

26.09.02



Metsätalouden vesistökuormituksen hallinta suopohjilla

Samuli Kemppainen (toim.)



MUHOXEN TUTKIMUSASEMA

26.09.02

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 856, 2002

Metsätalouden vesistökuormituksen hallinta suopohjilla

Samuli Kemppainen (toim.)

MUHOKSEN TUTKIMUSASEMA

Kempainen, S. 2002 (toim.). Metsätalouden vesistökuormituksen hallinta suopohjilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 856. 79 s. ISSN 0358-4283, ISBN 951-40-1836-2

Julkaisun artikkelit perustuvat 5.6.2001 Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusasemalla pidettyyn "Metsätalouden vesistökuormituksen hallinta suopohjilla" -seminaariin. Lisäksi julkaisu sisältää aiheesta laaditun kirjallisuuskatsauksen.

Avainsanat: Suopohja, metsitys, vesistökuormitus, biomassa, hiilitase

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. Hanke 7073

Hyväksynyt tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 11.4.2002

Taitto: Samuli Kempainen

Kannen suunnittelu: Irene Murtovaara

Kansikuva: Suopohjien metsittäminen on yleisin jälkikäyttömuoto. Kuvat Jorma Issakainen

Painopaikka: ProPrint, Raahen kirjapaino Oy

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto, PL 18, 01301 Vantaa.

Puh. (09) 8570 5580, faksi (09) 8570 5582. Sähköposti: kirjasto@metla.fi

Toimittajan yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosarentie 7, 91500 Muhos

Copyright: Metsäntutkimuslaitos

Sisällys

Lukijalle	4
<i>Eero Kubin ja Pirkko Selin</i>	
Metsätalouden hydrologiset vaikutukset	6
<i>Erkki Ahti</i>	
Hakkuun, maanmuokkauksen ja lannoituksen vaikutus huuhtoumiin ojitetuilta turvemailta	9
<i>Mika Nieminen</i>	
Ojitettujen metsämaiden merkitys vesistöjen potentiaalisessa ravinnekuormituksessa.	14
<i>Kaarle Kenttämies</i>	
Kuormitustarkkailu metsähiisi-projektin koekohteilla	16
<i>Jari Marja-aho</i>	
Metsätaloudessa käytettävät vesiensuojelumenetelmät	19
<i>Samuli Joensuu</i>	
Tuhka metsälannoitteena ja suonpohjan metsityskokeissa	25
<i>Jorma Issakainen</i>	
Turvetuotannon loppuminen ja siirtyminen jälkikäyttöön ympäristönsuojeluviranomaisten näkökulmasta	30
<i>Kirsi Juujärvi</i>	
Metsätalouden vesistövaikutusten valvonta ja tarkkailu	32
<i>Pekka Hynninen</i>	
Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelman monimuotoisuus- ja ympäristönsuojeluasiat	39
<i>Irmeli Ruokanen</i>	
Metsätalouden ympäristövaikutukset	47
<i>Samuli Kemppainen</i>	

Lukijalle

Turvemaiden kokonaisala on Suomessa noin 10 miljoonaa hehtaaria. Huomattava osa suopinta-alasta on otettu taloudelliseen käyttöön siten, että ojitamatonta suota on jäljellä 4 miljoonaa hehtaaria. Erityisen runsaasti soita on Pohjois-Pohjanmaalla, jonka 1,67 miljoonasta hehtaarista on ojitettua suota 60%. Turvetuotannossa on Pohjois-Pohjanmaalla 19 100 ha. Pinta-ala on paikallisesti merkittävä, vaikkakin metsätalouden käytössä olevaan alaan verrattuna vähäinen. Huomattava osa turvetuotantoon otetuista soista on ollut ojitettuja avosoita tai harvaa kitukasvuista puustoa kasvavaa suota. Suopeltoja turvetuotantoon on otettu hyvin vähän.

Vuoden 2001 lopussa oli turvetuotannosta vapautuneita suopohjia jo yli 11 000 hehtaaria. Jatkossa suopohjaa vapautuu yksinomaan Vapon tuotantoalueilta noin 1000-2 500 hehtaaria vuodessa. Vapautuva määrä kasvaa erityisesti Pohjois-Pohjanmaalla.

Suopohjan hyödyntäminen on mahdollista monella tavalla. Alueesta riippuen suopohja soveltuu metsitettäväksi, uudelleen soistettavaksi, viljelymaaksi, yrttien ja lääkekasvien kasvatukseen tai esimerkiksi lintujärveksi. Jälkikäytön valintaan vaikuttavat maaperän ominaisuudet, turvekerroksen paksuus, vesien johtaminen ja maanomistajan tarpeet. Vaikkakin lintujärvet ja ennallistaminen ovat tulleet entistä suosittuimmiksi vaihtoehdoiksi, turvesuon yleisin jälkikäyttömuoto on edelleen metsittäminen.

Suopohjien metsittämistä on tutkittu Metsäntutkimuslaitoksen ja Vapo Oy Energian yhteistyönä erityisesti Parkanon ja Kannuksen tutkimusasemien kanssa. Muhoksen tutkimusasemalla on vastaavasti tutkittu mm. haihdutuksen ja maaperäimeytyksen käyttöä turvetuotantoalueelta tulevien vesien käsittelyssä. Kun turvetuotannosta vapautuvien alueiden määrä kasvaa, tutkimustarve painottuu jatkossa edelleen suopohjien metsittämiseen ja erityisesti siitä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin.

Turvetuotannosta vapautuneiden alueiden metsittäminen edellyttää yleensä suopohjan käsittelyä ja lannoitusta. Ympäristövaikutusten tutkimiseksi käynnistettiin vuonna 2000 Vapo Oy Energian ja Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusaseman yhteistutkimus, ”Metsähiisi” -projekti. Projektin tavoitteena on kehittää mahdollisimman tehokas ja nopea menetelmä turvetuotannosta vapautuvien suopohjien metsittämiseen talousmetsäksi ympäristövaikutukset halliten. Projektissa selvitetään lisäksi metsittämiseen tarvittavaa konekalustoa sekä olemassa olevan kaluston kehitystarpeita. Metsitysvaihtoehtona selvitettiin myös puutiheikön kasvuominaisuuksia ja soveltuvuutta energiapuun kasvatukseen. Hiilen sitoutumien suopohjalla on tullut esille ilmastoasioiden yhteydessä. Tämän projektin yhteydessä aloitettiin myös metsitettyjen suopohjien hiilimittauksia. Lisäksi projektin tavoitteena on myös kehittää suopohjien luokitusta metsittämistä varten. Yhtenä

keskeisenä tehtävänä on selvittää, mitä menetelmiä käyttäen suopohjien metsittäminen saadaan tehtyä mahdollisimman vähäisellä vesistökuormituksella.

Kansallisen vesiensuojelun toimenpideohjelman tavoitteena on puolittaa metsätaloudesta aiheutuva vesistöjen fosfori- ja typpikuormitus vuoteen 2005 mennessä vuoden 1993 arvioidusta tasosta. Myös turvetuotantoalueiden metsittäminen on tehtävä siten, ettei siitä aiheudu ylimääräistä vesistökuormitusta. Metsätalouden vesistövaikutuksista saadun aikaisemman tutkimustiedon hyödyntämiseksi Metsähiisi-projektissa järjestettiin Metsän-

tutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusasemalla 5.6.2001 seminaari ”Vesistökuormituksen hallinta suopohjilla”. Seminaarin alustukset on koottu tähän raporttiin. Metlan ja Vapon edustajien lisäksi seminaarissa esittivät alustuksia Suomen ympäristökeskuksen, Metsäkeskus Tapion, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen sekä Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen edustajat.

Haluamme kiittää seminaarin järjestylihin osallistuneita, esitelmäitsijöitä ja kaikkia seminaarissa mukana olleita. Metsähiisi-projektin edelleen kehittämiseksi seminaari oli hyvin antoisa.

Eero Kubin
Metsäntutkimuslaitos
Tutkimusaseman johtaja

Pirkko Selin
Vapo Oy
Ympäristöpäällikkö

Metsätalouden hydrologiset vaikutukset

Erkki Ahti

Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 VANTAA
erkki.ahti@metla.fi

METLA

Johdanto

Vesitaseella tarkoitetaan yksinkertaisesti sateen jakautumista valuntaan ja haihduntaan. Koska sademäärät eivät metsätalouden vaikutuksesta muutu, haihdunnan muutos aiheuttaa vastaavansuuruisen, mutta vastakkaisen valunnan muutoksen. Metsäojitus ja hakkuut lisäävät valuntaa ja pienentävät haihduntaa. Valunnan lisääntyminen näkyy voimakkaana heti avohakkuun tai ojituksen jälkeen.

Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus valuntaan riippuu siitä, minkälainen metsän vesitase on ennen toimenpidettä. Mikäli toimenpidettä edeltävä vesitase on valuntapainotteinen (hakkuuaukot, vähäpuustoiset ojitusalueet), metsätalouden toimenpiteet vaikuttavat valuntaan vain vähän. Jos sen sijaan metsän vesitase on haihduntapainotteinen (suuret ja hyvin kasvatavat puustot, mätät ja vähäpuustoiset suot), metsätalouden vaikutukset ovat voimakkaita (Joensuu ym. 1999).

Hakkuut

Puut ottavat juurillaan maavettä, ja haihduttavat sitä neulasista ja lehdistä (= transpiraatio) Lisäksi osa sadevedestä pidättyy latvuksiin ja haihtuu sa-

teen tauottua suoraan latvuksista (=interseptio eli latvuspidäntä). Hakkuun valuntavaikutuksen suuruusluokka riippuu poistettavan puuston määrästä. Alunperin vähäpuustoisilla alueilla puuston haihduttava vaikutus on jo ennen hakkuuta pienempi, eikä puuston väheneminen aiheuta yhtä draamaattista haihdunnan ja siihen liittyvää valunnan muutosta kuin runsaspuustoisien metsien avohakkuu. Hakkuun valuntaa suurentavaksi vaikutukseksi on arvioitu 5-8 mm kutakin valuma-alueen keskikuutiomäärän 10 m³:n muutosta kohti hehtaarilla (Seuna 1988), ts. jos valuma-alueen keskikuutiomäärä pienenee hakkuiden johdosta 100 m³/ha, valunta kasvaa 50-80 mm, mikä vastaa keskimäärin yhden kuukauden sadantaa. Valunta/haihdunta-suhde palaa ennalleen puuston ja muun kasvillisuuden kehityksen myötä.

Hakkuut nopeuttavat myös lumen sulamista ja suurentavat sitä kautta keväen ylivirtaamia.

Ojitus

Metsäojitus suurentaa voimakkaasti lähes kaikkia valunnan komponentteja: vuosivaluntaa, kesäsateiden aiheuttamia valuntahuippuja ja kesän ali-

valumia. Myös kevään ylivalumat kasvavat. Puuston kehityksen myötä vesitase palautuu nopeakasvuisilla alueille n. 20 vuodessa lähelle lähtötilannetta. Kevättulvat saattavat puuston varjostuksen ja hitaamman lumen sulamisen johdosta olla pienempiä parikymmentä vuotta ojituksen jälkeen kuin ennen ojitusta. Karuilla soilla, joilla puuston kehitys on hidasta, myös valuntasuhteiden palautuminen tapahtuu hitaasti. Ajan myötä ojien madaltuminen ja ojiin kehittyvä kasvillisuus vaikuttavat enemmän valumavesien ainepitoisuuksiin kuin valumaveden määrään. Tästä ehkä johtuu, että mikäli kunnostusojituksen yhteydessä ei tehdä hakkuita, ojituksen ei ole havaittu aiheuttaneen merkittävää valunnan lisääntymistä ojien avaamiseen liittyvää tyhjenemisvaluntaa lukuun ottamatta.

Ojitusalueiden päätehakkuut ja niitä seuraavat kunnostusojitukset tulevat aiheuttamaan valuntavaikutuksen, joka on todennäköisesti uudisojituksen vaikutusta suurempi. Metsitettävä

suonpohja vastaa hydrologisesti paljaaksihakattua ja tehokkaasti ojitettua metsäojitusaluetta: valunta on huomattavasti haihduntaa suurempi (Kenttämies & Saukkonen 1996).

Metsätalouden hydrologiset vaikutukset on esitetty taulukossa 1 esimerkkialueen avulla. 100 ha:n esimerkkialueen pinta-alasta puolet on keskimäärin mustikkatyyppin metsää, jonka kuutiomäärä v. 1967 oli 200 m³/ha. Toinen puoli alueesta on mustikkakorpea, jonka kuutiomäärä ojitettaessa v. 1967 oli 40 m³/ha.

Kivennäismaalla keskikuutiomäärä oli kasvatushakkuiden jälkeen ennen vuoden 2000 avohakkuuta 300 m³/ha, ja turvemailla ennen vuoden 2001 avohakkuuta 220 m³/ha.

Sadeveden pidättyminen puuston latvuksiin kytkeytyy läheisesti puuston vihermassaan ja kuutiomäärään, puuston aktiivinen vedenotto (=transpiratio) sen sijaan puuston kasvuun. Kun puuston aktiivisen vedenoton osuus

Taulukko 1. Metsätalouden vaikutus 100 ha:n metsäalueen vesitaseeseen.

	Kangasmaat		Turvemaat		Koko alue	
	q	e	q	e	q	e
1966	200	400	200	400	200	400
			Ojitus			
1967	200	400	400	200	300	300
			Avohakkuu			
2000	400	200	200	400	300	300
			Avohakkuu			
2001	400	200	400	200	400	200

q = valunta, mm; e = haihdunta, mm

vesitaseesta on huomattavasti latvuspäntää suurempi, on pääteltävissä, että puuston haihduttava vaikutus ja haihdunnan merkitys vesitaseen kannalta on Pohjois-Suomessa suurempi kuin Etelä-Suomessa. Edelleen tämä merkitsee sitä, että metsätalous vaikuttaa Pohjois-Suomessa vesitaseeseen vähemmän kuin Etelä-Suomessa. Toisaalta Pohjois-Suomen valuntavoittoinen vesitase edellyttää esim. tehokkaampaa ojaverkkoa (kapeampi sarka, syvemmät ojat) ja tarkempaa ojaston kunnossapitoa kuin Etelä-Suomen haihduntavoittoinen vesitase.

Kirjallisuus

- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. Vanhoilta metsäojitusalueilta valuvan veden kemialliset ominaisuudet. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. Metsätalouden ympäristökuormitus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745. 172 s.
- Kenttämies, K. & Saukkonen, S. 1996. Metsätalous ja vesistöt. MMM:n julkaisuja 4/1996.
- Seuna, P. 1988. Hydrological effects of clear-cutting and drainage in the Nurmes-study. Suomen Akatemian julkaisuja 4/1988:122-134.

Hakkuun, maanmuokkauksen ja lannoituksen vaikutus huuhtoumiin ojitetuilta turvemailta

Mika Nieminen

Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 VANTAA
mika.nieminen@metla.fi

METLA

Johdanto

Yli puolet Suomen soista (5-6 milj. ha) on ojitettu puuston kasvun parantamiseksi. Metsänparannustoiminnan on arvioitu lisänneen suopuustojen kasvua noin 12,5 milj. m³ vuodessa. Soiden metsätalouskäyttö on kuitenkin aiheuttanut eräitä haitallisia vesistövaikutuksia. Ojituksen vesistövaikutukset tunnetaan verraten hyvin. Selvästi vähemmän on tutkittu lannoituksen ja erityisesti hakkuun vaikutuksia ravinnehuhtoumiin. Esimerkiksi kasvatushakkuiden huuhtoutumisvaikutuksia ei ole tutkittu lainkaan.

Metsänuudistamisen vaikutus ravinnehuhtoumiin

Metsänuudistamisen vaikutuksia ravinnehuhtoumiin reheviltä, kuusta kasvavilta ojitusalueilta on tutkittu muutamalla koealueella Suomessa (Nieminen 1988a, b, 1999) ja Ruotsissa (Lundin 1988, 2000). Nämä tutkimukset ovat yhtäpitävästi osoittaneet, että erityisesti liuenneen orgaanisen aineen (DOC) ja ammoniumtyypen huuhtoumat kasvavat uudistamishakkuun jälkeen (taulukot 1 ja 2). Myös kokonaistypen, liuenneen orgaanisen typen ja nitraattityypen pitoisuudet va-

lumavesissä yleensä kasvavat selvästi. Kuitenkin yhdellä valuma-alueella Ruotsissa (Uppland) avohakkuu ja sen jälkeen tehty ojitus vähensivät nitraattityypen ja kokonaistypen pitoisuuksia valumavedessä. On kuitenkin otettava huomioon, että pitoisuuksien vähenemisestä huolimatta ainekuormitus vesistöön (laskettuna kg ha⁻¹) voi pysyä ennallaan tai jopa kasvaa uudistamisen jälkeen. Tämä johtuu siitä, että

Taulukko 1. Keskimääräiset valunnan ainepitoisuudet (mg l⁻¹) ennen (E=1992–1993) ja jälkeen (J=1994–1996) avohakkuun Ruotsinkylässä ja Vesijaolla. Uudistamisalueet olivat kuusivaltaisia ja viljavuudeltaan ravinteikkaita (Nieminen 1988a, b, 1999).

		Ruotsinkylä	Vesijako
Kiintoaine	E	1,91	2,23
	J	1,97	1,93
DOC	E	11,3	29,0
	J	24,5	53,8
N _{org}	E	0,23	0,62
	J	0,55	1,14
NH ₄ ⁺ -N	E	0,02	0,02
	J	0,11	0,33
NO ₃ ⁻ -N	E	0,01	0,02
	J	0,09	0,12

uudistamishakkuut lisäävät valunutta. Vuosivalunnan lisäys on yleensä 5-10 mm hehtaarilta poistettua kymmentä puukuutiometriä kohden.

Myös raudan pitoisuudet valumavedessä näyttäisivät selvästi kasvavan rehevien korpisoiden uudistamisessa (taulukko 2). Kuusikoiden uudistaminen ei suomalaisilla tutkimusalueilla lisännyt fosforin pitoisuuksia valumavesissä (Vesijako ja Ruotsinkylä taulukossa 4), ja ruotsalaisilla alueillakin pitoisuuksien nousu oli vähäistä (+3-12 µg P l⁻¹; taulukko 2). Suojuspuuhakkuu ei osoittautunut pelkkää avohakkuuta ja avohakkuu + ojitus -käsitteilyä paremmaksi uudistamismenetelmäksi vesistöjen kannalta (taulukko 2).

Karuilla, mäntyä kasvavilla uudistamisalueilla muutokset liuenneen orgaanisen aineen (DOC) ja orgaanisen typen huuhtoumissa jäivät avohakkuun jälkeen selvästi pienemmiksi kuin rehevissä korpimetsissä (taulukko 3). Ammonium- ja nitraattityppeäkin huuhtoutui viljavuudeltaan karuilta soilta vain siinä tapauksessa, että alueet oli avohakkuun yhteydessä ojitustamattain. Sen sijaan fosforin huuhtoutuminen lisääntyi karuilla, mäntyä kasvavilta soilta huomattavasti (taulukko 4; Vilppulan alueet I-III). Tähän on todennäköisenä syynä se, että näillä alueilla fosforia sitovien alumiini- ja rautayhdisteiden määrä turpeessa oli hyvin vähäinen (Nieminen 2001). Siten hakkuussa vapautunut

Taulukko 2. Valumaveden ainepitoisuudet kahdella alueella (Uppland, Dalarna) Keski-Ruotsissa ensimmäisenä kolmena vuotena uudistamisen jälkeen (I) ja 4-5 vuotta uudistamistoimenpiteistä (II). Käsitteilyt ovat avohakkuu (AH), avohakkuu ja ojitus (AH + O) ja suojuspuuhakkuu (SH). E = pitoisuusmuutos kontrollialueisiin verrattuna. Alueet olivat kuusivaltaisia ja viljavuudeltaan reheviä (Lundin 2000).

		Uppland						Dalarna					
		AH	E	AH+O	E	SH	E	AH	E	AH+O	E	SH	E
DOC, mg l ⁻¹	I	47	+21	36	+5	22	+6	17	+3	14	+6	25	+5
	II	42	+15	39	0	26	+6						
Fe, mg l ⁻¹	I	0,6	+0,4	0,1	0,0	0,3	+0,1	0,8	+0,2	0,8	+0,6	0,5	+0,1
	II	0,9	+0,5	0,3	+0,1	0,4	+0,1						
Tot-P, µg l ⁻¹	I	28	+10	18	+3	15	+4	15	+5	12	+12	13	+4
	II	20	+10	17	+3	13	+3						
NH ₄ -N, mg l ⁻¹	I	0,06	+0,03	0,08	+0,01	0,04	0,00	0,05	+0,01	0,47	+0,40	0,04	+0,01
	II	0,02	0,00	0,05	+0,01	0,03	0,00						
NO ₃ -N, mg l ⁻¹	I	0,59	+0,15	0,43	-0,01	0,33	+0,14	0,01	0,00	0,63	+0,60	0,01	+0,01
	II	0,36	+0,06	0,27	-0,35	0,42	+0,17						
Tot-N, mg l ⁻¹	I	2,7	+0,5	2,8	-0,7	2,2	+0,20	0,7	+0,20	1,8	+1,1	1,3	+0,2
	II	2,1	+0,4	2,0	-0,8	1,9	+0,40						

fosfori ei sitoutunut maahan, kuten todennäköisesti tapahtuu paljon alumiinia ja rautaa sisältävillä kasvupaikoilla.

Mikäli ojitusalueet hakataan talvella maan ollessa roudassa, eroosio eli kiintoaineen huuhtoutuminen ei yleensä lisääntynyt. Maanmuokkauksena tehtävä ojitusmätätys saattaa kuitenkin huomattavasti lisätä kiintoainekuormitusta. Näin on etenkin silloin, kun mätätysojat kaivetaan niin syviksi, että ne ulottuvat turpeen alla olevaan kivennäismaahan (alue IV taulukossa 3).

Lannoituksen vaikutus ravinnehuuhtoumiin

Typpilannoitus ei lisää typen huuhtoutumista, mikäli lannoitteena käytetään ureaa, ja lannoitus tehdään sulaan maahan (Nieminen & Ahti 1993). Sen sijaan talvilannoituksessa urean tyyppiä huuhtoutuu. Ammoniumnitraattia sisältävistä lannoitteista tyyppiä voi huuhtoutua voimakkaasti kesälannoituksessakin (Lundin & Bergquist 1985).

Samoin kuin hakkuu myös fosforilannoitus lisää fosforin huuhtoutumista karuulta, alumiini- ja rautaköyhiltä soilta. Huuhtoutuminen on erityisen suurta vesiliukoista fosforia sisältävistä lannoitteista heti lannoituksen jäl-

Taulukko 3. Keskimääräiset valunnan ainepitoisuudet (mg l^{-1}) ennen (E=1994) ja jälkeen (J=1995–1996) uudistamistoimenpiteiden Vilppulassa. *NS* tarkoittaa, että ainepitoisuus ennen ja jälkeen uudistamisen ei eroa tilastollisesti merkitsevästi ($p > 0.05$). Käsittelyt olivat avohakkuu (AH), avohakkuu ja mätätys (AH + M) ja avohakkuu ja ojitusmätätys (AH + OM). Alueella II mätätysojat ovat kokonaan turpeessa, alueella IV ojat ulottuvat turpeen alaiseen kivennäismaahan. Alueet ovat mäntyvaltaisia ja viljavuudeltaan karuja (Nieminen 1988b, 1999, 2001).

	Alue	I	II	III	IV
		AH	AH+OM	AH+M	AH+OM
Kiintoaine	E	5,62	3,03	3,75	3,56
	J	1,46 <i>NS</i>	1,31 <i>NS</i>	0,91 <i>NS</i>	15,95
DOC	E	65,6	60,2	39,9	37,2
	J	63,4 <i>NS</i>	62,9 <i>NS</i>	40,5 <i>NS</i>	42,3 <i>NS</i>
N _{org}	E	0,99	0,94	0,64	0,68
	J	0,93 <i>NS</i>	0,98 <i>NS</i>	0,62 <i>NS</i>	0,86 <i>NS</i>
NH ₄ ⁺ -N	E	0,009	0,011	0,001	0,004
	J	0,013 <i>NS</i>	0,090	0,002 <i>NS</i>	0,126
NO ₃ ⁻ -N	E	0,002	0,000	0,000	0,000
	J	0,009 <i>NS</i>	0,016	0,002 <i>NS</i>	0,118

keen (Nieminen & Ahti 1993). Hidasliukoisia lannoitteita käytettäessä fosforia alkaa huuhtoutua vasta 1-2 vuoden kuluttua lannoituksesta (Ahti 1983). Huuhtoutuminen jatkuu kuitenkin pitkään, eikä pitkällä tähtäimellä nopea- ja hidasliukoisten lannoitteiden välillä liene merkittävää eroa kokonaishuuhtoumissa (Nieminen 2000).

Hakkuu ja lannoitus suopohjilla

Puuston kasvatus suopohjilla tulee aiheuttamaan hyvin samansuuntaisia vesistövaikutuksia kuin metsätalous varsinaisilla ojitusalueilla. Voimakkaasti turpeen alaista kivennäismaata rikkoivat tai turvetta ja kivennäismaata se-

koittavat maanmuokkausmenetelmät voivat siten aiheuttaa kiintoainekuorituksen lisääntymistä. Toisaalta pinta- turpeen sekoittaminen alumiini- ja rautapitoisen kivennäismaan kanssa voi vähentää lannoituksen ja hakkuiden fosforikuormitusta. Hakkuut voivat lisätä typpikuormitusta etenkin alueilla, joilla turpeen typpipitoisuus on korkea. Liunneen orgaanisen aineen huuhtoutuminen on yleensä suurta paksuturpeisilta soilta pohjavesipinnan ollessa korkealla. Siten liunneen orgaanisen aineen huuhtoutuminen ei ohutturpeisilla ja tehokkaasti ojitetuilla suopohjilla lisääntyne hakkuiden jälkeen samassa määrin kuin varsinaisilla ojitusalueilla.

Taulukko 4. Keskimääräiset valumaveden fosfaattipitoisuudet (mg l^{-1}) ennen (E) ja jälkeen (J) metsänuudistamisen kuudella ojitusalueella sekä alueiden pinta- turpeen (0-10 cm) rauta- ja alumiinipitoisuudet. Fosforin huuhtoutuminen on lisääntynyt vain niiltä alueilta (Vilppula I, II, III), joiden pintaturpeessa on vähän alumiinia ja rautaa.

Alue/Suotyyppi	$\text{PO}_4^{3-} \text{ P}$		Fe mg kg^{-1}	Al mg kg^{-1}
	E	J		
Ruotsinkylä / Rhtkg	0,01	0,00	4841	2460
Vesijako / Mtkg	0,00	0,00	4330	1880
Vilppula I / Vatk	0,00	0,23	996	629
Vilppula II / Vatk	0,00	0,12	945	847
Vilppula III / Vatk	0,00	0,04	1101	861
Vilppula IV Ptkg	0,00	0,00	3285	1307

Kirjallisuus

- Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 111: 1-20.
- Lundin, L. 1988. Alternative peatland forestry; impacts on hydrology and surface water chemistry. Teoksessa: Sopo, R. (toim.). Proceedings of the International Peat Symposium, The Spirit of Peatlands, Jyväskylä, Finland 7-9 September, 1998. s. 76-78.
- Lundin, L. 2000. Water environment care at peatland forestry practices. Teoksessa: Rochefort, L. & Daigle, J-Y. (toim.). Sustaining our peatlands. Proceedings of the 11th International Peat Congress, Quebec City, Canada August 6-12, 2000. Volume II. s. 952-961.
- Lundin, L. & Bergquist, B. 1985. Peatland fertilization. Short-term chemical effects of runoff water. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forestry. 17 s. *Studia Forestalia Suecica*, no. 171.
- Nieminen, M. 1998a. Changes in nitrogen cycling following the clearcutting of drained peatland forests in southern Finland. *Boreal Env. Res.* 3: 9-21.
- Nieminen, M. 1998b. Effect of clearcutting and site preparation on leaching from drained peatland forests. Teoksessa: Sopo, R. (toim.). Proceedings of the International Peat Symposium, The Spirit of Peatlands, Jyväskylä, Finland 7-9 September, 1998. s. 84-86.
- Nieminen, M. 1999. Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus valumaveden laatuun vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessä 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 745: 103-107.
- Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained peatland forests: empirical studies and modelling. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 756: 50 s. + liitteet.
- Nieminen, M. 2001. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. (Käsikirjoitus lähetetty *Boreal Environment Research* – sarjaan).
- Nieminen, M. & Ahti, E. 1993. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta. *Folia Forestalia* 814: 1-22.

Ojitettujen metsämaiden merkitys vesistöjen potentiaalisessa ravinnekuormituksessa

Kaarle Kenttämies

Suomen ympäristökeskus
PL 140, 00251 Helsinki
kaarle.kenttamies@vyh.fi



Metsätaloudessa tulee tyypillistä vesistöjen hajakuormitusta, jonka suuruuden määrittäminen on mahdollista vain mallintamalla. Tuloksen oikeellisuus on siis jossain määrin altista spekuloinneille ja varauksille! Kaksoiskalibroinnin avulla (toimenpidealueen ja kontrollialueen yhteys luodaan regressiolla, ja toimenpiteen vaikutus arvioidaan mallinnetun ja havaitun kuormituksen erotuksena toimenpiteen jälkeen) saadut metsätalouden toimenpiteiden ominaiskuormitusarvot ovat tieteellisesti arvostettuja. Niiden tuottaminen on kuitenkin kovin hidasta ja resursseja vaativaa.

Ominaiskuormitusarvojen alueellistaminen ei sekään ole yksinkertaista, koska ensinnäkin huuhtoutumiseen vaikuttavia monia tekijöitä ei kyetä analysoimaan kalibroiduilta tutkimusalueiltakaan, ja toiseksi keskeisistä alueja kuormitustekijöistä ei ole olemassa alueellistettuja tietoja. Esimerkkinä jälkimmäisenä mainituista puutteista ovat metsätalastot, jotka ovat keskittyneet alan omaan, vuosien varrella moneen kertaan muuttuneeseen hallintoaluejakoon. Aineisto ei sellaisenaan sovellu luonnontieteellisten ilmasto-, kasvillisuus- tai vesistöaluejakojen pohjalta tehtäviin laskelmiin, koska paikkatieto on hylätty jo aiemmissa keräysvaiheissa.

