



Metsätalouden ympäristökuormitus

– tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne-luontokeskuksessa

20.-21.5.1996

Leena Finér
Hannu Ilvesniemi
Pirkko Kortelainen
Leena Karvinen (toim.)

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Metsätalouden ympäristökuormitus

— tutkijaseminaari Vääksyssä Päijänne-
luontokeskuksessa 20.-21.5.1996

Toimittaneet:

Leena Finér
Hannu Ilvesniemi
Pirkko Kortelainen
Leena Karvinen

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 607
JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
Kirjasto

Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.) 1996. Metsätalouden ympäristökuormitus — tutkijaseminaari Vääksyssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607. 107 s. ISBN 951-40-1521-5, ISSN 0358-4283.

Julkaisu on laadittu Vääksyssä Päijänne -luontokeskuksessa 20.-21.5.1996 pidetyn Metsätalouden ympäristökuormitus — tutkijaseminaarin alustusten perusteella. Seminaariin osallistui 38 tutkijaa. Seminaari järjestettiin Metsätalouden ympäristökuormitus -yhteistutkimusohjelman suunnittelutyöryhmän aloitteesta. Suunnittelutyöryhmässä työskentelee jäseniä Metsäntutkimuslaitoksesta, Joensuun ja Helsingin yliopistoista, Geologian tutkimuskeskuksesta, Maatalouden tutkimuskeskuksesta, Päijänne -luontokeskuksesta, Suomen ympäristökeskuksesta ja Hämeen, Etelä-Savon ja Keski-Suomen ympäristökeskuksista sekä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksesta. Seminaarin tarkoituksena oli luoda katsaus alan tutkimustoimintaan ja tutkimustarpeeseen sekä toimia työvälineenä tutkimusohjelman suunnittelussa. Yhteistutkimusohjelma käynnistyy viisivuotisenä vuoden 1996 aikana.

Avainsanat: hakkuut, lannoitus, maanmuokkaus, maaperä, ojitus, pohjavesi, vesistövaikutukset, ympäristökuormitus

Toimittajien yhteystiedot: Finér, L. & Karvinen, L., Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu, Ilvesniemi, H., Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos, PL 24, 00014 Helsingin yliopisto, Kortelainen, P., Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema. Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 6.9.1996.

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu, puhelin (013) 251 4000, telefax (013) 251 4111.

Hinta: 100 mk

Kannen kuva: Väinö Kemppainen, Asematie 3, 89640 Pesiökylä.

Sisällys:

Kirjoittajat	5
Veli Hyvärinen Vesivirrat metsäekosysteemissä	7
Sirpa Piirainen Uudistuskypsän metsikön vesi- ja ravinnevirrat	11
Mikko Kukkola ja Eino Mälkönen Puunkorjuun vaikutus kangasmaiden puuntuotoskykyyn	20
Seppo Kaunisto Fosforin ja kaliumin poistuma rämeeltä ensiharvennuksessa.....	26
Risto Lauhanen ja Reetta Kolppanen Metsätaloudessa käytettävien öljyjen luontovaikutukset	29
Jari Ala-Ilomäki ja Arto Rummukainen Puunkorjuukoneiden maastoliikkuvuuden mallittaminen.....	34
Matti Sirén Hakkuukonetyön korjuujälki ja sen ennustaminen	36
Tuomo Hatva Uusimmat selvitykset pohjavettä koskevista vaaroista	44
Heikki Tanskanen Geologian ja metsätalouden välisestä vuorovaikutuksesta.....	55
Tapani Sallantaus Suoekosysteemien ainevirrat	61
Erkki Ahti Kunnostusojituksen aiheuttama vesistökuormitus.....	67
Mika Nieminen Avohakkuun, maanmuokkauksen ja lannoituksen vaikutus ainevirtoihin ojitetuilla turvemaidella	70
Martti Rask, Eero Jutila, Teuvo Järvenpää, Antti Lappalainen ja Pekka Vuorinen Metsätalouden vaikutukset kalakantoihin	74
Kaarle Kenttämies Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttamat muutokset vesistöissä ja niiden merkitys.....	86

Pirkko Kortelainen, Sari Saukkonen, Leena Finér, Tapani Sallantaus, Michael Starr ja Antti Isomäki Luonnonhuuhtoutuman erottaminen metsätalouden aiheuttamasta kuormituksesta.....	87
Marketta Ahtiainen Metsätalouden aiheuttaman kuormituksen merkitys ympäristöviran- omaisen näkökulmasta.....	90
Jukka Matero Ympäristökuormitus osana metsäsektorin vihreätä ympäristötilinpitoa	95
Ron Store Ympäristökuormituksen huomioonottaminen metsätalouden suunnittelussa.....	99
Päivi Salpakivi-Salomaa Metsätalouden ympäristökuormituksen vähentäminen käytännön metsätaloudessa	104

Kirjoittajat

Ahtiainen Marketta
Pohjois-Karjalan ympäristökeskus
PL 69
80101 Joensuu

Ahti Erkki
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Ala-Ilomäki Jari
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Finér Leena
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun tutkimusasema
PL 68
80101 Joensuu

Hatva Tuomo
Suomen ympäristökeskus
PL 140
00251 Helsinki

Hyvärinen Veli
Suomen ympäristökeskus
PL 140
00251 Helsinki

Isomäki Antti
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Jutila Eero
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 202
00151 Helsinki

Järvenpää Teuvo
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 202
00151 Helsinki

Kaunisto Seppo
Metsäntutkimuslaitos
Parkanon tutkimusasema
Kaironiementie 54
39700 Parkano

Kenttämies Kaarle
Suomen ympäristökeskus
PL 140
00251 Helsinki

Kolppanen Reetta
Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus

Kortelainen Pirkko
Suomen ympäristökeskus
PL 140
00251 Helsinki

Kukkola Mikko
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Lappalainen Antti
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 202
00151 Helsinki

Lauhanen Risto
Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus

Matero Jukka
Joensuun yliopisto
Metsätieteellinen tiedekunta
PL 111
80101 Joensuu

Mälkönen Eino
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Nieminen Mika
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Piirainen Sirpa
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun tutkimusasema
PL 68
80101 Joensuu

Rask Martti
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Evon kalantutkimus ja vesiviljely
16970 Evo

Rummukainen Arto
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Sallantaus Tapani
Hämeen ympäristökeskus
Tampereen sivutoimipaikka
PL 297
33101 Tampere

Salpakivi-Salomaa Päivi
UPM-Kymmene Metsä
Salpausselänkatu 26 A
45101 Kouvola

Saukkonen Sari
Päijänne-Luontokeskus
Tallukantie 1
17200 Vääksy

Sirén Matti
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Starr Michael
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan tutkimuskeskus
PL 18
01301 Vantaa

Store Ron
Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus

Tanskanen Heikki
Geologian tutkimuskeskus
Betonimiehenkuja 4
02150 Espoo

Vuorinen Pekka
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
PL 202
00151 Helsinki

VESIVIRRAT METSÄEKOSYSTEEMISSÄ

Veli Hyvärinen

Suomen ympäristökeskus

Metsäalueiden vesitaseen määrittäminen kasvifysiologisin menetelmin on vaikeaa, ja vähänkin laajempien metsäalueiden vesitasetarkasteluissa on turvaututtava hydrologisiin menetelmiin.

Talvisateissa veden happi-18-pitoisuus on erilainen kuin kesäsateissa. Mittaamalla valumaveden happi-isotooppisuhteet voidaan jäljittää valumaveden ikäsuhteet, äskettäin sataneen tai sulaneen veden osuus ja vanhemman veden osuus (kuva 1) (Lepistö 1996).

Alueellista vesitasetta säätelevät sääolot, erityisesti sadanta, ja valuma-alue ominaisuuksineen. Suomessa sekä järvet että metsät tasoittavat valunnan vaihteluita ja samalla hidastavat tehokkaasti varsinkin kiintoaineen kulkeutumista veden mukana. Metsäalueilta haihtuu vettä enemmän kuin pelloilta tai hakatuilta alueilta. Metsittäminen ts. pienentää alueen kokonaisvaluntaa, jos metsitettävä alue on rajallinen. Runsas haihdunta laajoilta metsäalueilta kuitenkin lopulta lisää sadantaa. Metsät siis säätelevät otollisesti vesitasetta - seikka jota mm. Tshehov on pohtinut sureksiessaan Venäjän metsien hakkuita ja vesivarojen kohtaloa.

Koska Suomen alasta valtaosa on metsiä, Suomen valuma-alueiden vesitase on monissa tapauksissa lähes sama kuin metsäalueiden vesitase. Suomen alueen uusien vesitaselaskelma on WMO:n standardijaksolta 1961-1990. Sen mukaan Etelä-Suomen n. 720 mm vuosikeskisadannasta valuu meriin n. 300 mm ja noin 420 mm haihtuu. Lapin pohjoisosissa vastaavat luvut ovat noin 550, 330 ja 220 mm. Koko Suomen vesitase 1961-1990 on seuraava: sadanta 660 mm, valunta 320 mm ja haihdunta 340 mm. Tarkastelussa on selvitetty vesitasemuuttajat valuma-alueittain ja haihdunnat maastotyypeittäin (Hyvärinen ym. 1995) (taulukko 1). Vesitasetta laskettaessa selvisi mm. miten suuri vaikutus liikakaskeamisella on 1800-luvulla ollut Saimaan alueen vesitaseeseen (kuva 2).

Pitkät hydrologiset aikasarjat osoittavat valunnan keskimäärin kasvaneen 100 viime vuoden aikana suuressa osassa Suomea ja muuta Pohjolaa. Etelä- ja Keski-Suomessa etenkin talviajan virtaamat ovat kasvaneet; pohjoisessa Fennoskandiassa tilanne on kuitenkin päinvastainen, sillä talvet ovat siellä kylmentyneet (Hyvärinen ym. 1995, Hisdal ym. 1995). Kokonaisvalunnan kasvu johtuu sadannan kasvusta. Haihdunta ei näytä muuttuneen olemassa olevien Class A -havaintojen mukaan tai haihdunta on pikemminkin ollut vähenemässä (Järvinen & Kuusisto 1995).

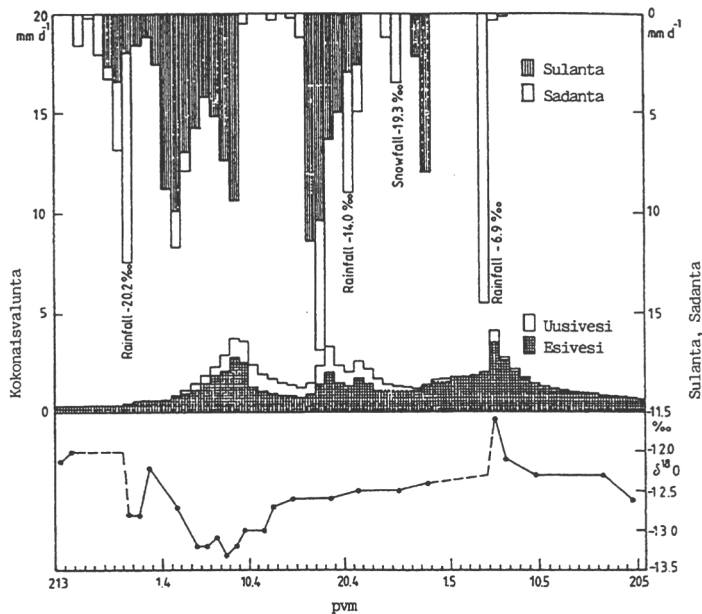
Metsäojitus muuttaa ojitetun alueen hydrauliset olot mutta myös maankosteus-, pohjavesi- ja haihduntaolot. Heti ojien avaamisen jälkeen vesi- ja ainevirtaukset kiihtyvät. Samalla tavalla vaikuttavat lähes kaikki muutkin ihmisen voimakkaat puuttumiset maanpintaan ja kasvillisuuteen

(urbanisoituminen, hakkuut). Tällaista valuma-alueiden rappeutumista voidaan luonnehtia entropia-käsitteen kautta (Singh & Fiorentino 1992, Hyvärinen 1993) (kuva 3). Suomen oloissa metsä- ja suoalueilla ihmisen toimesta tapahtuneet hydrologiset muutokset ovat suurelta osalta palautuvia - päin vastoin kuin esim. trooppisilla alueilla ja vuorten rinteillä.

Luonnossa ilmenee sellainen periaate, että monimuotoisuus (\approx järjestys) ja attraktorit (luonnossa yhteyksiä evoluutioon) ovat entropian (\approx epäjärjestyksen) kasvun vastavoimia hyvin toimivissa järjestelmissä. Tästä kolmiyhteydestä ei liene olemassa tylykkääksi formuloitua teoriaa; sen voidaan kuitenkin nähdä toimivan kaikkialla, luonnossa ja ihmisen kulttuureissa. Parhaiten toimivissa ja samalla monimuotoisimmissa järjestelmissä (sademetsissä, koralliriutoissa) energian kulutus tuoteyksikköä kohti on pienin (kts. esim. Glasby 1988). Mantereiden kasvillisuus (metsät) on riippuvainen hyvin toimivasta (\approx entropiaa hitaasti kasvattavasta) veden kiertokulusta, ja se vuorostaan suuressa määrin hyvinvoivasta kasvipeitteestä, kuten terveestä metsästä.

