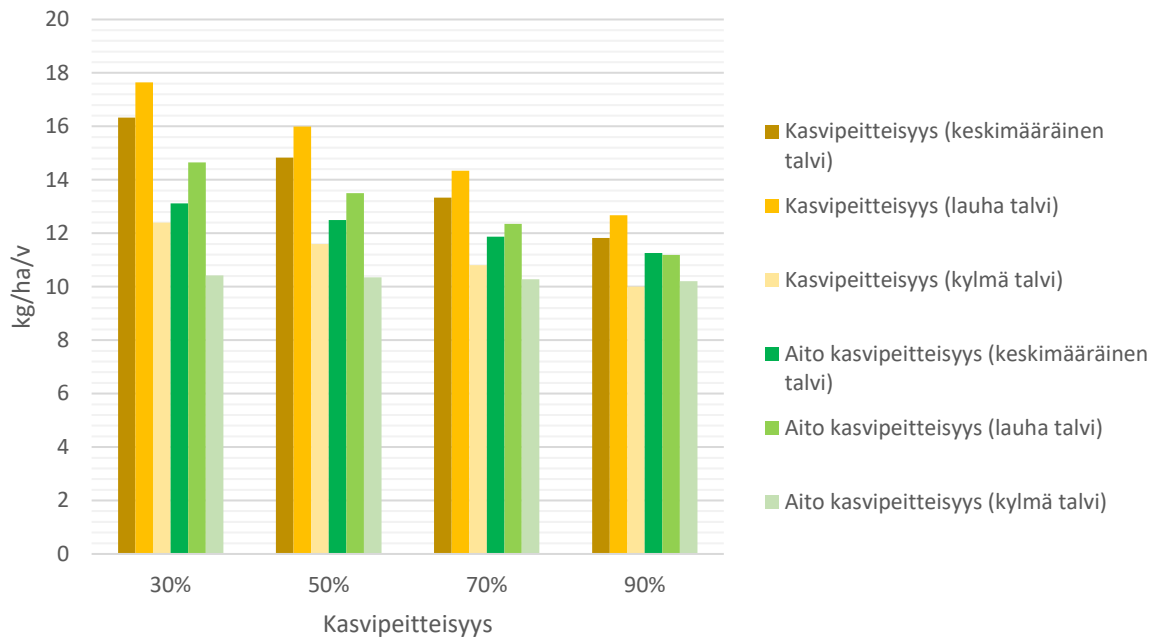
5.3.3. Kasvipeitteisyyden vaikutukset typpekuormaan

Kokonaistypen (TotN) ominaiskuormitus on kaikkein suurinta avokesannoilla ja syysviljoilla (kuva 17.). Syysviljoilla ominaiskuormitus kasvaa kaltevuusluokan kasvaessa. Kevätviljoilla ja pysyvillä nurmilla typen ominaiskuormitus pienenee kaltevuusluokan kasvaessa. Typen ominaiskuormitus on selvästi pienintä pysyvillä nurmilla. Erot typen ominaiskuormituksessa eri viljelytoimenpiteiden välillä ovat erittäin suuria, siten että syysviljoilla ja avokesannoilla typen kuormitus on yli kaksinkertaista verrattuna pysyviin nurmiin.



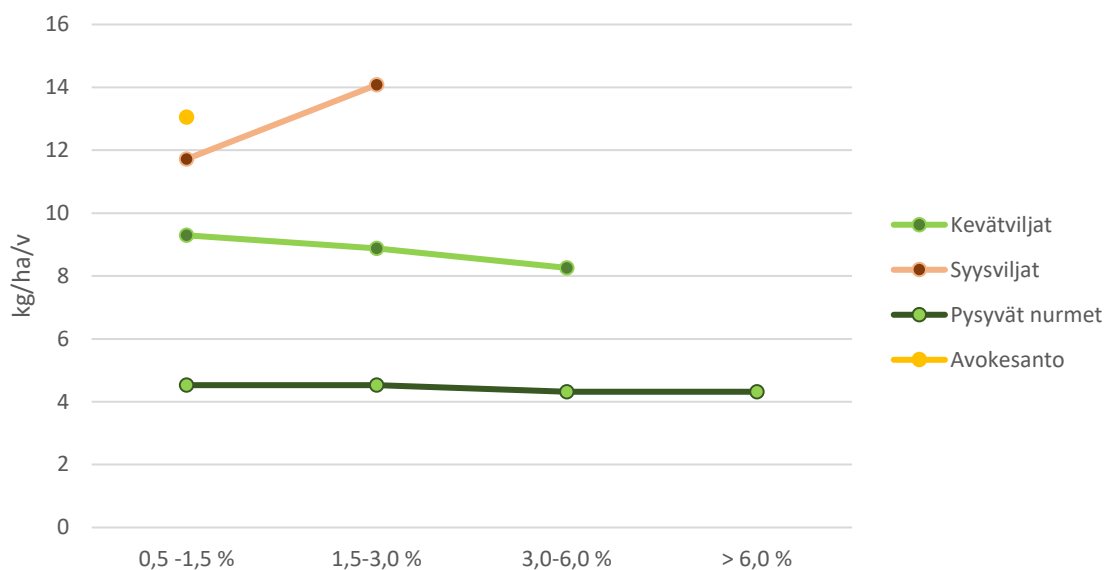
Kuva 17. Kokonaistypen ominaiskuormitusluvut kaltevuusluokittain kevätiljoille, syysviljoille, pysyville nurmille ja avokesannoille. Kokonaistypen kuormitus on selvästi suurinta avokesannoilla ja syysviljoilla sekä pienintä pysyvillä nurmilla kaltevuusluokasta riippumatta (skenaario nykytila 1.).

Typen kokonaiskuormitus pienenee kaikkina hydrologisina vuosina, kun kasvipeitteisyyden määrä skenaarioissa kasvaa (kuva 18.). Kuormitus on pienimmillään, kun kasvipeitteinen ala on pelkästään aitoa kasvipeitteisyyttä. Kylminä talvina aidon kasvipeitteisyyden määrän lisääminen vähentää vain hieman typen kokonaiskuormitusta, mutta keskimääräisinä ja lauhoina talvina kuormitus pienenee merkittävästi. Keskimääräisinä talvina typen kokonaiskuormitusta voidaan pienentää n. 14 % lisäämällä aidon kasvipeitteisyyden määrää 30 %:sta 90:iin. Aidon kasvipeitteisyyden määrän ja typen kokonaiskuormituksen välillä on tilastollisesti merkitsevä negatiivinen korrelaatio kaikkina hydrologisina vuosina ($r = -1$, $n = 4$, 1-suuntaisen testin p -arvo < 0.02).



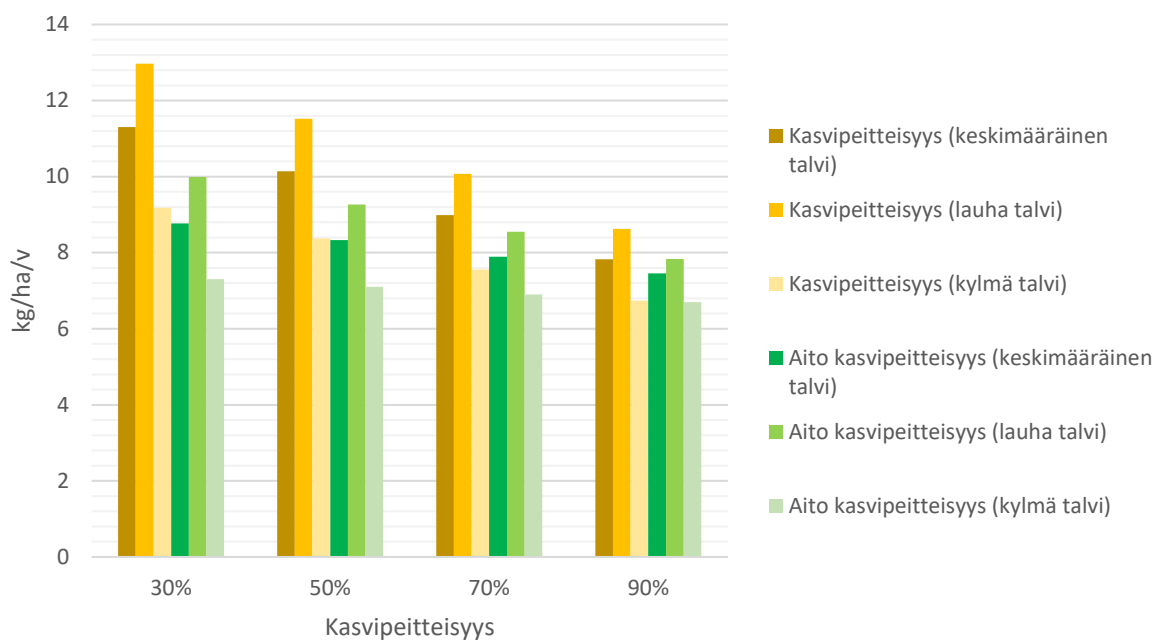
Kuva 18. Typen kokonaiskuorma keskimääräisinä, lauhoina ja kylminä talvina, kun kasvipeitteisyyden jakauma noudattaa nykytilan mukaista kaltevuusjakaumaa (skenaariot 1–8). Kasvipeitteisen peltoalan lisääminen pienentää typen kokonaiskuormitusta merkittävästi.

Nitraattikuormitus (NO₃-N) vaihtelee paljon eri viljelytoimenpiteiden välillä (kuva 19.). Nitraattikuormitus on selvästi suurinta avokesannoilla ja syysviljoilla ja pienintä pysyvillä nurmilla. Syysviljoilla nitraattikuormitus kasvaa kaltevuusluokan kasvaessa, kun taas kevätiljoilla nitraattikuormitus pienenee kaltevuusluokan kasvaessa. Pysyvillä nurmilla nitraattikuorma pienenee hieman peltolohkojen kaltevuuden kasvaessa.



Kuva 19. Nitraatin ominaiskuormitusluvut kaltevuusluokittain kevätiljoille, syysviljoille, pysyville nurmille ja avokesannoille. Nitraattien ominaiskuormitus on selvästi suurinta avokesannoilla ja syysviljoilla sekä pienintä pysyvillä nurmilla (skenaario nykytila 1.).

Nitraattikuormitus pienenee kasvipeitteisyyden määrän kasvaessa kaikkina hydrologisina vuosina (kuva 20.). Kasvipeitteisyyden nitraattikuormitusta pienentävä vaikutus on kaikkein suurinta lauhoina talvina. Aito kasvipeitteisyys pienentää nitraattikuormitusta huomattavasti enemmän kuin kevytluokattu peltoala. 30 % kasvipeitteisyyskenaariossa nitraattikuormitus on aidolla kasvipeitteisyydellä n. 22 % pienempää kuin, jos mukana on myös kevytluokattua peltoalaa. Kun kasvipeitteisyyden määrää lisätään, pienenee nitraattikuormitus enemmän skenaarioissa, joissa on mukana myös kevytluokattua peltoalaa. Tämä johtuu osaltaan siitä, että kynnetyn peltoalan suhteellinen osuus on suurempi kasvipeitteisyyskenaarioissa, joissa kasvipeitteinen pinta-ala on sekä aitoa kasvipeitteisyyttä että kevytluokattua alaa. Aidon kasvipeitteisyyden määrän ja nitraattikuormituksen välillä on kaikkina hydrologisina vuosina tilastollisesti merkitsevä negatiivinen korrelaatio ($r = -1$, $n = 4$, 1-suuntaisen testin p -arvo <0.015).

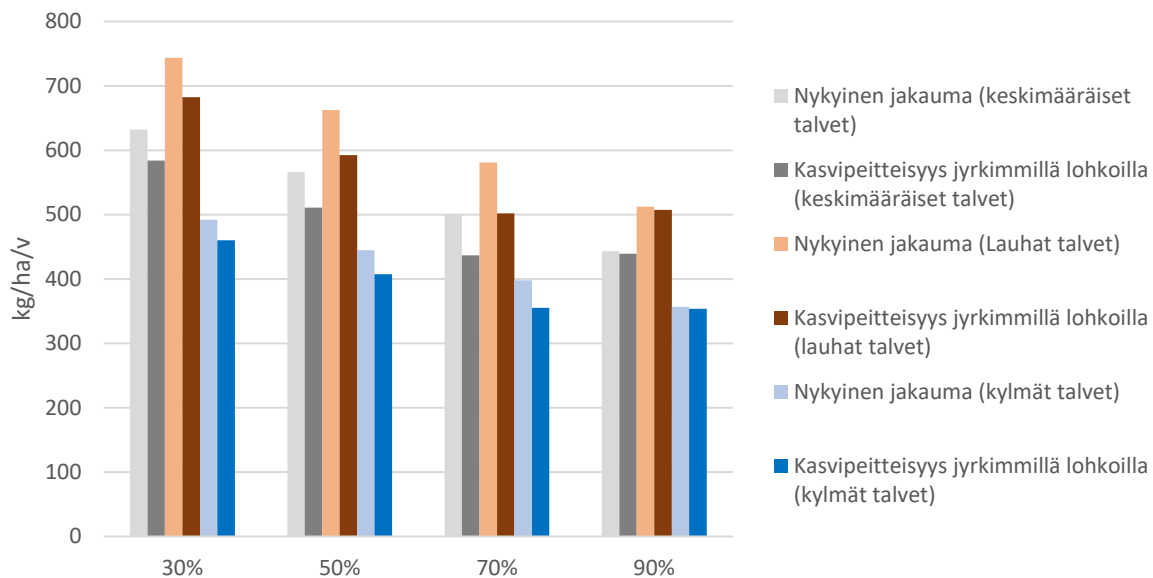


Kuva 20. Nitraattikuorma (NO₃-N) keskimääräisinä, lauhoina ja kylminä talvina, kun kasvipeitteisyyden jakauma noudattaa nykytilan mukaista kaltevuusjakaumaa (skenaariot 1–8). Nitraattikuormitus pienenee voimakkaasti kasvipeitteisyyden määrän kasvaessa.