Ojitetuilta metsämailta tulee merkittävä, monilla alueilla pääosa metsätalouden ravinnekuormituksesta vesistöihin. Kuormitus oli maksimissaan 1978-1985 vilkkaimman ojitus- ja lannoitusjakson aikana. Esimerkiksi vuonna 1997 potentiaalisten kuormituslaskelmien mukainen ojitusten ja turvemaiden fosforilannoitusten fosforihuuhtoutuma oli koko maassa 42% metsätalouden toimenpiteiden aiheuttamasta kokonaishuuhtoutumasta. Vielä vuonna 1993 oli vastaava osuus 48% (Kenttämies & Alatalo 1999). Ojitusmätätettyjen alojen kuormitus ei ole näissä luvuissa mukana. Ojituksella tuotettavan puun ekotase on näiltä osin huonompi kuin kivennäismailla.

Eri toimenpiteiden ominaiskuormituksesta on olemassa erilaisia tuloksia. Eräs ongelmallinen arvioitava on ojitus ja kunnostusojitus. Useat ojituksen kuormitusarvot on tehty sillä oletuksella että kuormitus pienenee takaisin luonnotilan tasoon jonkun ajanjakson kuluttua. Mikäli kokeissa ei olekaan tapahtunut tätä, saadaan kunnostusojitukselle tavallaan liian pieni ominaiskuormitus, vaikka todellinen virhe onkin tehty ojituksen vaikutuskeston arvioinnissa

Suurempien vesistöalueiden kuormituslaskenta on työläs prosessi erityisesti hajakuormituksen osalta. Koordinaattipohjaisen maankäyttötiedon käyttö helpottaa perusaineiston kokonaisuutta, joskin eri kuormittajat joudutaan edelleen arvioimaan ominaiskuormitustietoihin perustuen. Esimerkkinä tämäntyyppisen laskentamenetelmän soveltamisesta esitetään Oulujoen vesistöalueen kuormitusmallinnus (Kenttämies & Vilhunen 1999). Eri-laisia turvemaita on valuma-alueesta n. 28%. Turvemaiden ojituksen osuus vesistön typpikuormasta on malliarvon mukaan n. 4%, josta metsäojituksen osuus on 75% ja turvetuotannon 25%. Kokonaistyyppikuormituksesta metsäojitukset vastaavat 3% ja turvetuotanto 1%. Harvaanasutuilla mutta intensiivisen metsätalouden alueilla voi metsätalouden suhteellinen osuus kuormituksesta nousta 30-40%:iin. Oulujoen tapauksessa hakkuiden osuus metsätalouden kuormituksesta on tärkeämpi kuin ojituksen.

Kirjallisuus

- Kenttämies, K. & Vilhunen, O. 1999. Metsätalouden fosfori- ja typpikuormitus vesistöihin vuosina 1977 - 1996 ja arvio kuormituksen kehittymisestä vuoteen 2005 erityisesti Oulujärven vesistöalueella. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745. s. 115-126.
- Kenttämies, K. & Alatalo, M. 1999. Metsätalouden toimenpiteiden aiheuttama kasvinravinteiden huuhtoutuminen ja kansallisen metsäohjelman suositustason vaikutus siihen. Liite julkaisussa: Hilden, M., Kuuluvainen, J., Ollikainen, M., Pelkonen, P. & Primmer, E. Kansallisen metsäohjelman ympäristövaikutusten arviointi. Loppuraportti 17.9.1999. Maa- ja metsätalousministeriö.

Kuormitustarkkailu metsähiisi-projektin koekohteilla

Jari Marja-aho

Vapo Oy Energia
PL 22, 40101 Jyväskylä
jari.marja-aho@vapo.fi

Luonnosta ihmisen parhaaksi

 **VAPPO OY Energia**

Johdanto

Suopohjia on vapautunut turvetuotannosta noin 10 000 ha ja määrä lisääntyy noin 2 500 ha:n vuosivauhtia. Merkittävä osa suopohjista siirtyy metsätaloukseen. Turvetuotannosta vapautuvien suopohjien metsittämistä hiilinieluisiksi selvittävä tutkimus eli **Metsähiisi-projekti** käynnistyi syksyllä 2000. Projektin päärahoittaja on Vapo Oy ja se toteutetaan yhteistyössä mm. Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusaseman kanssa.

Projektin päätavoitteita ovat:

- Kehittää teknistaloudellinen menetelmä suopohjien metsittämiseen
- Selvittää metsittävien suopohjien hiilivirtoja ja hiilen mittaamenetelmiä
- Selvittää metsittämisen ympäristövaikutuksia

Kuormitustarkkailun tavoitteet ja toteutus

Turvetuotantoalueiden vesistökuormituksesta on runsaasti tutkittua tietoa, mutta suopohjien metsittämisen vaikutuksesta kuormitukseen ei tunneta. Metsitys on kuitenkin yleisin suopohjien jälkikäyttömuoto. Metsittämisen yhteydessä maata yleensä muokataan

joko vesitalouden tai ravintetaso- n parantamiseksi. Ravinteita voidaan lisätä myös lannoituksella. Nämä toimenpiteet voivat lisätä alueen vesistökuormitusta. Tämän projektin yhtenä tavoitteena on selvittää metsitetyn suopohjan ainekuormitusta mm. vesiensuojelurakenteiden tarpeellisuuden kannalta.

Koalueita on yhteensä neljä joista kaksi on ”vanhoja” ja toiset kaksi projektin aikana metsitettäviä alueita. Vanhat alueet sijaitsevat Vaalan Pelsonsuolla ja Limingan Hirvinevalla. Uudet seurantakohteet sijaitsevat Yliin Pyöreäsuolla sekä Limingan Hirvinevalla.

Alueille on järjestetty säännöllinen veden laadun analysointi sekä jatkuva toiminen virtaaman mittaus. Valumavedestä määritetään alkaliniteetti, johdotkyky, pH, kemiallinen hapenkulutus, väri ja kiintoaine, sekä ammoniumtyp- pi-, nitraattityppi-, kokonaistyp- pi-, fosfaattifosfori-, kokonaisfosfori-, rauta- ja sulfaattipitoisuus. Uusilla kohteilla analysoidaan myös hiilen (TOC) määrä. Analysoinnista vastaa Metlan Muhoksen tutkimusaseman laboratorio.

Luotettavien tietojen saanti suopohjan metsityksen aiheuttamista kuormitus-

muutoksista edellyttäisi ns. kalibrointikausi-vertailualueen menetelmän käyttöä, jossa muutaman vuoden ennako-seurannan jälkeen toinen tutkimusalue metsitetään toisen jäädessä koskemattomaksi. Valitettavasti tällaisen koejärjestelyn vaatima aika on liian pitkä tämän projektin puitteissa toteutettavaksi. Uusilla metsityskohteilla on kuitenkin mahdollista seurata ainekuormituksen kehittymistä välittömästi metsitystoimenpiteiden suorittamisesta lähtien. Lisäksi Pyöreäsuolle perustetaan vertailualue, jolla turvetuotanto on juuri päätymässä. Kuormitustarkkailu aloitettiin vanhoilla kohteilla kesällä 2000 ja uusilla kohteilla keväällä 2001.

Tuloksia

Kahden ”vanhan” metsitysalueen veden laatua ja ainekuormitusta seurattiin kesä - lokakuussa v. 2000. Molemmat alueet ovat tutkimustarkoituksiin perustettuja kenttiä, joissa on runsaasti erilaisilla ojitus/viljely/lannoitustavoilla perustettuja koeruutuja toistoi-neen.

Pelsonsuon metsitysalue perustettiin v. 1994-95. Turpeen paksuus on keskimäärin 10-30 cm ja pohjamaa on ”rokualaista” hiekkaa. Tarkkailussa olevan alueen pinta-ala on 14 ha. Alue on ojitettu/mätästetty 16 ja 40 m:n sarkavälein ja puusto koostuu istutetuista sekä kylvetyistä männyistä, hies- ja rauduskoivuista. Lannoituksena annettiin metsän PK-lannosta laikkuina 45g/viljelypiste. Osalle aluetta annettiin lisäksi biotiittia.

Hirvinevan koe perustettiin v. 1986-87. Tarkkailualueen pinta-ala on 6,2 ha. Alue on ojitettu/mätästetty 15 ja 40 m:n

sarkavälein. Puustona on istutettuja ja kylvettyjä mäntyjä sekä hies- ja rauduskoivuja. Alkulannoitus (suom. PK) annettiin hajaleivityksenä 425 kg/ha sekä laikkulannoituksena 20g/viljelypiste.

Taulukossa 1 on verrattu koealueiden keskimääräistä veden laatua Pohjois-Pohjanmaan turvetuotantoalueilta ja luonnontilaiselta suolta (Joutensuo, Vuolijoki) samaan aikaan valuvan veden laatuun. Vertailutietoina esitetään myös keskilukuja turvevaltaisten pienten valuma-alueiden veden laadusta (Saukkonen & Kortelainen 1995, Joensuu ym. 1999).

Tämän aineiston mukaan metsitettyjen suopohjien valumavesissä oli runsaasti kiintoainetta ja ravinteita (fosforia ja typpeä). Pitoisuudet olivat suurempia kuin turvevaltaisten metsätalousalueiden valumavesissä keskimäärin ja samaa luokkaa tai suurempia kuin turvetuotantoalueiden kuivatusvesissä samaan aikaan. Humupitoisuus (COD_{Mn}) oli koealueilla alhaisempi kuin vertailuaineistossa jopa luonnontilainen Joutensuo huomioiden. Rautapitoisuudet olivat samaa tasoa kuin turvevaltaisilla metsätalousmailla ja samalla alhaisempia kuin turvetuotantoalueilla. Hirvinevan suopohjan valumaveden korkea sulfaattipitoisuus johtuu alueella esiintyvien sulfidipitoisten savimaiden vaikutuksesta.

Yhteen tunnuslukuun perustuvaan tarkasteluun täytyy suhtautua varauksella, sillä osa vertailuaineistosta on kerätty eri vuosilta ja vedenlaatutuloksissa eri alueiden välillä esiintyy suurta hajontaa. Tulosten edustavuus ja vertailukelpoisuus paranevat tutkimuksen aikana.

Taulukko 1. Suopohjalle perustettujen metsitysalueiden valumaveden laatu verrattuna turvetuotantoalueiden, turvevaltaisten metsätalousmaiden sekä luonnontilaisen suon veden laatuun.

Alue	Keski- valuma l/s/km ²	Valumaveden laatu								
		ka mg/l	P-kok ug/l	PO ₄ -P ug/l	N-kok ug/l	NH ₄ -N ug/l	NO ₃ -N ug/l	COD _{Mn} mg/l	Fe mg/l	SO ₄ -S mg/l
1)	7,3	17,2	114	95	1149	297	101	13	1,6	1,1
2)	6,2	13,6	64	39	1559	132	490	18	1,2	33,5
3)*	10,0	6,1	62	29	1400	320	96**	33	4,2	
4)***		4,9	56		740	42	58	41****	1,6	
5)****		3,5	28	9	630	84	49	27	1,9	3,2
6)	5,2	2,8	15	3	509	62		21	2,1	

Alueet ja tarkkailujakso

1) Pelsonsuon metsitysalue 7.6.-31.10.2000

2) Hirvinevan metsitysalue 7.6.-16.10.2000

3) Turvetuotantoalue (20 kpl) 15.5.-18.9.2000

4) Vanha metsäojitusalue (75 kpl) *** 1990-93

5) Turvevaltainen metsätalousmaa (13 kpl) **** 1962-92

6) Joutensuo, luonnontilainen 22.5.-21.9.2000

* PSV-Maa ja vesi 2001. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen alueen turvetuotantosoiden käyttö- ja kuormitustarkkailu vuonna 2000.

Velvoitetarkkailuraportti P00309/7.2.2001, 71s + liitteet.

** analyysi NO_{2,3}-N

*** Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. Vanhoilta metsäojitusalueilta valuvan veden kemialliset ominaisuudet. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. s. 63-78.

**** Saukkonen & Kortelainen 1995. Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus ravinteiden ja orgaanisen hiilen huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 15-32.

***** laskettu kertomalla KMnO₄-arvo luvulla 0,253 (esim. Seppänen, H. 1984. Sovellettu limnologia I, Espoo).

Metsätaloudessa käytettävät vesiensuojelumenetelmät

Samuli Joensuu

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Soidinkuja 4, 00700 Helsinki
samuli.joensuu@tapio.mailnet.fi



Haasteellinen vesiensuojelun tavoiteohjelma

Valtioneuvoston hyväksymän vesiensuojelun tavoiteohjelman mukaan metsätalouden tulisi puolittaa typpi- ja fosforipäästönsä vuoden 1993 tasosta vuoteen 2005 mennessä (Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005). Toisaalta muun muassa kunnostusojitusten määrää lisätään Kansallisen metsäohjelman 2010 mukaan nykyisestä noin 75 000 hehtaarista 110 000 hehtaariin vuodessa ja vuotuista lannoitusten määrää nykyisestä runsaalla 5000 hehtaarilla (Maa- ja metsätalousministeriö 1999).

Vesistöjen suurimmat kuormittajat ovat maatalous, yhdyskunnat, haja-asutus, teollisuus, metsätalous ja kalankasvatus. Metsätalouden aiheuttama kuormitus näkyy eniten latvavesissä, lähellä kuormituslähdeä. Metsätalouden osuuden Itämereen tulevasta ihmistoiminnan aiheuttamasta kokonaisfosforikuormituksesta arvioitiin vuosina 1991-1996 olevan noin 20% ja kokonaistyppiikuormituksesta noin 4%. Vastaavasti esimerkiksi maatalouden osuuden Itämereen tulevasta kokonaisfosforikuormituksesta arvioitiin olevan noin 45% ja kokonaistyppiikuormituksesta noin 41% (Kauppila & Bäck 2001). Kansallisen metsäohjel-

man ympäristövaikutusten arvioinnissa (Hildén ym. 1999) on esitetty, että metsätalouden osalta jopa puolet vesiensuojelun tavoiteohjelman mukaisesta fosforin alentamistavoitteesta voidaan saavuttaa tehostamalla kunnostusojituksen vesiensuojelutoimenpiteitä. Muu osa vesiensuojelun tavoitteiden toteutumisesta riippuu hakkuiden, maanmuokkauksen ja muiden metsänhoitotöiden toteutustavasta. Tavoitteiden toteutuminen edellyttää sitä, että vesiensuojelu saadaan olennaiseksi osaksi kaikkia metsätaloustoimenpiteitä.

Nykyiset valtakunnalliset metsänhoitosuosituks (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2001) ja metsätalouden eri organisaatioissa erityisesti kunnostusojitusta varten laaditut ohjeistot korostavat vesiensuojelua (Esim. Enso-Gutzeit Oy 1994, Hänninen ym.1996, Metsähallitus 1997, Joensuu 1999). Kunnostusojituksessa tehtävien vesiensuojelutoimenpiteiden tavoitteena on, että ojaeroosiota on mahdollisimman vähän ja että veden mukana kulkevasta kiintoaineksesta saadaan mahdollisimman paljon pysäytetyksi ennen kuin vedet virtaavat vesistöön. Tavoitteena on, että myös kunnostusojituksen aiheuttamaa ravinnekuormitusta saadaan vähennetyksi (Joensuu 1999).

Vesiensuojelumenetelmät

Metsätaloudessa yleisesti käytettäviä vesiensuojelumenetelmiä ovat ojien pituuskaltevuuden säätely eli suuntaus, perkaus- ja kaivukatkot, porrastukset, pohjapadot, pintavalutuskentät, suojavaöhykkeet, lietekuopat ja laskeutusaltat. Vaikka kyseiset menetelmät ovat lähinnä kunnostusojitukseen alun perin kehitettyjä, niitä voidaan soveltaen käyttää kaikissa muissakin metsätalouden toimissa kuten metsänuudistamisessa, maanmuokkauksessa ja lannoituksessa.

Kunnostusojitusta suunniteltaessa hyödynnetään yleensä uudisojitusvaiheen kokemukset. Esimerkiksi syöpyneitä ojia ei kunnostusojituksen yhteydessä perata, koska ne ovat jo riittävän syviä ja perkaus todennäköisesti lisää syöpymistä. Laskuojat jätetään melko usein perkaamatta, mikäli arvioidaan, että niiden vedenjohtokyky on säilynyt riittävän hyvänä. Alavien rantojen tulva-alueet jätetään yleensä ojitamatta, koska vedenpinnan vaihtelu saattaa huuhtoa maa-aineksia ojista vesistöön.

Kunnostusojitushankkeen suunnittelussa selvitetään ojitusalueella mahdollisesti olevat pohjavesialueet, arvokkaat pienvedet, lähteet ja muut ojituksessa huomioon otettavat kohteet. Tärkeää on määrittää ojitusvesien purkukohtien ja sopivien pintavalutus kenttien ja laskeutusaltaiden sijoituspaikat. Kunnostusojitussuunnitelmaa laadittaessa on syytä ottaa huomioon myös se, että vesistön pinnankorkeuden muuttuminen ja puron perkaus edellyttävät vesioikeuden lupaa.

Ojaeroosioon vaikuttavat lähinnä ojien pituuskaltevuus, veden virtausnopeus, maalaji sekä ojakohtaisen veden määrä eli virtaama. Veden virtausnopeuteen voidaan vaikuttaa suuntaamalla ojat siten, ettei niiden pituuskaltevuus ole liian suuri, sekä jättämällä ojaan kaivu- tai perkauskatkoja tai rakentamalla ojien pohjille porrastuksia ja pohjapatoja. Syöpymisen vähentämisen lisäksi kyseiset rakennelmat keräävät valumavedestä ainakin kärkeä kiintoainesta. Ojaeroosio on yleensä suurinta lasku- ja kokoojajoissa suurten virtaamien aiheuttaman ojien syöpymisen takia. Laskuojien perkaamatta jättämistä kannattaa siis aina harkita suunnittelun yhteydessä. Toisaalta turpeen painumisesta johtuva ojien ulottuminen kunnostusojituksen yhteydessä kivennäismaahan saakka aiheuttaa eroosion lisääntymistä uudisojitukseen verrattuna. Erityisesti kaltevilla ja eroosioherkillä maillo syvien ojien kaivamista tulee välttää.

Pintavalutuskenttiä ja suoimeytystä on aikaisemmin käytetty lähinnä asutuksen jätevesien puhdistukseen. Pintavalutusta on sovellettu jo pitkään myös turvetuotantoalueiden vesiensuojelumenetelmänä (Ihme ym. 1991a). Sen on todettu olevan tehokas menetelmä erityisesti veden mukana kulkeutuvan kiintoaineksen pidättäjänä sekä kiintoainekseen sitoutuneiden- ja jossakin määrin myös liuenneiden ravinteiden vähentäjänä. Turvesoilla tarvittavien pintavalutus kenttien mitoitusvaatimuksena on esitetty 3,8% valuma-alueen pinta-alasta (Ihme 1994). Suodatuksen perustuvia menetelmiä, kuten pintavalutus kenttiä ja suojavaöhykkeitä käytetään myös kunnostusojituksen vesiensuojelussa. Mitoitusohjeissa

pintavalutuskentän pinta-alatarve on arvioitu pienemmäksi kuin turpeenkorjuualueilla, 1-2% valuma-alueen pinta-alasta (Joensuu 1999). Seurantatulosten perusteella hyvissä olosuhteissa päästään jopa 70-90%:n kiintoaineen pidätystehoon. Samalla saadaan talteen kiintoainekseen sitoutuneita ravinteita. Valumavesien tasaisa jakautumista pintavalutuskentille voidaan parantaa johtamalla vedet kamman muotoisen syöttö-ojan kautta. Pintavalutuskentän yläpuolelle voidaan kaivaa lisäksi laskeutusallas keräämään karkeata kiintoainesta. Pintavalutuskentät pidättävät hienojakoista kiintoainesta huomattavasti paremmin kuin laskeutusaltaat. Pintavalutuksen mahdollisia haittoja ovat valumaveden humuspitoisuuden ja happamuuden lisääntyminen.

Suotautumisalueita (suojavyöhykkeitä ja pintavalutuskenttiä) voidaan käyttää myös ehkäisemään hakkuiden aiheuttamia vesistövaikutuksia. Hakkuiden ajoitus talvikauteen jo itsessään estää kiintoainehuuhtoutumia. Soilla kokopuukorjuu saattaa vähentää hakuutähteiden hajoamisessa vapautuvan fosforin huuhtoutumaa, mutta menetelmän ongelmana on kalin puutteen todennäköinen lisääntyminen.

Lietekuoppia ja laskeutusaltaita kaivetaan kunnostusojitushankkeilla vähentämään ojankaivusta aiheutuvien lietteiden kulkeutumista vesistöihin. Laskeutusaltaat ja lietekuopat ovat pintavalutuksen ohella käyttökelpoisia myös maanmuokkauksen, erityisesti ojitismätästyksen vesiensuojelussa. Lietekuopat ovat pieniä, 1-2 m³ suuruisia, kuivatusjakohtaisia kuoppia, joilla kerätään vain työaikaista kuiva-

tusojasta tulevaa lietettä. Lietekuoppia ei ole tarkoitettu tyhjennettäviksi. Lietekuoppien tehosta ei ole tutkimustuloksia. Laskeutusaltailla kerätään laajalta ojustokokonaisuudelta tulevia lietteitä. Myöhemmän tyhjentämisen helpottamiseksi altaat pitäisi kaivaa yleensä kulkuyhteyden varteen. Laskeutusaltaiden toiminta perustuu veden virtausnopeuden hidastumiseen ja veden mukana kulkeutuvan kiintoaineksen laskeutumiseen altaan pohjalle. Riittävän tehokkuuden saavuttamiseksi laskeutusaltaiden mitoituksessa tulisi ottaa huomioon valunta, ojitusalueen koko sekä laskuojan pohjamaalaji. Yleisesti arvioidaan, että vesiensuojelumenetelmää kohti tuleva valuma-alueen koko saisi olla enintään 50 hehtaaria, jotta virtaama olisi kevättulvienkin aikana hallittavissa. Tämän hetkisen karkean arvion mukaan laskeutusaltaan pinta-alan tulisi olla vähintään 3-8 m²/valuma-aluehehtaari ja altaan lietetilavuuden 2-5 m³/valuma-aluehehtaari (Joensuu 1999). Turpeenkorjuualueilla laskeutusaltaiden mitoitus tähtää suurempiin altaisiin kuin metsäojitusalueilla on totuttu ja altaiden mitoitus perustuu 3 l s⁻¹ ha⁻¹ mitoitusvalumaan ja yhden tunnin viipymään (Aho & Kantola 1985, Ihme ym. 1991b, Sallantaus 1983, 1986, 1987, Selin & Kaunismaa 1985, Selin & Koskinen 1985).

Vesiensuojelumenetelmien jatkuva kehittäminen tarpeen

Viime vuosikymmenen alussa käynnistetty metsätalouden vesistöhaittoja ja niiden torjuntaa selvittänyt laaja projekti (METVE) saavutti hyviä tuloksia. Alan tutkimus- ja kehitystyö ei saisi kuitenkaan pysähtyä, koska ym-

päristökysymykset kytkeytyvät jatkossa entistä tiiviimmin metsätalouden toimiin. Emme vieläkään tarkkaan tunne erilaisten vesiensuojelutoimenpiteiden perimmäisiä kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia prosesseja.

Tällä hetkellä kunnostusojituksen vaikutuksista on seurantatietoa. Kunnostusojituksen pahimpana vesistöhaittana pidetään ojien syöpmisestä aiheutuvaa kiintoainepitoisuuden kasvua ojitusalueiden alapuolisissa vesistöissä (Nieminen & Ahti 2000). Eroosioherkkään maa-ainekseen kuten hiekkaan, hietaan tai hiesuun kaivetuista ojista huuhtoutuu huomattava määrä kiintoainesta useita vuosia ojituksen jälkeen. Sen sijaan pelkkään turpeeseen kaivetuista ojista kiintoaineksen huuhtoutuminen on erittäin vähäistä ja lyhytaikaista (Ahti ym. 1995, Joensuu ym. 1999).

Kunnostusojituksen vesiensuojelumenetelmistä: laskeutusaltaista, pintavalutuskentistä, suojakaistoista ja perkauskatkoista on alustavaa tutkimustietoa. Maanmuokkauksen aiheuttamia ympäristöhaittoja on jossakin määrin selvitetty. Samoin avohakkuun ympäristöhaittoja on selvitetty turvemaiilla ja lannoituksen aiheuttamia ravinnehuuhtoutumia on seurattu. Ajankoh- taista tutkimustietoa on myös siirretty käytännön ohjeisiin. Vesiensuojelun kehittämiseksi leimallista on tutkimusten pitkäkestoisuus.

Vesiensuojelun toimivuutta seurataan

Vesiensuojelun tasoa seurataan useilla eri menetelmillä. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio tarkastaa sovitul-

la otannalla EU-rahoitteisia- ja kansallisella rahoituksella toteutettuja kunnostusojitushankkeita (esim. Hartikainen ym. 2001). Vesiensuojelumenetelmien suunnittelun ja toteutuksen arvioiminen on tärkeä osa tätä tarkastusta. Tämän lisäksi muun muassa metsäkeskukset omiin laatujärjestelmiinsä pohjautuen tarkastavat alueellaan tekemiensä kunnostusojitus suunnitelmien laatua sekä muiden toimijoiden tekemien kunnostusojitustöiden laatua. Esimerkiksi Tapion tekemissä tarkastuksissa suodatukseseen perustuvat vesiensuojelumenetelmät (suojavyöhykkeet ja pintavalutus kentät) on yleensä arvioitu hyvin toimiviksi. Sen sijaan huomautettavaa on usein ollut sekä laskeutusaltaiden mitoituksessa että toimivuudessa.

Tapion tekemässä luontolaadun arvioinnissa tarkastetaan lähinnä pääte- hakkuiden toteutusta. Säästöpuiden ja arvokkaiden elinympäristöjen säilymi- sen ohella vesiensuojelu ja erityisesti suojakaistojen jättäminen vesistöjen varsille on olennainen osa tätä arvioin- tia. Arvioinnissa tarkastellaan erikseen puunkorjuun ja maanmuokkauksen vesiensuojelua. Arvioinnin perusteella viime vuosina sekä puunkorjuun että maanmuokkauksen vesiensuojelu on selvästi parantunut.

Edellä mainittujen lisäksi metsäsertifiointiin kuuluvissa vuosittaisissa auditoinneissa arvioidaan asiakirjojen oikeellisuuden (vesiensuojelusuunnitelma) ohella myös vesiensuojelun riittävyttä maastossa.

Koulutus ja neuvonta lisääntyvät

Vesiensuojelun korostuminen merkitsee sitä, että metsätalouden toimijoiden metsänomistajasta metsuriin, hakkuukoneen ja kaivurin kuljettajaan ja metsäammattilaiseen saakka tulisi tuntea vesiensuojelun merkitys sekä käyttää aina kohteeseen parhaiten soveltuvaa vesiensuojelumenetelmää. Tämä edellyttää jatkuvaa koulutusta ja neuvontaa sekä tutkimustiedon muokkaamista koulutusmateriaaliksi käytännön tarpeita varten.

Koulutuksen ja neuvonnan sekä ohjeistojen yhtenäistämisen tarve näkyy esimerkiksi metsäkeskusten tulevia vuosia koskevissa kehittämishankeesityksissä. Vesistökuormituksen vähentämistä ja seuranta koskevassa hanke-esityksessä tavoitteena on muun muassa ojituksen, veden laadun seurannan ja raportoinnin yhtenäinen ohjeistaminen eri ympäristökeskusten toimialueilla. Tuloksena tavoitellaan valtakunnallisesti yhtenäisiä pelisääntöjä toimittaessa vesi- ja ympäristöviranomaisten kanssa.

Suomen Itämeren suojelutyöryhmän mietintöluonnoksessa metsätalouden vesiensuojelun kehittämisen jatkotoimenpiteinä esitetään muun muassa selvitystä kansallisen metsäohjelman vaikutuksista metsätalouden ravinnekuormitukseen, tutkimuksen lisäämistä erityisesti typpi- ja fosforikuormitusta vähentävien vesiensuojelutoimien kehittämiseksi sekä vedenlaadun seurannan ja sen tuottaman tiedon hyväksikäytön lisäämistä (Ympäristöministeriö 2001).

Kirjallisuus

- Aho, M. & Kantola, K. 1985. Kiintoaineen sedimentoituminen turvetuotannon vesisssä. Summary. Sedimentation of solid matter in peat production waters. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 345: 1-56.
- Ahti, E., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1995. Laskeutusaltaiden vaikutus kunnostusojitusalueiden kiintoainehuuhtoutumaan. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti, Suomen ympäristö 2 – ympäristönsuojelu, Suomen ympäristökeskus, Helsinki. s. 139-155.
- Enso-Gutzeit Oy 1994. Metsäosasto, Metsienhoito-ohje 20.4.1994.
- Hartikainen, S., Joensuu, S., Kotiharju, A., Niemelä, H. & Ranta, R. 2001. Maastotarkastuksen ohjeet. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 73 s. + liitteet.
- Hildén, M., Kuuluvainen, J., Ollikainen, M., Pelkonen, P. & Primmer, E. 1999. Kansallisen metsäohjelman ympäristövaikutusten arviointi. Loppuraportti 17.9.1999. Maa- ja metsätalousministeriö. 76 s. + liitteet.
- Hänninen, E., Kärhä, S. & Salpakivi-Saloma 1996. Metsätalous ja vesiensuojelu. Vesien ja vesiluonnon suojelu metsätalouden töissä. Metsätehon opas. Helsinki. 23 s.
- Ihme, R. 1994. Pintavalutus turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistuksessa. Summary: Use of the overland flow wetland treatment system for the purification of runoff water from peat mining areas. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 798: 1-140.
- Ihme, R., Heikkinen, K. & Lakso, E. 1991a. The use of overland flow for the purification of runoff water from peat production areas. Publications of the Water and Environment Research Institute 9: 1-24.
- Ihme, R., Heikkinen, K. & Lakso, E. 1991b. Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä. Summary: Deve-

- lopment of the sedimentation basin structures for purifying runoff water from peat production areas. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A*, 77: 117-174.
- Joensuu, S. (toim.) 1999. Ojitettujen soiden puuntuotanto ja ympäristönhoito. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal environ. Res.* 4: 343-355.
- Kauppila, P. & Bäck, S. 2001. The state of Finnish coastal waters in the 1990s. *Suomen ympäristö* 472: 1-134.
- Maa- ja metsätalousministeriö 1999. Kansallinen metsäohjelma 2010. MMM:n julkaisuja 2/1999. 38 s.
- Metsähallitus 1997. Metsätalouden ympäristöopas. Vantaa
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2001. Hyvän metsänhoidon suositukset. Helsinki. 95 s.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 2000. Soiden metsätalouskäytön vesistövaikutukset. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2000: 321-325.
- Sallantaus, T. 1983. Turvetuotannon vesistökuormitus. Helsingin yliopisto, Limnologian laitos. Progradu-työ. Julkaisut: Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto, Helsinki. Sarja D. 29: 1-122.
- Sallantaus, T. 1986. Valtaojitus ja perkaus kiintoainekuormittajana turvetuotantoalueilla - alustavia tuloksia. *Turveteollisuus* 2: 43-53.
- Sallantaus, T. 1987. Turvetuotanto vesistöjen kuormittajana – vertailu muihin soidenkäyttömuotoihin. Helsingin yliopisto. 49 s.
- Selin, P. & Kaunismaa, P. 1985. Turvetuotantoalueen sarkaojaan rakennettavien laskeutusaltaiden toimivuus kiintoaineen pidättäjänä. Jyväskylä, Vapo Oy ja Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus. 13 s.
- Selin, P. & Koskinen, K. 1985. Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen. Summary: The effects of the sedimentation ponds on the load coming from the peat production areas to the watercourses. *Vesihallitus, tiedotus* 262: 1-112.
- Ympäristöministeriö 2001. Suomen Itämeren suojeluohjelma. Työryhmämietintö (luonnos) 19.6.2001. 105 s.
- Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005. Valtioneuvoston periaatepäätös.