Taulukko 1. Suomen vesitase purkualueittain ja koko Suomen alueella 1961-1990. Aluejako Kuusiston (1992) mukaan (Hyvärinen ym. 1995) (P=sadanta, E=evapotranspiraatio, R=valunta, VV=vesivaraston muutos).

Alue	Ala km ²	P	E m ³ s ⁻¹ /mm a ⁻¹	R	VV
Laatokkaan laskevat vesistöt	56 399	1270/711	717/401	550/307	+3/+2
Suomenlahteen -"-	51 865	1172/713	691/420	481/293	-1/0
Saaristomereen -"-	10 479	248/747	144/434	104/313	-1/0
Selkämereen -"-	40 187	881/692	527/414	354/278	-1/0
Perämereen ” (vesistöt 42...58)	35 901	709/623	380/334	329/289	0/0
Perämereen ” (vesistöt 59...67)	110 550	2225/635	966/276	1251/357	+8/+2
Jäämereen laskevat	25 451	430/533	161/200	258/320	+1/0
Vienanmereen laskevat	6 212	130/660	55/279	75/381	0/0
Yhteensä	337 041	7065/660	3629/341	3402/318	(+9/+1)



Kuva 1. Sulanta ja sadanta (mm/d), kokonaisvalunta sekä uudenveden ja esiveden lasketut osuudet valunnasta (mm /d) ja happi-18-pitoisuus (%) Teeressuon valuma-vedessä keväällä 1988 (Lepistö 1996).

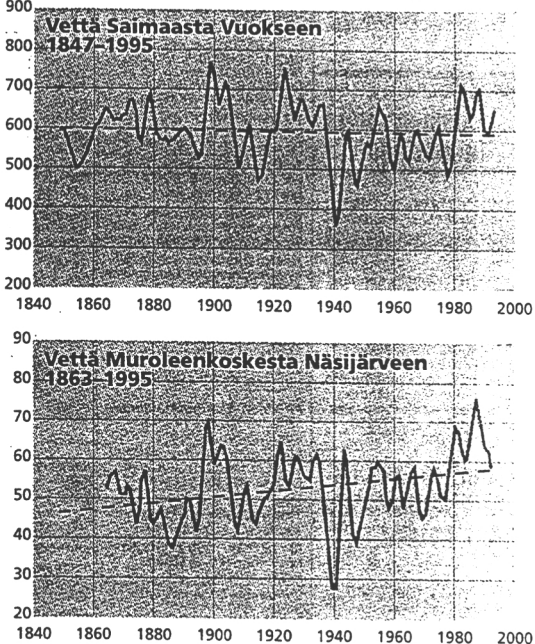
Kaskeaminen nosti Saimaata 1800-luvulla

Eniten kasketulla alueella valuma on ollut suuri 1800-luvulla.

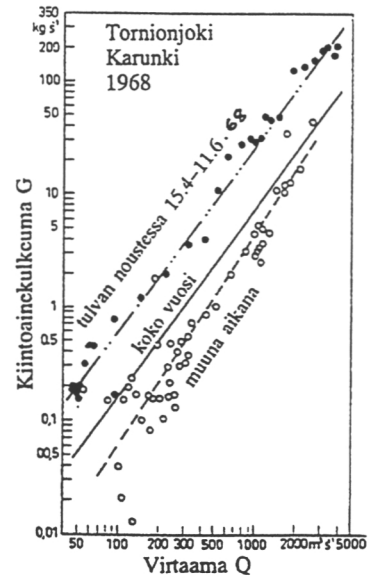
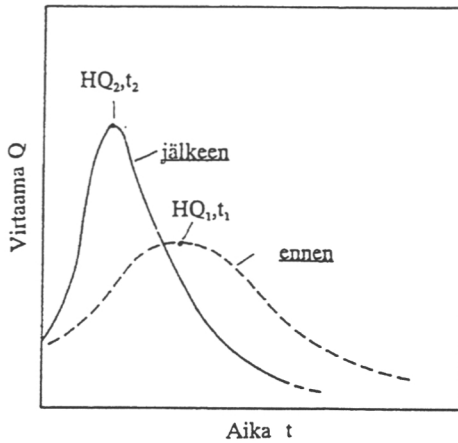
Kaskeamisen intensiivisyys 1830-luvulla



Virtaaman painotettu viiden vuoden liukuva keskiarvo, m³/s



Kuva 2. Etelä- ja Keski-Suomen vesistöjen virtaamat ovat keskimäärin kasvaneet 1800-luvulta nykypäiviin. Saimaasta Vuokseen on kuitenkin 1800-luvulla virrannut runsaasti vettä mm. alueen liikakaskeamisen seurauksena. Seikka kuvastaa metsien suurta haihduttamiskykyä. (Hyvärinen ym. 1995)



Kuva 3. Valuma-alueen rappeutumisen ja eroosion (sekä entropianmuutosten) yhteys: Suuri virtaama (valuma) kuljettaa olennaisesti suurempia ainemääriä valuma-alueelta kuin pieni. Ihmisen lukuisat toimet valuma-alueella (ojitus, hakkuut, urbanisoituminen, huono viljelytekniikka, liikalaidunnus jne.) puolestaan äärevöittävät valunnanvaihteluja ja siis eroosiota. Metsät vaimentavat sekä valunnanvaihteluita että eroosiota. (Tornionjoen kuva: Hjort 1972).

Kirjallisuus

- Glasby, G.P. 1988. Energy, pollution and environmental degradation. *Ambio* 17(5): 330-335.
- Hisdal, H., Erup, J., Gudmundsson, K., Hiltunen, T., Jutman, T., Ovesen, N.B. & Roald, L. 1995. Historical runoff variations in the Nordic countries. NHP Report No 37. 99 p.
- Hjort, S. 1972. Torne och Kalix älvar. Del 2. Materialtransport 1967-68. UNGI Rapport 17. Upsala.
- Hyvärinen, V. 1993. Universaalinen, ongelmallinen ja kiehtova entropia, diversiteetin vastapeluri. *Tiedonvirta* 3/1993. ss. 41-44.
- Hyvärinen, V., Solantie, R., Aitamurto, S. & Drebs, A. 1995. Suomen vesitase 1961-1990 valuma-alueittain. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 220. 68 s.
- Järvinen, J. & Kuusisto, E. 1995. Astiahaidunta Suomessa 1961-1990. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 220. ss. 69-157.
- Kuusisto, E. 1992. Runoff from Finland in the period of 1931-1990. *Aqua Fennica* 22(1).
- Lepistö, A. 1996. Hydrological processes contributing to nitrogen leaching from forested catchments in Nordic conditions. Monographs of the Boreal Environment research, No 1. 72 p.
- Singh, V.P. & Forentino, M. (toim.) 1992. Entropy and Energy Dissipation in Water Resources. Water science and technology library, v. 9. Papers presented at a conference held June 26-28, 1991 in Maratea, Italy. 595 s.

UUDISTUSKYPSÄN METSIKÖN VESI- JA RAVINNEVIRRAT

Sirpa Piirainen

Metsäntutkimuslaitos

Tutkimuksen tavoitteet ja tausta

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää 1) puuston latvuksen ja maakerrosten läpi suotautuvan veden määrää ja laatua vanhassa pitkään luonnontilassa olleessa kuusivaltaisessa sekametsässä, 2) selvittää miten veden laatu vaihtelee vuodenaikojen suhteen ja 3) tarkastella metsikkösadannan merkitystä metsikön ravinteiden virrassa.

Tutkimus oli osa maa- ja metsätalousministeriön, Metsäntutkimuslaitoksen, Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen, Joensuun yliopiston ja Suomen ympäristökeskuksen rahoittamaa 'Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus veden ja ravinteiden kiertoön' hanketta. Tutkimusaineisto kerättiin 1.9.1992 - 31.12.1994 Kangasvaaran valuma-alueelta Sotkamon kunnasta Oulun läänistä.

Tutkimusalue

Tutkimuksen kolme metsikkökoelaa (50 m * 50 m) sijaitsivat vanhassa, yli satavuotiaassa, kuusivaltaisessa sekametsässä, joka ei ollut säännöllisen hakkuutoiminnan piirissä (taulukko 1). Vapaan sadannan mittausta varten n. 0,5 km päähän aukealle paikalle perustettiin myös yksi koelaa (Ø 10 m). Alueen maaperä oli pohjamoreenia, maapeite kallioperän päällä oli ohut, paksuus oli keskimäärin 2,3 m. Kallioperä oli granodioriittia. Maalaji päälimmäisissä maakerroksissa, 0 - 40 cm syvyyteen, vaihteli hienohiekkamoreenista karkeahietamoreeniin. Kasvupaikkatyyppejä oli VMT. Humuskerroksen paksuus oli keskimäärin 3,1 cm.

Koalojen maannostumishorisonttien helppoliukoiset ravinteet (NH₄Ac-
uutto, pH 4,65) on esitetty kuvassa 1. Metsikkökoelat sijaitsivat etelärinteessä, jonka kaltevuus vaihteli 3° - 6° eri koaloilla.

Menetelmät

Ravinteiden virtaa metsikössä tutkittiin vesinäytteiden avulla. Vapaan sadannan, läpisadannan, runkovalunnan ja maassa vajoveden määrää ja laatua mitattiin. Vapaata sadantaa ja läpisadantaa kerättiin muoviputkesta ja -pussista koostuvilla keräimillä (ala=131 cm²) kesällä sekä sangosta ja muovipussista koostuvilla keräimillä (ala=299 cm² v. 1993 ja ala=1146 cm² v. 1994) talvella. Keräimet tyhjennettiin kerran viikossa kesällä ja kerran kuukaudessa

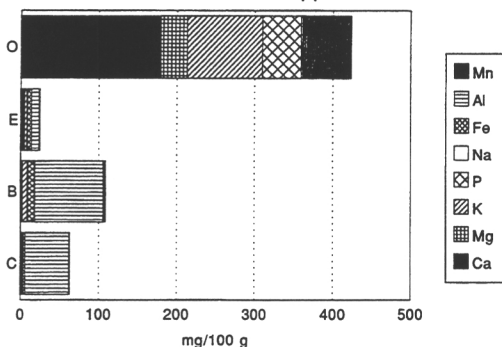
talvella. Runkovaluntaa mitattiin kolmesta eri puulajista, koivusta, männystä ja kuusesta sekä kahdesta latvuskerroksesta, vallitsevasta ja alikasvoksesta. Alikasvoksessa yli 6 cm läpimitan ylittävissä puissa oli vain kuusia. Runkovaluntaa mitattiin siis neljästä eri ositteesta. Runkovaluntaa kerättiin spiraalimaisella muovikourulla, josta vesi johdettiin keräysastiaan, astiat tyhjennettiin samanaikaisesti vapaan sadannan ja läpisadannan keräinten kanssa; runkovaluntaa mitattiin vain kesäisin.

Vajovettä kerättiin lysimetreillä humuskerroksen alta (ala=420 cm²), huuhtoutumiskerroksen alta (ala=299 cm²) n. 12 cm syvyydestä ja rikastumiskerroksesta (ala=299 cm²) noin 35 cm syvyydestä. Myös lysimetrit tyhjennettiin kerran viikossa kesäisin. Vesinäytteistä analysoitiin pH ja johtokyky sekä NO₃, SO₄, PO₄ ja Cl IC-laitteella, NH₄ ja kok. N FIA-laitteella, Ca, Mg, K, Fe, Mn ja Na AAS-laitteella, liuennut orgaaninen hiili (TOC) TOC-analysaattorilla ja Al spektrofotometrisesti.

Taulukko 1. Koealojen puuston (yli 1,3 m pituiset puut) tunnuslukuja v. 1992 pääpuulajeittain. Kaksijaksoisen metsän alikasvoskuuset (alík. kuuset) ja vallitsevan jakson kuuset (vall. kuuset) on esitetty erikseen, kaikki lehtipuut (koivut, haavat, lepät ja pihlajat) ovat samassa luokassa (lehtipuu).

