

**SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN  
RAPORTTEJA 33 | 2014**

# KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistö- kuormituksen laskentaan

**Samuli Launiainen, Sakari Sarkkola, Ari Laurén, Markku Puustinen,  
Sirkka Tattari, Tuija Mattsson, Sirpa Piirainen, Jaakko Heinonen,  
Laura Alakukku ja Leena Finér**



# KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistö- kuormituksen laskentaan

<sup>1</sup> Samuli Launiainen, <sup>1</sup> Sakari Sarkkola, <sup>1</sup> Ari Laurén, <sup>2</sup> Markku Puustinen,  
<sup>2</sup> Sirkka Tattari, <sup>2</sup> Tuija Mattsson, <sup>1</sup> Sirpa Piirainen, <sup>1</sup> Jaakko Heinonen,  
<sup>3</sup> Laura Alakukku ja <sup>1</sup> Leena Finér

<sup>1</sup> Metsäntutkimuslaitos, PL 64, 80101 Joensuu

<sup>2</sup> Suomen Ympäristökeskus, Mechelininkatu 34a, 00251 Helsinki

<sup>3</sup> Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos, Agroteknologian yksikkö,  
PL 28, 00014 Helsingin yliopisto

Helsinki 2014

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 33 | 2014  
Suomen ympäristökeskus (SYKE)  
Vesikeskus

Taitto: Ritva Koskinen

Julkaisu on saatavana ainoastaan internetistä: <https://helda.helsinki.fi/syke>

KUSTAA -laskentaohjelma on saatavissa internetistä: [www.metla.fi/metinfo/kustaa/](http://www.metla.fi/metinfo/kustaa/)  
(1.1.2015 alkaen Luonnonvarakeskus, [www.luke.fi](http://www.luke.fi))

ISBN 978-952-11-4374-8 (PDF)  
ISSN 1796-1726 (verkkokj.)

## SISÄLLYS

<b>1 Johdanto.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Kuormitusarviointi .....</b>	<b>9</b>
2.1 Ominaiskuormitusluvut .....	9
2.2 Valuma-alueen kokonaiskuormituksen arviointi ominaiskuormitus- menetelmällä.....	10
2.3 KUSTAA –työkalussa käytettävät ominaiskuormitusluvut .....	13
2.3.1 Taustakuormitus ja laskeuma .....	16
2.3.2 Peltoviljely ja karjatalous .....	16
2.3.3 Metsätalous .....	17
2.3.4 Turvetuotanto .....	19
2.3.5 Yhdyskunnat .....	21
<b>3 KUSTAA–kuormituslaskelma esimerkkialueelle .....</b>	<b>23</b>
3.1 Lähtöaineistot ja niiden saatavuus.....	23
3.2 Laskelma pienelle esimerkkivaluma-alueelle .....	24
3.3 Kuormituslaskelmiin liittyviä virhelähteitä .....	29
<b>4 Yhteenveto .....</b>	<b>31</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>32</b>
<b>Liite I. Haja- ja pistekuormitusta kuvaavia vuosittaisia ominaiskuormituslukuja .....</b>	<b>36</b>
<b>Kuvailulehdet.....</b>	<b>53</b>



# 1 Johdanto

Maankäytöstä ja muusta ihmistoiminnasta aiheutuu lähes aina ravinne- ja kiintoainekuormitusta vesistöihin. Luonteeltaan maa- ja metsätalouden sekä haja-asutuksen aiheuttama kuormitus on haja-kuormitusta, jonka tarkkaa päästölähdettä ei voida paikallistaa. Yhdyskuntien, teollisuuden, kalankasvattamojen ja turvetuotannon päästöt edustavat pistekuormitusta, jonka lähde ja sijainti ovat määriteltävissä. Typpi- ja fosforikuormitus aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä ja kiintoainekuormitus sameutumista, liettymistä ja umpeenkasvua. Kuormituksen aiheuttamat vesistövaikutukset riippuvat mm. maankäytön alueellisesta laajuudesta, toimenpiteiden voimaperäisyydestä sekä valuma-alueen että vastaanottavan vesistön ominaisuuksista.

Pinta-alaan suhteutettuna metsätalous on Suomessa merkittävin maankäyttömuoto; sen osuus maapinta-alasta on noin 86 % (Metsätilastollinen vuosikirja, 2012). Toiseksi merkittävin maankäyttömuoto on maatalous joka kattaa noin 7 % maapinta-alasta (Maataloustilastot 2012). Vesistövaikutuksiltaan maa- ja metsätalous poikkeavat kuitenkin merkittävästi toisistaan. Ihmistoiminnan aiheuttamasta typpikuormituksesta metsätalouden osuuden on arvioitu olevan Suomessa n. 5 % ja fosforikuormituksesta 6 %, kun vastaavat maatalouden osuudet ovat 56 % ja 69 % (SYKE 2013). Suuri maankäytön pinta-ala ei siis automaattisesti merkitse suurta kuormitusta. Metsätaloudessa vesistökuormitusta aiheutuu lähinnä hakkuista, lannoituksista ja kunnostusojituksista (Finér ym. 2010), joita toteutetaan vuosittain vain pienellä osalla metsäalasta. Maatalouden viljelytoimenpiteet puolestaan kohdistuvat vuosittain koko viljely pinta-alalle. Hydrologiasta ja viljelymaan kuivatuksesta johtuen maatalouden kuormituksesta yli 90 % voi tapahtua kasvukauden ulkopuolella (Puustinen ym. 2005). Merkittävää mutta vaikutuksiltaan paikallisempaa vesistökuormitusta aiheuttavat myös haja-asutus, turvetuotanto, yhdyskuntien päästöt, teollisuus ja muut elinkeinot.

Suomessa on sitouduttu ylläpitämään ja parantamaan vesistöjen laatua ja monimuotoisuutta. Vesiensuojelun valtakunnalliset tavoitteet on määritetty valtioneuvoston periaatepäätöksessä vesiensuojelun suuntaviivoista vuoteen 2015 sekä Itämeren suojeluohjelmassa, joiden taustalla on EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY). Tavoitteena on että vesistöjen tila ei heikkene ja on vähintään hyvä vuoteen 2015 mennessä, tai erityisistä syistä johtuen viimeistään vuoteen 2021 mennessä. Meriympäristön osalta tavoitteena on säilyttää ja saavuttaa hyvä tila vuoteen 2020 mennessä (EU:n meristrategian puitedirektiivi (2008/56/EC)). Vesienhoidon järjestämistä varten on muodostettu vesienhoitoalueet (Laki vesienhoidon järjestämisestä, 1299/2004), joille kullekin on laadittu oma vesienhoitosuunnitelma ja toimenpideohjelma tavoitetilan saavuttamiseksi. Velvoitteiden toteuttaminen ja tavoitteisiin pääseminen vaatii kuormituksen synnyn ehkäisyä ja vesiensuojelutoimenpiteiden oikea-aikaista ja kustannustehokasta kohdentamista sekä laadukasta suunnittelua, toimeenpanoa ja vaikutusten seuranta. Nämä tarvitsevat tuekseen mahdollisimman luotettavaa tietoa maankäytön ja muiden haja- ja pistekuormittajien aiheuttamasta kuormituksesta. Vesistökuormituksen kokonaismäärän ja kuormituslähteiden suhteellisten osuuksien

tunteminen on keskeistä myös arvioitaessa esim. teollisuuden päästöjen mahdollista vaikutusta valuma-alueella osana ympäristövaikutusten arviointia (YVA-menettely), tai vesistön tilan parantamiseen tähtäävien kunnostushankkeiden suunnittelussa.

Suomessa maankäytön aiheuttamaa vesistökuormitusta arvioidaan suorien mitausten lisäksi prosessimalleilla ja ominaiskuormituslukuihin perustuvilla menetelmillä. Prosessimalleissa maaperän ja kasvillisuuden ainevirtoja kuvataan joko paikallisesti yksittäisessä maaprofiilissa (esim. ICECREAM -malli), tai valuma-alueella (VEMALA, INCA, SWAT, FEMMA -mallit) (Huttunen ym. 2014, Granlund ym. 2010, Tattari ym. 2009, Koivusalo ym. 2005, Laurén ym. 2005). Prosessimalleilla voidaan laskea maankäytön aiheuttama kuormitus alkaen syntypisteestä edeten puroihin, jokiin ja edelleen mereen. Prosessimallien ongelmana on tarvittavien lähtötietojen suuri määrä ja näihin liittyvät epävarmuudet. Myöskään kuormituksen syntyyn liittyviä prosesseja ei välttämättä tunneta riittävän hyvin eikä pystytä kuvaamaan riittäväällä tarkkuudella. Malliennusteisiin sisältyy huomattavaa epävarmuutta, mikä vaikeuttaa tulosten käyttöä arvioitaessa vesistökuormitusta.

Ominaiskuormitusmenetelmä hyödyntää kokeellisiin tutkimuksiin perustuvia ominaiskuormituslukuja, jotka edustavat tietyn kuormituslähteen (esim. päätehakkuu tai peltoviljelyn toimenpide) aiheuttamaa lisäystä luonnon vuotuisen taustakuormaan. Menetelmässä hajakuormitus lasketaan ominaiskuormitusluvun ja ko. kuormituslähteen vuotuisen pinta-alan tulona. Pistekuormittajien aiheuttama kuormitus puolestaan perustuu valuma-alueella olevien pistekuormituslähteiden määrään ja niitä kuvaaviin ominaiskuormituslukuihin. Ominaiskuormitusmenetelmän etuna on helppokäyttöisyys ja huomattavasti prosessimalleja vähäisempi lähtötietojen tarve, ja sillä voidaan tuottaa *suuruusluokka-arvio* eri lähteistä aiheutuvan kuormituksen potentiaalisesta määrästä ja kuormituslähteiden suhteellisesta merkityksestä valuma- tai vesistöalueella. Menetelmän ongelmana on erityisesti ominaiskuormituslukuihin liittyvät suuret epävarmuudet. Menetelmä ei myöskään suoraan huomioi valuma-alueen sisäisiä pidättymisprosesseja, esim. ravinteiden ja kiintoaineksen sedimentaatiota vesistöreitille. Myös lähtötietoina tarvittaviin pistekuormittajien määriin ja maankäytön pinta-aloihin sisältyy epävarmuuksia. Menetelmän tuloksia ei näiden tekijöiden vuoksi tule tulkita tarkkana kuormitusarviona vaan niitä tulee tarkastella suuruusluokkatasolla. Ominaiskuormitusmenetelmää käytetään Suomessa esim. ympäristöhallinnon vesistökuormituksen arviointi- ja hallintatyökalussa (VEPS) (Tattari ja Linjama 2004), typpikuormituksen arviointi- ja pidättymismallissa (N\_EXRET) (Lepistö ym. 2006), maatalouden valumavesien hallintamallissa (VIHMA) (Puustinen ym. 2010) sekä Metsätalouden typpi- fosfori- ja kiintoainekuormituksen laskentamenetelmässä (KALLE) (Finér ym. 2010).

## Mikä KUSTAA on ja mihin sitä voidaan käyttää?

KUSTAA –työkalu on ominaiskuormituslukuihin perustuva laskentaohjelma. Sillä voidaan laskea valuma-alueen tai vesistöalueen potentiaalinen kokonaiskuormitus ja sen jakautuminen eri kuormituslähteisiin vähintään vuoden aikajaksolla. KUSTAA –työkalu sisältää kiintoaineen (KA), kokonaistypen (N) ja kokonaisfosforin (P) taustakuormitusluvut ja haja- ja pistekuormitusta kuvaavat ominaiskuormitusluvut vaihteluvälineen (Taulukko 1). KUSTAA tarvitsee lähtötiedoikseen valuma-alueen pinta-alan, vesistöjen pinta-alan, ja vuositasolla metsä- ja maataloustoimenpiteiden pinta-alat sekä pistekuormituslähteiden yksikkömäärät (pinta-ala, henkilömäärä, eläinmäärä, jne.). Laskentatuloksien avulla pystytään arvioimaan esimerkiksi maankäytössä tapahtuvien muutosten tai pistekuormituksen hallinnan mahdollisia vaikutuksia valuma-alueen kokonaiskuormitukseen. KUSTAA –kuormituslaskuria voidaan hyödyntää esimerkiksi osana YVA-menettelyä ja vesistön tilan parantamiseen tähtäävien vesiensuojelu- ja kunnostushankkeiden suunnittelun tukena. Koottu kattava



aineisto haja- ja pistekuormittajien ominaiskuormitusluvuihin voi olla hyödyksi myös tuotannon ja toiminnan elinkaarivaikutusten arvioinnissa. KUSTAA on integroitu Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmaan ja ohjelmoitu Visual Basic for Applications (VBA) -kielellä, minkä vuoksi ohjelman käyttöönotto ja käyttö on helppoa.

KUSTAA on vapaasti ladattavissa Metsäntutkimuslaitoksen verkkosivuilta <http://www.metla.fi> (1.1.2015 alkaen Luonnonvarakeskus, <http://www.luke.fi>).

Tässä raportissa kuvataan KUSTAA -työkalussa käytettävän ominaiskuormitusmenetelmän perusteet, esitetään haja- ja pistekuormitusluvut sekä tarkastellaan lyhyesti kuormitusarvioinnissa tarvittavien lähtöaineistojen saatavuutta. KUSTAA:n käyttö, tulosten tulkinta ja kuormitusarvioihin liittyvät epävarmuudet käydään läpi hyödyntäen esimerkkivaluma-alueita. KUSTAA -työkalussa on uutta ympäristöhallinnossa käytössä olevaan VEPS -laskentatyökaluun verrattuna erityisesti mahdollisuus erotella eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama kuormitus ja tarkastella kuormitusarvioiden epävarmuutta.

**Taulukko I. KUSTAA –työkalan sisältämät haja- ja pistekuormitusta aiheuttavat kuormituslähteet.**

Kuormituslähde	Kokonais- typpi (N)	Kokonais- fosfori (P)	Kiinto- aine (KA)
• <b>TAUSTAKUORMA</b>	x	x	x
• <b>LASKEUMA</b> (vesistöihin)	x <sup>b</sup>	x	
• <b>METSÄTALOUS</b>			
– Uudistushakkuu+maanmuokkaus, kiv. maat	x	x	x <sup>a</sup>
– Uudistuhakkuu, turvemaat	x	x	x <sup>a</sup>
– Lannoitus, kiv.maat	x	x	
– Lannoitus, turvemaat	x	x	
– Tuhkalannoitus	x	x	
– Rautafosfaattilannoitus	x	x	
– Uudisojitus	x	x	x
– Kunnostusojitus	x	x	x
• <b>PELTOVILJELY</b>			
– Syyskyntö	x	x	x
– Syysvilja	x	x	x
– Kultivointi	x	x	x
– Sänkimuokkaus, kevennetty	x	x	x
– Sänkipeite talven yli	x	x	x
– Suorakylvö, syysvilja	x	x	x
– Suorakylvö, kevätvilja	x	x	x
– Pysyvä nurmipeite	x	x	x
– Viherkesanto	x	x	x
– Avokesanto	x	x	x
• <b>KARJATALOUS</b>			
– Siipikarja	x	x	
– Nauta ja lihakarja	x	x	
– Sika	x	x	
– Porotarha	x	x	
• <b>TURVETUOTANTO</b>			
– Kuntoonpanovaihe	x	x	x
– Tuotanto, keskimäärin	x	x	x
– Tuotanto, eri vesiensuojeluratkaisut	x	x	x
• <b>YHDYSKUNNAT</b>			
– Haja-asutus	x	x	x
– Taajama-asutus	x	x	x
– Kesäasunnot	x	x	
– Hulevedet (Kerros- ja pientalot, keskusta-alueet	x	x	x
teollisuus- ja varastoalueet, liikennealueet)	x	x	x
• <b>MUUT</b>			
– Massa- ja paperiteollisuus	x	x	x
– Kalanviljelylaitokset	x	x	
– Lannoitevalmistus	x	x	
– Meijerilaitokset			x
– Turkistarhaus	x	x	

<sup>a</sup> arvio vain kiintoaineen keskimääräiselle ominaiskuormitukselle

<sup>b</sup> sisältää vain NO<sub>3</sub>-N ja NH<sub>4</sub>-N -laskeuman

## 2 Kuormitusarviointi

### 2.1

#### Ominaiskuormitusluvut

Luonnontilaiselta maa-alueelta tulevaa vesistökuormitusta kutsutaan taustakuormaksi tai luonnonhuuhtoumaksi ja se muodostaa perustason, johon ihmistoiminnasta aiheutuvaa vesistökuormitusta tyypillisesti verrataan. *Taustakuormitusluku* edustaa vuotuista taustakuormitusta normitettuna maapinta-alaa (ha) kohden (esim.  $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  tai  $\text{kg kiintoainetta ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ). Taustakuorman tarkka määrittäminen on kuitenkin vaikeaa sillä valuma-alueita joihin ihminen ei olisi vaikuttanut - vähintään ilmacehstä tulevan laskeuman kautta - ei tarkasti ottaen ole.

Maankäyttö ja tähän liittyvä ihmistoiminta sekä yhdyskuntien toiminnot aiheuttavat vesistökuormitusta, joka on yleensä suurempaa kuin samalta alueelta tuleva taustakuorma. *Ominaiskuormitukseksi* kutsutaan vuotuista ihmistoiminnan aiheuttamaa vesistökuormituksen lisäystä suhteutettuna toimenpidepinta-alaa (esim.  $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ,  $\text{kg KA ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) tai kuormitusyksikköä (esim.  $\text{kg N asukas}^{-1} \text{a}^{-1}$ ,  $\text{kg N tonni}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) kohti. KUSTAA -työkalussa esitetyt *ominaiskuormitusluvut* edustavat havaittua vuotuista (netto) kuormituslisäystä taustakuormaan, ja ne perustuvat pääasiassa kokeellisiin tutkimuksiin. Hajakuormitusta aiheutuu maa- ja metsätalouden toimenpiteistä, kuten viljelytoimenpiteistä, metsänuudistamisesta, kunnostusojituksista ym. Hajakuormitukseen luetaan myös viemäriverkon ulkopuolella olevan haja- ja loma-asutuksen kuormitus sekä rakennetun maan hulevedet. Ominaiskuormitusluvut määritetään yleisesti kenttäkokeissa kalibrintikausi-vertailualue menetelmällä. Esim. metsätalouden toimenpiteiden kuormitustutkimuksessa kuormitusta seurataan valuma-aluepareilla, joista toisella tehdään jokin toimenpide (esim. metsänuudistaminen) ja toinen toimii käsittelemättömänä vertailualueena (Laurén ym. 2009). Maatalouden kuormitusseurantaa on puolestaan tehty pienillä maatalousvaltaisilla valuma-alueilla (mm. Rekolainen 1989, Vuorenmaa ym. 2002), ja yksityiskohtaisempia kenttäkokeita erilaisilla koekentillä (mm. Puustinen ym. 2010, Turtola 1999). Yhdellä koekentällä voi olla useita rajattuja koeruutuja, joilla seurataan samanaikaisesti erilaisten viljely-, maanmuokkaus- ja vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutuksia vesistöön päätyvään kuormitukseen (Puustinen ym. 2005).

Kalibrintikausi-vertailualue menetelmässä valuma-alueiden valuntaa ja valumaveden ainepitoisuuksia seurataan tyypillisesti 2-5 vuotta ennen toimenpidettä. Valuntaa seurataan yleensä jatkuvatoimisesti ja vedenlaatua vesinäytteistä, joita otetaan valumavedestä usein 2-5 kertaa kuukaudessa. Valunnan ja vedenlaatutietojen avulla lasketaan kuukausittainen ravinne/kiintoainekuorma ( $\text{kg ha}^{-1} \text{kk}^{-1}$ ). Kuormien laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi keskimääräisiä kuukauden aikana mitattujen pitoisuuksien keskiarvoa tai soveltaa mm. periodi- ja interpolaatiomenetelmiä (Kauppila & Koskiahö 2003).

Pistekuormituksen lähde on hajakuormitusta oleellisesti tarkemmin paikannettavissa. Pistekuormitusta aiheutuu esim. yhdyskuntien puhdistetuista jätevesistä

ja teollisuustuotannon päästöistä vesistöihin. Turvetuotanto luetaan nykyään piste-kuormitukseksi. Pistekuormittajien ominaiskuormitusluvut perustuvat eri kohteilta tulevien ravinne- ja kiintoainekuormien seurantaan. Suurin osa kuormitusseurannan tuloksista tallennetaan Ympäristöhallinnon VAHTI-järjestelmään ([www2.ymparisto.fi/OivaVahti/Default.htm](http://www2.ymparisto.fi/OivaVahti/Default.htm)).

2.2

## Valuma-alueen kokonaiskuormituksen arviointi ominaiskuormitusmenetelmällä

KUSTAA -työkalu laskee vuotuisen kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen kokonaiskuormituksen ja eri kuormituslähteiden aiheuttaman kuormituksen tarkasteltavalla valuma-alueella. Lisäksi tuotetaan karkea arvio tulosten epävarmuudesta. Kokonaiskuormituksen odotusarvon (todennäköisin arvo) laskenta on esitetty yhtälöissä 1 – 4. Yhtälöissä esiintyvät indeksit ja suureet ovat seuraavat:

$k$  – aine: kokonaistyyppi (N), kokonaisfosfori (P), kiintoaine (KA)

$j$  – vuosi

$i$  – haja- tai pistekuormitusta aiheuttava kuormituslähde (esim. metsänuudistamishakkuu, peltoviljely, haja-asutus)

$L$  – kokonaiskuorma ( $\text{kg a}^{-1}$ )

$B$  – taustakuorma ( $\text{kg a}^{-1}$ )

$D$  – laskeuma suoraan vesistöön ( $\text{kg a}^{-1}$ )

$M$  – peltoviljelyn kuormitus ( $\text{kg a}^{-1}$ )

$F$  – metsätalouden kuormitus ( $\text{kg a}^{-1}$ )

$S$  – muuhun maankäyttöön liittyvän toimenpiteen aiheuttama kuormitus ( $\text{kg a}^{-1}$ )

$Y$  – muuhun ihmistoimintaan liittyvä kuormitus ( $\text{kg a}^{-1}$ )

$\sigma^2$  – varianssi

### Kokonaiskuormituksen laskenta

Vesistöön kohdistuva aineen  $k$  kokonaiskuormituksen odotusarvo  $L_{kj}$  ( $\text{kg a}^{-1}$ ) vuonna  $j$  koostuu valuma-alueelta ja ilmakehästä laskeumana suoraan vesistöön tulevasta kuormituksesta yhtälön

$$L_{kj} = B_{kj} + D_{kj} + \sum_{i=1}^{N_M} M_{ikj} + \sum_{i=1}^{N_F} F_{ikj} + \sum_{i=1}^{N_S} S_{ikj} + \sum_{i=1}^{N_Y} Y_{ikj} \quad (1)$$

mukaisesti. Tässä  $B_{kj}$  on vuotuinen taustakuorma maa-alueilta,  $D_{kj}$  vuotuinen laskeuma ilmakehästä suoraan vesistöön,  $M_{ikj}$  edustaa peltoviljelyyn,  $F_{ikj}$  metsätaloustoimenpiteisiin,  $S_{ikj}$  muuhun maankäyttöön (esim. turvetuotanto) ja  $Y_{ikj}$  muuhun kuormituslähteeseen liittyvää vuosittaista kuormitusta. Kunkin kuormituslähteen sisällä kuormitusta aiheuttavia tekijöitä  $i$  voi olla useita, mitä yhtälössä 1 kuvataan summa-termeillä  $\sum_{i=1}^{N_x}$ , ja  $N_M$ ,  $N_F$ ,  $N_S$ ,  $N_Y$  -edustavat kuormitusta aiheuttavien toimenpiteiden tai kuormitusta aiheuttavan toiminnan lukumäärää. Yksittäisten kuormituslähteiden aiheuttaman vuotuisen vesistökuormituksen ( $\text{kg a}^{-1}$ ) odotusarvo saadaan yhtälöiden

$$\begin{aligned}
B_{kj} &= b_k A_{maa} \\
D_{kj} &= d_k A_{ves} \\
M_{ikj} &= m_{ik} A_{ij} \\
S_{ikj} &= s_{ik} A_{ij} \\
Y_{ikj} &= y_{ik} T_{ij}
\end{aligned}
\tag{2}$$

mukaisesti. Tässä  $b_k$  on taustakuormitusluku ( $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) ja  $A_{maa}$  valuma-alueen maapinta-ala (ha);  $d_k$  vuotuinen laskeuma ( $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) ja  $A_{ves}$  vesistöjen pinta-ala (ha);  $m_{ik}$  ( $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) peltoviljelyn toimenpiteen ominaiskuormitusluku;  $s_{ik}$  ( $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) edustaa muuhun maankäyttöön liittyvää ominaiskuormituslukua ja  $A_{ij}$  vastaavia vuotuisia pinta-aloja (ha); ja  $y_{ik}$  muiden kuormituslähteiden voimakkuutta kuvaavaa ominaiskuormituslukua (esim.  $\text{kg as}^{-1} \text{a}^{-1}$ ,  $\text{kg yks}^{-1} \text{a}^{-1}$ ,  $\text{kg tuotettu tonni}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) ja  $T_{ij}$  kuormitusyksikköjen määrää (esim. as, yks, tuotettu tonni, jne.).

