

Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

**Leena Finér, Tuija Mattsson, Samuli Joensuu, Harri Koivusalo,
Ari Laurén, Timo Makkonen, Mika Nieminen, Sirkka Tattari,
Erkki Ahti, Pirkko Kortelainen, Jari Koskiaho, Antti Leinonen,
Raimo Nevalainen, Sirpa Piirainen, Jouko Saarelainen,
Sakari Sarkkola ja Martti Vuollekoski**



Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta

**Leena Finér, Tuija Mattsson, Samuli Joensuu, Harri Koivusalo,
Ari Laurén, Timo Makkonen, Mika Nieminen, Sirkka Tattari,
Erkki Ahti, Pirkko Kortelainen, Jari Koskiahho, Antti Leinonen,
Raimo Nevalainen, Sirpa Piirainen, Jouko Saarelainen,
Sakari Sarkkola ja Martti Vuollekoski**



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 10 | 2010
Suomen ympäristökeskus

Taitto: Erika Várkonyi
Kansikuva: Erkki Oksanen / METLA

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/syke/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

ISBN 978-952-11-3755-6 (nid.)
ISBN 978-952-11-3756-3 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkoj.)

ESIPUHE

Tämä julkaisu on tuotettu maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa hankkeessa HAME Hajakuormituksen hallinta metsätaloudessa (Päätös 4804/64/2005). Hanke on toteutettu Metlan, Aalto yliopiston Teknillisen korkeakoulun, Geologian tutkimuskeskuksen, Metsäkeskus Etelä-Savon, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion ja Suomen ympäristökeskuksen yhteistyönä, ja se on ollut osana valtakunnallista VEHO Vesienhoidon tutkimusohjelmaa. Tämän julkaisun tavoitteena on esitellä hankkeen tuloksena syntynyt metsätalouksmaalta tulevaan luonnon taustakuorman ja eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttaman kuormituksen laskemiseksi kehitetty typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormituksen laskentamenetelmä, KALLE. Se rakennettiin käyttäen hyväksi Suomen ympäristökeskuksessa käytössä ollutta Kaarle Kenttämiehen johdolla kehitettyä taulukkolaskentapohjaista laskentamenetelmää. Julkaisussa esitetään perusteluineen käytettävissä oleviin tutkimustuloksiin perustuvat taustakuormitusluvut ja eri metsätaloustoimenpiteiden ominaiskuormitusluvut. KALLE-laskentamenetelmä on kehitetty valtakunnallisia, vesistöalueryhmittäisiä ja vesienhoitoalueittaisia laskelmia varten. Esimerkkeinä esitellään KALLE-laskentamenetelmällä tuotetut valtakunnalliset ja vesienhoitoalueittaiset metsätalouksmaan taustakuormitusarviot ja eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamat vesistökuormitusarviot. Kiitämme kaikkia laskentamenetelmän tuottamiseen myötävaikuttaneita tahoja.

Kirjoittajat ja heidän yhteystietonsa:

Leena Finér¹⁾, Tuija Mattsson²⁾, Samuli Joensuu³⁾, Harri Koivusalo^{1,6)}, Ari Laurén¹⁾, Timo Makkonen³⁾, Mika Nieminen¹⁾, Sirkka Tattari²⁾, Erkki Ahti¹⁾, Pirkko Kortelainen²⁾, Jari Koskiahö²⁾, Antti Leinonen⁵⁾, Raimo Nevalainen⁴⁾, Sirpa Piirainen¹⁾, Jouko Saarelainen⁴⁾, Sakari Sarkkola¹⁾ ja Martti Vuollekoski¹⁾

- 1) **Metsäntutkimuslaitos**, Joensuu, PL 68, 80101 Joensuu
sähköposti: etunimi.sukunimi@metla.fi
- 2) **Suomen ympäristökeskus**, PL 140, 00251 Helsinki
sähköposti: etunimi.sukunimi@ymparisto.fi
- 3) **Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio**, Soidinkuja 4, 00700 Helsinki
sähköposti: etunimi.sukunimi@tapio.fi
- 4) **Geologian tutkimuskeskus**, PL 1237, 70211 Kuopio
sähköposti: etunimi.sukunimi@gtk.fi
- 5) **Metsäkeskus, Etelä-Savo**, Mikonkatu 5, 50100 Mikkeli
sähköposti: etunimi.sukunimi@metsakeskus.fi
- 6) **Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta ja ympäristötekniikan laitos**, PL 15200, 00076 Aalto
sähköposti: etunimi.sukunimi@tkk.fi

SISÄLLYS

Esipuhe	3
I. Johdanto	7
2. Laskentamenetelmän perusteet	9
2.1 Peruseriaatteet.....	9
2.2 Laskentamittakaava	10
2.3 Aikajänne ja aineistot.....	12
2.4 Taustakuorma metsäalueilta	12
2.5 Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama ominaiskuormitus.....	14
2.5.1 Ominaiskuormitusluvut	14
2.5.2 Kivennäismaiden metsänuudistaminen	14
2.5.3 Turvemaiden metsänuudistaminen.....	16
2.5.4 Kunnostusojitus	18
2.5.5 Lannoitus	19
2.6 KALLE-laskentamenetelmän tekninen toteutus	20
3. Laskentatuloksia	21
3.1 Kuormitus vesienhoitoalueittain.....	21
3.2 Kuormitus koko Suomessa	23
4. Laskentamenetelmän arviointia ja kehittämistarpeita	25
4.1 Laskentamittakaava ja toimenpidepinta-alat	25
4.2 Ominaiskuormitusluvut	26
4.3 Vertailu aiempiin metsäisten valuma-alueiden kuormituslaskelmiin....	27
Kirjallisuus	29
Säädökset	30
Kuvailulehti	31
Presentationsblad	32
Documentation Page	33

1 Johdanto

Metsät vaikuttavat vesistöjen veden laatuun. Luonnontilaisilta metsä- ja suoalueilta vesistöihin kulkeutuvia ainevirtoja kutsutaan taustakuormaksi. Taustakuorma muodostaa Suomen ympäristökeskuksen laskelmien mukaan noin kolmasosan vesistöjen typpi- ja fosforikuormituksesta (www.ymparisto.fi > Ympäristön tila > Pintavedet > Vesistöjen kuormitus > Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnonhuuhtouma, 22.2.2010). Täysin luonnontilaisia valuma-alueita ei Suomessa kuitenkaan ole, sillä ihmistoiminta vaikuttaa ainakin laskeumaan ja sitä kautta vesistöihin valuvan veden laatuun. Metsissä tehtävät päätehakkuut, maanmuokkaukset, lannoitukset, ojitukset ja kulotukset lisäävät aineiden kulkeutumista vesistöihin eli lisäävät vesistöihin metsäalueilta tulevaa kuormitusta. Päätehakkuiden jälkeen kasvillisuuden haihdunta ja ravinteiden otto pienenevät ja ravinteita vapautuu hakkuutähteistä ja maaperästä, mistä seuraa ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Typpi- ja fosforiyhdisteet rehevöittävät vesistöjä. Ojitusten yhteydessä maa-ainesta irtoaa ja sekoittuu veteen. Ojaluiskat ja kaivuaines ovat myös alttiina virtaavan veden aiheuttamalle syöpymiselle, mikä lisää eroosiota ja kiintoaineen kulkeutumista vesistöihin. Eroosio johtaa vesistöjen madaltumiseen, liettymiseen ja sameutumiseen. Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama vesistökuormitus on yleensä voimakkainta 1–3 vuotta toimenpiteiden jälkeen, mutta kuormitus voi jatkua yli 10 vuotta. Metsätalouden aiheuttama vesistökuormitus on merkityksellistä latvavesistöissä eli pienissä puroissa, lammissa ja järvissä, joihin ei kohdistu muuta ihmistoiminnan aiheuttamaa kuormitusta. Metsätaloustoimenpiteiden kuormitusvaikutuksia voidaan pienentää erilaisilla vesiensuojelutoimenpiteillä. Valtakunnallisesti metsätalous on pieni vesistökuormittaja esimerkiksi maatalouteen verrattuna. Vuonna 2005 arvioitiin metsätalouden aiheuttavan koko maassa 5 % vesistöjen typpikuormituksesta ja 8 % fosforikuormituksesta (Leivonen 2005).

Valtioneuvosto on vuoden 2006 lopussa hyväksynyt Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015-vesiensuojeluohjelman (Valtioneuvoston periaatepäätös 23.11.2006), jonka keskeisenä tavoitteena on vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavan typpi- ja fosforikuormituksen vähentäminen. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015 on sovitettu yhteen EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin (2000/60/EY) kanssa. Sen mukaan vesien tilan on oltava vähintään hyvä, eikä se saa tulevaisuudessa heiketä. Vesipolitiikan puitedirektiiviä toteutetaan käytännössä lailla vesienhoidon järjestämisestä (1299/2004). Siinä ja asetuksessa tarkemmin määritellyille vesienhoitoalueille laadittiin vesienhoitosuunnitelmat vuonna 2009. Vesienhoitosuunnitelmien osana tehdään yksityiskohtaisempia toimenpideohjelmia, joissa esitetään keinot tavoitteiden saavuttamiseksi. EU:n vesipolitiikan puitedirektiivin täytäntöönpanoa tukevat metsätalouden osaltaan myös vuonna 2008 hyväksytty Kansallinen metsäohjelma 2015:n (Valtioneuvoston periaatepäätös 27.3.2008) sekä vesilain (264/1961), ympäristönsuojelulain (86/2000), metsälain (1093/1996) ja kestävän metsätalouden rahoituslain (544/2007) määräykset samoin kuin metsäsertifioinnin kriteerit (<http://www.pefc.fi/pages/fi/asiakirjat/standardit.php>, 22.4.2010).

Vesipolitiikassa tehtyjen päätösten suunnittelu, toimeenpano ja seuranta edellyttävät taustakuormien ja metsätalouden vesistökuormituksen tuntemusta ja eri toimenpidevaihtoehtojen vaikutusten arviointia. Metsätalouden aiheuttaman vesistökuormituksen suuruutta on tutkittu Suomessa 1970-luvulta lähtien, jolloin käynnistyi laaja Nurmes-tutkimus vesihallinnon ja Metsähallituksen yhteistyönä (Ahtiainen ja Huttunen 1995). Nurmes-tutkimusta ovat seuranneet useat laajat tutkimushankkeet, joiden pohjalta on tuotettu eri toimenpiteille ominaiskuormituslukuja eli arvioita toimenpiteiden aiheuttaman kuormituksen suuruudesta (Saukkonen ja Kenttämies 1995, Kenttämies ja Mattsson 2006). Ominaiskuormituslukuja on tarvittu kansallisissa metsäohjelmissa esitettyjen toimenpiteiden toteuttamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa (Ahti 1990, Kenttämies ja Alatalo 1999, Kenttämies ja Haapanen 2006, Finér ym. 2008). Ne ovat käytössä myös ympäristöhallinnon hajakuormituksen arviointityökalussa (VEPS) (Tattari ja Linjama 2004), jota on käytetty mm. vesienhoitosuunnitelmien laadinnassa. Taustakuormituksen suuruutta on arvioitu luonnontilaisilta metsävaluma-alueilta kerätyn aineiston perusteella (Mattsson ym. 2003, Finér ym. 2004, Kortelainen ym. 2006), mutta valtakunnallisia tai vesistöalueittaisia arvioita metsätalousmailta tulevan taustakuormituksen suuruudesta ei ole tehty.

Tämän raportin tavoitteena on esitellä metsätalousmaalta tulevaan luonnon taustakuorman ja eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttaman kuormituksen laskemiseksi kehitetty typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormituksen laskentamenetelmä, KALLE, joka on rakennettu käyttäen hyväksi Suomen ympäristökeskuksessa käytössä ollutta taulukkolaskentapohjaista laskentamenetelmää (Kenttämies 2006ab). Laskentamenetelmän kuvauksen yhteydessä esitetään perusteluineen tällä hetkellä käytettävissä oleviin tutkimustuloksiin perustuvat taustakuormitusluvut ja eri metsätaloustoimenpiteiden ominaiskuormitusluvut. Menetelmä on kehitetty valtakunnallisia, vesistöaluaryhmittäisiä ja vesienhoitoalueittaisia laskelmia varten. Esimerkkeinä esitellään KALLE-laskentamenetelmällä tuotetut valtakunnalliset ja vesienhoitoalueittaiset metsätalouden taustakuormitusarviot ja eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamat vesistökuormitusarviot.

2 Laskentamenetelmän perusteet

2.1

Peruseriaatteet

KALLE-laskentamenetelmässä metsätalouden aiheuttama vesistökuormitus laskeaan tarkastelun kohteena olevalla alueella niin, että eri metsätaloustoimenpiteiden pinta-alat kerrotaan kunkin vuoden aikana tehtyjen toimenpiteiden ominaiskuormitusluvuilla. Taustakuormitus lasketaan kertomalla metsätalouden pinta-ala taustakuormitusluvuilla. Taustakuormitus- ja ominaiskuormitusluvut esitetään typen ja fosforin lisäksi kiintoaineelle. Ihmistoiminnan aiheuttamaa typpi- ja fosforikuormitusta on arvioitu syntyvän uudistamishakkuiden ja niihin liittyvien maanmuokkauksen, kunnostusojituksen ja lannoituksen yhteydessä. Kiintoaineelle ominaiskuormitusluvut esitetään vain kunnostusojituksen osalta. Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus kestää useampia vuosia, joten myös aiempina vuosina tehtyjen toimenpiteiden vaikutus otetaan huomioon.