Tuhka metsälannoitteena ja suonpohjan metsityskokeissa

Jorma Issakainen

Metsäntutkimuslaitos

Muhoksen tutkimusasema

Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos

jorma.issakainen@metla.fi

METLA

Taustaa

Tuhkan suotuisa vaikutus metsän kasvuun on tunnettu jo kauan. Ensimmäinen koe puutuhkalla perustettiin Muhoksella vuonna 1946 ja turvetuhkalla 1953. Nykyisin erilaisia tuhkakokeita ja havaintoaloja on Metlan Muhoksen tutkimusaseman hoidossa noin 200, viimeisin vuodelta 2001 (Issakainen ym. 1996). Ajan oloon suometsien tuhkalannoituksesta on kehittynyt käytännön toimenpide.

Turvetuotannosta vapautuneiden suonpohjien metsitystutkimusten ”vetovastuu” on ollut Metlan Parkanon tutkimusasemalla. Seurannassa on suonpohjilla 34 metsityskoetta eri puolilla Suomea. Ne on perustettu ajalla 1953-1995. Puutuhka oli mukana jo vuoden 1953 kokeessa. Vuosina 1979-1982 puu- ja turvetuhkaa käytettiin seitsemässä kokeessa Kihniössä (4) Kiuruvedellä(2) ja Haapavedellä(1) (Aro ym. 1997). Metsähiisi-projektin (Vapo/Metla) puitteissa on valmistumassa kaksi tuhkalannoituskoetta Limingan Hirvinevalle. Tässä esityksessä eivät ole mukana suonpohjien pajunviljelykokeet.

Tuhkantuottajia

Suuria puun ja turpeen tuhkan tuottajia ovat puunjalostusteollisuuden energialaitokset, turvevoimalat ja aluelämpökeskukset. Metsäenergian käyttö on nyt myötätulessa. Pietarsaaren on valmistumassa lämpövoimala, josta tulee maailman suurin bioenergian käyttäjä. EU:n ja Suomen energiaohjelmissa tavoitellaan uusiutuvan bioenergian käytön voimakasta lisäystä vuoteen 2010 mennessä. Suomi on sitoutunut vähentämään myös kasvihuonekaasupäästöjä (Issakainen ym. 2001). Suuntaus merkitsee syntyvien tuhkamäärien lisäystä. Toistaiseksi suurin osa tuhkista päätyy kaatopaikeille ja teollisuuden läjitysalueille.

Tuhkien ominaisuuksia

”Puhdas” puutuhka sisältää tyypeä lukuun ottamatta puiden tarvitsemat pää- sekä hivenravinteet jokseenkin oikeassa suhteessa. Polttolaitoksissa syntyvät puuperäiset tuhkat ovat kuitenkin varsin heterogeenisiä riippuen polttoaineen koostumuksesta, polttotekniikasta ja lisäaineiden käytöstä. Esimerkiksi fosforin määrä voi tuhkassa vaihdella välillä 1-30 kg/tn ja kosteus välillä 0-65%. Sellutehtailla mustalipeän poltto nostaa tuhkan kalsiumpitoi-

suutta (Issakainen 1999, Moilanen & Issakainen 1999). Tuhkan sammuttaminen vedellä voi aiheuttaa ravinteiden poistumista ja tuhkan jäätymistä varastossa.

Turvetuhkan palauttaminen suonpohjalte vaikuttaa luontevalta. Pulmia aiheuttaa se, että turvetuhkassa on niukasti kaliumia puuston kasvatusta ajatellen (Issakainen ym. 1994). Myös booria on niukasti. Fosforia turvetuhkassa on sen sijaan runsaasti (usein esim. P 12 ja K 2 kg/tn). Mikäli kaliumia halutaan antaa 100 kg hehtaarille, turvetuhkaa pitäisi levittää 50 tn. Samalla alalle tulisi 600 kg fosforia, mikä on liian paljon. Soilla turvetuhka-aloille voi puihin tulla myöhemmin kaliumin puutos. Lannoitusikäytössä turvetuhkaa onkin tasapainotettava lisäämällä kaliumia (biotiitti, K-hiven, kalisuola). Turvetuhkan neutralointikyky on puutuhkaan verrattuna noin viidesosa.

On esitetty, että suolannoitteisiin tulisi lisätä rautaa ja alumiinia fosforin liukenemisen hidastamiseksi. Turvetuhkatonni sisältää rautaa 50-200 kg ja myös alumiinia on kohtalaisesti. Eräessä suometsän turvetuhkan käyttömääräkokeessa (Muhos 334/1991) hehtaarille tuli rautaa peräti 20 tonnia. Haittavaikutuksia ei ole puustossa ilmennyt. Turpeen ja puun yhteispoltosta syntyvässä tuhkassa ovat ravinnekoostumus ja -suhteet yleensä hyvät.

Tuhkien esikäsittely

Pakkauksen, kuljetuksen ja levityksen helpottamiseksi on kehitelty tuhkan esikäsittelymenetelmiä. Asiassa onkin viime vuosina edistytty. Pölymäistä irtotuhkaa on rakeistettu, vesikovetettu ja pelletoitu (Issakainen 1999, Moila-

nen & Issakainen 1999). Samalla on mahdollista lisätä jotakin ravinnetta kuten kaliumia turvetuhkaan. Turvetuhka-biotiittipelletti (tai rae) saattaisi olla suonpohjien ravinnetalouden hoidossa yksi mahdollisuus (Issakainen 2001). Siilinjärven biotiitti on veteen liukenematon kaliumin lähde. Rakeistamisella tavoitellaan myös lannoitusvaikutuksen pitempää kestoja ja ravinteiden huuhtoutumisen vähentämistä. ”Tuotteistetulta” tuhkalta voidaan ehkä odottaa tasaisempaa laatua.

Kivennäismaasta ravinteita taimille

Ennen lisäravinteiden käyttöä (Metsän PK, Kunnostuslannos 2, tuhka) on syytä selvittää suonpohjan ominaisuuksia, kuten turpeen paksuus ja typpipitoisuus sekä pohjamaan laatu. Turpeenoston loppuvaiheessa nostajan ja metsittäjän edut ovat erilaiset. Nykytekniikalla turve saadaan nostettua tarkkaan. Puunkasvatuksen kannalta riittävä turvepaksuus on 10-30 cm. Kivennäisravinteita turvekerroksessa on niukasti, mutta turve takaa puiden tyypin saannin (Aro ym 1997). Hienojakoiset kivennäismaat sisältävät yleensä karkeita maita enemmän ravinteita. Kivennäismaata ja turvetta sopivasti sekoittamalla saadaan puille kasvuisia alusta ilman lannoitusta. Tähän päästään esimerkiksi mätästyksessä 12-20 m ojaväleihin kun turvetta on alle 30 cm. Ohutturpeisilla kohteilla sekoittaminen voidaan tehdä jollakin sopivalla koneella (kyntämällä, äestämällä).

Yleistä on että turvepaksuus vaihtelee samalla suolla. Lähes turpeettomat kohdat alkavat muistuttaa kangasmaata ja niiden ravinnetalous on sen mu-

kainen: puutetta voi tulla tyypestä eikä PK-lannoitus tällöin toimi. Nykyisistä kokeista suurin osa sijaitsee paksuturpeisilla alueilla. Lisätietoa tarvittane ohuiksi kalutuilta suonpohjilta.

Lannoitus muokkauksen vaihtoehto

Lannoitus varmistaa istutus- tai kylvötaimien nopean alkukehityksen. Aluksi riittää taimikohtainen laikkulannoitus ellei tavoitella luontaista metsittymistä, jolloin käytetään hajalevitystä. PK-lannoksen tarve hehtaarille on 75 kg laikkuihin kylväen ja hajalevityksenä 500 kg. Mikäli lannoitetaan tuhalla, on sopivan annostuksen vuoksi tiedettävä tuhkan ravinnekoostumus ja kosteus. Laikkulannoitusta tuhalla ei ole juuri suonpohjalla kokeiltu.

Suometsissä tuhalla saatuihin hyviin kasvutuloksiin ja pitkään vaikutukseen lienee yksi syy ”varastoon lannoittamisella” - eli tuhkaa on annettu suuria määriä. Alussa jopa kasvittomilla suonpohjilla tämä ei liene järkevää. Yksistään huuhtoutumisriski on erittäin suuri (Aro & Kaunisto 1995). Viimeisissä metsityskokeissa (Liminka v. 2001) tuhkaa ja vertailuna olevia kauppalannoitteita on levitetty siten, että fosforia tulee 50 kg/ha. Tällöin ”hyvää” tuhkaa käytettäessä saadaan samalla kaliumia n. 100-200 kg/ha ja riittävästi booria. Suurimman hyödyn tuhka antaa paksuturpeisilla kohteilla ja pienimmän kivennäismailla. Peltomaisilla suonpohjilla tuhkan levitykseen soveltuvat maatalouskoneet. Tuhka voisi olla luonnonmukainen vaihtoehto kauppalannoitteille.

Tuhkan vaikutuksia

Tuhkan vaikutus taimissa näkyy ainakin toisesta kasvukaudesta alkaen. Vaikutuksen kestoa suonpohjilla ei tarkkaan tiedetä. On epäilty, että P- ja K-lisäyksen vaikutus jäisi suonpohjilla lyhyemmäksi kuin mihin suometsissä on totuttu. Metsityskokeilla on kuitenkin nähtävissä hyväkasvuisia puustoja vaikka tuhkalannoituksesta on kulunut 20 vuotta. Metsäojitetuilla soilla on puutuhkalannoituksella saatu parhaat kasvutulokset runsastyyppisillä paksuturpeisilla kohteilla (Moilanen & Issakainen 1999, Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg & Issakainen 2001). Muutamissa suomänniköissä vaikutuksen kesto on ylittänyt 50 vuotta. Suonpohjien tuhkalannoitukset ovat nuorempia.

Tuhka nostaa turpeiden pH:ta 1-2 yksikköä, jolloin tyyppiä vapautuu ja hajotustoiminta vilkastuu. Tuhkalannoitus edistää luontaista taimettumista sekä lehtipuiden ja pajujen määrää mäntymetsiköissä. Pintakasvillisuus rehevöityy, tynen suosijat kasvavat lisäten alueen monimuotoisuutta.

Viime vuosina on tutkittu tuhkalannoituksen ympäristövaikutuksia (Moilanen & Issakainen 1999). Eri-ikäisiltä tuhka-aloilta vertailuineen on kerätty marja- ja sieninäytteitä sekä riistan ravintokasveja. Kasvinäytteistä on etsitty raskasmetalleja, erityisesti kadmiumia. Työ on vielä kesken. Metsämarjojen kadmiumarvot näyttävät pysyvän ennallaan tai hiukan alentuvan 10-15 vuoden kuluttua tuhkalannoituksesta. Sienien kadmiumpitoisuuksissa ei toistaiseksi ole havaittu selviä muutoksia.

Ravinteiden huuhtoutuminen

Muokkauksen ja lannoituksen vaikutuksista ravinnehuuhtoumiin ei suonpohjilta ole tutkimustuloksia. Eri metsitystapoja vertailevia koejärjestelyjä ei aiheesta ole.

Vuosina 1997 – 1998 perustettiin Muohokselle (runsastyyppinen saraturve) ja Utajärvelle (niukkatyyppinen rahkaturve) suometsiin huuhtoutumiskokeet. Niissä käytettiin irto- ja rakeistettua (vesikovetettua) tuhkaa. Levitys tehtiin talvella (lumelle) ja keväällä (sulalle). Tuhkat levitettiin tasaisesti miestyönä. Vesinäytteitä on kerätty valuma- ja pohjavesistä (Piirainen 2000). Keskeisempiä tuloksia kahdelta seurantavuodelta (1998 – 1999):

- Tuhkalannoitus vaikutti enemmän pohjaveden kuin valumaveden laatuun. Kokonaisfosforipitoisuudet kohosivat pohjavesissä eräillä käsittelyalueilla, mutta valumavedessä vain irtotuhkan kesälevityksen jälkeen.
- Puutuhkan vaikutus oli turvetuhkaa (sis. rautaa 65-80 kg/tn) voimakkaampi.
- Tuhkan rakeistamisella ei ollut merkitystä ravinteiden pidättymiseen.
- Karu rahkaturpeinen suo pidätti tuhkan alkuaineita huonommin kuin viljavampi saraturpeinen suo.
- Tuhkan talvilevityksestä seurasi suurempia huuhtoumia kuin kesälevityksestä.

Kokeiden seuranta jatkuu edelleen. On mahdollista, että tuhkan sisältämää fosforia vapautuu runsaammin vasta vuo-

sien kuluttua, mikä voi johtaa nousuun myös huuhtoutuvan fosforin määrässä.

Esitettyjä tuloksia ei voida yleistää suonpohjille, joilla tuhkan huuhtoutumisriskit ovat erilaiset. Pohjaturpeet ovat huonosti vettä läpäiseviä. Turverkerros voi puuttua kokonaan ja ojat yltävät kivennäismahan, jolloin ravinteita saattaa pidäytyä pohjamaahan. Alussa ravinteita pidättävä kasvillisuus ja puusto puuttuvat. Suonpohjat ovat paikoin sileäpintaisia ja siellä voi olla pintavesien virtailureittejä. Metsityksessä sarkaojat suunnataan yleensä entisten kuivatusojien poikki, jotta vesillä on helppo kulku ojiin. Kohta lannoituksen jälkeen osuneen rankkasateen vesiä valuu ojiin vieden ravinteita mennessään.

Poutajaksoina turve verkostoituu syvillä railoilla, joihin vedet pääsevät so-lahtamaan. Muokkauksilla lienee oma merkityksensä lannoiteravinteiden huuhtoutumiseen. Tärkeää olisi tietää metsitysmenetelmien mahdolliset erot huuhtoumissa, kun puiden ravinneta- lous hoidetaan nostamalla kivennäismaata ja vaihtoehtoisesti esimerkiksi tuhkalannoituksella. Näiden ongelmien selvittäminen tutkimuksen keinoin edellyttää koejärjestelyjä. Alkuvaikeuksien jälkeen tilanne suonpohjilla muuttuu kasvillisuuden ja puuston kehittymisen seurauksena. Huuhtoutumisherkyys poistuu vähitellen ja suonpohjat kehittyvät puustoisiksi (ohutturpeisiksi) turvekankaiksi.

Kirjallisuus

- Aro, L. & Kaunisto, S. 1995. Tuhkalan-
noitus eräillä suonpohjien metsitysko-
keilla. Metsäntutkimuslaitoksen tie-
donantoja 593. s. 31-34
- Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997.
Suopohjien metsitys. Hankeraportti
1986 – 1995. Metsäntutkimuslaitoksen
tiedonantoja 634. 51 s.
- Issakainen, J. 1999. Vuosina 1997-98 pe-
rustetut tuhkalannoituskokeet. Moniste
Metsäteho Oy:ssä ja Metlan Muhok-
sen tutkimusasemalla.
- Issakainen, J. 2001. Turvetuhkasta ja bio-
tiitistä ravinnepellettejä. Metsäntutki-
muslaitos, Muhoksen tutkimusasema.
Tiedote.
- Issakainen, J & Moilanen, M. & Silfver-
berg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus
männyn kasvuun ja ravinnetilaan oji-
tetuilla rämeillä. Metsäntutkimuslai-
toksen tiedonantoja 499. 22 s.
- Issakainen, J., Moilanen, M., Pasanen, J.,
Piiroinen, M-L., Savilampi, P. 1996.
Tuhka ja muut jäteaineet metsän ravin-
teina. Muhoksen tutkimusaseman
kenttäkokeet. Moniste 275.
- Issakainen, J., Piiroinen, M-L., Pasanen,
J., Alatalo, K. 2001. Puu energian läh-
teenä. Muhoksen tutkimusaseman
kenttäkokeet 2001. Moniste. 20 s.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1999. Tuh-
kan metsävaikutukset – loppuraportti
yhteistutkimushankkeesta “Biotuhkan
hyödyntäminen metsänparannusaineena”.
Metsätehon raportti 93.
- Piirainen, S., 2000. Huuhtoumat tuhkalan-
noitetuilta turvemailta. Metsätehon ra-
portti 90.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuh-
kalannoitus metsäojitetuilla turvemail-
la. Folia Forestalia 633. 25 s.
- Silfverberg, K. & Issakainen, J. 2001.
Puuntuhka ja kauppalannoitteet
suomänniköiden ravinnetalouden hoi-
dossa. Metsätieteen aikakauskirja I/
2001: 29-44.

Turvetuotannon loppuminen ja siirtyminen jälkikäyttöön ympäristönsuojeluviranomaisten näkökulmasta

Kirsi Juujärvi

Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus

PL 124, 90101 Oulu

kirsi.juujarvi@vyh.fi



POHJOIS-POHJANMAAN
YMPÄRISTÖKESKUS

Johdanto

Vanhimmat Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen alueen turvetuotantosuoat ovat vähitellen jäämässä pois tuotannosta. Tähän mennessä vain yksi turvetuotantosuo (Vapo Oy:n Hirvineva) on kokonaan poistunut tuotannosta, mutta tuotannossa oleva pinta-ala pienenee vuosittain useilla tuotantoalueilla. Kun tuotantoalueita alkaa vanhimmasta päästä loppua, on paineita avata uusia soita tilalle. Tämä ns. toisen suokerran avaaminen yhtä aikaa tuotannosta poistuvien soiden kanssa suurentaa kuormitusta vesistöön.

Termistö

Tuotannon loppumisen jälkeen käytettäviä toimia kuvaava termistö ei vielä ole vakiintunut. Jälkihoito -termillä voidaan tarkoittaa niitä toimia, joilla turvetuotantoalue siistitään turpeennoston loputtua (vrt. maisemointi). Siistimistoimia ovat mm. tarpeettomaksi käyneiden rakenteiden purku. Jälkihoitolla voidaan tarkoittaa myös toimia, joilla turvetuotantoalueella siirytään jälkikäyttövaiheeseen tuotannon loputtua. Sillä voidaan käsittää myös ajanjakso turpeennoston loppumisesta jälkikäyttövaiheen alkami-

seen. Jälkihoitovaihe voi siten kestää vuosia, tai joissakin tapauksissa olla hyvinkin lyhyt, jos jälkikäyttö aloitetaan heti tuotannosta vapautuvilla alueilla. Jälkihoiton lisäksi käytetään myös termiä jälkikunnostus. Jälkikäytöllä ja uusiokäytöllä tarkoitetaan suoutta käyttömuotoa, esimerkiksi lintujärveä tai metsitystä.

Lain vaatimukset turvetuotantotoiminnan lopettamisen jälkeen

Ympäristönsuojelulain 90§:n mukaan luvanvaraisen toiminnan päätyttyä toimintaa harjoittanut vastaa edelleen lupamääräysten mukaisesti tarvittavista toimista pilaantumisen ehkäisemiseksi, toiminnan vaikutusten selvittämisestä ja tarkkailusta. Jos lupa ei sisällä riittäviä määräyksiä toiminnan lopettamiseksi tarvittavista toimista, lupaviranomaisen on annettava tätä tarkoittavat määräykset. Lain perustelujen mukaan määräyksiä tulisi noudattaa niin kauan, kuin pilaantumista tai sen vaaraa voi aiheutua.

Tavoitteena nopea ja joustava jälkikäyttöön siirtyminen

Maisemallisten seikkojen vuoksi olisi toivottavaa, että jälkikäyttöön siirryttäisiin mahdollisimman nopeasti. Tuotannosta poistuneen alueen ottaminen muuhun käyttöön mahdollisimman nopeasti on suositeltavaa myös ympäristönsuojelulliselta kannalta. Tämä perustuu oletukseen, että tuotannosta poistunut alue, jolle ei ole tehty mitään toimenpiteitä, kuormittaa (lähinnä vesistöjä) enemmän kuin uuteen käyttöön otettu suo. Oletuksen tueksi odotetaan tutkimukseen perustuvaa näyttöä, jota on tulossa mm. Vapo Oy:n toimesta sekä Vapo Oy:n ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen yhteishankkeesta (Piipsanneva, Kynkänsuo, Parkkisenrimpi). Tarvitaan tietoa myös suopohjalle tulevan metsityksen kuormituksesta verrattuna turvetuotannon kuormitukseen. Tutkimukset ovat tarpeen myös silmälläpitäen tilanteita, joissa samalla alueella on sekä turvetuotantoa että jälkikäyttöä, ja vedet johdetaan molemmilta alueilta turvetuotannon vesiensuojelurakenteiden kautta. Tutkimusten tulokset helpottavat vaiheittaista ja joustavaa jälkikäyttöön siirtymistä, kun tiedetään eri toimintojen kuormitusten taso.

Poistuneen alueen vesiä on ympäristökeskuksen mielestä käsiteltävä samalla tavalla kuin tuotantoaikana, kunnes kuormituksen on todettu laskeneen niin, että vesienkäsittely voidaan lopettaa. Kun poistunut alue on selvästi siirtynyt uuteen käyttöön (jälkikäyttösuunnitelma esitetty, hyväksytty ja toteutus aloitettu), uusi toiminnanharjoittaja vastaa toimintansa ympäristö-

vaikutuksista ja siihen sovelletaan uutta toimintaa vastaavia lain pykäläiä.

Useimmissa nykyisistä turvetuotannon vesienjohtamisluvissa on luvan saaja velvoitettu lupaehtojen tarkistamisen yhteydessä esittämään suunnitelmat alueen kunnostamisesta ja tarkkailusta turpeen noston loputtua. Käytännössä näitä suunnitelmia ei ole esitetty, koska turpeen nosto ei ole loppunut vielä koko alueella. Ympäristökeskuksen mielestä seuraavanlainen lupaehto olisi käytännöllisempi: mikäli jälkihoitoa ja -käyttöä tarkoittaviin toimenpiteisiin aiotaan ryhtyä ennen lupaehtojen tarkistamista tai toiminnan lopettamista, toiminnanharjoittajan on esitettävä näitä toimia koskeva riittävän yksityiskohtainen suunnitelma toteuttamisaikatauluineen ympäristökeskuksen hyväksyttäväksi. Erimielisyydet on luvan saajan saatettava ympäristölupaviraston ratkaistavaksi.

Näin sopivia kokonaisuuksia voitaisiin siirtää jälkikäyttöön joustavasti, ja poistaa alueet ympäristöviranomaisten turvetuotantorekistereistä. Vasta tämän jälkeen on todettavissa, että turvetuotantoalueita on todella poistunut käytöstä ja tilalle voidaan harkita uusien alueiden ottamista käyttöön.

Metsätalouden vesistövaikutusten valvonta ja tarkkailu

Pekka Hynninen

Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus
PL 124, 90101 Oulu
pekka.hynninen@vyh.fi



POHJOIS-POHJANMAAN
YMPÄRISTÖKESKUS

Metsätalouden vesistövaikutukset

Metsätalouden haitalliset vesistövaikutukset koostuvat pääosin kasvinravinnekuormituksen aiheuttamasta rehevöitymisestä, orgaanisen kuormituksen aiheuttamasta hapenkulutuksesta, raudan, alumiinin ja happamuuden aiheuttamasta ekotoksisuudesta, kiintoainehuuhtouman aiheuttamasta pohjien liettyimisestä sekä luonnonojien ja purojen perkaamisesta johtuvista biotooppimuutoksista. Metsätalous aiheuttaa myös merkittäviä hydrologisia vaikutuksia (Kenttämies ja Saukkonen 1996).

Metsätalouden vesistövaikutuksia ja niiden torjuntaa on tarkasteltu perusteellisesti METVE-projektissa (Saukkonen ja Kenttämies 1995). Mainittakoon lisäksi uusista vaikutustutkimuksista Laineen (2001) väitöskirja, jonka mukaan metsäojitusten aiheuttama kuormitus vaikuttaa haitallisesti lohen ja taimenen lisääntymiseen.

Metsätalouden toiminnoista ojitus, maanpinnan käsittely ja lannoitus voivat tietyissä oloissa vaikuttaa myös pohjavesiin. Pohjavesialueella ojitus voi johtaa pohjaveden pinnan laskuun ja esiintymän pienenemiseen. Humus- ja rautapitoisten vesien johtaminen

pohjaveden muodostumisalueelle saattaa heikentää pohjaveden laatua. Avohakkuun on todettu lisäävän pohjaveden nitraattipitoisuutta jonkin verran. Auraus ja äestyskin pohjaveden muodostumisalueella voivat vaarantaa pohjaveden laadun, jos maasta paljastetaan runsaasti rautaa ja muita raskasmetalleja sisältävä rikastumiskerros sadeveden huuhdeltavaksi. Metsän typpilannoitus on selvä riski pohjaveden laadulle.

Metsätalouden vesiensuojelun tavoitteet

Valtioneuvosto päätöksen mukaan ryhdytään valmistelemaan ja toteuttamaan metsätaloutta koskien seuraavia toimenpiteitä, tarkoituksena ohjata vesien suojelun suunnittelua, päätöksentekoa ja valvontaa "Sisävesiin ja Itämereen joutuva fosforin ja typen määrää vähennetään kumpaakin vähintään 50 prosenttia vuoden 1993 arvioidusta tasosta." (Ympäristöministeriö 1998).

Ravinne- ja kiintoainekuormituksen vähentämiseksi suositetaan erityisesti metsämaan eroosiota pienentäviä puunkorjau-, metsänhoito- ja perusparannusmenetelmiä. Metsiä lannoitetaan ensisijaisesti puuston terveyden ylläpitämiseksi sellaisilla lannoitteil-

la, levitysmenetelmillä ja kasvupai-koilla, joilla ravinnehäviöt vesistöihin ovat mahdollisimman vähäiset.

Tärkeillä vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla vältetään uudistus- ja kunnostusojituksia sekä raskasta maanmuokkausta. Niillä ei käytetä kemiallisia torjunta-aineita. Lannoitteiden käyttöä vältetään ja huolehditaan siitä, ettei pohjavesien pilaantumisvaaraa aiheudu.”

Tavoitteiden saavuttamiseksi on laadittu ympäristöministeriön hyväksymä Vesiensuojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005 (Ympäristöministeriö 2000).

Tavoiteohjelman tavoitteet on kiteytetty kasvinravinnekuormituksen vähentämiseen. Kuormituksen muiden osatekijöiden vähentäminen on kuitenkin samalla hyvin tärkeää. Kasvinravinnekuormituksen vähentämistoimet ovat omiaan pienentämään myös mm. kiintoaine-, rauta-, alumiini- ja raskasmetallikuormitusta. Kasvinravinnekuormituksen vähentämisen lisäksi kiintoainekuormitusta vähentämällä tulee estää luonnonvesien liettyminen, poistaa metsätalouden aiheuttamat haitalliset lietyvät, estää torjunta-aineiden vesistöhaitat ja turvata alkuperäinen vesi- ja kosteikkoluonto metsätalouden muuttavalta vaikutukselta.

Valtakunnallisissa (Metsätalouden kehittämisskeskus Tapio 2001) ja alueellisissa (Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaa ym. 2001) metsänhoitosuosituksissa sekä Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelmassa (Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus 2001) on esitetty metsänhoitotöille vesiensuojelutoimet. Metsänhoitosuosituksissa ja tavoiteohjelmassa koroste-

taan muiden toimien lisäksi suojakais-tojen ja pintavalutuksen käyttöä vesiensuojelutavoitteiden saavuttamiseksi. Metsäojitushankkeiden vesiensuojelun kehittämisessä pintavalutuksen käytön oleellinen lisääminen on yksityispuolella tällä hetkellä suurin haaste. Vesiensuojelun tason parantaminen on välttämätöntä, jotta kuormituksen vähentämistä tavoitteet voitaisiin saavuttaa. Kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisen metsäluonnon hoidon tuen käyttämismahdollisuus metsäojitusten vesistöhaittojen estämiseksi ja korjaamiseksi silloin, kun kustannukset ovat normaalia suuremmat, parantaisi pintavalutuksen käytön lisäämisedellytyksiä.

Lainsäädäntö

Metsätalouteen liittyvistä toiminnoista mm. ojitus, lannoitus, hakkuu, torjunta-aineiden käyttö ja metsäteiden rakennus ovat toimenpiteitä, joita suunniteltaessa ja toteutettaessa tulee mm. vesilaki ja ympäristönsuojelulaki ottaa huomioon.

Vesilaki

Metsätalouden kannalta keskeiset vesilain (VL) kohdat sisältyvät lukuihin 1, 2, 6 ja 10.

Luvussa 1 esitetään yleiset periaatteet sekä vesilain ns. yleiskielto:

- 1:12 § sulkemiskielto
- 1:15 § ja 1:15a § muuttamiskielto
- 1:17 ja 1:17a § puroa vähäisemmän uoman muuttamiskielto
- 1:18 § pohjaveden muuttamiskielto (kattaa sekä pohjaveden laadun että määrän muutokset)
- 1:19 § (ks. myös ympäristönsuojelulain 1 luvun 3 §, pilaamiskielto)

Luku 2 koskee vesistöön rakentamisen yleisiä edellytyksiä. Luvussa 6 on säännökset ojituksesta ja mm. ojitustoimituksen sekä ympäristöluvan edellytyksistä. Luvussa 7 säädetään vesistöjen järjestelystä ja luvussa 10 jätevesien ja muiden vesistöjä pilaavien aineiden johtamisesta vesistöön.

Jos ojituksesta ja muista VL 1:19 §:ssä luetelluista toimista voi aiheutua vesialueen pilaantumista, tarvitaan vesilain mukainen lupa. Nämä toimet ovat:

- vesistön ruoppaus (VL 1:30 §)
- ruoppausmassojen läjitys (VL 4-6 §)
- uittorakennelmien poistaminen (VL 5:30 §)
- kuorimattoman puutavaran uitto (VL 5:96)
- ojitus (VL 6:2)
- pengerrysalueen vesien johtaminen (VL 7:1 §)
- muu edellä mainittuihin verrattava toimenpide. Ympäristölupaa ei tällöin tarvita.