Yhtälöt 2 olettavat, että ominaiskuormitusluvut eivät riipu ajasta tai paikasta vaan toistuvat samoina vuodesta toiseen. Erona esim. peltoviljelyyn ja tähän yleensä liittyvään vuosittaiseen maanmuokkaukseen, tehdään metsätaloustoimenpiteitä ainoastaan muutamia kertoja metsikön 60 – 120 vuoden kiertoajan aikana. On kuitenkin havaittu että mm. metsänuudistamisesta, metsälannoituksesta tai kunnostusojituksesta aiheutuu kuormituslisäystä, joka kestää usean vuoden (2 – 10 v.) ajan toimenpiteen jälkeen. Ominaiskuormituksen on havaittu olevan suurimmillaan heti toimenpidettä seuraavina vuosina ja pienenevän ajan kuluessa. Tämän vuoksi metsätalouden toimenpiteiden kuormitusarviointi KUSTAA:ssa poikkeaa muusta kuormitusarvioinnista. Metsätalouden toimenpiteiden ominaiskuormitusluvuissa  $f_{ikt}$  ( $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) otetaan huomioon toimenpiteestä kulunut aika  $t$  (vuosina). Metsätaloustoimenpiteen  $i$  kuormituksen odotusarvo vuonna  $j$  on

$$F_{ikj} = \sum_{t=0}^9 f_{ikt} A_{ik(j-t)}
\tag{3}$$

jossa summa lasketaan vuoden  $j$  ja tätä edeltävän yhdeksän vuoden yli, ja  $A_{ik(j-t)}$  edustaa vuotuisia toimenpidepinta-aloja ko. ajanjaksolla. Olettamalla kaikki metsätalouden kuormituslähteet toisistaan riippumattomiksi, saadaan metsätalouden kokonaiskuormitus  $F_{kj}$  aineelle  $k$  vuonna  $j$  kaikkien metsätaloustoimenpiteiden  $i$  kuormituksen summana. Metsätalouden kuormitusarviointi on esitetty kattavammin julkaisussa Finér ym. (2010). Valuma-alueelta usean vuoden tarkastelujakson aikana kertyvä kokonaiskuorma saadaan vastaavasti vuotuisten kuormien  $L_k$  (yhtälö 1) summana.

## Kuormitusosuuksien laskenta

Odotusarvo tietyn kuormituslähteen suhteelliselle osuudelle  $Q$  (-) valuma-alueen kokonaiskuormituksesta saadaan yhtälöstä

$$Q = \frac{K}{L} + \frac{\sigma_L^2 K}{L^3} - \frac{\sigma_K^2}{L^3}
\tag{4}$$

jossa  $L$  ja  $K$  ovat tässä kokonaiskuorman ja tarkasteltavan kuormituslähteen (esim. peltoviljely) aiheuttaman vesistökuorman odotusarvot (yhtälöt 1 ja 2), ja  $\sigma_L^2$  ja  $\sigma_K^2$  näiden varianssit (yhtälöt 5 - 7).

Vastaavasti voidaan laskea esim. yksittäisen metsätaloustoimenpiteen suhteellinen osuus metsätalouden aiheuttamasta kokonaiskuormituksesta tai tietyn viljelytavan osuus peltoviljelyn aiheuttamasta kokonaiskuormituksesta.

## Kokonaiskuormitukseen ja kuormitussuhteisiin sisältyvä epävarmuus

Kuormitusarvioinnissa oletetaan poikkeuksetta ominaiskuormitusluvun keskiarvon edustavan keskimääräistä kuormituslisäystä luonnontilaan nähden. Käytännössä tutkimuksia eri maankäytön toimenpiteiden ja muiden kuormituslähteiden ominaiskuormituksesta on kuitenkin saatavilla niin vähän, ettei tiettyä kuormituslähdetä edustavien ominaiskuormituslukujen jakaumaa voida arvioida. Poikkeuksen muodostavat lähinnä turvetuotanto ja muut velvoitetarkkailun piirissä olevat piste-kuormittajat, joiden vuosittaisten kuormitustietojen perusteella voi olla mahdollista selvittää ko. ominaiskuormituslukujen ajallista ja paikallista jakaumaa nykyistä tarkemmin.

Ominaiskuormituslukuihin ja vuotuisiin toimenpidepinta-aloihin sekä kuormittajien määrään valuma-alueella liittyy huomattavaa epävarmuutta. Näiden vaikutusta kokonaiskuormitukseen ja kuormitussuhteisiin pyritään KUSTAA:ssa havainnollistamaan yksinkertaisen epävarmuusarvion avulla. Epävarmuusarviossa oletetaan että kunkin ominaiskuormitusluvun ja kuormittajan määrän jakauma noudattaa normaalijakaumaa ja syöttötietoina annettavien minimi- ja maksimiarvojen (esim. Taulukon 2 oletusarvot) vaihteluväli sisältää 95 % hajonnasta. Tällöin ominaiskuormitusluvun tai kuormittajan määrän keskihajonta saadaan johdettua

$$\sigma_c \approx \left( \frac{Max - Min}{4} \right) \quad (5)$$

Myös toimenpide pinta-alojen ja kuormittajien määrän keskihajonnat lasketaan kaavan 5 perusteella. Tässä tapauksessa vaihteluväli johdetaan syöttötietoina annettavien suhteellisten epävarmuuksien  $f_e$  (-) avulla olettaen että  $(Max - Min) \sim 2f_e A_{ij}$ . Suhteellinen epävarmuus voi erota eri kuormituslähteiden välillä mutta oletetaan yksinkertaisuuden vuoksi ajasta riippumattomaksi.

Olettamalla ominaiskuormitusluvut ja pinta-alat tai kuormittajien vuotuiset määrät toisistaan riippumattomiksi, saadaan tietystä lähteestä peräisin olevan vuotuisen vesistökuorman K varianssi  $\sigma_K^2$  (keskihajonnan neliö) laskettua tulon varianssin avulla

$$\sigma_K^2 = c_{ik}^2 \sigma_A^2 + \sigma_A^2 \sigma_c^2 + A_{ij}^2 \sigma_c^2 \quad (6)$$

missä  $c_{ik}$  ja  $A_{ij}$  edustavat ominaiskuormitusluvun ja pinta-alan / kuormitusyksikkömäärän odotusarvoja ja  $\sigma_c^2$  sekä  $\sigma_A^2$  näiden variansseja. Koska vesistökuormituksen lähteet (esim. metsätalous, yhdyskuntien jätevedet) voidaan olettaa toisistaan riippumattomaksi, saadaan kokonaiskuorman varianssi eri lähteistä peräisin olevien kuormien varianssien summana

$$\sigma_L^2 = \sigma_B^2 + \sigma_D^2 + \sigma_M^2 + \sigma_F^2 + \sigma_S^2 + \sigma_Y^2 \quad (7)$$

Kuormitusosuuden Q varianssi  $\sigma_Q^2$  puolestaan saadaan yhtälöstä

$$\sigma_Q^2 = \left( \frac{K}{L} \right)^2 \left( \frac{\sigma_Q^2}{K^2} + \frac{\sigma_K^2}{L^2} - 2 \frac{\sigma_K^2}{KL} \right) \quad (8)$$

Tulosten epävarmuusarvio esitetään keskihajonnan (varianssin neliöjuuri) avulla. Normaalijakaumaoletuksen perusteella kokonaiskuormitus tai kuormitusosuus on 68 % todennäköisyydellä välillä keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

KUSTAA-työkaluun määritetyt ominaiskuormituslukujen vaihteluvälin ääriarvot (max-min) sisältävät ko. ominaiskuormitusluvun paikallista ja ajallista vaihtelua. Koska ominaiskuormituslukujen tarkkaa jakaumaa ei kuitenkaan tunneta, perustuvat

annetut vaihteluvälit olemassa olevasta aineistosta johdettuun asiantuntija-arvioon – tai usein rehellisemmin arvaukseen. Perusteet ko. arviolle on esitetty kunkin kuormittajan yhteydessä erikseen. Mikäli ominaiskuormitusluvuista on voitu määrittää ai-noastaan keskiarvo, oletetaan KUSTAA -työkalussa vaihteluväliksi (max – min) 40 % keskiarvosta. Tämä vastaa tilannetta, jossa ominaiskuormituslukujen keskihajonta on noin 10 % keskiarvosta (i.e. jakauma on suhteellisen kapea ja ominaiskuormitusluku tunnetaan varsin tarkasti). On kuitenkin huomattava, että KUSTAASSA esitetyt ominaiskuormituslukujen ääriarvot eivät ole raja-arvoja, joita pienempiä tai suurempia ei todellisuudessa voisi esiintyä. KUSTAA -työkalun tuottama epävarmuusarvio ei ole tarkka vaan edustaa suuruusluokkaa eri kuormituslähteisiin liittyvästä ja niistä aiheutuvasta epävarmuudesta. Virhearvio tukee kuormituslaskelmien luotettavuuden arviointia ja havainnollistaa epävarmuuksien roolia esim. kuormituslähteiden keskinäisten suhteiden arvioinnissa.

2.3

## **KUSTAA –työkalussa käytettävät ominaiskuormitusluvut**

KUSTAA -työkalun avulla voidaan arvioida kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen taustakuormitus, suora laskeuma vesistöön sekä eri lähteistä peräisin oleva haja- ja pistekuormitus valuma-alueetasolla. KUSTAA:n oletusarvoisesti sisältämät kuormituslähteet ja näiden ominaiskuormitusluvut on esitetty Taulukoissa 1 ja 2. Metsätaloustoimenpiteiden osalta Taulukon 2 luvut ovat keskiarvoja toimenpiteen aiheuttaman 2 – 10 vuotta kestävä kuormituksen ajalta (kts. kappale 2.2.3). Ominaiskuormitusluvut edustavat maankäytön toimenpiteestä tai muusta kuormituslähteestä syntyvää taustakuorman ylittävää kuormitusta (ns. netto-ominaiskuormitusluku). KUSTAA:n ominaiskuormitusluvut perustuvat Suomessa tehtyihin kenttäkokeisiin, kuormitusseurantoihin ja mallituloksiin, ja ne on johdettu julkaistujen tutkimusten ja selvityksien tuloksista (Liite 1). Käyttäjällä on myös mahdollisuus muuttaa oletusarvoisia ominaiskuormituslukuja tai lisätä kuormituslähteitä tarpeen mukaan; erityisen tärkeää tämä voi olla arvioitaessa peltoviljelyn kuormitusta sillä tähän maalajilla, peltojen kaltevuudella ja viljelykäytännöllä on suuri merkitys.

**Taulukko 2.** KUSTAA -työkalun sisältämät ominaiskuormitusluvut (keskiarvot ja vaihteluvälit). Ominaiskuormitusluvut perustuvat Liitteen I kuormitustutkimuksiin ja selvityksiin.

	Typpi, kg/ha/v		Fosfori, kg/ha/v		Kiintoaine, kg/ha/v	
	Keskiarvo	Min	Keskiarvo	Min	Keskiarvo	Min
<b>TAUSTAKUORMA JA LASKEUMA</b>						
Taustakuorma	<b>1.25</b>	0.29	<b>0.049</b>	0.018	<b>5.1</b>	0.9
Laskeuma	<b>3</b>	2	<b>0.1</b>	0.07	<b>0.0</b>	0
<b>METSÄTALOUS</b>						
Uudistushakkuu+maanmuokkaus, kivennäismaat	<b>0.5</b>	0.0	<b>0.03</b>	0.000	<b>0</b>	0
Uudistushakkuu, turvemaat	<b>2.6</b>	1.2	<b>0.06</b>	0.03	<b>0</b>	0
Uudisojitus	<b>2.3</b>	1.2	<b>0.17</b>	0.00	<b>246</b>	17
Kunnostusojitus	<b>0.0</b>	0.0	<b>0.10</b>	0.00	<b>97</b>	50
Lannoitus, kivennäismaat	<b>1.5</b>	0.0	<b>0.00</b>	0.00	<b>0</b>	0
Lannoitus, turvemaat	<b>0.0</b>	0.0	<b>0.14</b>	0.00	<b>0</b>	0
<b>TURVETUOTANTO</b>						
Kuntoonpanovaihe, pintavalutuskenttä	<b>7.8</b>	0.0	<b>0.23</b>	0.00	<b>17</b>	0
Kuntoonpanovaihe, perustaso	<b>10.1</b>	0.0	<b>0.41</b>	0.00	<b>74</b>	0
Perustaso	<b>8.6</b>	0.0	<b>0.3</b>	0.00	<b>53</b>	0
Virtaamansäätö	<b>9.1</b>	0.0	<b>0.22</b>	0.00	<b>42</b>	0
Kasvillisuuskenttä	<b>5.7</b>	0.0	<b>0.27</b>	0.00	<b>24</b>	0
Pintavalutus, ympärivuotinen	<b>4.6</b>	0.0	<b>0.11</b>	0.00	<b>11</b>	0
Pintavalutus, sulan maan aika	<b>5.7</b>	0.0	<b>0.24</b>	0.00	<b>35</b>	0
Kemikalointi, sulan maan aika	<b>6.4</b>	0.0	<b>0.22</b>	0.00	<b>48</b>	0
<b>PELTOVILJELY</b>						
Syyskyntö	<b>17.9</b>	15.0	<b>1.14</b>	0.84	<b>925</b>	720
Syysvilja	<b>21.4</b>	17.2	<b>0.93</b>	0.67	<b>690</b>	540
Kultivointi	<b>11.9</b>	10.6	<b>1.06</b>	0.76	<b>775</b>	605
Sänkimuokkaus kevennetty	<b>9.9</b>	5.1	<b>0.95</b>	0.64	<b>625</b>	485
Sänkipelte talven yli	<b>12.1</b>	9.3	<b>1.03</b>	0.67	<b>605</b>	470
Suorakylvö syysvilja	<b>9.9</b>	9.0	<b>1.59</b>	0.99	<b>330</b>	290
Suorakylvö kevätilja	<b>9.9</b>	9.0	<b>1.21</b>	0.80	<b>330</b>	290
Pysyvä nurmipeite	<b>7.2</b>	5.2	<b>1.00</b>	0.70	<b>305</b>	290
Vierkesanto	<b>7.2</b>	5.2	<b>1.13</b>	0.80	<b>305</b>	290
Avokesanto	<b>17.9</b>	15.0	<b>1.29</b>	0.9	<b>925</b>	720



	Typpi, kg/yksilö/v		Fosfori, kg/yksilö/v		Kiintoaine, kg/yksilö/v	
	Keskiarvo	Min	Keskiarvo	Min	Keskiarvo	Min
<b>KARJATALOUS</b>						
Siipikarja	0.013		0.002		0.0	
Nauta	2.5		0.44		0.0	
Lihakarja	1.3		0.22		0.0	
Sika	0.4		0.07		0.0	
Porotarha	0.4		0.06		0.0	
	Typpi, kg/asukas/v		Fosfori, kg/asukas/v		Kiintoaine, kg/asukas/v	
<b>YHDYSKUNNAT</b>						
Taajama-asutus, jätevedet puhdistettu	2.4	0.6	0.03	0.01	0.4	0.003
Taajama-asutus, jätevedet puhdistamaton	5.3		0.90		27.8	
Haja-asutus, jätevedet puhdistettu	1.0		0.25		3.7	
Haja-asutus, jätevesiasetuksen minimitaso	3.6		0.24		3.7	
Kesämökkit (rannalla)	0.4	0.1	0.07	0.01	3.7	0.003
Hulevedet rakennettu ympäristö, keskimäärin	5.6	2.9	0.66	0.24	372	110
	Typpi, kg/tuotettu t/v		Fosfori, kg/tuotettu t/v		Kiintoaine, kg/tuotettu t/v	
<b>MUUT KUORMITUSLÄHTEET</b>						
Selluntuotanto	0.18	0.01	0.015	0.007	0.6	0.0
Paperinvalmistus	0.14	0.03	0.008	0.003	0.4	0.1
Kalanviljelylaitokset, maalla	39.0		7.2			
Kalanviljelylaitokset, vesiviljely	44.0		7.0			
Lannoitevalmistus	0.06		0.001			
Turkistarhaus	253		27			

### 2.3.1

#### Taustakuormitus ja laskeuma

Luonnontilaisilta maa-alueilta vesistöihin kulkeutuvia ainevirtoja ja tästä aiheutuva vesistökuormitusta kutsutaan taustakuormaksi (luonnonhuuhtoumaksi). Taustakuormaa ja sen alueelliseen vaihteluun vaikuttavia tekijöitä on Suomessa selvitetty 42 pienellä luonnontilaisella valuma-alueella (Mattsson ym. 2003; Kortelainen ym. 2006). Tutkimusten perusteella keskimääräinen kiintoainekuorma luonnontilaisilta alueilta on  $5,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vaihteluväli  $0,92 - 47,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Typen ja fosforin taustakuormat ovat puolestaan keskimäärin  $1,3$  ja  $0,049 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vaihteluväli  $0,29-2,3$  ja  $0,017-0,15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). KUSTAA -laskurissa käytettävät taustakuormitusluvut ja niiden vaihteluvälit perustuvat em. luonnontilaisten valuma-alueiden aineistoon (Finér ym., 2010). Aineiston perusteella on havaittu, että turvemaiden suhteellinen osuus valuma-alueen maapinta-alasta vaikuttaa typen ja fosforin taustakuormitukseen. Tämän vuoksi liitteessä 1 on esitetty taustakuormitusluvut erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomelle kun turvemaiden osuus on alle tai yli 30 % maa-alasta.

Ilmasta tuleva kuiva- ja märkälasseuma vaikuttaa koko valuma-alueen typpi- ja fosforitaseeseen. Sadeveden laatua ja sadeveden mukana tulevan laskeuman määrää seurataan Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämän valtakunnallisen seurantaverkon avulla (Vuorenmaa ym. 2001, Vuorenmaa, 2004). Mittausasemat on sijoitettu pääosin haja-asutusalueille, joilla ei ole merkittäviä ilman epäpuhtauksien paikallisia päästölähteitä. Liitteessä 1 esitetty Etelä-Suomen sekä Itä- ja Pohjois-Suomen raja laskeumatiedoille on suurin piirtein Lappeenranta-Kokkola -linja. Lapin laskeumaluvut on esitetty vielä erikseen. Maa-alueille kohdistuvan laskeuman mukanaan tuomia ravinteita sitoutuu maahan ja kasvillisuuteen, ja laskeuman katsotaan sisältyvän taustakuormaan. Vesistöön suoraan kohdistuva laskeuma huomioidaan KUSTAA:ssa erikseen (yhtälöt 1 ja 2).

### 2.3.2

#### Peltoviljely ja karjatalous

Maatalouden vesistövaikutukset aiheutuvat pääasiassa peltoviljelyssä syntyvästä vuosittaisesta kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta. Karjatalous voi aiheuttaa lisää ravinnekuormitusta vesistöihin tavanomaiseen peltoviljelyyn verrattuna, mikäli käytetyn lannan ravinne määrä ylittää keskimääräisen mineraalilannoitteiden käyttömäärän. Ravinteiden vuosittainen käyttö peltoviljelyssä lannan ravinteet mukaan lukien on kuitenkin laaja-alaisen ympäristötukijärjestelmään sitoutumisen johdosta valvottua ja karjatalouden kohdalla lantapoikkeuksesta huolimatta em. ympäristörisiki on aiempaa pienempi, varsinkin kun karjalannan varastoinnista aiheutuvat vuodot on saatu estettyä. Pelloilta tulevan kiintoainekuormituksen on arvioitu vaihtelevan välillä  $50 - 5000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja vastaavasti kokonaistypen  $6 - 22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja kokonaisfosforin  $0,54 - 2,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Tattari ja Linjama, 2004; Väisänen ja Puustinen, 2010). Tämä koskee niin kasvinviljelytiloja kuin kotieläintiloja. Valtaosa peltopinnan eroosiosta ja ravinnehuuhtoumista muodostuu kasvukauden ulkopuolella syyssateiden ja lumen sulamisen aiheuttamien suurten valumahuippujen aikaan. Näin ollen erityisesti syksyllä tehtävä maanmuokkaus (kyntö, äestys, kultivointi) tai vaihtoehtoisesti pellon pitäminen ympärivuotisesti kasvipeitteisenä ratkaisevat, kuinka herkästi eroosiota valumahuippujen aikana tapahtuu. Vuosikuormituksen tasoon vaikuttaa lisäksi myös peltojen sijainti vesistöihin nähden, kaltevuus maalaji, ja pellon vesitalous. Peltoviljelyn kiintoaine- ja ravinnekuormituksen tyypillinen ominaisuus on huomattavan suuri vuosivaihtelu, mikä pääosin johtuu hydrologisista tekijöistä. Maatalouden vesistökuormitusta on pyritty alentamaan aktiivisesti 1990-luvulta lähtien mm. erilaisten ympäristötukijärjestelmien avulla (Aakkula ym. 2010).