Tietyn toimenpiteen aiheuttama vuotuinen kuormitus tarkasteltavalla alueella voidaan esittää seuraavasti:

$$L_{ijk} = \sum_{m=j-9}^j o_{in} A_{ikm} \quad \text{1}$$

$$n = j - m + 1 \quad \text{2}$$

missä L_{ijk} on toimenpiteen i aiheuttama kuormitus (kg a^{-1}) tarkasteluvuonna j alueella k , A_{ikm} on toimenpiteen i kokonaispinta-ala (ha) alueella k vuonna m , o_{in} on toimenpiteen i ominaiskuormitus ($\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) n vuotta toimenpiteen jälkeen. Toimenpiteen vaikutusaika laskennassa on 10 vuotta. Perustelut tälle esitetään myöhemmin kappaleessa 2.5.2. Jos toimenpide tehdään vuonna j^* , niin laskennassa ensimmäisen vuoden ominaiskuormitus oletetaan tulevan saman vuoden j^* kuluessa. Vastaavasti kymmenennen vuoden ominaiskuormitus muodostuu laskennassa vuonna j^*+9 .

Alueellinen metsätalouden toimenpiteiden aiheuttama kuormitus vuonna j on:

$$L_j = \sum_{i=1}^{i_{mx}} \sum_{k=1}^{k_{mx}} \sum_{m=j-9}^j o_{in} A_{ikm} \quad \text{3}$$

missä L_j on kaikkien toimenpiteiden aiheuttama kokonaiskuormitus (kg a^{-1}) tarkasteluvuonna j , i on toimenpidettä kuvaava tunnus, i_{mx} on toimenpiteiden lukumäärä, k on osa-alueita kuvaava tunnus, k_{mx} on laskennassa mukana olevien osa-alueiden lukumäärä, ja m on vuotta kuvaava tunnus.

Taustakuorma lasketaan seuraavasti:

$$B_{jk} = b_k M_k \quad \text{4}$$

missä B_{jk} on taustakuorma (kg a^{-1}) tarkasteluvuonna j alueella k , b_k on keskimääräinen vuotuinen taustakuorma ($\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) alueella k ja M_k on alueen k metsätalouden pinta-ala (ha).

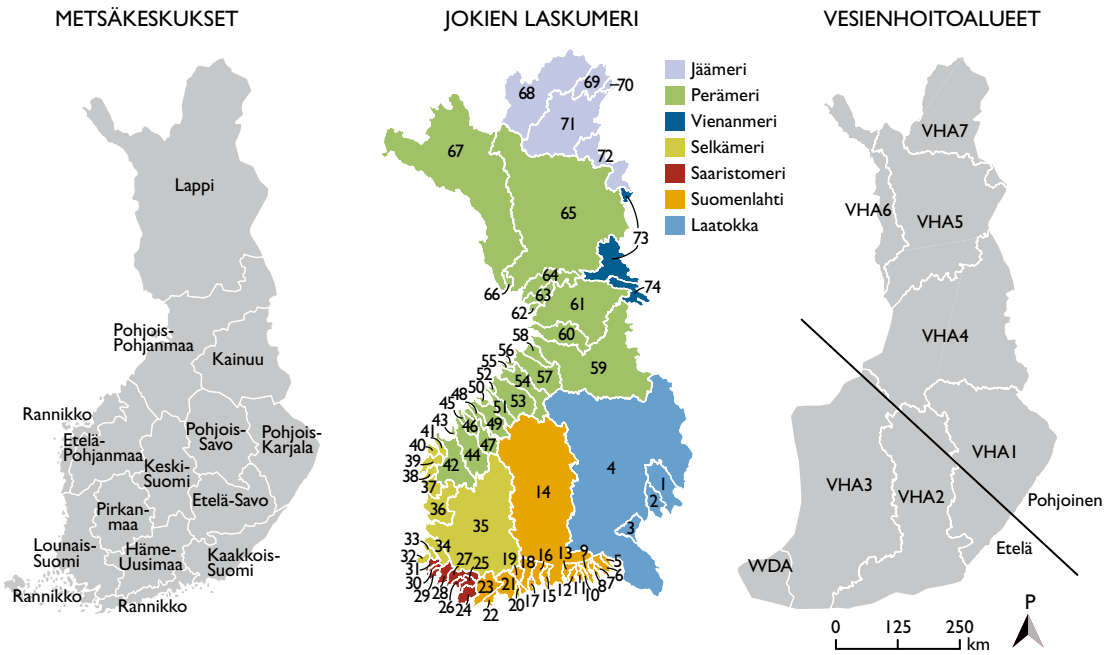
2.2

Laskentamittakaava

Kuormituksen tarkasteluyksikkö on valuma-alue, jolla tarkoitetaan vedenjakajan rajaamaa aluetta, jonka purkupisteeseen esimerkiksi jokeen kerääntyvä kaikki alueelta purkautuva valumavesi. Suomi jakautuu alueellisesti 74:ään päävesistöalueeseen (kuva 1, keskellä), jonka lisäksi päävesistöalueiden ja Itämeren väliin jäävien pienten rannikkovesistöjen alue on jaettu kuuteen eri kaistaleeseen. Päävesistöalueet on jaettu edelleen ensimmäisen, toisen ja kolmannen jakovaiheen osa-alueisiin. Kolmannen jakovaiheen osa-alueita maahamme kertyy kaiken kaikkiaan yli 6000. Suomen ympäristökeskuksessa käytössä olevan kuormituksen (typpi, fosfori) laskentamenetelmän, VEPS:n (Tattari ja Linjama 2004) peruslaskentayksikkönä on kolmannen jakovaiheen vesistöalue.

KALLE-laskentamenetelmä on toteutettu siten, että vesistökuormitus voidaan laskea kolmelle eri alueelliselle tasolle, jotka ovat vesistöalueryhmät, vesienhoitoalueet ja koko Suomi. Ahvenanmaa ei ole mukana KALLE-laskentamenetelmässä. Lähinnä merialueiden kuormitustarkasteluja varten vesistöalueita yhdistelemällä muodostetaan Suomenlahteen, Saaristomereen, Selkämereen, Pohjanlahteen, Perämereen, Jäämereen ja Vienanmereen laskevat vesistöalueryhmät (kuva 1, keskellä). Vuoksen vesistöalue laskee Venäjän puolelle Laatokkaan, mutta Suomen kokonaiskuormitusta laskettaessa myös Vuoksen vesistöalue otetaan mukaan. Merialueille laskevista vesistöalueista pinta-alaltaan suurimmat ovat Perämereen laskevat vesistöalueet ja pinta-alaltaan pienimmät taas Saaristomereen ja Vienanmereen laskevat vesistöalueet. Suurin järviprosentti on Laatokkaan ja Suomenlahteen laskevilla vesistöalueilla ja vastaavasti pienin Saaristomereen ja Perämereen laskevilla vesistöalueilla. Metsämaan osuus koko maapinta-alasta on pienin (53 %) Saaristomereen laskevilla vesistöalueilla (taulukko 1).

Liittyminen Euroopan unioniin loi Suomeen uuden hallinnollisen tarkasteluyksikön, vesienhoitoalueet. Suomessa vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) on toimeenpantu keskeisiltä osin lailla vesienhoidon järjestämisestä eli vesienhoito-lailla (1299/2004) sekä valtioneuvoston asetuksella vesienhoitoalueista. Suomessa vesienhoitoalueita (VHA) on kahdeksan ja ne ovat Vuoksen (VHA 1), Kymijoen-Suomenlahden (VHA 2), Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämereen (VHA 3), Oulujoen-Iijoen (VHA 4) sekä Kemijoen vesienhoitoalue (VHA 5). Lisäksi Ruotsin kanssa muodostetaan Tornionjoen (VHA 6) ja Norjan kanssa Tenon, Näätäjäjoen ja Paatsjoen vesienhoitoalue (VHA 7). Ahvenanmaan maakunta (WDA) muodostaa oman vesienhoitoalueensa, se ei kuitenkaan ole mukana KALLE-laskentamenetelmässä. Suurin pinta-alaltaan on VHA 3, pienin taas VHA 6. Metsien osuus koko maapinta-alasta vaihtelee 70–87 % ja on pienin VHA 3:lla (taulukko 1).



Kuva 1. Metsäkeskusten rajat (vasemmalla), eri merialueisiin laskevat vesistöalueet (keskellä; vesistöalueiden numerointi Ekholmin (1992) mukaan) ja vesienhoitoalueiden rajat (oikealla). Vesienhoitoalueet ovat 1) Vuoksen vesienhoitoalue (VHA 1), 2) Kymijoen-Suomenlahden (VHA 2), 3) Kokemäenjoen-Saaristomerren-Selkämeren (VHA 3), 4) Oulujoen-lijoen (VHA 4), 5) Kemijoen (VHA 5), 6) Tornionjoen (VHA 6), 7) Tenon, Näätämöjoen ja Paatsjoen (VHA 7) ja 8) Ahvenanmaan maakunta (WDA). Taustakuorman laskennassa maa on jaettu Etelä- ja Pohjois-Suomeen.

Taulukko 1. Eri merialueisiin laskevien vesistöjen valuma-alueiden ja eri vesienhoitoalueiden kokonaispinta-ala, järvipinta-ala, maapinta-ala ja metsien osuus koko pinta-alasta (%). Metsämaan osuus on laskettu Corine Land Cover 2000 aineistosta. Vesienhoitoalueiden lyhenteet esitetään kuvassa 1.

Merialueet	Kok. pa (ha)	Järvi pa (ha)	Maa pa (ha)	metsä-%
Jäämeri	2 563 928	151 325	2 412 603	86
Laatokka	5 649 973	913 011	4 736 962	85
Perämeri	14 107 053	449 071	13 657 982	80
Saaristomeri	484 684	3 422	481 262	53
Selkämeri	3 635 874	230 372	3 405 502	72
Suomenlahti	4830 559	558 963	4 271 596	79
Vienanmeri	621 253	54 454	566 799	86
VHA nro	Kok. pa (ha)	Järvi pa (ha)	Maa pa (ha)	metsä-%
1	5 815 820	913 014	4 902 806	84
2	5 098 143	560 087	4 538 056	78
3	6 892 422	270 318	6 622 104	70
4	6 476 280	316 235	6 160 045	81
5	5 393 411	126 110	5 267 301	82
6	1 448 030	25 357	1 422 673	85
7	2 556 623	151 325	2 405 298	87

Aikajänne ja aineistot

KALLE-laskentamenetelmässä vesistökuormitus voidaan laskea toteutuneiden metsänkäsittelypinta-alojen perusteella tai kuormitusta voidaan ennustaa tulevaisuuteen. Molempia tarpeita varten on oltava tiedossa toimenpidepinta-alat tarkasteltaville toimenpiteille. Metsätalousmaalta tulevan luonnon taustakuormituksen taso sen sijaan pidetään muuttumattomana, jos metsätalousmaan pinta-ala ei muutu.

Suomessa metsätalouden toimenpiteiden pinta-aloja on perinteisesti tilastoitu metsäkeskuksittain. Etelä-Suomessa metsäkeskuksia on 10, joista Rannikon metsäkeskus jakautuu alueellisesti kahteen osaan, joista toinen etelärannikolla ja toinen Pohjanmaan rannikkoalueella. Pohjois-Suomessa metsäkeskuksia on 3 (kuva 1, vasemmalla). Toteutuneet valtakunnalliset ja metsäkeskuskohtaiset uudistushakkuun ja kunnostusojituksen pinta-alat samoin kuin metsätalousmaan pinta-ala ovat saatavissa Metsäntutkimuslaitoksen Valtakunnan metsien inventointituloksista. KALLE-laskentamenetelmän tämänhetkiseen versioon on tallennettu toimenpidepinta-alat vuosina 1997–2006 (taulukko 2). Koko maan metsätalousmaan pinta-ala on 26,3 miljoonaa ha. Metsänuudistamistoimenpiteet ja lannoitukset aiheuttavat kivennäismailla hyvin erilaisen kuormituksen kuin turvemaidella. Uudistamistoimenpiteiden jakautuminen metsäkeskuksittain kivennäis- ja turvemaiden kesken on laskentamenetelmässä arvioitu uudistamiskypsien metsien pinta-alojen suhteessa, koska hakkuita ei tilastoida erikseen kivennäis- ja turvemaille. Myöskään lannoitusta koskevia tilastotietoja ei tuoteta erikseen kivennäis- ja turvemaille. Tämän laskentamenetelmän kehittämistä varten kivennäis- ja turvemaiden lannoituspinta-alat saatiin Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsäkeskuksille ja yrityksille suuntaamasta kyselystä.

Vesistöalueryhmille ja vesienhoitoalueille toimenpidepinta-alat lasketaan metsäkeskuskohtaisista pinta-aloista siinä suhteessa kuin kyseessä olevaan vesistöalueryhmään tai vesienhoitoalueeseen sisältyy eri metsäkeskusalueita.