Vesien pilaantumisen ehkäisemisestä on muutoin voimassa, mitä ympäristönsuojelulaissa säädetään.

Pohjaveden muuttamiskielto (Vesilaki 1:18)

Pohjaveden muuttamiskielto kattaa sekä pohjaveden laadun että määrän muutokset. Pohjaveden muuttamiskielto koskee myös maankamاران aineiden ottamista ja muuta toimenpidettä, jos siitä voi aiheuta edellä mainittu seuraus.

Ympäristönsuojelulaki (YSL)

YSL 4. luku 28 §: Yleinen luvanvaraisuus

Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan on oltava lupa (ympäristölupa). Metsätaloustoimista muille kuin VL 1:19 pykälässä tarkoitetuille toimille tulee hakea ympäristölupa, jos niistä saattaa aiheutua vesistön pilaantumista tai vesilain 1 luvun 2 §:ssä tarkoitettua uoman tai altaan (vesistöä pienemmät vedet) pilaantumista.

YSL 5 § Yleiset velvollisuudet

”Toiminnanharjoittajan on oltava riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (selvilläolo-velvollisuus).”

YSL 12 § Eräät toiminnot

Ympäristönsuojelulaki antaa (12 §, kohta 1) valtioneuvostolle mahdollisuudet säätää mm. metsätalouden päästöjen vähentämisestä.

Valvonnan järjestäminen

Valvontaviranomaiset ja vapaaehtoinen ilmoituskäytäntö

Vesilain 21 luvun 1 §:n mukaan ”tämän lain ja sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten noudattamisen yleinen valvonta (laillisuusvalvonta) kuuluu alueellisille ympäristökeskuskille ja kuntien ympäristönsuojeluviranomaisille. Ympäristöministeriö voi tarvittaessa antaa yleisiä ohjeita tämän lain noudattamisen valvonnasta.”

Koska ennakkovalvonta arvioitiin vesiensuojelun kannalta tehokkaimmaksi tavaksi vaikuttaa metsätalouden vesistöhaittojen syntyyn, sopivat vesihallitus ja Keskusmetsälautakunta Tapio sekä metsähallitus vuonna 1982 ojitussuunnitelmien vapaaehtoisesta ennakkoilmoituksesta ja lausuntomenettelystä. Tähän perustui Vesihallituksen (1983) valvontaohjeen ennakkomenettely. Sen mukaan vesipiirin vesitoimistoille lähetettiin tiedot suunnitteilla olevista metsätaloushankkeista sopivalla tavalla esitettynä. Esim. Pohjois-Pohjanmaalla päädyttiin varsin pian siihen, että alueelliselle valvontaviranomaiselle sovittiin toimitettavaksi hankesuunnitelmat.

Ilmoitusmenettelyä on jatkettu nykyisen ympäristöhallinnon aikana. Koska voimassaolevaa valvontaohjetta ei ole, eri ympäristökeskusten alueilla on käytössä varsin paljon alkuperäisestä valvontaohjeesta (Vesihallitus 1983) poikkeavia menettelyjä. Esim. Pohjois-Savon (vuonna 1991) ja Keski-Suomen ympäristökeskusten alueilla ilmoitusmenettely on siirretty kuntien ympäristöviranomaiselle.

Em. vesihallituksen valvontaohje mahdollisti harkinnanvaraisen lausunnonannon. Pohjois-Pohjanmaalla muotoutui aluksi käytäntö, jonka mukaan kaikista ilmoitetuista ongelmattomistakin hankkeista oli lyhyesti lausunnoissa, joihin niputettiin yleensä useita hankkeita. Vuonna 1997 Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen alueella uudistetussa ilmoitusmenettelyssä (ympäristökeskus, Metsähallitus ja metsäkeskus) sovitun mukaisesti

lausunnot annettiin tietyin yleiskriteerein kriittisiksi määritellyistä hankkeista: pinta-ala yli 100 ha, oja pohjavesialueella jne.

Kaikki hankesuunnitelmat toimitettiin edelleen ympäristökeskukselle. Hankesuunnitelmat on toimitettu lisäksi kuntien ympäristöviranomaiselle, jolla on jo pitkään ollut mahdollisuus osallistua metsäojitusten valvontaan sovitussa ilmoitusmenettelyssä tarkemmin määritellyn mukaisesti.

Pohjois-Pohjanmaalla ympäristökeskukselle ilmoitetaan nykyisen yhteisesti sovitun menettelymallin mukaisesti (1.11.2000 lähtien) vain hankkeiden perustiedot metsäojitusrekisteriä varten. Metsäojitusrekisteristä saadaan tiedot samalle osavalmu-alueelle (3. jakovaihe) yhtäaikaaisesti vaikuttavista hankkeista. Muualla maassamme ei tiettävästi ole vastaavaa rekisteriä. Hankesuunnitelmat toimitetaan edelleen kuntiin; kuntien ympäristöviranomaisen valvoo harkintansa mukaan metsäojitusten ympäristönsuojelua. Pääosassa ympäristökeskuksia metsäojitusilmoituksia käsiteltäneen edelleen ympäristökeskuskeskeisesti.

Ympäristöministeriö pyysi v. 1998 lausunnot Suomen ympäristökeskuksessa valmistellusta metsätalouden ympäristöohjeluonnoksesta (Suomen ympäristökeskus 1998). Tilanne muuttui sen jälkeen niin, ettei ohjeen antaminen enää ollut ajankohtaista (ympäristöneuvos Into Kekkonen, YM, ilmoitus 22.8.2001). Olen hyödyntänyt ohjeluonnoksen asiantietoa soveltuvien osin tässä kirjoituksessa.

Ympäristölupaviraston lunhaun tarpeellisuuden arviointi

Monesti, etenkin yksityismetsätaloudessa yksittäisten hankkeiden pinta-alat ovat pieniä ja sen mukaan vesistövaikutusten on esitetty olevan vähäisiä. Kuitenkin samallakin valuma-alueella voi olla useita hankkeita, joilla voi olla huomattava yhteisvaikutus vesistön tilan kehitykseen, ja jotka voivat siten aiheuttaa vesistön pilaantumisen vaaraa. Tästä syystä em. ympäristönsuojeluohjeluonnoksessa esitetään vesistöaluekohtaista vaikutusten arviointia: “Jos lähekkäin sijaitsevat toimenpidealueet ovat saman ojaston, luonnonojan tai noron varrella, arvioidaan vaikutukset toimenpidealueiden yhteenlasketun pinta-alan mukaan. Sama koskee peräkkäisinä vuosina toteutettavia ojitus-, kunnostusojitus-, uudistushakkuu-, raskaita muokaus- ja lannoitushankkeita samalla vesistöalueella.”

Vesilain koko olemassaolon aikana on lupakäsittelyssä ollut vain muutamia ojituksen aiheuttamia vesistöjen pilaamistapauksia. Pohjois-Pohjanmaalla lupakäsittelyssä ei ole ollut metsäojitushanketta. Vuosittain on ilmoitettu kuitenkin lukuisia hankkeita, jotka ympäristökeskuksen mielestä sellaisenaan toteutettuna olisivat ennalta arvioituna edellyttäneet vesioikeuden (nykyisin ympäristölupavirasto) luvan hakemista. Tällaisten hankkeiden toteutusta on mm. vaiheistettu, rajauksia tarkistettu ja järjestetty kriittisissä tapauksissa vaikutusten tarkkailua.

Pohjois-Pohjanmaalla metsäojitusten ilmoitusmenettelyssä on lähdetty (1.11.2000 alkaen) siitä, että toiminnanharjoittaja itse arvioi ympäristövaikutukset ja luvan tarpeen (vrt. “selvilläolovelvollisuus”, YSL 5 §). Tämä edellyttää riittävästi tietoa ja taitoa. Toiminnanharjoittajan käytettävissä tulisi olla vesistövaikutusten arvioinnin osaava henkilö. Tarvittaessa oma asiantuntija voi päättää lausunnon pyytämisestä ympäristökeskukselta.

Nykyisissä metsäojitusten vesiensuojelusuunnitelmissa keskitytään vesiensuojelun tekniseen suunnitteluun. Vesistövaikutusten ja luvan tarpeen arviointi tulisi myös ohjelmoida nykyistä kattavammin tapahtuvaksi hankkeiden vesiensuojelusuunnittelun yhteydessä. Vesistö- ja pohjavesivaikutusten arvioinnissa hanketietojen ja muun alueellisen ja yleisen tiedon perusteella arvioidaan, voiko suunniteltu tai samalle alueelle vaikuttavat ojitukset yhdessä joko välittömästi tai jatkuessaan aiheuttaa haitallisia muutoksia ja vahinkoja. Mikäli muuttaminen, pilaaminen tai kalaston ja vesiluonnon vahingollinen muuttuminen olisi vältettävissä käyttämällä toisenlaista tekniikkaa, ajoittamalla toimenpiteet toisella tavalla tai tehostamalla veden puhdistumista tehostavia rakenteita, suunnitelmaa tulee parantaa. Jos muuttamista tai pilaantumista ei voida parhaan käytettävissä olevan tekniikan avullakaan taloudellisesti kohtuullisin kustannuksin estää, tulee hankkeelle hakea ympäristölupaviraston lupa. Tavoitteena tulisi olla, että em. yhteydessä ojituksen lisäksi myös muut merkittävät metsätaloustoimet otetaan huomioon.

Metsätalouden tarkkailun järjestäminen

Vesiin vaikuttavia hankkeita, mm. metsätaloushankkeita, koskeviin lupapäätöksiin liittyy yleensä kuormituksen ja vesistövaikutuksien tarkkailuvelvoite, joka sisältää tarvittaessa myös kalatalouden. Tarkkailulla voidaan määrätä seurattavaksi myös pohjavesivaikutuksia. Velvoitetarkkailuun voidaan rinnastaa myös ilman lupaa toteutettavien metsäojitushankkeiden vaikutusten seuranta, kun se toteutetaan velvoitetarkkailun periaatteita noudattaen.

Tarkkailussa tarvitaan tietoja sekä itse metsätalouden toimintojen laadusta, laajuudesta ja ajankohdasta (toimenpidetarkkailu), vesistökuormituksesta (kuormitustarkkailu) ja vesistövaikutuksista (vesistötarkkailu). Pohjavesien määrän ja laadun tarkkailuohjelmat laaditaan pohjavesiä käsittelevien valvontaohjeiden periaatteiden mukaan.

Kalataloustarkkailu tulisi järjestää niissä tapauksissa, joissa vesistöalueen kokonaiskuormitus tai vesistön muu muuttuminen saattaa aiheuttaa haittoa kalastolle (rapu mukaan luettuna) tai kalataloudelle. Kalatalouden tarkkailu toteutetaan kalatalousviranomaisen hyväksymällä tavalla.

Pohjois-Pohjanmaalla yhteistarkkailuohjelmat kattavat kaikki vesialueet, joilla on merkittävästi lupavelvollisia toimijoita. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen alueen yhteistarkkailuohjelmien määrävuosina tapahtuvassa laajassa raportoinnissa selvitetään myös hajakuormituksen osuutta ja merkitystä. Kunnat ovat maksaneet

kollektiivisen vastuun nimissä hajakuormituksen selvittämisestä ja ympäristökeskus on toimittanut eräitä hajakuormitusta koskevia tietoja em. laajaa raportointia varten. Ongelmana on kuitenkin, että hajakuormituksen selvittämiseen on käytettävissä pienet resurssit. Tietyvästi kunnat eivät osallistu hajakuormitusselvityksen maksamiseen muualla maassamme. Hajakuormituksen seurannan sisällyttäminen sille kuuluvalla painoarvolla yhteistarkkailuihin olisi selvästi tarpeellista. Paineita tähän tuo lisää ns. vesipuitedirektiivi. Metsätalouden kokonaisvaikutukset muodostavat metsätalouden vesiensuojelun painopistealueilla hyvin merkittävän vesistövaikutustekijän.

Vesipuitedirektiivin toimeenpanoa suunnitellaan parhaillaan. Ko. direktiivin edellyttämän vesipiirien hoitosuunnittelun yhteydessä tullaan selvittämään myös hajakuormituksen eri osatekijöiden aiheuttamat vesistöpainee ja niiden suuruus. Suomi jaetaan vesipiireihin, joille laadittaviin hoitosuunnitelmiin sisältyy mm. yhteenve-to pinta- ja pohjavesien tilaan kohdistuvista hajakuormituspaineista ja niiden vaikutuksista. Vesipiirien alueet jaettaneen tarpeen mukaan vesistö-alueittaisiin osa-alueisiin suunnittelua, toteutusta, seurantaa jne. varten. Se, millaiseksi vesipuitedirektiivin aikana toteutettava seuranta muotoutuu, on vasta hahmottumassa. Kokonaisvaltaiseen integroituun paineiden (kuormituksen) ja niiden vaikutusten seurantaan ollaan joka tapauksessa menossa. Velvoitetarkkailujen tuottama tieto tulee olemaan keskeisellä sijalla myös tulevaisuudessa.

Yksittäisen metsäojitushankkeen tarkkailuvelvoite voidaan yleensä määrätä määräaikaiseksi, koska kyseessä on kertaluontoinen toimenpide, jonka aiheuttama haitallisten vaikutusten uhka yleensä vähenee selvästi ensimmäisten ojituksen jälkeisten vuosien aikana. Näin ollen voi olla perusteltua tarkkailla hankkeen vaikutuksia yhteistarkkailuohjelmaan kiinteästi liitetyn erillisen ohjelman puitteissa.

Eräissä ympäristökeskuksen tietoon tulleissa hankkeissa, joihin ei ole nähty välttämättömäksi hakea ympäristölupaviraston (aikaisemmin vesioikeus) lupaa, on sovittu hankkeesta vastuussa olevan kanssa tarkkailun järjestämisestä hankkeen jatkuvan haitattomuuden toteamiseksi. Joitakin hankkeita koskien on tarkkailtu kalatalousviranomaisen hyväksymällä tavalla lisäksi kalatalousvaikutuksia.

Kirjallisuus

- Kenttämies ja Saukkonen 1996. Metsätalous ja vesistöt. Yhteistutkimusprojektin ”Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta” (METVE) yhteenveto. Helsinki, MMM:n julkaisuja 4.
- Laine, A. 2001. Restoring salmonid stocks in boreal rivers. problems of passage at migratory obstructions and landderived loading in production areas. Acta Univ. Oul. A. 361.
- Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaa, Metsäkeskus Kainuu ja Metsäkeskus Lappi 2001. Pohjois-Suomen metsänhoitosuosituksset. Kajaanin kirjapaino Oy. 60 s.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2001. Hyvän Metsänhoidon Suositukset. Libris Oy, Helsinki. 95 s.
- Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus 2001. Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelma 2001-2005. Oulu. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus. 67 s. + 3 liitettä.
- Saukkonen, S. ja Kenttämies, K. (toim.) 1995. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE- projektin loppuraportti. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. 419 s.
- Suomen ympäristökeskus 1998. Metsätalouden ympäristönsuojeluohje, Luonnos 27.2.1998. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. 35 s. + 6 liitettä.
- Vesihallitus 1983. Metsäojituksen ja turvetuotannon vesistövaikutuksia koskeva valvontaohje nro 45. Helsinki, Vesihallitus 29.3.1983, kirje No 2506/500 VH 1981.18 s.
- Ympäristöministeriö 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. (Valtioneuvoston periaatepäätös 19.3.1998 vesien suojelun tavoitteista vuoteen 2005). Helsinki, Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 226. 82 s.
- Ympäristöministeriö 2000. Vesien suojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005. Helsinki, Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 402. 98 s.

Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelman monimuotoisuus- ja ympäristönsuojeluasiat

Irmeli Ruokanen

Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus
PL 4, 90401 Oulu
irmeli.ruokanen@metsakeskus.fi



Metsäkeskukset tarkistivat metsälain edellyttämät alueelliset metsäohjelmansa vuoden 2001 alussa. Metsien biologisen monimuotoisuuden ja metsätalouden ympäristönsuojeluasioiden nykytilan ja tavoitteiden kuvaus ovat yhtenä osana metsäohjelmaa. Tähän esitelmään on koottu ydinasioita Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelman monimuotoisuus- ja ympäristönsuojeluasioiden nykytilasta sekä tavoitteista ja toimenpiteistä.

Monimuotoisuuden nykytila

Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelmassa kuvataan sekä talousmetsien että suojelumetsien nykytilaa pyrkimyksenä kuvata luonnon vaihtelua eri puolilla laajaa metsäkeskusaluetta. Metsien biologisen monimuotoisuuden ja ympäristönsuojeluasioiden nykytilan kuvauksessa esitetään Pohjois-Pohjanmaan luonnon ja metsienkäytön alueellisuus kasvillisuusvyöhykkeiden osa-alueille lohkoittain, ihmistoiminnan vaikutuksia monimuotoisuuteen, eräitä monimuotoisuutta kuvaavia mittareita sekä suojelualueiden ja luontokohteiden määrää. Lisäksi esitetään monimuotoisuuden säilyttämisessä havaittuja puutteita talousmetsissä ja suojelumetsissä.

Taloustmetsät

Pohjois-Pohjanmaan etelä- ja keskiosien metsät kuuluvat keskiboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen kun taas Koillismaan metsät Pudasjärven itäosasta alkaen edustavat jo pohjoisboreaalista metsäkasvillisuutta. Kasvillisuusvyöhykkeet kuvastavat ennen muuta ilmastollisten olosuhteiden muuttumista. Ihmistoiminnan vaikutukset metsissä näkyvät voimakkaana maakunnan länsiosissa, kun taas Koillismaan taloustmetsissä on huomattavasti enemmän uudistuskypsyysien ylittäneitä metsiköitä, erämaisena säilyneitä alueita, ojittamattomia soita ja luonnontilaisia puroja.

Metsäpalojen estäminen, perinnebiotooppien väheneminen ja ihmisen harjoittama metsätalous ovat osaltaan uhanalaistaneet metsien lajeja. Vuonna 2000 valmistuneen uusimman uhanalaisarvioinnin mukaan perinnebiotooppien häviäminen on eniten vähentänyt luonnon monimuotoisuutta ja ollut suurin syy lajien uhanalaistumiseen. Vuoden 2000 uhanalaisarvioinnista ei ollut vielä metsäohjelmaan käytettävissä tietoa Pohjois-Pohjanmaan osalta. Yksittäisistä metsien käyttöön liittyvistä tekijöistä valtakun-

nan tasolla vaikutuksiltaan haitallisin on ollut lahoavan puuaineksen väheneminen. Uuden uhanalaisinventoinnin mukaan metsien ja kallioiden lajien uhanalaisluokkaa on useammin alennettu kuin nostettu päinvastoin kuin perinneympäristöjen, rantojen ja soiden lajien luokkaa.

Taloustmetsien monimuotoisuutta kuvaavista mittareista metsäohjelmaan otettiin mm. metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt ja muut luontokohteet, kuollut puu, säästöpuuston määrä ja laatu sekä vesiensuojelu metsätaloudessa. Seuraavassa kuvausta em. mittareista.

Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella on metsätalousmaata kaikkiaan 3,117 miljoonaa hehtaaria. Metsälain erityisen tärkeitä elinympäristöjä ja muita luontokohteita on 479 000 ha eli 15,3% metsätalousmaasta. Tähän lukuun sisältyvät sellaiset luontokohteet, joiden säilyttäminen on turvattu metsälailta tai metsäsertifioinnilla (taulukko 1). Luontokohteista on metsälain erityisen tärkeitä elinympäristöjä (metekohteita) arvion mukaan 26 800 ha eli keskimäärin 0,8% metsätalouden pinta-alasta. Tarkastustulosten mukaan luontokohteiden säilyttämisessä on vielä parantamisen varaa.

Taulukko 1. Suojelualueet ja luontokohteet Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Kyseessä on alueet, joiden käyttö on rajoitettu joko lainsäädännöllä tai sopimuksella (metsäsertifiointi).

Suojelualueluokka/ luontokohde	Pinta-ala, ha	% metsätalou- den maasta	Metsämaata, ha, (arvio)	% metsä- maasta
Suojelualueet				
Tiukasti suojellut metsät (lk 1) ja suojelualueet, joissa varovaiset hakkuut ovat mahdollisia (lk 2a)	234 600	7,5	120 000	5,1
Metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt (lk 2a)	26 000	0,8	10 000	0,4
Luonnonsuojelullisesti arvokkaat metsät, jotka ovat rajoitetussa metsätaloustaloudessa (lk 2b)	26 800	0,9	17 000	0,7
Suojelualueet yhteensä	287 400	9,2	147 000	6,2
Luontokohteet				
Kivennäismaiden luontokohteet (ei metek.)	52 700	1,7	50 000	2,1
Ojittamattomat kitumaan suot	140 000	4,5		
Ojittamattomat joutomaan suot	260 000	8,3		
Luontokohteet yhteensä	452 700	14,5	50 000	2,1
Suojelualueet ja luontokohteet yhteensä	740 100	23,7	197 000	8,4

Kuollutta puuta talousmetsissä on vähän, noin 1m³:n luokkaa. Hakkuissa jätetyn säästöpuuston kokonaismäärä oli hakatusta puumäärästä noin 3,5% yksityismetsissä ja 10% valtionmetsissä. Säästöpuuta oli jätetty metsiin metsäsertifioinnin kriteerin mukainen määrä, joskin yksityismetsissä säästöpuuston laadun suhteen on paljon parantamisen varaa. Vesiensuojelu oli onnistunut puunkorjuussa pääosin erinomaisesti, joskin mukana oli myös vain välttävasti onnistuneita hakkuita noin kymmenennes vesistöihin rajoituvista yksityismetsien hakkuista. Myös yksityismaiden metsäojituksissa noin kolmanneksessa hankkeista oli huomautettavaa vesiensuojelussa. Metsähallituksen hakkuissa ja ojituksissa vesiensuojelu oli onnistunut huomattavasti paremmin.

Suojelualueet

Suojelualueiksi luokiteltavia alueita on yhteensä 287 400 ha, mikä on 9,2% Pohjois-Pohjanmaan metsätaloukseen pinta-alasta 3,117 milj. hehtaarista (taulukko 1). Metsämaasta on suojelualueilla noin 6,2%. Pohjois-Pohjanmaalla suojelualueita ja suojeluohjelma-alueita on yhteensä 234 600 ha, mikä on 7,5% maa-alasta. Tämä sisältää uuden suojelualueluokituksen mukaan tiukasti suojellut metsät (luokka 1) ja suojelualueet, joissa varovaiset hakkuut ovat mahdollisia (luokka 2a). Suojelualueiksi luokitellaan myös metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt, joissa varovaiset hakkuut ovat mahdollisia (luokka 2a) ja luonnonsuojellisesti arvokkaat metsät, jotka

ovat rajoitetussa metsätalouksikäytössä (luokka 2b).

Soidensuojelun puutteiksi voidaan todeta luonnontilaisten korpien, metsäluhtien ja paikoitellen myös rehevien soiden (lettojen) vähyys, etenkin maakunnan länsiosissa. Ongelmana voidaan pitää myös monia soidensuojelukohteita ympäröiviä ojituksia, jotka heikentävät suojelualueiden hydrologista luonnontilaa, etenkin maakunnan eteläosassa. ”Etelä-Suomen ja Pohjanmaan metsien suojelun tarve” -työryhmä on todennut mietinnössään merkittävimmiksi alueellisiksi puutteiksi Perämeren maankohoamisrannikon moreenimaiden sukkiosarjat etenkin mannerrannoilla. Metsäluhtien ja tulvametsien suojelutilanne on vielä heikompi, eikä näiden tyyppien esiintymisestä ja säilyneistä suojeluarvoista ole vielä riittävästi tietoa. Suojelualueita on suhteellisesti vähiten Keski-Pohjanmaalla sekä Kala- ja Pyhäjoen valuma-alueilla.

Täysin luonnontilaisia laajoja metsäalueita löytyy Pohjois-Pohjanmaan suojelualueilta Kuusamon vanhoja metsiä lukuun ottamatta vain vähän. Suuri ongelma metsien suojelussa, myös suojelumetsissä, on metsien luontaisen häiriödynamiikan, lähinnä kulojen, puuttuminen, mikä on johtanut nuorten sukkiosovaiheen luonnonsuojelun puutteeseen sekä harjumetsissä monien lajien kannalta tärkeiden paisterinteiden sulkeutumiseen. Muita rakenteellisia puutteita metsissä ovat lisäksi lahopuuston vähäisyys ja ehyiden lahosukkiosarjojen puute sekä lehtipuuston, erityisesti vanhan haavan vähäinen määrä metsissä.

Metsätaloustoimien ulkopuolella olevat suojelualueet ja luontokohteet

Suojelualueita ja talousmetsien luontokohteita on yhteensä 740 000 ha eli 24% Pohjois-Pohjanmaan metsätalousta. Tästä vajaa 40% on suojelualueiksi luokiteltavia alueita ja loppu on talousmetsien erilaisia luontokohteita, joiden säilyttämiseen metsänomistajat ovat sitoutuneet vapaaehtoisella sopimuksella. Pääosa luontokohteista on ojittamattomia soita, joiden säilymistä turvaa myös se, että valtion metsänparannusrahaa ei enää myönnetä uudisojituksiin.

Monimuotoisuuden turvaamisen ja ympäristönsuojelun tavoitteet

Talousmetsien tavoitteet ja kehittämistoimenpiteet

Talousmetsien ekologisen kestävyys turvaamiseksi esitetään tavoitteita ja niiden toteuttamista edistäviä kehittämistoimenpiteitä. Tavoitteet on johdettu pääosin edellä esitetyistä Pohjois-Pohjanmaan talousmetsien nykytilan puutteista. Tavoitteet ja toimenpiteet ovat maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön metsätalouden ympäristöohjelman (1994) linjausten mukaisia.

Tavoite 1.

Monimuotoisuuden turvaaminen ja lisääminen. Monimuotoisuuden kannalta tärkeät elinympäristöt säilytetään ja luonnonarvot turvataan. Edistetään aktiivisilla luonnonhoitotoimilla monimuotoisuuden, riistan elinmahdollisuuksien ja virkistysarvojen lisäämistä. Edistetään monimuotoisuutta pa-

rantamalla lahoppuista ja kuloista riipuvaisten lajien elinmahdollisuuksia. Maankohoamisrannikon primaarisukessiometsien erityispiirteet säilytetään.

Toimenpiteet:

1. Metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt kartoitetaan yksityismetsissä vuoden 2003 loppuun mennessä. Metsänomistajille tiedotetaan löytyneistä luontokohteista sekä järjestetään neuvontatilaisuus niiden tunnistamisesta, käsittelystä ja suojelusta.
2. Metsäorganisaatiot tiedottavat luontokohteista, niiden tunnistamisesta ja käsittelystä lehdistössä ja metsänomistajille menevissä tiedotteissa.
3. Metsäammattilaisia, metsänomistajia ja urakoitsijoita kuljettajineen koulutetaan erityisen tärkeiden elinympäristöjen ja muiden luontokohteiden tunnistamisessa ja käsittelyssä, riistanhoidossa sekä muussa metsäluonnonhoidossa.
4. Yksityismaiden luonnonarvoja koskeva tieto kerätään monitavoitteisen aluesuunnittelun yhteydessä. Yksityismetsänomistajille luonnonhoitotieto viedään mm. tilakohtaisten metsäsuunnitelmien muodossa ja neuvomalla heitä luonnonhoidossa.
5. Kanalintujen elinympäristöjen hoitoon kiinnitetään huomiota.
6. Edistetään erityiskohteissa talousmetsien luonto-, riista- ja virkistyskohteiden aktiivista ennallistamista, esimerkiksi letsoilla kestävä metsätalouden rahoituslain varoilla.
7. Suositetaan monimuotoisuuden kannalta arvokkaiden suokohteiden ennallistumista itsestään.

8. Parannetaan jätettävien elävien säästöpuiden luonnonhoidollista merkittävyyttä jättämällä eläviksi säästöpuiksi ensisijaisesti järeitä haapoja, raitoja ja koivuja. Säästöpuiksi tarkoitetut tuulenskaadot suositellaan jätettäväksi uudistusaloille. Tuulenskaatoja suositellaan jätettäväksi myös luontokohteisiin.
9. Lisätään kulotuksen määrää. Sertifiointin vaatimusten mukainen kulutustavoite vuosille 2001-2004 on 100 ha/v. Järjestetään koulutusta ja tiedotusta kulotuksen edistämiseksi. Metsänhoitoyhdistykset kehittävät kulutuspalveluaan, mitä varten laaditaan kulotuspalvelua koskeva esite.
10. Maankohoamisrannikon primaarisuksessiometsät (paju-, leppä- ja hieskoivuvaihe) suositellaan jätettäväksi lepoon, kunnes havupuun taimettuminen on tapahtunut.
11. Edistetään vapaaehtoista metsien suojelua.
12. Lisätään tutkimusta monimuotoisuuden edistämisen vaikutuksista maakunnassa.

Tavoite 2.

Vähennetään metsätalouden aiheuttamaa fosfori- ja typpikuormitusta Valtioneuvoston periaatepäätöksen (19.3.1998) suuntaviivojen mukaisesti. Erityistä suojelua vaativien vesistöjen valuma-alueilla kiinnitetään metsätalouden vesiensuojeluun erityistä huomiota.

Toimenpiteet:

1. Pintavalutuksen käyttöä laajennetaan oleellisesti nykyisestä myös yksityismaiden metsäojitusten kunnostustyömailla muiden vesiensuojelutoimien lisäksi.

2. Kunnostusojitusten yhteydessä poistetaan myös uudisojituksen yhteydessä syntyneitä sisä- ja rannikkovesien liettymishaittoja.
3. Suositaan erityisesti metsämaan eroosiota pienentäviä puunkorjuu-, metsänhoito- ja perusparannusmenetelmiä.
4. Tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla vältetään kunnostusojituksia sekä raskasta maanmuokkausta. Niillä ei käytetä kemiallisia torjunta-aineita. Lannoitteita ei käytetä pohjaveden hankintaa varten tärkeillä alueilla. Huolehditaan siitä, että pohjavesien pilaantumisvaaraa ei aiheudu.
5. Metsäammattilaisia, metsänomistajia ja urakoitsijoita koulutetaan vesiensuojelussa.
6. Erityistä suojelua vaativien vesistöjen valuma-alueilla ympäristötietoisuutta korostetaan erityisesti koulutuksen ja neuvonnan keinoin sekä hankkeita seurataan tarkimmin.
7. Seurataan metsätalouden vesiensuojelusuositusten noudattamista ja toteutettujen vesiensuojeluratkaisujen toimivuutta sekä metsätalouden vesistövaikutuksia.

Tavoite 3.