Peltoviljelyn aiheuttaman kuormituksen tarkka lohko-kohtainen arviointi on suurten paikallisten erojen, vuosittaisen vaihtelun ja viljelypinta-alaan (maatalousmaita on Suomessa yhteensä n. 2,1 milj. ha, Maataloustilastot 2012) nähden vähäisen kuormitukseen seurannan vuoksi haasteellista. KUSTAA-työkalun oletusarvoiset peltoviljelyä koskevat ominaiskuormitusluvut ja näiden vaihteluvälit perustuvat kenttäkokeita ja mallinnusmenetelmiä yhdistäviin tutkimuksiin (VIHMA-kuormitusmalli, Puustinen ym. 2005, 2007, 2010, 2013). Tutkimuksissa on pyritty huomioimaan mm. eri viljelymenetelmistä sekä pellon kaltevuuksista ja maalajista aiheutuvat erot. Ominaiskuormitusluvut kuvaavat ominaisuuksiltaan ja viljelykäytöltään erilaisten peltolohkojen pitkäaikaista keskimääräistä kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Lukujen minimi ja maksimiarvot kuvaavat taas hydrologisesta vuosityypistä riippuvaa pitkäaikaista keskimääräistä minimi- ja maksimikuormitusta. Näin ollen kaikkiin em. lukuihin sisältyy normaalia vaihtelua sekä mittauksesta johtuvaa epävarmuutta. Oletusarvot keskeisimmille viljely- ja maanmuokkausmenetelmiä kuvaaville ominaiskuormitusluvuille (Taulukko 1) edustavat VIHMA-mallin laajassa kuormituslukujen joukossa hiesumailla sijaitsevia, kaltevuudeltaan 1.5 – 3.0 % olevia viljelymaita.

Voimakkaimmin kaltevuus ja maalaji vaikuttavat eroosioon ja kiintoainekseen sitoutuneen fosforin huuhtoutumiseen. Esimerkiksi kynnetyillä pelloilla eroosio jyrkiltä peltolohkoilta (kaltevuus yli 6 %) voi olla noin kymmenen kertaa tasaisia peltolohkoja suurempaa (Liite 1). Liitteessä 1 on esitetty arviot eri viljelymenetelmien ominaiskuormituksesta eri kaltevuusluokissa ja maalajeilla. Näiden avulla peltoviljelyn ominaiskuormituslukuja voi tarvittaessa muokata paremmin tarkasteltavan valuma-alueen ominaisuuksia vastaaviksi. Maatalouden osalta on paikoin raportoitu erikseen liukoisien ja hiukkasmuotoisen fosforin kuormitusluvut; kokonaisfosforin ominaiskuormitus saadaan näiden summana. Myös julkaistut ominaiskuormitusluvut karjatalouden päästöistä on sisällytetty Liitteeseen 1.

### 2.3.3

#### Metsätalous

Metsätalouden kuormitus syntyy metsänkäsittelyn aiheuttamasta valunnan ja eroosion lisääntymisestä ja kasvillisuuden ravinteiden oton muutoksista, mitkä lisäävät kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumista pintavesiin. Viime vuosina metsätalouden toimenpiteitä on tehty vuosittain yhteensä n. 180 000 ha pinta-alalla (Metsätalostollinen vuosikirja, 2012). Toimenpidepinta-alat ovat osin päällekkäisiä, sillä samalla alueella tehdään usein samanaikaisia toimenpiteitä. KUSTAA-työkalussa käytettävät metsätalouden ominaiskuormitusluvut ja metsätalouden kuormituslaskenta perustuvat kokonaisuudessaan KALLE-laskentamenetelmään (Finér ym. 2010). KUSTAA sisältää tärkeimmät metsätalouden vesistökuormitusta aiheuttavat toimenpiteet kivennäis- ja turvemaiden (Taulukko 1, Liite 1). Näitä ovat metsänuudistamishakkuut, lannoitus ja kunnostusojitus. Metsätalouden ominaiskuormitusluvut edustavat tilannetta jossa metsätalouden vesiensuojelusta on huolehdittu asianmukaisin menetelmin (suojavyöhykkeet, kaivukatkot, lietekuopat ja laskeutusaltaat, pintavalutuskentät) (Joensuu ym. 2012). Liitteeseen 1 on kerätty metsätalouden ominaiskuormituslukuja myös tilanteista, joissa hyväksytyä vesiensuojelumenetelmää ei ole käytetty. Tällaisia ovat mm. Murtopuron valuma-alueelta raportoidut tulokset kivennäismaiden metsänuudistamisen aiheuttamasta kuormituksesta (Ahtiainen ja Huttunen 1999). Taulukkoon on otettu myös muutamia ominaiskuormituslukuja ruotsalaisista tutkimuksista, jotka olosuhteiltaan vastaavat suomalaisia. Näitä ei ole kuitenkaan sisällytetty KUSTAA:n ominaiskuormituslukuihin.

Metsätaloustoimenpiteen aiheuttama vesistökuormitus on suurinta heti ensimmäisinä vuosina toimenpiteen jälkeen ja pienenee ajan kuluessa. Toimenpiteestä riippuen kuormituksen on havaittu kestävän kahdesta (kivennäismaiden typpilan-

noitus) kymmeneen vuotta (metsänuudistaminen ja kunnostusojitus). KUSTAA:ssa käyttäjälle esitetään ainoastaan keskimääräiset ominaiskuormitusluvut kuormituksen kestoajalta (Taulukko 2). Metsätalouden ominaiskuormituksen ajallinen muutos huomioidaan itse laskenta-algoritmissa KALLE –työkalun (Finér ym. 2010) tavoin. Tämä tulee ottaa huomioon, mikäli metsätalouden ominaiskuormituslukuja halutaan muuttaa. Finér ym. (2010) esittää kattavamman kuvauksen metsätalouden vesistökuormituksen arvioinnista ja olemassa olevista aineistoista.

## Metsänuudistaminen

Kivennäismailla tapahtuvan metsänuudistamisen, eli uudistamishakkuun ja tähän tyypillisesti liittyvän maanmuokkauksen, ominaiskuormitusluvut perustuvat mittauksiin yhdeksällä eri valuma-alueparilla, joiden pinta-alat, käsittelyt ja havainnointijakson pituus poikkeavat toisistaan (Haapanen ym. 2006, Mattsson ym. 2006a,b). Turvemaiden metsänuudistamisen ominaiskuormitus on puolestaan määritetty Niemisen (2004) ja Lundinin (1999) tutkimusten perusteella käsittelyä seuraavan kolmen vuoden ajalle. Kolmannen vuoden jälkeen Finér ym. (2010) olettavat typen ominaiskuormituksen pienenevän tasaisesti ja häviävän kymmenen vuoden kuluttua uudistamishakkuusta. Uudistamisen yhteydessä turvemaidella tehdään lähes aina kunnostusojitus, jonka aiheuttama vesistökuormitus arvioidaan erikseen. Turvemaiden uudistamishakkuiden ja maanmuokkauksen aiheuttama fosforikuormitus on ainakin kolmena ensimmäisenä vuotena hakkuun jälkeen suurempi kuin kangasmailla (Nieminen 2004). Kivennäis- ja turvemaiden metsänuudistuksen ominaiskuormituslukujen vaihteluväli perustuu em. tutkimuksissa havaittuun vuotuisen kuormitusvaihteluun. Kivennäismailla vaihteluväli (max – min) on suuruusluokaltaan noin kaksi kertaa keskiarvon ja turvemaidella noin keskiarvon suuruinen (ks. Finér ym. 2010 kuvat 4 ja 5).

## Kunnostusojitus

Kunnostusojitus on vesistövaikutuksiltaan merkittävin yksittäinen metsätalouden toimenpide. Sen on arvioitu tuottavan yli 90 % metsätalouden kiintoainekuormituksesta (Finér ym. 2010). Kunnostusojituksen aiheuttama kuormituksen lisääntyminen on suurimmillaan noin ensimmäisen kahden vuoden aikana toimenpiteen jälkeen (Joensuu 2002, Nieminen ym. 2010). Suodatetuista vesinäytteistä tehtyjen ravinneanalyysien perusteella kunnostusojitus ei lisää liuenneen typen ja fosforin huuhtoutumista (Joensuu 2002). Vaikka kunnostusojitus ei lisää veteen liuenneen fosforin huuhtoutumista, orgaanista ja epäorgaanista fosforia voi vesistöön huuhtoutua kiintoaineen mukana. KUSTAA:ssa esitetty kunnostusojituksen ominaisfosforikuormitus arvioitiin Joensuun (2002) esittämästä kiintoainekuormituksesta olettamalla, että kunnostusojituksen liikkeelle saama kiintoaine sisältää fosforia 0.1 %. Fosforin ominaiskuormituslukuihin sisältyy lisäksi oletus, että turvemaidella käytössä olevilla vesiensuojelumenetelmillä, pääasiassa laskeutuslaitteilla, voidaan vähentää 30 % kunnostusojituksen aiheuttamasta kiintoainekuormituksesta (Finér ym. 2010). Kunnostusojituksen aiheuttaman vesistökuormituksen vaihteluvälin minimi- ja maksimi-arvoiksi on asetettu 50 % ja 150 % keskiarvosta Niemisen ym. (2010) tutkimuksessa esiintyvän hajonnan perusteella.

## Lannoitus

Suomessa tietämys kivennäismaiden nykykäytäntöjen mukaisen typpilannoituksen aiheuttamasta vesistökuormituksesta perustuu vain yhteen tutkimukseen. Saura ym. (1995) havaitsivat typen huuhtoutumisen lisääntyvän ainoastaan kahtena en-

simmäisenä vuonna lannoituksen jälkeen. Ensimmäisenä vuotena huuhtoutui kahdeksan prosenttia ja toisena vuonna kaksi prosenttia lannoituksena annetusta typestä (Kenttämies 2006b). Näiden huuhtoumaprosenttien ja yleisesti lannoituksessa annetun typpiannoksen (150 kg ha<sup>-1</sup>) perusteella KUSTAA:ssa esitetty lannoituksen ominaiskuormitus on ensimmäisenä vuotena 12 kg ha<sup>-1</sup> ja toisena vuotena 3 kg ha<sup>-1</sup>. Kivennäismaiden fosforilannoitus ei juuri lisää fosforikuormitusta koska alumiini- ja rautayhdisteet sitovat fosfaatin kemiallisesti maaperään (Saura ym. 1995, Piirainen 2002). Turvemaidella käytettävä rautaPK-lannoitus ei sekään lisää fosforikuormitusta (Nieminen 2005, Nieminen ym. 2010). Sen sijaan lannoitteen levityksen yhteydessä ojiin päätyvän fosforin huuhtoutumien alkaa 1–2 vuoden kuluessa toimenpiteestä (Vuollekoski ja Joensuu 2009). Kuormituksen suuruudesta ja kestosta ei ole kuitenkaan tarkkaa käsitystä. KUSTAA:ssa käytettävät ominaiskuormitusluvut perustuvat oletukseen että fosfori lannoitusmääränä käytetään 45 kg ha<sup>-1</sup> ja kaikki ojiin joutunut lannoitefosfori huuhtoutuu vesistöihin (3 % lannoitusmäärästä, Silver ja Saarinen 2007). Huuhtoutumisen kestoksi oletetaan viisi vuotta. Suometsiä lannoitetaan myös puun tuhalla joka sisältää runsaasti rautaa ja alumiinia. Tämä todennäköisesti vaikuttaa siihen, että fosforia ei huuhtoudu vesistöihin tuhkalannoituskohteilta (Piirainen 2000, 2002, Nieminen 2005, Piirainen ym. 2013). Lannoitusten ominaiskuormituksen vaihteluväliksi oletettiin 0 (minimi) ja 2 kertaa keskiarvo (maksimi) em. tutkimuksissa esiintyvän hajonnan perusteella.

#### 2.3.4

### Turvetuotanto

Turvetuotanto voi aiheuttaa paikallisesti merkittävää vesistökuormitusta. Turvetuotantoalueilta valuva vesi on yleensä ravinteikkaampaa, tummempaa ja sisältää enemmän liuennutta orgaanista kiintoainetta kuin luonnontilaisilta soilta purkautuva valumavesi (Väyrynen ym., 2008, Kløve ym., 2013). Turvetuotannon vesistökuormituksen suuruuteen vaikuttavat tuotantosoiden turpeen ominaisuudet, ilmastotekijät, kuivatusojien syvyys ja kaltevuus sekä soilla tehtävät tuotantotoimet ja toteutetut vesiensuojelurakenteet (Kløve ym., 2013). Keskeisiä syitä turvetuotantoalueiden kiintoainekuormituksen synnylle ovat ojituksen, kasvipeitteen poiston ja suon kuivatuksen seurauksena lisääntyvä ja äärevöityvä valunta, sekä kuivatusojista ja turpeen korjuusta aiheutuva hienon orgaanisen aineen eroosio ja kulkeutuminen vesistöihin. Typpikuormituksen lisääntyminen johtuu ensisijassa kuivatuksen seurauksena nopeutuvasta orgaanisen aineen hajoamisesta ja fosforikuormitus ojituksen muuttamisesta virtausreiteistä (Kløve ym., 2013, Heikkinen ym., 2009). Kiintoainekuormituksen riskin on havaittu kasvavan turpeen maatuneisuusasteen kasvaessa (Tuukkanen ym. 2014). Turvetuotantoalueiden kuormitukselle on ominaista suuri paikallinen ja ajallinen vaihtelu. Paikallinen vaihtelu aiheutuu lähinnä turpeen laadun, tuotantoalueen iän ja valunnan suurista alueellisista eroista kun taas ajalliseen vaihteluun vaikuttavat niin sadannan määrä ja sadannan ja lumen sulamisen ajoittuminen kuin tuotantoalueilla tehtävät toimenpiteet ja käytössä olevat vesiensuojelumenetelmät. Nykytiedon mukaan turvetuotannon ominaiskuormitus on Pohjois-Suomen paksu- turpeisilla soilla Etelä-Suomea suurempaa. Poikkeuksena tästä on liuenneen orgaanisen aineksen (DOC) kuormitus, jonka on havaittu olevan suurimmillaan etenkin etelärannikon kohteilla.

Turvetuotannon vesistökuormituksen seuranta on muihin maankäyttömuotoihin verrattuna varsin kattavaa. Tuotanto- ja kuntoonpanoalueilta kerätään käyttötarkkailun puitteissa tietoja tehdyistä toimenpiteistä, kuten ojituksista ja lasketusaltaiden puhdistuksista. Käyttötarkkailu (päästötarkkailu) käsittää virtaamanmittauksen ja vesinäytteiden oton ja analysoinnin valituista pisteistä ennalta laaditun tarkkailusuunnitelman mukaisesti (Turvetuotannon ympäristösuojeluohje, 2013). Ympäri-

tisessa tarkkailussa olevilta soilta virtaamaa mitataan jatkuvatoimisesti ja vesinäytteitä otetaan kevättulvan aikaan joka viikko, touko-kesäkuussa joka toinen viikko ja muina aikoina kerran kuukaudessa. Vesinäytteistä määritetään kiintoainepitoisuus, kemiallinen hapenkulutus, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi ja pH sekä tietyissä tapauksissa myös rauta ja liukoiset ravinteet. Veden laadun (pitoisuuksien) ja valunnan määrän perusteella lasketaan vesistöön tuleva kuormitus. Turvetuotannon ominaiskuormitusluvut on määritetty usean tarkkailualueen ja tarkkailujakson keskiarvoina vähentämällä mitatuista kuormituksista luonnontilaisen suon taustakuormitus. Turvetuotannosta aiheutuvan vesistökuormituksen tutkimusta on Suomessa tehty 1980-luvun alusta lähtien. Vanhimmat tutkimukset (Sallantaus, 1983 ja 1985) edustavat 1980-luvun alun turvetuotannon vesiensuojelutasoa. Tällöin keskimääräinen kiintoainekuormitus oli selvästi nykytasoa suurempaa, kun taas kokonaisfosforin ja -tyypin osalta muutokset ovat pienempiä (Liite 1).

Pöyryn (2009) tekemä yhteenveto turvetuotannon ominaiskuormitusluvuista perustuu laajaan seuranta-aineistoon vuosilta 2003 - 2009 (tuotantovaihe) ja 1999 - 2009 (kuntoonpanovaihe). Ko. julkaisussa ominaiskuormitusluvut on esitetty eri vesiensuojeluratkaisuille Etelä- ja Pohjois-Suomessa (noin Kokkola-Iisalmi-Savonlinna -linja) ja nämä ovat myös käytössä ympäristölupamenettelyssä ja turvetuotannon ympäristövaikutusarvioinnissa (Pöyry, 2009). Näistä ominaiskuormitusluvuista laskettuja koko Suomen keskiarvoja käytetään KUSTAA -työkalussa (Taulukko 2, Liite 1). Alueelliset arvot on esitetty Liitteessä 1. Turvetuotannon kuntoonpanovaihe vastaa syvää uudisojitusta, josta aiheutuva kuormitus voidaan rinnastaa uudisojitukselta aiheutuvaan kiintoainekuormitukseen. KUSTAA:n kuntoonpanovaiheen ominaiskuormitusluvut perustuvat kahden toimenpiteen jälkeisen vuoden ominaiskuormituslukujen keskiarvoon tapauksissa, joissa kuntoonpanovaiheen vesiensuojelumenetelmänä on käytetty pintavalutuskenttää tai laskeutusaltaita (Taulukko 2, Liite 1). KUSTAA -työkalussa on turvetuotannon ominaiskuormituksen vaihteluvälin suuruudeksi asetettu kaksi kertaa keskiarvo perustuen arvioon hydrologisesti erilaisten vuosien aiheuttamasta kuormitusvaihtelusta (WSP Finland, 2013). Tuotantoalueiden välinen kuormitusvaihtelu on kuitenkin tyypillisesti tätäkin suurempaa (Pöyry, 2012a, b) ja laskelmissa olisi hyvä käyttää suoraan mitattuja kuormituslukuja tarkasteltavilta kohteilta. Näitä löytyy mm. turvetuotannon vuosittaisista päästötarkkailuraporteista.

Turvetuotannossa perustason vesiensuojelutoimilla saadaan vesistökuormitusta vähennettyä lähinnä kiintoaineen osalta. Tutkimustulokset laskeutusaltaiden tehosta ovat vaihtelevia ja menetelmien tehon on havaittu riippuvan sekä altaiden mittasuhteista ja mitoituksista suhteessa tuotantoalaan, että valuma-alueen ominaisuuksista kuten turpeen maatumisasteesta ja tuotantokentän kaltevuudesta. Suomalaisissa tutkimuksissa on laskeutusaltaiden avulla pidätetty kiintoainetta roudattomalla kaudella noin 31 – 44 % (Selin ja Koskinen, 1985; Selin, 1999). Liuenneen kokonaisfosforin ja -tyypin kuormitukseen lasketusaltailta ei ole selvää vaikutusta (Turvetuotannon ympäristösuojeluohje, 2013; Pöyry, 2009). Putkipadoilla pyritään vähentämään erityisesti virtaamahuippujen (lumen sulanta, rankkasateet) aikaista kuormitusta ja niillä on päästy hyvin puhdistustuloksiin (Marttila ym. 2010). Pintavalutuskentillä saadaan roudattomana kautena pidätettyä keskimäärin 55 – 70 % kiintoaineesta, 29 – 49 % kokonaistyyppistä ja 46 – 57 % kokonaisfosforista (Ihme, 1994). Viime vuosina tuotantoalueiden läheisyyteen ojitetuille suoalueille rakennetut pintavalutuskentät (kosteikot) ovat lisääntyneet merkittävästi (Postila ym. 2011). Vesistökuormitusta voidaan vähentää myös valumavesien kemiallisella puhdistuksella, jolla voidaan pidättää 40 – 90 % kiintoaineesta, 48 – 86 % fosforista ja n. 30 % tyyppistä (Selin ym., 1995).

## Yhdyskunnat

### Jätevedenpuhdistamot

Yhdyskunnan toiminnoista syntyvät jätevedet ovat Suomessa jätevesipuhdistamojen piirissä ja syntyvä vesistökuormitus aiheutuu puhdistettujen jätevesien johtamisesta vesistöihin. Rankkojen sateiden aikana jätevesiä voidaan poikkeustapauksissa joutua ohijuoksuttamaan. KUSTAA:ssa käytetyt ominaiskuormitusluvut perustuvat ympäristöhallinnon OIVA ympäristö- ja paikkatietokannan tietoihin jätevesipuhdistamojen päästöistä. Vertailuna on myös esitetty puhdistamattoman yhdyskuntajäteveden aiheuttama kuormitus (Lapinlampi & Raassina, 2001). Nykyään käytössä olevin puhdistusmenetelmin voidaan jäteveden tyypestä ottaa talteen noin puolet ja fosforista sekä kiintoaineesta yli 90 %.

### Haja-asutus

Haja-asutuksen jätevesien puhdistustilanne ei ole yhtä hyvä kuin taajamajätevesien. On arvioitu, että yli 300 000 kiinteistöä on viemäriverkoston ulkopuolella. Vuonna 2011 voimaan tulleen jätevesiasetuksen (209/2011) mukaan tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta myös näiden kiinteistöjen jätevedet on käsiteltävä niin, että jätevesien typpi-, fosfori- ja kiintoainepitoisuudet laskevat. Asetuksen mukaan jäteveden kokonaistypestä olisi saatava poistettua vähintään 30 %, fosforista 70 % ja orgaanisesta kiintoaineesta 80 %. Haja-asutusalueella olevien vakinaisten asuntojen tuottamat jätevedet ovat yleensä laadultaan ja asukaskohtaiselta määrältään vastaavia taajamien asuntojen kanssa. Sen sijaan loma-asumisesta aiheutuvassa kuormituksessa on paljon vaihtelua sillä asuntojen varustelutaso ja vedenkäyttö vaihtelevat vakinaisia asuntoja enemmän. Esimerkiksi ulko-/kuivakäymälä, joka on edelleen enemmistössä suomalaisista kesämökeistä, voi vaikuttaa huomattavasti vesistökuormituksen määrään ja laatuun. Suurin osa mökeiltä tulevasta jätevedestä on pesutiloista ja saunoista tulevia ns. harmaita jätevesiä, jotka eivät vähäisemmältä ravinne- ja kiintoainepitoisuudeltaan vaikuta yhtä haitallisesti vesistöihin kuin vesivessojen jätevedet. Näilläkin voi suoraan vesistöön päästessään olla haitallista vaikutusta veden laatuun. Myös mökin etäisyydellä rannasta on merkitystä vesistökuormituksen määrään. Liitteeseen 1 on koottu tietoja vapaa-ajan asuntojen aiheuttamasta kuormituksesta eri tilanteissa (esim. maaimeytys, pienpuhdistamo), tai mikäli jätevesiä ei käsitellä lainkaan. KUSTAA:ssa käytettävät haja-asutuksen ominaiskuormitusluvut perustuvat Ronnun ja Santalan (1995) esittämiin puhdistamattomien ja puhdistettujen jätevesien lukuihin, jotka on esitetty myös Helsinki komission (HELCOM) raportissa (2011). Puhdistettujen jätevesien oletusarvoiset ominaiskuormitusluvut ovat jonkin verran pienempiä kuin jätevesiasetuksen vähimmäisvaatimukset (Ympäristöministeriö, 2011).