	Runkoluku, kpl/ha	Pohjapinta- ala (ppa), m ² /ha	Runko- tilavuus, m ³ /ha	Keskipituus, ppa:lla pain., m	Keskiläpimitta, ppa:lla pain., cm	Latvuksen peitto pinta-ala %
Koeala 1						
mänty	32	3,7	36,4	21,8	41,6	
alík. kuuset	444	0,9	2,9	5,6	7,2	
vall. kuuset	480	21,6	194,4	20,0	29,1	
lehtipuu	540	4,7	32,2	15,1	20,4	
<i>yhteensä</i>	<i>1496</i>		<i>265,9</i>			<i>53</i>
Koeala 2						
mänty	164	8,8	83,0	20,3	30,8	
alík. kuuset	492	0,5	1,7	5,4	6,9	
vall. kuuset	1136	15,5	110,2	14,5	18,1	
lehtipuu	296	5,2	40,6	17,5	23,0	
<i>yhteensä</i>	<i>2088</i>		<i>235,5</i>			<i>55</i>
Koeala 3						
mänty	272	15,7	148,0	20,3	30,9	
alík. kuuset	408	0,5	1,4	4,6	5,5	
vall. kuuset	728	12,2	89,5	15,7	21,4	
lehtipuu	304	6,8	56,3	18,7	23,9	
<i>yhteensä</i>	<i>1712</i>		<i>295,2</i>			<i>55</i>

Maannostumishorisonttien helppoliukoiset ravinteet



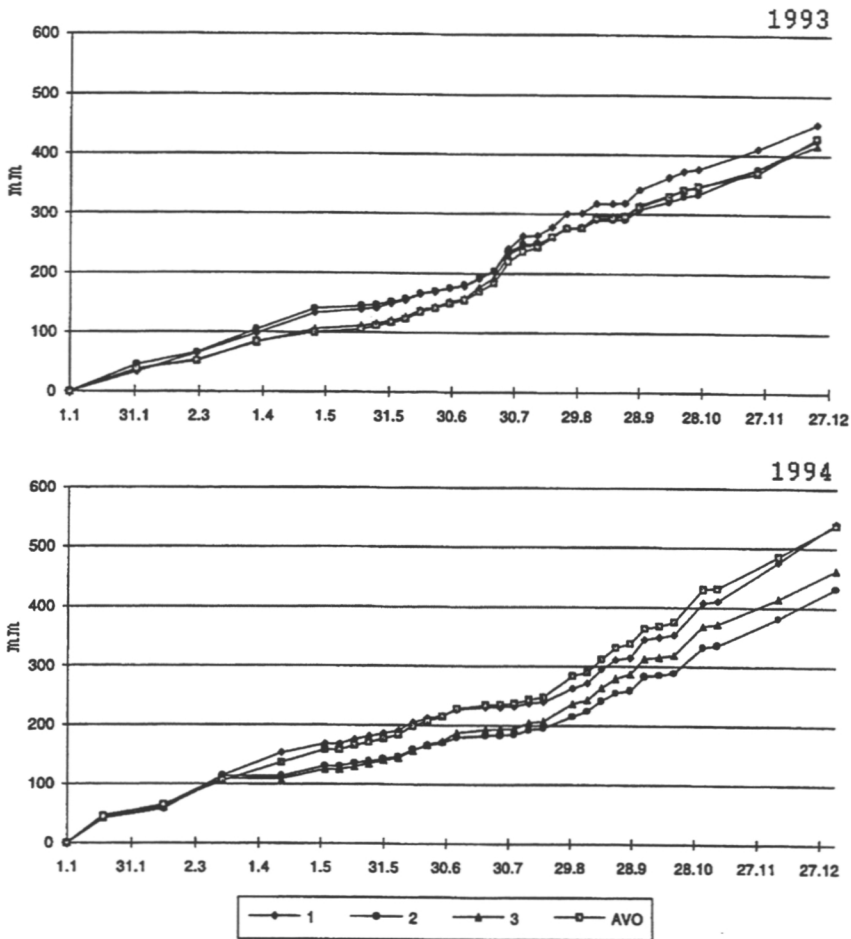
Kuva 1. Koealojen maannostumiskerrosten helppoliukoiset ravinteet, mg/100 g kuiva-ainetta. O=humuskerros, E=huuhtoutumiskerros, B=rikastumiskerros ja C=pohjamaa.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Koealoilla lumi oli maassa lokakuusta toukokuuhun mittausvuosina. Vuotuinen sademäärä vaihteli 429 - 541 mm:iin (kuva 2), josta lumena tuli noin 45 %. Lumena sataneen sademäärän arviointi ei ollut tarkka keräinten pitkän tyhjennysvälin takia, pitkäaikainen keskiarvo lumena sataneelle sademäärälle oli 33 % (Tilastoja Suomen... 1991). Metsikkösadannan määrä vaihteli mittausvuosina 422 - 548 mm:iin (kuva 2), josta runkovalunnan osuus oli 6 mm. Metsikkösadannan määrä oli 80 - 105 %:a vapaan sadannan määrästä. Aikaisemmissa kuusikkotutkimuksissa metsikkösadannan määrä on ollut 55 - 75 %:a vapaan sadannan määrästä (mm. Päivänen 1966, Nihlgård 1970, Pätilä 1987, Manderscheid ym. 1995). Metsikön sademäärän suuruus johtunee mm. talviaikaisesta tykkylymien putoamisesta keräysastioihin. Myös haihdunta aukealla ja metsikössä on erilaista ja osan eroista voi selittää myös metsikön ja aukean välinen topografinen ero. Runkovalunta kuusikoissa ei aikaisempienkaan tutkimusten mukaan ole ollut kovin suurta (Päivänen 1966, Nihlgård 1970).

Vapaassa sadannassa vallitsevia kationeja olivat kalium ja ammonium ja anioneja taas sulfaatti ja kloridi (kuva 3, kloridia ei ole esitetty). SYKE:n tausta-aseman (63 km koealoilta koilliseen) tuloksiin verrattuna ionipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa (Järvinen & Vänni 1994, 1995).

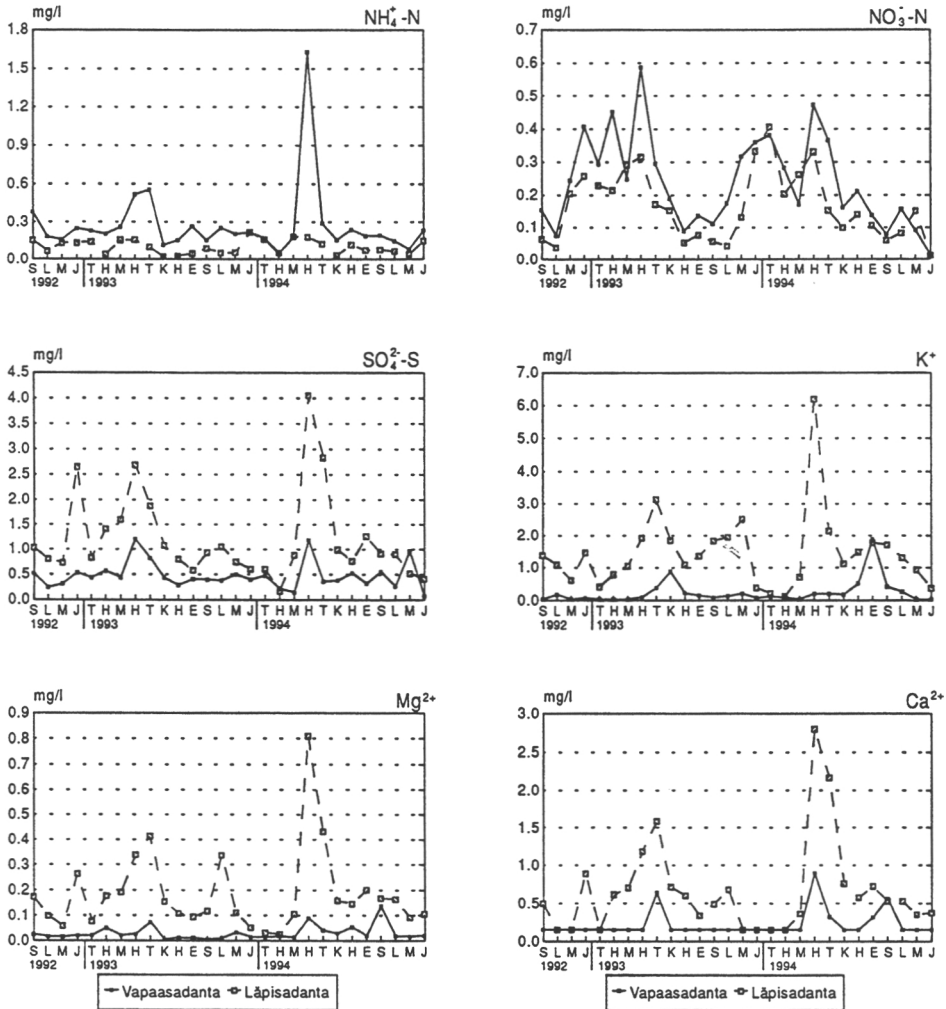
Puuston latvuston läpi kulkiessaan sadeveden pitoisuudet ja suhteet muuttuivat huomattavasti. Eniten läpisadannassa oli kaliumia, sulfaattirikkiä, kloridia (ei kuvassa) ja kalsiumia (kuva 3). Läpisadannassa vedyn, natriumin, mangaanin, liuenneen orgaanisen hiilen (edelliset eivät kuvassa), magnesiumin, kalsiumin, kaliumin ja sulfaattirikin pitoisuudet olivat suurempia kuin avosadannassa. Ammonium- ja nitraattityypipitoisuudet sekä orgaanisen typen pitoisuudet (ei kuvassa) taas olivat läpisadannassa pienempiä kuin avosadannassa. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Talviaikaan lumen mukana läpisadantaan ei huuhtoutunut latvustosta



Kuva 2. Vuosien 1993-1994 kumulatiivinen sademäärä aukealla (AVO) ja koelajien (1,2 ja 3) läpissadanta.

ravinteita vaan pitoisuudet sekä vapaassa sadannassa että läpissadannassa olivat kutakuinkin samoja (kuva 3).

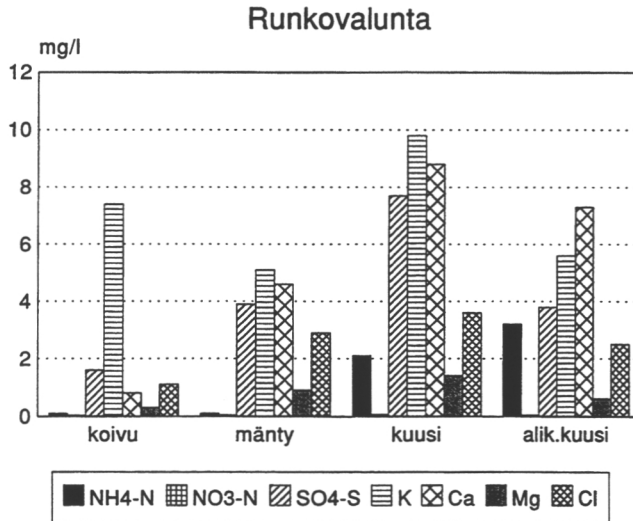
Läpissadannan ammonium- ja nitraattitypen pitoisuuksissa oli havaittavissa pienenemistä kesä-heinäkuussa, kun puut ja päälliskasvit olivat aktiivisimmillaan. Sulfaattirikin pitoisuudessa vapaassa sadannassa näytti olevan kohoamista keväällä, läpissadannassa pitoisuuden kohoaminen oli moninkertaista eli kuivalaskeumana tullutta rikkiä huuhtoutui keväällä paljon (Lindberg ym. 1986). Sulfaattirikkiä ei tutkimusten mukaan (mm. Meiwes ym. 1981, Ulrich 1983, Lindberg ym. 1986) huuhtoudu merkittävästi kasveista, joten läpissadannan pitoisuuksien ero verrattuna vapaaseen sadantaan selittyy suurelta osin kuivalaskeumana. Läpissadannan kalsium-, magnesium-, mangaani- ja kaliumpitoisuuksissa oli selvä pitoisuushuippu huhti-toukokuussa, samoin vapaassa sadannassa joskin selvästi pienempi, Ca,



Kuva 3. Vapaan sadannan ja läpissadannan ionipitoisuuksien sademäärällä painotetut kuukausikeskiarvot mittausjaksolla.

Mg, Mn ja K ovat todennäköisesti lähtöisin maaperästä irtoavasta pölystä (Tamm & Troedson 1955). Orgaanisen hiilen pitoisuus vapaassa sadannassa oli pieni, läpissadannassa sen sijaan moninkertainen vapaaseen sadantaan verrattuna (ei kuvassa). Pitoisuudessa oli havaittavissa selvää aaltoliikettä, keväällä huhtikuussa pitoisuus alkoi nousta ja oli kesäajan korkea ja laski sitten lokakuussa lähelle vapaan sadannan pitoisuuksia. Läpissadannan ja vapaan sadannan eri ionien pitoisuuksien väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

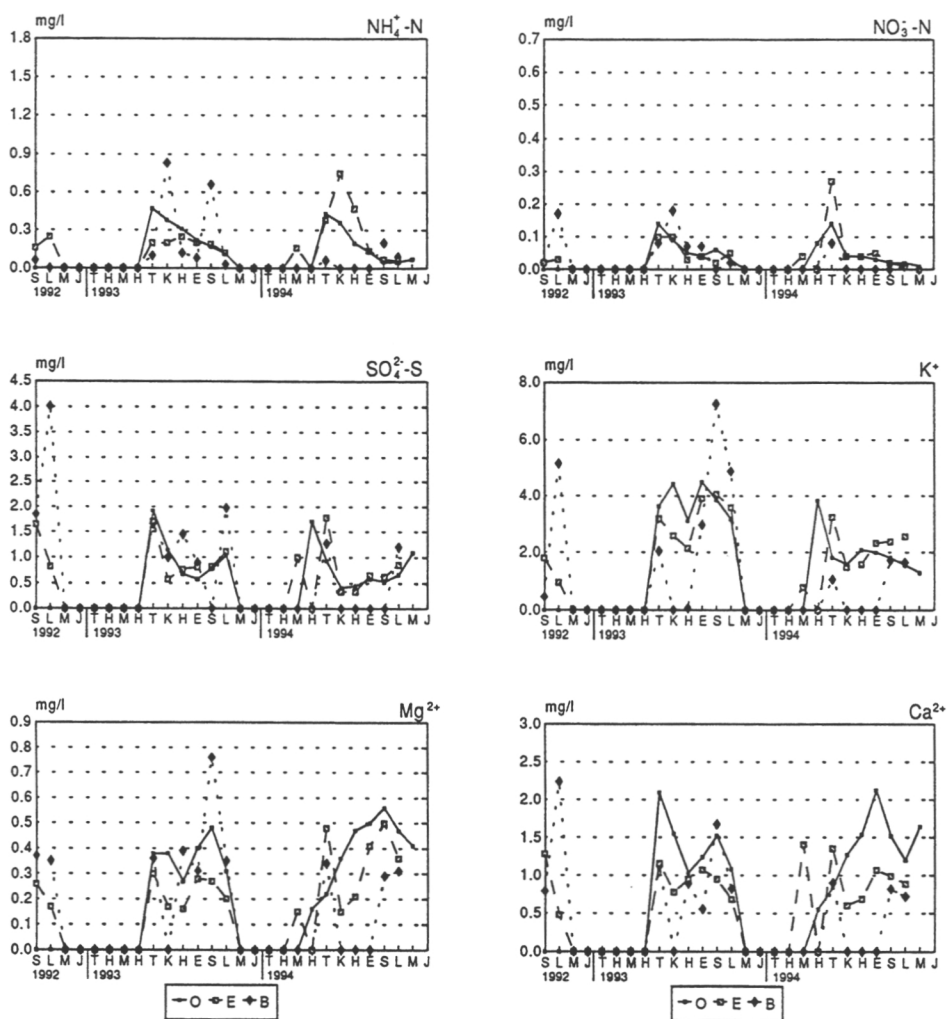
Vaikka runkovalunnan määrä olikin pieni koko koealaa ajatellen niin sen merkitys puun rungon ympärillä oli suuri, sillä runkovalunta sisälsi läpisadantaan verrattuna enemmän ioneja (kuva 4). Esimerkiksi ammoniumtyyppiä kuusien runkovalunnassa oli 20 kertaa enemmän kuin läpisadannassa. Nitraattityyppiä runkovalunnassa sen sijaan oli vähemmän kuin läpisadannassa. Puulajien välillä oli eroja, koivun runkovalunta sisälsi vähiten ioneja ja kuusten eniten.