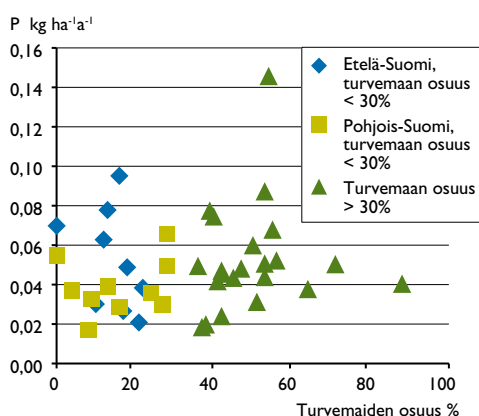
Taustakuorma metsäalueilta

Taustakuormituksella ymmärretään kivennäismailta ja soilta luonnontilassa vesistöihin kulkeutuvaa kuormitusta. Taustakuormitusta ja sen alueelliseen vaihteluun vaikuttavia tekijöitä on selvitetty Suomessa 42 pienellä luonnontilaisella valuma-alueella (Mattsson ym. 2003, Finér ym. 2004, Kortelainen ym. 2006). Alueellisilla taustakuormitusarvioilla voidaan tarkentaa käsitystä siitä, mikä on metsätaloustoimenpiteiden merkitys vesistökuormittajana. Taustakuormituksen arviointiin käytetty aineisto ulottuu Etelä-Suomesta Napapiirille (Mattsson ym. 2003, Kortelainen ym. 2006). Osa aineistosta muodostuu yksittäisissä tutkimuksissa vertailualueina käytetyistä valuma-alueista, joiden luonnontilainen tutkimusjakso on pituudeltaan 3–24 vuotta ajanjaksolla 1971–1995. Puolet aineistosta muodostuu kansallispuistoissa ja suojelualueilla olevista valuma-alueista, joiden puroveden laatua seurattiin kolmen vuoden ajan vuosina 1997–1999. Tutkimuksissa luonnontilaisilla alueilla kokonaistypen huuhtouma oli keskimäärin $1,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja vaihteli välillä $0,29\text{--}2,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Vastaavasti kokonaisfosforin huuhtouma oli keskimäärin $0,049 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja vaihteli välillä $0,017\text{--}0,146 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Kiintoainehuuhtouma oli keskimäärin $5,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja vaihteli välillä $0,92\text{--}47,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

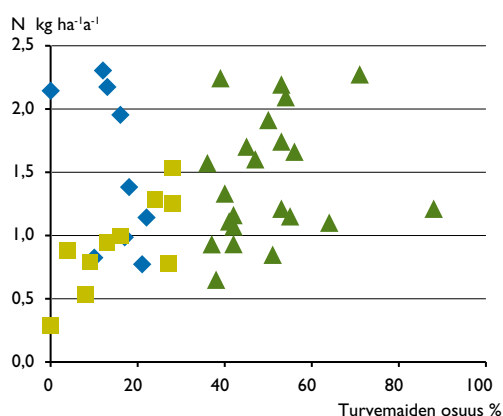
KALLE-laskentamenetelmän taustakuormituslukuja määritettäessä huomioitiin kokonaistypen ja -fosforin taustakuorman maantieteelliset erot, kun turvemaiden osuus valuma-alueesta oli <30 % (kuvat 2 ja 3, taulukko 3). Laskennassa käytetty alueellinen jako Etelä- ja Pohjois-Suomeen on esitetty kuvassa 1. Kivennäismaavaltaisilla alueilla (turvemaiden osuus <30 %) taustakuormitus on suurempi Etelä- kuin

Taulukko 2. KALLE -laskentamenetelmään tallennetut vuotuiset toimenpidepinta-alat (ha) koko maassa jaksolla 1997–2006.

Vuosi	Uudistushakkuu, kivennäismaat	Uudistushakkuu, turvemaat	Kunnostusojitus	Lannoitus, kivennäismaat	Lannoitus, turvemaat
1997	174 556	19 745	89 128		
1998	148 499	17 114	69 065		
1999	157 265	18 054	84 769		
2000	185 332	21 311	74 281		
2001	137 601	15 711	82 660		
2002	169 727	19 470	80 130	20 937	5 904
2003	165 468	18 880	67 479	15 566	6 946
2004	166 543	19 143	77 836	17 237	5 013
2005	132 921	15 155	68 757	16 542	4 368
2006	154 232	17 663	71 725	23 046	4 239
Keskiarvo	159 214	18 225	76 583	18 666	5 294



Kuva 2. Kokonaisfosforin (P) taustakuormitus suhteessa valuma-alueen turvemaaosuuteen. Aineisto on esitetty julkaisuissa Mattsson ym. 2003 ja Kortelainen ym. 2006.



Kuva 3. Kokonaistypen (N) taustakuormitus suhteessa valuma-alueen turvemaaosuuteen. Aineisto on esitetty julkaisuissa Mattsson ym. 2003 ja Kortelainen ym. 2006.

Taulukko 3. KALLE-laskentamenetelmässä käytetyt kokonaisfosforin ja -typen taustakuormitusluvut ($\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) eri alueille. Aineisto on esitetty julkaisuissa Mattsson ym. 2003 ja Kortelainen ym. 2006.

	Kokonaistyyppi	Kokonaisfosfori
Etelä-Suomi, turvemaan osuus < 30%	1,52	0,052
Pohjois-Suomi, turvemaan osuus < 30%	0,93	0,039
Koko Suomi turvemaan osuus > 30%	1,44	0,053

Pohjois-Suomessa. Etelä-Suomen suurempaa typpihuuhtoumaa selittävät mm. viljavampi maaperä ja korkeampi typpilaskeuma. Turvemaavaltaisilla alueilla (turvemaiden osuus >30 %) selkeää eroa ei esiinny maan eri osien välillä. Turvemaiden/kivennäismaiden osuutta valuma-alueesta käytetään laskennassa indeksinä, johon integroituu monien muidenkin tekijöiden, esimerkiksi ilmaston ja hydrologian aiheuttamaa alueellista vaihtelua. Kiintoaineen taustakuormitukselle käytettiin samaa keskimääräistä arvoa ($5,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) koko Suomen alueella.

2.5

Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama ominaiskuormitus

2.5.1

Ominaiskuormitusluvut

Ominaiskuormituksella tarkoitetaan metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamaa ravinne- tai kiintoainekuormituksen lisäystä, joka on suhteutettu valuma-alueen käsiteltyyn pinta-alaan. Ominaiskuormituksen yksikkö on ravinnetta/kiintoainetta $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Ominaiskuormitus määritetään kenttäkokeilla parittaisilla valuma-alueilla kalibrintikausi-vertailualue menetelmällä. Tässä menetelmässä seurataan parittaisia latvavaluma-alueita ensin 3–5 vuoden mittaisen kalibrintikauden ajan. Valuma-alueiden purkupisteistä mitataan valuntaa yleensä jatkuvasti ja veden laadun tutkimiseksi näytteitä otetaan 10–20 kertaa vuodessa. Valunta- ja vedenlaatumittauksista lasketaan kuukausittainen ravinne/kiintoainekuorma (yksikkö: $\text{kg ha}^{-1} \text{ kk}^{-1}$ Alatalo 2000). Parittaisten valuma-alueiden kalibrintikauden kuukausikuormista muodostetaan regressioyhtälö, jossa vertailualueen kuukausikuormalla selitetään tulevan käsittelyalueen taustakuormitusta. Kalibrintikauden jälkeen toinen alueista käsitellään metsätaloustoimenpitein. Käsittelyn aiheuttama kuormituksen muutos lasketaan käsittelyalueen havaitun kuormituksen ja regressioyhtälöllä lasketun taustakuormituksen välisenä erona (Alatalo 2000). Laskemalla nämä erot yhteen vuosiarvoiksi ja jakamalla vuosiarvot käsitellyn alueen pinta-alaosuudella saadaan tulokseksi vuosittainen ominaiskuormitus. Käsittelyn kokonaisvaikutukseen sisältyvät vuosittaiset ominaiskuormitukset siltä ajalta, jolloin vuosittaiset ominaiskuormitusluvut ovat nollaa suurempia.

Taulukoissa 4–6 on esitetty käytettävissä olevan tutkimustiedon perusteella KALLE-laskentamenetelmään päivitettyt ominaiskuormitusluvut, joiden tarkemmat laskentaperusteet on esitetty seuraavissa kappaleissa. Ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesiensuojelusta on huolehdittu kivennäismaiden metsänuudistamisessa jättämällä suojakaistoja vesistöjen varsille ja kunnostusojituksessa rakentamalla laskeutusaltaita. Kivennäismaiden lannoituksen ominaiskuormitusluvut ovat samoja kuin Kenttämiehen ja Haapasen (2006) käyttämät. Turvemaiden lannoituksen ominaiskuormitusluvut perustuvat RautaPK-lannoitteen käyttöön oletuksella, että 3 % lannoitteesta menee ojiin ja huuhtoutuu. Metsänuudistamisen ja kunnostusojituksen kuormittavan vaikutuksen oletettiin kestävän 10 vuotta. Turvemaiden fosforilannoituksen vaikutuksen arvioitiin kestävän viisi ja kivennäismaiden typpilannoituksen vaikutuksen kaksi vuotta.

2.5.2

Kivennäismaiden metsänuudistaminen

Ominaiskuormituslukujen käyttö alueellisten kuormitusarvioiden laskennassa sisältää oletuksen, että ominaiskuormituksen määrittämisessä käytetyt valuma-alueet

Taulukko 4. Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama kokonaistypen ominaiskuormitus (kg ha⁻¹ a⁻¹). Ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesiensuojelusta on huolehdittu kivennäismaiden metsänuudistamisessa jättämällä suojakaistoja vesistöjen varsille ja kunnostusojituksessa rakentamalla laskeutusaltaita.

Vuosi toimenpiteestä	Metsänuudistaminen		Kunnostusojitus	Lannoitus	
	Kivennäismaat	Turvemaat		Kivennäismaat	Turvemaat
1	0,95	4,30	0	12	0
2	0,82	4,30	0	3	0
3	0,82	4,30	0	0	0
4	0,77	3,70	0	0	0
5	0,62	3,08	0	0	0
6	0,35	2,47	0	0	0
7	0,33	1,85	0	0	0
8	0,20	1,24	0	0	0
9	0,16	0,62	0	0	0
10	0,007	0,007	0	0	0
Yhteensä	5,027	25,867	0	15	0

Taulukko 5. Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama kokonaisfosforin ominaiskuormitus (kg ha⁻¹ a⁻¹). Ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesiensuojelusta on huolehdittu kivennäismaiden metsänuudistamisessa jättämällä suojakaistoja vesistöjen varsille ja kunnostusojituksessa rakentamalla laskeutusaltaita.

Vuosi toimenpiteestä	Metsänuudistaminen		Kunnostusojitus	Lannoitus	
	Kivennäismaat	Turvemaat		Turvemaat	Kivennäismaat
1	0,056	0,10	0,42	0	0,27
2	0,044	0,10	0,14	0	0,27
3	0,037	0,10	0,112	0	0,27
4	0,038	0,087	0,084	0	0,27
5	0,024	0,074	0,070	0	0,27
6	0,011	0,061	0,056	0	0,00
7	0,013	0,048	0,042	0	0,00
8	0,013	0,035	0,028	0	0,00
9	0,009	0,023	0,014	0	0,00
10	0,006	0,010	0,007	0	0,00
Yhteensä	0,251	0,638	0,983	0	1,35

Taulukko 6. Kunnostusojituksen aiheuttama kiintoaineen ominaiskuormitus (kg ha⁻¹ a⁻¹). Ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesiensuojelusta on huolehdittu kunnostusojituksessa rakentamalla laskeutusaltaita.

Vuosi toimenpiteestä	Kunnostusojitus
1	420
2	140
3	112
4	84
5	70
6	56
7	42
8	28
9	14
10	7
Yhteensä	749

edustavat ominaisuuksiltaan, olosuhteiltaan ja metsän käsittelyltään yleistettävälle alueelle tyypillisiä metsiä. Koska metsänuudistamisen ominaiskuormituslukujen määrittämisessä on käytetty valuma-alueita, joissa vesiensuojelusta on huolehdittu kivennäismailla jättämällä suojavyöhykkeitä vesistöjen varteen ja turvemaidella rakentamalla laskeutusaltaita, oletetaan myös alueellisissa kuormitusarvioissa, että vesiensuojelusta on huolehdittu samaan tapaan kuin tutkimusalueilla. KALLE -laskeutamenetelmää varten laskettiin ominaiskuormitusluvut erikseen turve- ja kivennäismailla, koska metsänuudistaminen turvemaidella kuormittaa vesistöä enemmän kuin kangasmailla (Nieminen ja Ahti 2005).

Metsänuudistamisen (uudistamishakkuun ja maanmuokkauksen) aiheuttamaa ominaiskuormitusta on kivennäismailla Suomessa mitattu yhdeksällä eri valuma-alueparilla (Haapanen ym. 2006, Mattsson ym. 2006ab) (taulukko 7), joiden pinta-alat, käsittelyt ja havainnointijakson pituus poikkeavat toisistaan. Tässä tarkastelussa Koivupuro ja Murtopuro jätettiin aineistosta pois, koska näillä valuma-alueilla on hakkuun ja maanmuokkauksen lisäksi tehty ojituksia.

Jokaiselle valuma-alueparille laskettiin kalibrointiajan kuormitusaineistoista regressioyhtälö, jolla vertailualueen kuormituksen perusteella ennustettiin käsittelyalueen kokonaistypen (N) ja kokonaisfosforin (P) taustakuormitusta. Kalibrointiaineistossa hajonta kasvoi kuormituksen myötä, joten regressioanalyysi tehtiin logaritmi-muunnettu aineistosta:

$$\ln(y+1) = a + b \times \ln(x+1) + \varepsilon \quad \mathbf{5}$$

missä y on käsittelyalueen kuukausikohtainen taustakuormitus, a on vakio ja b on regressiokerroin, x on vertailualueen havaittu kuormitus ja ε virhetermi. Regression laskennan jälkeen aineistosta poistettiin vielä Iso-Kauhean valuma-alue, jossa käsittelyalue on pieni (11 %) valuma-alueeseen verrattuna. Fosforiaineistosta poistettiin lisäksi Vanneskorven valuma-alue, koska kalibrointisuoran kulmakertoimesta päätellen ($b = 2,32$) se oli vertailualueeseensa nähden liian erilainen ominaiskuormituksen laskemiseksi parittaisista valuma-alueista kalibrointikausi-vertailualueen menetelmällä.