### Hulevedet

Asutuksen ohella vesistökuormitusta syntyy myös rakennetulta maa-alueelta lähinnä sadevedestä muodostuvien hulevesien kulkeutuessa vesistöihin. Hulevedet johdetaan yleensä kohdealueelta sadevesiviemärien tai ja pintaajien avulla, mutta vain pieni osa hulevesistä puhdistetaan. Rakennettua maata (talot, tiet, kadut, pihat, varasto- ja parkkipaikat ym.) oli Suomessa v. 2011 n. 4,4 % maapinta-alasta (Ympäristötilasto 2013) ja osuus on jatkuvassa kasvussa. Rakennetuilta alueilta huuhtoutuva typpi ja fosfori ovat lähtöisin hajoavasta orgaanisesta aineksesta, kuten eläinten jätöksistä ja laskeumasta sekä pinnan eroosiosta. Lisäksi ravinteita päätyy pintavesiin viemärien vuodoista ja jätessäiliöistä (Kotola ja Nurminen 2003). Hulevesien kiintoainepitoisuus-

det ovat taustakuormaa suurempia sillä rakennetuilta maa-alueilta tulevat virtaamat ovat suurempia ja virtaamavaihtelut voimakkaampia kuin luonnonympäristöistä pienemmän suotautumiskapasiteetin, pienemmän haihdunnan ja maan heikomman veden- ja aineiden pidätyskyvyn johdosta (Kotola ja Nurminen 2003). KUSTAA:n ominaiskuormitusluvut hulevesille perustuvat keskiarvoon Kotolan ja Nurmisen (2003) sekä Peltola-Thiesin (2005) raportoimiin lukuihin tapaustutkimuksista erilaisilta rakennetuilta mailta. Koska aineistossa on edustettuina useita tyypillisiä rakennettuja alueita, on oletettavaa että niiden avulla kuormituksen suuruusluokka voidaan arvioida kohtuullisen hyvin vaikka paikallinen vaihtelu voi olla suurta. Vaihteluväliksi oletetaan em. tutkimuksissa havaittu erityyppisten rakennettujen maiden kuormituksen vaihteluväli.

## Teollisuus

Pistekuormitusta syntyy myös mm. teollisuuslaitosten, kalankasvattamojen ja turkistarhauksen suorista, ohi viemäriverkostoston kulkeutuvista päästöistä. Teollisuuden osalta eniten kuormitusta syntyy prosessiteollisuudesta, jossa ei ole suljettua vedenkiertoa. Merkittävin vesistökuormitusta aiheuttava teollisuuden ala Suomessa on massa- ja paperiteollisuus, vaikkakin sen aiheuttama kuormitus on merkittävästi vähentynyt viimeisen 30 vuoden aikana (Ojanen 2008). Kuormitusmäärät vaihtelevat teollisuuslaitoksittain. KUSTAA:n ominaiskuormitusluvut sellun ja paperin valmistukselle perustuvat Suomen ympäristökeskuksen ja Ikosen (2012) raportoimiin keskimääräisiin kuormituslukuihin tuotantoyksikköä kohti (ilmakuiva sellu-/paperitonni). Kuormitusluvut ovat niiden rajojen sisällä, joita edellytetään sovellettaessa parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (BAT) prosessivesien puhdistukselle. Muista teollisuudenaloista merkittävää kuormitusta voivat aiheuttaa mm. lannoitevalmistus ja kaivosteollisuus. Näiden aiheuttama kuormitus on kuitenkin erittäin tapauskohtaista ja esim. YVA -selvityksissä ominaiskuormitusluvut tulisikin määrittää toimintaa kuvaavien päästöarvioiden perusteella.

Kalanviljelylaitosten ja turkistarhojen vesistökuormitus aiheutuu pääasiassa kalojen tai turkiseläinten jätöksistä ja syömättä jääneestä rehusta. Vesiviljelyn kuormitus on jonkin verran maalla olevia laitoksia suurempaa. Eniten merkitystä on rannikoilla olevilla kalanviljelylaitoksilla, jotka vaikuttavat lähiympäristön merialueiden vedenlaatuun. Turkistarhoilla on eniten merkitystä alueilla, joilla on paljon tarhausta, kuten Pohjanmaan rannikolla. KUSTAA:ssa esitetyt kalanviljelyn typen ja fosforin ominaiskuormitusluvut perustuvat Suomen Ympäristökeskuksen keräämiin tietoihin ja turkistarhauksen vastaavat luvut Nyroosin ym. (2006) esittämiin lukuihin.



## 3 KUSTAA–kuormituslaskelma esimerkkialueelle

### 3.1

#### Lähtöaineistot ja niiden saatavuus

Laskettaessa KUSTAA –työkalulla valuma-alueen vesistökuormitusta ja sen alkupe-  
rää, tarvitaan vuosittaiset maankäyttömuotojen pinta-alatiedot sekä muista haja- ja  
pistekuormituksen syntyyn vaikuttavista kuormittajista. Kuormittajatiedot on yleensä  
kerättävä useista lähteistä sillä valmiita tietotuotteita ei ole olemassa. Valuma-alueen  
pinta-ala voidaan määrittää helposti GIS –työkaluilla (esim. ArcGis, MapWindow,  
jne.) hyödyntäen esim. Maanmittauslaitoksen digitaalista korkeusmallia, joka on  
saatavilla mm. Paikkatietoikkunasta (<http://www.paikkatietoikkuna.fi>). Geologisia  
paikkatietoaineistoja löytyy mm. Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Hakku –pal-  
velusta (<http://hakku.gtk.fi/?locale=fi>). Kolmannen jakovaiheen ja sitä suurempien  
valuma-alueiden rajat löytyvät paikkatietomuodossa ympäristöhallinnon ympäris-  
tö- ja paikkatietopalvelu OIVA:sta (<http://www2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>).

Metsätalouden vuosittaiset toimenpidepinta-alat, kuten metsänuudistaminen,  
kasvatushakkuut ja lannoitukset on metsäkeskustasolla saatavissa metsätilastoista  
(Metsätilastollinen vuosikirja, Metsäntutkimuslaitos). Metsätilastoista ei kuitenkaan  
selviä miten uudistuspinta-alat ja lannoitusalat jakautuvat kivennäis- ja turvemaille.  
Tarkasteltaessa vesistökuormitusta pienemmässä mittakaavassa, esim. kolmannen  
jakovaiheen valuma-alueella, metsänkäsittelytiedot on yleensä kerättävä metsänhoi-  
toyhdistysten tai Metsäkeskusten toimenpidetilastoista. Metsätalouden alueellisen  
vesistökuormitusarvioinnin kannalta ongelmana on aineistojen heikko saatavuus,  
selvitysprosessin työläys ja tästä aiheutuvat kustannukset. Tulevaisuudessa met-  
sänuudistamis-pinta-alat voidaan todennäköisesti tuottaa kustannustehokkaasti hyö-  
dyntämällä valtakunnan metsien inventointiaineistoa (VMI). Ns. monilähde-VMI:ssä  
puuston ominaisuuksia, muun muassa tilavuutta, ikää ja kasvupaikkaa, arvioidaan  
käyttäen metsäkoelajien puustoaineistoja, satelliittikuvia sekä muita numeerisia  
tietolähteitä. Puuston ikäluokkajakauman perusteella voidaan arvioida eri vuosina  
kivennäis- ja turvemaille tapahtuneet metsänuudistamistoimenpiteet (Launiainen  
ym. 2012). VMI-aineisto (rasteriaineisto, 20 x 20m hila, <http://www.metla.fi/metinfo>)  
on saatavissa paikkatietomuodossa ja se päivittyy keskimäärin 3 – 5 vuoden välein.  
Yllä mainitut Metsäntutkimuslaitoksen aineistot ovat vuoden 2015 alusta saatavilla  
Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilta (<http://www.luke.fi>).

Maatalouden toimenpiteiden osalta valtakunnallista tietoa viljelytoimenpiteistä,  
viljelyistä kasvilajeista ja eläinmääristä on vapaasti saatavissa Maataloustilastosta  
(Matilda, TIKE, <http://www.maataloustilastot.fi/>). Tarvittaessa pinta-alatietoja tie-  
tyltä vesistö- tai valuma-alueelta, hankaloituu tiedon saanti huomattavasti. TIKEn  
peltolohkokisteri sisältää ympäristötuen piirissä olevien peltolohkojen ominaistie-  
toja kuten lohkon pinta-ala ja viljelykasvit. Suomen ympäristökeskuksen vesistömal-  
lijärjestelmän tietokantaan on kerätty tietoa maan pinnan kaltevuudesta, maalajeista  
ja maan fosforiluvusta. Peltolohkotason tiedot tallennetaan Maa- ja metsätalousmi-

nisteriön tietopalvelukeskuksen peltolohkorekisteriin, jonka aineistoa on mahdollista saada tutkimuskäyttöön. Rekisteriin ei kuitenkaan ole viety tietoja vuosittain toteutetuista ympäristötoimenpiteistä. Valuma-alueen tietoja viljelypinta-aloista ja viljelykäytännöistä on kuitenkin niukasti saatavissa. Niitä voi tiedustella esimerkiksi kunnallisilta maataloussihteereiltä.

Karkeammalla tasolla maankäyttömuotojen, mm. peltoviljelyn, pinta-aloja (vuodet 2000 ja 2006) voidaan arvioida myös rasterimuotoisen CORINE maankäyttöaineiston perusteella. CORINE -aineisto on tuotettu yhdistämällä satelliittikuvatulkintatuloja, paikkatietoaineistoja sekä maastossa mitattuja tunnuksia. Kolmitasoisella hierarkkisella luokituksella kuvataan maankäyttöä ja maanpeitettä. Aineistoista on laskettu jakaumat kunnittain, pohjavesialueittain ja valuma-alueittain. Vesistökuormitusarvioihin aineisto on käyttökelpoinen erityisesti yhdistettynä jonkin tarkemman aineiston, esimerkiksi peltolohkorekisterin kanssa. CORINE -aineisto on ladattavissa ympäristöhallinnon ympäristö- ja paikkatietopalvelu OIVA:sta (<http://www2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp>).

Myös pistekuormittajien osalta tiedot on kerättävä useasta eri lähteestä. Tietoja tarkasteltavan valuma-alueen haja-asutuksen määrästä on saatavilla väestörekisterikeskuksesta ja kunnan viranomaisilta. Teollisuuslaitosten, jätevedenpuhdistamojen ja kaatopaikkojen sijainti- ja kuormitustietoja on paikallisten viranomaisten ja toimijoiden (esim. kunnat, ELY-keskukset, vesiensuojeluyhdistykset, jne.) lisäksi ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmässä. VAHTI-järjestelmän tiedot löytyvät OIVA-palvelun kautta, johon on yhdistetty myös ympäristötiedon hallintajärjestelmän HERTAN aineistot. HERTTA sisältää tietoa mm. ympäristön kuormituksesta, alueiden käytöstä ja vesistöjen tilasta.

### 3.2

## Laskelma pienelle esimerkkivaluma-alueelle

KUSTAA mahdollistaa kuormituslaskennan periaatteessa kaikille valuma- ja vesistö-alueille, joilta on olemassa tietoa tai arvioita maankäytöstä ja muista kuormituslähteistä. Ominaiskuormituslukuihin perustuvassa kuormitusarviossa laskenta-alueen koon olisi kuitenkin oltava suuruudeltaan sellainen, että kokonaiskuormituksen määrä ei suoraan riipu yksittäisestä maankäytön toimenpiteestä, johon voi liittyä huomattavaa epävarmuutta. Mikäli alueella esiintyy esimerkiksi runsaasti kaltevia peltoja eroosioherkillä mailla, KUSTAA -työkalun oletusarvoiset ominaiskuormitusluvut todennäköisesti tuottavat suuresti todellisuudesta poikkeavan lopputuloksen, jota tulee tällöin tarkentaa paikallisilla tiedoilla ominaiskuormituksen suuruudesta.

KUSTAA -työkalun käytön havainnollistamiseksi seuraavassa esitetään kuormituslaskelma n. 6000 ha suuruiselle valuma-alueelle vuosien 2001 – 2010 ajanjaksolla. Valuma-alue sijaitsee Länsi-Suomessa ja edustaa tyypillistä metsävaltaista valuma-aluetta, jonka vedet purkautuvat reittivesiin pienehkön järven kautta. Valuma-alueella on metsätalouden ohella myös peltoviljelyä (125 ha), karjataloutta, turvetuotantoalue (120 ha) ja turkistarhausta. Vakinaisen asutuksen (noin 50 asukasta) ohella järven rannoilla on loma-asutusta (noin 10 asukasta). Alueelta on suhteellisen kattavat maankäyttötiedot yli 10 vuoden ajalta, mikä mahdollistaa kokonaiskuormituksen ja haja- ja pistekuormittajien suhteellisten merkitysten arvioinnin kyseisellä ajanjaksolla. Valuma-alueen tunnusluvut sekä vuosittaiset kuormittajatiedot vuosille 2001 – 2010 on esitetty Taulukossa 3.

Laskelmissa metsätalouden ja turvetuotannon toimenpiteiden pinta-alojen, eläinyksiköiden ja haja- ja loma-asutuksen asukasmäärien epävarmuuksiksi oletettiin 5 – 10 %. Peltoviljelyn viljelymuotoja ei tunneta näin tarkasti, jonka vuoksi suhteelliseksi epävarmuudeksi asetettiin 20 %. Laskennan yksinkertaistamiseksi KUSTAA olettaa että kunkin kuormittajan suhteellinen epävarmuus on ajan suhteen muuttumaton.

**Taulukko 3.** Esimerkkilaskelmassa käytetyn valuma-alueen yleistunnukset sekä maankäyttöön liittyvien toimenpiteiden pinta-alat ja muiden kuormittajien määrät vuosina 2001 - 2010.

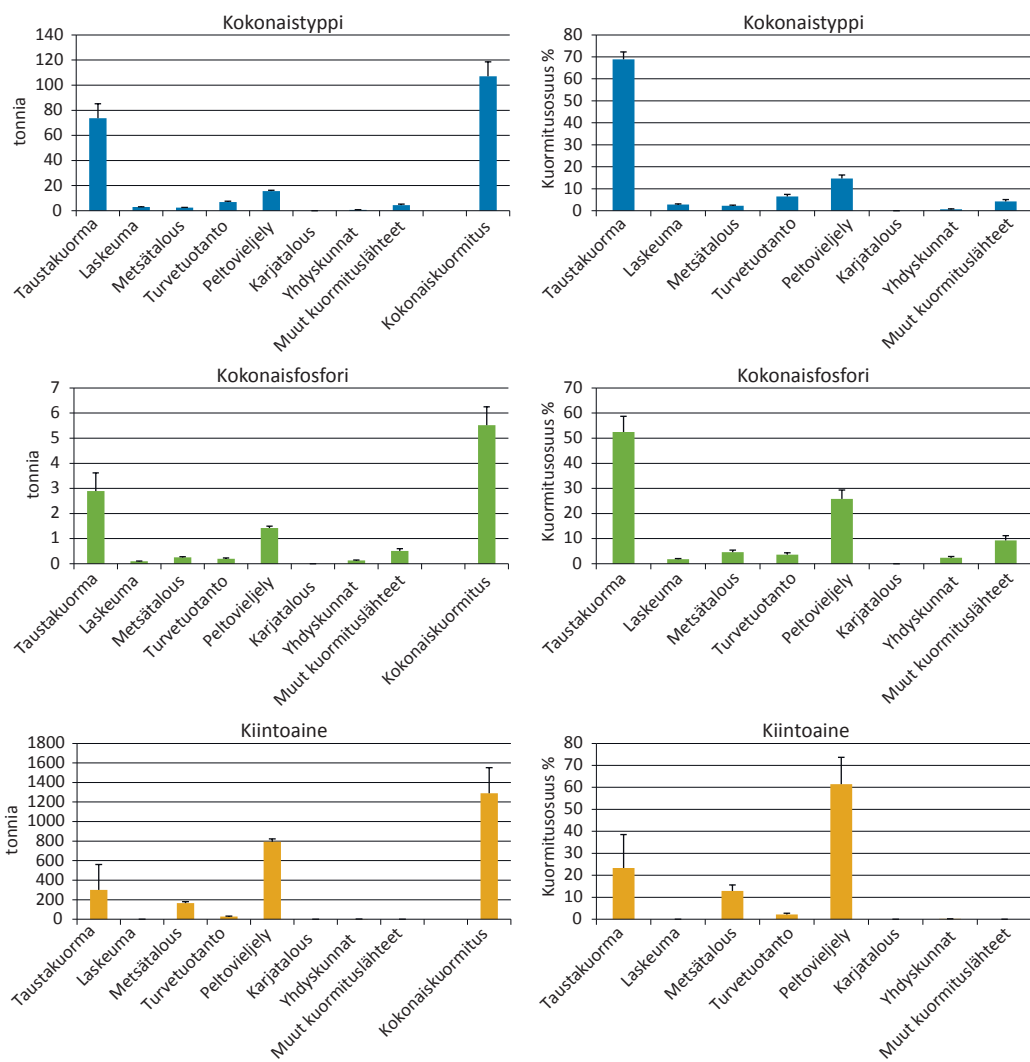
<b>Esimerkkivaluma-alue (2010)</b>											
Sijainti	Länsi-Suomi										
Pinta-ala, ha	6000										
Viljelymaata, ha	125 (2 % kokonaispinta-alasta)										
Metsää, ha	5655 (94 %)										
Vesistöjä, ha	100 (1,7 %)										
Turvetuotantoalueita, ha	120 (2 %)										
Metsänkäsittelyala yht. ha	460 (8 %, turvemaiden kunnostusojitus ja hakkuut osin samoilla kohteilla)										
<b>KUORMITTAJIEN PINTA-ALAT/ MÄÄRÄT</b>											
	Epäv. %	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
<b>METSÄTALOUS (pinta-alat ha/a)</b>											
Uudistushakkuu, kivennäismaat	10	11	11	11	0.5		17	20	24	37	37
Uudistushakkuu, turvemaidet	10	10	10	10	35	2.68	1.68	0.24	0.28	0.56	3.04
Kunnostusojitus	5	10	10	10	35				32	30	66
Lannoitus, kivennäismaat	10	5	5				2	1			
Lannoitus, turvemaidet	10			10							
<b>TURVETUOTANTO (pinta-alat ha/a)</b>											
Perustaso		5							120	120	120
Pintavalutus, ympärivuotinen	5	120	120	120	120	120	120	120			
<b>PELTOVILJELY (pinta-alat ha/a)</b>											
Syyskylvö	20	30	30	30	30	30	30	80	80	80	80
Sänkimuokkaus, kevennetty	20	50	50	50	50	50	50				
Suorakylvö syysvilja	20	15	15	15	15	15	15	25	25	25	25
Pysyvä nurmipeite	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Viherkesanto	20	10	10	10	10	10	10				
<b>YHDYSKUNNAT (asukasta/a)</b>											
Haja-asutus, jätevedet puhdistettu	10	50	50	50	50	50	50	30	30	30	30
Haja-asutus, jätevesi-asetuksen minimitaso	10							20	20	20	20
Kesämökäytös (rannalla)	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>MUUT KUORMITUSLÄHTEET (yksikköä/a)</b>											
Kalanviljelylaitokset, maalla	5	2	1.7	1.8	1	1	1	1	1	1	1
Turkistarhaus	5	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2

Esimerkkivaluma-alueen metsätalousmaan ja turvetuotannon suhteelliset osuudet kokonaispinta-alasta ovat keskimääräistä valtakunnallista tasoa (70 % ja 0,2 %) suurempia. Vastaavasti viljelymaan ja vesistöjen suhteelliset osuudet ovat valtakunnallista tasoa pienempiä (6,5 % ja 9,4 %).

Esimerkkivaluma-alueella taustakuorma muodostaa vesistöjen ravinnekuormituksesta merkittävän osan. Valuma-alueelta vuosina 2001 - 2010 tulevasta kokonaistypen kuormasta noin 69 % (odotusarvo 73,75 ± keskihajonta 11,4 tonnia) ja fosforikuormasta n. 52 % (2,89 ± 0,74 tonnia) aiheutuu taustakuormasta (kuva 1, Taulukko 4). Pelto-

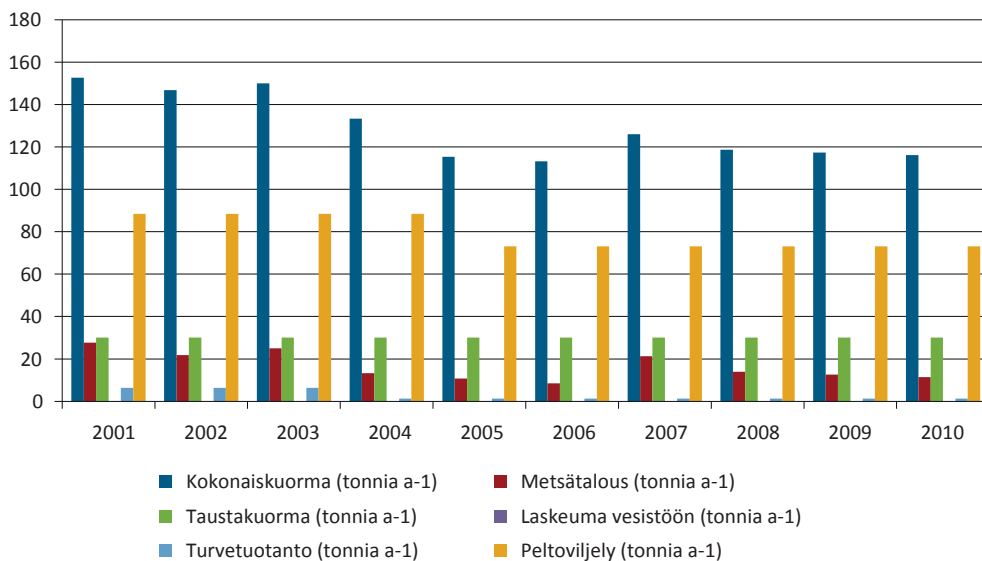
viljely on suurin ihmistoimintaan liittyvä ravinnekuormittaja; sen osuus on noin 15 % kokonaistypen kuormasta ja noin 26 % fosforista. Myös turvetuotanto (typpikuormitus) sekä kalanviljely ja turkistarhaus (erityisesti fosforikuormitus) ovat paikallisesti merkittäviä kuormittajia. Kiintoaineen kokonaiskuormasta suurin osa, noin 61 %, aiheutuu peltoviljelystä (792 ± 31,2 tonnia) ja noin 23 % on taustakuormaa luonnon-tilaisilta maa-alueilta. Metsätalouden kiintoainekuormitus on myös merkittävässä roolissa muodostaen noin 13 % kokonaiskuormituksesta, mikä johtuu suhteellisen suuresta kunnostusojituspinta-alasta vuosien 2001 – 2010 aikana. Ravinnekuormasta metsätalous kattaa ainoastaan pienen osan (noin 2 % tyypestä ja 5 % fosforista). Turvetuotantoalueen pinta-ala oli samaa suuruusluokkaa valuma-alueen maatalousmaan pinta-alan kanssa, mikä näkyy turvetuotannon suurehkona kuormitusosuutena (noin 6 % tyypen sekä 3 % fosforin ja kiintoaineen kuormasta) valtakunnallisiin kuormitusosuuksiin (< 1 %) verrattuna.