Hiilen sitominen. Parannetaan puuston hiilen sitomiskykyä säilyttämällä metsät kasvavina ja elinvoimaisina.

Toimenpiteet:

1. Pidetään metsien kasvukunto hyvänä tekemällä nuorten metsien harvennuksia ja kunnostusojituksia tavoitteen osoittama määrä.

Tavoite 4.

Turvataan ympäristötavoitteiden laadukas toteutuminen metsätalouden toiminnoissa.

Toimenpiteet:

1. Edistetään laatu- ja ympäristöjärjestelmien käyttöönottoa metsätalouden organisaatioissa.

Tavoite 5.

Uusissa metsätiesuunnitelmissa ja metsäteiden yleissuunnitelmissa otetaan hyvin huomioon luonto- ja ympäristöarvot.

Toimenpiteet:

1. Uusien metsäteiden yleissuunnitelmien ja metsätiesuunnitelmien ympäristövaikutusten arviointia kehitetään.
2. Teiden suunnittelussa ympäristöasiat hoidetaan yksityismetsissä Tapiion ”Metsätiet ja metsäluonto”-oppaan mukaan sekä valtion metsissä ”Metsätalouden ympäristöoppaan” ja muiden asiasta annettujen ohjeiden mukaan.

Tavoite 6.

Edistetään metsämaiseman hoitoa erityisesti arvokkailla maisema-alueilla.

Toimenpiteet:

1. Kiinnitetään huomiota säästöpuiden jättämiseen myös maisemanhoidon kannalta etenkin vilkkaiden teiden varsilla ja asutuksen lähialueilla.
2. Pyritään toteuttamaan metsämaisemanhoitohankkeita erityisesti valtakunnallisesti arvokkailla maisema-alueilla.
3. Aluesuunnittelun yhteydessä maisema-arvot otetaan huomioon.
4. Metsäammattilaisia ja metsänomistajia koulutetaan maisemanhoidossa.
5. Etenkin arvokkailla maisema-alueilla neuvotaan metsänomistajia pellonmetsitysasioissa.

Kestävän metsätalouden rahoituslain perusteella rahoitettavat luonnonhoitohankkeet

Kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisilla varoilla voidaan rahoittaa

Taulukko 2. metsänhoito-ohjelmassa esitettyjen luonnonhoitohankkeiden rahoitustarve

Luonnonhoitohanke	Rahoitustarve, mk/vuosi (euroa)	
Metsälain erityisen tärkeiden elinympäristöjen kartoittaminen yksityismetsissä v. 2001-2003	2 000 000	(336 000)
Luonnonhoitotutkintojen järjestäminen metsäammattilaisille, urakoitsijoille, metsureille ja metsänomistajille	100 000	(17 000)
Luontoarvoiltaan arvokkaiden soiden ennallistaminen ja seuranta	100 000	(17 000)

yksityismaiden metsäluonnon hoitohankkeiden suunnittelua ja toteutusta. Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelmassa esitetään seuraavia hankkeita, jotka tukevat edellä esitettyjen talousmetsien luonnonhoitotavoitteiden toteuttamista. Tärkein luonnonhoitohanke on metsälain erityisen tärkeiden elinympäristöjen kartoitus yksityismetsissä -hanke, johon sisältyy myös luontokohdeiden tiedottaminen metsänomistajille. Hanke on alkanut vuonna 1996 ja tavoitteena on saada se päätökseen vuonna 2003. Muiden luonnonhoitohankkeiden suunnittelussa huomioidaan hankkeiden vaikuttavuus luonnonhoidon edistäjänä ja alueelliset luonnonhoidon tarpeet.

Suojelumetsien tavoitteet ja kehittämistoimenpiteet

Kansallisen metsäohjelman tavoitteena on metsien eliölajien ja elinympäristöjen suotuisan suojelutason saavuttaminen ja ylläpitäminen riittävällä suojelualueiden ja monimuotoisesti käsiteltävien talousmetsien yhdistelmällä. Tätä varten valtioneuvosto perusti työryhmän, joka teki arvion Etelä-Suomen, Oulun läänin länsiosan ja Lounais-Lapin metsien suojelun tarpeesta. Metsien suojelun suunnittelua jatkettiin joulukuussa 2000 valtioneuvoston asettamassa toimikunnassa, jonka tehtävänä on laatia tavoite-, toiminta- ja rahoitusohjelma Etelä-Suomen metsien suojelulle vuoden 2002 aikana. Toimikunnan työ käsittää myös Pohjois-Pohjanmaan alueen länsiosan Pudasjärven länsiosaan asti. Kansallisen metsäohjelman mukaan työn tavoitteena on synnyttää taloudelliset ja sosiaaliset näkökohdat huomioonottava metsiensuojeluohjelma. Poliittiset

päätäjät tekevät aikanaan päätöksen suojeluohjelmasta ja sen toteutuksesta, mihin Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelmassa ei oteta kantaa.

Metsäkeskusalueella nähdään tarpeelliseksi seuraavat suojelumetsien luonnonhoidolliset tavoitteet.

Tavoite 1.

Tiedollisten edellytysten luominen. Parannetaan suojelukohdetietojen hyväksikäytettävyyttä. Parannetaan edellytyksiä luontotyyppejen ja lajien suotuisan suojelutason määrittelemiseksi. Selvitetään eri lajiryhmien elinympäristövaatimuksia.

Toimenpiteet:

1. Maakunnan virallisista luonnonsuojelu- ja luonnonsuojeluohjelma-alueista laadittua paikkatietojärjestelmää ylläpidetään. Tehdään perusselvityksiä luonnonsuojelualueilla.
2. Suojelualueverkon edustavuutta EU:n edellyttämän suotuisan suojelutason määrittämiseksi tarkastellaan maakunnallisena yhteishankkeena sitten, kun EU:n komissio on hyväksynyt Natura-ohjelman ja valtioneuvosto on päättänyt Etelä-Suomen suojeluohjelman toteuttamisesta.
3. Vertailevaa tutkimusta talousmetsien ja luonnonsuojelualueiden välillä eri lajiryhmien menestymisestä lisätään.
4. Vaikutetaan siihen, että suojelualueiden keskeisten määrä- ja laatutietojen selvittämiseksi kehitetään eri organisaatioiden yhteishankkeena numeerisiin ilmakuviin perustuva paikkatietojärjestelmä.

Tavoite 2.

Suojelualueiden hoito. Lisätään suojelualueiden monimuotoisuutta mm. parantamalla kulolajien elinmahdollisuuksia, edistämällä palaneiden nuorten metsien syntymistä, kohottamalla rehevien soiden ja pienvesien tilaa sekä turvaamalla lehtojen hoito.

Toimenpiteet:

1. Lisätään luonnonsuojelullista kulu- tusta luonnonsuojelualueilla.
2. Suojelualueiden ojitettuja soita en- nallistetaan ojia tukkimalla.
3. Tehdään selvitys lehtojensuojeluoh- jelmaan kuuluvista hoitoa tarvitse- vista lehdoista. Tehdään lehdoille hoitosuunnitelmat ja hoidon priori- sointi
4. Lisätään suojelualueille lahoavaa puustoa.
5. Tehdään selvitys suojelualueiden kunnostustarpeessa olevista pienve- sistä. Kunnostetaan suojelualueiden pienvesiä, etenkin latvavesiä sekä kehitetään kunnostusmenetelmiä eri tahojen yhteistyönä.

Metsäohjelman ekologiset vai- kutukset

Metsäohjelman toteutumisen vaiku- tusten arvioinnissa sovellettiin metsä- ohjelmien tarkistusprosessien tueksi valtakunnallisesti laadittua vaikutusten arviointimenetelmää. Mahdolliset vai- kutukset jaettiin kolmeen ryhmään: ta- loudelliset, ekologiset ja sosiaaliset vaikutukset. Lisäksi esitettiin arvio vaikutusten voimakkuudesta. Metsä- ohjelman tavoitteista on +/- arvio met- säohjelman liitteenä. Arviointi on pää- osin sanallista, koska tavoitteen toteu- tumista kuvaavaa numeerista tietoa ei

useista tavoitteista ole saatavissa tai muutostietojen määrittäminen ei ole mahdollista, koska lähtötilannetta ei tunneta.

Metsäohjelman selkeimmät myöntei- set ympäristövaikutukset kohdistuvat puuston hiilen sitomiskykyyn ja luon- non monimuotoisuuden säilymiseen. Yksi metsäohjelman tavoite on edis- tää Kioton ilmastokokouksen (1997) hiilidioksidin päästötavoitteiden saa- vuttamista. Ohjelman metsäluonnon monimuotoisuuden turvaamistavoit- teet ja toimenpiteet ovat laaja-alaisia. Merkittävin myönteinen ympäristövai- kutus on metsälain mukaisten erityi- sen tärkeiden elinympäristöjen ja mui- den luontokohteiden säilyttämisen edistäminen kartoituksella ja neuvonn- alla. Uhanalaisten lajien elinmahdol- lisuuksia pystytään näin paremmin tur- vaamaan. Haitallisia vaikutuksia voi tulla lähinnä vesistöjen vedenlaatuun, jos vesiensuojelussa ei onnistuta erin- omaisesti. Metsätalouden toimilla voi- daan heikentää myös maisemaa. Uu- sien metsäteiden rakentamisen kieltei- siä vaikutuksia ovat metsäalueiden pirstoutuminen ja mahdollisen häirin- nän lisääntyminen. Erityisesti Pohjois- Pohjanmaan länsiosissa uudistushak- kuiden lisääminen saattaa vaarantaa luonnonsuojelullista arvoa omaavien metsien säilymistä.

Metsätalouden ympäristövaikutukset

Kirjallisuuskatsaus

Samuli Kemppainen

Metsäntutkimuslaitos
Muhoksen tutkimusasema
Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos
samuli.kemppainen@metla.fi

METLA

Johdanto

Luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen on yksi kestävän metsätalouden edellytyksistä. Vuonna 1992 solmitun biodiversiteettisopimuksen mukaisesti myös taloudellisessa käytössä olevilla alueilla tulee ottaa huomioon luonnon monimuotoisuus (Jäppinen ym. 1995). Metsätalous muuttaa metsiä merkittävästi. Suomalainen metsätalous pyrkii kuitenkin jäljittelemään metsän luontaista sukessiiokehitystä mahdollisimman hyvin (Väisänen 1993).

Kosteikot, luonnontilaiset suot ja luonnonpurot ovat viime aikoina nousseet suureen arvoon. Eteläisessä Suomessa suontutkija voi joutua tekemään paljon työtä löytääkseen täysin luonnontilaisen varsinaista sararämettä olevan suovaluma-alueen, vaikka ko. suotyypin pitäisi olla yleisimpiä suotyyppejämme. Ympäristöhoito kokonaisvaltaisena kysymyksenä on suometsätalouden merkittäviä haasteita (Sallantaus 1996).

Ilmansaasteiden vaikutukset metsäekosysteemiin ovat konkreettisia. Suomessakin on havaittu eriasteisia metsäkuolema-alueita monilta paikkakunnilta (Nevalainen 1993). Metsien kunnan heikkenemisen syitä on usein vai-

kea osoittaa. Metsätalouden toimenpiteet voivat osaltaan voimistaa ilman-
saastumisen aiheuttamia haittavaikutuksia. Selvitysten mukaan ojitus kaksinkertaistaa kesänaikaisen CO₂-tuoton luonnontilaan verrattuna. Kasvillisuuteen sitoutumisen ja turpeen mineralisaation suhteesta riippuu, toimii-
ko suo hiilen lähteenä vai sitojana (Laine & Päivänen 1992). Metsien uudistaminen ja hakkuu voi teoriassa pahentaa happaman laskeuman haittavaikutuksia. Hakkuu lisää ravinteiden huuhtoutumista köyhdyttää maaperää. Maaperän muokkauksen vaikutukset huuhtoutumiseen ovat vielä suuremmat kuin avohakkuun (Nevalainen 1993).

Metsätalouden toimenpiteistä metsäojitus, hakkuut, puutavaran korjuu, maanmuokkaus, kulutus ja lannoitus aiheuttavat muutoksia metsäekosysteemissä. Ne vaikuttavat pohjaveteen, vesistöihin ja maaperään. Toimenpiteiden vesistökuormituksen suuruus riippuu valuvan veden määrästä ja ainespitoisuuksissa tapahtuneiden muutosten yhteisvaikutuksesta.

Metsätalouden vesistöhaitoista ovat merkittävimmät kiintoaineen, liuenneen orgaanisen aineksen eli humuksen sekä liuenneiden ravinteiden

huuhtoutumisen lisääntyminen. Haitallisimpana pidetään fosforikuormituksen lisääntymistä (Joensuu & Kokkonen 1992). Ravinnehuhtoutumassa tapahtuvien muutosten ymmärtämiseksi olisi tutkittava kaikkia ravinnekiertoon vaikuttavia prosesseja (Nieminen 1996). Suomen Ympäristökeskuksen arvion mukaan nykylaajuisen (v. 2000) metsätalouden vesistöille aiheuttama fosforikuormitus on 356 ja typpikuormitus 4 179 tonnia vuodessa (Silvo ym. 2002). Tällöin metsätalouden osuus vesistöjen kokonaisuormituksesta olisi fosforin osalta 7,3% ja typen osalta 5,0%. Luonnon oma osuus fosforin huuhtoutumisesta vesistöihin on noin 2 700 ja typen osalta 70 000 tonnia vuodessa. Metallien huuhtoutuminen vesistöihin voi haitata vesieliöiden toimeentuloa ja vesiekosysteemin toimintaa (Vuori ym. 1998).

Soiden metsätaloudellisen käytön vesistövaikutusten osuutta koko metsätalouden hajakuormituksesta ei ole erikseen määritetty. Metsätalouden kuormitusosuuden erottaminen luonnonhuhtoumasta on vieläkin varsin karkeiden arvioiden varassa. Suurin merkitys vesien kuormitukseen metsätaloudella on vesistöjen metsä- ja suovaltaisilla latvaosilla. Luotettavat arviot yksittäisten metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamien muutosten suuruudesta edellyttäisivät, että jokaisella toimenpidealueella olisi maantieteellisesti lähellä oleva edustava vertailualue ja että vedenlaatua sekä toimenpideettä vertailualueelta on seurattu tiuhennetysti riittävän pitkältä havaintojaksolta ennen ja jälkeen toimen-

piteen (Saukkonen & Kortelainen 1995).

Metsätalouden merkitystä vesien kuormittajana on pidetty maatalouteen verrattuna pienenä. Metsätalouden ominaiskuormituksen on laskettu olevan vain 10% maatalouden vastaavista kuormitusluvuista. Metsätalouden pieni ominaiskuormitus johtuu siitä, että toimenpiteiden toteuttamisväli on kymmeniä vuosia, kun toiminta maataloudessa on jatkuvaa. On kuitenkin huomattava, että metsätalouden maan pinta-ala on maatalousmaan alaan verrattuna kymmenkertainen, joten metsätalouden valtakunnallinen kuormitus saattaa olla samaa suuruusluokkaa kuin maatalouden (Ahti ym. 1999a).

Metsätalouden hydrologiset vaikutukset

Ennen ojitusta suon vesitase on vakaa. Haihdunta dominoi vesitasetta, lumettoman ajan sateista lähes 2/3 haihtuu. Koko Suomen vesitaseesta (sadanta 660 mm) valunnan osuus on 320 mm ja haihdunnan 340 mm (Hyvärinen 1996). Vähäpuustoisella suolla valunnan osuus lumettoman ajan vesitaseesta saattaa välittömästi ojitusta seuraavina vuosina olla 2/3 ja haihdunnan osuus vastaavasti vain 1/3. Ojitus alentaa pohjavesipintaa ja suurentaa sen syvyysvaihtelua. Myös valuntahuiput suurenevät lumien sulamisen ja runsaiden kesäsateiden aikana (Ahti 1996). Metsäojitus muuttaa ojitetun alueen hydrauliset olot, mutta myös maankosteus-, pohjavesi- ja haihduntaolot muuttuvat (Hyvärinen 1996). On ilmeistä, että vuosivalunta lisääntyy ensimmäisten vuosien aikana kun-

nostusojituksen vaikutuksesta varsin selvästi. Välttämättä kuitenkin kesäkauden valunta ei näyttäisi kasvavan (Ahti ym. 1995).

Koska puustolla on voimakkaasti haihduntaa lisäävä vaikutus, puuston vähentäminen tai poistaminen lisää lähes poikkeuksetta alueen kokonaisvaluntaa. Sekä vuosivalunta että valuntahiuput kasvavat. Kuusivaltaisella alueella interseption osuus sadannasta on 23-30% (Hyvärinen 1990). Siemenpuu- ja suojuuspuuhakuilla on samansuuntainen vaikutus valumien muutoksiin kuin avohakuulla. Vaikutuksen suuruus on tällöin verrannollinen poistettavaan puumäärään.

Esimerkiksi Nurmes-tutkimuksessa avohakkuu lisäsi vuosivalumaa 17% (Seuna 1985). Lepistön ym. (1995) mukaan hakkuun aiheuttama valunnan lisäys oli myös huomattavan suuri. Lisäys oli 6,3 mm valuma-aluehehtaarilta poistettua 10 m³ kohden. Alatalon (2000) mukaan hakkuu lisäsi valuma-alueen vuosivaluntaa 71 mm ja toisella avohakatulla koealueella 84 mm/a. Kokonaisvalunta lisääntyi 5,0 – 8,3 mm valuma-alueen hehtaarilta poistettua kymmentä puukuutiometriä kohden. Valunnan kasvua tapahtuu periaatteessa ympäri vuoden, mutta erityisen suuria valunnan muutokset ovat aikoina, jolloin valunta muutenkin on suuri (Lepistö ym. 1995).

Hakkuun valuntaa lisäävä vaikutus on myös pitkäaikainen. Palautumisen on arvioitu kestävän yli 30 vuotta (Muston 1986). Alatalon (2000) mukaan kuuden vuoden seurantajaksolla hakkuun jälkeen valunta oli 1,8 –kertainen hakkuuta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna.

Alkutilanteen palautuminen johtuu osittain puuston lisääntyvästä haihdunnasta mutta osittain myös ojaverkoston rappeutumisesta (Ahti 1996).

Ojituksen vaikutus kesäsateiden valuntahuippuihin on luonteeltaan melko pysyvä. Sateiden yhteydessä haihdunnan merkitys on pieni ja valunta tapahtuu pintavaluntana, jolloin ojasyvyyden merkitys on vähäinen. Pitkällä aikavälillä ojitus pienentää kevään tulvahuippua. Tämä johtuu puuston lisääntyvästä varjostuksesta, joka hidastaa lumien sulamista. Kunnostusojituksen vaikutuksista turvemaiden vesitaseeseen on toistaiseksi niukasti tutkimustuloksia. METVE-projektin tutkimusten mukaan kunnostusojituksilla ei ollut selvää vaikutusta valuntaan. Pääosin havaitut pienet muutokset johtuivat ojanperkauksen jälkeen tapahtuneesta pohjavesipinnan syvyysmuutoksesta ja suon tyhjenemisvalunnasta (Ahti 1996). Alatalon (2000) tutkimuksessa ojitusprosenttia kohden laskettu valunnan lisäys oli 0,4-0,6%. Lisäyksen on yleensä todettu olevan suurempi mikäli ojitusprosentti on pieni. Vuosivalunnan on todettu palaavan ojituksen jälkeen alkuperäiselle tasolle 15-20 vuodessa. Hakatulla alueella haihdunnan kasvaminen ja valunnan pieneneminen on hitaampaa kuin puustoisella alueella (Alatalo 2000).

Maanpinnan jonkinasteinen käsittely kuuluu olennaisena osana metsänuudistamiseen. Tutkimustuloksia maanmuokkauksen vaikutuksista valumiin on vähän. Muokkaus vähentää maanpinnan kasvillisuutta, jolloin haihdunta entisestään vähenee ja valuma saattaa lisääntyä. Lisäksi muokkausjäljet voi-

vat toimia ajourien tavoin eräänlaisina ojina (Piirainen 1993).

Lannoitus lisää nopeasti puuston biomassaa ja haihduttaa, jolloin pohjavesipinta laskee. Näin lannoitus pienentää jonkin verran vuosivaluntaa ja pienistä sateista aiheutuvia valuntahuippuja (Ahti 1996). Lannoitukseen käytettävä ravinnemäärä on puuston vuosittain käyttämään ravinnemäärään verrattuna moninkertainen (Sallantaus 1996).

Metsäalueilta tulevan valumaveden laatu

Luonnontilaisilla soilla valumaveden fosforipitoisuus on keskimäärin 20 µg/l (Kenttämies 1980). Rekolaisen (1989) pieniltä metsäisiltä valuma-alueilta havaitsemat kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelivat 18- 63 µg/l ja Nurmes-tutkimuksen luonnontilavaiheen pitoisuusvaihtelu oli 12 – 33 µg/l (Ahtiainen & Huttunen 1995). Aikaisemmissa tutkimuksissa on korostettu fosforikuormituksen kasvua kiintoaineen sisältämän fosforin kautta. Ahti ym. (1999b) epäilivät, missä määrin suodattamattomista näytteistä määritetty kokonaisfosfori on relevantti fosforikuormituksen indikaattori. Ojitusalueilta huuhtoutuvan kiintoaineen fosforista lienee leville käyttökelpoista melko pieni osa.

Luonnontilaisilta soilta mitattujen kiintoainepitoisuuksien arvot vaihtelivat Kenttämiehen (1987) aineistossa 3,32 – 7,78 mg/l. Myös pienten valuma-alueiden suovaltaisten osien kiintoainepitoisuudet (ka. 3,5 mg/l) (Saukkonen & Kortelainen 1995) vastaavat em. tulosten tasoa. Normaalisissa metsätalousoikeuksissa olevilta valuma-alueilla purovesien kokonaistypen mediaanipitoisuus vaihteli Saukkosen ja Kortelaisen (1995) mukaan 200-950 µg/l. Turvemaavaltaisilla alueilla mediaanipitoisuus oli keskimäärin 630 µg/l ja kivennäismaavaltaisilla 450 µg/l. Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä havaittiin eroja veden mediaanipitoisuuksissa metsätalousoikeuksissa olevilla pienillä valuma-alueilla (taulukko 1).

Raudan mediaanipitoisuus normaalissa metsätalousoikeuksissa olevalla valuma-alueella vaihtelee välillä 230-3300 µg/l (Saukkonen & Kortelainen 1995). Turvemaavaltaisilla valuma-alueilla pitoisuudet olivat lähes kolminkertaisia (1900 µg/l) kivennäismaavaltaisiin alueisiin verrattuna (660 µg/l).

Uudisojituksen pahin vesistöhaitta on kiintoainekuormituksen kasvu, joka on suurimmillaan kaivutöiden aikana ja muutaman vuoden ajan kaivun jälkeen. Ojittaminen ei yleensä oleellisesti vaikuta vesistöjen kannalta kriit-

Taulukko 1. Metsätalousoikeuksissa olevien pienten valuma-alueiden veden mediaanipitoisuudet (Saukkonen & Kortelainen 1995).

	pH	Väri- luku mg/l	COD _{Mn} O ₂	TOC mg/l	Fe µg/l	Kiinto- aine mg/l	Kok.P µg/l	PO ₄ -P µg/l	Kok.N µg/l	NO ₃ -N µg/l	NH ₄ -N µg/l
Etelä-Suomi	5,8	200	27	20	1600	3,9	27	8,2	680	84	15
Pohjois-Suomi	6,4	130	18	13	1100	2,0	22	6,3	400	36	17

tisten aineiden, kuten vesiliukoisen tyypin ja fosforin pitoisuuksiin. Näidenkin aiheuttama kuormitus kuitenkin kasvaa, koska ojitus lisää valumavesien määrää (Ahtiainen ja Huttunen 1995). Ojituksen seurauksena vedet eivät enää saavuta suon aktiivista pintakerrosta ja näin suoekosysteemin suodatusvaikutus valumavesien laatuun eliminoituu (Sallantausta 1996).

Valumavesien happamuus yleensä lisääntyy ojitettaessa paksuturpeisia soita. Ohutturpeisia soita ojitettaessa valumavesien pH sen sijaan nousee. Pohjanmaan alunamaapohjaisten ohutturpeisten soiden ojitaminen saattaa happamoittaa voimakkaasti valumavesiä (Komiteamietintö 1987). Metve-projektin koelajoilla valumaveden pH nousi toisella alueella 0,3 yksikköä ja toisella 0,5 yksikköä. Kemiallinen hapenkulutus ja väriluku pienenevät selvästi, mikä merkitsi valumaveteen liuenneen orgaanisen aineksen määrän vähenemistä (Ahti 1996).

Kunnostusojituksen vedenlaatuvaikutukset ovat saman suuntaisia kuin uudisojituksenkin, mutta pienempiä (Ahti ym. 1995). Muutaman kunnostusojitusta seuraavan vuoden aikana valumavesien kiintoainepitoisuudet saattavat olla keskimäärin kymmenkertaisia ennen kunnostusojitusta vallinneeseen pitoisuustasoon verrattuna. Tilanjoella todettiin, että ojanperkaus oli ensimmäisten neljän vuoden aikana nostanut kiintoainepitoisuudet noin arvosta 3 mg/l keskimäärin 4-5-kertaisiksi. Jo vuoden kuluttua ojanperkauksesta pitoisuudet olivat palautuneet lähelle ennen kaivua vallinnutta tasoa. Kunnostusojituksen vaikutuksesta valumaveden pH useimmiten

kasvaa ja liuenneen orgaanisen aineen pitoisuus pienenee (Ahti 1996).

Mannisen (1998) mukaan huomattavin muutos tehdyn kunnostusojituksen jälkeen oli fosforipitoisuuksien voimakas kohoaminen. Kokonaisfosforipitoisuus kohosi tasolta 30 µg/l tasolle yli 100 µg/l eli noin 3,5-kertaiseksi ja fosfaattifosforin pitoisuus mediaanin tasolta 10 µg/l tasolle 50 µg/l eli noin viisinkertaiseksi. Liukoisen kokonaisfosforin pitoisuudet nousivat noin nelinkertaiseksi. Suurin osa fosforin pitoisuuslisäyksestä oli liukoista fosfaattifosforia.

Kokonaistypen pitoisuuksissa on myös havaittu selvää kohoamista, tasolta 960 µg/l tasolle 1200 µg/l. Nitriittityypin pitoisuudessa on havaittu etenkin pitemmällä aikavälillä selvä lasku pitoisuudessa (Manninen 1998). Ahti ym. (1999b) havaitsivat totaalityypin vuosikuorman pienenevän kunnostusojituksen jälkeen. Sen katsottiin kytkeytyvän veteen liuenneen orgaanisen aineen huuhtoutumiseen, joka selvästi pieneni kunnostusojituksen vaikutuksesta. Nitraatti- ja erityisesti ammoniumtypen huuhtoutuminen kasvoivat selvästi.

Kiintoainekuormitus saattaa pysyä kunnostus- ja täydennysojituksen jälkeen yllättävän alhaisella tasolla. Pitoisuus kohosi Mannisen (1998) tutkimuksessa ennen ojitusta vallinneesta tilanteesta vain noin 50%. Ahti ym. (1999b) pitivät kiintoaineen huuhtoutumisen voimakasta lisääntymistä kunnostusojituksen keskeisenä kuormitusvaikutuksena. Kiintoaineeseen sitoutuneena vesiin huuhtoutuu myös ravinteita. Suodatetuista näytteistä tehdyt

analyysit osoittavat, että sekä fosfori- että typpikuormitus kyetään pääosin eliminoimaan, mikäli kunnostusojituksen aiheuttama kiintoainekuormitus kyetään estämään laskeutusaltailla ja erilaisilla pintavalutus- ja suodatusvyöhykkeillä. Mineraalitypen, alumiinin ja emäskationien huuhtoutumista ei kyetä kokonaan estämään laskeutukseen ja kasvillisuuden mekaaniseen suodatukseen perustuvilla ratkaisuilla.

Emäskationeista selvä pitoisuuden ko- hoaminen ojituksen jälkeen tapahtui kaliumin osalta (100%), natriumin osalta (alle 30%), raskasmetalleista kuparin osalta (20%) ja sinkin osalta (50%) (Manninen 1998).

Joensuun ym. (1999) tutkimuksessa vanhoilla metsäojitusalueilla, joiden valuma-alueilla turvemaiden osuus pinta-alasta oli keskimäärin 57% keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus oli 0,056 mg/l. Tämä on korkeampi kuin Saukkosen ja Kortelaisen (1995) normaalissa metsätalouskäytössä olevilta valuma-alueilta mittaama tulos (0,028 mg/l). Kaikki tutkimuksessa

mukana olleet valuma-alueet huomioiden kokonaisfosforin mediaanipitoisuus vaihteli 0,009-0,040 mg/l. Kivennäismaavaltaisilla valuma-alueilla keskimääräinen pitoisuus oli 0,019 mg/l (taulukko2).

Vanhat ojitusalueet ja luonnontilaiset suot eivät oleellisesti poikkea toisistaan humuksen huuhtoutumisen suhteen. Suon osuuden lisääntyminen valuma-alueen pinta-alasta lisää yleensä orgaanisen hiilen pitoisuutta. Orgaanisen hiilen pitoisuus ei välttämättä nouse ojitusten jälkeen, onpa havaittu pitoisuuksien jopa laskeneen ojituksen seurauksena (Hynninen 1988). Orgaanisen hiilen mediaanipitoisuus vaihteli tutkimusalueilla 5-30 mg/l. Turvemaa- valtaisilla alueilla pitoisuudet olivat suurempia (20 mg/l) kuin kivennäismaavaltaisilla alueilla (12 mg/l) (Saukkonen & Kortelainen 1995). Kiintoainepitoisuuksien keskiarvo oli vanhoilla metsäojitusalueilla Joensuun ym. (1999) tutkimuksessa 4,9 mg/l ja mediaani 2,4 mg/l. Ne vastaavat hyvin muissa tutkimuksissa saatuja arvoja.