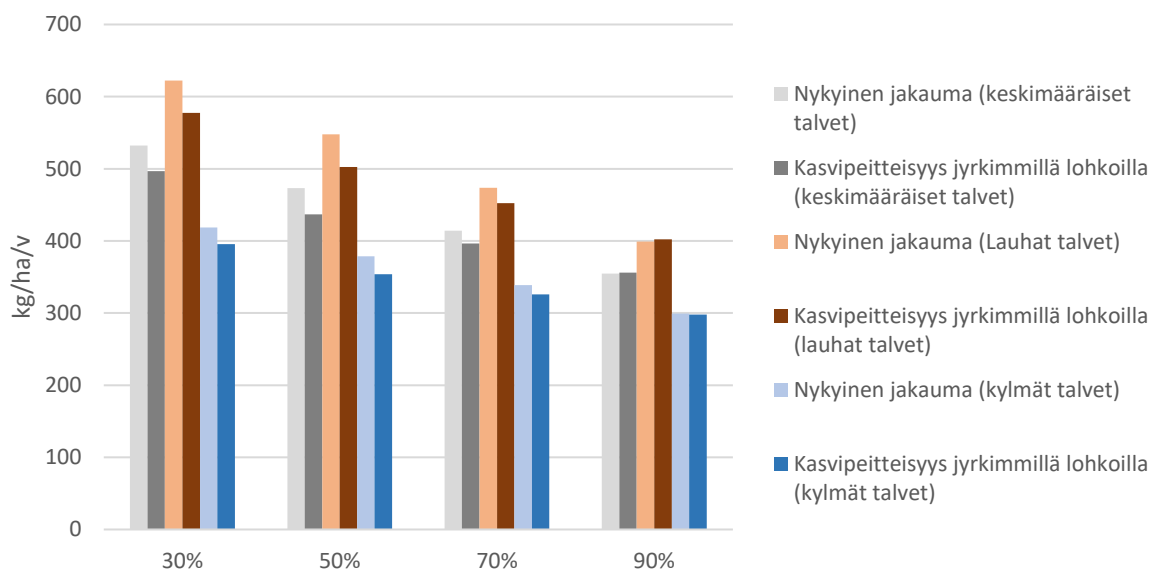
5.4. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset ravinnekuormitukseen

5.4.1. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset kiintoainekuormaan

Kun talviaikainen kasvipeitteisyys sijoitetaan jyrkimmille peltolohkoille, pienenee kiintoainekuormitus lähes kaikissa kasvipeitteisyyskenaarioissa ja kaikkina hydrologisina vuosina (kuvat 21. ja 22.). Skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyyttä on 90 %, ei kasvipeitteisyyden sijoittamisella jyrkimmille peltolohkoille ole merkittävää vaikutusta kiintoainekuormitukseen, koska tällöin valtaosa jyrkimmistä peltolohkoista on jo valmiiksi kasvipeitteisyyden peitossa. Kiintoainekuormitus on selvästi suurinta lauhoina talvina ja pienintä kylminä talvina.



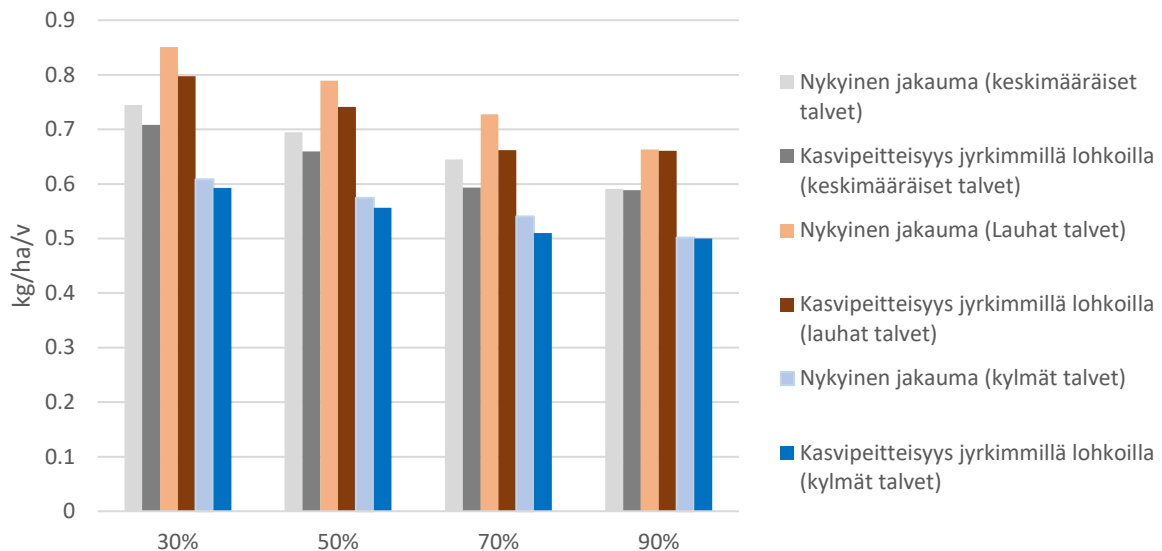
Kuva 21. Kiintoainekuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 9–12). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti. Kiintoainekuormitus pienenee merkittävästi, kun kasvipeitteisyys sijoitetaan jyrkimmille peltolohkoille.



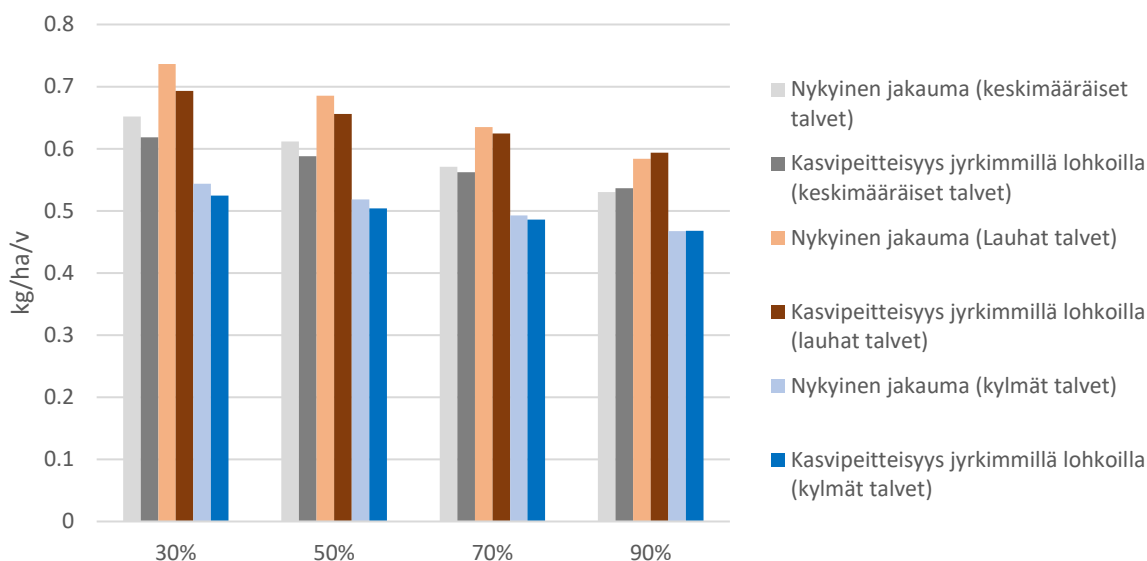
Kuva 22. Kiintoainekuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 13–16). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti. Kiintoainekuormitus pienenee merkittävästi, kun aito kasvipeitteisyys on sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille.

5.4.2. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset fosforikuormaan

PartP-kuormitus pienenee, kun kasvipeitteisyyttä sijoitetaan jyrkimmille peltolohkoille kaikissa muissa skenaarioissa paitsi skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyyttä on 90 % kokonaispeltoalasta (kuvat 23. ja 24.). PartP-kuormitus kasvaa hieman kaikkina hydrologisina vuosina, kun 90 % aito kasvipeitteisyys sijoitetaan nykyisen jakauman sijaan jyrkimmille peltolohkoille.

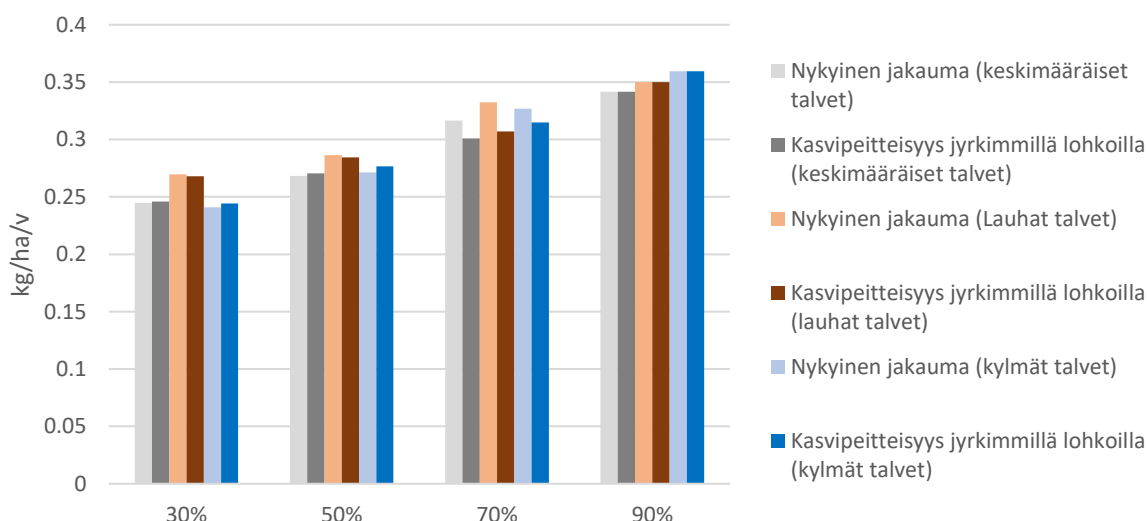


Kuva 23. PartP-kuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 9–12). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

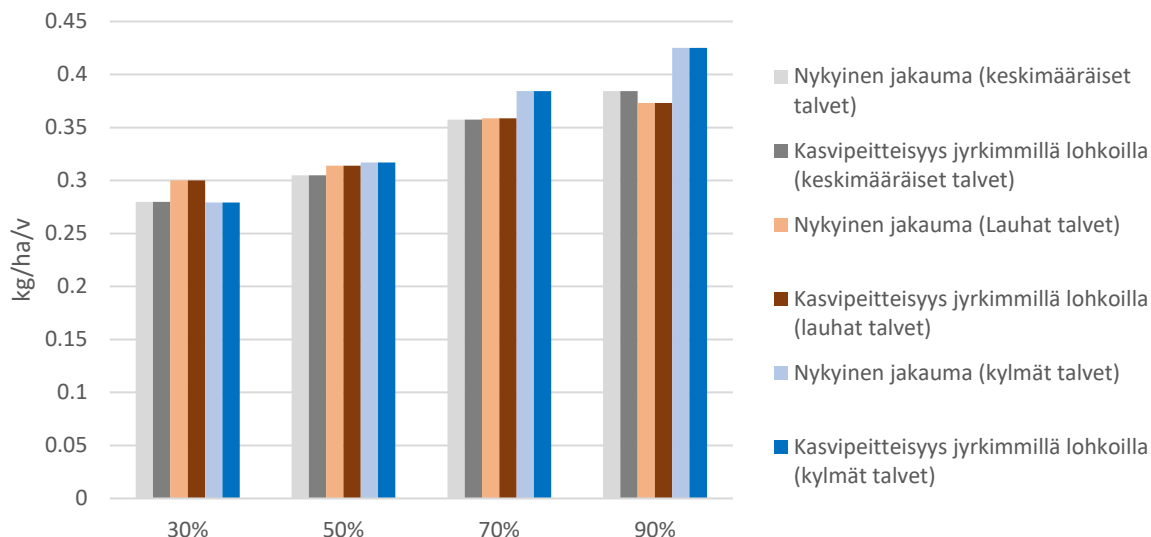


Kuva 24. PartP-kuorma kasvipeitteisyyskenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 13–16). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

Kasvipeitteisten peltolohkojen kaltevuudella ei ole suurta vaikutusta liukoisen fosforin kuormitukseen (kuvat 25. ja 26.). Kuormitukseen vaikuttaa huomattavasti enemmän kasvipeitteisyyden määrä, siten että, mitä suurempi osa pinta-alasta on aitoa kasvipeitteisyyttä, sitä suurempi on liukoisen fosforin kuormitus. Kevytmuokatun ja kasvipeitteisen peltoalan sijoittaminen jyrkimmille peltolohkoille pienentää hieman DRP-kuormaa skenaariossa, jossa kasvipeitteisyyttä on 70 %.