Tarkasteltaessa esimerkiksi kiintoaineen vuosittaisen kuormituksen kehitystä (kuva 2) valuma-alueella, havaitaan että turvetuotannon vesiensuojelun parantuminen vuonna 2004 siirryttäessä ympärivuotiseen pintavalutukseen (taulukko 3) pienentää turvetuotannon kiintoainekuormaa. Vastaavasti vuodesta 2005 kevyem-



**Kuva 1.** Esimerkivaluma-alueen kokonaistypen ja -fosforin sekä kiintoaineen kokonaiskuormat aikavälillä 2001 - 2010 (vasemmalla) ja eri lähteiden suhteelliset osuudet (oikealla). Pylväät kuvaavat odotusarvoa ja virhepalkki keskihajontaa. Muut kuormituslähteet sisältävät tässä kalankasvatuksen ja turkistarhauksen.

pää maanmuokkausta suosivat viljelykäytännöt ja kymmenen peltohehtaarin ke-  
sannointi pienentävät peltoviljelyn vuotuista kiintoainekuormitusta noin 15 tonnia  
(kuva 2). Metsätalouden kiintoainekuormituksen vuosien välinen vaihtelu aiheutuu  
vuotuisten kunnostusojituspinta-alojen vaihtelusta (taulukko 3) ja metsätalouden  
ominaiskuormituksen ajallisesta kehityksestä toimenpiteen jälkeen (kts. luku 2.2.3).  
Kuvan 2 kaltainen vuosikuormituksen ja sen jakautumisen tarkastelu on mahdollis-  
ta KUSTAA –työkalun Pivot –taulukoiden avulla (kts. käyttöohje). Tulee kuitenkin  
muistaa että arvot eivät edusta todellista vuotuista kuormitusta, mikä riippuu mm.  
hydrologisista olosuhteista, vaan ainoastaan käytettyjen ominaiskuormituslukujen  
ja kuormittajätietojen perusteella laskettua arviota.



**Kuva 2.** Vuotuinen kiintoainekuormitus esimerkkivaluma-alueella. Metsätalouden kiintoainekuormituksen ajallinen vaihtelu on seurausta kunnostusojituspinta-alojen vuosittaisesta vaihtelusta sekä ominaiskuormituksen ajallisesta vaihtelusta toimenpiteen jälkeen. Turvetuotannon kiintoainekuormituksen väheneminen vuonna 2004 on seurausta vesiensuojelun tehostumisesta (ympäri vuotinen pintavalutus). Peltoviljelyssä siirryttiin kevyempiin maanmuokkauskäytäntöihin vuonna 2005, mikä näkyy kiintoainekuormituksen pienemisenä.

**Taulukko 4.** Esimerkkivaluma-alueen kokonaiskuormitus eri lähteistä sekä eri kuormituslähteiden suhteelliset osuudet vuosina 2001 – 2010. Odotusarvo kuvaa todennäköisintä kuormitusosuutta ja keskihajonta (std) ominaiskuormituslukuista ja kuormittajateidoista aiheutuva epävarmuutta.

	Typpi			Fosfori			Kiintoaine					
	Odotusarvo tonnia	std	Osuus kok.%	std %	Odotusarvo tonnia	std	Osuus kok.%	std %	Odotusarvo tonnia	std	Osuus kok.%	std %
Taustakuorma	73,75	11,39	68,85	3,39	2,89	0,72	52,42	6,30	300,31	260,77	23,30	15,22
Laskeuma	3,00	0,19	2,80	0,34	0,10	0,01	1,81	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Metsätalous	2,46	0,14	2,29	0,27	0,25	0,03	4,61	0,79	166,13	13,27	12,89	2,72
Turvetuotanto	6,96	0,70	6,50	0,92	0,20	0,03	3,63	0,71	28,32	3,52	2,20	0,51
Peltoviljely	15,67	0,64	14,63	1,63	1,42	0,07	25,84	3,52	792,00	31,19	61,45	12,23
Karjatalous	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yhdyskunnat	0,74	0,12	0,69	0,13	0,13	0,02	2,38	0,49	2,19	0,33	0,17	0,04
Muut kuormituslähteet	4,54	0,82	4,23	0,86	0,51	0,09	9,31	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00
Kokonaiskuormitus	107,12	11,46			5,51	0,73			1288,95	262,99		

## Kuormituslaskelmiin liittyviä virhelähteitä

Ominaiskuormitusmenetelmällä laskettu kuormitusarvio perustuu maankäytön pinta-alan/kuormitusyksikköjen määrän ja näitä vastaavien ominaiskuormituslukujen tuloon. Molempiin tekijöihin liittyy merkittävää epävarmuutta, mikä vaikuttaa kuormitusarvion oikeellisuuteen.

Kuormitusarvion merkittävin epävarmuus aiheutuu yleensä ominaiskuormitusluvuista, koska niiden vaihtelu on lähes poikkeuksetta suurempaa kuin itse kuormituslähteisiin liittyvä epävarmuus. Monessa tapauksessa suurin havaittu ominaiskuormitusluku voi olla moninkertainen kuormituslähteen keskimääräiseen ominaiskuormituslukuun verrattuna (Liite 1). Ominaiskuormituslukujen ajallinen ja paikallinen edustavuus voi myös olla kyseenalainen sillä ominaiskuormitusluvut perustuvat yleensä ainoastaan muutamien suhteellisen lyhytaikaisten kenttäkokeiden tuloksiin. Hajakuormituksen tapauksessa keskimääräisen ominaiskuormitusluvun edustavuuteen vaikuttavat monet tekijät, kuten sääolosuhteet ja havaintojakson hydrologiset piirteet, maaperän ominaisuudet, tehtyjen toimenpiteiden toteutustavat jne. Hajakuormituksen ajallinen vaihtelu syntyy erityisesti vuosisadannan eroista ja valunnan ajallisesta jakaumasta. Tämän vuoksi lyhyelle ajanjaksolle tehty kuormitusarvio voi pahimmillaan olla hyvinkin epätarkka. Hajakuormituksen paikalliseen vaihteluun vaikuttaa hydrologisen vaihtelun lisäksi mm. topografia (kaltevuus) ja maalaji ja pienessä alueellisessa mittakaavassa em. tekijät voivat muodostaa merkittävän virhelähteen. Myöskään paikallisesti merkittäviä pistekuormituslähteitä ei välttämättä tarkasti tunnisteta.

Mitä isommalle alueelle kuormituksia lasketaan, sitä pienemmäksi muodostuu yksittäisen poikkeavan kohteen (esim. eroosioherkkä kalteva peltolohko tai ojitusalueen valtaoja) merkitys kokonaiskuormituksen arvioinnissa. Toisaalta pienikin virhe esim. taustakuorman ja peltoviljelyn ”keskimääräisessä” ominaiskuormituksen ta-sossa kertautuu helposti suureksi epävarmuudeksi kokonaiskuormituksen määrässä. Ominaiskuormitusmenetelmän antama kuormitusarvio edustaa valuma-alueelta sen vesistöihin kohdistuvaa potentiaalista kuormitusta. Suuremmilla valuma- ja vesistöalueilla ominaiskuormitusmenetelmän merkittäväksi puutteeksi muodostuu se, ettei menetelmässä pystytä huomioimaan kuormituslähteen sijaintia valuma-alueella (esim. etäisyys vesistöstä). KUSTAA -työkalu ei myöskään ota huomioon vesistön sisäisiä prosesseja (mm. kiintoaineen ja ravinteiden sedimentaatio ja sisäinen kuormitus), joiden merkitys voi olla huomattava pitemmillä vesistöreiteillä. Yleensä pienten, huonosti havainnoitujen järvien pidättymisarvioissa on suurta epävarmuutta.

Mitä pienempi valuma-alue on, sitä tarkemmin maankäytön pinta-alat yleensä pystytään arvioimaan. Suuraluetasolla pinta-aloihin tai muihin kuormitusyksikkötietoihin sisältyvä epävarmuus kasvaa sillä pinta-alatiedot ja tieto kuormittajien määrästä perustuvat monista eri lähteistä saatuihin otanta- tai arviotietoihin. Poikkeuksena on kuitenkin valtakunnallinen taso, jolla maankäyttö- ja kuormittajatiedot on joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta tarkasti tilastoitu. Tarkimmat tiedot on yleensä saatavissa velvoitetarkkailun piirissä olevista pistekuormittajista (esim. turvetuotanto) ja päästölähteistä joiden tarkka yksikkömäärä on muista syistä tiedossa. Näitä ovat esimerkiksi tuotantoeläinmäärät tai yhdyskuntajätevevettä tuottavien asukkaiden määrä.

KUSTAA -työkalun ja muiden ominaiskuormitusmenetelmään perustuvia tuloksia kokonaiskuormituksen määrästä tulee edellä mainittujen virhelähteiden vuoksi tarkastella suuruusluokka-arviona eikä tarkkoina lukuina. KUSTAA:n avulla suhteellinen merkittävyys kuitenkin hahmottuu selkeästi ja suuntaa-antava epävarmuusarvio parantaa osaltaan kuormitusarvion tulkittavuutta ja tulosten hyödyntämistä (esim. kuva 1). KUSTAA -työkalulla voidaan helposti tehdä kuormituksen kokonaismäärän ja kuormittajien keskinäisten suhteiden herkkystarkastelua laskemalla muutama

kuormittajatiedoiltaan tai ominaiskuormitusluvuiltaan eroava skenaario. Oletettavasti tällä tavoin voidaan välttää tarvittavan lopputuloksen kannalta usein vähämerkityksellistä ja aikaa vievää taustatyötä esim. peltoviljelyn eri viljelymenetelmien tai metsätaloustoimenpiteiden tarkkojen pinta-alojen määrittämiseksi. Skenaariotarkastelun lopputuloksena on usein se, ettei kuormitussuhteiden tai kokonaiskuorman arvioimiseksi ole tarvetta täydellisesti kuvata merkitykseltään pienien kuormituslähteiden määrää tai näitä edustavien ominaiskuormituslukujen ”todellista” arvoa.



## 4 Yhteenveto

Maankäytöstä ja muusta ihmistoiminnasta aiheutuu lähes aina luonnon taustakuorman ylittävää ravinne- ja kiintoainekuormitusta vesistöihin. Kuormituksen määrän ja kuormituslähteiden keskinäisten suhteiden tunteminen on tärkeää arvioitaessa maankäytössä tai muissa kuormituslähteissä tapahtuvien muutosten mahdollisia vaikutuksia vesistöihin ja suunniteltaessa vesien-suojelutoimenpiteitä.

Tässä julkaisussa kuvattu KUSTAA -työkalu on kehitetty tukemaan näitä tarpeita. Se mahdollistaa kokonaistypen (N), kokonaisfosforin (P) ja kiintoaineen (KA) potentiaalisen vesistökuormituksen arvioinnin valuma-alueella vuoden tai pitemmän ajan kuluessa. KUSTAA perustuu ominaiskuormitusmenetelmään, jossa kuormituslähteen aiheuttama potentiaalinen vesistökuormitus arvioidaan lähteen voimakkuutta kuvaavan ominaiskuormitusluvun (esim.  $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ,  $\text{kg P tuotettu tonni}^{-1} \text{a}^{-1}$ ) ja kuormitusta aiheuttavan toimenpiteen tai toiminnan määrän tulona. Monista aiemmista menetelmistä poiketen KUSTAA -työkalu kattaa kaikki tyypillisimmät haja- ja pistekuormitusta aiheuttavat maankäyttömuodot ja yhdyskuntien toiminnot, sekä ilmakehästä laskeutuvana että luonnontilaisilta maa-alueilta vesistöihin päätyvän taustakuormituksen (luonnonhuuhtouma). Uutta on myös lähtöaineistojen epävarmuuden huomioiminen osana kuormituslaskentaa.

KUSTAA -työkalu on taulukkolaskentaympäristöön integroitu helppokäyttöinen laskentaohjelma, joka on tarkoitettu niin julkisen kuin yksityissektorin toimijoiden käyttöön. Lähtötiedoikseen KUSTAA tarvitsee valuma-alueen ja sen vesistöjen pinta-alan, metsä- ja maataloustoimenpiteiden pinta-alat ja pistekuormituslähteiden määrät (pinta-ala, henkilömäärä, eläinmäärä, jne.) vuositasona. Laskelman tuloksena KUSTAA tuottaa valuma-alueen kokonaiskuormituksen ja sen jakautumisen eri lähteisiin. KUSTAA -työkalun avulla pystytään arvioimaan maankäytössä tapahtuvien muutosten, pistekuormituksen hallinnan tai yksittäisen kuormituslähteen vaikutuksia kokonaiskuormitukseen. Sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi osana YVA-menettelyä ja vesistön tilan parantamiseen tähtäävien vesien- ja kunnostushankkeiden suunnittelussa. Kattavaa ominaiskuormituslukuaineistoa voidaan käyttää myös tuotannon ja toiminnan elinkaari-vaikutusten arvioinnissa vesistökuormitusta kuvaavana lähtöaineistona.

Ominaiskuormitusmenetelmän etuna on helppokäyttöisyys ja vaadittavien lähtötietojen suhteellisen pieni määrä. Menetelmällä ei kuitenkaan voida tuottaa tarkasti oikeita kuormitusarvioita, sillä niin ominaiskuormituslukuihin kuin kuormitusta aiheuttavien lähteiden määriin liittyy merkittävää epävarmuutta. Ominaiskuormitusmenetelmän merkittävin puute liittyy ominaiskuormituslukujen paikalliseen ja ajalliseen edustavuuteen, sillä ne perustuvat yleensä harvoihin, lyhytaikaisiin ja paikallisiin tutkimuksiin jolloin niiden yleistettävyyden voi olla kyseenalaista. KUSTAA -työkalussa tätä ongelmaa on pyritty lähestymään liittämällä epävarmuustarkastelu osaksi kuormituslaskentaa. Tämä parantaa tulosten tulkittavuutta erityisesti arvioitaessa kuormittajien keskinäisen merkittävyyttä.

Ominaiskuormitusmenetelmään perustuvat kuormitustulokset edustavat potentiaalista vesistökuormitusta valuma-alueelta, eikä KUSTAA -työkalussa kuormittajien sijaintia valuma-alueella eikä kiintoaineen ja ravinteiden pidättymisprosesseja sen vesistöissä huomioida. Tämä voi muodostaa huomattavan virhelähteen varsinkin suuremmilla vesistöalueilla. Pidättymisprosessien huomioimattomuus ja ominaiskuormitusluku-aineiston laajentaminen kattamaan liukoisien orgaanisen hiilen (DOC) kuormituksen muodostaa seuraavan askeleen KUSTAA -työkalun kehityksessä.

## KIRJALLISUUS

- Aakkula, J., Manninen, T. & Nurro, M. (toim.). 2010. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta tutkimus (MYTVAS 3) – Väli raportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 1/2010, 145 s.
- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset purovesien laatuun ja kuormaan. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). 1995. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 33–50.
- Ahtiainen, M., Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environmental Research* 4: 101-114.
- Alatalo, M. 2000. Metsätaloustoimenpiteistä aiheutunut ravinne- ja kiintoainekuormitus. Suomen ympäristö 381: 1–64.
- Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S. ym. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen Ympäristö, 10/2010. ISBN 978-952-11-3756-3 (pdf)
- Futter, M.N., Ring, E., Högbom, L., Entenmann, S. & Bishop, K.H. 2010. Consequences of nitrate leaching following stem-only harvesting. *Environmental Pollution* 158: 3552-3559.
- Granlund, K., Tattari, S., Puustinen, M., Helin, J., Väisänen, S. & Linjama, J. 2010. Kuormitusmallien mahdollisuudet, kehitystarve ja mallitulosten vertailut. Teoksessa: Väisänen, S. & Puustinen, M. (toim.). Maatalouden vesistökuormituksen hallinta - Seuranta, mallit ja kustannustehokkaat toimenpiteet vesienhoidon toimenpideohjelmissa. Suomen Ympäristö 23 44-67.
- Haapanen, M., Kenttämies, K., Porvari, P. & Sallantausta, T. 2006. Kivennäismaan uudistushakkuun vaikutus kasvinravinteiden ja orgaanisen aineen huuhtoutumiseen; raportti Kurussa ja Janakkalassa sijaitsevien tutkimusalueiden tuloksista. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 43–62.
- Hakkarainen, H.-P. 2008. Meijeriteollisuuden ympäristökuormitus. Kandidaatintyö 7, Oulun yliopisto, Prosessi ja ympäristötekniikan osasto.
- Heikkinen K., Karjalainen, S.M. ja Ihme, R. 2009. Turvetuotannon vesistövaikutukset ja vesiensuojelu. *Vesitalous* 1/2009.
- Kauppi, L. 1979. Phosphorus and nitrogen input from rural population, agriculture and forest fertilization to watercourses. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 34, Vesihallitus, Helsinki, 1979.
- HELCOM, 2011. The Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5). *Balt. Sea Environ. Proc. No.* 128
- Huitu, H. 2003. Lappajärven ulkoinen kuormitus 1999 – paikkatietopohjainen selvitys. Teoksessa: Markkola, J.-M. & Huitu, H. (toim.) Paikkatietojärjestelmä vesiensuojelussa - Lappajärvi Life -hankkeen paikkatietojärjestelmä ja paikkatietopohjainen selvitys ulkoisesta kuormituksesta: 25-48.
- Huhta, H. & Jaakkola, A. 1993. Viljelykasvien ja lannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen turvemaasta Tohmajärven huuhtoutumiskentällä v 1983–87. Maatalouden Tutkimuskeskus, Tiedote 20/93.
- Huttunen I, Huttunen M, Vehviläinen B, Seppänen V, Korppoo M, Lepistö A, Räike A, Tattari S. 2014. National scale nutrient loading model for Finnish watersheds – VEMALA. (submitted).
- Ihme, R. 1994. Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. VTT julkaisuja 789. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Ikonen, U. 2012. Suomen kemiallisen metsäteollisuuden päästökehitys vuoteen 2020. Lappeenranta teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikka / Lappeenranta University of Technology, Faculty of Technology, Environmental Technology, Diplomityö, 137 s.
- Joensuu, S. 2002. Effects of ditch network maintenance and sedimentation ponds on export loads of suspended solids and nutrients from peatland forests. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 868:1–83 + 4 liitettä.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal Environment Research* 4: 343–355.
- Joensuu, S., Hynninen, P., Heikkinen, K., Tenhola, T., Saari, P., Kauppila, M., Leinonen, A., Ripatti, H., Jämsén, J., Nilsson, S & Vuollekoski, M. 2012. Metsätalouden vesiensuojelu - Metsätalouden vesiensuojelu -kouluttajan aineisto. 137 s.
- Kauppila, P. & Koskiahio, J. 2003. Evaluation of annual loads of nutrients and suspended solids in Baltic rivers. *Nordic Hydrology* 34: 203-220.
- Kenttämies, K. 2006a. A method for calculating nutrient loads from forestry: Principles and national applications in Finland. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 29: 1591–1594.
- Kenttämies, K. 2006b. Metsätalouden fosfori- ja typpikuormituksen määrittäminen. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus MESUVE- projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 9–25.
- Kløve, B., Tuukkanen, T., Marttila, H., Postila, H. & Heikkinen, K. 2013. Turvetuotannon kuormitus – kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio turvetuotannon vesistökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä. TASSO-hanke, 2013. ISBN 978-952-257-505-0 (pdf).
- Koivusalo, H., Kokkonen, T., Laurén, A., Ahtiainen, M., Karvonen, T., Mannerkoski, H., Penttinen, S., Seuna, P., M. Starr and Finér, L. 2006. Parametrization and application of a hillslope hydrological model of a forest clear-cutting on runoff generation. *Environmental Modelling & Software*, 21(9):1324-1339.

- Kortelainen, P., Mattsson, T., Finér, L., Ahtiainen, M., Saukkonen, S. ja Sallantaus, T. 2006. Controls on export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. *Aquatic Sciences* 68: 453-468.
- Koskiaho, J., Kivisaari, S., Vermeulen, S., Kauppila, R., Kallio, K., Puustinen, M., 2002. Reduced tillage: influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 11:37-50.
- Kotola, J. & Nurminen, J. 2003. Kaupunkialueiden hydrologia - valunnan ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 1: kirjallisuustutkimus. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 7, 92 s.
- Kukkonen, M., Niinioja, R., Puustinen, M., 2004. Viljelykäytäntöjen vaikutus ravinnehuuhtoutumiin Liperin koekentällä Pohjois-Karjalassa. Abstract: Leaching of nutrients under different cultivation in the Liperi test field in North Karelia, Finland. Alueelliset ympäristöjulkaisut 367. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus, Joensuu 60 s.
- Lapinlampi, T. & Raassina, S. (toim.). 2002. Vesihuoltolaitokset 1998 - 2000. Suomen ympäristö 542, 288 s.
- Lakso, E., Viitasaari, S. & Talvitie, J. 1994: Nurmonjoen latvajärvien suojele- ja kunnostussuunnitelma. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 567. Helsinki, 128 s.
- Launiaainen, S., Laurén, A., Jaakkola, E., Tattari, S., Saarelainen, J., Kauppila, M., Joensuu, S., Piirainen, S. & Finér, L. 2012: Maatalouden ja metsätalouden kuormituksen erottaminen Savijoen valuma-alueella. *Vesitalous* 4 / 2012: 15 – 21.
- Laurén, A., Finér, L., Koivusalo, H., Kokkonen, T., Karvonen, T., Kellomäki, S., Mannerkoski, H. & Ahtiainen, M. 2005. Water and nitrogen processes along a typical water flowpath and streamwater exports from a forested catchment and changes after clear-cutting: a modelling study. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(6):657-674.
- Laurén, A., Heinonen, J., Koivusalo, H., Sarkkola, S., Tattari, S., Mattsson, T., Ahtiainen, M., Joensuu, S., Kokkonen, T. & Finér, L. 2009. Implications of uncertainty in pre-treatment dataset on estimation of treatment effects from paired catchment studies: loads of phosphorus from forest clear-cuts. *Water, Air, and Soil Pollution* 196: 251-261.
- Lepistö, A., Seuna, P., Saukkonen, S. & Kortelainen, P. 1995. Hakkuun vaikutus hydrologiaan ja ravinteiden huuhtoutumiseen rehevältä metsävaluma-alueelta Etelä-Suomessa. Teoksessa: Saukkonen, Sari & Kenttämies, Kaarle (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2:73-84.
- Lepistö, A., Granlund, K., Kortelainen, P., & Räike, A. 2006. Nitrogen in river basins: Sources, retention in the surface waters and peatlands, and fluxes to estuaries in Finland. *Science of the Total Environment*, 365(1), 238-259.
- Lundin, L. 1999. Effects on hydrology and surface water chemistry of regeneration cuttings in peatland forests. *International Peat Journal* 9: 118-126.
- Maataloustilastot. 2012. Matilda Maataloustilastot, TIKE. <http://www.maataloustilastot.fi/>. (Luettu 24.4.2013).
- Malm, V. 2005. Ravinnepitoisuuksien vaihtelu ja puhdistetun jäteveden leviäminen Kesälähdessä. Oulun Yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio. Diplomityö, 100 s.
- Marttila, H. & Kløve, B. 2010. Managing runoff, water quality and erosion in peatland forestry by peak runoff control. *Ecological engineering* 36(7):900-911.
- Mattsson, T., Finér, L., Kortelainen, P. & Sallantaus, T. 2003. Brook water quality and background leaching from unmanaged forested catchments in Finland. *Water, Air, and Soil Pollution* 147: 275-297.
- Mattsson, T., Finér, L., Kenttämies, K., Ahtiainen, M., Haapanen, M. & Lepistö, A. 2006a. Avohakkuun vaikutus fosforin, typen ja kiintoaineen huuhtoutumiin: raportti VALU-tutkimushankkeen ja Siuntion Rudbäckin alueiden tutkimuksista. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 63-81.
- Mattsson, T., Ahtiainen, M., Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006b. Avohakkuun ja ojituksen pitkäaikaisvaikutukset valuma-alueen ravinne- ja kiintoainehuuhtoutumiin. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 73-81.
- Melanen, M. 1981. Quality of runoff in urban areas. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 42: 123 - 188.
- Metsätalostollinen vuosikirja –Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2012. Metsäntutkimuslaitos. Vammalan kirjapaino Oy, Sastamala. 452 s.
- Myllys, M. 2012. Turvemaiden viljelyn vesistövaikutuksista - huuhtoutumis- ja lysimetrikentältä saatuja tuloksia. Esitelmä Soiden ja turvemaiden vesistövaikutukset –seminaarissa, Suoseura ry, Helsinki 17.10.2012.
- Nieminen, M. 2005. Suometsien lannoituksen vaikutus fosforin huuhtoutumiseen. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi - Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 259-265.
- Nieminen, M. 2004. Export of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorous following clear-cutting of three Norway spruce forests growing on drained peatlands in southern Finland. *Silva Fennica* 38(2): 123-132.
- Nieminen, M., Ahti, E., Koivusalo, H., Mattsson, T., Sarkkola, S. & Laurén, A. 2010. Export of suspended solids and dissolved elements from peatland areas after ditch network maintenance in south-central Finland. *Silva Fennica* 44(1): 39-49.