Koko jäljelle jääneestä aineistosta laskettiin keskimääräinen vuotuinen ominaiskuormitus ja keskiarvoja tasoitettiin laskemalla niistä liukuva keskiarvo (kuva 4). Ensimmäisenä vuonna liukuva keskiarvo on kuluvan vuoden ja kahden seuraavan vuoden keskiarvo. Toisena vuonna liukuva keskiarvo on kuluvan vuoden, kahden seuraavan ja yhden edellisen vuoden keskiarvo. Kolmannesta vuodesta eteenpäin liukuva keskiarvo on kuluvan vuoden, kahden edellisen ja kahden seuraavan vuoden keskiarvo.

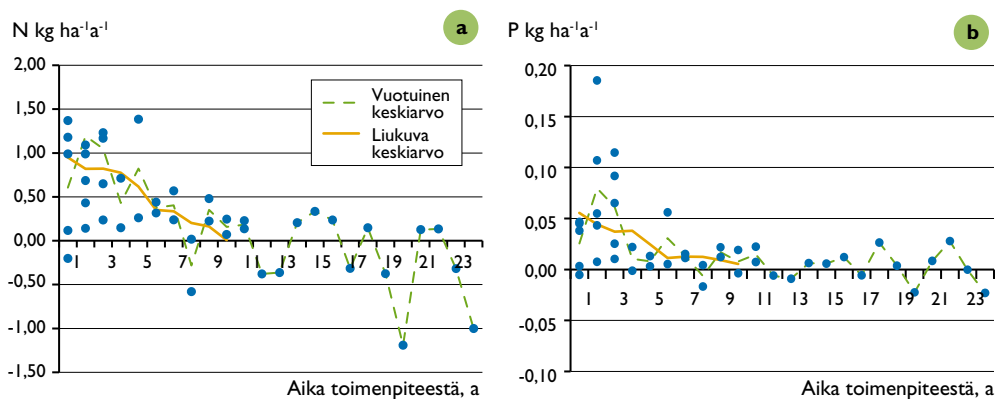
2.5.3

Turvemaiden metsänuudistaminen

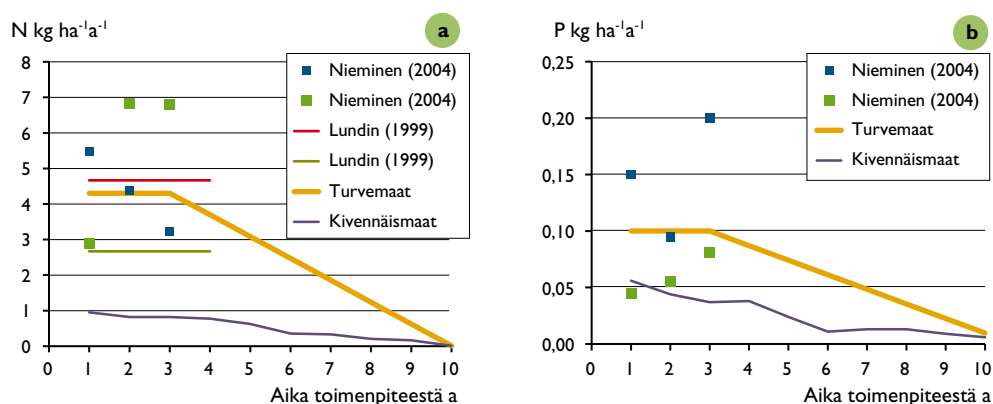
Turvemaiden metsänuudistamisen ominaiskuormitus määritettiin Niemisen (2004) ja Lundinin (1999) tutkimusten perusteella. Nieminen (2004) tutki turvemaiden uudistamishakkuiden vaikutusta typen ja fosforin huuhtoutumiseen kahdella Etelä-Suomessa sijaitsevalla valuma-alueparilla ja esitti toukokuun-lokakuun aikaiset (6 kk) kuormitusluvut kolmen vuoden ajalle hakkuiden jälkeen. Nämä kuormitusluvut muutettiin vuosikuormituksiksi kertomalla ne kahdella eli oletettiin, että hakkuun vaikutus kuormitukseen on talvikaudella marraskuusta huhtikuun samansuuruinen kuin toukokuusta lokakuuhun. Niemisen (2004) mittausten lisäksi typen huuhtoutumisesta oli saatavilla tuloksia neljän vuoden ajalta kahdella valuma-alueparilla Keski-Ruotsissa (Lundin 1999). Metsänuudistamista seuraavan kolmen vuoden kokonaistypen ominaiskuormitus laskettiin keskiarvona Niemisen (2004) ja Lundinin (1999) tuloksista. Koska useampia aineistoja oli turvemaidella vain kolmen vuoden ajalle

Taulukko 7. Kivennäismailla sijaitsevat tutkimusvaluma-alueet, joilla on määritetty uudistamishakkuusta aiheutuva ominaiskuormitus (Haapanen ym. 2006, Mattsson ym. 2006ab).

Toimenpidealue	Vertailualue	Kalibrointi-jakson pituus (a)	Käsittely-jakson pituus (a)	Käsittelyt	Pinta-ala (ha) / käsittelyn osuus pinta-alasta (%)
Kivipuro	Välipuro	4	24	Hakkuu + maanmuokkaus	54 / 56
Koivupuro	Välipuro	4	24	Hakkuu + maanmuokkaus + ojitus	118 / 27
Murtopuro	Liuhapuro	4	24	Hakkuu + maanmuokkaus + ojitus	494 / 58
Kangasvaara	Porkkasalo	3	11	Hakkuu + maanmuokkaus	56 / 29
Iso-Kauhea	Porkkasalo	3	11	Hakkuu + maanmuokkaus	176 / 11
Lehmikorvenoja	Pehkusuonoja	4	3	Hakkuu + maanmuokkaus	2,8 / 39
Porraskorvenoja	Pehkusuonoja	4	3	Hakkuu + maanmuokkaus	2,1 / 40
Vannaskorvenoja	Pehkusuonoja	5	2	Hakkuu + maanmuokkaus	13,1 / 40
Paroninkorpi	Jylisjärvi	3	3	Hakkuu + maanmuokkaus	5,4 / 76



Kuva 4. Uudistamishakkuun ja maanmuokkauksen aiheuttama typen (a) ja fosforin (b) ominaiskuormitus kivennäismailla ajan suhteen. Vuotuinen keskiarvo edustaa kaikkia valuma-alueita, joista ominaiskuormitusta on mitattu. Valuma-alueiden lukumäärä pienenee kuudesta yhteen ajan suhteen, koska pitkiä aikasarjoja on vähän.



Kuva 5. Uudistamishakkuun ja maanmuokkauksen aiheuttama typen (a) ja fosforin (b) ominaiskuormitus turvemailla ajan suhteen. Kuvassa on esitetty myös Niemisen (2004) tutkimien alueiden (Ruotsinkylä ja Vesijako) vuotuiset ominaiskuormat, Lundinin (1999) tutkimien alueiden (Uppland) keskimääräiset typen ominaiskuormat ja tässä työssä käytetyt kivennäismaiden ominaiskuormitusluvut (ks. kuva 4).

hakkuun jälkeen, vuosina 4–10 typen ominaiskuormituksen oletettiin pienenevän tasaisesti ja uudistamisen aiheuttaman kuormituksen lisäyksen oletettiin loppuvan kymmenen vuoden jälkeen (kuva 5a). Metsänuudistamisen yhteydessä turvemaidella tehdään lähes aina kunnostusojitus, jonka aiheuttama ominaiskuormitus arvioitiin erikseen.

Niemisen (2004) tutkimuksen perusteella turvemaiden uudistamishakkuiden ja maanmuokkauksen aiheuttama fosforikuormitus on ainakin kolmena ensimmäisenä vuotena hakkuun jälkeen suurempi kuin kangasmaiden uudistamishakkuiden ominaiskuormitus. Turvemaiden uudistamishakkuiden ominaiskuormitusarvio laskettiin siten, että kolmen ensimmäisen vuoden ominaiskuormitusta edustaa Niemisen (2004) kahdelle valuma-alueelle esittämä valuma-alueiden kolmen vuoden keskimääräinen ominaiskuormitus. Tämän jälkeen ominaiskuormituksen oletettiin pienenevän tasaisesti niin, että kuormitus loppuu kymmenen vuoden kuluttua metsänuudistamisesta (kuva 5b).

Niemisen ja Ahdin (2005) mukaan karuilla soilla tehtävien hakkuiden jälkeen hakkuutähteistä vapautuva fosfori huuhtoutuu herkästi vesistöihin. Rehevimmillä soilla hakkuutähteistä vapautuvaa fosforia sitoutuu maaperän raudan ja alumiinin kanssa vaikealiukoisiksi oksideiksi ja hydroksideiksi. Mikäli hakkuualue kuitenkin pääsee vettymään haihdunnan pienentymisen ja ojaston toimimattomuuden takia, raudan kanssa sitoutunut fosfori voi vapautua ja huuhtoutua vesistöihin. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että ennen vuotta 2006 karujen soiden uudistamishakkuita ei vielä ole tehty merkittävässä määrin, vaan hakkuut ovat keskittyneet reheville fosforia hyvin pidättäville kasvupaikoille.

2.5.4

Kunnostusojitus

Kunnostusojituksen aiheuttama kuormituksen lisääntyminen on suurimmillaan noin kahden vuoden ajan toimenpiteen jälkeen (Joensuu 2002). Kunnostusojitus ei vaikuta liuenneen typen ja fosforin huuhtoutumiseen suodatetuista vesinäytteistä tehtyjen ravinneanalyyysien perusteella (Joensuu 2002). Joensuun (2002) mukaan kunnostusojitus lisää jonkin verran mineraalitypen (nitraattityppi, ammoniumtyppi) huuhtoutumista, mutta veteen liuenneen orgaanisen typen huuhtoutuminen pienenee siinä määrin, että huuhtoutuvan kokonaistypen pitoisuudet jopa pienenevät kunnostusojituksen jälkeen. Typpikuormituksella ei fosforikuormituksen tapaan ole selvää yhteyttä kiintoainekuormitukseen. Edellä esitetyin perustein KALLE-laskentamenetelmässä kunnostusojituksen ominaiskuormitus on typen osalta nolla (taulukko 4). Kaivuun yhteydessä ja jonkin aikaa sen jälkeen ojista voi kuitenkin irrota partikkelimaista, tyypeä sisältävää orgaanista kiintoainetta. Mikäli tätä kiintoainetta huuhtoutuu paljon, eikä se pidäyty laskeutusaltaisiin, KALLE-laskentamenetelmässä esitetyt typen ominaiskuormitusluvut ovat aliarvioita.

Vaikka kunnostusojitus ei lisää veteen liuenneen fosforin huuhtoutumista, vesistöön voi huuhtoutua orgaanista ja epäorgaanista fosforia kiintoaineen mukana. Siitä osa on vesistöjen kannalta haitallista (Ekholm 1998, Ekholm ym. 2006). KALLE-laskentamenetelmässä kunnostusojituksen fosforikuormitus arvioitiin Joensuun (2002) esittämästä kiintoainekuormituksesta olettamalla, että kunnostusojituksen irrottaman kiintoaine sisältää fosforia 0,1 %. Fosforin ominaiskuormitusluvut sisältävät typpikuormituksen laskennan tavoin oletuksen, että vesiensuojelutoimenpiteillä (laskeutusaltaat) voidaan vähentää 30 % kunnostusojituksen aiheuttamasta kiintoainekuormituksesta (taulukko 5). Kunnostusojituksen valtakunnallinen fosforikuormitus arvioitiin aiemmin Nurmes -tutkimuksen Suopuron valuma-alueella tehdyn uudisojituksen perusteella (Kenttämies 2006b).

Joensuun (2002) laajan tutkimuksen perusteella kiintoaineen huuhtoutuminen kasvaa voimakkaasti kunnostusojituksen jälkeen. KALLE-laskentamenetelmässä kiintoaineen ominaiskuormitusluvut arvioitiin taulukon 6 mukaisiksi oletuksella, että vesiensuojelutoimenpiteillä kunnostusojituksen kiintoainekuormasta voidaan poistaa 30 % (Joensuu ym. 1999). Pintavalutuksella kiintoaineesta voitaisiin poistaa jopa 70–100 %, mutta käytännön vesiensuojelutoimenpiteenä pintavalutusta käytetään vielä toistaiseksi hyvin vähän (Nieminen ym. 2005).

2.5.5

Lannoitus

Kivennäismaiden typpilannoituksen aiheuttamista huuhtoumista on olemassa vain yksi tutkimus Suomessa. Saura ym. (1995) havaitsivat typen huuhtoutumisen keskityvän ensimmäiseen kahteen vuoteen lannoituksen jälkeen. Ensimmäisenä vuotena typen huuhtoutuma oli kahdeksan prosenttia ja toisena vuonna kaksi prosenttia lannoituksessa annetusta tyyppistä (Kenttämies 2006b). Näiden huuhtoumaprosenttien ja yleisesti lannoituksessa annetun typpiannoksen (150 kg ha^{-1}) perusteella KALLE-laskentamenetelmässä lannoituksen ominaiskuormitus on ensimmäisenä vuotena 12 kg ha^{-1} ja toisena vuotena 3 kg ha^{-1} (taulukko 4). Kivennäismaiden fosforilannoitus ei lisää valumavesien fosforipitoisuutta merkittävästi, koska pintavalunta on vähäistä ja kivennäismaan alumiini- ja rautayhdisteet sitovat fosfaatin kemiallisesti maaperään (Saura ym. 1995, Piirainen 2002a).