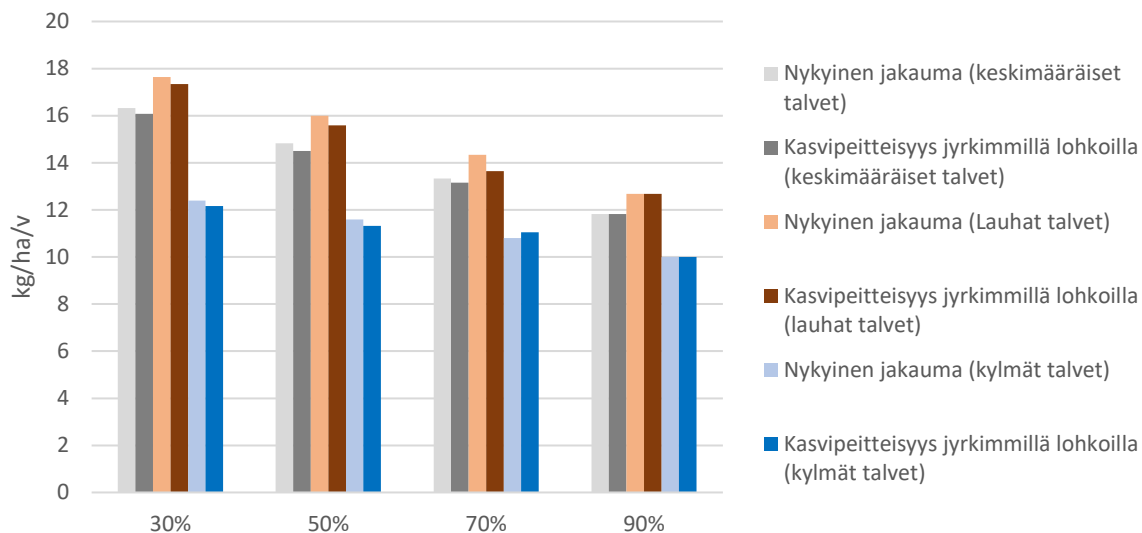
Kuva 25. DRP-kuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 9–12). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



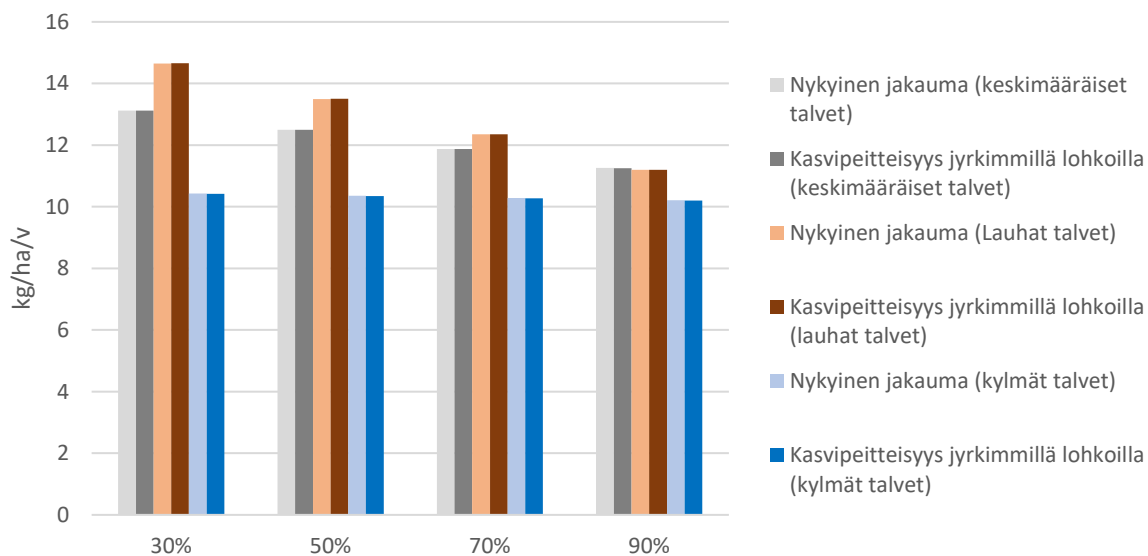
Kuva 26. DRP-kuorma kasvipeitteisyyskenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 13–16). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

5.4.3. Peltolohkojen kaltevuuden vaikutukset typpikuormaan

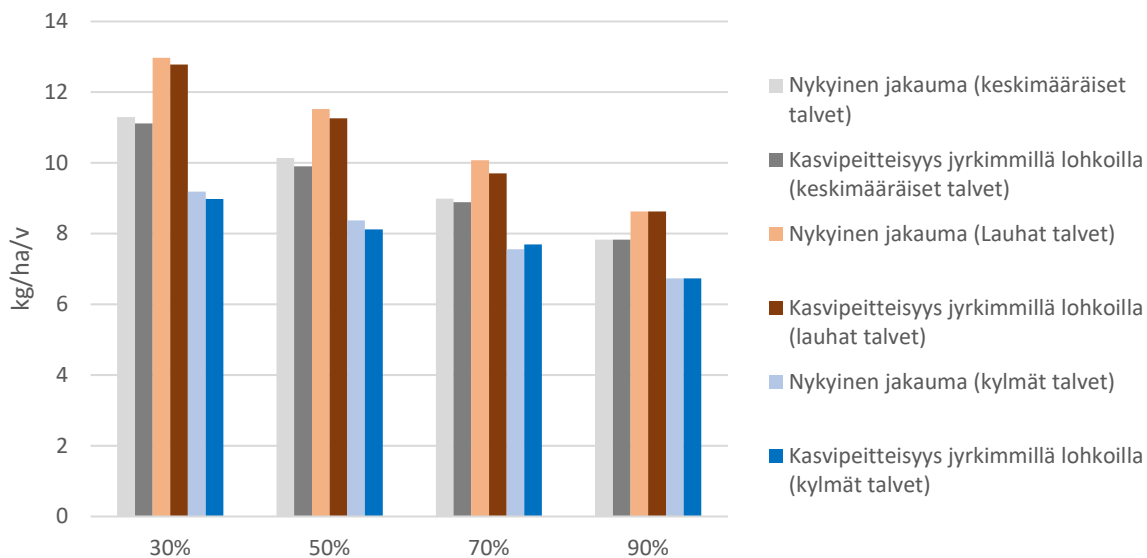
Typen kokonaiskuormitusta voidaan pienentää hieman sijoittamalla kasvipeitteistä ja kevytmuokattua peltoalaa jyrkimmille peltolohkoille (kuva 27.). Kuormitus pienenee kaikkein eniten skenaariossa, jossa 70 % kasvipeitteisyys sijoitetaan jyrkimmille peltolohkoille, ja vaikutus on kaikkein suurin lauhoina talvina. Kylminä talvina typen kokonaiskuormitus kasvaa hieman, kun kasvipeitteisyys on sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille. Aidon kasvipeitteisyyden osalta peltolohkojen kaltevuudella ei ole merkitystä typen kokonaiskuormitukseen (kuva 28.). Nitraattikuormitus noudattaa lähes täysin typen kokonaiskuormitusta (kuvat 29. ja 30.). Nitraattikuormituksen osuus typen kokonaiskuormituksesta on hieman alle 70 %.



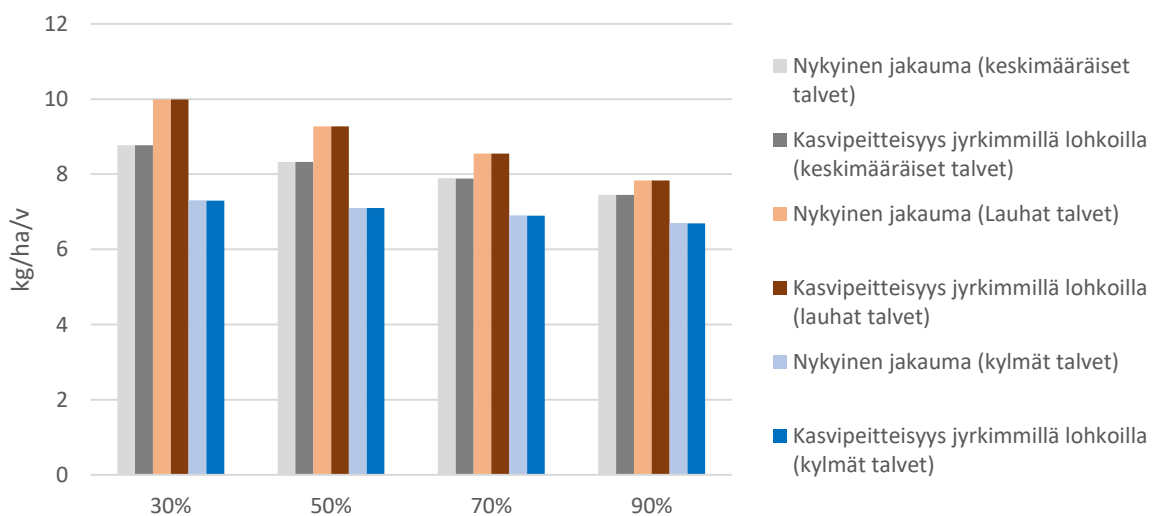
Kuva 27. TotN-kuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 9–12.). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



Kuva 28. TotN-kuorma kasvipeitteisyyskkenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 13–16). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



Kuva 29. NO₃-N-kuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 9–12). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

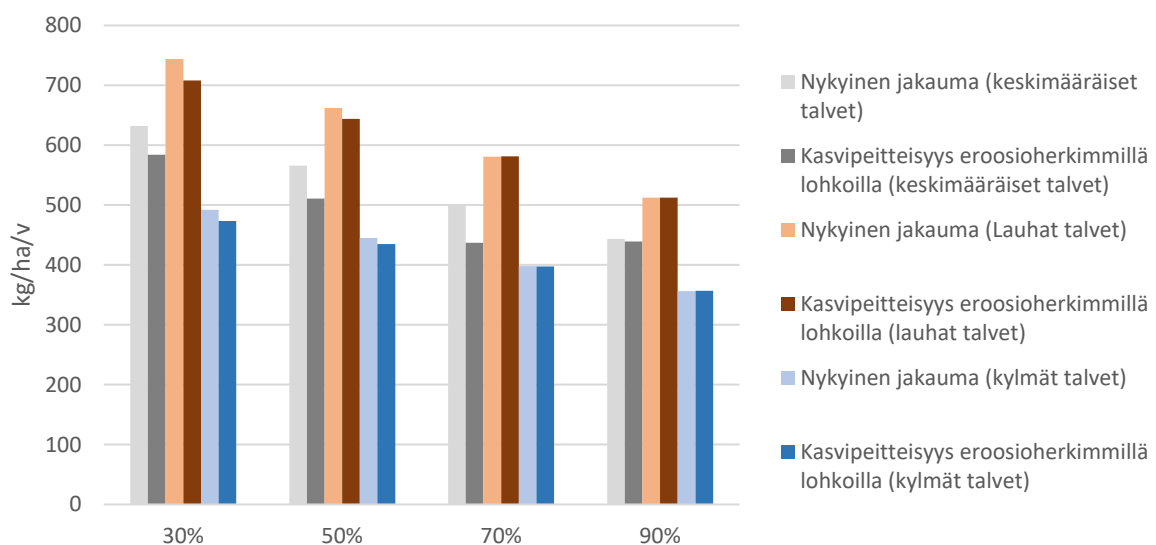


Kuva 30. NO₃-N-kuorma kasvipeitteisyyskkenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 13–16). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

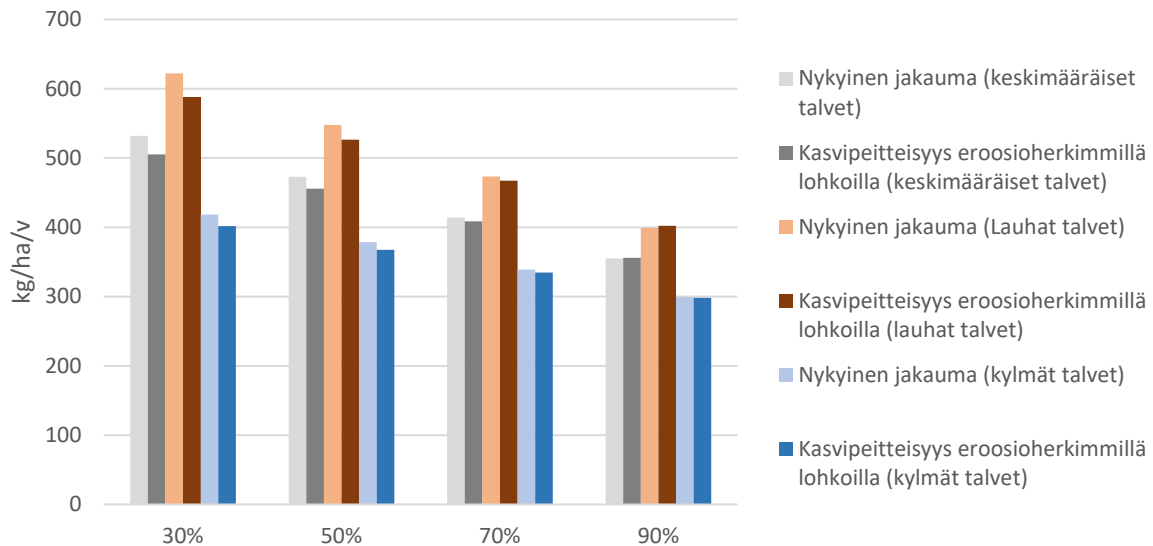
5.5. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset ravinnekuormitukseen

5.5.1. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset kiintoainekuormaan

Kiintoainekuormitusta voidaan vähentää sijoittamalla kasvipeitteisyyttä eroosioherkimmille peltolohkoille ja vaikutukset ovat samansuuntaisia eri hydrologisten vuosien välillä (kuvat 31. ja 32.). Kasvipeitteisyyden sijoittaminen eroosioherkimmille peltolohkoille pienentää kiintoainekuormitusta vain hieman vähemmän kuin, jos kasvipeitteisyys sijoitetaan jyrkimmille peltolohkoille. Kasvipeitteisyyden sijoittamisesta eroosioherkimmille peltolohkoille ei ole enää hyötyä, kun kasvipeitteisyyden osuus on 90 % kokonaispeltoalasta.