- Nieminen, M., Laurén, A., Hökkä, H., Sarkkola, S., Koivusalo, H. & Pennanen, T. 2011. Recycled iron phosphate as a fertilizer raw material for tree stands on drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 261: 105-110.
- Nyroos, H., Partanen-Hertell, M., Silvo, K. & Kleemola, P. (toim.). 2006. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015 - Taustaselvityksen lähtökohdat ja yhteenveto tuloksista. Suomen ympäristö 55, 68 s.
- Ojanen, P. 2008. Vesistökuormituksen kehitys ja metsäteollisuudelta vaadittavat vesiensuojelutoimenpiteet Kaakkois-Suomessa Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4 / 2008.
- Peltola-Thies, J. 2005. Rakennetun ympäristön aiheuttama vesistökuormitus. Julk.: Vakkilainen, P., Kotola, J. ja Nurminen, J. (toim.). Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Ympäristöministeriö, Helsinki. Suomen ympäristö 776. 116 s. ISBN 951-731-319-5.
- Piirainen, S. & Finér, L. 2000. Leaching from wood ash fertilized drained peatlands. In: Rochefort, L. & Daigle, J.-Y. (eds.). *Sustaining our Peatlands. Proceedings of the 11th International Peat Congress. Volume II. CSPP & IPS, Edmonton, Alberta.* p. 977-983.
- Piirainen, S. 2002. Tuhkalannoituksen vaikutus valumaveden laatuun. Teoksessa: Hiltunen, A. & Kauristo, S. (toim.). Suomensien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.-27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 48-58.
- Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M. & Nieminen, M. 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287: 53-66.
- Postila, H., Heikkinen, K., Saukkoriipi, J., Karjalainen, S.M., Kuoppala, M., Härkönen, J., Visuri, M. & Ihme, R. & Kløve, B. 2011. Turvetuotannon valumavesien ympärivuotinen käsittely. TuKos-hankkeen loppuraportti. Suomen Ympäristö, 30, 2011.
- Puustinen, M., Koskiahio, J. & Peltonen, K. 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105: 565-579.
- Puustinen M., Tattari S., Koskiahio J. & Linjama J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil & Till Research*, 93: 44 – 55..
- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen M., Koskiahio, J., Linjama, J., Niinioja, R. & Tattari, S. 2010. VIH-MA—A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138: 306-317.
- Pöyry Oy, 2013. Turvetuotannon ominaiskuormituselvitys 2003-2011. Vapo Oy, Turvetuotantoalueiden vesistökuormituksen arviointi. Vedenlaatu- ja kuormitustarkastelu vuosien 2003-2011 tarkkailuaineistojen perusteella.
- Pöyry Oy, 2012a. Vapo Oy, Pohjois-Pohjanmaan turvetuotantosoiden päästötarkkailu vuonna 2011, viitattu 11.6.2014.
- Pöyry Oy, 2012b. Vapo Oy, Läntisen Suomen turvetuotannon kuormitustarkkailu vuonna 2012 Hämeen ja Uudenmaan ELY-keskusten alueella, viitattu 11.6.2014.
- Pöyry Oy, 2009: Vapo Oy, Turvetuotantoalueiden vesistökuormitusarviointi YVA-hankkeissa ja ympäristölupahakemuksissa. Yhteenveto tutkimusten ja kuormitustarkkailujen tuloksista. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=120688&lan=fi>, viitattu 11.6.2014.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica*, 19, 95 – 107.
- Rontu, S. & Santala, E. 1995. Haja-asutuksen jätevesien käsittely. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 584. Helsinki.
- Rosén, K., Aronson, J.-A. & Eriksson, H.M. 1995. Effects of clear-cutting on streamwater quality in catchments in central Sweden forest. *Forest Ecology and Management* 3: 237-244.
- Saarijärvi, K., Virkajärvi, P., Heinonen-Tanski, H. & Taipalinen, I. 2006. Säilörehun ja laidunnurmen pohjavivesikuormitus. Teoksessa: Virkajärvi, P. & Uusi-Kämpä, J. (toim.) Laitumen ja suojavyöhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76, 208 s.
- Sallantaus T., 1983. Turvetuotannon vesistökuormitus, Helsingin Yliopisto, limnologian laitos, Kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosasto D29, 122 s., ISSN 0358-3910.
- Sallantaus T., 1986. Soiden metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset – kirjallisuuskatsaus. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. Luonnonvarajulkaisuja 11, 203 s.
- Saura, M., Sallantaus, T., Bilaletdin, Ä. & Frisk, T. 1995. Metsälannoitteiden huuhtoutuminen Kalliojärven valuma-alueelta. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2:87-104.
- Selin P. 1999: Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjien hyödyntäminen Suomessa. Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science 79. Jyväskylän Yliopisto, Jyväskylä 1999. ISBN 951-39-0556-X.
- Selin P. ja Koskinen K. 1985. Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen. Vesihallitus. Tiedotus nro. 262. Helsinki 1985.
- Silver, T. & Saarinen, M. 2007. Lentolevityksen tarkkuus ojitusalueiden terveyslannoituksissa (Summary: The accuracy of aerial spreading of repair fertilization on drained peatlands). *SUO* 58: 63-70.
- SYKE. 2013. Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ ja\\_tilastot/Vesistojen\\_ravinnekuormitus\\_ ja\\_luonnon\\_huuhtouma](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Vesistojen_ravinnekuormitus_ ja_luonnon_huuhtouma), päivitetty 3.9.2013, viitattu 11.6.2014.
- Tattari, S., Koskiahio, J., Bärlund, I. & Jaakkola, E. 2009. Testing a river basin model with sensitivity analysis and autocalibration for an agricultural catchment in SW Finland. *Agricultural and Food Science*, 18 (3-4): 428-439.

- Tattari, S. & Linjama, J. 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi. *Vesitalous* 3: 26–30.
- Turtola, E. 1999. Phosphorus in surface runoff and drainage water affected by cultivation practices. Dissertation., University of Helsinki, 108 p.
- Turtola, E. & Kempainen, E. 1998. Nitrogen and phosphorus losses in surface runoff and drainage water after application of slurry and mineral fertilizer to perennial grass ley. *Agricultural and Food Science in Finland* 7, 569–581.
- Turvetuotannon ympäristönsuojeluohje, 2013. Ympäristöhallinnon ohjeita Ympäristöministeriö, luonnonympäristöosasto. ISBN 978-952-11-4198-0 (PDF).
- Tuukkanen, T., Marttila, H. & Kløve, B. 2014. Effect of soil properties on peat erosion and suspended sediment delivery in peat extraction sites. *Water Resources Research*, 50(4), 3523-3535.
- Uggla, E. & Westling, A. 2003. Utlokning av fosfor från brukad skogsmark. IVL Rapport B 1549. IVL Rapport B1549, IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., Stockholm. 20 s.
- Uusitalo, R., Turtola, E. & Lemola, R. 2007. Phosphorus losses from a subdrained clayey soil as affected by cultivation practices. *Agricultural and Food Science* 16, 352–365.
- Viitasaari, S. 1990: Maatalouden vesistökuormitus ja sen merkitys Ähtävänjoen vesistöalueella. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja* 245. Oulun vesistö tutkimuspäivät 3. - 4.4.1990.
- Vuollekoski, M. & Joensuu, S. 2009. Fosforin huuhtoutuminen käytännön RautaPK-lannoituksessa Yläneellä. (Suullinen tiedonanto)
- Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K. & Kauppila, P. 2002. Losses of Nitrogen and Phosphorus from Agricultural and Forest Areas in Finland during the 1980's and 1990's. *Environmental Monitoring and Assessment*, 76, 213-248.
- Vuorenmaa, J., Junnto, S. & Leinonen, L. 2001. Sadeveden laatu ja laskeuma Suomessa 1998. Edita.
- Vuorenmaa, J. 2004 Long-term changes of acidifying deposition in Finland (1973–2000). *Environmental Pollution* 128, 351–362.
- Väisänen S. ja Puustinen T. (toim.) 2010. Maatalouden vesistökuormituksen hallinta. Seuranta, mallit ja kustannustehokkaat toimenpiteet vesienhoidon toimenpideohjelmassa. Suomen Ympäristö, 23. ISBN 978-952-11-3797-6.
- WSP Finland Oy, 2013. Pohjois-Pohjanmaan turvetuotannon 2012–2040 vesistövaikutusten arviointi Osa 1: Kuormitustarkastelu. Pohjois-Pohjanmaan liitto, 2013.
- Ympäristöministeriö, 2011. Haja-asutuksen jätevedet. Lainsäädäntö ja käytännöt. Ympäristöopas 2011, Ympäristöministeriö, Helsinki. ISBN 978-952-11-3945-1 (PDF).
- Ympäristötilasto, 2013. Ympäristö- ja luonnonvarat 2013, Tilastokeskus. Edita Prima, Helsinki, ISBN 978-952-244-442-4 (pdf)

Liite 1. Haja- ja pistekuormitusta kuvaavia vuosittaisia ominaiskuormituslukuja. Taulukossa kunkin tutkimuksen keskiarvo ja sulussa tutkimuksen sisäinen vaihteluväli.

TAUSTAKUORMA	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	KA (eroosio) kg/ha/v	Huomioita	Käytetty malli	Viite
Etelä-Suomi, turvemaata <30% valuma-alueesta	1,52	0,052	5,1			Finér ym. (2010); johdettu Matsson ym. (2003), Kortelainen ym. (2006) aineistoista
Pohjois-Suomi, turvemaata <30%	0,93	0,039	5,1			Finér ym. (2010); johdettu Matsson ym. (2003), Kortelainen ym. (2006) aineistoista
Koko Suomi, turvemaata >30%	1,44	0,053	5,1			Finér ym. (2010); johdettu Matsson ym. (2003), Kortelainen ym. (2006) aineistoista
Luonnontilaiset valuma-alueet (koko Suomi)	1.3 (0.29-2.3)	0.049 (0.017-0.146)	5.1 (0.92-47.5)	1971-1995, 1997-1999		Matsson ym. (2003), Kortelainen ym. (2006)
Ruotsi	0.5-4.8	0.01-0.18				HELCOM (2011) (Mallitulos)
Norja (metsäalueet)	0.01-1.64	0.009-0.205				HELCOM (2011)
<b>LASKEUMA</b>	<b>NH4-N (2003) kg/ha/v</b>	<b>NO3-N (2003) kg/ha/v</b>	<b>totP (1998) kg/ha/v</b>	<b>Huomioita</b>	<b>Käytetty malli</b>	<b>Viite</b>
Etelä- ja Länsi-Suomi	2-3		0.07-0.15			SYKE, Vuorenmaa ym. 2001
Keski- ja Itä-Suomi, Pohjois-Pohjanmaa	1-2		0.07-0.15			SYKE, Vuorenmaa ym. 2001
Lappi	0.5-1	0.5-1	0.07-0.15			SYKE, Vuorenmaa ym. 2001
<b>METSÄTALOUS</b>	<b>totN kg/ha/v</b>	<b>totP kg/ha/v</b>	<b>KA (eroosio) kg/ha/v</b>	<b>Huomioita</b>	<b>Käytetty malli</b>	<b>Viite</b>
				Metsätalouden oletuksena on asianmukainen vesiensuojelu, poikkeukset raportoitu		
<b>Uudistushakkuu+maanmuokkaus, kivennäismaat</b>						
1. vuosi toimenpiteestä	0.95 (0-1.4)	0.056 (0.0-0.1)	-	Kooste valuma-alueetutkimuksista		Finér ym. (2010), perustuu Haapanen ym. 2006,
2. vuosi	0.82 (0.1-1.2)	0.044 (0.001-0.18)	-	9 valuma-alueparia		Matsson ym. (2006a,b) kokeisiin
3. vuosi	0.82 (0.15-1.0)	0.037 (0.001-0.12)	-			
4. vuosi	0.77 (0.15-1.4)	0.038 (0.001-0.1)	-			
5. vuosi	0.62 (0.15-1.4)	0.024 (0-0.06)	-			
6. vuosi	0.35 (0.2-0.6)	0.011 (0-0.06)	-			
7. vuosi	0.33 (0-0.5)	0.013(0-0.025)	-			
8. vuosi	0.20 (0-0.5)	0.013 (0-0.025)	-			
9. vuosi	0.16 (0-0.5)	0.009 (0-0.025)	-			
10. vuosi	0.007 (0-0.25)	0.006 (0-0.025)	-			

METSÄTALOUS	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	KA (eroosio) kg/ha/v	Huomioita Metsätalouden oletuksena on asianmukainen vesiensojelu, poikkeukset raportoitu	Käytetty malli	Viite
<b>Uudistushakkuu+maanmuokkaus, kivennäismaat</b>						
Toimenpiteen kokonaiskuormitus kuormituksen 10v. kestolta	5.027 (0-10)	0.251 (0-5)	-	Vaihteluväliksi arvioitu 2 x keskiarvo (Finér ym. 2010 Kuva 4)		
Keskimäärin/v. (3 v. jaksolla)	5.5 (2.5-7.7)	0.87 (0.8-1.0)	623 (4-1243)	1 valuma-alue, ei hyväksyttyä vesiensojelua (1978)		Murtopuro, Ahtiainen & Huttunen (1995)
Keskimäärin/v. (3 v. jaksolla)	0.7 (0.5-1.0)	0.033 (0.02-0.05)	2 (1-3)	1 valuma-alue, ei hyväksyttyä vesiensojelua		Kivipuro, Ahtiainen & Huttunen (1995)
Keskimäärin/v. (3 v. jaksolla)	2.5 (0.5-5.5)	0,07	43			Alatalo (2000), Lepistö (1995)
Keskimäärin/v. (3 v. jaksolla)	2.2 (0.27-4.7)	0.09 (0.001-0.14)	6.5 (4.5-24)	Valuma-alue, 5 kpl, 1997		Mattsson ym. (2006a,b)
Keskimäärin/v. (3 v. jaksolla)	1.37 (0.84-2.6)	0.2 (0.08-0.53)	5	Valuma-alue, 6 kpl, 1997		Haapanen ym. (2006)
Keskimäärin, NO3-N (RUOTSI)	0.11 (0.06-0.18)	-	-	7 kenttäkoetta, ei vesiensojelua		Futter et al. 2010
Keskimäärin, NO3-N (RUOTSI)	0.2-0.7	-	-	Valuma-alueetutkimus, 3 aluetta, 1976		Rosén et al. (1995)
Keskimäärin, tot-N (Ruotsi)	1.2-2.6	-	-			
Keskimäärin (RUOTSI)						
1. vuosi	-	0,18	-	Valuma-alueita 36 kpl, 1977-1999		Uggla & Westling, A (2003)
2. vuosi	-	0,12	-			
3. vuosi	-	0	-			
<b>Laikutus, avohakkuut (RUOTSI)</b>						
1. vuosi	-	0,04	-	Valuma-alueita 36 kpl, 1977-1999		Uggla & Westling, A (2003)
2. vuosi	-	0,06	-			
3. vuosi	-	0,05	-			
4. vuosi	-	0,03	-			
5. vuosi	-	0,04	-			
<b>Voimakas maanmuokkaus, avohakkuut (RUOTSI)</b>						
1. vuosi	-	0,26	-	Valuma-alueita 36 kpl, 1977-1999		Uggla & Westling, A (2003)
2. vuosi	-	0,13	-			
3. vuosi	-	0,17	-			
4. vuosi	-	0,06	-			
5. vuosi	-	0,05	-			

METSÄTALOUS	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	KA (eroosio) kg/ha/v	Huomioita	Käytetty malli	Viite
<b>Uudistushakkuu, turvemaat</b>						
1. vuosi	4,3	0,1	-	Kooste valuma-alueutkimuksista.		Finér ym. (2010), perustuu Nieminen (2004), Lundin (1999)
2. vuosi	4,3	0,1	-			
3. vuosi	4,3	0,1	-			
4. vuosi	3,7	0,087	-			
5. vuosi	3,08	0,074	-	Valuma-alueet 3kpl, 1996		
6. vuosi	2,47	0,061	-	Valuma-alueet 10kpl, 1992		
7. vuosi	1,85	0,048	-			
8. vuosi	1,24	0,035	-	Valuma-alueet 5kpl, 1992		
9. vuosi	0,62	0,023	-			
10. vuosi	0,0007	0,01	-			
Toimenpiteen kokonaiskuormitus kuormituksen 10v. kestolta	25.867 (13-39)	0.638 (0.3 - 0.94)		Vaihteluväliksi arvioitu 1 x keskiarvo (Finér ym. 2010 Kuva 4)		
Keskimmäärin/v. (3 v. jaksolla)	4.95 (2.9-6.9)	0.1 (0.04-0.2)	132 (80-184)*	3 valuma-aluetta (1996), ei vesiensuojelua		Nieminen (2004)
Keskimmäärin/v. (3 v. jaksolla)	3.7 (2.7-4.7)	-	-	10 valuma-aluetta (1992), ei vesiensuojelua *) DOC-kuorma		Lundin (1999)
<b>Lannoitus, kivennäismaat</b>						
1. vuosi	12	0	-	Kooste valuma-alueutkimuksista, 5 aluetta		Finér ym. (2010), perustuu Saura ym. (1995), Kenttämies (2006a,b)
2. vuosi	3	0	-	joilla seurantaa vuodesta 1992		
3. vuosi	0	0	-			
4. vuosi	0	0	-			
5. vuosi	0	0	-			
6. vuosi	0	0	-			
7. vuosi	0	0	-			
8. vuosi	0	0	-			
9. vuosi	0	0	-			



METSÄTALOUS	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	KA (eroosio) kg/ha/v	Huomioita Metsätalouden oletuksena on asianmukainen vesiensuojelu, poikkeukset raportoitu	Käytetty malli	Viite
<b>Lannoitus, kivennäismaat</b>						
10. vuosi	0	0	-			
Toimenpiteen kokonaiskuormitus kuormituksen 2v. kestolta	15	0				
<b>Lannoitus, turvemaat</b>						
1. vuosi	0	0,27	-	Kooste valuma-alueutkimuksista (5 aluetta)		Finér ym. (2010), perustuu Nieminen 2005),
2. vuosi	0	0,27	-	sekä laskennallinen arvio		Vuollekoski ja Joensuu (2009), Silver ja Saarinen (2007)
3. vuosi	0	0,27	-			
4. vuosi	0	0,27	-			
5. vuosi	0	0,27	-			
6. vuosi	0	0	-			
7. vuosi	0	0	-			
8. vuosi	0	0	-			
9. vuosi	0	0	-			
10. vuosi	0	0	-			
Toimenpiteen kokonaiskuormitus kuormituksen 5 v. kestolta	0	1,35				
<b>Tuhkalannoitus, turvemaat</b>	0	0	0	Maastokeet 15 kpl, ei vesiensuojelua, 1998-		Piirainen ym. (2000), Piirainen ym. (2013)
<b>Rautafosfaatti, turvemaat</b>	-	0	-	Maastokeet 15 kpl, ei vesiensuojelua, 2001-		Nieminen ym. (2011)
<b>Uudisojitus</b>						
Keskimäärin	2,275	0,1675	246	1 valuma-alue (1983)		Ahtainen & Huttunen (1999)
<b>Kunnostusojitus</b>						
1. vuosi	0	0,42	420	Kooste valuma-alueutkimuksista		Finér ym. (2010), perustuu Joensuu (2002), Joensuu ym. (1999)
2. vuosi	0	0,14	140			
3. vuosi	0	0,112	112			
4. vuosi	0	0,084	84			

METSÄTALOUS	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	KA (eroosio) kg/ha/v	Huomioita Metsätalouden oletuksena on asianmukainen vesiensuojelu, poikkeukset raportoitu	Käytetty malli	Viite
5. vuosi	0	0,07	70			
6. vuosi	0	0,056	56			
7. vuosi	0	0,042	42			
8. vuosi	0	0,028	28			
9. vuosi	0	0,014	14			
10. vuosi	0	0,007	7			
Toimenpiteen kokonaiskuormitus kuormituksen 10v. kestolta	0	0,973	973			
1. vuosi	0	0	110.5 (54-225)	Valuma-alueita 9 kpl, 1995-		Nieminen ym. (2010)
2. vuosi	0	0	40.5 (20-83)			
3. vuosi	0	0	35.5 (15-87)			
4. vuosi	0	0	21.8 (8-59)			
1. vuosi	0	0,01	258	Valuma-alueita 40, 1991-		Joensuu (2002)
2. vuosi	0	0	78			
3. vuosi	0	0	66			