Vuoden 2005 alusta lähtien turvemaiden lannoitteena on käytetty RautaPK:ta. Tähän lannoitteeseen on lisätty valmistusprosessissa rautaa, joka sitoo lannoitteen fosforia ja vähentää näin huuhtoutumia. Tutkimuksissa ei ole saatu viitteitä fosforin huuhtoutumisesta erilaisista RautaPK-lannoitteista (Nieminen 2005). Vaikka uusimmat tutkimustulokset apatiitti- ja RautaPK-kokeista viittaavat siihen, että fosforin huuhtoutumista vesistöihin ei tapahtuisi, tässä työssä yhteensä 3 % kaupallisten lannoitteiden fosforista oletettiin huuhtoutuvan vesistöihin. Tutkimuksissa lannoitteet levitetään miestyönä maalevityksenä ja lannoitteiden joutumista ojiin pyritään välttämään. Käytännön metsätaloudessa lannoitteet on viime vuosiin asti levitetty lähes yksinomaan ilmasta helikopterilevityksenä, jossa Silverin ja Saarisen (2007) tekemän laajan levitystasaisuustutkimuksen mukaan keskimäärin hieman alle 3 % lannoitteesta päätyy ojiin. Ojiin päätyneen lannoitefosforin tiedetään alkavan huuhtoutua 1–2 vuoden kuluessa lannoituksesta (Vuollekoski ja Joensuu 2009), mutta huuhtoutuman suuruudesta ja kestosta ei ole käsitystä. Tässä työssä fosforin lannoitusmääränä käytettiin arvoa 45 kg ha^{-1} ja oletettiin, että kaikki ojiin joutunut lannoitefosfori (3 % lannoitusmäärästä) huuhtoutuu vesistöihin. Huuhtoutumisen kestoksi oletettiin viisi vuotta.

Suometsiä lannoitetaan myös puun tuhkalla. Tuhka sisältää runsaasti rautaa ja alumiinia, mikä voi selittää sen, ettei tutkimuksissa fosforia ole huuhtoutunut vesistöihin (Piirainen 2000, Tulonen ym. 2000, 2003, Issakainen 2002, Piirainen 2002b, Nieminen 2003). Käytännön metsätaloudessa tuhkaa levitetään pääasiassa maalevityksenä ja tässä työssä oletettiin, että maalevityksessä tuhkaa päätyy ojiin niin vähän, ettei merkittävää huuhtoutumista tapahdu eikä tuhkalannoitusta siten sisällytetty lannoituksen aiheuttaman fosforikuormituksen laskentaan. Typpilannoitusta ei suositella tehtäväksi soilla ja siksi sen ominaiskuormitusta ei määritetty.

KALLE-laskentamenetelmän tekninen toteutus

KALLE-laskentamenetelmän käyttöä helpottamaan on tehty KALLE-laskentaohjelma Excel-taulukkolaskentaympäristössä siten, että kuormitusten laskenta, kuvien piirto ja käyttöliittymä on sijoitettu Visual Basic -ohjelmointikieliseen objektiin. Käyttäjää pääsee muokkaamaan helposti laskennan tärkeimpiä lähtötietoja eli ominaiskuormituslukuja ja käsittelypinta-aloja, jotka on sijoitettu LÄHTÖTIEDOT- ja TOIMENPIDEALAT-laskentataulukoihin. Laskentataulukossa vihreällä merkittyjen solujen arvoja voi vapaasti muuttaa ilman että laskenta häiriintyy. Itse laskentakoodin muokaus on mahdollista Excelin Visual Basic -editorissa.

KALLE -laskentaohjelman voi ladata vapaasti Metlan verkkosivuilta (www.metla.fi > metinfo > KALLE-laskentatyökalu (27.4.2010)). Ennen kuin KALLE-laskentaohjelma on käyttökelpoinen, Excelin suojaustasoa on muutettava siten, että ohjelma sallii makrojen käytön (Työkalut>Makro>Suojaus>Normaali). Tämän jälkeen Excel on käynnistettävä uudelleen ja makrojen käyttö hyväksytään ennen KALLE-laskentaohjelman käynnistymistä. Ennen ensimmäistä KALLE-laskentaohjelman käyttökertaa on lisäksi muutettava Excelin desimaalierotin pilkusta pisteeksi.

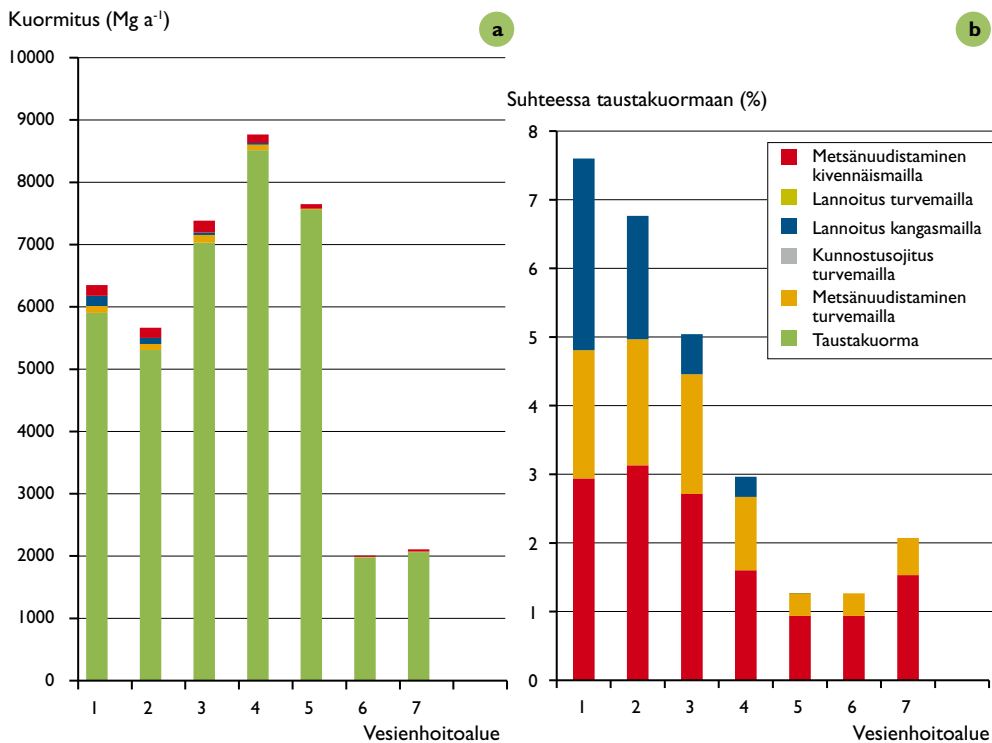
Käyttöliittymä avataan LASKE-laskentataulukossa olevalla Aloita-painikkeella. Käyttöliittymästä voidaan valita laskettava aine (typpi, fosfori tai kiintoaine) sekä alue, jolle laskenta suoritetaan. Metsätaloustoimenpiteiden (metsänuudistamisen, kunnostusojituksen ja lannoituksen) aiheuttama kuormitus voidaan laskea vesistöalueruuhille, vesienhoitoalueille tai koko Suomelle.

3 Laskentatuloksia

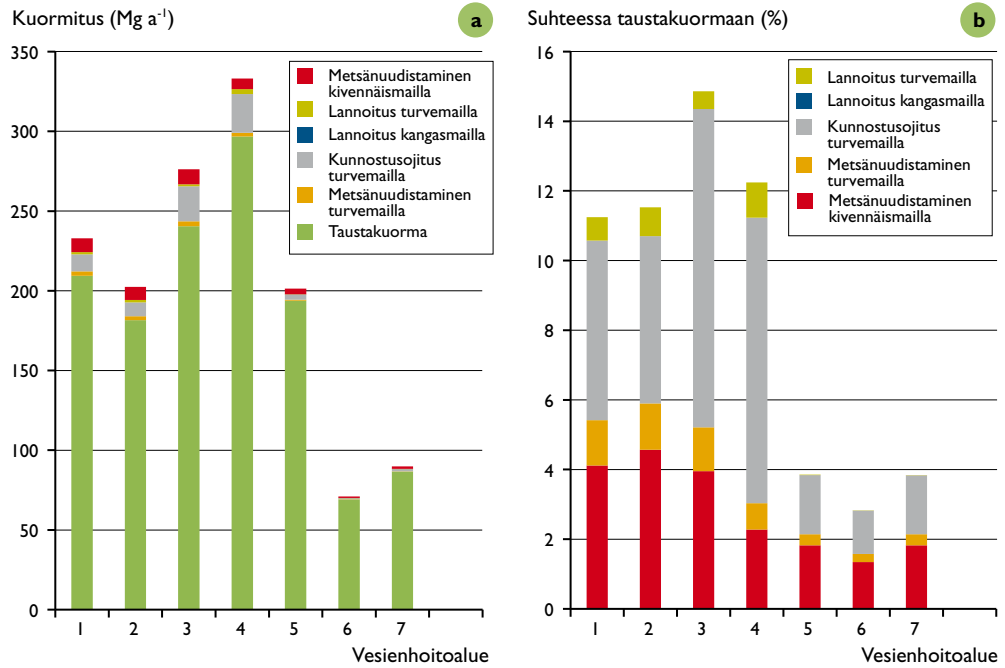
3.1

Kuormitus vesienhoitoalueittain

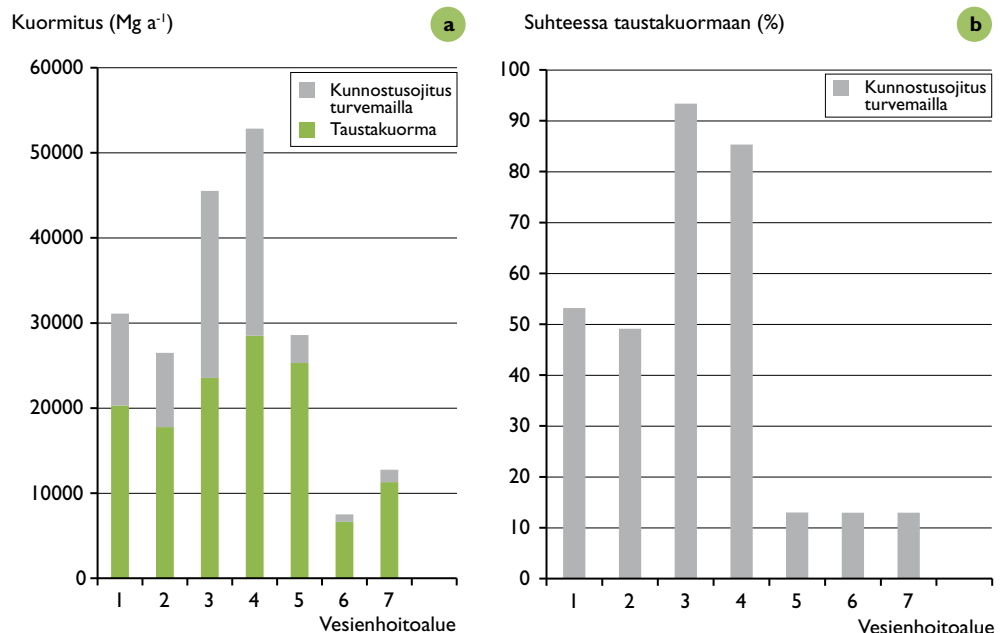
KALLE-laskentamenetelmällä saatujen tulosten mukaan metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama typpikuormitus suhteessa koko metsätalouden pinta-alalta tulevaan taustakuormitukseen vaihtelee eri vesienhoitoalueilla 1–8 % välillä (kuva 6). Laskettu typpikuormitus jää taustakuormitukseen nähden vähäiseksi, koska metsätaloustoimenpiteiden vuotuiset pinta-alaosuudet ovat vain 1–2 % koko metsätalouden pinta-alasta. Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama typpikuormitus syntyy pääasiassa metsänuudistamisen, eli päätehakkuiden ja niitä seuraavien maanmuokkaustoimien vaikutuksesta. Kunnostusojituksen ei ole KALLE-laskentamenetelmässä arvioitu vaikuttavan typen kuormitukseen. Metsätalouden osuus suhteessa taustakuormitukseen



Kuva 6. KALLE-laskentamenetelmällä laskettu metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama typpikuormitus ja metsätalouden tulevan taustakuorman suuruus vesienhoitoalueittain (a), sekä metsätalouden toimenpiteiden aiheuttaman kuormituksen suuruus suhteessa taustakuormaan (b) vuonna 2006. Vesienhoitoalueet ovat 1) Vuoksen vesienhoitoalue (VHA), 2) Kymijoen-Suomenlahden VHA, 3) Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren VHA, 4) Oulujoen-lijoen VHA, 5) Kemijoen VHA, 6) Tornionjoen VHA ja 7) Tenon, Näätämyöjen ja Paatsjoen VHA.