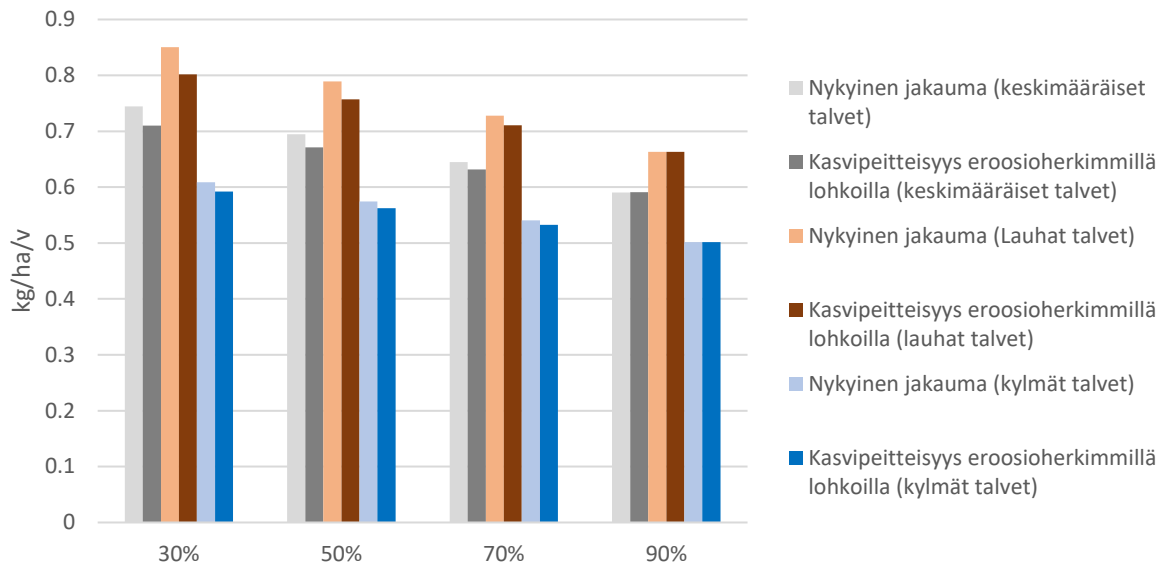
Kuva 31. Kiintoainekuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 17–20). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



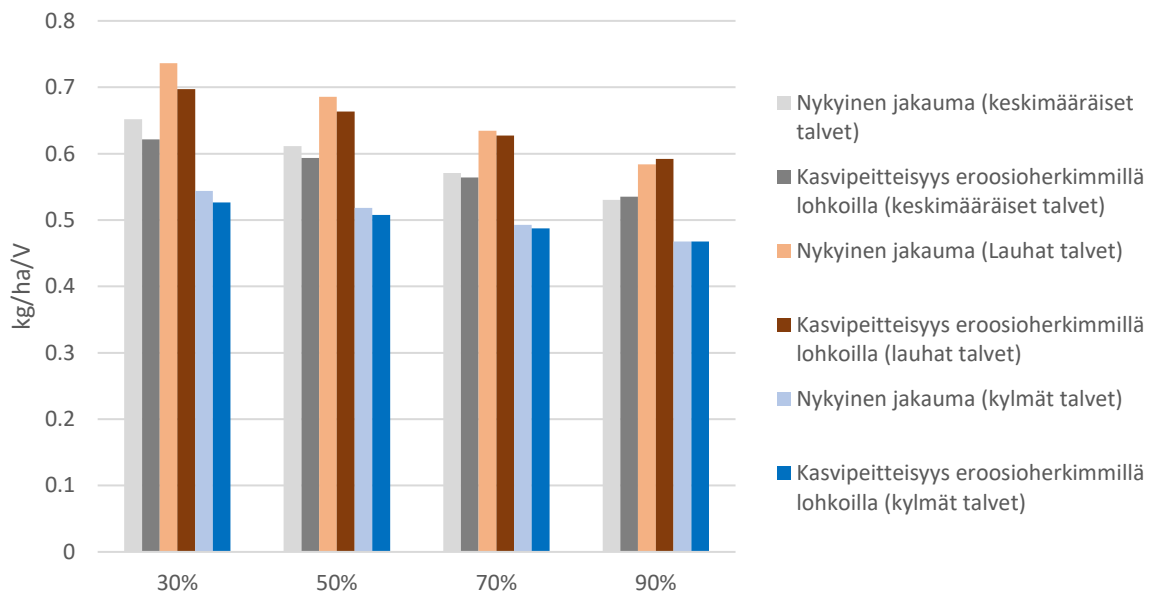
Kuva 32. Kiintoainekuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 21–24). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

5.5.2. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset fosforikuormaan

Talviaikaisen kasvipeitteisyyden sijoittaminen eroosioherkimmille peltolohkoille pienentää partikkelifosforin kuormitusta kaikissa muissa kasvipeitteisyyskenaariossa paitsi skenaariossa, jossa kasvipeitteisyyttä on 90 % viljelyalasta (kuvat 33. ja 34.). Partikkelifosforin kuormitus jopa hieman kasvaa skenaariossa, jossa 90 % aito kasvipeitteisyys sijoitetaan eroosioherkimmille peltolohkoille. Partikkelifosforin kuormituksen muutos on saman suuruista eri hydrologisten vuosien välillä.



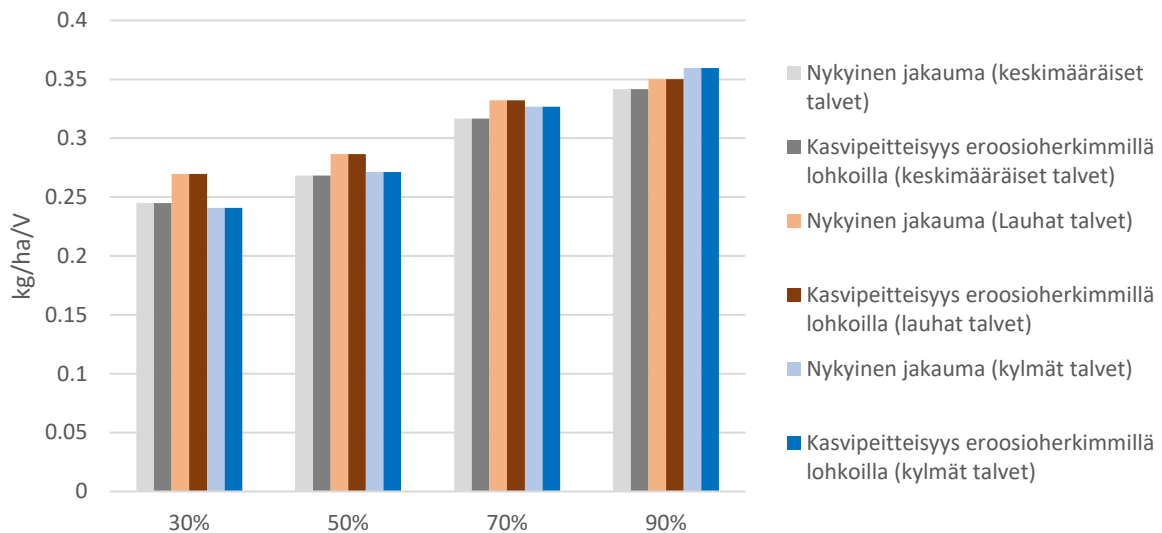
Kuva 33. PartP-kuormitus skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 17–20). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



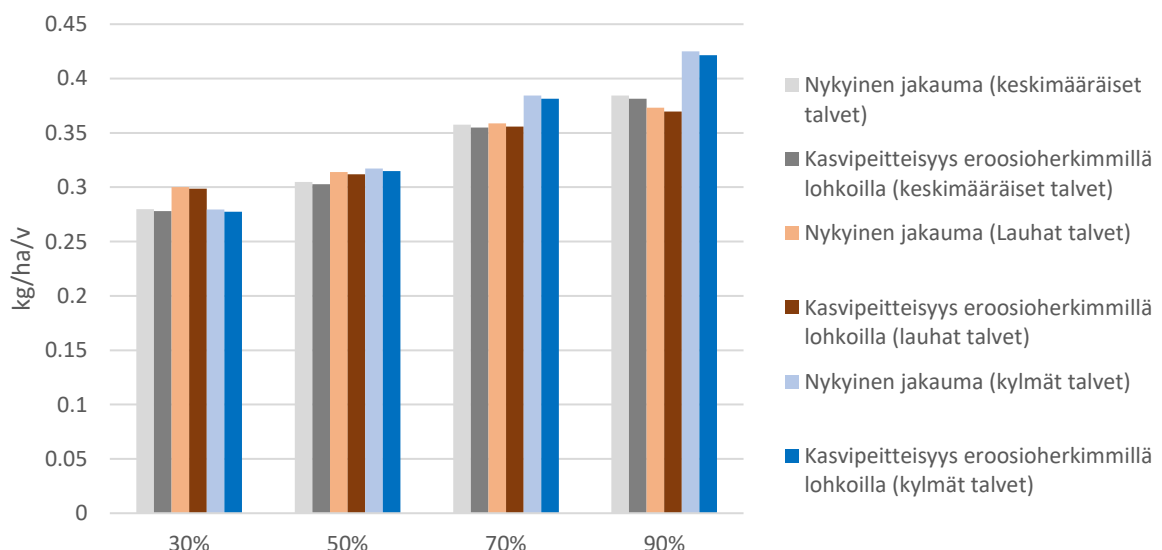
Kuva 34. PartP-kuorma skenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 21–24). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

Kasvipeitteisyyden sijoittamisella eroosioherkimmille peltolohkoille ei ole vaikutusta liukaisen fosforin kuormitukseen niissä skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää myös kevytmuokatun peltoalaa (kuva 35.) Sen sijaan, kun kasvipeitteinen peltoala on pelkästään aitoa kasvipeitteisyyttä, pienenee liukaisen fosforin kuormitus hieman kaikissa

kasvipeitteisyyskenaarioissa (kuva 36.). Kasvipeitteisten peltolohkojen sijainnin vaikutukset liukoisen fosforin kuormitukseen ovat kuitenkin hyvin pieniä ja peittyvät helposti hydrologisten vuosien välisen vaihtelun alle.



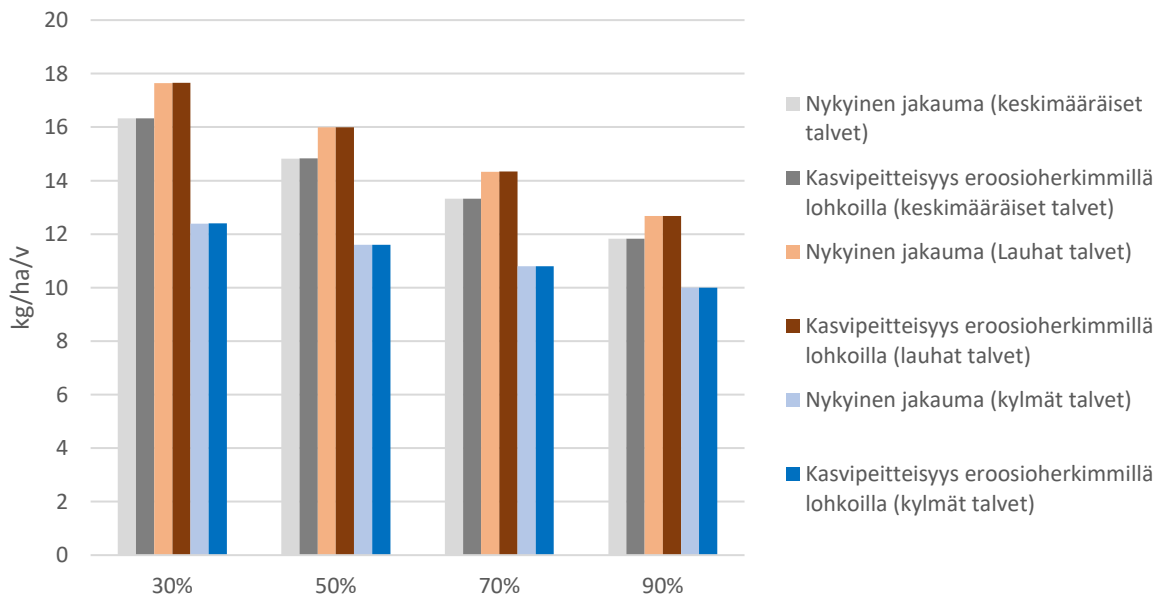
Kuva 35. Liukoisen fosforin kuormitus skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 17–20). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



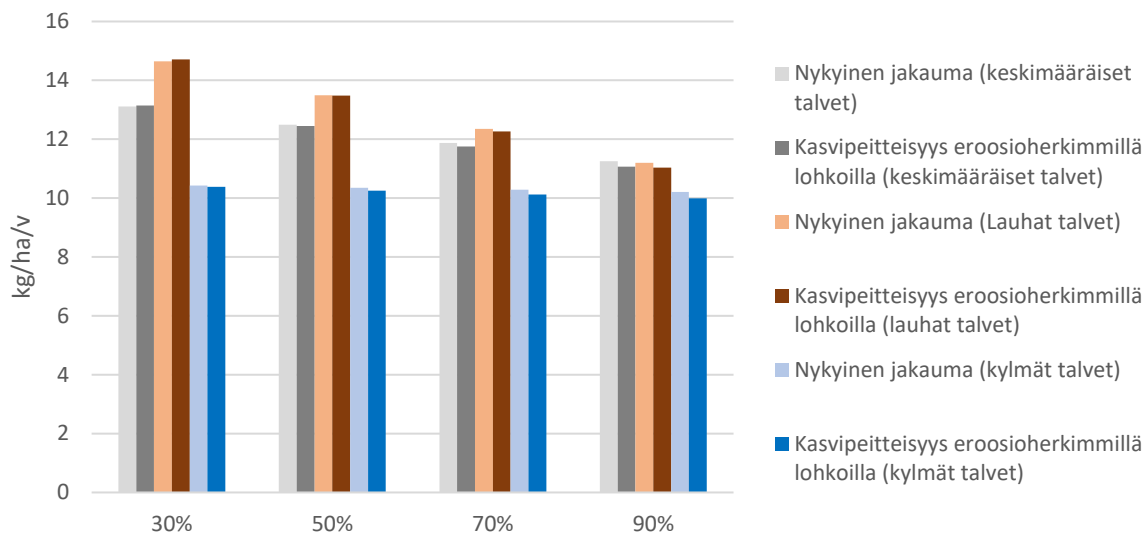
Kuva 36. Liukoisen fosforin kuormitus skenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 21–24). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