Kuva 4. Runkovalunnan ionipitoisuuksien sademäärällä painotetut keskiarvot vuosilta 1993-1994 koealoilla puulajeittain.

Vajovedessä oli eniten kaliumia ja kalsiumia, läpisadantaan verrattuna pitoisuudet olivat noin kaksinkertaisia (kuva 5). Ravinteiden pitoisuuksissa oli vaikea havaita selvää trendiä mittausjaksoilla, ainoastaan ammonium- ja nitraattityypipitoisuudet, varsinkin humuskerroksen alla, näyttivät pienenevän kesän edetessä. Suurimmat tyyppipitoisuudet olivat keväällä lumen sulamisvesissä. Ioneista nitraattia ja sulfaattia oli humuskerroksen vajovedessä vähemmän kuin läpisadannassa, muita ioneja oli enemmän. Syvemmälle maahan mentäessä vajoveden pitoisuudet taas pienenevät, esimerkiksi ammoniumia ja fosfaattia oli rikastumiskerroksessa vähemmän kuin läpisadannassa. Sulfaatin pitoisuudet olivat korkeimpia huuhtoutumiskerroksessa.

Kokonais-, ammonium- ja nitraattitypen koko vuoden metsikkölaskeuma oli pienempi kuin metsikön yläpuolelle tuleva laskeuma (kuva 6). Tämä johtui lehtien ja päälyllyskasvien typen otosta. Toisaalta sulfaattirikin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin metsikkölaskeuma oli suurempi kuin aukealla, tämä johtui mm. metsikön kuivalaskeumasta, joka sateella huuhtoutui mukaan. Joitain ravinteita kuten kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia voi huuhtoutua sadeveten myös latvustosta esimerkiksi lehdistä ja neulasista (mm. Eaton ym.



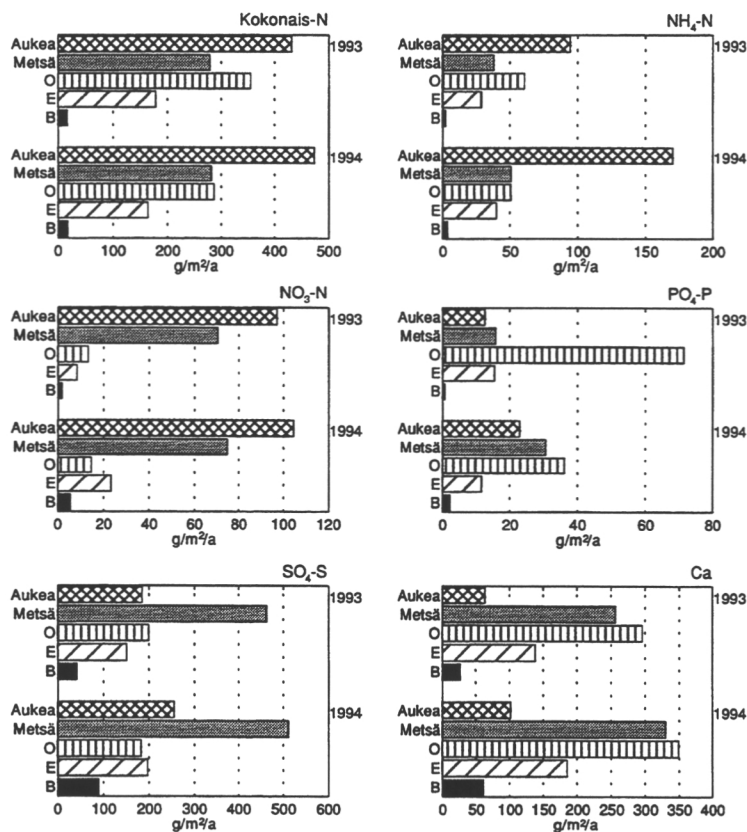
Kuva 5. Vajoveden ionipitoisuuksien sademäärällä painotetut kuukausikeskiarvot mittausvuosina eri maannostumishorisonteissa (O=humuskerros, E=huhutoumiskerros ja B=rikastumiskeroksessa 20-25 cm syvyydessä kerroksen yläreunasta).

1973, Ulrich 1983).

Humuskerroksesta ammoniumtypen, fosfaattifosforin, kalsiumin ja magnesiumin (ei näytetty) vuosihuhutoumat olivat suuremmat kuin metsikkölaskeumat. Näitä ravinteita vapautuu karikkeesta hajotuksen tuloksena ja joutuu maaveteen. Sulfaattirikin ja nitraattitypen huhutoumat humuskerroksen alta olivat taas pienempiä kuin metsikkölaskeumat.

Rikastumiskerroksesta ionien huuhtoumat olivat yleensä pienempiä kuin metsikkölaskeuma, poikkeuksena magnesium, jota huuhtoutui yhtä paljon kuin metsikköön oli tullut.

Kuusikoiden on aikaisempienkin tutkimusten perusteella suodattavan ilmaa tehokkaasti (Nihlgård 1970, Ulrich 1983). Varsinkin rikin metsikkölaskeumassa myös kuivalaskeumalla oli suuri merkitys. Kuusikko sitoi tehokkaasti myös maaperästä irtoavaa pölyä, Ca, Mg ja Mn pitoisuudet olivat metsikkösadannassa korkeampia kuin vapaassa sadannassa. Lehvästö ja lehvästön epifytyt vaikuttavat myös metsikkösadannan laatuun, ammonium- ja nitraattityppeä sitoutui latvustoon. Kasvien ravinteiden otto maasta oli myös tehokasta, suodosvesien ionipitoisuudet pienenevät syvemmälle maahan mentäessä. Huuhtoumat rikastumiskerroksesta eivät ylittäneet metsikkölaskeumien määriä, metsikkösystemin ravinnevarastot siis kasvoivat (magnesiumia lukuunottamatta). Vuosien välinen vaihtelu ionien laskeumissa ja huuhtoumissa oli melko suurta ja riippuvainen liikkuvista vesimääristä, myös ionipitoisuudet vaihtelivat eri vuosien välillä.



Kuva 6. Laskeumat (g/m²/a) avoimella paikalla ja metsikössä sekä huuhtoumat (g/m²/a) eri maannostumishorisonteissa ((O=humuskerros, E=huuhtoutumiskerros ja B=rikastumiskerroksessa 25 cm syvyydessä kerroksen yläreunasta) eri mittausvuosina.

Kirjallisuus

- Eaton, J.S., Likens, G.E. & Bormann, F.H. 1973. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. *Journal of Ecology* 61: 495-508.
- Järvinen, O. & Vänni, T. 1994. Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1993. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 579. 68 s.
- Järvinen, O. & Vänni, T. 1995. Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1994. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja. (painossa)
- Lindberg, S.E., Lovett, G.M., Richter, D.D. & Johnson, D.W. 1986. Atmospheric deposition and canopy interactions of major ions in a forest. *Science* 231: 141-145.
- Manderscheid, B., Matzner, E., Meiwes, K.-J. & Xu, Y. 1995. Long-term development of element budgets in a Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forest of the German Solling area. *Water, Air and Soil Pollution* 79: 3-18.
- Meiwes, K.J. & Khanna, P.K. 1981. Distribution and cycling of sulphur in the vegetation of two forest ecosystems in an acid rain environment. *Plant and Soil* 60: 369-375.
- Nihlgård, B. 1970. Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. *Oikos* 21: 208 - 217.
- Päivänen, J. 1966. Sateen jakautuminen erilaisissa metsiköissä. *Silva Fennica* 119.3. 37 s.
- Pätilä, A. 1987. Metsikkösadannan laatu. *Aquilo, Ser. Botanica Tom. 25 vol. 1: 29-37.*
- Tamm, C.O. & Troedsson, T. 1955. An example of the amount of plant nutrients supplied to the ground in road dust. *Oikos* 6(1): 61-70.
- Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. 1991. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Nide 90 osa 1-1990. Ilmatieteen laitos. Hki. 125 s.
- Ulrich, B. 1983. Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO₂, alkali and earth alkali cations and chloride. Julkaisussa: Ulrich, B. & Pankrath, J. (toim.). Effect of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. ss. 33-45.

PUUNKORJUUN VAIKUTUS KANGASMAIDEN PUUN- TUOTOSKYKYYN

**Mikko Kukkola ja
Eino Mälkönen**
Metsäntutkimuslaitos

Tutkimustoiminta metsätähteiden korjuusta aiheutuvan ravinnemene- tyksen selvittämiseksi

Metsätähteiden korjuusta aiheutuviin ekologiisiin seurannaisvaikutuksiin alettiin Suomessa kiinnittää huomiota 1970-luvun alussa, jolloin vallinnut energiakriisi käynnisti vilkkaan tutkimustoiminnan metsätähteiden käyttömahdollisuuksista energiatuotannossa (Hakkila 1985). Jos entistä suurempi osa puuston biomassasta korjataan, kasvupaikan orgaanisen aineen ja ravinteiden määrä vähenee, mikä puolestaan voi heikentää puuntuotoskykyä.

Kasvupaikan puuntuotoskyvyn säilymisen kannalta on ratkaisevaa, voivatko biomassan korjuusta aiheutuvat välittömät ravinnemennytykset korvautua riittävän nopeasti maan orgaanisen aineen mineralisoitumisen, mineraalien rapautumisen ja ilmakehästä tulevan laskeuman kautta. Biologisen ravinnekierron ylläpitämisen edellytyksenä puolestaan on, että maan orgaanisen aineen muodostama ravinnevarasto ei vaarannu metsätähteiden korjuusta ja että maan mikrobiston hajotustoiminta jatkuu suuremmitta häiriöittä. Orgaanisen aineen laadun lisäksi ravinnekiertoa säätelevät maaperän lämpö- ja vesiolot. Metsätähteiden korjuun vaikutuksia arvioitaessa voidaan siten pitää yhtenä lähtökohtana näiden viljavuustekijöiden keskinäisiä suhteita erilaisilla kasvupaikoilla.

Suomessa koetoiminta metsätähteiden korjuun puuntuotannollisten vaikutusten selvittämiseksi on keskittynyt ensiharvennusemetsiköihin pienpuun korjuumenetelmien kehittämisen vuoksi (Kukkola ja Mälkönen 1987). Tätä tarkoitusta varten perustettuihin kenttäkokeisiin on sisällytetty myös käsittelyjä hakkuutähteiden määrän vaikutuksen ja ravinnemennytyksen kompensoinnin selvittämiseksi. Vanhimmilta kokeilta on saatu tuloksia 15 vuoden jaksolta. Samaa ongelmaa selvitetään myös pohjoismaisena yhteistyönä, joka perustuu erilaisia kasvuoloja edustavaan yhteiseen koesarjaan (Jacobson ym. 1996). Tämän hankkeen päätulokset eivät kuitenkaan ole vielä käytettävissä.

On helposti pääteltävissä, että päätehakkuu ja sen yhteydessä tehtävä metsätähteiden korjuu vaikuttaa ravinnekiertoon huomattavasti voimakkaammin kuin harvennushakkuu. Päätehakkuussa syntyy hakkuutähteitä huomattavasti enemmän kuin harvennuksissa. Harvennusemetsikössä kasvatettavaksi jäävä puusto käyttää vapautuvat

ravinteet tehokkaasti hyväkseen, mutta uudistusosalalle syntyvän taimikon ravinnetarve on suhteellisen pieni kasvatusmetsikköön verrattuna. Tämän vuoksi ravinteiden huuhtoutumisriski päätehakkuun jälkeen on huomattavasti suurempi kuin harvennushakkuun jälkeen.