Kuva 7. KALLE-laskentamallilla laskettu metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama fosforikuormitus ja metsätalousmaalta tulevan taustakuorman suuruus vesienhoitoalueittain (a), sekä metsätalouden toimenpiteiden aiheuttaman kuormituksen suuruus suhteessa taustakuormaan (b) vuonna 2006. Vesienhoitoalueet ovat 1) Vuoksen vesienhoitoalue (VHA), 2) Kymijoen-Suomenlahden VHA, 3) Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren VHA, 4) Oulujoen-Iijoen VHA, 5) Kemijoen VHA, 6) Tornionjoen VHA ja 7) Tenon, Näätämöjen ja Paatsjoen VHA.



Kuva 8. KALLE-laskentamallilla laskettu kunnostusojituksen aiheuttama kiintoainekuormitus ja metsätalousmaalta tulevan taustakuorman suuruus vesienhoitoalueittain (a), sekä kunnostusojituksen aiheuttaman kiintoainekuormituksen suuruus suhteessa taustakuormaan (b) vuodelle 2006. Vesienhoitoalueet ovat 1) Vuoksen vesienhoitoalue (VHA), 2) Kymijoen-Suomenlahden VHA, 3) Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren VHA, 4) Oulujoen-Iijoen VHA, 5) Kemijoen VHA, 6) Tornionjoen VHA ja 7) Tenon, Näätämöjen ja Paatsjoen VHA.

on suurinta Vuoksen (1) ja Kymijoen-Suomenlahden (2) vesienhoitoalueilla (kuva 6b). Taustakuormitus taas on absoluuttisesti suurinta Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren (3), Oulujoen-Iijoen (4) ja Kemijoen (5) vesienhoitoalueilta (kuva 6a), joiden metsätalousmaan pinta-ala on suurin (taulukko 1).

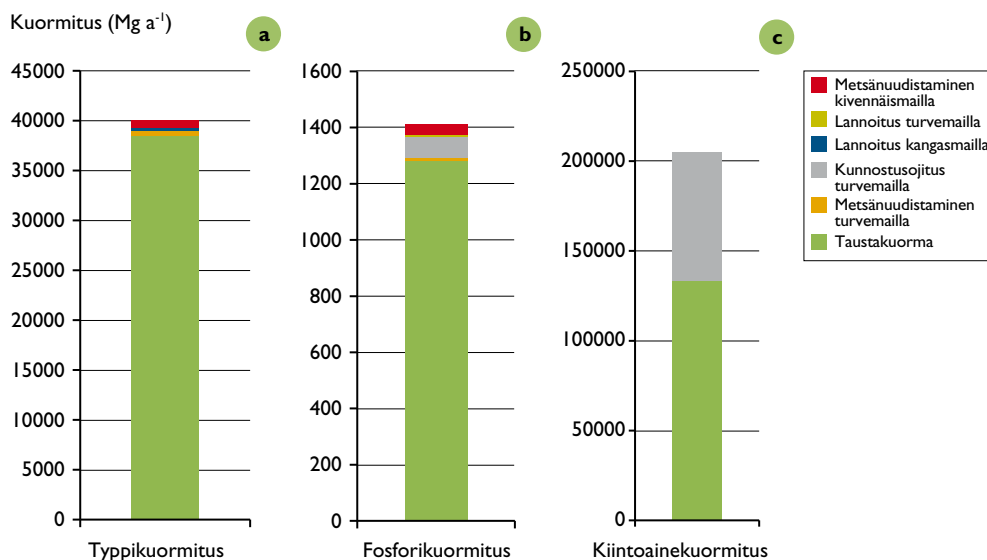
Metsätalouden aiheuttama fosforikuormitus suhteessa metsätalousmailta tulevaan taustakuormitukseen (3–15 %) (kuva 7) on selvästi suurempi kuin vastaava typpi-kuormitus (kuva 6). Metsätalouden aiheuttama fosforikuormitus on peräisin ennen kaikkea kunnostusojitetuilta alueilta ja suurelta osin myös kivennäismaiden metsänuudistamisesta (kuva 7 b). Metsätalousmaiden fosforin taustakuormitus suhteessa metsätalouden fosforikuormitukseen samoin kuin fosforin taustakuormituksen absoluuttinen määrä ovat suurimmat Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren (3) ja Oulujoen-Iijoen (4) vesienhoitoalueilta.

Metsätalouden aiheuttaman kiintoainekuormituksen laskemisessa on otettu mukaan vain kunnostusojitusten aiheuttama kuormitus, joka on huomattava suhteessa taustakuormitukseen (13–93 %) (kuva 8). Kiintoainekuormitus on suurinta Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren (3) ja Oulujoen-Iijoen (4) vesienhoitoalueilta (kuva 8b). Koska kunnostusojituksen aiheuttama fosforikuormitus on KALLE-laskentamenetelmässä suorassa suhteessa kiintoainekuormitukseen, ovat kuvissa 7 ja 8 esitettyjen fosfori- ja kiintoainekuormitusten suhteelliset erot vesienhoitoalueiden välillä samankaltaiset.

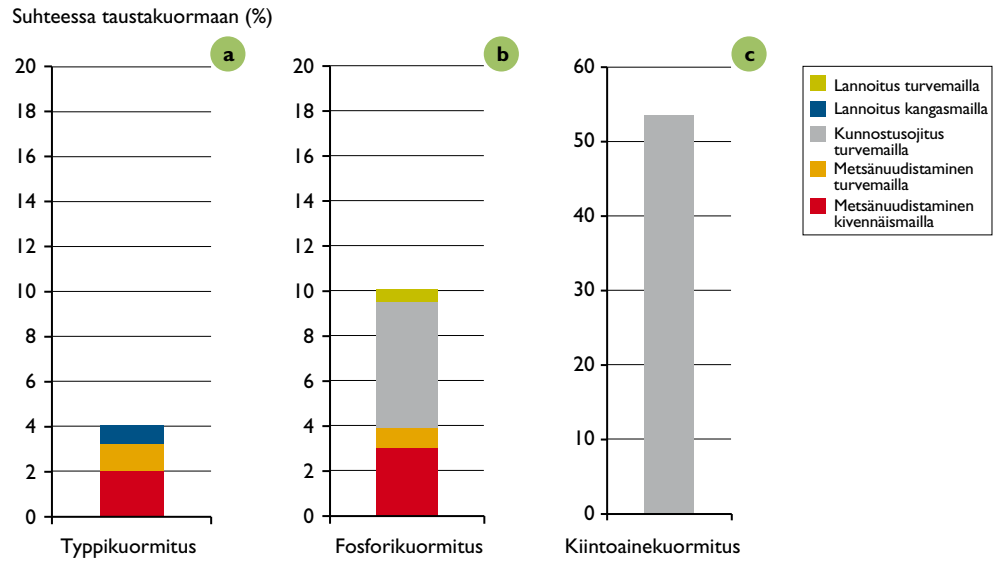
3.2

Kuormitus koko Suomessa

Koko Suomessa metsätalouden aiheuttama vuotuinen typpikuormitus on 1,6 Mkg ja suhteessa metsätalousmaalta tulevaan taustakuormitukseen se on noin 4,1 % (kuvat 9a ja 10a). Vastaavat luvut fosforikuormitukselle ovat 0,130 Mkg a⁻¹ ja 10 % (kuvat 9b ja 10b) ja kiintoaineele 71 Mkg a⁻¹ ja 54 % (kuvat 9c ja 10c). Näiden lukujen perusteella metsätalouden merkittävin vesistökuormitusta aiheuttava toimenpide on kiintoainekuormitusta aiheuttava kunnostusojitus.



Kuva 9. KALLE-laskentamallilla laskettu metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama kuormitus ja metsätalousmaalta tuleva taustakuormitus typen (a), fosforin (b) ja kiintoaineen (c) osalta koko Suomessa vuonna 2006 (Ahvenanmaa ei ole mukana luvuissa).



Kuva 10. KALLE-laskentamentelmällä laskettu metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama kuormitus suhteessa metsätalousmaalta tulevaan taustakuormitukseen typen (a), fosforin (b) ja kiintoaineen (c) osalta koko Suomessa vuonna 2006 (Ahvenanmaa ei ole mukana luvuissa).

4 Laskentamenetelmän arviointia ja kehittämistarpeita

4.1

Laskentamittakaava ja toimenpidepinta-alat

KALLE-laskentamenetelmän tuottamat tulokset perustuvat tuoreimpiin käytettävissä oleviin toimenpidepinta-aloihin ja uusimpien tutkimustulosten perusteella päivitettyihin ominaiskuormituslukuihin. Menetelmässä otetaan huomioon toimenpiteiden pitkä kuormitusvaikutus. Ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesien-suojelusta on huolehdittu uudistamishakkuiden yhteydessä jättämällä suojakaistoja ja kunnostuojituksen yhteydessä käyttämällä laskeutusaltaita. Laskeutusaltaiden arvioitiin vähentävän 30 % kunnostusojituksen aiheuttamaa kuormitusta (Joensuu 2002), mutta suojakaistojen tehoa ei arvioitu erikseen vertailukelpoisen aineiston vähyyden vuoksi. KALLE-laskentamenetelmä tuottaa kuormitusarviot kolmelle eri alueelliselle tasolle, vesistöalueryhmille, vesienhoitoalueille ja koko Suomelle. On olemassa tarpeita tuottaa kuormitusarvioita pienemmillekin alueille, mutta mitä pienemmät alueet ovat kyseessä, sitä huonommin edustavia keskimääräiset valtakunnallisesti tuotetut ominaiskuormitusluvut ovat. KALLE -laskentamenetelmä ei myöskään tuota kuormitusarvioita suurien vesistöalueiden purkupisteille, koska ominaiskuormitusluvut perustuvat latvavaluma-alueilla tehtyihin mittauksiin.

Alueelliseen mittakaavaan liittyvien epävarmuuksien lisäksi toimenpiteiden pinta-aloihin ja ominaiskuormituslukuihin sisältyy monia epävarmuustekijöitä, joiden merkityksen parempi ymmärtäminen edellyttää lannoitusten ja uudishakkuiden pinta-alojen tilastoinnin kehittämistä, ominaiskuormituslukuihin liittyvien epävarmuustekijöiden suuruuden ja merkityksen systemaattista tarkastelua ja uusia kokeellisia tutkimustuloksia. KALLE-laskentamenetelmään on tallennettu metsätaloustoimenpiteiden pinta-alatiedot jaksolta 1997–2006 ja tulokset tuotetaan vuoden 2006 tilanteen mukaan. Jos laskentaa halutaan tehdä muille vuosille, tulee pinta-alatietoja kerätä laskentajaksoa edeltävän kymmenen vuoden ajalta ja tallentaa ne KALLE-laskentamenetelmään. Toteutuneiden toimenpiteiden pinta-alatiedot löytyvät suurelta osin virallisista metsätilastoista. Uudistamishakkuiden ja lannoitusten pinta-aloja ei kuitenkaan tilastoida erikseen turve- ja kivennäismailla. Kivennäis- ja turvemaiden uudistamishakkuiden pinta-alat tuotettiin KALLE-laskentamenetelmään kivennäis- ja turvemaiden uudistuskypsiens metsien pinta-alojen suhteessa. Tämä jako pinta-aloihin ei välttämättä pidä paikkansa, vaan on todennäköistä, että uudistamishakkuiden painopiste on ollut kivennäismailla, joilla puunkorjuun ja metsänuudistamisen toteuttaminen ovat teknisesti ja taloudellisesti turvemaita helpompaa. Lannoitusten kokonaispinta-alat saatiin KALLE-laskentamenetelmään virallisista metsätilastoista, mutta kivennäis- ja turvemaiden osuudet kokonaispinta-alasta saatiin lannoitusta toteuttaville organisaatioille suunnatulla kyselyllä. Kyselyn toteuttaminen pinta-alojen päivittämiseksi on käytännössä hankalaa ja kuormitusarvioiden tarkentamiseksi tulisi lisäksi tietää lannoitelajittaiset käsittelypinta-alat. Soita lannoitetaan kaupallisilla

fosforia ja/tai kaliumia sisältävillä lannoitteilla (esim. RautaPK) ja puuntuhkalla. Tuhkan käyttöä ei tilastoida. Tuhkan ei ole todettu aiheuttavan kuormitusta ja siksi sitä ei ole otettu huomioon KALLE-laskentamenetelmässä. Tuhkan käytön soiden lannoitteena voi kuitenkin olettaa lisääntyvän puun energiakäytön kasvaessa. Kaupallisten lannoitteiden käyttö ei todennäköisesti lisääntynyt samassa suhteessa. Lisäksi kaupallisten lannoitteiden käytössä lisääntyy varsinkin jatkolannoituskohteilla pelkkä kaliumlannoitus eikä kaliumin käyttö lannoitteena lisää vesistöjen rehevöitymistä. Kivennäismailla lannoituksen vesistökuormituksen laskentaan aiheuttaa virhettä se, että osa lannoituksista tehdään ns. terveyslannoituksina lannoitteilla, jotka eivät sisällä typpeä. Tätä lannoitekäyttöä ei kuitenkaan tilastoida ja KALLE-laskentamenetelmässä se sisältyy typpilannoituspinta-aloihin.

KALLE-laskentamenetelmässä käytettävät pinta-aratiedot voivat olla myös tulevaisuutta koskevia. Toimenpidepinta-alaskenaarioita on tuotettu mm. Kansallisen metsäohjelma 2015:n ja alueellisten metsätalouden tavoiteohjelmien laatimisen yhteydessä Metsäntutkimuslaitoksen Mela-ohjelmistolla (Uusivuori ym. 2008). Esimerkiksi näitä skenaarioita voi käyttää KALLE-laskentamenetelmässä tai sitten tarvittaessa voi tuottaa omia skenaarioita tarpeen mukaan. Skenaarioiden mukaiset pinta-ala-arviot tulee tallettaa laskentaohjelmaan kuormitusarvioiden laskemiseksi.