5.5.3. Peltolojen eroosioherkkyyden vaikutukset typpikuormaan

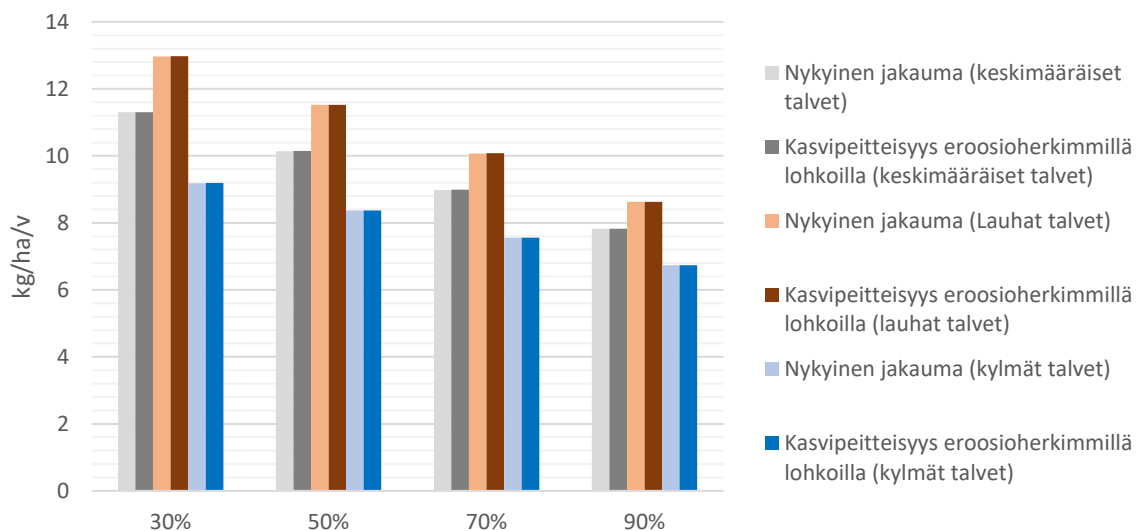
Kasvipeitteisyyden sijainnilla ei ole juuri vaikutusta typen kokonaiskuormitukseen ja nitraattikuormitukseen skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää myös kevytmuokattua peltoalaa (kuva 37. ja 39.). Sen sijaan kokonaistyyppi- ja nitraattikuormitusta voidaan pienentää sijoittamalla aitoa kasvipeitteisyyttä eroosioherkimmille peltolohkoille (kuva 38. ja 40.). Kuormitusta pienenee skenaarioissa, joissa aidon kasvipeitteisyyden määrä on 70 % tai 90 % kokonaispeltoalasta. Sijoittamalla aitoa kasvipeitteisyyttä eroosioherkimmille peltolohkoille, voidaan pienentää kokonaistypen ja nitraattien kuormitusta enemmän kuin, jos kasvipeitteisyyttä sijoitetaan jyrkimmille peltolohkoille.



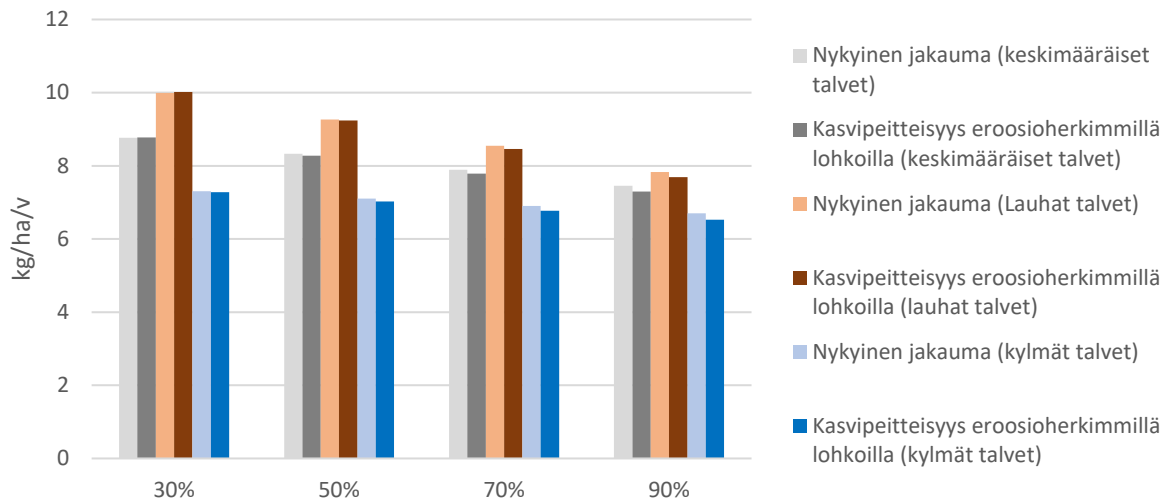
Kuva 37. Typen kokonaiskuormitus skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 17–20). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



Kuva 38. Typen kokonaiskuormitus skenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on aitoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 21–24). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



Kuva 39. Nitraattien kuormitus skenaarioissa, joissa kasvipeitteisyys sisältää aitoa kasvipeitteisyyttä ja kevytmuokattua alaa (skenaariot 1–4 ja 17–20). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.



Kuva 40. Nitraatti-kuormitus skenaarioissa, joissa kasvipeitteinen ala on ainoa kasvipeitteisyyttä (skenaariot 5–8 ja 21–24). Nykyinen jakauma tarkoittaa, että kasvipeitteisyys on sijoitettu tämän hetkisen kasvipeitteisyyden kaltevuusjakauman mukaisesti.

6. Pohdinta

Mättäänojalla on nykytilassa hyvin paljon ympäristösitoumuksen mukaista talviaikaista kasvipeitteisyyttä (84,5 % kokonaispeltoalasta). Suurin osa Mättäänojan viljelyalasta on kevätkylvöisiä viljoja (59 %), ja näiltä alueilta tulee myös valtaosa kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta. Peltolohkot, joilla viljellään kevätkylvöisiä viljoja, ovat pääsääntöisesti kevytmuokattuja tai kynnettyjä, mikä lisää näiltä peltolohkoilta tulevan kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitusta. Kiintoaineen ja partikkelifosforin ominaiskuormitus (kg/ha/v) on suurinta avokesannoilla ja kevätiljoilla. Kokonaistypen ja nitraattien ominaiskuormitus on puolestaan suurinta avokesannoilla ja syysviljoilla. Kuormitus myös kasvaa peltolohkon kaltevuuden kasvaessa. Liukoisen fosforin kuormitus on suurinta syysviljoilla ja pysyvillä nurmilla, jotka kuuluvat aidon talviaikaisen kasvipeitteisyyden piiriin.

Maatalouden talviaikainen kasvipeitteisyys pienentää kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaisfosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitusta. Kiintoaineen, partikkelifosforin ja typen kuormitus pienenee merkittävästi, kun kasvipeitteisen peltoalan osuutta lisätään. Esimerkiksi, kun aidosti kasvipeitteisen peltoalan osuutta kasvatetaan 50 %:sta 90 %:iin, pienenee kiintoainekuormitus n. 25 %, partikkelifosforin kuormitus n. 15 % ja nitraattikuormitus n. 20 %. Ravinnekuormitus pienenee merkittävästi myös skenaarioissa, joissa on mukana kasvipeitteistä ja kevytmuokattua peltoalaa, mutta ravinnekuormitusta

pienentävät vaikutukset eivät ole yhtä suuria kuin pelkästään aidolla kasvipeitteisyydellä. Kevytmuokatuilla peltolohkoilla ei ole eroosiolta suojaavaa kasvipeitteisyyttä, minkä vuoksi näiden peltolohkojen kiintoaine-, partikkelifosfori- ja typpikuormitus ovat suurempia kuin aidosti kasvipeitteisillä peltolohkoilla. Ravinnekuormitus on kuitenkin kevytmuokatuilla peltolohkoilla selvästi pienempää kuin kynnyillä peltolohkoilla, minkä vuoksi ravinnekuormitusta voidaan vähentää merkittävästi jo siirtymällä kynnöstä kevennettyihin muokkausmenetelmiin, kuten kultivointiin tai matalaan sänkimuokkaukseen. Aikaisemmissa tutkimuksissa on saatu samansuuntaisia tuloksia viljelytoimenpiteiden vaikutuksista ravinnekuormitukseen (Kukkonen ym. 2004; Puustinen ym. 2005, 2010). Kukkonen ym. 2004 mukaan pelkästään kevääseen ajoitetulla muokkauksella voidaan vähentää kiintoaineen, typen ja partikkelifosforin kuormitusta merkittävästi.

Liukoisen reaktiivisen fosforin kuormitus ei noudata muun ravinnekuormituksen jakaumaa, vaan sen kuormitus kasvaa, kun talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrää skenaarioissa lisätään. Liukoisen fosforin kuormitus on suurinta, kun kasvipeitteinen peltoala on aitoa kasvipeitteisyyttä, joten suurin osa liukoisen fosforin vuosikuormasta tulee kasvipeitteisiltä peltolohkoilta. Liukoinen fosfori on erityisen ongelmallista kohdevesistöjen kannalta, koska se on suoraan kasveille käyttökelpoisessa muodossa ja edistää näin vahvasti vesistöjen rehevöitymistä.

Partikkelifosforikuormasta n. 16 % muuttuu kemiallisissa prosesseissa liukoiseksi fosforiksi, minkä vuoksi myös partikkelifosforikuorman pienentäminen vähentää liukoisen fosforin kuormitusta (Ekholm ym. 2005). Aito kasvipeitteisyys lisää liukoisen fosforin suoraa kuormitusta, mutta samalla vähentää partikkelifosforin kuormitusta, ja tätä kautta myös liukoisen fosforin kuormitusta. VIHMAlla tehtyjen laskelmien perusteella aito kasvipeitteisyys lisää kuitenkin kokonaisuudessaan liukoisen fosforin kuormitusta, vaikka otetaan huomioon partikkelifosforikuormituksen pienenemisestä tuleva vaikutus. Mättäänöjan tutkimusalueella siirtyminen 30 % aidosta kasvipeitteisyydestä 90 % aitoon kasvipeitteisyyteen kasvattaa liukoisen fosforin kokonaiskuormaa keskimääräisinä talvina n. 22 %.

Kiintoaineen, partikkelifosforin ja typen kuormitusta voidaan vähentää kaikkein tehokkaimmin sijoittamalla kasvipeitteisyyttä jyrkimmille tai eroosioherkimmille peltolohkoille. Kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitus pienenevät eniten, kun kasvipeitteisyys sijoitetaan valuma-alueen jyrkimmille peltolohkoille. Kun kasvipeitteisyydessä on mukana myös kevytmuokattua peltoalaa, pienenee myös liukoisen fosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitus. Aidon

kasvipeitteisyyden sijoittamisella jyrkimmille peltolohkoille ei ole merkittäviä vaikutuksia liukoisen fosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitukseen. Kun kasvipeitteisyyden määrä skenaarioissa kasvaa, pienenevät myös sen ravinnekuormitusta vähentävät vaikutukset, koska tällöin suurin osa jyrkistä peltolohkoista on jo valmiiksi talviaikaisen kasvipeitteisyyden peitossa. Kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitus on kuitenkin pienintä skenaarioissa, jotka sisältävät vain aitoa talviaikaista kasvipeitteisyyttä. Liukoisen fosforin kuormitus on puolestaan suurinta näissä skenaariossa.

Kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitusta voidaan pienentää merkittävästi myös sijoittamalla kasvipeitteisyyttä eroosioherkimmille peltolohkoille, mutta kuormitus ei pienene yhtä paljon kuin, jos kasvipeitteisyys on sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille. Sen sijaan kokonaistypen, nitraattien ja liukoisen fosforin kuormitus pienenee eniten, kun aito kasvipeitteisyys on sijoitettu eroosioherkimmille peltolohkoille. Eroosioherkimmät peltolohkot ovat keskimäärin jyrkimmissä kaltevuusluokissa, mutta osa eroosioherkistä peltolohkoista on myös loivemmissa kaltevuusluokissa (1,5–3 %).

VIHMA-mallilla laskettujen eroosioherkkyyteen perustuvien skenaarioiden aineistojen luokittelussa on käytetty Liljan ym. (2017b) RUSLE2015-mallilla tuottamaa peltolohkojen eroosioherkkyyksaineistoa, johon liittyy kuitenkin monia epävarmuuksia. Ensinnäkin RUSLE2015-malli on tieteellisesti kiistanalainen, koska sen tuottamat aineistot eivät perustu mallinnussimulointeihin tai kenttätutkimuksiin (Lilja ym. 2017a). Toisekseen eroosioherkkyyksaineisto ei toimi parhaalla mahdollisella tavalla lähtöaineistona VIHMA-mallissa. VIHMAssa viljelytoimenpiteet luokitellaan hehtaareina kaltevuusluokkiin, mikä tarkoittaa, että laskelmia varten myös eroosioherkimpien peltolohkojen viljelytoimenpiteet on ensin luokiteltu kaltevuusluokkiin. Osa eroosioherkistä peltolohkoista sijaitsee loivemmissa kaltevuusluokissa, joille VIHMA-malli antaa pienempiä ominaiskuormituslukuja, minkä vuoksi eroosioherkkyyteen perustuvista laskelmista saadut kuormitusarvot saattavat olla hieman liian suuria. Tämä tarkoittaa, että sijoittamalla kasvipeitteisyyttä eroosioherkimmille peltolohkoille, voidaan kiintoaine- ja ravinnekuormitusta pienentää mahdollisesti enemmän, mitä tässä tutkimuksessa tehdyt laskelmat antavat ymmärtää. RUSLE2015-mallin suurena etuna on, että se tuottaa helposti ymmärrettävää ja visualisoitavaa spatiaalista dataa, jota voidaan jatkossa hyödyntää mm. vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamisen suunnittelussa. RUSLE2015-mallin tuottamaa aineistoa on jo hyödynnetty mm. KOTOMA-hankkeessa, jonka tarkoituksena on parantaa vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamista (Parkkila 2018).