Kotimainen tutkimustoiminta metsätähteiden korjuun vaikutuksista uuden puusukupolven kehitykseen on niukkaa. Ruotsissa tätä kysymystä selvittäviä koetuloksia on tarkasteltu kahdessa kirjallisuuskatsauksessa (Rosén 1991, Sinclair ym. 1992).

Ravinnemenetyksen merkityksen arviointia

Ensiharvennusmetsiköt

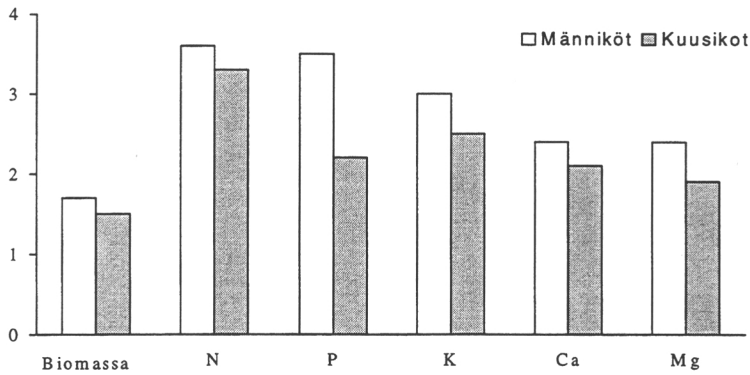
Ainespuuta korjattaessa kuusikoihin jää hakkuutähteitä huomattavasti enemmän kuin männiköihin (taulukko 1). Lisäksi kuusen hakkuutähteiden ravinnepitoisuudet ovat yleensä selvästi korkeampia kuin männyn, mikä johtuu osittain siitä, että kuusikot kasvavat viljavammilla kasvupaikoilla kuin männiköt.

Taulukko 1. Hakkuutähteiden ja niiden sisältämien ravinteiden määriä ensiharvennusmetsiköissä. Hakkuutähteillä tarkoitetaan tässä yhteydessä kaikkea oksa- ja neulamassaa sekä latvahukkapuuta (kuiva-aine). Tulokset perustuvat neljään männikköön (12 koealaa) ja kolmeen kuusikkoon (9 koealaa).

	Runkopuun poistuma, m ³ /ha	Hakkuutähteet					
		Biomassa t/ha	N	P	K kg/ha	Ca	Mg
Männiköt	37,9	10,2	48,3	4,8	17,3	22,9	4,6
Kuusikot	89,1	16,9	97,8	12,2	34,9	94,8	10,1

Harvennuksessa poistuneen runkopuun tilavuusyksikköä kohti ilmaistuna hakkuutähteiden määrä oli männiköissä noin 270 ja kuusikoissa noin 190 kg/m³. Kuusikot olivat selvästi männiköitä järeämpiä.

Ensiharvennusmetsissä latvukset sisältävät noin kolmanneksen puiden maanpäällisen osan biomassasta, mutta noin kaksi kolmannesta puun sisältämistä ravinteista. Näissä koemetsiköissä hakkuutähteiden täydellinen talteenotto lisäisi korjattavan biomassan määrän 1,5–1,7-kertaiseksi ja ravinteiden poistuman 1,9–3,6-kertaiseksi ainespuun korjuuseen verrattuna (kuva 1).



Kuva 1. Biomassa- ja ravinnepoistumat kokopuun korjuuna tehtävässä ensiharvennuksessa suhteutettuina vastaavaan runkopuun korjuuseen (=1).

Ravinnekiertoa ajatellen hakkuutähteiden määrä vastaa noin 5 vuoden karikesatoa, mutta niihin sitoutuneiden ravinteiden määrä on yli kaksinkertainen vastaavan karikemäärän ravinnesisältöön verrattuna. Vaikka hakkuutähteet korjattiin näillä kokeilla tarkemmin kuin käytännön työmailla, ei korjuulla ollut 10 vuoden kuluttua merkitsevää vaikutusta humuskerroksen orgaanisen aineen määrään ja ravinnevaroihin.

Hakkuutähteiden korjuun aiheuttama ravinteiden menetys (Ca, K, Mg) edistää maan happamoitumista (Staafl ja Olsson 1991). Näillä kokeilla hakkuutähteiden korjuu ei laskenut merkitsevästi humuskerroksen pH:ta ainespuuna korjattuihin koeloihin verrattuna. Hakkuutähteillä näyttäisi kuitenkin olevan jonkin verran vaikutusta humuskerroksen happamuuteen, sillä kaksinkertaisen hakkuutähdemäärän seurauksena pH oli sekä männiköissä että kuusikoissa 0,1–0,2 pH-yksikköä korkeampi kuin ilman hakkuutähteitä.

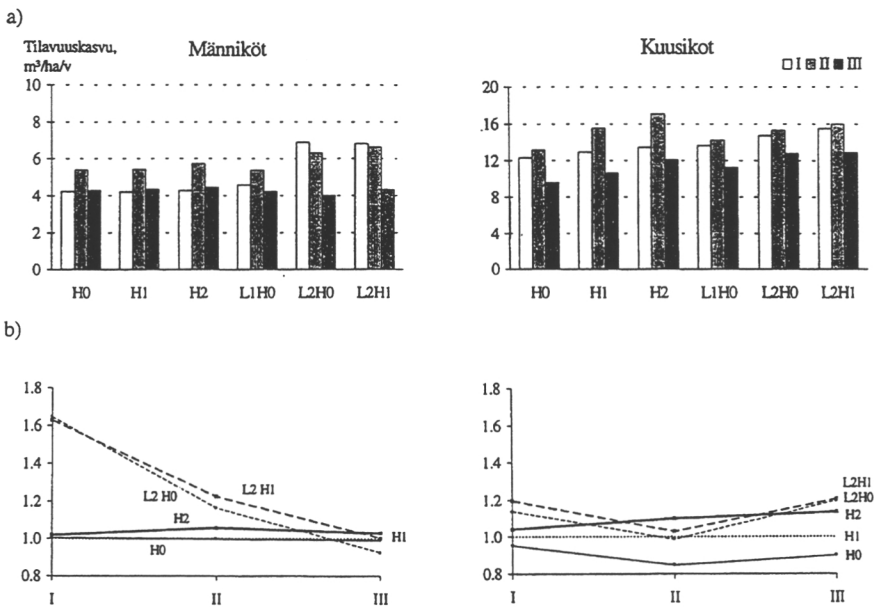
Kuivien kankaiden ensiharvennumänniköissä hakkuutähteiden määrä jäi suhteellisen pieneksi eikä niiden korjuu ole 10–15 vuoden tarkastelujakson aikana vaikuttanut kovin paljon puuston kasvuun (kuva 2). Havaittavissa oli kuitenkin viitteitä lievästä kasvun taantumasta, mikä oli sitä ilmeisempi mitä enemmän hakkuutähteitä korjattiin. Normaalin lannoituksen vaikutus oli sensijaan odotetusti selvä.

Kuusikoiden kasvu reagoi hakkuutähteiden korjuuseen selvemmin kuin männiköiden kasvu. Kasvun taantuma oli kolmessa viljavassa kuusikossa 15 vuoden aikana ensiharvennuksen jälkeen keskimäärin 11 %, mikä merkitsi 1,3–1,4 m³/ha vuotta kohti. Kuva 2 osoittaa, että kasvun taantuma lisääntyi toisella 5-vuotisjaksolla kaksinkertaiseksi ensimmäiseen 5-vuotisjaksoon verrattuna. Tämä on ymmärrettävää orgaanisen aineen hitaan hajoamisen ja ravinteiden vapautumisen viiveen vuoksi. Kyseiset kuusikot harvennettiin uudelleen ja hakkuutähteet korjattiin vastaavasti 10 vuoden kuluttua ensimmäisestä harvennuksesta. Tämä uusintakäsittely ylläpiti kasvun taantumaa yli 10 % tasolla kolmannellakin 5-vuotisjaksolla. Hakkuutähteiden merkitystä korostaa myös kaksinkertainen hakkuutähdemäärä, jolla käsittelyllä puuston kasvu oli vastaavasti suurempi kuin ainespuukorjuun koeloiilla.

Normaali lannoitus lisäsi kasvua molemmilla kerroilla 15–20 % lannoitusta seuranneella viisivuotijaksolla.

Korvaava lannoitus hakkuutähteiden mukana poistuneilla ravinnemäärillä (N, P, K) lisäsi sekä männiköissä että kuusikoissa kasvua yli ainespuunkorjuun koealojen tason lannoitusta seuranneella viisivuotijaksolla, jonka jälkeen korvaavan lannoituksen vaikutus oli pääosin ohi.

Ruotsissa puuston kasvu on laskenut kahdessa männikön harvennuskokeessa 7–12 % kokopuun korjuun seurauksena (Andersson 1983). Norjassa ensiharvennus kokopuun korjuuna on 5–6 vuoden mittausjaksolla heikentänyt viljavien kuusikoiden kasvua 1,5 m³/ha/v, mikä vastaa 11 % ainespuun korjuun jälkeisestä kasvusta (Tveite 1983). Männiköissä kasvun taantuma on ollut vastaavasti 7 %. Näiltä kokeilta kasvun taantumien kestosta ei ole tietoa.



Kuva 2. a) Tilavuuskasvu neljällä männikkökokeella ja kolmella kuusikkokokeella ensiharvennusta seuranneilla kolmella (I-III) viisivuotijaksolla. Kuusikot harvennettiin toistamiseen 10 vuoden kuluttua ensiharvennuksesta, jolloin hakkuutähte- ja lannoituskäsittelyt toistettiin. Männiköiden kasvupaikkatyyppi on lehtomainen kangas. Kuusikoiden kasvupaikkatyyppi on lehtomainen kangas.

Käsittelyt: **H0** kokopuun korjuu (koealalle ei jäänyt hakkuutähteitä), **H1** ainespuun korjuu (koealalle jäi sieltä poistettujen puiden hakkuutähteet), **H2** ainespuun korjuu + hakkuutähteiden lisäys (koealalle jäi kaksinkertainen määrä hakkuutähteitä), **L1H0**, kokopuun korjuu + korvaava lannoitus (N, P, K), **L2H0**, kokopuun korjuu + normaali lannoitus (180 kgN/ha, 36 kgP/ha, 72kgK/ha), **L2H1**, ainespuun korjuu + normaali lannoitus.

b) Tilavuuskasvu eri käsittelyillä verrattuna ainespuunkorjuuna harvennettujen koe-alojen (H1) kasvuun (=1).

Päättehakkuumetsiköt

Runkopuun määrään suhteutettuna latvusmassaa on eniten kuusileimikossa, yleensä 150-200 kg mutta ääritapauksissa jopa 300 kg rungon kuutiometriä kohti (Hakkila 1992). Männyllä latvusmassaa on 80-160 kg rungon kuutiometriä kohti eli oleellisesti vähemmän kuin kuusella. Päättehakkuvaiheessa puustoon sitoutunut ravinnemäärä on huomattavasti suurempi kuin ensiharvennusemetsiköissä kuten mustikkatyypin kuusikkoa edustava esimerkki osoittaa (taulukko 2).

Taulukko 2. Mustikkatyypin kuusikossa puuston maanpäällisen osan biomassin ja siihen sitoutuneiden ravinnemäärien jakautuma runkopuun ja hakkuutähteiden kesken. Puuston tilavuus oli 326 m³/ha (Mälkönen 1976).

	Biomassa t/ha	N	P kg/ha	K	Ca
Runkopuu kuorineen	121,5	95	8	47	184
Hakkuutähteet	38,1	246	29	89	183

Ravinnemenetystä ajatellen on syytä painottaa, että kuusikoissa on noin kaksinkertainen määrä neulasia ainespuun kuutiometriä kohti männiköihin verrattuna. Pohjoismaista saatujen tulosten mukaan ravinteiden menetys päättehakkuvaiheessa muodostuu hakuutähteiden korjuun seurauksena 1,5–3,5-kertaiseksi kuorellisen runkopuun korjuuseen verrattuna (Rosén 1991).

Päättehakuussa syntyvien hakkuutähteiden määrä vastaa ainakin 10–15 vuoden karikesatoa puuston maanpäällisestä osasta. Muutaman vuoden kuluttua maan orgaanisen aineen määrän ei ole kuitenkaan havaittu merkittävästi vähentyneen hakkuutähteiden korjuun seurauksena.

Kun avohakkuun seurauksena puuston veden ja ravinteiden käyttö lakkaa ja maan mikrobiston hajotustoiminta vilkastuu, maaveden ravinnepitoisuudet nousevat ja valunta kasvaa, joten avohakkuu lisää ravinteiden huuhtoutumista muutaman vuoden ajaksi. Nykyisellä korjuutekniikalla hakkuutähteet kerääntyvät suuriin kasoihin ja samalla korjuujälki pääosalla hakkuualaa vastaa kokopuun korjuuta. Hakkuutähdekasojen kohdalla ravinteiden huuhtoutuminen on voimakasta (Rosén ja Lundmark-Thelin 1987). Hakkuutähteiden korjuu ei ehkä kuitenkaan merkittävästi vähentäisi ravinteiden huuhtoutumista, jos puunkorjuussa muutoin pyrittäisiin hyvään tulokseen maanhoidon kannalta. On päätelty, että mikäli hakkuutähteet levitetään tasaisesti hakkuualalle, mikä pitäisi olla tavoitteena, ravinteita huuhtoutuisi likimain vastaavasti kuin hakkuutähteiden korjuun jäljiltä (Mann ym. 1988).