4.2

Ominaiskuormitusluvut

KALLE-laskentamenetelmässä käytettyjen ominaiskuormituslukujen suurimmat epävarmuudet liittyvät turvemailta tehtäviin metsätaloustoimenpiteisiin. Metsänuudistamis- ja lannoituspinta-aloihin liittyvien tilastojen puuttumisen lisäksi käytävissä on vähän tutkimustuloksia, joiden perusteella voidaan tuottaa turvemaiden metsänuudistamisen ja lannoituksen ominaiskuormitusluvut. Turvemaiden uudistamishakkuiden ominaiskuormitusluvut perustuvat tutkimuksiin, joissa kuormitusta oli seurattu vain neljä vuotta toimenpiteiden jälkeen. Sen jälkeen KALLE-laskentamenetelmässä kuormituksen oletettiin laskevan tasaisesti ajan suhteen. Turvemaiden lannoituksen ominaiskuormitusluvut perustuivat aikaisemmissa laskelmissa (esim. Finér ym. 2008) lannoitustutkimuksiin, joissa käytetyn lannoitteen valmistus ja levitys on lopetettu suurelta osin juuri käyttöön liittyvän huuhtoutumisriskin takia. Lisäksi tutkimukset on tehty viljavuudeltaan karuilla soilla, joilla turpeen fosforinpidätyskyky on heikko (mm. Nieminen ja Jarva 1999, Nieminen 2000, 2002, Piirainen 2002b, Saura 2002). Karujen soiden lannoitusta ei nykyisin suositella, vaan lannoitusta tehdään pääasiallisesti viljavuudeltaan rehevillä soilla, joilla fosforia ja kaliumia on vähän suhteessa typpeen. Lisäksi turvemaiden fosforilannoitteena on jo muutaman vuoden ajan ollut käytössä ainoastaan RautaPK-lannoite, johon on lisätty valmistusprosessissa fosforia sitovaa rautaa. KALLE-laskentaohjelmassa turvemaiden lannoituksen ominaiskuormitusluku perustuu RautaPK-lannoitteen käyttöön ja tutkimustuloksiin, joiden mukaan RautaPK-lannoitteen fosforia ei huuhtoudu turpeesta (Joensuu ja Vuollekoski 2007). Käytännön levitys tehdään kuitenkin yleensä helikopterilevityksenä, jossa n. 3 % lannoitteista joutuu ojiin ja voi niistä myöhemmin huuhtoutua (Vuollekoski ja Joensuu 2009). Kivennäismaiden typpilannoituksen osalta ominaiskuormitusluku perustuu yhteen tutkimukseen (Saura ym. 1995). Kivennäismaille typpeä voidaan lisätä erilaisina yhdisteinä (urea, nitraatti- ja ammoniumtyppi), jotka reagoivat levitysolosuhteisiin eri tavoin ja siten niiden kuormitusvaikutus voi olla erilainen (esim. Mälkönen 2003).

Kunnostusojituksen ominaiskuormitusluvut perustuvat laajaan tutkimusaineistoon (Joensuu 2002), jonka perusteella kunnostusojitus ei lisää vesiliukoisen tyyppien kuormitusta. Ojituksen yhteydessä typpikuormituksen koostumus kuitenkin muuttuu siten, että epäorgaanisen tyyppien osuus kokonaiskuormituksesta kasvaa. Koska

kunnostusojituksen kuormitus perustuu liuenneen typen kuormitukseen, KALLE-laskentamenetelmä aliarvioi typpikuormitusta, jos typpeä huuhtoutuu kiintoaineen mukana. Kunnostusojituksen ominaiskuormitusluvut on myös saatu vertaamalla kuormaa ennen ja jälkeen toimenpiteen eikä vertaamalla ojituksen aiheuttamaa kuormitusta ojittamattoman luonnontilaisen suon kuormaan. Epävarmuutta kunnostusojituksen fosforikuormituslukuun syntyy myös oletuksesta, että kunnostusojituksen irrottaman kiintoaineen kokonaisfosforipitoisuus on kiintoaineen laadusta riippumatta sama (0,1 %).

Ominaiskuormitusluvut eivät ota huomioon vuosien välistä vaihtelua sää- ja valuntaoloissa. KALLE-laskentamenetelmässä esitetyt kuormitusarviot perustuvat toimenpiteiden aiheuttamiin keskimääräisiin kuormitusvaikutuksiin eikä esim. alueellisista eroista johtuvaa kuormituksen vaihtelua ole pystytty arvioimaan olemassa olevien tutkimustulosten vähäisyyden takia. Hakkuutähteiden korjuu ja kantojen nosto ovat lisääntyneet merkittävästi ja niille ei ole tuotettu ominaiskuormituslukuja, koska tutkimustuloksia ei vielä ole käytettävissä. Tulevaisuudessa ilmaston muutos lisää talviajan valuntaa erityisesti eteläisessä Suomessa, mistä aiheutuu epävarmuutta sekä taustakuormituksen tason, että metsätaloustoimenpiteiden aiheuttaman lisäkuormituksen arvioimiseen. Näin tapahtuu erityisesti sellaisilla alueilla, joissa ilman lämpötila on pitkiä aikoja lähellä sulamislämpötilaa ja hydrologiset olosuhteet voivat muuttua merkittävästi ilmaston lämmitessä. Esimerkiksi Etelä-Suomessa suojaajaksot ovat talvella jo nyt tavallisia. Tulevaisuudessa tutkimuksen tulisi tuottaa uusia arvioita erityisesti turvemaiden metsänuudistamisen, turve- ja kivennäismaiden lannoitusten, hakkuutähteiden korjuun ja kantojen noston vaikutuksista kuormitukseen sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksista taustakuormitukseen ja metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamaan kuormitukseen. Kiintoainekuormitusta syntyy myös uudistushakkuista ja maanmuokkauksesta, mutta niistä syntyvän kiintoainekuormituksen määrää ei ole tutkittu. KALLE-laskentamenetelmä perustuu siihen, että toimenpiteen yhteydessä huolehditaan vesiensuojelusta tämänhetkisten parhaiden käytäntöjen mukaisesti. Mikäli näin ei menetellä, metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamaa kuormitusta aliarvioidaan.

4.3

Vertailu aiempiin metsäisten valuma-alueiden kuormituslaskelmiin

Alueellisia ja valtakunnallisia vesistökuormituslaskelmia on aiemmin tehty kansallisten metsäohjelmien valmistelun yhteydessä (Ahti 1990, Kenttämies ja Alatalo 1999, Kenttämies ja Haapanen 2006, Finér ym. 2008). KALLE-laskentamenetelmällä vuodelle 2006 tuotetut kuormitusarviot typelle ja fosforille olivat jonkin verran pienemmät ja kiintoaineelle suuremmat kuin Finérin ym. (2008) Kansallisen metsäohjelman 2015 laadinnan yhteydessä esittämät vastaavat arviot. Tämä johtuu erilaisista ominaiskuormitusluvuista. KALLE-laskentamentelmässä tarkennetut turvemaiden uudistamisen ominaiskuormitusluvut ovat typen ja fosforin osalta suurempia kuin Finérin ym. (2008) esittämät. Myös turvemainen kunnostusojituksen fosforin ja kiintoaineen ominaiskuormitusluvut ovat suuremmat kuin Finérin ym. (2008) esittämät ja turvemaiden fosforilannoituksen ominaiskuormitusluvut ovat taas pienemmät. Kenttämiehen ja Alatalon (1999) sekä Kenttämiehen ja Haapasen (2006) vuodelle 1993 esittämät valtakunnalliset typpi- ja fosforikuormitusarviot olivat merkittävästi suurempia kuin KALLE-laskentamentelmällä vuodelle 2006 tuotetut arviot. Merkittävin syy näihinkin eroihin on laskelmissa käytetyissä erilaisissa ominaiskuormitusluvuissa, mutta jossakin määrin myös erilaisissa toimenpidepinta-aloissa. KALLE-laskentamentelmässä metsänuudistamisen ominaiskuormitusluvut perustuvat uudempaan tutkimustietoon ja ne on tuotettu erikseen kivennäis- ja turvemaille

olettaen, että kivennäismaiden metsänuudistamisessa vesiensuojelusta huolehditaan suojavaohykkein. Kenttämies ja Alatalo (1999) ja Kenttämies ja Haapanen (2006) käyttivät kunnostusojitukselle uudisojituksen ominaiskuormituslukuja, kun taas KALLE-laskentamelmässä kunnostusojituksen ominaiskuormitusluvut perustuvat laajaan kunnostusojitusaineistoon ja oletukseen laskeutusaltaiden käytöstä vesiensuojelutoimenpiteenä (Joensuu 2002). Turvemaiden fosforilannoituksessa on siirrytty vuonna 2005 käyttämään fosforilannoitteita, joissa huuhtoutumisriski on selvästi pienempi kuin sitä ennen käytetyissä lannoitteissa. Vesistökuormituksen laskentamenetelmien kehitystyöhön on tarvetta ja ominaiskuormituslukuja tulee päivittää kun uusia tutkimustuloksia tulee käyttöön.

KIRJALLISUUS

- Ahti, E. 1990. Metsätalouden vesistövaikutukset. Metsä 2000 -ohjelman tarkistukseen liittyvä asiantuntijaselvitys. 55 s. (Julkaisematon)
- 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.
- Alatalo, M. 2000. Metsätaloustoimenpiteistä aiheutunut ravinne- ja kiintoainekuormitus. Suomen ympäristö 381: 1–64.
- Ekholm, M. 1992. Suomen vesistöalueet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 126: 1–166.
- Ehkolm, P. 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. Monographs of the Boreal Environment Research 11: 1–60.
- Ekholm, P., Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006. Fosforin käyttökelpoisuus valumavesissä. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus: MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 93–100.
- Finér L., Kortelainen P., Mattsson T., Ahtiainen M., Kubin E. & Sallantausta T. 2004. Sulphate and base cation concentrations and export in streams from unmanaged forested catchments in Finland. Forest Ecology and Management 195: 115–128.
- Finér, L., Ahti, E., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Mattsson, T., Nieminen, M. & Tattari, S. 2008. Metsätalouden vesistökuormituslaskelmat Kansallisen metsäohjelman 2015 valmistelua varten. Teoksessa: Uusivuori, J., Kallio, M. & Salminen, H. (toim.). Vaihtoehtolaskelmat kansallisen metsäohjelman valmistelua varten. Metlan työraportteja 75: 68–86.
- 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.
- Issakainen, J. 2002. Tuhka metsälannoitteena ja suonpohjien metsityskokeissa. Teoksessa: Kemppainen, S. (toim.). Metsätalouden vesistökuormituksen hallinta suopohjilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 856: 25–29.
- 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. & Vuollekoski, M. 2007. Huuhtoutuuko fosforia turvemaiden terveyslannoituksesta? Leipä leveämmäksi 1/2007: 40–41.
- 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 typikuormituksen määrittäminen. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 9–25.
- Kenttämies, K. & Alatalo, M. 1999. Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama kasviravinteiden huuhtoutuminen ja kansallisen metsäohjelman suositustason vaikutus siihen (Liite 6.4.). Teoksessa: Hildén, M., Kuuluvainen, J., Ollikainen, M., Pelkonen, P. & Primmer, E. 1999. Kansallisen metsäohjelman ympäristövaikutusten arviointi. Loppuraportti 17.9.1999. Maa- ja metsätalousministeriö.
- Kenttämies, K. & Haapanen, M. 2006. Metsätalouden toimenpiteiden aiheuttama kasviravinteiden huuhtoutuminen ja kansallisen metsäohjelman suositustason vaikutus siihen. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 29–40.
- Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.) 2006. Metsätalouden vesistökuormitus MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 1–160.
- Kortelainen, P., Mattsson, T., Finér, L., Ahtiainen, M., Saukkonen, S. & Sallantausta, T. 2006. Controls on the export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. Aquatic Sciences 68(4): 453–468.
- Leivonen, J. (toim.). 2005. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Toteutumisen arviointi vuoteen 2003 asti. Suomen ympäristö 811: 1–82.
- Lundin, L. 1999. Effects on hydrology and surface water chemistry of regeneration cuttings in peatland forests. International Peat Journal 9: 118–126.
- Mattsson, T., Finér, L., Kortelainen, P. & Sallantausta, T. 2003. Brookwater quality and background leaching from unmanaged forested catchments in Finland. Water Air and Soil Pollution 147(1–4): 275–297.
- Mattsson, T., Finér, L., Kenttämies, K., Ahtiainen, M., Haapanen, M. & Lepistö, A. 2006a. Avohakkuun vaikutus fosforin, typen ja kiintoaineen huuhtoutumiseen: 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 kiintoainehuuhtoutumiseen. Teoksessa: Kenttämies, K. & Mattsson, T. (toim.). Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 816: 73–81.