VIHMA-mallilla laskettu kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitus on suurinta lauhoina talvina, jolloin vesisateet ja lumen sulamissyklit huuhtovat tehokkaasti ravinteita pelloilta. Eroosio kasvattaa etenkin kiintoaineen ja siihen sitoutuneen partikkelifosforin kuormitusta (Puustinen ym. 2005). Lauhoina talvina ravinnekuormitus voi olla melko voimakasta pitkin talvea, jos eroosiolta suojaavaa routaa ja lumipeitettä ei ehdi kunnolla muodostua. VIHMA-laskelmien mukaan liukoisen fosforin kuormitus on kuitenkin suurinta kylminä talvina, kun aitoa kasvipeitteisyyttä on vähintään 50 % kokonaispeltoalasta. Tähän ei vaikuta kasvipeitteisyyden sijainti peltolohkoilla. Kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitus on VIHMA-laskelmissa kaikkein pienintä kylminä talvina, jolloin routa ja lumi suojaavat peltoja eroosiolta ja ravinnehuuhtoumalta. Ravinnekuormitus painottuu kylminä talvina kevään sulamiskauteen (Puustinen ym. 2005).

Ilmastonmuutoksen myötä talvien ennustetaan lämpenevän useilla asteilla vuosisadan loppuun mennessä, minkä lisäksi myös sademäärien ennustetaan kasvavan, ja yhä suurempi osa sateesta tulee vetenä (Kellomäki ym. 2010). Kasvipeitteisyyden ravinnekuormitusta pienentävät vaikutukset ovat kaikkein suurimpia lauhoina talvina, mikä tarkoittaa, että tulevaisuudessa talviaikaisen kasvipeitteisyyden ravinnekuormitusta vähentävä vaikutus ovat yhä merkittävämmässä roolissa. Tämän vuoksi on tärkeää käyttää eri ravinnekuormitusmalleista saatuja tuloksia hyväksi vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamisen suunnittelussa. Toisaalta ravinteiden kokonaiskuormitus voi ilmastonmuutoksen myötä kasvaa, vaikka vesiensuojelutoimenpiteet kohdennettaisiin kuormittavimmille peltolohkoille. Tämä näkyy VIHMA-mallin tuloksissa siinä, että monissa skenaarioissa hydrologisten vuosien välinen vaihtelu ravinnekuormituksessa on suurempaa kuin kasvipeitteisyyden ravinnekuormitusta vähentävä vaikutus. Tämän on todennut myös Puustinen ym. (2010) perustuen pitkään jatkuneisiin koepeltomittauksiin.

Talviaikaisen kasvipeitteisyyden suurin hyöty on sen eroosiolta suojaava vaikutus jyrkillä peltolohkoilla. Tämän ja aikaisempien tutkimusten perusteella voidaan todeta, että talviaikaisesta kasvipeitteisyydestä saadaan suurin hyöty, kun se sijoitetaan jyrkimmille, kaltevuudeltaan yli 3 %, peltolohkoille (Puustinen ym. 2005; Huttunen ym. 2010). Tasaisilla peltolohkoilla talviaikaisesta kasvipeitteisyydestä ei ole juuri hyötyä, koska vaikka se pienentää kiintoaineen, partikkelifosforin ja typen kuormitusta, kasvaa liukoisen fosforin kuormitus samalla merkittävästi. Liukoisen fosforin kuormitusta kasvattaa etenkin suorakylvön osuus kasvipeitteisyydessä (Huttunen ym. 2010). Mättäänöjältä tehdyissä laskelmissa suorakylvön

osuudeksi arvioitiin ainoastaan 12 hehtaaria, joka on vain n. 2 % kokonaispeltoalasta. Kasvipeitteisyyden kohdentamisen lisäksi kiintoaine- ja ravinnekuormitusta voidaan pienentää merkittävästi siirtymällä syyskynnöstä kevennettyihin muokkausmenetelmiin ja ajoittamalla muokkausta keväeseen.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu ainoastaan talviaikaisen kasvipeitteisyyden vesistövaikutuksia, mutta vesiensuojelutoimenpiteitä täytyy aina tarkastella laajempänä kokonaisuutena. Esimerkiksi peltojen lannoitus vaikuttaa merkittävästi fosforin kuromaan, ja etenkin pitkäaikaisen eläinlannan levityksen on todettu nostavan peltolohkojen fosforilukuja, mikä lisää peltolohkoilta huuhtoutuvan liukoisen fosforin määrää (Huttunen ym. 2010). Valuma-alueella kosteikot ja laskeutusaltaat ovat vesiensuojelun kannalta erittäin merkittävässä roolissa, koska ne sitovat suuren määrän kiintoainesta ja ravinteita (Puustinen ym. 2007b). Nykyisillä vesiensuojelutoimenpiteillä on saatu vähennettyä viljelyalueilta vesistöihin päätyvää kiintoaine- ja ravinnekuormitusta, mutta vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamiseen tarvitaan kuitenkin parempia keinoja, jotta vesiensuojelulle asetetut tavoitteet saadaan edes osittain täytettyä.

VIHMA-malli sopii hyvin viljelyalueilta tulevan ravinnekuormituksen arviointiin, ja sen laskeman ravinnekuormituksen on todettu vastaavan hyvin peltolohkojen todellista kuormitusta (Puustinen ym. 2010). VIHMAN laskema kiintoaine- ja ravinnekuormitus perustuu vuosien ajan kasvipeitteisyydeltään ja ominaisuuksiltaan erilaisilta koepelloilta tehtyihin mittauksiin (Huhta & Jaakkola 1993; Turtola & Jaakkola 1995; Kukkonen ym. 2004, Puustinen ym. 2005). VIHMAN käyttö on hyvin yksinkertaista, ja ravinnekuormitusta voidaan laskea millä tahansa valuma-alueella ilman kalibrointiaineistoa. VIHMA laskee kuitenkin vain peltolohkoilta tulevaa ravinnekuormitusta, minkä vuoksi sen avulla ei voida kuvata ravinnekuormitusta ja ravinteiden kulkeutumista koko valuma-alueen mittakaavassa. Kun halutaan tutkia ravinnekuormitusta valuma-alueella ja selvittää ravinteiden kulkeutumisprosesseja, tarvitaan prosessipohjaisia mallinnustyökaluja. VEMALA-malli sopii hyvin valuma-alueen ravinnekuormituksen ja ravinteiden kulkeutumisen mallintamiseen (Huttunen ym. 2016). Valuma-alueen prosessipohjaisen mallintamisen avulla voitaisiin tulevaisuudessa ymmärtää paremmin kasvipeitteisyyden ja muiden vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia ravinnekuormitukseen koko valuma-alueen tasolla.

7. Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin VIHMAlla tehtyjen ravinnekuormituslaskelmien perusteella, miten talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrä, laatu ja sijainti vaikuttavat viljelyalueiden kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen. Kasvipeitteisyys sijaitsi eri skenaarioissa joko nykyisen jakauman mukaisesti, jyrkimmillä peltolohkoilla tai eroosioherkimmillä peltolohkoilla. Käytettyjen menetelmien ja analyysien perusteella voidaan todeta seuraavaa:

- 1) Talviaikaisen kasvipeitteisyyden määrän lisääminen vähentää kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitusta kaikkina hydrologisina vuosina (keskimääräiset talvet, lauhat talvet, kylmät talvet), mutta lisää reaktiivisen liukoisen fosforin kuormitusta.
- 2) Aito talviaikainen kasvipeitteisyys vähentää kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitusta enemmän kuin kevytmuokattu peltoala, ja kuormitus on kaikkein pienintä pysyvillä nurmilla. Toisaalta aito kasvipeitteisyys lisää merkittävästi liukoisen fosforin kuormitusta, ja kuormitus on suurinta kylminä talvina, jos aitoa kasvipeitteisyyttä on vähintään 50 % kokonaispeltoalasta.
- 3) Aidon talviaikaisen kasvipeitteisyyden ja kevytmuokatun peltoalan sijoittaminen jyrkimmille peltolohkoille pienentää kiintoaineen, partikkelifosforin, liukoisen fosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitusta. Kun jyrkille peltolohkoille sijoitettava kasvipeitteisyys sisältää ainoastaan aitoa kasvipeitteisyyttä, pienenee vain kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitus. Liukoisen fosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitus ei muutu. Kokonaisuudessaan kiintoaineen, partikkelifosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitus on kuitenkin pienintä, kun kasvipeitteinen ala on pelkästään aitoa kasvipeitteisyyttä.
- 4) Talviaikaisen kasvipeitteisyyden sijoittaminen eroosioherkimmille peltolohkoille pienentää kiintoaineen ja partikkelifosforin kuormitusta, mutta ei yhtä paljon kuin kasvipeitteisyyden sijoittaminen jyrkimmille peltolohkoille. Liukoisen fosforin, kokonaistypen ja nitraattien kuormitus pienenee hieman, kun aito kasvipeitteisyys sijoitetaan eroosioherkimmille peltolohkoille.

Kasvipeitteisyyden sijoittamisella jyrkimmille peltolohkoille ei ole samanlaista kuormitusta pienentävää vaikutusta.

Maatalouden ravinnekuormitusta voidaan mallintaa monilla eri empiirisillä ja prosessipohjaisilla mallinnustyökaluilla. Tulevaisuudessa talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen kannattaisi tutkia yhdessä muiden vesiensuojelutoimenpiteiden kanssa. Olisi tärkeää tarkastella ravinnekuormitusta koko valuma-alueen mittakaavassa, eikä keskittyä vain peltolohkokohtaisiin toimenpiteisiin. Tämän lisäksi on tarpeen tutkia, millaisella vesiensuojelutoimenpiteiden kokonaisuudella saadaan vähennettyä kiintoaine- ja ravinnekuormitusta kaikkein tehokkaimmin ja mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Kiitokset

Pro gradu -tutkielma on tuotettu toimeksiantona Varsinais-Suomen ELY-keskukselle. Gradussa käytetty VIHMA-malli on saatu käyttöön Suomen ympäristökeskuksesta Markku Puustiselta. Häneltä sain myös arvokkaita neuvoja Mallin käyttöön. RUSLE-mallin tuottamat eroosioherkkyyssaineistot on saatu käyttöön Luonnonvarakeskuksesta Harri Liljalta. Kiitokset myös yhteistyössä toimineille maanviljelijöille, joilta sain arvokasta tietoa peltolohkoilla suoritetuista viljelytoimenpiteistä. Gradun ohjaajina toimivat Turun yliopistolla professori Petteri Alho ja Varsinais-Suomen ELY-keskuksella Elsi Kauppinen ja Mikko Jaakkola. Erityiskiitokset heille asiantuntevista kommentteista ja ohjauksesta.

Lähdeluettelo

- Andersson, L., M. Hellström & K. Persson (2002). A nested model approach for phosphorus load simulation in catchments. *Proceedings Nordic Hydrological Conference, Røros, Norway*, 229–238.
- Arheimer, B. & M. Brandt (1998). Modelling nitrogen transport and retention in the catchments of southern Sweden. *AMBIO A Journal of the Human Environment* 27: 6, 471–480.
- Arnold, J. G. & N. Fohrer (2005). SWAT 2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrological Processes* 19: 3, 563–572.
- Boström, B., M. Jansson & C. Forsberg (1982). Phosphorus release from lake sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 18: 5–59.
- Bärlund, I., T. Kirkkala, O. Malve & J. Kämäri (2007). Assessing SWAT model performance in the evaluation of management actions for the implementation of the Water Framework Directive in a Finnish catchment. *Environmental Modelling & Software* 22: 5, 719–724
- De Wit, M. J. M. (2001). Nutrient fluxes at the river basin scale. I: the PolFlow model. *Hydrological Processes* 15: 5, 743–759.
- Donnelly, C., J. Strömqvist & B. Arheimer (2011). Modelling climate change effects on nutrient discharges from the Baltic Sea catchment: processes and results. *IAHS Publications*, 348, 1–6.
- Ekholm, P., E. Turtola, J. Grönroos, P. Seuri & K. Ylivainio (2005). Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110, 266–278.
- Gitau, M.W., T. L. Veith & W. J. Gburek (2004). Farm-level optimization of BMP placement for cost-effective pollution reduction. *American Society of Agricultural Engineers* 47: 6, 1923–1931.
- Hellsten, J., S. Jyväsjärvi, J. Järvenpää, L. Järvinen, M. Karjalainen, S. Maaria, P. Kauppila, A. Keto, M. Kuoppala, K. Manni, J. Mannio, S. Mitikka, M. Olin, J. Perus, A. Pilke, M. Rask, J. Riihimäki, A. Ruuskanen, K. Siimes, T. Sutela, T. Vehanen & K. M. Vuori (2012). Ohje pintavesien ekologisen ja kemiallisen tilan luokitteluun vuosille 2012–2013 – päivitettyt arviointiperusteet ja niiden soveltaminen. *Ympäristöhallinnon ohjeita*. ISSN 1796-1653. ISBN 978-952-11-4114-0.
- Heng, H., & N. P. Nikolaidis (1998). Distributed modeling of nonpoint source pollution of nitrogen. *Journal of American Water Resources Association* 34: 2, 359–374.
- Huhta, H. & A. Jaakkola (1993). Viljelykasvien ja lannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen turvemaasta Tohmajärven huuhtoutumiskentällä v 1983–87. *Maatalouden Tutkimuskeskuksen tiedote* 20–93.
- Huttunen, I., M. Huttunen, B. Vehviläinen, A. Taskinen, S. Tattari & J. Koskiahho (2006). Development of phosphorus transport model component to a large scale hydrological model system. *Nordic Hydrological Conference* 49, 297–304.
- Huttunen, M., I. Huttunen, B. Vehviläinen & P. Salmi (2010). TEHO-hankkeen skenaariot SYKE-WSFS-VEMALA mallilla. Suomen ympäristökeskuksen raportti, 27s.
- Huttunen, I., M. Huttunen, V. Piirainen, M. Korppoo, A. Lepistö, A. Räike, S. Tattari & B. Vehviläinen (2016). A national scale nutrient loading model for Finnish watersheds – VEMALA. *Environmental Modelling and Assessment* 21: 1, 83–109.