Taulukko 2. Eri puolilla Suomea sijaitsevien vanhojen ojitusalueiden valumavesien pitoisuudet (mg/l) (keskiarvo, vaihteluväli ja mediaani) (Joensuu ym. 1999).

	keskiarvo	vaihteluväli	mediaani
Kokonaistyyppi	0,738	0,090 - 4,78	0,670
Ammoniumtyppi	0,042	<0,007 - 1,76	<0,007
Nitraattityppi	0,058	<0,002 - 3,92	0,016
Orgaaninen hiili	29,79	3,1 - 92,1	23,7
Kiintoaine	4,90	<0,20 - 148	2,40
Johtokyky	43,2	10,3 - 232	37,2
pH	5,61	3,29 - 8,58	5,54
K	0,536	<0,01 - 9,91	0,402
Al	0,433	<0,001 - 2,50	0,396
Fe	1,59	0,048 - 18,6	1,19
Kokonaisfosfori	0,056	<0,001 - 0,596	0,045

Valumaveden fosforipitoisuus saattaa reagoida *ojanperkaukseen* epäjohdonmukaisesti. Tilanjoella toisella koalueella sekä veden kokonaisfosfori- että fosfaattifosforipitoisuudet pienenevät selvästi. Muutos jatkui koko ojanperkauksen jälkeisen neljän vuoden ajan. Toisella koalueella fosforipitoisuudet nousivat kaivun jälkeen, mutta palautuivat pian entiselle tasolle (Ahti 1996). Myös typpipitoisuuksien on havaittu kasvaneen. Tämä johtuu hajoamisen nopeutumisesta ja typpeä käyttävän kasvillisuuden vähäisyydestä (Nieminen 1995). Tilanjoella mineraalityypen pitoisuudet kasvoivat koalueilla kunnostusojituksen jälkeen 5-10 kertaisiksi. Myös humuskuormitus todennäköisesti kasvaa nopeutuvan maatumisprosessin myötä (Ahti 1996). Hakkuun vaikutukset varsinkin fosforikuormitukseen ovat suhteellisen nopeasti ohimeneviä (Sallantaus 1996).

Turvemaiden *avohakkuun* on todettu selvästi suurentaneen valumavesien fosforipitoisuuksia (Ahtiainen ja Huttunen 1995). Lepistön ym. (1995) tutkimuksessa hakkuun jälkeiset muutokset fosforin pitoisuuksissa olivat selviä. Kokonaisfosforin pitoisuus nousi 1,7-kertaiseksi toimenpidettä edeltäneeseen jaksoon, liukoisen fosforin pitoisuus nousi jopa yli 2,5-kertaiseksi (taulukko 3).

Kokonaistypen pitoisuus nousi välittömästi hakkuun jälkeen korkeasta perustasostakin huolimatta noin 20%. Pääosan noususta aiheutti nitraattityppi. Nitraattityypen pitoisuuksissa on selvä vuosisykli. Pienimmät pitoisuudet havaitaan keskikesällä kasvillisuuden ravinteiden oton ollessa suurimmillaan, korkeimmat lumensulamisaikoina ja syksyn rankkasateiden aikana (Lepistö ym. 1995). Avohakkuun

Taulukko 3. Veden laadun keskiarvot ja vaihteluvälit ennen hakkuuta (1986-91) ja hakkuun jälkeen (1991-94) (Lepistö ym. 1995).

	Ennen hakkuuta		Hakkuun jälkeen	
	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli
pH	6,7	5,8-8,6	6,6	5,8-7,5
Alkaliniteetti mmol/l	0,21	0,02-0,86	0,29	0,05-0,88
Sameus FTU	19	6,6-200	39	3,5-320
Kiintoaine mg/l	25	1,1-220	33	0,8-260
Väriluku	70	20-160	130	30-400
COD _{Mn} mg/l O ₂	8,8	1,4-24	16,6	3,4-58
Orgaaninen hiili mg/l	7,8	1,4-24,5	12,4	4,5-28,5
Rauta µg/l	1400	110-10000	2300	260-16000
Kokonaistyppi µg/l	1500	410-4500	1500	350-4400
Nitraattityppi µg/l	1100	240-3500	960	28-3000
Ammoniumtypi µg/l	28	0-260	11	0-74
Kokonaisfosfori µg/l	36	8-260	61	16-360
Fosfaattifosfori µg/l	5	0-39	13	2-79
Alumiini µg/l	1500	120-7800	1900	230-11500
Kalsium mg/l	9,0	2,5-16	8,1	3,7-14
Kalium mg/l	1,2	0,7-3,9	2,2	0,5-6,4
Valuma l/s/km ²	4,99	0,01-114,0	8,37	0,02-130,5

jälkeen maan pintaan tulevan märkälaskeuman kokonais- ja ammoniumtyypipitoisuuksien on todettu suurenevan. Voimakkaasti typpikuormitetulla alueella nitraattilaskeuma väheni avohakkuun jälkeen, kun taas tausta-alueella laskeuma kasvoi (Nieminen 1995).

Nieminen (1995) havaitsi ammoniumtyypin mineralisaation turpeesta ja mahdollisesti myös hakkuutähteistä kasvavan avohakkuun vaikutuksesta. Nitraattityypin pitoisuudet maavedessä eivät juuri kasvaneet. Orgaanisen tyypin huuhtoutuminen avohakkuualueilta kasvoi huomattavasti suurelta osin juuriston kuoleamisen vuoksi, mutta osittain myös turpeen hajoamisen vuoksi. Mineraalityypin huuhtouma kasvoi hakkuun jälkeisenä syksynä.

Hakkuun jälkeen ei veden happamuudessa huomattu muutoksia. Sen sijaan alkaliniteetti lisääntyi ja sähköjohtavuus pieneni. Mangaanin pitoisuudet kasvoivat 1,3-kertaisiksi ja raudan 1,6-kertaisiksi. Orgaanisen aineen huuhtoutuminen lisääntyi: kemiallinen happentarve kasvoi lähes kaksinkertaiseksi ja väriluku 1,9-kertaiseksi. Hakkuun jälkeisen jakson kiintoainepitoisuuden keskiarvo oli 1,3-kertainen ennen hakkuuta laskettuun keskiarvoon verrattuna (Lepistö ym. 1995).

Metsänhoito tai -uudistamistoimenpiteet vaikuttavat paitsi alueelta tulevan valunnan määrään niin myös sieltä tulevan valumaveden laatuun. **Maanmuokkauksen** ja metsänkäsittelyn seurauksena maaveden kemiallisessa koostumuksessa tapahtuu muutoksia. Palteen alapuolinen orgaaninen kerros

korkeine alumiini- ja ravinnepitoisuuksineen poikkeaa varsin paljon muista maakerroksista. Maahan varastoituneiden rauta- ja alumiiniyhdisteiden määrissä voidaan havaita maanmuokkauksen aiheuttamia muutoksia. Palteen pintakerroksista vapautuu rauta- ja alumiiniyhdisteitä, jotka kulkeutuvat eteenpäin profiilissa ja saostuvat uudelleen palteen alapuolisiin maakerroksiin. Vielä ei pystytty antamaan täsmällisiä vastauksia siitä, kuinka pitkään maanmuokkauksen vaikutukset näkyvät maaveden kemiassa (Tanskanen ja Ilvesniemi 1999). Pohjavedessä vaikutus näkyy ainakin kahdeksan vuoden ajan. Metsänkäsittelyn ja muokkauksen vaikutus pintaveden laatuun on todettu kestävän yllättävän pitkään (Kubin 1995b).

Tuhkalannoituksella oli Piiraisen (2000) mukaan suurempi vaikutus pohjaveden kuin valumaveden laatuun. Pohjaveden pH saattoi laskea tuhkallevityksen jälkeen, mutta jo seuraavana vuonna pH oli korkeampi kuin kontrollialueella. Pohjaveden sulfaattipitoisuus nousi voimakkaasti. Kokonaisfosforipitoisuudet nousivat pohjavesissä joillakin koalueilla. Myös ammoniumtyypipitoisuus pohjavesissä nousi.

Piiraisen (2000) tutkimuksessa tuhkalannoitus nosti valumavesien kokonaisfosforipitoisuuksia vain pölypuun-tuhkan kesälevityksen jälkeen. Ammoniumtyypin pitoisuus laski rahkaturpeisella koalueella. Kohonneita raskasmetallipitoisuuksia ei havaittu pohjavesissä. Ne todennäköisesti sitoutuvat tuhkan korkean pH:n takia vaikealiukoisiksi yhdisteiksi.

Huuhtouma

Osin hydrologisten muutosten ja osin mm. eroosion takia metsänuudistaminen lisää hakkuualueelta tulevan huuhtouman määrää. Vesistöissä muutokset voivat näkyä rehevöitymisinä. Varsinkin fosfaatti- ja kokonaisfosforin, kokonaistypen sekä raudan ja alumiinin pitoisuudet valumavesissä kasvavat (esim. Saukkonen ja Kenttämies 1993). Suoveden tunnusomainen piirre on liuenneen orgaanisen aineksen aiheuttama kellertävä tai ruskea väri (Sallantaus 1996). Kiintoaineen, orgaanisen aineen ja ravinteiden määrä valumavedessä riippuu hydrologisista oloista, maaperän ominaisuuksista, alueen topografiasta sekä valuma-alueen kasvipeitteestä ja tämän suksesiovaiheesta (Lepistö & Kivinen 1994).

Pienten metsäisten, luonnontilaisten valuma-alueiden vuotuinen fosforihuuhtouma vaihtelee eri tutkimuksissa 30 – 150 g ha⁻¹ a⁻¹ (Kenttämies 1998). Kortelaisen ym. (1999) mukaan pitkään seurannassa olleilta luonnon-

tilaisilta valuma-alueilta fosforin keskimääräinen huuhtouma oli noin 50 g ha⁻¹ a⁻¹.

Kokonaistypen huuhtouma saattaa olla metsätalousalueelta lähes kaksinkertainen luonnontilaiseen verrattuna (Ahtiainen 1990). Suomalaisissa tutkimuksissa luonnontilaisten metsäalueiden kokonaistyyppihiuhtoumaksi typpilaskeuma mukaan lukien on arvioitu 40-290 kg km⁻² a⁻¹ (Kenttämies 1998).

Normaalissa metsätalouskäytössä olevilta valuma-alueilta tuleva keskimääräinen orgaanisen hiilen huuhtouma vaihtelee välillä 2 000 – 8 800 kg km⁻² a⁻¹. Turve- ja maavaltaisilta alueilta huuhtoutui orgaanista hiiltä keskim. 6 400 kg km⁻² a⁻¹ (Saukkonen & Kortelainen 1995).

Metsätalouden vesistöjä pilaava vaikutus on paikoin hyvin selvästi nähtävissä. Toimenpiteistä varsinkin ojituksen ja lannoituksen on voitu osoittaa olevan osasyllisiä järvien rehevöitymiseen. Suomen alueella keskimääräinen ammoniumtyppilaskeuma on noin

Taulukko 4. Huuhtoumatuloksia luonnontilaisilta ja metsätalouskäytössä olleilta valuma-alueilta (Saukkonen ja Kenttämies 1993).

	Luonnontilainen, kg km ² a ⁻¹			Metsätalousmaa, kg km ² a ⁻¹				
	Hanke 2 1982-85	Hanke 3 1971-80	1981-90	Rekolainen (-89) 1965-74	1981-85	Hanke 16 1962-91	Rekolainen (-89) 1965-74	1981-85
Kok. P	7,1	5,7	8,9	5,3-7,7	5,9-8,9	8,8-15	8,8-18	11-16
PO ₄ -P	1,5		2,6			2,1-12		
Kok. N	205	110	290	130-190	300-310	180-250	230	200-270
NO ₃ -N	1,7	59	200			6,2-39		
NH ₄ -N	3,6	7,8	7,7			3,7-25		
Kiintoaine	540	3300	6800			850-2900		
Fe	320	180	370					
K	120	260	190					
Ca	420	230	1400					

263 kg km² a⁻¹ (Järvinen & Vänni 1990). Metsävaltaisilta ja luonnontilaisilta valuma-alueilta ammoniumtyypen luonnonhuuhtouma vaihtelee 3,6–7,8 kg km² a (taulukko 4). Metsätalousvaltaisilta alueilta huuhtouma saattaa olla jopa 25 kg km² a⁻¹.

Finer ym. (1995) totesivat, että kokonaistyyppien ja fosfaattifosforin huuhtoutuminen kalibrointijakson aikana on sitä suurempaa, mitä enemmän alueella on soita (taulukko 5).

Hakkuu katkaisee metsän ravinnekierron, kunnes ravinteet sitoutuvat kasvilisuteen uudelleen. Hakkuun seurauksena myös kosteus- ja lämpöolot maaperässä muuttuvat ja maanpinnan rikkoutuminen lisää mineralisaatiota maaperässä. Hakkuun seurauksena vesimäärät kasvavat valuma-alueella. Ahntaisen ym. (1988) mukaan tämä näkyi kuitenkin ainoastaan kaliumkuorman tilastollisesti merkittävänä nousuna.

Hakkuun jälkeen maanpintaan tulevan veden määrä lisääntyy latvuspäädännän loputtua, mutta ainakaan ensimmäisenä hakkuun jälkeisenä vuotena ei ole havaittu tapahtuvan merkittäviä muutoksia maan pintakerrokset läpäisevän

veden määrässä. On mahdollista, että nitrifikaation voimistuminen ja nitraattisekä ammoniumtyypen huuhtoutuminen tapahtuvat viiveellä ja muutokset havaitaan veden laadussa vasta pitemmän ajan kuluttua hakkuusta (Piirainen & Finer 1999).

Pieniltä valuma-alueilta tulevan kokonaisfosforihuuhtouman on havaittu hakkuun jälkeisinä vuosina yli nelinkertaistuvan ja fosfaattifosforin huuhtouman yli kuusinkertaistuvan luonnontilaiseen huuhtoumaan verrattuna (Ahtiainen 1990). Lepistö ym. (1995) havaitsivat fosforin huuhtoutumisen lisääntyvän hakkuun jälkeen selvästi. Hakkuun jälkeisenä vuonna kokonaisfosforia huuhtoutui 27,7 kg km² a⁻¹, josta hakkuun aiheuttamaa lisäystä oli 43%. Vastaavasti liukoista fosforia huuhtoutui 9,2 kg km² a⁻¹, josta hakkuun lisäys 86%. Kolmen ja puolen vuoden seurantajaksolla kokonaisfosforin huuhtoumalisäys verrattuna ennusteeseen luonnontilassa (10,6 kg km² a⁻¹) oli keskimäärin 62%. Myös Nieminen (1999) havaitsi fosforin huuhtoutumisen lisääntyvän merkittävästi varputurvekankaaksi luokitellulta uudistusalueelta (taulukko 6).

Taulukko 5. Keskimääräinen huuhtouma luonnontilaisilta valuma-alueilta vuosina 1992-94 (Finer ym. 1995).

	Kok.N kg km ² a ⁻¹	Kok.P kg km ² a ⁻¹	PO ₄ -P kg km ² a ⁻¹	Kiintoaine kg km ² a ⁻¹	Valunta (mm) ka 1992-94	Suon osuus (%) valuma-alueesta
Iso-Kauheha	197	6,3	1,3	870	408	50
Korsukorpi	165	5,6	1,3	1890	440	56
Porkkavaara	111	3,4	0,9	280	425	16
Kangasvaara	52	1,8	0,6	110	309	8
Kangaslampi	88	3,6	0,7	290	282	9

Fosforin huuhtoutuminen lisääntyy merkittävästi varputurvekankaaksi luokitellulta uudistamisalueelta. Koska maassa liukoisena oleva fosfaattifosfori muodostaa vaikealiukoisia yhdisteitä alumiini- ja rautaoksidien tai hydroksidien kanssa, ei fosforia yleensä huuhtoudu merkittävästi turpeista, joissa on paljon alumiinia tai rautaa (Nieminen & Ahti 1993).

Fosfaattifosforin huuhtoutumisen lisääntyminen pian hakkuun jälkeen johtuu osittain myös puiden fosforin oton loppumisesta, koska huuhtoutumista tapahtuu erityisesti humuskerroksesta (Piirainen & Finer 1999).

Sulfaattirikin on todettu pidättyvän mineraalimaan rauta- ja alumiiniyhdisteisiin ja sen kokonaishuuhtouma piene-

ni hieman hakkuuta edeltävään tasoon verrattuna. Vähitellen mineralisaatio voimistuu ja myös sulfaattirikin huuhtoutuminen voi lisääntyä (Piirainen & Finer 1999).

Hakkuu ja puunkorjuu voivat lisätä kiintoainehuuhtoumia rikkomalla maanpintaa ja tuhoamalla pintakasvilisuutta. Hakkuun vaikutus näkyi Lepistön ym. (1995) tutkimuksessa voimakkaimpana vuonna 1992, jolloin kiintoainetta huuhtoutui kaikkiaan 19,2 tn km⁻², josta hakkuutoimenpiteiden aiheuttama lisäys oli 8,7 tn km⁻². Vähävetisenä vuonna lisäys oli samaa suuruusluokkaa (2,2 tn) kuin luonnontilainen ennuste. Kolmen ja puolen vuoden seurantajaksolla lisäys verrattuna ennusteeseen luonnontilassa oli keskimäärin 72%.

Taulukko 6. Keskimääräiset valunnan ainespitoisuudet Vilppulassa neljällä vanhalla ojitusalueella ennen ja jälkeen uudistamistoimenpiteiden. Koko valuma alue käsiteltiin. I = avohakkuu, II ja IV = avohakkuu ja mätästys, III = avohakkuu ja mätästys. E = ennen käsittelyä, J = käsittelyn jälkeen (Nieminen 1999).

		Alue			
		I	II	III	IV
Kiintoaine mg/l	E	5,62	3,03	3,75	3,56
	J	1,46	1,31	0,91	15,95
Liuennut orgaaninen aine mg/l	E	65,6	60,2	39,9	37,2
	J	63,4	62,9	40,5	42,3
Orgaaninen typpi mg/l	E	0,99	0,94	0,64	0,68
	J	0,93	0,98	0,62	0,86
NH ₄ -N mg/l	E	0,009	0,011	0,001	0,004
	J	0,013	0,090	0,002	0,126
NO ₃ -N mg/l	E	0,002	0,000	0,000	0,000
	J	0,009	0,016	0,002	0,118
PO ₄ -P mg/l	E	0,000	0,000	0,000	0,000
	J	0,227	0,120	0,039	0,002
K mg/l	E	0,40	0,17	0,38	0,39
	J	0,64	0,57	0,94	1,14

Lepistön ym. (1995) tutkimuksessa hakkuun jälkeen koealueelta huuhtoutui vuonna 1992 nitraattityyppiä 820 kg km⁻² a⁻¹, josta hakkuun aiheuttama lisäys oli 290 kg km⁻² a⁻¹ (36%). Kokonaistyyppiä huuhtoutui samana vuonna 1100 kg km⁻² a⁻¹, hakkuun aiheuttama lisäys oli 50%.

Alatalon (2000) tutkimuksessa epäorgaanisen typen osuus kokonaistyyppi-kuormituksesta laski selvästi hakkuun jälkeen, ollen keskimäärin 47%. Se koostui lähes kokonaan nitraattityypeistä. Kivennäismaiden hakkuissa tyyppi-huuhtoumat voivat olla suuria. Turve- mailla nitraattityypikuormituksen havaittiin olevan luonnontilaista korkeammalla tasolla vielä 14 vuoden kuluttua ensimmäisestä metsänkäsittelystä. Metsätaloustoimenpiteistä aiheutunut ammoniumtypen lisäkuormitus oli 11 vuotta toimenpiteiden jälkeen vähäistä. Rehevillä kivennäismaavaltaisilla alueilla tyyppikuormitus saattaa laskea hakkuun jälkeen jo muutamassa vuodessa alkuperäiselle tasolle, kun rehevä aluskasvillisuus palau-

tuu nopeasti ja sitoo huuhtoutumiselle alttiin typen.

Hakkuiden jälkeen raudan huuhtoutumisen lisääntyminen johtuu maan vetymisestä ja happitilanteen äkillisestä heikkenemisestä (Sallantaus 1996).

Saukkosen ja Kenttämiehen (1993) mukaan aurauksen jälkeen kokonaistyyppi-fosforihuuhtouma lisääntyi 45% *maanpinnan muokkausta* edeltäneeseen vuoteen verrattuna. Kohonneen pohjavesipinnan seurauksena maaperä muuttuu anaerobiseksi, mikä osaltaan kiihdyttää fosforin liukenemistä. Pohjavesipinnan laskemisen jälkeen myös kokonais- ja fosfaattifosfori sekä kokonaistyyppikuormat saattavat alentua selvästi (Ahtiainen & Huttunen 1999).

Suometsätalouden tyyppikuormitus on suhteellisen vähäistä. *Metsäojitus* kuitenkin lisää epäorgaanisen typen huuhtoutumista, samoin kuin hakkuut (Sallantaus 1996). Nieminen (1999) havaitsi vanhoilla ojitusalueilla kiintoai-

Taulukko 7. Vanhojen metsäojitusalueiden keskimääräiset valumat sekä kuukausi- ja vuosihuuhtoumat (kg ha⁻¹ a⁻¹) (Joensuu ym. 1999).

	Valuma						Kiinto-				
	ls ⁻¹ ha ⁻¹	Kok.N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Org.N	DOC	aine	K	Al	Fe	Kok.P
21.-30.4.	0,408	0,18	0,009	0,022	0,15	8,0	0,96	0,206	0,192	0,29	0,018
Toukokuu	0,173	0,28	0,013	0,024	0,25	11,5	1,45	0,232	0,190	0,49	0,023
Kesäkuu	0,071	0,14	0,010	0,008	0,12	5,3	1,16	0,086	0,072	0,26	0,011
Heinäkuu	0,049	0,11	0,008	0,008	0,09	4,0	0,99	0,065	0,049	0,29	0,009
Elokuu	0,074	0,17	0,011	0,010	0,15	6,4	1,31	0,098	0,075	0,45	0,013
Syyskuu	0,047	0,09	0,005	0,006	0,08	4,1	0,26	0,082	0,048	0,22	0,007
Lokakuu	0,138	0,27	0,008	0,020	0,24	12,0	0,76	0,176	0,186	0,51	0,015
1.11.-20.4.	0,068	0,62	0,026	0,060	0,56	28,9	2,47	0,550	0,547	1,14	0,047
Yhteensä		1,86	0,088	0,158	1,65	80,4	9,71	1,494	1,360	3,65	0,143

neen huuhtoutumisen lisääntymistä ai-noastaan valuma-alueella, jossa ojitus-mätätystysojat ulottuivat turpeen alai-seen kivennäismaahan saakka.

Liuenneen orgaanisen aineen ja orgaa-nisen typen huuhtoutumat lisääntyivät valuma-alueilla, missä pohjavesipinta oli korkealla. Ammonium- ja nitraat-tyypen huuhtoumat lisääntyivät rehe-viltä, kuusivaltaisilta sekä ojitusmätäs-tetyiltä uudistamisalueilta (Nieminen 1999). Alueellinen vaihtelu kokonais-typen huuhtoumassa saattaa olla pien-tä. Keskimääräinen huuhtouma Sauk-kosen ja Kortelaisen (1995) tutkimuk-sessa oli 100-290 kg km⁻² a⁻¹. Typeä huuhtoutui hiukan enemmän turve-maavaltaisilta valuma-alueilta kuin ki-vennäismailta. Joensuu ym. (1999) ovat määrittäneet vanhojen metsäoji-tusalueiden keskimääräisiä kuukausi- ja vuosihuuhtoumia (taulukko 7).

Ahti ym. (1995) totesivat kiintoaine-huuhtouman lisääntyvän selvästi **kun-nostusojituksen** jälkeen. Suurin vaiku-tus näkyi alueilla, joissa valtaoja ja pääosa ojitusalueesta sisälsi lajittuneita, herkästi liikkeelle lähteviä kiven-näismaalajeja. Ojien kaivun loputtua osalla toimenpidealueista kiintoaine-pitoisuus laski muutamassa kuukau-dessa lähelle vertailualueen pitoisuus-tasoa. Voimakkaiden sateiden yhtey-dessä kiintoainespitoisuus saattoi nousta herkästi. Kiintoainespitoisuus korreloi positiivisesti kunnostusojitus-pinta-alan, ojamäärän ja perkausoja-määrän kanssa.

Raudan huuhtoutumisen lisääntymi-nen selittyy suonalaisten kivennäis-maiden vesien liikkuvuuden parantu-misella sekä suon suodatusvaikutuk-

sen vähentymisellä ojituksen jälkeen (Sallantaus 1996). Alueellinen vaihtelu raudan huuhtoumassa oli Kortelaisen ja Saukkosen (1998) mukaan huomata-vasti suurempaa (140-980 kg km⁻² a⁻¹) kuin fosforin, typen ja orgaanisen hii-len huuhtoumissa.

Ojitus saattaa joissakin tapauksissa vä-hentää orgaanisen aineksen huuhtou-tumista. Tämä on selitettävissä sillä, että ojitus vähentää turvekerroksen kanssa kosketuksiin joutuvan veden määrää. Myös tehostunut valunta suonalaisen kivennäismaan kautta saattaa vähentää valumaveden humus-pitoisuutta etenkin vähäisen valunnan aikana (Sallantaus 1996).

Soiden metsätaloudellisen käytön mer-kitys valumavesien happamuuteen on monimutkainen kysymys. Useissa tut-kimuksissa on saatu viitteitä siitä, että valumavesi neutraloituu osaksi metsä-ojituksen seurauksena. Ojituksen myö-tä suoekosysteemi muuttuu emäskatio-neiden osalta niiden lähteeksi valuma-vesiin. Väliaikainen pH:n lasku on myös mahdollista, mikäli humusainek-sen huuhtoutuminen lisääntyy esimer-kiksi runsaan suoveden tyhjentyemis-valunnan vuoksi. Turpeen vaihtuvien kationien suuri varasto toimii pusku-rina veden happamuuden äkillisiä vaihteluita vastaan (Sallantaus 1996).

Tutkimusten mukaan kolme vuotta hakkuun jälkeen tehty **auraus** aiheuti voimakkaan eroosion, jolloin kiintoaineen huuhtouma nousi suurimmil-laan 25-kertaiseksi lähtötilanteeseen verrattuna (Saukkonen ja Kenttämies 1993). Niemisen (1996) mukaan kä-sittelyistä pelkkä avohakkuu, avohakkuu ja mätästys ilman ojia sekä avo-

hakkuu ja ojitusmätästys turvepohjaiseen ojaan eivät lisänneet eroosiota eli kiintoaineen huuhtoutumista. Sen sijaan mätästysojien ulottaminen turpeen alaiseen kivennäismaahan aiheutti huomattavan kiintoainekuormituksen. Tulosten perusteella erityisesti ohutturpeiset suot ja soistuneet kangaat ovat riskialueita eroosiovaikutusten kannalta.

Kiintoaineen huuhtoutumisen palautuminen ennen maanpinnan käsittelyä edeltäneelle tasolle on arvioitu kestävän noin viisi vuotta. Nurmes-tutkimukset osoittivat, että hakkuu turvevaltaisella alueella voi nostaa erittäin merkittävästi ravinne- ja metallikuormia. Ojaerosion seurauksena etenkin suurilla vesimäärillä kiintoainekuorma voi jatkua korkeana lähes kymmenen vuotta toimenpiteiden jälkeen (Ahtiainen & Huttunen 1999). Kiintoaineen huuhtouma turvemaavaltaisilta alueilta oli kaksinkertainen ($490 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) kivennäismaavaltaisiin alueisiin verrattuna ($240 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) (Saukkonen & Kortelainen 1995). Sopivia vesien-suojeluratkaisuja käyttäen huuhtouman kesto saadaan huomattavasti lyhyemmäksi (Kubin ym. 2000). Luonnontilaisilta soilta ei kiintoainetta huuhtoudu juuri lainkaan.

Suomessa on *metsälannoitteiden* fosforin huuhtoutumisen turvemaalta arvioitu olevan enimmillään parin prosentin luokkaa ensimmäisenä vuonna lannoituksesta, kun on käytetty niukkaliukoista fosforia sisältävää lannoitetta. Huuhtoutumisen on todettu olevan pitkäaikaista (esim. Ahti ym. 1993). Talvilevityksen jälkeen on vesiliukoisen fosforin huuhtoutumisen todettu olleen voimakasta (Ahti & Paarlahti

1988). Kivennäismailla fosforin huuhtoutumisriskin oletetaan olevan pieni fosforin tehokkaan pidättymisen vuoksi.

Saura ym. (1995a) tutkivat metsälannoitteiden kesälevityksen vaikutuksia valumavesien laatuun viidellä osavalmaluoma-alueella. Lannoitteena käytettiin metsän NP-lannosta sekä suometsien PK-lannosta. Aineistosta kehitettiin myös tilastolliset huuhtoutumismallit kokonaisfosforin, fosfaattifosforin ja kokonaistypen pitoisuuksien ennustamiseen metsätalousalueelta.

Karujen turvemaiden kemiallinen fosforinpidätyskyky on huono rauta- ja alumiiniyhdisteiden vähyden vuoksi. Tämän vuoksi suometsän PK-lannoksella käsitellyltä suolta huuhtoutui ensimmäisen vuoden aikana fosforia lähes 270 kg km^{-2} eli melkein 7% levitetyn lannoitteen fosforista. Kuuden vuoden aikana lannoitteesta huuhtoutui noin 20%, eli 800 kg km^{-2} . Fosforilannoitteen huuhtoutuminen voi jatkua voimakkaana useita vuosia. Lannoitetulta suovaltaiselta valuma-alueelta tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli kuusi vuotta lannoituksen jälkeen vielä viisinkertainen lannoittamattomaan alueeseen verrattuna (Saura ym. 1995a).

Lannoittamattoman alueen vuosittaiset typpihuuhtoumat ovat olleet $82\text{--}150 \text{ kg km}^{-2}$. Nurmes-tutkimuksessa vertailupurojen kokonaistypen huuhtouma vaihteli välillä $130\text{--}270 \text{ kg km}^{-2}$ (Ahtiainen 1990). Lannoitetuilla valuma-alueilla typpihuuhtoumat olivat vertailualueita suurempia erityisesti ensimmäisenä lannoituksen jälkeisenä vuonna. Suurimmat typpihuuhtoumat

mitattiin kivennäismaa-alueelta, jossa huuhtouman lisäys oli noin 1500 kg km⁻². Tämä oli 10% levitetystä tyypestä. Suovaltaisilla valuma-alueilla huuhtoumaksi saatiin n. 5% (700 kg km⁻²). Jo toisena lannoituksen jälkeisenä vuonna typpilannoitteen huuhtoutuminen oli vähäistä, selvästi alle 1% kaikilta lannoitetuilta koealoilta. Kolmantena vuonna typpilannoitteen huuhtoutumista ei enää tapahtunut (Saura ym. 1995a).

Saura ym. (1995b) tutkivat metsänlannoituksen vesistövaikutuksia dynaamisen vedenlaatumallin avulla. Metsänlannoituksella havaittiin olevan selvä vaikutus tutkimusjärven ravinnetaseisiin. Typen osalta vaikutus keskittyi lannoituksen jälkeisiin kahteen vuoteen. Fosforilannoitteen merkitys järven kuormittajana jatkuu pitempään huomattavana, sillä vielä kuudentena vuonna toimenpiteestä metsänlannoituksen arvioitiin kaksinkertaistaneen järven fosforikuormituksen. Ravinnekkuormituksen keskittyminen kasvukauden ulkopuolelle vähentää välittömiä rehevöitymisilmiöitä ja järven sisäiset puskuriominaisuudet vaikuttavat samansuuntaisesti. Fosforia arveltiin tulevaisuudessa yhä enenevässä määrin vapautuvan pohjasta, koska kuormitus pysyy todennäköisesti suurena tutkimuskauden jälkeenkin. Näin rehevöitymisiongelmat voivat jatkossa pahentua. Lannoitetyypeä ei turvemailta juuri huuhtoudu, mikäli lannoite levitetään urean muodossa ja lumetomana aikana.