Hakkuutähteiden korjuun vaikutusta männyn taimikon kehitykseen on selvitetty Rautavaaralla sijaitsevalla laajalla metsänviljelykokeella. Ennen avohakkuuta koalueella kasvoi puolukkatyypin mänty-kuusi-sekametsä, jonka puuston tilavuus oli 260 m³/ha. Kokeessa oli yhtenä korjuumenetelmänä kokorunkojuonto, jossa rungot kuljetettiin kokonaisina tienvarteen monitoimikoneen käsiteltäviksi. Tulosten mukaan hakkuutähteiden korjuulla ei

ollut vaikutusta männyn taimikon kehitykseen ensimmäisen 10-vuotiskauden aikana. Tällaisissa tapauksissa hakkuutähteiden vaikutus voi helposti peittyä maanmuokkauksen aiheuttamiin muutoksiin taimien elinympäristössä.

Ruotsalaisten metsänviljelytutkimusten mukaan hakkuutähteiden korjuu on lievästi parantanut sekä männyn että kuusen taimien eloonjäämistä (Sinclair ym. 1992). Tuloksen syy-yhteydet ovat kuitenkin epäselviä ja vaihtelevat ilmeisesti eri tapauksissa. Männyn taimen kasvussa ei ole ilmennyt taantumaa, mutta kuusella kasvu on useissa tapauksissa lievästi heikentynyt hakkuutähteiden korjuun seurauksena. Kasvun menetyksen arvioidaan muodostuvan viljavilla mailla suuremmaksi kuin karuilla kasvupaikoilla. Kuusen kasvun taantuma näyttäisi jäävän hyvällä boniteetilla lyhyemmäksi (noin 10 v) kuin huonolla boniteetilla (noin 25 v).

Kirjallisuus

- Andersson, S-O. 1983. Helträdsutnyttjande vid gallring och dess effekt på trädens tillväxt. Skogsfakta 1: 18–23.
- Hakkila, P. (toim.) 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. Folia Forestalia 624. 86 s.
- Hakkila, P. (toim.) 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E., Möller, G. & Tveite, B. 1996. Growth response of coniferous stands to whole-tree harvesting in early thinnings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 50–59.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1987. Hakkuutähteiden merkitys metsässä. *Käytännön maamies* 12: 54–56.
- Mann, L.K., Johnson, D.W., West, D.C., Cole, D.W., Hornbeck, J.W., Martin, C.W., Riekerk, H., Smith, C.T., Swank, W.T., Tritton, L.M. & van Lear, D.H. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on postharvest hydrological losses, nutrient capital, and regrowth. *Forest Science* 34: 412–428.
- Mälkönen, E. 1976. Effects of whole-tree harvesting on soil fertility. *Silva Fennica* 3: 157–164.
- Rosén, K. 1991. Skörd av skogsbränslen i slutavverkning och gallring - ekologiska effekter. Skogsstyrelsen. Meddelande 5. 59 s.
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash - a consequence of modern forest harvesting techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 21–29.
- Sinclair, E., Leijon, B. & Albrektson A. 1992. Plantöverlevnad och tillväxt efter helträdsutnyttjande - sammanställning av fältförsök. Bioenegri, Utvecling & Miljö. Vattenfall.
- StAAF, H. & Olsson, B. 1991. Acidity in four coniferous forest soils after different harvesting regimes of logging slash. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6: 19–29.
- Tveite, B. 1983. Heiltretynning - fare for tilveksttap. *Aktuelt fra Statens fagtjeneste for landbruket* 3: 98–105.

FOSFORIN JA KALIUMIN POISTUMA RÄMEELTÄ ENSIHARVENNUKSESSA

Seppo Kaunisto

Metsäntutkimuslaitos

Johdanto

Runkopuun hakkuukertymä jää ensiharvennuksissa usein niin pieneksi, että harvennus ei sellaisenaan ole taloudellisesti kannattava. Onkin esitetty, että runkopuun lisäksi korjattaisiin myös ainakin osa oksa- ja neulasmassasta lisäämään kokonaissaantoa. Toisaalta on todettu, että neulas- ja oksamassa sisältävät runsaasti ravinteita (Mälkönen 1974, Paavilainen 1980, Finér 1989, 1991) ja arveltu näiden viemisen pois kasvupaikalta aiheuttavan kasvutappioita erityisesti paksuturpeisilla rämeillä, joilla kivennäisravinteita on yleensä niukasti.

Aikaisemmissa tutkimuksissa ravinteiden määriä on tarkasteltu erikseen runkopuussa, kuoressa, oksissa ja neulasissa, mutta ei niiden jakaantumista puussa eri korkeuksilla. Tässä esityksessä selvitetään fosforin ja kaliumin jakaantumista runkopuussa, kuoressa, oksissa ja neulasissa eri korkeuksilla ja arvioidaan puubiomassan korjuun intensiteetin vaikutusta varputurvekankaan männiköstä poistuvan fosforin ja kaliumin määrään (ks. Kaunisto 1996).

Aineisto

Aineisto koottiin Parkanon Liesinevan sarkaleveyskoekentältä 20, 40 ja 60 m:n levyisten sarkojen poikki sijoitetuilta lannoittamattomilta, kertaalleen PK-lannoitetuilta (1961) ja kahteen kertaan NPK-lannoitetuilta (1965 ja 1977) kaistoilta kahdelta eri lohkolta (Kaunisto 1996). Koepuita oli 36 kpl. Koepuun runko jaettiin pituuden suhteen kymmeneen yhtä suureen osaan. Puukiekkoja samoin kuin kuorinäytteitäkin yhdisteltiin rungon pystysuunnassa edustamaan 1-3/10, 4-6/10, 7-8/10 ja 9-10/10 puun pituudesta. Oksien ja neulasten analysointia varten latvus jaettiin pituuden suhteen kahteen yhtä suureen osaan. Neulaset eroteltiin oksista. Kaikista osioista määritettiin kuivamassat sekä fosfori- ja kaliumpitoisuudet.

Kahteen kertaan lannoitettujen puiden keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta oli 11,1 cm, pituus 11,1 m ja latvussuhde 46 %. Em. keskiarvoluvut ovat verrattain lähellä Hakkilan ym. (1995) kivennäismaiden harvennusleimikoista kokoaman aineiston keskiarvoja, joissa vastaavat luvut olivat 11,5 cm, 11,5 m ja 49 %. Latvuksen alarajalla rungon läpimitta oli keskimäärin 7,8 cm ja puolivälissä 4,9 cm eli lähes sama (50 mm) kuin rungon

läpimitta, jonka yläpuolisen latvuksen osan Hakkila ym. (1995) esittivät jätettäväksi metsään myös kivennäismailla.

Tulokset ja päätelmät

Latvuksen alapuoliskon oksa- ja neulasmassan ottaminen mukaan latvuksen puoliväliin korjatun (D5,0cm, tavaralajimenetelmä) runkomassan lisäksi kohotti saantoa noin 15-20 %:lla. Tästä saannon lisäyksestä neulasten osuus oli 27-36 % ja oksien osuus 64-73 %. Fosforin poistuma yhteen kertaan lannoitetulta alueelta lisääntyi 128 % ja kahteen kertaan lannoitetulla alueella 192 %. Kaliumin poistuma lisääntyi vastaavasti 84 ja 113 %. Neulasten osuus lisäyksestä kummallakin ravinteella oli 42-46 ja oksien osuus 54-58 %.

Harvennuksen voimakkuuden ollessa 30 m³/ha kuorellista runkopuuta tavaralajimenetelmällä (minimiläpimitta 5,0 cm) esimerkkiaineistossa kertyvä kuivamassa olisi noin 12 500 kg/ha. Otettaessa mukaan myös tätä rungon osaa vastaava oksa- ja neulasmassa (osapuunkorjuu) kuivamassan saanto olisi noin 15 000 kg/ha. Fosforin poistuma olisi vastaavasti 1,2 ja 3,4 sekä kaliumin poistuma 7 ja 15 kg/ha. Kokopuun korjuussa kuivamassan saanto olisi 16 400 kg/ha ja fosforin poistuma 4,5 kg ja kaliumin poistuma 18 kg/ha, mikä on noin 1/3-1/6 20 cm:n paksuisen pintaturvekerroksen sisältämistä kaliumvaroista rämeojikoilla ja muuttumilla (Laiho & Laine 1995) ja jopa 1/2-1/4 toistuvien hakkuun (vain ainespuu korjattu) käsiteltyjen rämeistä kehittyneiden turvekankaiden kaliumin määräästä (Kaunisto ja Paavilainen 1988). Kaliumin poistuman lisääntyminen osa- ja kokopuun korjuussa tavaralajimenetelmään verrattuna olisi 8 ja 11 kg/ha vastaavasti eli 1/5- 1/10 rämeojikoiden ja muuttumien sekä 1/4 - 1/8 toistuvien hakkuun käsiteltyjen turvekankaiden kaliumvaroista.

Etenkin suomänniköiden harvennushakkuut kokopuun korjuuna, mutta myös osapuun korjuuna (latvuksen puoliväliin, D5,0cm) voivat näin ollen vähentää varsin huomattavasti kasvupaikan kaliumvaroja, mikä voi johtaa lannoitustarpeeseen ja tulisi ottaa huomioon metsätaloussuunnitelmia tehtäessä.

Kirjallisuus

- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Seloste: Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivumäntysekametsikössä ja kuusikossa. Acta Forestalia Fennica 208. 63 s.
- Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Seloste: Lannoituksen vaikutus männyn kuivamassan kertymään ja ravinteiden kiertoon ombrotrofisella rämeellä. Acta Forestalia Fennica 233. 42 s.
- Hakkila, P. Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen harvennusmänniköt kuitu- ja energiapuun lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 100 s.

- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145: 39 s.
- Kaunisto, S. 1996. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmännikössä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593. (painossa).
- Laiho, R. & Laine, J. 1995. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 218-224.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kierto kiertokulku männikössä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(5): 87 s.
- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(5): 71 s.

METSÄTALOUDESSA KÄYTETTÄVIEN ÖLJYJEN LUONTOVAIKUTUKSET

**Risto Lauhanen ja
Reetta Kolppanen**
Metsäntutkimuslaitos

Johdanto

Metsätyökoneiden voitelussa ja hydraulikassa on käytetty pääasiassa mineraalipohjaisia öljyjä. Viime vuosina on kiinnitetty huomiota öljyjen metsäluontoon ja -työntekijöihin kohdistamiin haitallisiin vaikutuksiin. Varsinkin suometsien puunkorjuussa ja metsänparannustöissä käytettävistä kaivinkoneista pelätään öljyä joutuvan helposti pinta- ja pohjavesiin.

Suomessa bioöljyjen, erityisesti rypsi- ja mäntyöljyn soveltuvuutta metsätyöhön alettiin tutkia Metsäntutkimuslaitoksessa 1980-luvun alussa (Takalo 1981, 1982). Ruotsalaiset aloittivat omat tutkimuksensa suomalaisia myöhemmin 1980-luvun puolivälissä. Suomalaisen koetoiminnan ansiosta rypsiöljypohjaisesta teräöljystä tuli kaupallinen tuote vuonna 1985, ja vuonna 1993 alkoi mäntyöljypohjaisen teräketjuöljyn kaupallinen valmistus. (Takalo ja Lauhanen 1994, Takalo 1995).

Moottorisahan ja hakkuukoneen terälaitteen voiteluun mänty- ja rypsiöljyt soveltuvat hyvin, mm. terälaitteiden käyttöikä on lisääntynyt (Takalo 1981, 1982, 1995, Rajamäki ja Vuollet 1994, Takalo ja Lauhanen 1994). Ongelmia on kuitenkin ilmennyt hakkuukoneiden hydraulikassa (Pernica 1994, Takalo 1995). Toisaalta pitkällä aikavälillä mäntyöljy ei sellaisenaan soveltunut dieselauton polttoaineeksi (Takalo 1995). Lisäksi bioöljyt ovat perinteisiä mineraaliöljyjä kalliimpia. Rajamäen (1993) mukaan biohajoavista öljyistä aiheutui metsäkoneyrittäjälle 0,39 mk:n lisäkustannus hakattua puutavara-kuutiometriä kohti, mikä teki 15600 mk vuositasolla.

Yleisesti puhutaan bioöljyjen luontoystävällisyydestä, vaikka öljyjen vaikutuksia suomalaiseen metsäluontoon ei ole tutkittu (Castrén 1993) lukuunottamatta Pirhosen ja Huhdan (1984) tutkimusta, joka selvitti mineraaliöljyjen vaikutuksia metsämaan selkärangattomiin. Jotta bioöljyillä olisi luontoa suojelevaa vaikutusta niiden on sovelluttava koneisiin ja laitteisiin, eivätkä ne saa olla työntekijöille ja luonnolle haitallisia. Lisäksi niiden on oltava hinnaltaan kilpailukykyisiä perinteisten mineraaliöljyjen kanssa (Pernica 1994, Skoupy 1994, Takalo 1995).