- Häikiö, M. (1998). Laskeutusaltaan toimivuus maatalouden vesiensuojelussa. (The Effectiveness of Sedimentation Pond in Water Conservation of Agriculture). *Mimeograph series of the Finnish Environment Institute 110*.
- Jaakkola, E., S. Tattari, P. Ekholm, L. Pietola, M. Posch & I. Bärlund (2012). Simulated effects of gypsum amendment on phosphorus losses from agricultural soils. *Agricultural and Food Science 21: 3*, 292–306.
- Jansson, H. & A. Närvänen (2005). Reducing the phosphorus load and the algae blooms in Finnish lakes and the Baltic Sea. *AgriFood Research Reports 68: 4*, 190-200.
- Jordan, T. E., D. F. Whigham, K. H. Hofmockel, & M. A. Pittek (2003). Nutrient and Sediment Removal by a Restored Wetland Receiving Agricultural Runoff. *J. Environ. Qual. 32: 4*, 1534-1547.
- Kasvipeiteisyysvalvonta (2018). Maaseutuvirasto. 5.12.2018. <www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljelija/Documents/kasvipeiteisyysvalvonta.pdf>
- Kellomäki, S., M. Maajärvi, H. Strandman, A. Kilpeläinen & H. Peltola (2010). Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica 44: 2*, 213–233.
- Knuuttila, S., O. P. Pietiläinen & L. Kauppi (1994). Nutrient balances and phytoplankton dynamics in two agriculturally loaded shallow lakes. *Hydrobiologia 275: 276*, 359–369.
- Korppoo, M., M. Huttunen, I. Huttunen, V. Piirainen & B. Vehviläinen (2017). Simulation of bioavailable phosphorus and nitrogen loading in an agricultural river basin in Finland using VEMALA v.3. *Journal of Hydrology 549*, 563–573.
- Koskiaho, J., S. Kivisaari, S. Vermeulen, R. Kauppila, K. Kallio & M. Puustinen (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., P. Ekholm, M. Rätty, J. Riihimäki & M. Puustinen (2003). Retaining agricultural nutrients in constructed wetlands—experiences under boreal conditions. *Ecological Engineering 20: 1*, 89–103.
- Kukkonen, M., R. Niinioja & M. Puustinen (2004). Viljelykäytäntöjen vaikutus ravinnehuuhtoutumiin Liperin koekentällä Pohjois-Karjalassa. *Alueelliset ympäristöjulkaisut 367. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus*.
- Lemunyon, J. L. & R. G. Gilbert (1993). The concept and need for a phosphorus assessment tool. *Journal of Production Agriculture 6: 44*, 483–486.
- Lepistö, A., K. Granlund, P. Kortelainen & A. Räike (2006). Nitrogen in river basins: sources, retention in the surface waters and peatlands, and fluxes to estuaries in Finland. *Science of the Total Environment 365: 1*, 238–259.
- Liikanen, A., M. Puustinen, J. Koskiaho, T. Väisänen, P. Martikainen & H. Hartikainen (2004). Phosphorus removal in a wetland constructed on former arable land. *Journal of Environmental Quality 33: 3*, 1124–1132.
- Lilja, H., J. Hyväluoma, M. Puustinen, J. Uusi-Kämpä & E. Turtola (2017a). Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions. *Geoderma Regional 10*, 77–84.
- Lilja, H., M. Puustinen, E. Turtola, & J. Hyväluoma (2017b). Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus: Valtakunnallisen kattavuuden saavuttaminen ja WMS-palvelu. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2017. Luonnonvarakeskus*. 34 s.

- Lunn, R. J., R. Adams, R. Mackay & S. M. Dunn (1996). Development and application of a nitrogen modelling system for large catchments. *Journal of Hydrology* 174: 3, 285–304.
- Maatalouden tukijärjestelmä (2018). Maa- ja metsätalousministeriö 5.12.2018. www.mmm.fi/maataloustuet.
- Parkkila, P. (2018). Maatalouden vesiensuojelun kohdentaminen. *KOTOMA- hankkeen loppuraportti. VARSINAIS-SUOMEN ELY-KESKUS, 20s.*
- Pettersson, K. (1998). Mechanisms for internal loading of phosphorus in lakes. *Hydrobiologia* 373, 21–25.
- Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo & K. Sinclair (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 5201, 1117–23.
- Pintavesien tila (2018). Suomen ympäristökeskus. 5.12.2018. <www.ymparisto.fi/pintavesientila>
- Puttonen I., J. Mattila, P. Jonsson, O. M. Karlsson, T. Kohonen, A. Kotilainen, K. Lukkari, M. Malmaeus, & E. Rydin (2014). Distribution and estimated release of sediment phosphorus in the northern Baltic Sea archipelagos. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 145, 9–21.
- Puustinen, M., E. Merilä, J. Palko & P. Seuna (1994). Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. *National Board of Waters and Environment*, 319.
- Puustinen, M., J. Koskiaho & K. Peltonen (2005). Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agriculture Ecosystems and Environment* 105, 565–579.
- Puustinen, M., S. Tattari, J. Koskiaho & J. Linjama (2007a). Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil & Tillage Research* 93, 44–55.
- Puustinen, M., J. Koskiaho, J. Jormola, L. Järvenpää, A. Karhunen, M. Mikkola-Roos, J. Pitkänen, J. Riihimäki, M. Svensberg & P. Vikberg (2007b). Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. *Suomen ympäristö 21/2007*, 1796-1637.
- Puustinen, M., E. Turtola, M. Kukkonen, J. Koskiaho, J. Linjama, R. Niinioja & S. Tattari (2010). VIHMA—a tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138: 3, 306–317.
- Tattari, S., I. Bärlund, S. Rekolainen, M. Posch, K. Siimes, H. R. Tuhkanen & M. Yli-Halla (2001). Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of the ASAE* 44: 2, 297–307.
- Tattari, S., M. Puustinen, J. Koskiaho, E. Röman & J. Riihimäki (2015). Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2015*. ISBN 978-952-11-4534-6. ISSN 1796-1726.
- Tuki- ja kohdentamisaluekartta (2018). Maaseutuvirasto. 5.12.2018. <<https://hkp.maanmittauslaitos.fi/hkp/published/fi/162>>
- Turtola, E. & J. Jaakkola (1995). Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. *Soil and Plant Science* 45, 159–165.

- Turtola, E. & E. Kemppainen (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 in Finland* 7, 569–581.
- Turtola, E. (1999). Phosphorus in surface runoff and drainage water affected by cultivation practices. Academic Dissertation. University of Helsinki, 47 pp. ISBN 951-729-555-3.
- Turtola, E. & R. Lemola (2008). Maatalouden ympäristötuen vaikutukset vesistökuormitukseen, satoon ja viljelyn talouteen v. 2000–2006. *Maa- ja elintarviketalous* 120, 103.
- Uusi-Kämpä, J. (2005). Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24, 491–502.
- Uusitalo, R. & H. Jansson (2002). Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with an acetate buffer. *Agricultural and Food Science in Finland* 11, 343–353.
- Wade, A. J., P. Durand, V. Beaujouan, W. W. Wessel, K. J. Raat, P. G. Whitehead, D. Butterfield, K. Rankinen & A. Lepistö (2002). A nitrogen model for European catchments: INCA, new model structure and equations. *Hydrological Earth System Science* 6, 559–582.
- Vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus ja arviointijärjestelmä – VEMALA (2018). Suomen ympäristökeskus. 22.9.2018. <www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Vesienhoidon_mallit/Vedenlaadun_ja_ravinnekuormituksen_mallinnus_ja_arviointijarjestelma_VEMALA>
- Venohr, M., U. Hirt, J. Hofmann, D. Opitz, A. Gericke, A. Wetzig, S. Natho, F. Neumann, J. Hürdler, M. Matranga, J. Mahnkopf, M. Gadegast & H. Behrendt (2011). Modelling of Nutrient Emissions in River Systems—MONERIS—methods and background. *International Review of Hydrobiology* 96: 5, 435–483.
- White, M. J., D. E. Storm, P. R. Busteed, M. D. Smolen, H. Zhang & G. A. Fox (2010). A quantitative phosphorus loss assessment tool for agricultural fields. *Environmental Modelling & Software* 25: 10, 1121–1129.
- Viljavuustutkimus (2017). Viljavuuspalvelu 25.8.2018. <www.viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/oppaat/2008%20Viljavuustutkimuksen%20tulkinta%20peltoviljelyss%C3%83%C2%A4.pdf>
- Ympäristökorvauksen korvaustasot (2018). Maaseutuvirasto. 5.12.2018. <www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/viljelija/Sivut/ymparistokorvauksen-korvaustasot.aspx>
- Ympäristökorvaus (2018). Maaseutuvirasto. 5.12.2018. <www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/viljelija/Sivut/ymparistokorvaus.aspx>

Liitteet

VIHMA-mallilla tehtyjen kuormituslaskelmien kootut tulokset. Taulukoissa on nykytilan ja 28 kasvipeitteisyyskenaarien kootut tulokset siten, että jokaisen skenaarion tulokset ovat omassa taulukossaan. Tulokset sisältävät eroosion, ParP, DRP, TotP, TotN ja NO₃-N kuormitusluvut (kg/v) ja ominaiskuormitusluvut (kg/v/ha) keskimääräisinä, lauhoina ja kylminä vuosina. Skenaarioissa kasvipeitteisyys on joko pelkästään aitoa kasvipeitteisyyttä tai sisältää myös kevytmuokatun peltoalan. Kasvipeitteisyyden sijaitsee skenaarioissa joko nykyisen kaltevuusjakauman mukaisesti, jyrkimmillä peltolohkoilla tai eroosioherkimmillä peltolohkoilla.

1. Nykytilan mukaiset kasvipeitteisyyskenaariot

1. a.) Nykytilan mukainen kasvipeitteisyys

Nykytilan mukainen kasvipeitteisyys			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	235260.8	271521.6	189167.5
PartP	316.8	355.5	268.4
DRP	160.6	163.8	168.4
TotP	477.4	519.4	436.8
TotN	6368.1	6832.4	5318.9
NO ₃ -N	4237.4	4695.0	3623.2
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	452.097	521.779	363.520
PartP	0.609	0.683	0.516
DRP	0.309	0.315	0.324
TotP	0.917	0.998	0.839
TotN	12.238	13.130	10.221
NO ₃ -N	8.143	9.022	6.963

1. b.) Nykytilan mukainen kasvipeitteisyys sijoitettu jyrkimmille peltolohkoille

Nykytilan mukainen kasvipeitteisyys kaltevimmissa peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	230961.4	266199.4	186137.1
PartP	314.7	352.9	267.0
DRP	160.8	163.8	168.7
TotP	475.4	516.7	435.7
TotN	6351.8	6810.7	5306.2
NO ₃ -N	4224.9	4680.4	3611.6
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	443.835	511.551	357.697

PartP	0.605	0.678	0.513
DRP	0.309	0.315	0.324
TotP	0.914	0.993	0.837
TotN	12.206	13.088	10.197
NO3-N	8.119	8.994	6.940

1. c.) Nykytilan mukainen kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

Nykytilanteen mukainen kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	237386.2	274725.8	190416.5
PartP	312.5	350.9	264.9
DRP	183.4	190.2	191.9
TotP	495.9	541.1	456.8
TotN	6368.6	6834.1	5317.7
NO3-N	4238.1	4697.0	3622.6
Ominaiskuormitus			
kg/ha/v			
Eroosio	456.228	527.990	365.958
PartP	0.601	0.674	0.509
DRP	0.353	0.366	0.369
TotP	0.953	1.040	0.878
TotN	12.240	13.134	10.220
NO3-N	8.145	9.027	6.962

1. d.) Nykytilan mukainen aito kasvipeitteisyys sijoitettuna jyrkimmille peltolohkoille

Nykytilan mukainen aito kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	221289.3	254038.8	180104.0
PartP	301.9	336.4	259.7
DRP	183.5	190.3	191.9
TotP	485.4	526.6	451.6
TotN	6367.6	6834.9	5316.2
NO3-N	4237.3	4696.6	3621.7
Ominaiskuormitus			
kg/ha/v			
Eroosio	425.291	488.232	346.138
PartP	0.580	0.646	0.499
DRP	0.353	0.366	0.369
TotP	0.933	1.012	0.868
TotN	12.238	13.136	10.217
NO3-N	8.144	9.026	6.960

1. e.) Nykytilan mukainen aito kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

Nykytilan mukainen aito kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla				
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet	
Eroosio	231153.8	266352.0	186940.9	
PartP	304.5	339.8	261.1	
DRP	183.4	190.2	191.9	
TotP	487.9	529.9	452.9	
TotN	6364.8	6831.8	5313.9	
NO3-N	4235.4	4694.5	3620.1	
Ominaiskuormitus				
kg/ha/v				
Eroosio	444.437	512.112	359.430	
PartP	0.585	0.653	0.502	
DRP	0.353	0.366	0.369	
TotP	0.938	1.019	0.871	
TotN	12.238	13.135	10.217	
NO3-N	8.143	9.026	6.960	

2. 30 % kasvipeitteisyyskenaariot

2. a.) 30 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla

30 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla				
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet	
Eroosio	329097.0	387185.1	256139.5	
PartP	387.7	442.9	316.8	
DRP	127.5	140.4	125.4	
TotP	515.2	583.3	442.1	
TotN	8499.2	9186.8	6453.7	
NO3-N	5882.9	6751.6	4782.0	
Ominaiskuormitus kg/ha/v				
Eroosio	632.138	743.715	491.999	
PartP	0.745	0.851	0.608	
DRP	0.245	0.270	0.241	
TotP	0.990	1.120	0.849	
TotN	16.325	17.646	12.396	
NO3-N	11.300	12.969	9.185	