Tuhkalannoituksen mukana koealueille viedyt ravinnemäärät olivat Piiraisen (2000) mukaan huomattavasti suurempia kuin arvioidut huuhtouma-

määrät. Annetusta rikistä huuhtoutui tulosten mukaan saraturpeisella alueella vain 0 – 6% ja rahkaturpeisella alueella 19 – 50%. Tuhkan mukana annetusta kaliumista huuhtoutui 0 – 15%, kalsiumista 0 – 1% ja magnesiumista 0 – 8%. Ravinteiden huuhtoutumisen tuhkalannoitetulta alueelta todettiin olevan vähäistä rikkiä lukuun ottamatta. Hidasliukoisen fosforin huuhtoutuminen saattaa kuitenkin lisääntyä ajan kuluessa. Tuhkan rakeistamisella ei näyttänyt olevan vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen. Suurempi merkitys ravinteiden pidättymiseen on kasvupaikan laadulla. Karut ja rahkaiset suot pidättävät huomommin ravinteita kuin viljavat, saraturpeiset suot.

Tulosen ym. (2000) mukaan tuhkalanannoituksen jälkeen kaliumia, sulfaattia ja kloridia huuhtoutui selvästi nopeammin turvemailta kuin kivennäismailta. Mäntyvaltaisilta rämesoilta huuhtoutui suhteellisen pian myös kalsiumia ja magnesiumia sekä pohjavesiin fosforia. Tuhkalannoitetulta alueelta ei lannoituksen jälkeisinä kahtena vuonna fosforia huuhtoutunut normaalia enempiä kummaltakaan koealueelta, mikä johtui todennäköisesti itsekovetetun tuhkan sisältämän fosforin hitaasta liukenemisestä. Tuhkan liukenemisen myötä ravinteiden siirtyminen vedenvirtauspaikkoihin nopeutuu ja tapahtunee 2 – 3 vuoden kuluttua levityksestä (Moilanen & Issakainen 1999).

Kulotuksella on positiivinen vaikutus maaperään, sillä tuhkan emäkset yhdisteet neutraloivat maata ja lisäävät maaperän puskurointikykyä happamien sateiden vaikutuksia vastaan. Vaikka esim. suuri osa tyypestä haihtuu sa-

vukaasujen mukana ja osa ravinteista liukenee alempiin maakerroksiin, kompensoituu häviö lisääntyneenä mineralisaationa maan lämpötilan ja pH-luvun nousun myötä (Kubin & Puustinen 1995).

Kubin & Puustinen (1995) mittasivat koealueen hakkuutähteiden määräksi ennen kulotusta 22 800 kg/ha, josta kulotuksessa paloi lähes 90%. Humusta, kasvillisuutta ja kariketta oli vastaavasti 54 500 kg/ha ja siitä paloi yli puolet. Hakkuutähteisiin, humukseen, kasvillisuuteen ja karikkeeseen laskettiin yhteensä olleen sitoutuneena 550 kg typpeä, 56 kg fosforia, 98 kg kaliumia ja 345 kg kalsiumia. Kaikkiaan kulotuksessa palaneesta biomassasta vapautui typpeä 370, fosforia 40, kaliumia 70 ja kalsiumia 230 kg/ha.

Metsätaloustoimenpiteiden vesistövaikutusten pitkäaikaisseurannat

Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset valumavesien happamuuteen turvemaidella tunnetaan huonosti, mutta sitä on viime vuosina tutkittu aktiivisesti. Suometsikön kehityessä pintaturpeen happamuus kasvaa vähitellen. Puunkorjuussa poistuu osa emäskationivaroista. Mikäli ojitetun suon turvekerroksen hiilivarasto kasvaa ojituksen jälkeenkin, laimentaa uusi hiili emäskationien pitoisuuksia ja lisää tätä kautta mahdollisesti myös valumaveden happamuutta (Sallantaus 1996).

Nurmes-tutkimuksessa selvitettiin metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutuksia pienten purojen vesistökuormaan (Ahtiainen & Huttunen

1999). Luonnontilavaiheen aikana kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden purojen kiintoainekuormat olivat pieniä. Kuuden puron luonnontilavaiheen aikaiset kokonaisfosforikuormat vaihtelivat 3,8 – 14,9 kg km⁻² a⁻¹. Kauppi (1979) on esittänyt metsäisen valuma-alueen luonnontilavaiheen kokonaisfosforiarvoksi 4,6-5,6 kg km⁻² a⁻¹. Kuten tuloksista voidaan havaita, kuormitusluvut saattavat vaihdella suuresti. Nurmestutkimukseen kuuluneen Murtopuron kokonaisfosfori- ja kokonaistypipikuormat esimerkiksi vastasivat luonnontilassa suunnilleen Rekolaisen (1989) metsätalousvaltaisilta valuma-alueilta esittämiä tuloksia.

Metsätalouden toimenpiteistä johtuva fosforin vuosihuuhtouma oli Oulujärven vesistöalueen metsäalaa kohti laskettuna maksimissaan vain 0,69 kg km⁻² a⁻¹. Raskaasti muokattujen avohakkuualueiden ominaiskuormitus saattaa olla suurimmillaan yli 1 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja ojitustenkin lähes 0,5 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Kenttämies & Vilhunen 1999). Vuoteen 1996 mennessä metsätalouden fosforikuormitus oli laskenut kaikilla päävesistöalueilla alle 0,20 kg km⁻² a⁻¹. Tavanomaisessa metsätalouskäytössä olleiden pienten valuma-alueiden fosforihuuhtouma oli vuosina 1981-85 keskimäärin eri alueilla 1,10-1,60 kg km⁻² a⁻¹ (Rekolainen 1989). Saukkosen ja Kortelaisen (1995) mukaan vastaavien valuma-alueiden fosforihuuhtouma on 0,4-2,0 kg km⁻² a⁻¹.

Kokonaisfosfori- ja fosfaattifosforikuormituksen on havaittu palautuvan lähelle kalibrointikauden kuormitusta kuusi vuotta ensimmäisen metsätaloustoimenpiteen jälkeen. Laskennallinen luonnontila olisi kuitenkin edel-

lyttänyt vielä alemmaa kuormituksen tasoa, joten toimenpiteiden vaikutuksesta fosforikuormitus oli edelleen 14 vuoden seurantajakson lopussa 15-19% korkeampi kuin se olisi ollut ilman tehtyjä toimenpiteitä (Alatalo 2000).

Laskennallinen fosforikuormitus järven pinta-alayksikköä kohti laskettuna antaa suhteellisen käsityksen metsätalouden merkityksestä eri vesistöalueiden rehevöitymisessä. Todelliset metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamat rehevöitymisiongelmat esiintyvät vesistöjen latvaosien pikkujärvissä (esim. Kenttämies ym. 1995).

Vesistöjen pitkäaikaisseurannat eivät ole toistaiseksi suurilla vesistöalueilla osoittaneet yksiselitteisiä merkkejä orgaanisen aineksen pitoisuuksien kasvusta laajasta metsäojitustoiminnasta huolimatta (Sallantaus 1996). Avohakkuun on todettu nostavan soisen, ravinteisen valuma-alueen kokonais- ja fosfaattifosforihuuhtouman huomattavan korkeaksi ainakin kolmen vuoden ajaksi (Ahtiainen & Huttunen 1995).

Maanmuokkauksen ja metsänkäsitteilyn aiheuttama huuhtouma pintaveteen on yleensä suhteellisen lyhytaikaista, maksimit 2-3 vuotta muokkauksesta (Kubin 1995a, 1995b). Rekolaisen (1989) tutkimuksessa koealalla tehty muokkaus nosti kiintoaineen huuhtoutumisen suurimmillaan 170-kertaiseksi luonnontilaan verrattuna, eikä luonnontilaista tasoa saavutettu vielä kahdeksan vuoden kuluessa käsittelystä. Eroosioherkillä alueilla ojituksen vaikutus kiintoaineen kuormitukseen on havaittu kestävän yli kahdeksan vuoden ajan. Voimakkaat sateet saattavat aiheuttaa vielä yli kymmenen vuotta toimenpiteiden jälkeen merkittävää kuormituksen kasvua. Avohakkuu turvevaltaisella maalla aiheuttaa ainakin kolmen vuoden ajaksi yhtä suuren kokonaisfosforikuorman kuin peltoviljely.

Metsänkäsitteilyn vaikutus pohjaveden nitraattityypipitoisuuteen saattaa kestää paljon pitempään. Kubin (1998) havaitsi huuhtouman pohjaveteen kestävän yli 10 vuotta. Pitoisuuksien kohtaminen ei kuitenkaan ole niin suur-

Taulukko 8. Suomen metsämaiden "potentiaalinen" vesistökuormitus (Saukkonen & Kortelainen 1995).

	Etelä-Suomi		Pohjois-Suomi		Yhteensä
	kg km ² a ⁻¹	t/a	kg km ² a ⁻¹	t/a	
Kok.P	9,7	1100	10,5	860	2000
PO ₄ -P	3,0	340	2,4	200	540
Kok.N	210	24000	160	13000	37000
NO ₃ -N	31	3500	16	1300	4800
NH ₄ -N	32	3700	18	1500	5200
K	180	21000	220	18000	39000
Fe	450	52000	380	31000	83000
TOC	6100	700000	5000	410000	1100000
Kiintoaine	310	36000	470	38000	74000

ta, että se häiritäisi esimerkiksi veden juomakelpoisuutta. Pitkään jatkuva huuhtouma korostaa pitkäaikaisen tutkimuksen merkitystä luotettavan tietopohjan saamiseksi käytännön toimia ohjaavan suunnittelun tueksi.

Saukkonen ja Kortelainen (1995) arvioivat tutkimuskohteina olleiden 22 valuma-alueen tulosten perusteella Suomen metsämaalta vesistöihin kohdistuvan potentiaalisen kuormituksen, joka sisältää metsämaalle tulevan laskeuman, luonnonhuuhtouman ja metsätaloustoimenpiteiden aiheuttaman lisäkuormituksen (taulukko 8). Voitaan olettaa, että vain osa tästä kuormituksesta (sedimentoitumisen, hajoituksen yms. vuoksi) kulkeutuu suuriin vesistöihin ja edelleen mereen. Ahti (1990) arvioi eri metsätaloustoimenpiteiden ja turvemaiden ja kangasmaiden suhteelliset osuudet vesistöjen typpi- ja fosforikuormituksesta vuonna 1988. Eri metsätaloustoimenpiteistä avohakkuu, harvennus- ja väljennys-hakkuu, ojitus ja maanpinnan käsitte-

ly olivat typpikuormituksen osalta merkittävimmät tekijät. Fosforin kohdalla lannoitus muodosti lähes puolet kuormituksesta, seuraavaksi suurimmat kuormittajat olivat avohakkuu ja ojitus. Turvemaiden suhteellinen osuus vesistöjen typpikuormituksesta oli tutkimuksen mukaan alle 45%, kun niiden suhteellinen osuus vesistöjen fosforikuormituksesta oli noin 70%.

Luonnonhuuhtouman erottaminen metsätalouden kuormituksesta

Huuhtoumaa metsäalueilta on Suomessa tutkittu jo 1960-luvulta lähtien, mutta koska useimmilla alueilla on tehty metsätaloustoimenpiteitä, luonnonhuuhtouman erottaminen kokonaisuudesta on ollut vaikeaa. Luonnonhuuhtouman suuruudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä ei ole myöskään paljonkaan olemassa alueellisesti hyödynnettävissä olevia arvioita. Luonnonhuuhtouman suuruuden arviointi olisi oleellista suunniteltaes-

Taulukko 9. Valumaveden kokonaisfosforin, kokonaistypen, orgaanisen kokonaishiilen ja raudan mediaanipitoisuuksien minimi-, maksimi- ja keskiarvot uusilla ja vanhoilla valuma-alueilla (Kortelainen ym. 1999).

	Kok.P	Kok.N	TOC	Fe
Uudet valuma-alueet	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l
Keskiarvo	14	410	18	1000
Minimi	4	190	7	370
Maksimi	25	890	36	3100

	Kok.P	Kok.N	TOC	Fe
Vanhat valuma-alueet	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l
Keskiarvo	13	360	15	740
Minimi	3	40	1	18
Maksimi	32	1400	30	2200

sa metsätaloustoimenpiteiden vaikutusten ennaltaehkäisyä (Kortelainen ym. 1999).

Metsätalouden vesistövaikutustutkimuksissa on käytetty paljon nk. kalibrointivertailualue menetelmää, jossa muutaman vuoden kalibroinnin jälkeen toisella tutkimusalueella tehdään metsätaloustoimenpiteitä ja toinen alue jää koskemattomaksi. Talousmetsissä tehdyt arviot eivät kuitenkaan aina vastaa todellista luonnonhuuhtoumaa, sillä huuhtoumiin voivat vaikuttaa alueilla aiemmin tehdyt metsätaloustoimenpiteet (Kortelainen ym. 1996).

Luonnonhuuhtouman selvittämiseksi Kortelainen ym. (1999) tutkivat huuhtoumaa mahdollisimman luonnontilaisilta valuma-alueilta. Tutkimusalueet perustettiin kansallis- ja luonnonpuistoissa tai soidensuojelualueilla sijaitseville valuma-alueille tai metsien suojeluohjelmaan kuuluville alueille. Tutkimuksessa selvitettiin valumaveden laatua aikaisemmissa tutkimuksissa mukana olleilta 21 vanhalta koealueelta sekä lisäksi 21 uudelta perustetulta koealueelta (taulukko 9). Näiden katsottiin yhdessä antavan edustavan kuvan metsäsuovaltaisten alueiden luonnonhuuhtouman alueellisesta vaihte-

lusta Suomessa Lappia lukuun ottamatta.

Kortelaisen ym. (1999) tutkimukseen kuuluvien uusien valuma-alueiden keskimääräisiä huuhtoumia havaintojaksolta 1997-1999 ei ole vielä laskettu, mutta vanhojen valuma-alueiden keskimääräisiä huuhtoumia voidaan jo verrata metsätaloukskäytössä olleiden alueiden keskimääräisiin huuhtoumiin.

Kokonaisfosforihuuhtoumat metsätaloukskäytössä olleilta alueilta olivat Kortelaisen ja Saukkosen (1998) alueellisesti kattavassa aineistossa noin kaksinkertaisia ($10 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) verrattuna luonnontilaisten alueiden keskimääräisiin huuhtoumiin (taulukko 10). Kokonaistyyppiä ($190 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) ja rautaa ($420 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) metsätaloukskäytössä olleilta alueilta huuhtoutui noin 1,5 kertaa enemmän kuin luonnontilaisilta alueilta. Erot orgaanisen kokonaishiilen huuhtoumissa luonnontilaisten ja metsätaloukskäytössä olleiden alueiden ($5\ 700 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$) välillä olivat pienet.

Turvemaiden osuuden kasvu valuma-alueiden pinta-alasta lisäsi hiilen ja raudan huuhtoumaa sekä metsätaloukskäytössä olleilta että luonnontilaisilta valuma-alueilta. Myös kokonaistypen

Taulukko 10. Kokonaisfosforin, kokonaistypen, orgaanisen kokonaishiilen ja raudan keskimääräisten vuosihuhtoumien keskiarvot, minimi ja maksimit vanhoilta valuma-alueilta (Kortelainen ym. 1999).

Vanhat valuma-alueet	Kok.P $\text{kg km}^{-2}\text{a}^{-1}$	Kok.N $\text{kg km}^{-2}\text{a}^{-1}$	TOC $\text{kg km}^{-2}\text{a}^{-1}$	Fe $\text{kg km}^{-2}\text{a}^{-1}$
Keskiarvo	5,1	130	6 300	280
Minimi	1,7	29	940	1,40
Maksimi	15	230	14 000	940

huuhtoumat olivat turvevaltaisilta alueilta jonkin verran suurempia. Kokonaisfosforin huuhtoumissa erot turve- maavaltaiten ja kivennäismaavaltaiten alueiden välillä olivat pieniä (Kortelainen ym. 1999).

Metsätalous vesistöjen rehevöittäjänä

Suomen vesistöissä metsätalouden suurimmat haitat ovat toistaiseksi kohdistuneet latvavesien pohja- ja pieneliöstöön sekä kalakantoihin. Tulevaisuudessa riskejä voivat olla ravinteiden vapautuminen ojitusalueilta tulleesta pohjasedimentistä sekä turve- maiden päätehakkuihin liittyvät kuormitusriskit.

Etelä-Suomen vanhojen, rehevien metsien hakkuiden aiheuttamat ravinnehuuhtoumat ovat huomattava riski alapuolisille vesistöille, jos hakkuut kohdistuvat voimakkaina samoille alueille. Jos rehevällä metsämaalla hakattava metsä on puustoltaan nuorta, hakkuu saattaa katkaista vielä voimakkaammin metsäekosysteemin luontaisen ravinnekierron ja johtaa vielä suurempiin ravinnehuuhtoumiin (Lepistö ym. 1995).

Metsätaloustoimenpiteet (avohakkuu ja maanmuokkaus) aiheuttavat vesistöissä selvää rehevöitymistä. Kainuussa tehdyissä tutkimuksissa (Rask, ym. 1996) veden kemiallinen hapenkulutus ja veden väriluku suurenivat, mikä viittasi lisääntyneeseen orgaaniseen kuormitukseen. Lisäksi kokonaisfosfori-, rauta- ja kaliumpitoisuudet nousivat. Muutokset eivät olleet kovin suuria, mikä oli todennäköisesti sen ansiota, että rannoille jätettiin 20-50

metrin levyinen suojakaista. Tutkimusjärjestyksessä myös päällystetyn veden määrä suureni. Samoin sekä veden että päällystetyn klorofyllipitoisuudet nousivat. Kaikissa koejärjestyksessä havaittiin pohjaeläintiheyden kasvaminen, mikä johtui pienten surviaissääsken toukkien runsastumisesta.

Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamat veden laadun muutokset ovat merkittäviä purojen levä- ja bakteerituotannolle. Valaistusolojen muutos näyttäisi olevan yksi merkittävimmistä purojen tuotantoa säätelevistä tekijöistä. Holopaisen ja Huttusen (1995) tutkimuksessa purojen ravinnepitoisuuden nousu ei vaikuttanut levälajistoon tai levätuotantoon. Avohakkuun jälkeen havaittiin merkitsevä korrelaatio leväbiomassan ja kokonaisfosforin, -typen sekä liukoisen orgaanisen hiilen välillä. Kokonaisravinnesuhteiden perusteella typpipitoisuus oli joissakin tutkimuspuroissa leväkasvua rajoittava tekijä. Toimenpidealueiden puroissa havaittiin ainoastaan pieni bakteerituotannon kasvu.

Tehtyjen metsätaloustoimenpiteiden jälkeen purojen levästä muuttui ensin muutaman harvan dominoivan lajin yhteisöksi. Vasta myöhemmin levien lajimäärä kohosi. Kymmenen vuotta metsänkäsittelyjen alkamisesta näyttäisi olevan liian lyhyt aika purojen vesibiologian palautua luonnontilaiselle tasolle. Purot pysyvät muuttuneina kunnes käsittelyjen alojen metsät sulkeutuvat ja ojat umpeutuvat (Holopainen & Huttunen 1995).

Lepistö & Saura (1995) totesivat lannoitusta seuranneen vuoden kasviplanktonin voimakkaan kevätmaksii-

min sekä a-klorofyllinä että biomassana mitattuna olevan ainakin osittain lisääntyneen ravinnekuormituksen aiheuttama. Ravinteiden lisääntyminen ei lisännyt sinilevien määrää kuin hetkellisesti ja vain hiukan. Humus sitoo osan fosforista leville käyttökelvottomaan muotoon ja toisaalta humuksen takia vesi on liian hapanta sinilevien runsastumista ajatellen. Lajistollisesti huomattavin muutos oli suurikokoisen *Gonyostomum semen*-levän runsastuminen. Vaikka vielä ei osattu sanoa varmasti, nousivatko pitoisuudet pysyvästi, saattoi *Gonyostomum*-levän runsastuminen olla ensimmäinen merkki järven rehevyytason noususta.

Jotkut piilevät hyötyvät metsätalouden toimenpiteistä. *Aulacoseira distans* var. *tenella* runsastuu veden humuspitoisuuden noustessa. *Asterionella ralfsii* var. *americana* taas hyötyy veden ravinteisuuden kasvusta. Sandmanin ym. (1995) tutkimuksen mukaan metsätalouden vesistövaikutukset näkyvät myös suurten järvien ja reittivesistöjen pohjakerrostumissa. Järvien rehevöitymisen metsätalouden toimenpiteiden seurauksena todettiin olevan pitkäkestoista.

Tuhkalannoituksen jälkeen on havaittu vesistöissä kasviplanktonin määrän nousua (Tulonen ym. 2000). Vesi-ekosysteemin korkeammilla tasoilla, eläinplanktonissa ja kalastossa ei selviä muutoksia ollut havaittavissa. Myöskään raskasmetallien välitöntä kertymistä ravintoketjuihin ei havaittu. Tuhkan aiheuttama maaperän happamuuden lasku voi aluksi vähentää tai hidastaa raskasmetallien huuhtoutumista maaperästä. Tuhkan neutraloi-

va vaikutus maaperässä voi kestää muutamasta vuodesta useisiin vuosiin, mutta raskasmetallivarastojen liukeneminen voi alkaa maaperän uudelleen happamoituessa. Tutkimuksen mukaan tuhkasta ei ollut selvää välitöntä haittaa vesistölle, kun pienen latvajärven valuma-alueesta käsiteltiin alle 20%.

Metsätalous muodostaa selvän uhan taimenkantojen säilymiselle. Eniten huomattavia vaikutuksia taimenen runsaudessa havaittuihin muutoksiin todettiin ojitusten ja purojen perkausten seurauksena. Purouoman perkaus heikentää yksittäisistä toimenpiteistä selvimmin taimenkantojen elinolosuhteita. Kuitenkin taimentiheyksien ja poikastuotannon kannalta myös rantäräystäiden määrä ja purouoman rakenteellinen monimuotoisuus, kuten vedensyvyyden vaihtelu ja pohjakivikoiden esiintyminen on oleellista. Taimenkantojen kannalta asiaa ajatellen purojen perkauksista metsäojitusten yhteydessä tulisi luopua kokonaan. Muista metsätalouden toimista ainakin ojituksilla on taimenen kannalta selvästi haitallisia vaikutuksia. Ojituksen aiheuttama eroosion lisääntyminen on mädin kuolevuutta lisäävä yksittäinen tekijä (Rask ym. 1996).

Tehdyissä kokeissa humuksen lisääminen veteen lievensi selvästi alumiinin ja raudan myrkyllisyyttä taimenelle ja harjukselle. Veden happamuuden kasvaessa metallien myrkyvaikutus kasvaa. Humus ei kuitenkaan kokonaan poista näiden aineiden myrkyllisyyttä. Luonnonvesissä voi olla alumiinin ja raudan lisäksi mangaania kaloille haitallisessa määrin. Koska päästöt ovat usein lyhytaikaisia, kalojen selviytymisen kannalta on tärkeää, miten

niiden kidukset toipuvat metallien aiheuttamista vaurioista. Kylmässä vedessä kidukset toipuvat hitaammin (Rask ym. 1996).

Kesän vanha taimen on tutkimuksissa ollut vastaavan ikäistä harjasta herkempi paitsi kuolleisuuden myös ionisäätelykyvyn perusteella. Taimenen ionitasapaino järkkyy rautaa ja humustakin sisältävässä lievästi happamassa vedessä (Peuranen ym. 1994).

Ahvenen ja hauen kohdalla koekalastussaaliissa, kalakantojen rakenteessa tai kalojen kasvussa ei havaittu metsätaloustoimien vaikutuksiin yhdistettäviä muutoksia (Rask ym. 1996). Metsätalouden kalastovaikutusten vähäisyyttä ei kuitenkaan pidä yleistää, sillä ahven ja hauki sopeutuvat hyvin ympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Järvissä, joissa alueveden happipitoisuus on heikentynyt metsätaloustoimenpiteiden seurauksena, viileää alusvettä vaativien lajien, kuten mateen tai muikun elinmahdollisuudet huonontuvat. Myös kutupohjien liettyminen vaikuttaa samaan suuntaan.

Yleensä ajatellaan, että metsätaloustoimenpiteet aiheuttavat elohopeapitoisuuksien nousua kaloissa. Rask ym. (1996) havaitsivat kuitenkin keskimääräisissä elohopeapitoisuuksissa lievä laskeva suuntaus. Todennäköinen syy tähän oli luultavasti veden laadun muutosten vaikutus elohopean dynamiikkaan, mikä vähensi elohopean rikastumista järven tuotantoketjussa. Muutoinkaan metsätalouden aiheuttamissa muutoksissa ei havaittu haittaa pienten järvien virkistyskalastuskäytölle.

Rapu on hyvin herkkä ympäristönsä fyysisille ja kemiallisille muutoksille. Puroissa tehtävien ruoppauksen ja perkauksen välittömänä seurauksena rapukanta häviää ja ravuille soveltuva pohjan pinta-ala pienenee, kun puron luonnolliset polvet ja poukamat oikaistaan. Samalla rapujen suojapaikat vähenevät, kun kivet juurakot ja kasvituppaat raivataan pois. Huuhtoutuva kiintoaines liettää pohjan, rapujen suojakolot tukkeutuvat ja syönnösalueet liettyvät (Rask ym. 1996).

Tehdyn kyselytutkimuksen mukaan noin 8% vapaa-ajankalastajista piti metsä- tai suo-ojituksia huomattavana pääasiallisena kalastusvesiä pilaaavana tekijänä. Vain maatalous katsottiin yleisemmäksi haitan aiheuttajaksi. Yli puolet niistä vastaajista, jotka pitivät ojituksia huomattavana haitan aiheuttajana, ilmoittivat havainneensa ilmiöitä, jotka yleensä liittyvät ojituksen aiheuttamiin vesistömuutoksiin (Rask ym. 1996).

Metsätalouden vesistökuormituksen vähentämiskeinot

Perustan käytännön metsätalouden toimille antavat metsäsuunnittelu ja kasvupaikkakohtainen metsien käsittely. Metsäsuunnittelun haasteena on ympäristönhoitoon liittyvien tietojen liittäminen perinteisiin puustotietoihin. Metsien käsittelyvaihtoehtovalikoima on laajentunut ja jokaiselle kasvupaikalle räätälöidään sille sopivien toimenpiteiden yhdistelmä (Salpakivi-Salomaa 1996). Metsätaloudessa on vasta vähän ehditty käyttää hyödyksi soiden kykyä toimia ravinteita valuma-alueelta huuhtoutuvia epäpuhtauksia ja ravinteita pi-

dättävänä puskuriekosysteeminä. Kubin ym. (2000) ovat havainneet pinta-
valutuskentän toimivan erittäin tehok-
kaana valumavesien puhdistusmene-
telmänä muokatuilla metsänuudista-
misalueilla. Pintavalutuskentät toimi-
vat hyvin myös turvetuotantoalueiden
valumavesien puhdistuksessa (Ihme
ym. 1992). Turvetuotantoalueilla on
käytetty myös haihduntaa ja maape-
räimeytykseen perustuvaa menetelmää
(Kempainen ym. 1998). Aikaisem-
min suurta kuormitusta aiheuttaneet
purojen perkaukset, mittavat kuivatus-
toimenpiteet, karujen soiden lannoit-
ukset, suuret uudistusojitukset ja mer-
kittävimmit vesistökuormitusta aihe-
uttaneet työtavat alkavat jo olla histo-
riaa. Suometsätaloudessa on kuitenkin
edelleen paljon tehtävää. Kunnostuso-
jitukset, harvennus- ja päätehakuut
sekä puiden korjuu ovat suurimmaksi
osaksi edessäpäin (Sallantaus 1996).

Käytännössä on suhteellisen vaikeaa
vaikuttaa valumaveteen liuenneisiin
aineisiin. Sen sijaan kiintoaineen
huuhtoutumiseen voidaan vaikuttaa
sekä oikealla suunnittelulla, oikeilla
työmenetelmillä, töiden oikealla ajoit-
uksella että teknisillä suojeleluratkai-
suilla (Joensuu & Kokkonen 1992).
Haitallisimpien toimenpiteiden ja toi-
mintatapojen välttäminen ovat parhaita
tapoja kuormituksen vähentämi-
seen. Uusimmat vesiensuojeluohjeet
ovat jo erittäin hyviä (Sallantaus
1996).

Kunnostusojituksen suunnittelun kes-
keisin vesiensuojeluperiaate on vält-
tää suurien vesimäärien johtamista
yhden ojan kautta. Kuormitusta syn-
tyy siellä, missä vettä eniten liikkuu.
Samalla on vältettävä suuria ojakalte-

vuuksia. Vaikka vedet pyritäänkin joh-
tamaan vesistöihin mahdollisimman
harvoja laskuojia käyttäen, tämä ei
merkitse sitä, että olisi aina käytettä-
vä vain yhtä laskuojaa. Useampaa las-
kuojaa käytettäessä voidaan eroosiota
ja kiintoainekuormitusta pienentää
käyttämällä useampaa laskuojaa (Ahti
1996). Ojitusmätästyksen aiheuttaman
suuren vesistökuormitusriskin takia
kannattaa ohutturpeisilla ja soistuneilla
kankailla harkita ojitusmätästyksen
korvaamista pelkällä mätästyksellä
(Nieminen 1996).

Niskaojien eroosioriskiä voidaan pie-
nentää ohjaamalla vedet tietyin välein
sarkaojiin. Kiintoainekuormitusta voi-
daan pienentää myös kaivukatko-
in sekä ojaston ja vesistön väliin jätettä-
villä suojavyöhykkeillä. Myös ojien
kaivujärjestyksen oikealla suunnitte-
lulla voidaan kiintoainekuormitusta
vähentää. Tehokas keino on kaivaa las-
ku- ja kokoojaojat vuotta sarkaojia
myöhemmin (Ahti 1996). Pehmeillä
mailla jo kevyiden koneiden liikkumi-
nen voi aiheuttaa suuria muutoksia
eroosion määrässä (Sallantaus 1996).