- Mälkönen, E. (toim.). 2003. Metsämaa ja sen hoito. Metsäntutkimuslaitos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 220 s.
- Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained ombrotrophic peatland forests: empirical studies and modelling. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonanto 756: 1–50 + 4 liitettä.
- Nieminen, M. 2002. Miksi soilta huuhtoutuu lannoitefosforia? Voidaanko huuhtoutumista estää? Teoksessa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.). Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.–27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 37–42.
- Nieminen, M. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Metsätehon raportti 155: 1–20.
- Nieminen, M. 2004. Export of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus following clear-cutting of three Norway spruce forests growing on drained peatlands in southern Finland. *Silva Fennica* 38(2): 123–132.
- 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. & Ahti, E. 2005. Hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus huuhtoumiin. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M., Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 254–258.
- Nieminen, M., Ahti, E., Nousiainen, H. Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 2005. Capacity of riparian buffer zones to reduce sediment concentrations in discharge from peatlands drained for forestry. *Silva Fennica*: 39: 311–339.
- Nieminen, M. & Jarva, M. 1999. Lannoitefosforin huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät ojitetuilla turvemaidilla: esimerkki fosforitaseesta kolme vuotta raakafosforilannoituksen jälkeen. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. Metsätalouden ympäristökuormitus. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonanto 745: 101–108.
- Piirainen, S. 2000. Huuhtoumat tuhkalannoitetuilta turvemailta. Metsätehon raportti 90: 1–20 + 2 liitettä.
- Piirainen, S. 2002a. Nutrient fluxes through a boreal coniferous forest and the effect of clear-cutting. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 859: 1–50 + 5 liitettä.
- Piirainen, S. 2002b. Tuhkalannoituksen vaikutus valumaveden laatuun. Teoksessa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.). Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.–27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 48–58.
- Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) 1995. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 1–420.
- Saura, M. 2002. Apatiittilannoituksen vaikutus valumaveden laatuun Parkanon Liesinevalla. Teoksessa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.). Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.–27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 43–47.
- Saura, M., Sallantausta, T., Bilaltdin, 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.
- Silver, T. & Saarinen, M. 2007. Lentolevityksen tarkkuus ojitusaluiden terveyslannoituksissa (Summary: The accuracy of aerial spreading of repair fertilization on drained peatlands). *SUO* 58: 63–70.
- Tattari, S. & Linjama, J. 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi. *Vesitalous* 3/2004: 26–30.
- Tulonen, T., Ollila, S. & Arvola, L. 2000. Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset. Metsätehon raportti 87: 1–43.
- Tulonen, T., Arvola, L., Pihlström, M., Mäkinen, A., Rummukainen, P. & Rask, M. 2003. Tuhkalannoituksen vaikutus metsäjärvisä. Metsätehon raportti 146: 1–31+ 4 liitettä.
- Uusivuori, J., Kallio, M. & Salminen, H. (toim.) 2008. Vaihtoehtolaskelmat kansallisen metsäohjelman valmistelua varten. Metlan työraportteja 75: 1–104.
- Vuollekoski, M. & Joensuu, S. 2009. Fosforin huuhtoutuminen käytännön RautaPK-lannoituksessa Yläneellä. (Suullinen tiedonanto)

SÄÄDÖKSET

- 2000/60/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY.
- 264/1961. Vesilaki 19.5.1961/264.
- 1093/1996. Metsälaki 12.12.1996/1093.
- 86/2000. Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86.
- 1299/2004. Laki vesienhoidon järjestämisestä 30.12.2004/1299.
- 544/2007. Laki kestävän metsätalouden rahoituksesta 11.5.2007/544.
- Valtioneuvoston periaatepäätös 23.11.2006. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015.
- Valtioneuvoston periaatepäätös 27.3.2008. Kansallinen metsäohjelma 2015. Lisää hyvinvointia monimuotoisista metsistä. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008. Vammalan kirjapaino Oy.

KUVAILEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisu-aika Toukokuu 2010
Tekijä(t)	Leena Finér, Tuija Mattsson, Samuli Joensuu, Harri Koivusalo, Ari Laurén, Timo Makkonen, Mika Nieminen, Sirkka Tattari, Erkki Ahti, Pirkko Kortelainen, Jari Koskiaho, Antti Leinonen, Raimo Nevalainen, Sirpa Piirainen, Jouko Saarelainen, Sakari Sarkkola ja Martti Vuollekoski			
Julkaisun nimi	Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 10 2010			
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetissä: www.ymparisto.fi/syke/julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Metsät vaikuttavat vesistöjen veden laatuun. Luonnontilaisilta metsä- ja suoalueilta vesistöihin kulkeutuvia ainevirtoja kutsutaan taustakuormaksi. Täysin luonnontilaisia valuma-alueita ei Suomessa kuitenkaan ole, sillä ihmistoiminta vaikuttaa ainakin laskeumaan ja sitä kautta vesistöihin valuvan veden laatuun. Metsissä tehtävät toimenpiteet kuten päätehakkuut, maanmuokkaukset, lannoitukset ja ojitukset lisäävät vesistöihin tulevaa kuormitusta. Tässä työssä esitellään metsätalousmaalta tulevaan luonnon taustakuormaan ja eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamaan kuormituksen lisäykseen perustuva typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormituksen laskentamenetelmä, KALLE. Laskentamenetelmän kuvauksen yhteydessä esitetään perusteluineen käytettävissä oleviin tutkimustuloksiin perustuvat taustakuormitusluvut ja kivennäis- ja turvemaiden metsänuudistamisen ja lannoituksen sekä turvemaiden kunnostusojituksen ominaiskuormitusluvut. Ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesienhuolto- ja kunnostusojituksen yhteydessä jättämällä suojaistoja vesistöjen varteen ja kunnostusojituksissa tekemällä laskeutusaltaita. Laskentamenetelmä ottaa huomioon toimenpiteiden pitkän vaikutusajan. KALLE-laskentamenetelmä on kehitetty valtakunnallisia, vesistöalueriittisiä ja vesienhoito-alueittaisia laskelmia varten. Esimerkkeinä esitellään KALLE-laskentamenetelmällä tuotetut valtakunnalliset ja vesienhoitoalueittaiset metsätalouden taustakuormitusarviot ja eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamat vesistökuormitusarviot.</p>			
Asiasanat	fosfori, kiintoaine, laskentamenetelmä, metsätalous, taustakuorma, typpi, vesistövaikutus			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Maa- ja metsätalousministeriö			
	ISBN 978-952-11-3755-6 (nid.)	ISBN 978-952-11-3756-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkok.)
	Sivuja 33	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis. alv 8 %) 19 €
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 780, 00043 EDITA Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 HELSINKI Puh. 020 610 123 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.ymparisto.fi/syke			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2010			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			Datum Maj 2010
Författare	Leena Finér, Tuija Mattsson, Samuli Joensuu, Harri Koivusalo, Ari Laurén, Timo Makkonen, Mika Nieminen, Sirkka Tattari, Erkki Ahti, Pirkko Kortelainen, Jari Koskiahho, Antti Leinonen, Raimo Nevalainen, Sirpa Piirainen, Jouko Saarelainen, Sakari Sarkkola och Martti Vuollekoski			
Publikationens titel	Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta (Metod för beräkning av den belastningen av kväve, fosfor och fasta partiklar från skogsbruksmark)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 10 2010			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig också på internet: www.ymparisto.fi/syke/publikationer (på finska)			
Sammandrag	<p>Skogarna påverkar vattenkvaliteten i vattendragen. De ämnesflöden som når vattendragen från skogs- och torvmarker i naturtillstånd kallas bakgrundsbelastning. I Finland finns dock inga avrinningsområden som är helt i naturtillstånd. Mänsklig verksamhet påverkar åtminstone nedfallet och därigenom också kvaliteten på det vatten som rinner ut i vattendragen. Åtgärder som vidtas i skogarna, såsom slutavverkning, markberedning, gödsling och dikning, ökar belastningen på vattendragen. I det här arbetet presenteras en beräkningsmetod, KALLE, för att beräkna belastningen av kväve, fosfor och fasta partiklar som orsakas av den naturliga bakgrundsbelastningen från skogsbruksmark och den ökade belastning som orsakas av olika åtgärder inom skogsbruket. I samband med beskrivningen av beräkningsmetoden presenteras med tillhörande motiveringar siffror för bakgrundsbelastningen som grundar sig på tillgängliga forskningsresultat, liksom också specifika belastningssiffror för skogsforyngring och gödsling av mo- och torvmarker samt för iståndsättningsdikning av torvmarker. De specifika belastningssiffrorna har producerats utgående ifrån att man har sört för vattenvården genom att lämna kvar skyddszoner vid vattendragen i samband med förnyelseavverkning och bygga sedimenteringsbassänger i samband med iståndsättningsdikning. Beräkningsmetoden tar i beaktande åtgärdernas långa verkningstid. Beräkningsmetoden KALLE har utvecklats för beräkningar på riksnivå, vattenområdesnivå och för enskilda vattenförvaltningsområden. Som exempel presenteras beräkningar av bakgrundsbelastningen från skogsbruksmark på riksnivå och för vattenförvaltningsområden samt beräkningar av vilken belastning som orsakas av olika åtgärder inom skogsbruket.</p>			
Nyckelord	fosfor, partiklar, beräkningsmetod, skogsbruk, bakgrundsbelastning, kväve, inverkan på vattendrag			
Finansiär/ uppdragsgivare	Jord- och skogsbruksministeriet			
	ISBN 978-952-11-3755-6 (hft.)	ISBN 978-952-11-3756-3 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 33	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %) 19 €
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA Kundtjänst: tfn +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Epost: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.miljo.fi/syke			
Tryckeri/tryckningsort -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2010			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> May 2010
<i>Author(s)</i>	Leena Finér, Tuija Mattsson, Samuli Joensuu, Harri Koivusalo, Ari Laurén, Timo Makkonen, Mika Nieminen, Sirkka Tattari, Erkki Ahti, Pirkko Kortelainen, Jari Koskiahho, Antti Leinonen, Raimo Nevalainen, Sirpa Piirainen, Jouko Saarelainen, Sakari Sarkkola and Martti Vuollekoski			
<i>Title of publication</i>	Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta (A method for calculating nitrogen, phosphorus and sediment load from forest catchments)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 10 2010			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>	The publication is available also on the internet: www.ymparisto.fi/syke/publications (in Finnish)			
<i>Abstract</i>	<p>Forests affect the quality of water in watercourses. Leaching of substances from forests and mires in a natural state into the watercourses is called background loading. There are, however, no catchment areas in Finland that are entirely free of human impacts because human activities affect the composition of atmospheric deposition and, consequently, the quality of the water entering watercourses. Forest management practices, such as clear cutting, site preparation, fertilization and ditch drainage, increase the load on the watercourses. This report presents the KALLE method for calculating the nitrogen, phosphorus and sediment load on the basis of increases in the background load originating from forestry land, as well as that caused by forest management. We also provide background load values and specific load values for forest regeneration on mineral soil and peatland, forest fertilization and peatland ditch maintenance based on recent research. The specific load figures are based on the assumption that all the necessary water protection measures have been implemented (establishment of buffer zones along the edges of watercourses in connection with clear cutting, and the establishment of sedimentation ponds in connection with ditch maintenance). The calculation method takes into account the fact that these measures have a long-term impact. The KALLE method can be used for nationwide calculations covering river basin groups and river basin districts. The estimated background loads on forestry land in the country as a whole and in individual river basin districts, as well as the estimated loads resulting from different forest management practices produced using the KALLE method, are given as examples.</p>			
<i>Keywords</i>	phosphorus, sediment, calculation method, forestry, background load, nitrogen, impact on watercourses			
<i>Financier/ commissioner</i>	The Ministry of Agriculture and Forestry			
	ISBN 978-952-11-3755-6 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3756-3 (PDF)	ISSN 1238-7312(print)	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 33	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i> 19 €
<i>For sale at/ distributor</i>	Edita Publishing Ltd, P.O.Box 780, FI-00043 Edita, Finland Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Mail orders: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
<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: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.environment.fi/syke			
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd., Helsinki 2010			

Metsät vaikuttavat vesistöjen veden laatuun. Luonnontilaisilta metsä- ja suoalueilta vesistöihin kulkeutuvia ainevirtoja kutsutaan taustakuormaksi. Metsissä tehtävät toimenpiteet kuten päätehakkuut, maanmuokkaukset, lannoitukset ja ojitukset lisäävät vesistöihin tulevaa kuormitusta. Tässä julkaisussa esitellään metsätalousmaalta tulevaan luonnon taustakuormaan ja eri metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamaan kuormituksen lisäksi perustuva typpi-, fosfori- ja kiintoainekuormituksen laskentamenetelmä, KALLE. Laskentamenetelmän kuvauksen yhteydessä esitetään taustakuormitusluvut ja kivennäis- ja turvemaiden metsänuudistamisen ja lannoituksen sekä turvemaiden kunnostusojituksen ominaiskuormitusluvut. Ominaiskuormitusluvut on tuotettu olettaen, että vesiensuojelusta on huolehdittu uudistamishakkuiden yhteydessä jättämällä suojakaistoja vesistöjen varteen ja kunnostusojituksissa tekemällä laskeutusaltaita. Laskentamenetelmä ottaa huomioon toimenpiteiden pitkän vaikutusajan. KALLE-laskentamenetelmä on kehitetty valtakunnallisia, vesistöalueyrymittäisiä ja vesienhoitoalueittaisia laskelmia varten. Julkaisussa esitetään myös esimerkkilaskelmien tuloksia.

METLA



TAPIO



GTK



SYKE



metsäkeskus



Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu

Myynti: Edita Publishing Oy
Asiakaspalvelu: PL 780, 00043 EDITA
puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380
asiakaspalvelu.publishing@edita.fi
www.edita.fi/netmarket

ISBN 978-952-11-3755-6 (nid.)

ISBN 978-952-11-3756-3 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkoj.)