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>PELTOLOHKOTASO</b>								
<b>Syyskynä (talven yli keväiseen kynnetyinä)</b>								
<i>Koekentiltä havaittua</i>								
Keskimäärin koekentillä (6 koekenttää)	19,7	1,5	1,1	0,4	900			Puustinen ym. (2010)
Aurajoen koekentillä	15,7 (6,3-39)	4,3 (2,0-10,5)	3,71 (1,57-9,56)	0,58 (0,43-0,98)	2100 (980-4640)	1990-94, 1997-2002		Puustinen ym. (2005), Puustinen (2013)
Kotkanojan koekentillä	14,7 (7,2-33)	0,8 (0,29-1,31)	0,71 (0,22-1,19)	0,09 (0,07-0,12)	790 (270-1330)	1991-92, 1993-2001		Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Liperin koekentillä	18,5 (10,2-26)	1,21 (0,46-1,98)	0,34 (0,21-0,37)	0,87 (0,25-1,61)	125 (70-165)	1990-92, 1993-95		Kukkonen ym. (2004), Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Lintulan koekentillä	10,1	0,68	0,6	0,08	710	1991-95		Koskiaho ym. (2002), Puustinen (2013)
Toholammin koekentillä	21	0,58	0,51	0,07	690	1992-93, 2000-01		Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Tohmajärven koekentillä	38 (15-58)	1,4 (0,4-2,2)	0,55	0,85		1984-87		Huhta & Jaakkola (1993), Myllys (2012), Puustinen (2013)
<b>Peruna (talven yli kynnetyin kaltainen)</b>								
Keskimäärin	17	1,9			-			Huitu (2003)
<b>Mallinnettua</b>								
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	17,9 (13,1-19)		0,47 (0,40-0,53)	0,27 (0,11-0,57)	325 (255-385)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	17,9 (13,1-19)		0,64 (0,54-0,72)	0,27 (0,11-0,57)	525 (410-620)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	17,9 (13,1-19)		0,97 (0,81-1,09)	0,27 (0,11-0,57)	925 (720-1090)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	17,9 (13,1-19)		2,30 (1,40-3,01)	0,27 (0,11-0,57)	1520 (1055-1890)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	17,9 (13,1-19)		4,15 (2,22-5,70)	0,27 (0,11-0,57)	2350 (1530-3015)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus < 0,5 %	17,9 (13,1-19)		0,42 (0,35-0,48)	0,27 (0,11-0,57)	325 (255-385)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	17,9 (13,1-19)		0,57 (0,48-0,64)	0,27 (0,11-0,57)	525 (410-620)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	17,9 (13,1-19)		0,87 (0,73-0,97)	0,27 (0,11-0,57)	925 (720-1090)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 3,0-6 %	17,9 (13,1-19)		2,04 (1,25-2,68)	0,27 (0,11-0,57)	1520 (1055-1890)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus > 6 %	17,9 (13,1-19)		3,69 (1,97-5,07)	0,27 (0,11-0,57)	2350 (1530-3015)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	19,7 (14,4-21,3)		0,37 (0,31-0,42)	0,27 (0,11-0,57)	375 (290-440)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	19,7 (14,4-21,3)		0,50 (0,42-0,56)	0,27 (0,11-0,57)	605 (470-710)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	19,7 (14,4-21,3)		0,76 (0,64-0,85)	0,27 (0,11-0,57)	1065 (830-1250)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	19,7 (14,4-21,3)		1,79 (1,09-2,35)	0,27 (0,11-0,57)	1750 (1215-2175)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	19,7 (14,4-21,3)		3,24 (1,73-4,44)	0,27 (0,11-0,57)	2705 (1760-3465)		VHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Syysvilja (kylvö + kylvä, talven yli oraspeitteisenä)</b>								
<i>Koekentiltä havaittua</i>								
Keskimäärin koekentillä (2 koekenttää)	19,5	2,2	1,6	0,6	830			Puustinen ym. (2010)
Aurajoen koekentillä	10,9 (5,9-17)	3,4 (1,5-8,2)	2,85 (1,12-7,19)	0,54 (0,37-1,01)	1570 (810-3540)	1990-94, 1997-2002		Puustinen ym. (2005), Puustinen (2013)
Liperin koekentillä	28 (22,1-29,8)	1,0 (0,57-1,29)	0,28 (0,23-0,29)	0,69 (0,30-1,16)	90 (50-130)	1990-92, 1993-94		Kukkonen ym. (2004), Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<i>Mallinnettua</i>								
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	21,4 (17,2-21,4)		0,41 (0,34-0,46)	0,26 (0,11-0,51)	245 (190-285)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	21,4 (17,2-21,4)		0,52 (0,44-0,59)	0,26 (0,11-0,51)	390 (305-460)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	21,4 (17,2-21,4)		0,75 (0,63-0,84)	0,26 (0,11-0,51)	690 (540-815)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	21,4 (17,2-21,4)		1,77 (1,09-2,31)	0,26 (0,11-0,51)	1135 (740-1450)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	21,4 (17,2-21,4)		3,19 (1,73-4,37)	0,26 (0,11-0,51)	1760 (1020-2345)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesmaat, kaltevuus < 0,5 %	21,4 (17,2-21,4)		0,36 (0,30-0,41)	0,26 (0,11-0,51)	245 (190-285)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesmaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	21,4 (17,2-21,4)		0,46 (0,39-0,52)	0,26 (0,11-0,51)	390 (305-460)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesmaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	21,4 (17,2-21,4)		0,67 (0,56-0,75)	0,26 (0,11-0,51)	690 (540-815)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesmaat, kaltevuus 3,0-6 %	21,4 (17,2-21,4)		1,57 (0,97-2,06)	0,26 (0,11-0,51)	1135 (740-1450)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesmaat, kaltevuus > 6 %	21,4 (17,2-21,4)		2,84 (1,54-3,89)	0,26 (0,11-0,51)	1760 (1020-2345)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	23,5 (18,9-23,5)		0,32 (0,27-0,36)	0,26 (0,11-0,51)	280 (215-330)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	23,5 (18,9-23,5)		0,41 (0,34-0,46)	0,26 (0,11-0,51)	450 (350-530)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	23,5 (18,9-23,5)		0,58 (0,49-0,66)	0,26 (0,11-0,51)	795 (620-935)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	23,5 (18,9-23,5)		1,38 (0,85-1,80)	0,26 (0,11-0,51)	1305 (850-1670)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	23,5 (18,9-23,5)		2,49 (1,35-3,41)	0,26 (0,11-0,51)	2020 (1175-2700)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<b>Kultivointi (syksyllä kevennetty muokkaus 10-15 cm)</b>								
<i>Koekentiltä havaittua</i>								
Keskimäärin koekentillä (2 koekenttää)	10,8	2,6	2,2	0,4	1315			Puustinen ym. (2010)
Aurajoen koekentillä	10,3 (4,2-16)	4,15 (2,24-8,3)	3,42 (1,83-7,08)	0,73 (0,41-1,24)	1760 (1120-3330)	1997-2002		Puustinen ym. (2005), Puustinen (2013)
Kotkanojan koekentillä	11,3 (6,3-15,1)	1,03 (0,69-1,25)	0,91 (0,59-1,11)	0,12 (0,10-0,14)	870 (500-980)	1996-2001		Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<i>Mallinnettua</i>								
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	11,9 (10,6-12,7)		0,42 (0,35-0,47)	0,34 (0,15-0,67)	270 (210-320)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	11,9 (10,6-12,7)		0,55 (0,46-0,62)	0,34 (0,15-0,67)	440 (340-520)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koivuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Kultivointi (syksyllä kevennetty muokkaus 10-15 cm)</b>								
<i>Mallinnettua</i>								
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	11,9 (10,6-12,7)		0,81 (0,68-0,91)	0,34 (0,15-0,67)	775 (605-910)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	11,9 (10,6-12,7)		2,07 (1,41-2,51)	0,34 (0,15-0,67)	1275 (895-1535)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	11,9 (10,6-12,7)		3,83 (2,44-4,76)	0,34 (0,15-0,67)	1970 (1310-2410)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus < 0,5 %	11,9 (10,6-12,7)		0,37 (0,31-0,42)	0,34 (0,15-0,67)	270 (210-320)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	11,9 (10,6-12,7)		0,49 (0,41-0,55)	0,34 (0,15-0,67)	440 (340-520)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	11,9 (10,6-12,7)		0,72 (0,61-0,81)	0,34 (0,15-0,67)	775 (605-910)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 3,0-6 %	11,9 (10,6-12,7)		1,84 (1,26-2,24)	0,34 (0,15-0,67)	1275 (895-1535)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus > 6 %	11,9 (10,6-12,7)		3,41 (2,17-4,23)	0,34 (0,15-0,67)	1970 (1310-2410)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	13,1 (11,7-14,0)		0,32 (0,27-0,37)	0,34 (0,15-0,67)	315 (245-370)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	13,1 (11,7-14,0)		0,43 (0,36-0,48)	0,34 (0,15-0,67)	505 (395-595)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	13,1 (11,7-14,0)		0,63 (0,53-0,71)	0,34 (0,15-0,67)	890 (695-1050)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	13,1 (11,7-14,0)		1,61 (1,10-1,96)	0,34 (0,15-0,67)	1465 (1030-1765)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	13,1 (11,7-14,0)		2,99 (1,90-3,71)	0,34 (0,15-0,67)	2265 (1505-2775)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<b>Sänkimuokkaus (syksyllä kevennetty muokkaus &lt; 10 cm)</b>								
<i>Koekentiltä havaittua</i>								
Keskimmäin koekentällä (2 koekentää)	8,8	2	1,6	0,5	870			Puustinen ym. (2010)
Aurajoen koekentällä	9,0 (4,0-19,8)	3,4 (1,5-6,7)	2,68 (1,05-5,76)	0,68 (0,47-0,98)	1420 (650-2930)	1990-94		Puustinen ym. (2005), Puustinen (2013)
Lintulan koekenttä	8,5	0,69	0,44	0,25	320	1991-1994		Koskiaho ym. (2002), Puustinen (2013)
<i>Mallinnettua</i>								
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	9,9 (5,1-15,5)		0,34 (0,29-0,39)	0,32 (0,12-0,72)	220 (170-260)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	9,9 (5,1-15,5)		0,46 (0,39-0,52)	0,32 (0,12-0,72)	355 (275-420)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	9,9 (5,1-15,5)		0,70 (0,59-0,79)	0,32 (0,12-0,72)	625 (485-735)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	9,9 (5,1-15,5)		1,66 (1,02-2,28)	0,32 (0,12-0,72)	1030 (655-1385)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	9,9 (5,1-15,5)		3,00 (1,63-4,37)	0,32 (0,12-0,72)	1590 (895-2290)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus < 0,5 %	9,9 (5,1-15,5)		0,31 (0,26-0,34)	0,32 (0,12-0,72)	220 (170-260)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	9,9 (5,1-15,5)		0,41 (0,35-0,46)	0,32 (0,12-0,72)	355 (275-420)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	9,9 (5,1-15,5)		0,63 (0,52-0,70)	0,32 (0,12-0,72)	625 (485-735)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 3,0-6 %	9,9 (5,1-15,5)		1,48 (0,91-2,03)	0,32 (0,12-0,72)	1030 (655-1385)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus > 6 %	9,9 (5,1-15,5)		2,67 (1,45-3,89)	0,32 (0,12-0,72)	1590 (895-2290)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Sänkimuokkaus (syksyllä kevennetty muokkaus &lt; 10 cm)</b>								
<i>Mallinnettua</i>								
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	10,9 (5,6-17,1)		0,27 (0,22-0,30)	0,32 (0,12-0,72)	255 (195-295)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	10,9 (5,6-17,1)		0,36 (0,30-0,41)	0,32 (0,12-0,72)	410 (320-480)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	10,9 (5,6-17,1)		0,55 (0,46-0,62)	0,32 (0,12-0,72)	720 (560-845)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	10,9 (5,6-17,1)		1,30 (0,80-1,78)	0,32 (0,12-0,72)	1180 (755-1590)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	10,9 (5,6-17,1)		2,34 (1,27-3,41)	0,32 (0,12-0,72)	1830 (1030-2635)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<b>Sänki (talven yli sänkipeitteisenä)</b>								
<i>Koekentiltä havaittua</i>								
Keskimäärin koekentillä (3 koekenttää)	11	1,2	0,8	0,5	490			Puustinen ym. (2010)
Aurajoen koekentillä	6,0 (2,2-10,0)	2,35 (0,9-4,1)	1,47 (0,43-2,67)	0,88 (0,46-1,44)	790 (270-1500)	1990-94, 1997-2002		Puustinen ym. (2005), Puustinen (2013)
Kotkanojan koekentillä	10,4 (7,3-14,9)	0,73 (0,48-1,17)	0,61 (0,38-1,03)	0,12 (0,1-0,14)	600 (390-960)	1994-96, 2001-02		Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Liperin koekentillä	16,5 (9,0-26,8)	0,56 (0,18-0,9)	0,19 (0,11-0,20)	0,37 (0,11-0,76)	80 (60-100)	1990-94		Kukkonen ym. (2004), Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<i>Mallinnettua</i>								
Keskimäärin	-	0,816			-			Uusitalo ym. (2007)
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	12,1 (9,3-14,3)		0,32 (0,27-0,36)	0,40 (0,14-0,78)	215 (165-252)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	12,1 (9,3-14,3)		0,45 (0,38-0,51)	0,40 (0,14-0,78)	345 (270-405)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	12,1 (9,3-14,3)		0,71 (0,60-0,80)	0,40 (0,14-0,78)	605 (470-710)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	12,1 (9,3-14,3)		1,10 (0,73-1,40)	0,40 (0,14-0,78)	725 (500-900)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	12,1 (9,3-14,3)		1,65 (0,91-2,24)	0,40 (0,14-0,78)	890 (540-1170)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus < 0,5 %	12,1 (9,3-14,3)		0,28 (0,24-0,32)	0,40 (0,14-0,78)	215 (165-252)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	12,1 (9,3-14,3)		0,40 (0,34-0,45)	0,40 (0,14-0,78)	345 (270-405)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	12,1 (9,3-14,3)		0,63 (0,53-0,71)	0,40 (0,14-0,78)	605 (470-710)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 3,0-6 %	12,1 (9,3-14,3)		0,98 (0,65-1,25)	0,40 (0,14-0,78)	725 (500-900)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus > 6 %	12,1 (9,3-14,3)		1,47 (0,81-2,00)	0,40 (0,14-0,78)	890 (540-1170)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	13,3 (10,2-15,7)		0,25 (0,21-0,28)	0,40 (0,14-0,78)	245 (190-290)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Sänki (taiven yli sänkipeitteisenä)</b>								
<i>Mallinnettua</i>								
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	13,3 (10,2-15,7)		0,35 (0,29-0,40)	0,40 (0,14-0,78)	395 (310-465)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	13,3 (10,2-15,7)		0,55 (0,47-0,62)	0,40 (0,14-0,78)	695 (540-820)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	13,3 (10,2-15,7)		0,86 (0,57-1,09)	0,40 (0,14-0,78)	830 (575-1035)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	13,3 (10,2-15,7)		1,29 (0,71-1,71)	0,40 (0,14-0,78)	1020 (620-1345)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<b>Suorakylvö syysvilja</b>								
<i>Koekentiltä havaittua</i>								
Aurajoen koekentällä	9,0 (3,8-14,3)	3,15 (1,5-5,3)	1,13 (0,76-1,78)	2,02 (0,73-3,50)	620 (430-950)	1997-2002		Puustinen ym. (2005), Puustinen m. (2013)
<i>Mallinnettua (VIHMA)</i>								
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	9,9 (9,0-11,1)		0,25 (0,21-0,27)	0,96 (0,35-1,98)	110 (95-120)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	9,9 (9,0-11,1)		0,40 (0,34-0,44)	0,96 (0,35-1,98)	185 (160-200)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	9,9 (9,0-11,1)		0,71 (0,61-0,77)	0,96 (0,35-1,98)	330 (290-355)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	9,9 (9,0-11,1)		0,94 (0,81-1,03)	0,96 (0,35-1,98)	485 (425-520)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	9,9 (9,0-11,1)		1,26 (1,09-1,38)	0,96 (0,35-1,98)	695 (610-755)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus < 0,5 %	9,9 (9,0-11,1)		0,22 (0,19-0,24)	0,96 (0,35-1,98)	110 (95-120)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	9,9 (9,0-11,1)		0,36 (0,31-0,39)	0,96 (0,35-1,98)	185 (160-200)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	9,9 (9,0-11,1)		0,63 (0,54-0,69)	0,96 (0,35-1,98)	330 (290-355)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 3,0-6 %	9,9 (9,0-11,1)		0,84 (0,72-0,91)	0,96 (0,35-1,98)	485 (425-520)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus > 6 %	9,9 (9,0-11,1)		1,13 (0,97-1,23)	0,96 (0,35-1,98)	695 (610-755)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	10,9 (9,9-12,2)		0,20 (0,17-0,21)	0,96 (0,35-1,98)	125 (110-140)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	10,9 (9,9-12,2)		0,31 (0,27-0,34)	0,96 (0,35-1,98)	210 (185-230)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	10,9 (9,9-12,2)		0,55 (0,48-0,60)	0,96 (0,35-1,98)	380 (335-410)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	10,9 (9,9-12,2)		0,73 (0,63-0,80)	0,96 (0,35-1,98)	555 (490-600)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	10,9 (9,9-12,2)		0,99 (0,85-1,08)	0,96 (0,35-1,98)	800 (705-865)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koivuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Suorakylvö, kevätvilja</b>								
<i>Mallinnuttua</i>								
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	9,9 (9,0-11,1)		0,25 (0,21-0,27)	0,58 (0,26-1,08)	110 (95-120)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	9,9 (9,0-11,1)		0,40 (0,34-0,44)	0,58 (0,26-1,08)	185 (160-200)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	9,9 (9,0-11,1)		0,71 (0,61-0,77)	0,58 (0,26-1,08)	330 (290-355)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	9,9 (9,0-11,1)		0,94 (0,81-1,03)	0,58 (0,26-1,08)	485 (425-520)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	9,9 (9,0-11,1)		1,26 (1,09-1,38)	0,58 (0,26-1,08)	695 (610-755)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus < 0,5 %	9,9 (9,0-11,1)		0,22 (0,19-0,24)	0,58 (0,26-1,08)	110 (95-120)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	9,9 (9,0-11,1)		0,36 (0,31-0,39)	0,58 (0,26-1,08)	185 (160-200)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	9,9 (9,0-11,1)		0,63 (0,54-0,69)	0,58 (0,26-1,08)	330 (290-355)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 3,0-6 %	9,9 (9,0-11,1)		0,84 (0,72-0,91)	0,58 (0,26-1,08)	485 (425-520)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus > 6 %	9,9 (9,0-11,1)		1,13 (0,97-1,23)	0,58 (0,26-1,08)	695 (610-755)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	10,9 (9,9-12,2)		0,20 (0,17-0,21)	0,58 (0,26-1,08)	125 (110-140)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	10,9 (9,9-12,2)		0,31 (0,27-0,34)	0,58 (0,26-1,08)	210 (185-230)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	10,9 (9,9-12,2)		0,55 (0,48-0,60)	0,58 (0,26-1,08)	380 (335-410)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	10,9 (9,9-12,2)		0,73 (0,63-0,80)	0,58 (0,26-1,08)	555 (490-600)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	10,9 (9,9-12,2)		0,99 (0,85-1,08)	0,58 (0,26-1,08)	800 (705-865)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
<b>Pysyvä nurmi (talvien yli kasviesteisenä)</b>								
<i>Koekentiltä havaittua</i>								
Keskimäärin koekentillä (5 koekenttää)	8,9	1,2	0,6	0,7	395			Puustinen ym. (2010)
Aurajoen koekentillä	4,5 (2,3-7,4)	1,86 (1,4-2,15)	0,95 (0,87-1,02)	0,91 (0,53-1,13)	570 (500-620)	1998-2002		Puustinen ym. (2005), Puustinen (2013)
Kotkanojan koekentillä	9,1 (3,7-14,6)	0,73 (0,36-1,1)	0,52 (0,2-0,84)	0,21 (0,16-0,26)	610 (110-1110)	1992-94		Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Liperin koekentillä	6,0 (3,9-9,7)	0,41 (0,16-0,89)	0,18 (0,09-0,45)	0,23 (0,07-0,44)	55 (30-160)	1989-93, 1995-99		Kukkonen ym. (2004), Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Toholammin koekettä	6,8	1,51	0,44	1,07	340	1994-96, 1998-99		Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Tohmajärven koekentillä	18 (8-29)	1,7 (0,4-2,5)	0,7	1,0	-	1984-87		Huhta & Jaakkola (1993), Myllyys (2012)
<i>Muita turvemaan nurmia</i>								
Keskimäärin	7,5	0,14 (0,2-0,67)			250 (154-507)			Turtola ja Kempainen (1998)



PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Pysyvä nurmi (talvien yli kasvipeitteisenä)</b>								
<i>Mallinnettua</i>								
Savimaat, kaltevuus < 0,5%	7,2 (5,2-8,2)		0,28 (0,26-0,30)	0,47 (0,20-0,86)	115 (110-120)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 0,5-1,5%	7,2 (5,2-8,2)		0,39 (0,36-0,42)	0,47 (0,20-0,86)	180 (170-190)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 1,5-3,0%	7,2 (5,2-8,2)		0,60 (0,56-0,64)	0,47 (0,20-0,86)	305 (290-320)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus 3,0-6%	7,2 (5,2-8,2)		0,79 (0,74-0,85)	0,47 (0,20-0,86)	440 (420-465)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Savimaat, kaltevuus > 6%	7,2 (5,2-8,2)		1,06 (0,99-1,14)	0,47 (0,20-0,86)	635 (605-670)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus < 0,5 %	7,2 (5,2-8,2)		0,25 (0,23-0,27)	0,47 (0,20-0,86)	115 (110-120)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	7,2 (5,2-8,2)		0,34 (0,32-0,37)	0,47 (0,20-0,86)	180 (170-190)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	7,2 (5,2-8,2)		0,53 (0,50-0,57)	0,47 (0,20-0,86)	305 (290-320)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus 3,0-6 %	7,2 (5,2-8,2)		0,70 (0,66-0,76)	0,47 (0,20-0,86)	440 (420-465)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Hiesumaat, kaltevuus > 6 %	7,2 (5,2-8,2)		0,95 (0,88-1,01)	0,47 (0,20-0,86)	635 (605-670)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus < 0,5 %	7,9 (5,7-9,0)		0,22 (0,20-0,24)	0,47 (0,20-0,86)	135 (130-140)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 0,5-1,5 %	7,9 (5,7-9,0)		0,30 (0,28-0,32)	0,47 (0,20-0,86)	205 (195-215)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 1,5-3,0 %	7,9 (5,7-9,0)		0,47 (0,44-0,50)	0,47 (0,20-0,86)	350 (330-365)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus 3,0-6 %	7,9 (5,7-9,0)		0,62 (0,57-0,66)	0,47 (0,20-0,86)	510 (480-535)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Karkeat kivennäismaat, kaltevuus > 6 %	7,9 (5,7-9,0)		0,83 (0,77-0,89)	0,47 (0,20-0,86)	730 (695-770)		VIHMA	Puustinen ym. (2010), Puustinen (2013)
Aitosavi kaltevuus 3%	8,736-25,232	0,683-1,151			207-615		ICEC- REAM	Granlund ym. (2010)
Hiesusavi, kaltevuus 3%	22,247-26,644	0,935-1,289			563-769		ICEC- REAM	Granlund ym. (2010)
hiesusavi, kaltevuus 3%	22,276-23,887	0,894-0,945			387-471		ICEC- REAM	Granlund ym. (2010)
karkea hiesu, kaltevuus 3%	18,552-35,898	0,814-1,978			365-1319		ICEC- REAM	Granlund ym. (2010)
hieno hietä, kaltevuus 3%	10,661-32,823	0,44-2,181			83-1114		ICEC- REAM	Granlund ym. (2010)
karkea hietä, kaltevuus 3%	26,256-30,667	0,284-0,341			16-52		ICEC- REAM	Granlund ym. (2010)
<b>Valuma-alueitaso</b>								
<i>Havaittua vs. seurannat</i>								
Seurantajako 1965-1976	12	0,57				1965-76		Kauppi 1979
Seurantajako 1981-1985	13 (8-20)	1,11 (0,9-1,8)				1981-85		Rekolainen 1989, Vuorenmaa ym. 2002