Valtakunnalliseen metsätalouden ympäristökuormitus -yhteistutkimusohjelmaan kuuluva Metsäntutkimuslaitoksen hanke selvittää metsätyössä käytettävien öljyjen vaikutuksia luontoon ja työntekijään. Tutkimuksen tavoitteena on mm. selvittää kasvihuone- ja maastokokein eri öljyjen vaikutusta taimien ja pintakasvillisuuden kasvuun ja kehitykseen sekä maaperäeläinten biodiversiteettiin. Lisäksi tutkitaan taimien neulasvaurioita

sekä arvioidaan eri öljyjen biohajoavuutta. Myös öljyjen vaikutuksia männyn siementen itävyyteen tutkitaan.

Tutkimuksen hypoteesina on, että bioöljyt ovat perinteisiä mineraaliöljyjä ympäristöystävällisempiä. Vastahypoteesina luonto voi olla itseään korjaava, jolloin mikrobitoiminnan ansiosta suuremmatkin öljymäärät katoavat luonnossa vähitellen, eivätkä mineraaliöljyt ole luonnolle sen haitallisempia kuin bioöljyt.

Öljymäärät ja öljyjen leviäminen metsäluontoon

Moottorisahalla tehdyssä kaatotyössä teräöljystä 75-77% jäi sahanpuruun, 7-13% puun katkaisupintaan ja 12-16% valui metsämaahan. Sahattavien puiden läpimitan kasvaessa öljyä jäi suhteellisesti enemmän puutavaraan kuin luontoon, mutta luontoon valunut kokonaisöljymäärä kasvoi absoluuttisesti puiden koon kasvaessa. Tsekkiläisten arvioiden mukaan moottorisahasta ei pääsisi metsäluonnolle haitallisia öljymääriä. Sen sijaan pohjavesien saastuminen voi olla mahdollista. (Skopyy 1994).

Hakkuutyössä leviää metsäluontoon moottorisahasta noin 0,1 litraa ja hakkuukoneesta noin 0,02 litraa teräketjuöljyä puutavarakuutiometriä kohti (Takalo 1982, Rajamäki 1993, Takalo 1995). Pahimmillaan siis eteläsuomalaisen 400 kuutiometrin kuusikon päätehakkuussa leviää metsähehtaarille 40 litraa moottorisahan teräöljyä. Vastaavasti hakkuukoneen teräöljyä leviää 8 litraa hehtaarille. Käytännössä kuitenkin päätehakkuuleimikot käsitellään hakkuukoneella ja pienipuustoiset harvennuskohteet moottorisahalla, joten edellä olevaa laskelmaa ei pidä yleistää liiaksi.

Suomen markkinahakkuut ovat vuositasolla noin 50 miljoonaa kuutiometriä. Tästä koneellisen hakkuun osuus on noin 75 %, ja loput hakataan moottorisahalla. Kaikkiaan teräöljyä leviää näiden lukujen ja edellä mainittujen öljymäärien perusteella metsäluontoon noin 2 miljoonaa litraa vuodessa. Hakkukoneista leviää luontoon lisäksi hydraulikkaöljyä sekä voiteluöljyä. Puutavarakuljetuksissa käytettävästä autokalustosta leviävät öljyt on myös otettava jatkossa tarkasteluun erillislaskelmissa.

Kanadan metsätöissä kaukokuljetus mukaan lukien käytettävien öljyjen kokonaiskulutus vuodessa on ollut 32 000 kilotonnia, josta luontoon valuu 59 % (Makkonen 1993). Jos vuotuinen hakkuumäärä on 120 miljoonaa kuutiometriä, niin öljyjä käytetään Kanadassa 0,27 litraa kuutiometriä kohti. Tästä 0,16 litraa kuutiometriä kohti valuu metsiin, teille ja varastopaikoille.

Öljyjen vaikutus maaperäeläimiin

Maalaji vaikuttaa öljyjen leviämiseen maaperään. Moreeniin imeytyy 5 litraa öljyä kuutiometriä kohti. Karkeaan hiekkaan imeytyy vastaavasti 15 litraa ja hienoon hiekkaan 40 litraa öljyä maakuutiometriä kohti. Karkeassa moreenissa öljy voi maassa alapäin liikuessaan saavuttaa helposti nopeuden

30 m/h. Savimassaan tunkeutumisnopeus voi olla vain 1 cm/a. (Makkonen 1993).

Pirhonen ja Huhta tutkivat mineraaliöljypohjaisen kevyen polttoöljyn sekä hydraulikkaöljyn vaikutuksia lehtimetsän selkärangattomiin. Toukokuussa 1973 levitettiin 6,25 litraa öljyä koeruodun neliometriä kohti. Viimeiset mittaukset tehtiin lokakuussa 1974, jolloin polttoöljystä oli jäänyt 22 % maahan. Hydraulikkaöljystä maahan oli jäänyt vastaavasti 47 %. Molemmat öljyt tappoivat kaikki niveljalkaiset. Polttoöljy tuhosi lähes kaikki änkyrimadot, mutta hydraulikkaöljy tappoi niistä vain puolet. Polttoöljy hävitti aluksi lähes kaikki sukkulamadot (nematodit), mutta kokeen lopussa niiden määrä oli kaksinkertainen lähtötilanteeseen verrattuna. Hydraulikkaöljyisessä maassa sukkulamatojen määrä alkoi kasvaa moninkertaiseksi, mutta toisen vuoden aikaan niiden määrä romahti. (Pirhonen & Huhta 1984).

Öljjien vaikutus männyn siementen itävyyteen

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasemalla selvitettiin keväällä 1996 kasvihuonekokeessa öljyjen vaikutusta männyn siementen itävyyteen. Öljyttömän vertailuvaihtoehdon lisäksi seurattiin mineraali-, mäntyöljy-, ja rypsiöljypohjaisen teräöljyn sekä yhdysvaltalaisen valkoisen mineraaliöljypohjaisen hydraulikkaöljyn (white mineral oil) vaikutuksia. Tutkitut öljymäärät olivat moottorisahauksesta luontoon jäävä todennäköinen öljytaso 20 l/ha, sekä öljyastian kaatumista tai hydraulikkaletkun katkeamista jäljittelevä 32 tn/ha.

Öljjien vettä syrjäyttävä vaikutus ilmeni, kun petrimaljassa ollut 32 tonnin öljymäärä hehtaaria kohti nosti männyn siemenet kellumaan, eikä itävyysskoe siten onnistunut. Siten kasvifysiologisessa mielessä öljyn vettä syrjäyttävä vaikutus haittaa kasvien veteen liukenevien aineiden saatavuutta ja kuljetusta.

Turveruukussa itävyysskoe onnistui. Koejärjestely oli petrimaljakokeeseen verrattuna luonnollinen kasvatuskoe. Tällöin ei myöskään ollut itämisalustan kuivumisriskiä. Ensimmäisen viikon aikana mineraali- ja mäntyöljypohjaiset teräöljyt sekä hydraulikkaöljy (20 l/ha) näyttivät haittaavan siementen itämistä eniten. Kolmen viikon kuluessa tilanne tasaantui itämisprosentin suhteen, mutta mineraalipohjaisissa öljyissä siementen itävyys jäi jälkeen vertailusta ja bioöljyistä 7-8 prosenttiyksikköä. Kun öljymäärä oli 32 tn/ha, siementen itävyys oli käytännössä 0 %.

Öljjien vaikutus rairuohon biomassatuotokseen

Saksassa on tutkittu rypsiöljyn vaikutusta puutarhakrassin (*Lepidium sativum*) juuriston kasvuun (Hartweg ja Keilen 1988). Kasteluveden öljypitoisuus 20-100 mg/l alensi kuuden päivän aikana juurten kasvua suuntaa antavasti. Tämä selittyi maan happipulalla, joka aiheutui öljyä hajottavasta tehostuneesta mikrobitoiminnasta. Alle 20 mg/l -pitoisuuksilla saatiin viitteitä

juurten kasvua stimuloivasta vaikutuksesta, koska öljyn hajotusprosessi mineralisoi ravinteita, eikä happipula ollut merkittävää.

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasemalla seurattiin huhtitoukokuussa 1996 kasvihuonekokein eri öljyjen vaikutusta rairuohon kahden viikon biomassatuotokseen. Turveruukkuihin laitettiin 3,5 grammaa siemeniä ruukua kohti. Öljyttömän vertailuvaihtoehdon lisäksi seurattiin mineraali-, mäntyöljy-, ja rypsiöljypohjaisen teräöljyn sekä yhdysvaltalaisen valkoisen mineraaliöljypohjaisen hydraulikkaöljyn kasvuvaikutuksia.

Tutkitut öljymäärät olivat moottorisahauksesta luontoon jäävä todennäköinen öljytaso 20 l/ha sekä öljyastian kaatumista tai hydraulikkaletkun katkeamista jäljittelevä 32 tn/ha. Kustakin käsittelystä oli kolme toistoa. Lopuksi määritettiin ruohon ja juuriston kuivapainot.

Öljyastian kaatumista tai letkukatkoa jäljittelevä mineraaliöljytaso vähensi selvimmin ($p < 0,05$) rairuohon biomassatuotosta. Kun öljyttömän vaihtoehdon biomassassa oli 129 grammaa, letkukatkoa jäljittelevä mineraaliöljymäärä vähensi biomassatuotoksen (80 grammaa) 62 prosentin tasolle öljyttömästä vertailutasosta. Moottorisahan terälaitteesta luontoon kulkeutuvaa öljyjäämää jäljittelevät pitoisuudet eivät vaikuttaneet merkitsevästi biomassatuotokseen ($p > 0,05$), vaikkakin biomassat laskivat kaikilla kasvi- ja mineraalipohjaisilla öljyillä vertailutasoon nähden (taulukko 1).

Sama koejärjestely on tarpeen toteuttaa pitkällä aikavälillä kontrolloiduissa laboratorioskokeissa. Jos pahimmin saastuneissa ruukuissa ruohon kasvu elpyy, on se osoitus öljyn biohajoavuudesta ja toisaalta sen painumisesta alempiin maakerroksiin.

Taulukko 1. Öljyjen vaikutus rairuohon biomassatuotokseen (grammaa) kahden viikon aikana, sekä öljyjen aiheuttamat erot biomassoissa eri öljykäsittelyillä varianssianalyysin perusteella ($p < 0,05$). Esimerkiksi käsittely f eroaa käsittelistä e ja i.

	Keskiarvo	Keskihajonta	Käsittelyjen väliset erot ($p < 0,05$)
a Öljytön vaihtoehto	129,0	2,70	c,e,g,i
b Rypsiateräöljy 20 l/ha	121,6	1,43	c,e,i
c Rypsiateräöljy 32 tn/ha	103,9	4,97	a,b,e,h
d Mineraaliteräöljy 20 l/ha	116,1	3,10	e,i
e Mineraaliteräöljy 32 tn/ha	79,9	8,03	a,b,c,d,f,g,h,i
f Mäntyöljyteräöljy 20 l/ha	118,7	5,73	e,i
g Mäntyöljyteräöljy 32 tn/ha	106,8	6,03	a,e
h Hydraulikkaöljy 20 l/ha	121,1	6,73	c,e,i
i Hydraulikkaöljy 32 tn/ha	94,9	1,88	a,b,d,e,f,h

Kirjallisuus

- Castrén, M. 1993. Öljyn ympäristö- ja terveysvaikutukset puunkorjuutyössä. Työtehoseuran metsätiedote 12. 4 s.
- Hartweg, A. & Keilen, K. 1988. Die Umweltverträglichkeit von Bioölen. Allg. Forst. Jahr. und Zeitschr. 7: 148-150.

- Makkonen, I. 1993. Environmentally-compatible oils. Forest Engineering Research Institute of Canada. Draft Report. 60 s.
- Pernica, J. 1994. Ways to reduce the danger of damage to soil through oil spills from machinery in forestry. Soil, tree, machine interactions -interactive workshop and seminar. Feldafing, Federal Republic of Germany, 4-8 July. EU,ECE, IUFRO Division P3.08, FAO, ILO.
- Pirhonen, R. & Huhta, V. 1984. Petroleum fractions in soil: effects of populations of nematoda, enchytraeidae and microarthropoda. *Soil Biology & Biochemistry* 16(4): 347-350.
- Rajamäki, J. 1993. Ympäristöystävälliset öljyt metsätoissa. *Metsätehon katsaus* 8. 8 s.
- Rajamäki, J. & Vuollet, E. 1994. Kasviöljyjen käyttö moottorisahojen teräketjun voitelussa. *Metsätehon katsaus* 13. 4 s.
- Skoopy, A. 1994. Biodegradable oils used in lubricating power saws. Soil, tree, machine interactions -interactive workshop and seminar. Feldafing, Federal Republic of Germany, 4-8 July. EU,ECE, IUFRO Division P3.08, FAO, ILO.
- Takalo, S. 1981. Rypsi- ja mäntyöljyn käyttö moottorisahassa. *Koneviesti* 17. 26 s.
- Takalo, S. 1982. Moottorisahan terälaite ja sen kestävyys. *Koneviesti* 21. 24 s.
- Takalo, S. 1995. Mäntyöljyn mahdollisuudet poltto- ja voiteluaineena. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 545. 17 s. + liitteet.
- Takalo, S. & Lauhanen, R. 1994. Tall oil as a new lubricant in forestry. Soil, tree, machine interactions -interactive workshop and seminar. Feldafing, Federal Republic of Germany, 4-8 July. EU,ECE, IUFRO Division P3.08, FAO, ILO.