2. b.) 30 % kasvipeitteisyys sijoitettuna jyrkimmille peltolohkoille

30 % kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla				
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet	
Eroosio	303804.2	354808.6	239361.1	
PartP	368.3	414.9	308.2	
DRP	127.9	139.3	127.1	
TotP	496.3	554.2	435.3	
TotN	8359.2	9022.6	6326.9	
NO3-N	5781.3	6648.3	4672.5	
Ominaiskuormitus				
kg/ha/v				
Eroosio	584.107	682.170	460.206	
PartP	0.708	0.798	0.593	
DRP	0.246	0.268	0.244	
TotP	0.954	1.066	0.837	
TotN	16.072	17.347	12.164	
NO3-N	11.115	12.782	8.984	

2. c.) 30 % kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

30 % kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla				
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet	
Eroosio	314319.2	368528.7	246349.9	
PartP	369.4	417.2	308.0	
DRP	127.4	140.4	125.3	
TotP	496.8	557.6	433.3	
TotN	8498.2	9186.2	6450.9	
NO3-N	5882.9	6752.5	4781.1	
Ominaiskuormitus				
kg/ha/v				
Eroosio	604.083	708.267	473.454	
PartP	0.710	0.802	0.592	
DRP	0.245	0.270	0.241	
TotP	0.955	1.072	0.833	
TotN	16.332	17.655	12.398	
NO3-N	11.306	12.977	9.189	

2. d.) 30 % aito kasvipeitteisyys

30 % aito kasvipeitteisyys			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Erosio	276838.0	323550.2	217712.7
PartP	339.1	383.0	282.8
DRP	145.5	156.1	145.3
TotP	484.6	539.1	428.1
TotN	6821.7	7619.4	5423.5
NO3-N	4560.7	5194.6	3797.5
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Erosio	532.274	622.087	418.594
PartP	0.652	0.736	0.544
DRP	0.280	0.300	0.279
TotP	0.932	1.036	0.823
TotN	13.116	14.650	10.428
NO3-N	8.769	9.988	7.301

2. e.) 30 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna jyrkimmille peltolohkoille

30 % aito kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Erosio	258373.3	300383.4	205696.5
PartP	321.6	360.4	272.7
DRP	145.5	156.1	145.3
TotP	467.0	516.6	418.0
TotN	6821.9	7622.7	5421.5
NO3-N	4561.2	5196.7	3796.5
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Erosio	496.772	577.544	395.491
PartP	0.618	0.693	0.524
DRP	0.280	0.300	0.279
TotP	0.898	0.993	0.804
TotN	13.116	14.656	10.424
NO3-N	8.770	9.992	7.300

2. f.) 30 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

30 % aito kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	262853.8	305866.4	208923.3
PartP	323.5	362.7	274.1
DRP	144.7	155.3	144.4
TotP	468.1	518.1	418.4
TotN	6837.3	7653.7	5402.2
NO3-N	4564.5	5211.7	3785.7
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	505.174	587.839	401.526
PartP	0.622	0.697	0.527
DRP	0.278	0.299	0.277
TotP	0.900	0.996	0.804
TotN	13.141	14.710	10.382
NO3-N	8.773	10.016	7.276

3. 50 % kasvipeitteisyyskenaariot

3. a.) 50 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla

50 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	294584.5	344649.7	231501.6
PartP	361.6	410.7	299.0
DRP	139.6	149.1	141.1
TotP	501.2	559.8	440.1
TotN	7715.3	8320.8	6035.7
NO3-N	5277.8	5995.5	4355.7
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	566.099	662.308	444.873
PartP	0.695	0.789	0.574
DRP	0.268	0.286	0.271
TotP	0.963	1.076	0.846
TotN	14.826	15.990	11.599
NO3-N	10.142	11.521	8.370

3. b.) 50 % kasvipeitteisyys sijoitettuna jyrkimmille peltolohkoille

50 % kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	265730.0	308220.0	211893.5
PartP	343.3	385.7	289.6
DRP	140.7	148.0	143.9
TotP	484.0	533.8	433.5
TotN	7547.1	8113.6	5890.9
NO3-N	5152.8	5861.7	4227.1
Ominaiskuormitus			
kg/ha/v			
Eroosio	510.649	592.302	407.193
PartP	0.660	0.741	0.557
DRP	0.270	0.284	0.276
TotP	0.930	1.026	0.833
TotN	14.503	15.592	11.320
NO3-N	9.902	11.264	8.123

3. c.) 50 % kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

50 % kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	286753.9	334955.5	226263.4
PartP	349.2	393.9	292.5
DRP	139.6	149.0	141.1
TotP	488.8	542.9	433.7
TotN	7716.7	8323.1	6035.1
NO3-N	5279.3	5998.2	4356.0
Ominaiskuormitus			
kg/ha/v			
Eroosio	551.106	643.743	434.851
PartP	0.671	0.757	0.562
DRP	0.268	0.286	0.271
TotP	0.940	1.043	0.833
TotN	14.831	15.996	11.599
NO3-N	10.146	11.528	8.372

3. d.) 50 % aito kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla

50 % aito kasvipeitteisyys			
-----------------------------------	--	--	--

Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	246091.1	284916.6	196993.3
PartP	318.0	356.6	269.5
DRP	158.5	163.3	164.9
TotP	476.5	519.9	434.5
TotN	6499.7	7020.7	5386.1
NO3-N	4332.7	4821.2	3693.5
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	473.134	547.779	378.738
PartP	0.611	0.686	0.518
DRP	0.305	0.314	0.317
TotP	0.916	0.999	0.835
TotN	12.496	13.498	10.355
NO3-N	8.330	9.269	7.101

3. e.) 50 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna kaltevimmille peltolohkoille

50 % aito kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	227113.6	261418.6	183974.2
PartP	305.8	341.2	262.1
DRP	158.5	163.3	164.9
TotP	464.3	504.4	427.0
TotN	6498.9	7022.8	5382.8
NO3-N	4332.1	4822.4	3691.2
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	436.648	502.602	353.708
PartP	0.588	0.656	0.504
DRP	0.305	0.314	0.317
TotP	0.893	0.970	0.821
TotN	12.495	13.502	10.349
NO3-N	8.329	9.272	7.097

3. f.) 50 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille:

50 % aito kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	237269.1	273963.4	191153.4
PartP	308.9	345.2	264.1
DRP	157.6	162.3	163.8
TotP	466.5	507.4	427.9
TotN	6475.7	7015.4	5334.0

NO3-N	4307.6	4807.1	3655.4
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	456.011	526.534	367.380
PartP	0.594	0.663	0.508
DRP	0.303	0.312	0.315
TotP	0.897	0.975	0.822
TotN	12.446	13.483	10.251
NO3-N	8.279	9.239	7.025

4. 70 % kasvipeitteisyyskenaariot

4.a.) 70 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla

70 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	260247.2	302322.2	206998.0
PartP	335.7	378.8	281.3
DRP	164.8	172.9	170.1
TotP	500.5	551.7	451.3
TotN	6935.5	7459.3	5620.8
NO3-N	4675.6	5242.8	3931.7
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	500.113	580.968	397.785
PartP	0.645	0.728	0.541
DRP	0.317	0.332	0.327
TotP	0.962	1.060	0.867
TotN	13.328	14.334	10.801
NO3-N	8.985	10.075	7.556

4. b.) 70 % kasvipeitteisyys sijoitettuna jyrkimmille peltolohkoille

70 % kasvipeitteisyys kaltevimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	227362.7	261160.0	184845.9
PartP	308.7	344.3	265.2
DRP	156.5	159.8	163.9
TotP	465.2	504.1	429.1
TotN	6846.8	7096.8	5749.1
NO3-N	4623.9	5049.4	4001.9
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	436.940	501.891	355.232
PartP	0.593	0.662	0.510
DRP	0.301	0.307	0.315

TotP	0.894	0.969	0.825
TotN	13.158	13.638	11.048
NO3-N	8.886	9.704	7.691

4. c.) 70 % kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

70 % kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	260107.3	302425.9	206937.6
PartP	328.7	369.8	277.2
DRP	164.8	172.9	170.0
TotP	493.5	542.8	447.3
TotN	6935.6	7460.4	5619.4
NO3-N	4676.1	5244.3	3931.1
Ominaiskuormitus			
kg/ha/v			
Eroosio	499.894	581.226	397.709
PartP	0.632	0.711	0.533
DRP	0.317	0.332	0.327
TotP	0.948	1.043	0.860
TotN	13.329	14.338	10.800
NO3-N	8.987	10.079	7.555

4. d.) 70 % aito kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla

70 % aito kasvipeitteisyys			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	215344.2	246283.1	176273.9
PartP	297.0	330.2	256.3
DRP	186.0	186.6	199.9
TotP	482.9	516.8	456.3
TotN	6177.8	6422.1	5348.7
NO3-N	4104.6	4447.9	3589.5
Ominaiskuormitus			
kg/ha/v			
Eroosio	413.999	473.479	338.886
PartP	0.571	0.635	0.493
DRP	0.358	0.359	0.384
TotP	0.928	0.993	0.877
TotN	11.877	12.347	10.283
NO3-N	7.891	8.551	6.901

4. e.) 70 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna kaltevimmille peltolohkoille

70 % aito kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	206199.0	235332.3	169470.8
PartP	292.4	325.0	252.7
DRP	186.0	186.6	199.9
TotP	478.3	511.6	452.7
TotN	6175.8	6423.0	5344.1
NO3-N	4102.9	4448.1	3585.8
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	396.417	452.426	325.808
PartP	0.562	0.625	0.486
DRP	0.358	0.359	0.384
TotP	0.920	0.984	0.870
TotN	11.873	12.348	10.274
NO3-N	7.888	8.552	6.894

4. f.) 70 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

70 % aito kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	212537.2	243090.5	174070.9
PartP	293.5	326.4	253.6
DRP	184.7	185.1	198.5
TotP	478.2	511.5	452.1
TotN	6115.0	6380.3	5264.4
NO3-N	4050.3	4403.0	3524.2
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	408.472	467.192	334.544
PartP	0.564	0.627	0.487
DRP	0.355	0.356	0.381
TotP	0.919	0.983	0.869
TotN	11.752	12.262	10.118
NO3-N	7.784	8.462	6.773

5. 90 % kasvipeitteisyyskkenaariot

5. a.) 90 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla

90 % kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	230638.8	266509.9	185496.4

PartP	307.3	345.0	261.0
DRP	177.8	182.2	187.1
TotP	485.2	527.2	448.1
TotN	6154.3	6597.5	5203.7
NO3-N	4072.6	4490.2	3506.0
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	443.260	512.199	356.501
PartP	0.591	0.663	0.502
DRP	0.342	0.350	0.360
TotP	0.932	1.013	0.861
TotN	11.828	12.680	10.001
NO3-N	7.827	8.630	6.738

5. b.) 90 % kasvipeitteisyys sijoitettuna jyrkimmille peltolohkoille

90 % kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	228621.1	264042.0	184040.9
PartP	306.2	343.7	260.2
DRP	177.8	182.2	187.1
TotP	484.1	525.8	447.4
TotN	6154.4	6597.5	5203.7
NO3-N	4072.7	4490.2	3506.1
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	439.382	507.456	353.704
PartP	0.589	0.661	0.500
DRP	0.342	0.350	0.360
TotP	0.930	1.011	0.860
TotN	11.828	12.680	10.001
NO3-N	7.827	8.630	6.738

5. c.) 90 % kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

90 % kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	230739.5	266637.3	185563.9
PartP	307.4	345.2	261.0
DRP	177.8	182.2	187.1
TotP	485.3	527.3	448.1
TotN	6154.3	6597.5	5203.7
NO3-N	4072.6	4490.1	3506.0
Ominaiskuormitus kg/ha/v			

Eroosio	443.453	512.444	356.631
PartP	0.591	0.663	0.502
DRP	0.342	0.350	0.360
TotP	0.933	1.013	0.861
TotN	11.828	12.679	10.001
NO3-N	7.827	8.630	6.738

5. d.) 90 % aito kasvipeitteisyys nykyisellä kaltevuusjakaumalla

90 % aito kasvipeitteisyys			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	184597.3	207649.5	155554.5
PartP	275.9	303.7	243.1
DRP	199.9	194.1	221.1
TotP	475.8	497.9	464.2
TotN	5855.9	5823.5	5311.4
NO3-N	3876.5	4074.6	3485.6
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	354.871	399.186	299.038
PartP	0.530	0.584	0.467
DRP	0.384	0.373	0.425
TotP	0.915	0.957	0.892
TotN	11.257	11.195	10.211
NO3-N	7.452	7.833	6.701

5. e.) 90 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna jyrkimmille peltolohkoille

90 % aito kasvipeitteisyys kaltevimmilla peltolohkoilla			
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet
Eroosio	185284.4	209246.0	154967.5
PartP	279.0	308.8	243.4
DRP	199.9	194.1	221.1
TotP	478.8	503.0	464.5
TotN	5852.8	5823.2	5305.4
NO3-N	3873.7	4073.9	3480.4
Ominaiskuormitus kg/ha/v			
Eroosio	356.191	402.255	297.910
PartP	0.536	0.594	0.468
DRP	0.384	0.373	0.425
TotP	0.921	0.967	0.893
TotN	11.251	11.194	10.199
NO3-N	7.447	7.832	6.691

5. f.) 90 % aito kasvipeitteisyys sijoitettuna eroosioherkimmille peltolohkoille

90 % aito kasvipeitteisyys eroosioherkimmillä peltolohkoilla				
Kuormitus kg/v	Keskimääräiset vuodet	Lauhat vuodet	Kylmät vuodet	
Eroosio	185347.0	209174.1	155214.8	
PartP	278.3	308.0	243.3	
DRP	198.4	192.3	219.4	
TotP	476.7	500.3	462.7	
TotN	5756.3	5744.4	5198.4	
NO3-N	3795.9	4001.2	3395.9	
Ominaiskuormitus kg/ha/v				
Eroosio	356.216	402.009	298.306	
PartP	0.535	0.592	0.468	
DRP	0.381	0.370	0.422	
TotP	0.916	0.962	0.889	
TotN	11.063	11.040	9.991	
NO3-N	7.295	7.690	6.526	