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Valuma-alueetaso</b>								
<i>Havaittua vs. seurannat</i>								
Seurantajakso 1986-1990	18 (17,5-19,5)	0,99 (0,95 – 1,7)		0,13		1986-90		Rekolainen ym. 1993, Vuorenmaa ym. 2002
Seurantajakso 1991-1995	14	1,14		0,14		1991-95		Vuorenmaa ym. 2002
<i>Mallinnettu, keskimäärin</i>								
Aurajoen valuma-alue, ei maatalouden vesiensuojelutoimia	16,5	1,3	1,0	0,4	696		VIHMA	Väisänen & Puustinen (toim.), 2010
Kalajoen valuma-alue, ei maatalouden vesiensuojelutoimia	13	0,8	0,4	0,4	272		VIHMA	Väisänen & Puustinen (toim.), 2010
<b>Laidun</b>								
Keskimäärin	46,3	0,037		-				Saarijärvi ym. (2006)
<b>Viiherkesanto</b>								
Keskimäärin	7,2	0,6						SYKE
Keskimäärin, kaltevuus <0.5%	7,2	0,82			115			Tattari, S. (2012) SYKE / SeMaTo, laskettu Savijoen (Aura) valuma-alueelle
Keskimäärin, kaltevuus <0.5-1.5%	7,2	0,92			180			
Keskimäärin, kaltevuus <1.5-3.0%	7,2	1,13			305			
Keskimäärin, kaltevuus <3.0-6%	7,2	1,33			440			
Keskimäärin, kaltevuus >6%	7,2	1,6			635			
<b>Avokesanto</b>								
Keskimäärin	17,9	2			-			SYKE
Keskimäärin, kaltevuus <0.5%	17,9	0,79			325			Tattari, S. (2012) SYKE / SeMaTo, lask. Savijoki
Keskimäärin, kaltevuus <0.5-1.5%	17,9	0,96			525			
Keskimäärin, kaltevuus <1.5-3.0%	17,9	1,29			925			
Keskimäärin, kaltevuus <3.0-6%	17,9	2,62			1520			
Keskimäärin, kaltevuus >6%	17,9	4,47			2350			

PELTOVILJELY	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	PP kg/ha/v	Liuk. P (DRP) kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet/ huom.	Käytetty malli	Viite
<b>Energiakasvi, ruokohelppi</b>								
Keskimäärin, kaltevuus <0.5%	7,2	0,28	115		115			Tattari, S. (2012) SYKE / SeMaTo, lask. Savijoki
Keskimäärin, kaltevuus <0.5-1.5%	7,2	0,39	180		180			
Keskimäärin, kaltevuus <1.5-3.0%	7,2	0,6	305		305			
Keskimäärin, kaltevuus <3.0-6%	7,2	0,79	440		440			
Keskimäärin, kaltevuus >6%	7,2	1,06	635		635			
<b>Karjanlannan levitys syksyllä</b>								
Keskimäärin	20.7 (5.3-40.3)	5.15 (1.01-9.8)			410 (157-538)			Turtola ja Kempainen (1998)
<b>KARJATALOUS</b>								
Kotieläimet		totN kg/yksilö/v	totP kg/yksilö/v	KA kg/ksilö/v				<b>Viite</b>
Stiipkarja	0,013		0,002	-				Ympäristöministeriö (2008)
Nauta	2,5		0,44	-				Ympäristöministeriö (2008)
Lihakarja yleensä	1,254		0,22	-				Ympäristöministeriö (2008)
Sika	0,42		0,07	-				Ympäristöministeriö (2008)
Porotarha	0,38		0,06	-				Malm (2005)
<b>TURVETUOTANTO</b>								
	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet / alueita	Vesiensojelu			<b>Viite</b>
<b>Kuntoonpanovaihe koko Suomi</b>								
Keskimääräiset (perustaso) 1. vuosi	12.15 (12.0-12.3)	0.48 (0.43-0.54)	88 (57-119)					Pöyry (2009), laskettu Etelä ja Pohjois-Suomen keskiarvo
Keskimääräiset (perustaso) 2. vuosi	8.0 (7.8-8.2)	0.33 (0.29-0.36)	59 (38-79)		laskeutusaltaat			Pöyry (2009), laskettu Etelä ja Pohjois-Suomen keskiarvo
Keskimääräiset (pintavalutuskenntä) 1. vuosi	9.25 (5.5-13.0)	0.27 (0.23-0.30) 0.405	21.0 (18-24)		pintavalutus			Pöyry (2009), laskettu Etelä ja Pohjois-Suomen keskiarvo
Keskimääräiset (pintavalutuskenntä) 2. vuosi	6.3 (3.7-8.9)	0.18 (0.15-0.2)	14 (12-16)		2. ja seuraavat kuntoonpanovuodet			Pöyry (2009), laskettu Etelä ja Pohjois-Suomen keskiarvo
<b>Kuntoonpanovaihe Etelä-Suomi</b>								
Keskimääräiset (perustaso) 1. vuosi	12	0.43	57					Pöyry (2009)
Keskimääräiset (perustaso) 2. vuosi	7.8	0.29	38					Pöyry (2009)
Keskimääräiset (pintavalutuskenntä) 1. vuosi	13	0.3	24		6 tarkkailusuota			Pöyry (2009)
Keskimääräiset (pintavalutuskenntä) 2. vuosi	8.9	0.2	16					Pöyry (2009)

TURVETUOTANTO	totN kg/ha/v	totP kg/ha/v	KA kg/ha/v	Koevuodet / alueita	Vesiensojelu	Viite
<b>Kuntoonpanovaihe Pohjois-Suomi</b>						
Keskimääräiset (perustaso) 1. vuosi	12,3	0,54	119	12 tarkkailusuota		Pöyry (2009)
Keskimääräiset (perustaso) 2. vuosi	8,2	0,36	79			Pöyry (2009)
Keskimääräiset (pintavalutuskenttä) 1. vuosi	5,5	0,23	18	20 tarkkailusuota		Pöyry (2009)
Keskimääräiset (pintavalutuskenttä) 2. vuosi	3,7	0,15	12			Pöyry (2009)
<b>Tuotanto koko Suomi</b>						
Perustaso	8,55	0,295	53			Pöyry (2009) keskiarvo
Virtaamansäätö	9,1	0,22	42			Pöyry (2009) keskiarvo
Kasvillisuuskenttä	5,7	0,27	24			Pöyry (2009) Etelä-Suomi
Pintavalutus, ympärivuotinen	4,6	0,11	11			Pöyry (2009) keskiarvo
Pintavalutus, sulan maan aika	5,65	0,24	35			Pöyry (2009) keskiarvo
Kemikalointi, sulan maan aika	6,4	0,22	48			Pöyry (2009) keskiarvo
<b>Etelä-Suomi</b>						
Päätötarkkailu 2003-2008						
Perustaso	7,9	0,27	38	21 tarkkailusuota	laskeutusaltaat	Pöyry (2009)
Virtaamansäätö	9	0,2	32	16	virtaamansäätö	Pöyry (2009)
Kasvillisuuskenttä	5,7	0,27	24	8	kasvillisuuskenttä	Pöyry (2009)
Pintavalutus, ympärivuotinen	6,6	0,15	12	8	ympärivuotinen pintavalutus	Pöyry (2009)
Pintavalutus, sulan maan aika	5,8	0,2	27	6	pintavalutus sulan maan aikana	Pöyry (2009)
Kemikalointi, sulan maan aika	6,6	0,17	39	5	kemikalointi sulan maan aikana	Pöyry (2009)
<b>Pohjois-Suomi</b>						
Päätötarkkailu 2003-2008						
Perustaso	9,2	0,32	68	33	perustaso	Pöyry (2009)
Perustaso	8,2	0,31	59	46, tarkkailujakso 2003-2011	perustaso	Pöyry (2013)
Virtaamansäätö	9,2	0,24	51	3	virtaamansäätö	Pöyry (2009)
Pintavalutus, ympärivuotinen	2,6	0,07	10	9	ympärivuotinen pintavalutus	Pöyry (2009)
Pintavalutus, sulan maan aika	5,5	0,28	43	49	pintavalutus sulan maan aikana	Pöyry (2009)
Kemikalointi, sulan maan aika	6,2	0,27	57	4	kemikalointi sulan maan aikana	Pöyry (2009)
<b>Itä-Suomi</b>						
Päätötarkkailu 2003-2011						
Perustaso	12	0,41	63	18	perustaso	Pöyry (2013)
Pintavalutus, ympärivuotinen	4,5	0,11	18	17	ympärivuotinen pintavalutus	Pöyry (2013)
Pintavalutus, sulan maan aika	8,9	0,26	38	15	pintavalutus sulan maan aikana	Pöyry (2013)
<b>Länsi-Suomi</b>						
Perustaso	7,3	0,18	29	24	perustaso	Pöyry (2013)
Pintavalutus, ympärivuotinen	6,2	0,18	21	28	ympärivuotinen pintavalutus	Pöyry (2013)
Kasvillisuuskenttä	5	0,24	31	19	kasvillisuuskenttä ympärivuotinen	Pöyry (2013)

YHDYSKUNNAT	totN kg/hiö/v	totP kg/hiö/v	KA kg/hiö/v	Huomioita	Viite
<b>Haja-asutus, jätevedet</b>					
Puhdistamon	5,11	0,803	18,25		jätevesiasetus (209/2011)
Puhdistamon	3,1	0,43	-		HELCOM (2011), Rontu & Santala (1995)
Puhdistettu (N:30%, P:70%, Org: 80%)	3,577	0,2409	3,65	jätevesiasetuksen mukainen puhdistusteho	jätevesiasetus (209/2011)
Puhdistettu	1	0,25	-		HELCOM (2011), Rontu & Santala (1995)
Puhdistettu (Hki, Tampere, Seinäjoki, Rovaniemi, Rautalampi)	2,279	0,023	0,203		
Keskimäärin , et. <100m vesistöstä	2,4	0,64	-		Viitasaari (1990)
Keskimäärin , et. 100-1000m vesistöstä	1,72	0,37	-		Viitasaari (1990)
Keskimäärin , et. >1000m vesistöstä	1,03	0,1	-		Viitasaari (1990)
<b>Taajama-asutus, jätevedet</b>					
Puhdistamon	5,28	0,9	27,8	kaikki puhdistamot, keskiarvo	Lapinlampi&Raassina (2001)
Puhdistettu	2,79	0,05	1,32	kaikki puhdistamot, keskiarvo	Lapinlampi&Raassina (2001)
Puhdistettu	0,6-4,35	0,01-0,03	0,003-0,72	5 puhdistamaa	OIVA (otos vedenpuhdistamosta)
Puhdistettu	-	952 (kg puhdistamo/v)		kg puhdistamo /v	HELCOM (2011)
<b>Kesämökät (rannalla)</b>					
Keskimäärin,	0,66	0,18			Viitasaari (1990)
Keskimäärin	-	0,01 (0,007-0,0123)	-		Lakso ym. (1994)
Keskimäärin	0,05	0,02	-		Rontu & Santala (1995)
Keskimäärin	-	0,23 (kg asunto/v)		kg asunto /v	HELCOM (2011)
<b>HULEVEDET</b>					
Hulevedet, taajamat	6,82 (4,5-10)	0,41 (0,2-0,6)	314 (76-656)	3 valuma-aluetta, 2002	Kotola&Nurminen (2002)
Kerrostaloalueet	8,8	0,4	210		Kotola&Nurminen (2002) Melanen (1981)
Pientaloalueet	5	0,24	100	3 valuma-aluetta, 2002	Kotola&Nurminen (2002), Melanen (1981)
Keskusta-alueet	7,2	1,4	450		Peltola-Thies (2005), Melanen (1981)
Teollisuus- ja varastoalueet	2,9	0,86	790		Peltola-Thies (2005), Melanen (1981)
Liikennealueet	3	0,41	370		Peltola-Thies (2005), Melanen (1981)

TEOLLISUUS	totN kg/tuotettu t/v	totP kg/tuotettu t/v	KA kg/tuotettu t/v	Huomioita	Viite
<b>Massa- ja paperiteollisuus</b>					
Selluntuotanto (Savon Sellu)	0,12	0,01	-		SYKE
Selluntuotanto keskimäärin	2,5	0,007	-		SYKE
	0,15 (0,01-0,53)	0,012 (0,002-0,05)	0,8 (0,2-3,4)		
Massa- ja paperiteollisuus	0,91	0,01	0,64		Ikonen (2012) (ilmakuiva sellu/ paperitonni)
<b>Valkaisematon sellu (BAT)</b>					
Valkaistu sellu (BAT)	0,1-0,2	0,01-0,02	0,03		Ikonen (2012)
Hienopaperin valmistus (BAT)	0,1-0,25	0,01-0,03	0,6-1,5		Ikonen (2012)
Pehmopaperin valmistus (BAT)	0,05-0,2	0,003-0,01	0,2-0,4		Ikonen (2012)
	0,05-0,25	0,003-0,015	0,2-0,4		Ikonen (2012)
<b>Kalanviljelylaitokset</b>					
Maalla	-	9,1	-		SYKE
Maalla	39	5,2	-		Ympäristönsuojelun tietojärjes- telmä
Vesiviljely	44	7			VL-tavoite
Lannoitevalmistus	0,055	0,0006	-		SYKE
Meijerilaitokset	-	-	40		Hakkarainen (2008)
<b>TURKISTARHAUS</b>	<b>totN kg/tarha/v</b>	<b>totP kg/tarha/v</b>	<b>KA (org) kg/tarha/v</b>	<b>Huomioita</b>	<b>Viite</b>
Turkistarhat, keskimäärin	253	26,5	-		Nyroos ym. (2006)

## KUVAILEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisu-aika Marraskuu 2014
Tekijä(t)	Samuli Launiainen, Sakari Sarkkola, Ari Laurén, Markku Puustinen, Sirkka Tattari, Tuija Mattsson, Sirpa Piirainen, Jaakko Heinonen, Laura Alakukku ja Leena Finér			
Julkaisun nimi	<b>KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan</b>			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2014			
Julkaisun teema				
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana ainoastaan internetistä: <a href="http://www.syke.fi/julkaisut">www.syke.fi/julkaisut</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a> KUSTAA -laskentaohjelma on saatavissa internetistä: <a href="http://www.metla.fi/metinfo/kustaa/">www.metla.fi/metinfo/kustaa/</a> (1.1.2015 alkaen Luonnonvarakeskus, <a href="http://www.luke.fi">www.luke.fi</a> )			
Tiivistelmä	<p>Maankäytöstä ja muusta ihmistoiminnasta aiheutuu lähes aina luonnon taustakuorman ylittävää ravinne- ja kiintoainekuormitusta vesistöihin. Julkaisussa esitellään valuma-alueelta vesistöön kohdistuvan kokonaistypen, kokonaisfosforin ja kiintoaineen kuormituksen arviointiin kehitetty KUSTAA -työkalu. KUSTAA perustuu ominaiskuormitusmenetelmään ja kattaa tyypillisimpiin maankäyttömuotoihin liittyvät toimenpiteet ja muut haja- ja pistekuormituslähteet. Kuormitusarvion lähtötiedoiksi tarvitaan valuma-alueen pinta-ala, sen vesistöjen pinta-ala, metsä- ja maataloustoimenpiteiden pinta-alat ja muut haja- ja pistekuormituslähteiden määrät vuositasona. Tietojen perusteella tuotetaan arvio valuma-alueen kokonaiskuormituksesta ja sen jakautumisesta eri lähteisiin. Lisäksi esitetään yksinkertainen epävarmuusarvio. KUSTAA -työkalu on integroitu taulukkolaskentaympäristöön ja tarkoitettu käytännön toimijoiden käyttöön. Sen avulla voidaan arvioida esimerkiksi maankäytössä tapahtuvien muutosten, pistekuormituksen hallinnan tai yksittäisen kuormituslähteen vaikutuksia valuma-alueen kokonaiskuormitukseen. Julkaisussa kootaan kattavasti yhteen tyypillisimpiä maankäyttömuotoja ja haja- ja pistekuormituslähteitä edustavat ominaiskuormitusluvut ja esitellään KUSTAA -työkalun käyttöä esimerkkilaskelmien avulla.</p>			
Asiasanat	vesistökuormitus, maankäyttö, haja- ja pistekuormitus, ominaiskuormitusmenetelmä, tyyppi, fosfori, kiintoaine, vedenlaatu			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Maa ja metsätalousministeriö, Maankäytön vaikutus hajakuormitukseen MAHA-hanke (2526/311/2009)			
	ISBN	ISBN 978-952-11-4374-8 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1726 (verkkokj.)
	Sivuja 55	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis.alv 8 %) -
Julkaisun myynti/ jakaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), asiakaspalvelu PL 140, 00251 Helsinki Puh. 020 690 183, faksi (09) 5490 2190 Sähköposti: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a>			
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 Helsinki Puh. 020 610 123 Sähköposti: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.ymparisto.fi/syke">www.ymparisto.fi/syke</a>			
Painopaikka ja -aika				

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum November 2014
Författare	Samuli Launiainen, Sakari Sarkkola, Ari Laurén, Markku Puustinen, Sirkka Tattari, Tuija Mattsson, Sirpa Piirainen, Jaakko Heinonen, Laura Alakukku och Leena Finér			
Publikationens titel	<b>KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan</b> (KUSTAA - en metod för beräkning av kväve, fosfor och fasta partiklar från avrinningsområde)			
Publikationsserie och nummer	Finlands miljöcentrals rapporter 33/2014			
Publikationens tema				
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig bara på internet: <a href="http://www.syke.fi/publikationer">www.syke.fi/publikationer</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a> KUSTAA-program är tillgänglig på internet: <a href="http://www.metla.fi/metinfo/kustaa/">www.metla.fi/metinfo/kustaa/</a> (från 1.1.2015 Naturresursinstitutet, <a href="http://www.luke.fi">www.luke.fi</a> )			
Sammandrag	<p>Jämfört med den naturliga nivån ökar markanvändning och mänsklig aktivitet belastningen av näringsämnen och fasta partiklar i vattendrag. I det här arbetet presenteras en beräkningsmetod, KUSTAA, som kan utnyttjas för att beräkna belastningen av totalkvävet, totalfosfor och fasta partiklar i vattendrag. KUSTAA omfattar de mest typiska formerna av markanvändning samt olika slag av diffus eller punktvis belastning. Verktøjets inmatningsvärden är arealerna av tillrinningsområdet och vattendragen, samt de årsvisa skogsbruksåtgärderna och jordbruksformerna samt omfattningen av de övriga diffusa och punktvisa belastningskällorna. På grundval av de här uppgifterna utarbetas en uppskattning av tillrinningsområdets totala belastning och dess fördelning på olika belastningskällor. Dessutom bedöms uppskattningens noggrannhet. KUSTAA är ett kalkylprogrambaserat verktyg avsett för praktisk tillämpning av aktörerna på fältet. Det kan användas för att uppskatta exempelvis förändringar i markanvändning, övervakning av punktvisa utsläppskällor eller effekten av specifika belastningskomponenter på den totala belastningen i ett tillrinningsområde. I publikationen presenteras specifika värden för miljöbelastning från vanliga markanvändningsformer samt för diffusa och punktvisa belastningskällor. Dessutom ges belysande exempel på hur verktyget KUSTAA används.</p>			
Nyckelord	inverkan på vattendrag, markanvändning, diffus och punktvis belastning, specifik belastnings metod, kväve, fosfor, fasta partiklar			
Finansiär/ uppdragsgivare	Jord- och skogsbruksministeriet, Effekt av markanvändning på diffus miljöbelastning (av näringsämnen), MAHA-projektet (2526/311/2009)			
	ISBN	ISBN 978-952-11-4374-8 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1726 (online)
	Sidantal 55	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %) -
Beställningar/ distribution	Finlands miljöcentral (SYKE), kundservice PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 690 183, fax +358 9 5490 2190 Epost: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a>			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.miljo.fi/syke">www.miljo.fi/syke</a>			
Tryckeri/tryckningsort och -år				



## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> November 2014
<i>Author(s)</i>	Samuli Launiainen, Sakari Sarkkola, Ari Laurén, Markku Puustinen, Sirkka Tattari, Tuija Mattsson, Sirpa Piirainen, Jaakko Heinonen, Laura Alakukku and Leena Finér			
<i>Title of publication</i>	<b>KUSTAA -työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan</b> (KUSTAA - a method for calculating nitrogen, phosphorus and sediment load from catchments)			
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Finnish Environment Institute 33/2014			
<i>Theme of publication</i>				
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available only on the internet: <a href="http://www.syke.fi/publications">www.syke.fi/publications</a>   <a href="http://helda.helsinki.fi/syke">helda.helsinki.fi/syke</a> KUSTAA -tool can be downloaded from: <a href="http://www.metla.fi/metinfo/kustaa/">www.metla.fi/metinfo/kustaa/</a> (from I.I.2015 Natural Resources Institute Finland, <a href="http://www.luke.fi">www.luke.fi</a> )			
<i>Abstract</i>	<p>Compared to leaching in pristine conditions, the nutrient and suspended solid loading to water courses is in most cases enhanced due to anthropogenic land-use and other actions. This study describes the KUSTAA -tool for estimating a catchment-scale export of total nitrogen, total phosphorus and suspended solids. The KUSTAA -tool is based on a specific export approach and contains the most common anthropogenic land-use practices, such as forestry, agriculture and peat extraction, and several point source and non-point source loading sources. The computations requires that the catchment land area, the area of its water courses and the characteristics of the land use areas as well as other pollution sources are specified on an annual basis. As a result, the KUSTAA provides total export loads and their partitioning among the sources in a single year or over longer periods. In addition, a primitive uncertainty analysis is provided. The KUSTAA -tool is aimed for the use of authorities and other land-use planners, and it can address the potential changes of catchment nutrient and sediment loading due to altered land-use practices, reduced point-source loading, or assist in analyzing the role of a single loading source in the catchment. This study summarizes specific export coefficients (pollution coefficients) of the most common land-use related practices, infrastructure, households etc. and demonstrates the use of the KUSTAA -tool.</p>			
<i>Keywords</i>	water pollution, land-use, non-point source and point source loading, specific export approach, nitrogen, phosphorus, water quality			
<i>Financier/ commissioner</i>	The Ministry of Agriculture and Forestry, Effect of Land Use on Diffuse Load, MAHA-project (2526/311/2009)			
	ISBN	ISBN 978-952-11-4374-8 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1726 (online)
	<i>No. of pages</i> 55	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i> -
<i>For sale at/ distributor</i>	Finnish Environment Institute (SYKE), Customer service P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 690 183, fax +358 9 5490 2190 Email: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a>			
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: <a href="mailto:neuvonta.syke@ymparisto.fi">neuvonta.syke@ymparisto.fi</a> , <a href="http://www.environment.fi/syke">www.environment.fi/syke</a>			
<i>Printing place and year</i>				







ISBN 978-952-11-4374-8 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkokj.)