Teknisiä vesiensuojeluratkaisuja ovat
lietekuopat, laskeutusaltaat ja pinta-
valutuskentät. Lietekuopilla pyritään pie-
nentämään sarkaojien kaivutöiden vä-
litöntä kiintoainekuormitusta. Laskeu-
tusaltailla pyritään vaikuttamaan koko
ojitusalueen kiintoainekuormitukseen.
Ne pienentävät oikein suunniteltuina
kiintoainetta suhteellisen hyvin, mut-
ta niillä ei voida vaikuttaa veteen liu-
enneiden aineiden pitoisuuksiin (Ahti
1996).

Turvetuotantoalueilla tehtyjen laskeu-
tusallastutkimusten tulokset (esim. Se-

lin & Koskinen 1995) ovat kiintoainespitoisuuden vähenemisen osalta yhdensuuntaiset Ahdin ym. (1995) kunnostusojitusalueelta saatujen tutkimustulosten kanssa. Runsaalla puolella tutkimuksessa mukana olleista altaista keskimääräisen kiintoainespitoisuuden perusteella laskettu teho jäi alle 20%:iin. Neljänneksellä altaista ero jäi alle 5%:n. Muutamista altaista jopa lähti liikkeelle enemmän ainesta kuin sinne tuli. Vajaalla viidenneksellä altaista pitoisuuksien ero nousi 50%:iin, mitä voidaan pitää hyvänä tuloksena. Lietealtaat saattavat täytyä hyvinkin nopeasti ja joskus niitä joudutaan tyhjentämään vuosittain.

Lietekuopat, altaat ym. keinotekoiset pidättimet menettävät kuitenkin suhteellisen nopeasti tehonsa, kun vesimäärät kasvavat. (Sallantaus 1996). Ojakatkot ojitusalueen ja valtaojan välillä sekä valtaojan perkaamatta jättäminen uudistamisen yhteydessä voivat vähentää eroosioaineksen huuhtoutumista vesistöihin (Nieminen 1996). METVE-projektin tutkimuksissa laskeutusaltaat pidättivät kiintoainetta suhteellisen hyvin alueilla, missä pohjamaa oli karkeaa hietaa tai sitä karkeampaa ainesta. Altaiden mitoitussarvojen todettiin jäävän yleensä liian pieniksi (Ahti 1996).

Pintavalutus kentillä vedet johdetaan tasaiselle kasvillisuuden peittämälle pinnalle. Virtauksen hidastuessa kiintoaineen kulku pysähtyy. Mikäli pintavalutus kentän kasvillisuus ei kuole, se saattaa pidättää jonkin verran myös liukoisia ravinteita (Ahti 1996).

Metsätaloussuunnitelmiin voidaan merkitä vesiensuojelun kannalta tärke-

ät erityiskohteet, jotta maanomistajat, töiden suunnittelijat ja toteuttajat eivät tietämättään pilaa vesistöjä (Joensuu & Kokkonen 1992).

Kunnostusojitukseen liittyvät suunnittelun keinot ovat nykyisin jo arkipäivää. Vesi- ja ympäristölainsäädäntö on tiukentunut ja sen myötä suunnitteluvirheiden aiheuttama turha kuormitus on vähentynyt. Metsätalouden suunnittelussa tulisi mahdollisuuksien mukaan pyrkiä valuma-aluekohtaiseen suunnitteluun, eli tulisi ottaa huomioon myös lähialueiden metsätalous. Yhtäaikainen suo-ojitus ja läheisillä kivennäismailla tehtävät avohakkuut suurentavat valumavesien määrää ja ojaston eroosioriskiä huomattavasti (Joensuu & Kokkonen 1992). Vakiintunut tilanne, luonnollinen tulva-alue ja elinvoimainen kasvillisuus vesien kulkureiteillä olisi pyrittävä säilyttämään (Sallantaus 1996).

Ideaalinen vesiensuojeluratkaisu metsätalousalueen ja vesistön välillä on toimiva ojittamaton suoekosysteemi. Suoekosysteemillä on merkitystä fyysikaalisena, kemiallisena ja biologisena vesiensuojeluratkaisuna. Näiden aktiivinen ennallistaminen voisi tulla kysymykseen paitsi pysyvänä huoltovapaana vesiensuojeluratkaisuna, myös keinona luonnon monimuotoisuuden ja uhanalaisten biotooppien palauttamiseksi (Sallantaus 1996).

Metsätalouden pienvesistöjen eliöstölle aiheuttamia haittoja voidaan välttää noudattamalla vesistöjen läheisyydessä pehmeämpiä metsänkäsittelytapoja. Suojavyöhykkeen jättäminen rannan tuntumaan on osoittautunut tehokkaaksi tavaksi sekä kalojen elinympä-

ristöä huonontavan kiintoainekuormituksen että haitallisten veden laadun muutosten estämisessä (Rask ym. 1996). Roby ym. (1977) havaitsivat, ettei hakkuun haitallisia vesistövaikutuksia esiintynyt, kun suojavyöhykkeet olivat yli 30 metriä leveitä.

Ratkaisumallien räätälöinti kullekin toimenpidealueelle voi kuitenkin tuottaa ongelmia. Yksin metsätaloukseen huomattavan suuri uomaverkosto rajoittaa suuresti suojavyöhykkeisen käyttömahdollisuuksia. Sen vuoksi tarvittaisiin valuma-aluekohtaisia, pysyviä ja huoltovapaita vesiensuojeluratkaisuja, joissa suojavyöhykkeet sijaitisivat siellä, missä vedet purkautuvat vesistöihin. Luonnontilainen suo on ihanteellinen puskuriekosysteemi, se tarjoaa monipuolisen vesiensuojeluhyödyn ja lisäksi toimivan suoekosysteemin vuosittain kerryttämään uuteen turpeeseen pidättyvä ravinteita pitkäksä aikaa (Sallantaus ym. 1999). Suuri osa vesiensuojelutarkoituksiin ideaalisista pienialaisista läpivirtaussoista on ojitettu etenkin Etelä-Suomessa. Ennallistamalla valuma-alueella strategisessa asemassa oleva metsäojitettu suo voidaan luoda luonnontilaisen suon tapaan toimiva puskurivyöhyke. Metsätalouksella ennallistettavien suonosien pinta-alaosuudeksi riittää yleensä muutama prosentti valuma-alueen pinta-alasta (Sallantaus ym. 1999).

Suon ennallistaminen voi aiheuttaa kohonneita fosfaatin ja ammoniumtyypen konsentraatioita lähtevään veteen. Tätä voidaan torjua poistamalla puskurialueelta vedenpinnan nousun vuoksi kuoleva puusto kokopuukorjuuna. Tällöin hakkuutähteistä vapautuvat ravinteet

eivät vapaudu vaiheessa, jolloin ravinteita pidättävä kasvillisuus on heikoimmillaan. Soiden ennallistaminen tulee kysymykseen lähinnä alueilla, joissa korkeuserot ovat suurehkoja. Tasailla alueilla ennallistamisalueen yläpuolelle syntyisi laaja vettymisvyöhyke, joka ei edistä vesiensuojelua, mutta haittaisi metsätalouden harjoittamista (Sallantaus ym. 1999).

Kalastoa ajatellen puroumien perkauksista sekä eroosioherkillä mailla tehtävistä metsäojituksista tulisi luopua kokonaan (Rask ym. 1996). Suojavyöhykkeillä kannattaa suosia lehtipuita ja puusto suositellaan jätettäväksi luonnontilaan. Jos tämä ei ole mahdollista, suositellaan yksittäisten puiden poistamista niin, että jäljelle jäisi varjostavaa lehtipuustoa tai alikasvosta. Kuusivaltaisilla kohteilla luodaan jo harvennusvaiheessa tilaa lehtipuulle. Korjuussa ajetaan suojavyöhykkeen ulkopuolella, puut kaadetaan pois päin vesistöä ja huolehditaan siitä, että hakkuutähteet eivät pääse vesistöön (Salpakivi-Salomaa 1996).

Valtioneuvosto on tehnyt periaatepäätöksen vesien suojelun tavoitteista vuoteen 2005 (Reunala ym. 1999). Päätöksen mukaisesti on tehty vesien suojelun tavoitteiden toteuttamista tukeva toimenpideohjelma (Suomen ympäristökeskus 2000). Metsätalouden osalta tavoitteena on vähentää metsätaloustoimien aiheuttamaa fosfori- ja typpikuormitusta 50 prosenttia vuoden 1993 arvioidusta tasosta vuoteen 2005 mennessä. Tavoitteena on myös, ettei metsien kestävä hoito ja käyttö vähennä metsätalouden vaikutuspiirissä olevien vesistöjen monimuotoisuutta (Reunala ym. 1999). Vuoden 2000

loppuun mennessä typpihuuhtouma on vähentynyt 13-25% ja fosforihuuhtouma 36-57% (Silvo ym. 2002).

Metsätalouden ympäristöohjelmassa (Reunala ym. 1999) esitetyt keskeisimmät vesistökuormitusta vähentävät keinot ovat:

- Vähennetään maa-aineksen eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista vesiin suosimalla erityisesti metsämaan eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista pienentäviä puunkorjuu-, metsänhoito-, ja perusparannusmenetelmiä.
- Metsiä lannoitetaan ensisijaisesti puuston terveyden ylläpitämiseksi sellaisilla lannoitteilla, levitysmenetelmillä ja kasvupaikoilla, että ravinnehäviöt vesistöihin ovat mahdollisimman vähäiset.
- Lannoitusta ei tulisi toteuttaa roudan aikana.
- Pohjavesialueilla vältetään uudistus- ja kunnostusojituksia, raskasta maanmuokkausta ja lannoitteiden käyttöä.
- Tuhka- ja metsien terveyslannoitusten vesistövaikutukset tutkitaan ennen turvemaiden lannoittamista.
- Metsänkasvatuskelvottomia karuja soita ei lannoiteta.
- Maataloudesta ja turkistarhauksesta tulevan lannan tai runsaasti raskasmetalleja sisältävien lannoitteiden käyttöä ei sallita metsien lannoituksessa.
- Pienvesien suojeluun kiinnitetään erityisen suurta huomiota.
- Metsätalouden vesiensuojelun toteutuksen seurantaa ja valvontaa kehitetään nykyisestä.

Yksityiskohtaiset vesien- ja vesiluonnon suojelutoimet on määritelty uudistetuissa metsänhoitosuosituksissa (Metsätalouden kehittämiskeskus Ta-

pio 2001). Suositukset on tarkoitettu metsätalouden harjoittamisen peruslinjauksiksi kaikissa talousmetsissä. Niissä pyritään antamaan metsänomistajille selkeä kuva siitä, miten metsemme puuntuotantomahdollisuudet tulevat käytetyksi hyväksi niin, että samalla toimitaan sopusoinnussa luonnon-, ympäristön- ja maisemanhoidon vaatimusten kanssa.

Metsätalouden aiheuttamien arvotettujen vesistöhaittojen suuruusluokka oli 1980-luvun loppupuolella 10 – 58 milj. mk vuodessa. Arvioitujen haittojen osuus oli 0,8 – 4,6% vuoden 1990 metsänhoidon ja metsänparannustöiden kokonaiskustannuksista. MELA-simulointien mukaan suojavyöhykkeiden avohakkuista luopuminen aiheuttaisi vuotuiseen hakkuukertymään keskimäärin 17% vähennyksen, samalla kun hakkuukustannukset nousisivat 8%. Kuitenkin mikäli toiminnalla aiheutetaan peruuttamattomia muutoksia, olisi arvioinnissa taloudellisen arvon selvittämisen sijasta painotettava eettisiä näkökohtia. Näin tarkastelun keskeiseksi päämääräksi muodostuu suojelusta aiheutuvan suurimman hyväksyttävän kustannustason määrittely (Matero & Saastamoinen 1995).

Tulokset viittaavat siihen, että kapeiden suojavyöhykkeiden jättäminen kaikkialla ei ole yhteiskunnallisesti kannattavaa. Suojavyöhykkeiden vesien käyttöön kohdistuvat vaikutukset rajoittuvat lähinnä virkistys- ja suojeluarvoihin. Vesiensuojelutoimien toteuttaminen kunnostusojituksen yhteydessä kuuluu kannattavimpiin vesiensuojelutoimiin (Matero & Saastamoinen 1995).

Ympäristökuormituksen huomiointi metsätalouden suunnittelussa

Monet metsätalouden toimenpiteet aiheuttavat ympäristökuormitusta metsäekosysteemiin. Ympäristönsuojelun ja metsätalouden yhteensovittaminen on kuitenkin mahdollista. Huolellisen ennakkosuunnittelun avulla voidaan merkittävästi vähentää metsätalouden aiheuttamaa ympäristökuormitusta (Store 1996).

Suuri osa Suomen metsistä kuuluu säännöllisen metsäsuunnittelun piiriin, mikä mahdollistaa metsäsuunnittelun käytön metsäneuvonnan ja metsäpoliittisen ohjauksen välineenä. Se tarjoaa mahdollisuuden sisällyttää mm. ympäristönsuojelullisia päämääriä talousmetsien hoitoon ja käyttöön. Monet metsänomistajat haluavat myös vapaasta tahdostaan ottaa ympäristöseikat huomioon metsien käsittelyssä.

Metsäsuunnittelun tärkein tavoite on luonnollisesti puuntuotanto, niinpä useimmat käytössä olevat suunnittelu- ja järjestelmät on kehitetty lähinnä puuntuotannon suunnitteluun. Muiden arvojen huomioonottaminen on toistaiseksi toteutettu lähinnä kuvailevin menetelmin. Tällä tarkoitetaan arvojen liittämistä suunnitteluprosessiin suunnittelijoiden kokemusten ja näkemysten perusteella.

Suomessa metsänkäsittelytoimenpiteiden ympäristövaikutukset on pyritty ottamaan huomioon kaikkien metsänomistajaryhmien metsänkäsittelyohjeissa. Numeeristen menetelmien käyt-

tö on kuitenkin ollut vähäistä. Ympäristökuormituksen arvioinnissa on pyritty kehittämään menetelmiä, joilla ympäristöalan asiantuntijoiden tietämys saataisiin kytkettyä numeeriseen metsäsuunnitteluun. Asiantuntijatietämystä hyödyntävää numeerista suunnittelumenetelmää on kehitetty mm. kunnostusvaihtoehtojen hyötyvertailuun (Kangas 1991, Kangas ym. 1996). Analyyttistä hierarkiaprozessia on käytetty usein myös päätöskriteerien tärkeyksien estimoimisessa (Store 1996).

Paikkatietojärjestelmät tarjoavat joukon työkaluja, joita voidaan hyödyntää ympäristökuormituksen pienentämiseen tähtäävässä suunnittelussa. Tyypillisin paikkatietosovellus on etsiä alueet, joilla tietyn toimenpiteen toteuttaminen aiheuttaa mahdollisimman vähän ympäristöongelmia. Vesistökuormituksen ja eroosion vähentämiseen tähtäviä paikkatietojärjestelmäpohjaisia suunnittelumenetelmiä ovat kehittäneet mm. Ashton ym. (1995) ja Adinarayana & Krishna (1995).

Metsäsuunnittelun suuren kattavuuden ansiosta pienetkin parannukset ympäristönsuojelun huomioonottamisessa numeerisessa metsäsuunnittelussa voivat olla merkittäviä. Erityisen tärkeää on pyrkiä kehittämään menetelmiä, joilla ympäristönsuojelu voitaisiin ottaa rutiiniluonteisesti ja kohtuullisin kustannuksin huomioon vaihtoehtoisten metsäntuotanto-ohjelmien vertailussa niin metsikkötason kuin metsäaluetasonkin tarkastelussa (Store 1996).

Kirjallisuus

- Adinarayna, J. & Krishna, N. 1995. An approach to land-use planning in a hilly watershed using geographical information systems. *Land Degeration & Rehabilitation* 6(3): 171-178.
- Ahti, E. & Paarlahti, K. 1988. Ravinteiden huuhtoutuminen talvella lannoiteltulta metsäojitusalueelta. *Suo* 39:19-25.
- Ahti, E. 1990. Metsätalouden ympäristövaikutukset. *Metsä 2000* –ohjelman tarkistukseen liittyvä asiantuntijaselvitys.
- Ahti, E., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1993. Laskeutusaltaiden vaikutus kiintoaineen huuhtoutumiseen kunnostusojitusalueilta. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta. METVE-projektin väliraportti. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 455: 111-117.*
- Ahti, E., Alasaarela, E. & Ylitolonen, A. 1995. Kunnostusojituksen vaikutus ojitusalueen hydrologiaan ja valumavesien ainepitoisuuksiin. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 157-168.*
- Ahti, E. 1996. Kunnostusojituksen aiheuttama vesistökuormitus. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus - tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 67-69.*
- Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.) 1999a. *Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745. 172 s.*
- Ahti, E., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1999b. *Kunnostusojituksen vaikutus metsäojitusalueiden valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.) 1999. Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 79-90.*
- Ahtiainen, M. 1990. Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset purovesien laatuun. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 45: 1-110.*
- Ahtiainen, M., Holopainen, A-L. & Huttunen, P. 1988. General description of the Nurmes-study. Symposium on the hydrology of wetlands in temperate and cold regions. Joensuu, Finland. 6-8 June, 1988. *Suomen Akatemian julkaisuja 4/1988:107-121.*
- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1995. *Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset purovesien laatuun ja kuormaun. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 33-50.*
- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1999. *Nurmestutkimus 20 vuotta - metsätaloustoimenpiteiden pitkä-aikaisvaikutukset kuuden pienen puron vesistökuormaun. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.) 1999. Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 29-38.*
- Alatalo, M. 2000. *Metsätaloustoimenpiteistä aiheutunut ravinne- ja kiintoainekuormitus. Suomen ympäristö. Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. 64 s.*
- Ashton, P., Vanzyl, F. & Heath, R. 1995. *Water quality management in the crocodile river catchment, Eastern Trans-*

- vaal, South Africa. *Water Science & Technology* 32(5-6): 201-208.
- Finér, L., Ahtiainen, M., Höytämö, J., Mannerkoski, H., Piirainen, S., Seuna, P., Starr, M. & Store, R. 1995. Kangasmaan päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus veden ja ravinteiden kiertoon: kalibrointijakson tuloksia. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus.* s. 383-398.
- Holopainen, A.-L., Huttunen, P. 1995. Avohakkuun, maanmuokkauksen ja ojituksen hydrobiologiset vaikutukset ja niiden kesto Nurmes-tutkimusalueella. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus.* s. 185-197.
- Hynninen, P. 1988. Veden laadun kehityksestä Kiiminkijoessa vuosina 1971-1985. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja* 25: 1-73.
- Hyvärinen, A. 1990. Deposition on forest soils. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & kenttämies, K. (toim.). *Acidification in Finland.* p. 199-213.
- Hyvärinen, V. 1996. Vesivirrat metsäekosysteemissä. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus - tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 607: 7-10.
- Ilme, R., Heikkinen, K. & Lakso, E. (1992). Turvetuotantoalueiden valumavesien puhdistus. Pintavalutus, turvesuodatus, päästeputkipidättimet ja laskeutusaltaat. Kauppa- ja teollisuusministeriö. *Energiaosasto. Tutkimuksia D:* 199.
- Joensuu, S. ja Kokkonen, J. 1992. Metsätalouden vesiensuojelu. *Metsäkeskus Tapio.*
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, E. 1998. Quality of runoff water from old ditch networks in Finnish peatland forests. In: Sopo, R. (ed.). *Proceedings of the International Peat Symposium 'The Spirit of Peatlands - 30 Years of the International Peat Society'*, Jyväskylä, Finland, 7-9 September, 1998. p. 70-72.
- Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. *Boreal Environment Research* 4(4): 343-355.
- Jäppinen, J-P, Väisänen, R. & Asanti, T. 1995. (toim.). *Maapallon biodiversiteetti. Toimintaohjelma luonnon monimuotoisuuden ylläpitämiseksi. Vesi- ja ympäristöhallitus, luonnonsuojelututkimusyksikkö.*
- Järvinen, O. & Vänni, T. 1990. Bulk deposition chemistry in Finland. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & kenttämies, K. (toim.). *Acidification in Finland.* p. 151-165.
- Kangas, J. 1991. Menetelmä metsäojitusvaihtoehtojen hyötyvertailuun. *Suo* 42:49-59.
- Kangas, J., Lauhanen, R. & Store, R. 1996. Kunnostusojitusvaihtoehtojen vesistövaikutusten arviointi ja integrointi päätösanalyysiin. *Suo* 47(2):47-57.
- Kauppi, L. 1979. Phosphorus and nitrogen input from rural population, agriculture and forest fertilization to watercourses. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 34:35-46.
- Kemppainen, S. Lippo, H., Selin, P. & Ijäs, L. 1998. Haihdutus ja maaperäimetyt turvetuotannon vesienkäsittelyssä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 687. 98 s.
- Kenttämies, K. 1980. The effects on water quality of forest drainage and fertilization in peatlands. The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins. *Proceedings of the Helsinki Symposium, June 1980. IAHS - AISH Publ.* 130: 277-284.

- Kenttämies, K. 1987. Metsäojituksen ja metsälannoituksen vaikutus valumaveden ominaisuuksiin. *Lisensiaattityö*. Helsingin yliopisto. *Limnologian laitos*. 34 s.
- Kenttämies, K. 1998. The effects of modern boreal forestry practices on waters. *Julkaisussa: Kajander, J. (toim.). XX Nordic Hydrological Conference. Nordic Association for Hydrology, Helsinki, Finland 10-13 August 1998. NPH Report no. 44: 142-162.*
- Kenttämies, K., Lepistö, L. & Vilhunen, O. 1995. Metsätalouden osuus Suomessa todetuista vesistöjen levähaitoista. *Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 65-71.*
- Kenttämies, K. & Vilhunen, O. 1999. Metsätalouden fosfori- ja typpikuormitus vesistöihin vuosina 1977-1996 ja arvio kuormituksen kehittymisestä vuoteen 2005 erityisesti Oulujärven vesistöalueella. *Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.) 1999. Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 115-126.*
- Komiteamietintö 1987. Metsä- ja turvetalouden vesiensuojelutoimikunnan mietintö 62. 344 s.
- Kortelainen, P., Saukkonen, S., Finér, L., Sallantausta, T., Starr, M. & Isomäki, A. 1996. Luonnonhuuhtoutuman erottaminen metsätalouden aiheuttamasta kuormituksesta. *Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus - tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 87-89.*
- Kortelainen, P. & Saukkonen, S. 1998. Leaching of nutrients, organic carbon and iron from Finnish forestry land. *Water, Air and Soil Pollution 105: 239-250.*
- Kortelainen, P., Ahtiainen, M., Finér, L., Mattsson, T., Sallantausta, T. & Saukkonen, S. 1999. Luonnonhuuhtouma metsävaluma-alueilta. *Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.) 1999. Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 9-13.*
- Kubin, E. 1995a. Site preparation and leaching of nutrients. In: Ritari, A., Saarenmaa, H., Saarela, M. & Poikajärvi, H. *Northern Silviculture and Management. Proceedings of the IUFRO Symposium, August 16-22, 1987, Lapland, Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 567: 55-62.*
- Kubin, E. 1995b. Avohakkuun, hakkuutahteiden talteenoton ja maanmuokkauksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. *Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 65-71.*
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research 3(3): 3-8.*
- Kubin, E. & Puustinen, M. 1995. Kuluksessa palavan hakkuutahteen ja humuksen määrä sekä niistä vapautuvat ravinteet. *Julkaisussa: Poikolainen, J. & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kuusamossa 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 552: 55-61.*
- Kubin, E., Ylitolonen, A., Välihalo, J. & Eskelinen, J. 2000. Prevention of nutrient leaching from a forest regeneration area using overland flow fields. In: Haigh, M. & Krecke, J. (eds.). *Environmental reconstruction in headwa-*

- ter areas. Kluwer Academic Publishers. p. 161-169.
- Laine, J. & Päivänen, J. 1992. Soiden ainetaseet ja ilmaston muutos: yhteenveto. Teoksessa: Kanninen, M. & Anttila, P. (toim.). Suomalainen ilmankin muutosten tutkimusohjelma. Tutkimuksen väliraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92: 189-192.
- Lepistö, A. & Kivinen, Y. 1994. Source areas for storm runoff generation estimated by isotope methods and the TOPMODEL. Julkaisussa: Kanninen, M. & Heikinheimo, P. (toim.). The Finnish Research Programme on Climate Change, Progress Report 2: 97-103.
- Lepistö, A., Seuna, P., Saukkonen, S. & Kortelainen, P. 1995. Hakkuun vaikutus hydrologiaan ja ravinteiden huuhtoutumiseen rehevältä metsävaluma-alueelta Etelä-Suomessa. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 73-84.
- Lepistö, L. & Saura, M. 1995. Metsälannoituksen vaikutukset Kalliojärven kasviplanktonin määrään ja koostumukseen. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 199-211.
- Manninen, P. 1998. Effects of forestry ditch cleaning and supplementary ditching on water quality. Boreal environment research 3: 23-32.
- Matero, J. & Saastamoinen, O. 1995. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 337-351.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2001. Hyvän metsänhoidon suositukset.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1999. Tuhkan metsävaikutukset –loppuraportti. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusasema.
- Mustonen, S. (toim.) 1986. Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys ry. 503 s.
- Nevalainen, S. 1993. Ilman saasteet metsien uhkatekijänä. Teoksessa: Mäkelä, P. & Kangas, J. (toim.). Metsäluonnon ja -ympäristön hoito. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 478: 12-17.
- Nieminen, M. 1995. Avohakkuun vaikutus typen kiertoon vanhoilla ojitusalueilla: alustavat tulokset ensimmäisenä vuotena hakkuusta. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 362-382.
- Nieminen, M. 1996. Avohakkuun, maanmuokkauksen ja lannoituksen vaikutus ainevirtoihin ojitetuilla turvemaila. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus - tutkijaseminaari Vääksyssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 70-73.
- Nieminen, M. 1999. Pätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus valumaveden laatuun vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 109-113.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 1993. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta. Summary: Leaching of nutrients from an ombrot-

- rophic peatland area after fertilizer application on snow. *Folia Forestalia* 814: 22 s.
- Peuranen, S., Vuorinen, P. J., Vuorinen, M. & Hollender, A. 1994. The effects of iron, humic acids and low pH on the gills and physiology of brown trout (*Salmo trutta*). *Ann. Zool. Fenn.* 31: 389-396.
- Piirainen, S. 1993. Metsätalouden vesistövaikutukset - tutkimustoiminta Itä-Suomessa. Julkaisussa: Mäkkeli, P. & Kangas, J. (toim.). *Metsäluonnon ja -ympäristön hoito. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 478: 23-28.*
- Piirainen, S. 2000. Huuhtoumat tuhka-lannoitetuilta turvemailta. *Metsätehon raportti 90.*
- Piirainen, S. & Finér, L. 1999. Ennakkotuloksia kangasmaan avohakkuun vaikutuksesta maan pintakerroksen läpi huuhtoutuviin ravinnemääriin. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 23-28.*
- Rask, M., Jutila, E., Järvenpää, T., Lappalainen, A. ja Vuorinen, P. 1996. Metsätalouden vaikutukset kalakantoihin. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus - tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 74-85.*
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica* 19,2: 95-107.
- Reunala, A, Halko, L. & Marila, M. 1999 (toim.). *Kansallinen metsäohjelma 2010 - Taustaraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/1999.*
- Roby, K.B., Erman, D.C. & Newbold, D.J. 1977. Biological assessment of timber management activity impacts and buffer strip effectiveness on natural forest streams of Northern California. *Earth Resources, monograph 1: 169.*
- Sallantaus, T. 1996. Suoekosysteemin ainevirrat. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus -tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 61-66.*
- Sallantaus, T., Laine, J. & Vasander, H. 1999. Soita ennallistamalla puskuri-vyöhykkeitä metsätalouden vesistöhaittojen torjuntaan. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 91-99.*
- Salpakivi-Salomaa, P. 1996. Metsätalouden ympäristökuormituksen vähentäminen käytännön metsätaloudessa. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). *Metsätalouden ympäristökuormitus -tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 104-105.*
- Sandman, O., Turkia, J. & Huttunen, P. 1995. Metsänkäsittelyn vaikutukset järvien paleolimnologisiin muutoksiin. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 2131-227.*
- Saukkonen, S. ja Kenttämies, K. 1993 (toim.). *Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta. Metve-projektin väliraportti. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 455.*
- Saukkonen, S. & Kortelainen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus ravinteiden ja orgaanisen hiilen huu-

- toutumiseen. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 15-32.
- Saura, M., Sallantausta, T., Bilaletdin, Ä. & Frisk, T. 1995a. Metsänlannoitteiden huuhtoutuminen Kalliojärven valuma-alueelta. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 87-104.
- Saura, M., Bilaletdin, Ä., Frisk, T. & Huttula, T. 1995b. Metsänlannoituksen vesistövaikutusten arviointi dynaamisen vedenlaatumallin avulla. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Suomen ympäristökeskus. s. 105-120.
- Selin, P. & Koskinen, K. 1995. Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen. Vesihallitus, tiedotus 262: 1-112.
- Seuna, P. 1985. Metsätalouden hydrologiset vaikutukset Nurmestutkimuksen valossa. Vesihallituksen monistesarja 369:23-32.
- Silvo, K., Hämäläinen, M-L., Forsius, K., Jouttijärvi, T., Lapinlampi, T., Santala, E., Kaukoranta, E., Rekolainen, S., Granlund, K., Ekholm, P., Räike, A., Kenttämies, K., Nikander, A., Gröönroos, J. & Rönkä, E. 2002. Päästöt vesiin 1990-2000. Vesiensuojelun tavoitteiden väliarviointi. Suomen ympäristökeskuksen moniste 242.
- Store R. 1996. Ympäristökuormituksen huomioonottaminen metsätalouden suunnittelussa. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus -tutkijaseminaari Vääksyssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 99-103.
- Suomen ympäristökeskus 2000. Vesien suojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005. Suomen ympäristö 402. Ympäristönsuojelu.
- Tanskanen, N. ja Ilvesniemi, H. 1999. Maan muokkauksen vaikutus metsämaan kemiallisiin ominaisuuksiin. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 15-21.
- Tulonen, T., Ollila, S. & Arvola, L. 2000. Tuhkalannoituksen vesistövaikutukset. Metsätalon raportti 87.
- Vuori, K.M., Joensuu, I., Latvala, J., Jutila, E. & Ahvonen, A. 1998. Forest drainage: a threat to benthic biodiversity of boreal headwater streams. Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecos. 8: 745-759.
- Väisänen, R. 1993. Metsätalouden ympäristövaikutukset ja luonnon monimuotoisuus. Teoksessa: Mäkkeli, P. & Kangas, J. (toim.). Metsäluonnon ja -ympäristön hoito. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 478: 12-17.

ISBN 951-40-1836-2
ISSN 0358-4283