PUUNKORJUUKONEIDEN MAASTOLIIKKUVUUDEN MALLITAMINEN

**Jari Ala-Ilomäki ja
Arto Rummukainen**
Metsäntutkimuslaitos

Johdanto

Metsäkonevalmistajat ovat kokemuksen tai mallien perusteella suunnitelleet työ- ja kuljetuskoneet, joiden tuottavuutta ja ominaisuuksia tutkimuslaitokset ovat tutkineet. Tehdyillä empiirisillä tutkimuksilla saadaan parhaimmillaankin vain epäsuoria virikkeitä toiminnan ja koneiden kehittämiseen. Puunkorjuun ympäristövaikutusten vähentäminen koneen suunnittelun keinoin on siis jätetty koneenrakentajien vastuulle. Niille ympäristön huomioon ottaminen on kuitenkin vain yksi, tosin hyvin tärkeä, keino koneiden markkinoinnissa.

Maastoliikkuvuuden teoreettinen mallittaminen antaa mahdollisuuden tutkia todellisia syy-seuraussuhteita ja niiden ympäristövaikutuksia. Mallien avulla voidaan myös siirtää tietoa ja edistää yhteistyötä tutkimusalojen välillä.

Maastoliikkuvuuden teoriaa

Ajoneuvon etenemisen edellytyksenä on, että ajoneuvon ja maaperän välinen voimatasapaino pysty- ja liikkeen suunnassa saavutetaan. Ajoneuvon paino aiheuttaa pyöräkuorman, joka puristaa maata kokoon. Liikuntaelin painuu maaperään kunnes pystykuorma ja maaperän kantavuus saavuttavat tasapainon. Maaperän kantavuus riippuu sen lujuudesta.

Liikkeen suunnassa tasapainotila saavutetaan ajoneuvon kehittämän vetovoiman ja liikettä vastustavien vierintävastuksen, rinnevastuksen, estevastuksen, kiihdytysvastuksen sekä ilmanvastuksen välillä. Ajoneuvon ominaisuuksien lisäksi vetovoima ja vierintävastus riippuvat maaperän lujuudesta. Rinne- ja estevastusten suuruuteen vaikuttavat maaston kaltevuus ja epätasaisuus.

Maastoliikennöinnin maaperään kohdistamat voimat aiheuttavat maaperän tiivistymistä, urautumista, paljastumista ja kasvutilan vähenemistä sekä esteettisiä haittoja.

Käytännön sovellutuksia

Lähes kaikissa metsätöissä olennaisen osan muodostaa liikkuminen maastossa. Syntyvien maastovaurioiden määrä kuljettua matkayksikköä kohti riippuu

liikkumisen energiankäytön tehokkuudesta. Samoin tietyllä ajoneuvotyypillä energiankäytön tehostuessa liikkumisen tuottavuus kasvaa. Maasto-kone -malleja voidaan näin käyttää osamalleina metsätöiden tuottavuuden ja kustannusten sekä niiden aiheuttamien maastovaurioiden ennustamisessa ja toiminnan suunnittelussa.

Paikkatietoon perustuvan suunnittelujärjestelmän lähtötietoina ovat sijainti-, puusto-, maaperä-, maasto- ja konetiedot, maasto-kone -malli sekä liikkumista ohjaavat ja rajoittavat kriteerit. Paikkatietojärjestelmän avulla voidaan suunnitella ja optimoida työtehtävien suoritus esimerkiksi kulkukelpoisuuden, kulkunopeuksien, kustannusten, energiankäytön tai puusto- ja maastovaurioiden määrän perusteella. Järjestelmän reitinvalinnalla voidaan välttää vaurioherkkiä kohteita ja etsiä nopeimpia reittejä. Järjestelmällä voi valita tehtävään sopivat konetyypit. Maasto-kone -mallia voidaan käyttää uusien koneiden suunnittelussa tai olemassa olevien koneiden tuottavuuden ennustamisessa uusissa oloissa.

Optimoinnin ja ennusteiden tarkkuus riippuu lähtötietojen luonteesta ja tarkkuudesta sekä käytetyistä ennustemalleista. Olosuhteiden pienialainen vaihtelu voi leimikon sisälläkin olla hyvin suurta, mikä luotettaviin ennusteisiin pyrittäessä asettaa suuria vaatimuksia maastotiedon tarkkuudelle.

Tutkimustoiminta

Olemassa olevat maastoliikkuvuusmallit on yleensä kehitetty suomalaisessa metsämaastossa harvinaisille lajittuneille maatyypeille. Suomeen tarvitaan omat mallit ainakin metsäiselle moreenimaalle ja metsäiselle turvemaalle. Malleihin tulisi sisältyä myös metsämaan pinnassa olevan juurikerroksen, roudan ja lumipeitteen vaikutus.

Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskuksen hankkeessa 3149 kehitetään maastoliikkuvuuden osamalleja, joilla pyritään täyttämään edellä esitettyjä vaatimuksia. Moreenimaan ja lumen ominaisuuksien selvittämiseksi joudutaan kehittämään uusia mittausmenetelmiä. Olemassa olevia tuottavuus- ja kustannusmalleja kehitetään liikkuvuusmallien kanssa toimiviksi. Hankkeen malleja käytetään osamalleina Metsäntutkimuslaitoksen metsälaskelmassa ja omien metsien paikkatietojärjestelmässä. Hanke on kiinnostunut alaan liittyvästä kasvillisuus-, maaperä-, hydrologisesta- ja paikkajärjestelmätiedosta.

HAKKUUKONETYÖN KORJUUJÄLKI JA SEN ENNUSTAMINEN

Matti Sirén

Metsäntutkimuslaitos

Johdanto

Koneellisen hakkuun ongelmana ensiharvennuksissa ovat pienestä rungon koosta ja hehtaarikohtaisesta kertymästä johtuvat korkeat kustannukset. Myös korjuujäljestä kannetaan huolta, onhan ensiharvennus pitkälti metsänhoidollinen toimenpide. Huoli korjuujäljestä saattaa johtaa harvennusten laiminlyöntiin.

Hakkuukonetyön korjuujäljen ja siihen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi käynnistettiin Metsäntutkimuslaitoksella vuonna 1992 tutkimus, jossa hakkuukonetyötä analysoidaan korjuujäljen kannalta ja selvitetään korjuujäljen ja erityisesti puustovaurioiden syntymekanismia. Yleensä korjuujälkeä on mitattu jälki-inventoinneilla, jolloin mukaan tulevat sekä hakkuun että metsäkuljetuksen vauriot. Jälkikäteen tehtävissä inventoinneissa tieto vaurioiden syistä ja aiheuttajista on arvioiden varassa. Seuraamalla korjuujäljen syntyä työskentelyhetkellä saadaan tietoa korjuujälkeen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimuksella luodaan mahdollisuuksia korjuujäljen ennustamiseen ja tuotetaan tietoa hakkuukonetyön korjuujäljen edelleen parantamiseksi.

Tutkimusmenetelmä ja -aineisto

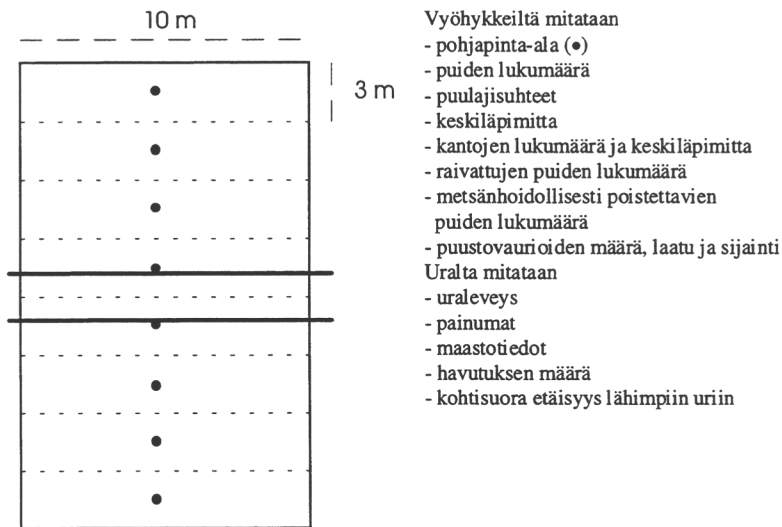
Tutkimuskoneena oli Valmet 901-yksioteharvesteri. Tutkimusaineistoa kerättiin neljältä kuljettajalta pääasiassa kuusivaltaisilta leimikoilta, joissa oli mukana sekä ensi- että myöhempiä harvennuksia. Tutkimusleimikoilla tehtiin seurantatutkimus ja sen jälkeen seuranta-alueen jälki-inventointi. Seurantatutkimuksessa koneen työskentelyä seurasi kolme työntutkijaa. Yksi työntutkija teki aikatutkimusta, jossa erityistä huomiota kiinnitettiin puun sijaintiin, ottokulmaan ja käsittelypaikkaan. Toinen työntutkija seurasi koneen liikkeitä (peruskoneen liikkeet, monitoimiosan liikkeet) metreinä. Puuta käsiteltäessä käytössä oleva työtila ja työalueella olevien puiden määrä kirjattiin puukohtaisten työolojen selvittämiseksi. Kolmas työntutkija seurasi pystypuihin syntyviä kosketuksia, joista kosketushetkellä kirjattiin kosketuksen aiheuttaneen puun havaintonumero, kosketuksen saaneen puun sijainti ja kosketuskohta, työvaihe kosketuksen tapahtuessa sekä kosketuksen aiheuttanut elin ja syy.

Käsiteltävän puun aiheuttamista kosketuksista huomioitiin ainoastaan puun rungon tai paksujen oksien aiheuttamat kosketukset. Kosketuksen tuli kohdistua puun runkoon, pelkästään oksistoon kohdistuvia kosketuksia ei huomioitu. Urapuihin syntyneitä kosketuksia ei huomioitu. Kosketuksen saaneet puut merkittiin numerolapulla, ja seurantajakson päätyttyä puista kirjattiin läpimitta, mahdollisesti syntyneen vaurion koko (pituus, leveys), laatu (syvävaurio, pintavaurio) sekä vaurion etäisyys juurenniskasta. Myös sellaiset puut, jotka saivat kosketuksen ja poistettiin kosketuksen jälkeen, huomioitiin ja luokiteltiin metsänhoidollisesti poistettaviin tai kasvatettaviin puihin.

Seurantatutkimuksessa mukana olleet alueet inventoitiin ennen metsäkuljetusta. Inventoinnilla selvitettiin leimikoiden metsänhoidollista tilaa korjuun jälkeen ja verrattiin jälki-inventoinnin tulosten tarkkuutta seurantaan puustovaurioiden osalta. Jälki-inventoinnissa mitattiin aluksi seuranta-alueen pinta-ala ja uraston kokonaispituus. Tämän jälkeen alue inventoitiin sijoittamalla urille koealat 30 m välein.

Koealat rajattiin mittaamalla 10 m matka ajouralle. Tämän jälkeen uran molemmille puolille mitattiin 4 kpl 10 m x 3 m vyöhykkeitä. Koeala ja siltä tehdyt mittaukset esitetään kuvassa 1.

Tutkimusaineistoa kerättiin 15 seurantatyömaalta yhteensä 8191 runkoa, 1085 m³. Aineistosta 586 m³ hakattiin talvella, 288 m³ keväällä tai syksyllä ja 211 m³ nila-aikana. Tutkimusleimikoissa lähtöpuusto oli keskimäärin 1169 runkoa/ha ja jäävä puusto 634 runkoa/ha. Kuusen osuus tutkimusleimikoiden puustosta oli 70 %.



Kuva 1. Jälki-inventoinnin koeala

Tutkimustuloksia

Kuljettajien tuotostasot

Kuljettajien tuotostasojen suora vertailu ei ole mahdollista leimikoiden erilaisuuden vuoksi. Tuotostasot erosivat kuitenkin huomattavasti toisistaan. Tuotosta ei tutkimuksessa seurattu itsetarkoituksena vaan lähestymällä liiketyöteorian pohjalta (Blomqvist et al. 1984). Samalla pyrittiin selvittämään tuotokseen vaikuttavia tekijöitä ja toisaalta tuotoksen ja korjuujäljen suhdetta. Keskimääräinen tehotuntituotos koko aineistossa oli 11,0 m³/h. Kuljettaja A:n tehotuntituotos oli keskimäärin 16,5 m³, kuljettaja B:n 8,8 m³, kuljettaja C:n 9,8 m³ ja kuljettaja D:n 12,3 m³. Koko aineistosta lasketut runkokohtaista tehoajanmenekkiä kuvaavat regressiomallit olivat seuraavat:

Kuljettaja	Regressiomalli	R ²
A	$Y = 28,434 + 0,0803*x + 0,000082*x^2$	0,586
B	$Y = 47,019 + 0,2046*x - 0,000006*x^2$	0,415
C	$Y = 36,429 + 0,2711*x - 0,00012*x^2$	0,374
D	$Y = 26,553 + 0,1299*x - 0,000063*x^2$	0,320
Koko aineisto	$Y = 32,507 + 0,1736*x$	0,382

missä Y= työvaiheen ajanmenekki, cmin/runko, x = rungon koko, dm³

Hakkuukonetyön korjuujälki

Kosketusten ja niistä syntyneiden puustovaurioiden määrä

Tutkimusaineisto käsitti 8191 runkoa. Työskentelyn yhteydessä 1579 työsykliä (19.3 %) aiheutti kosketuksen toisiin puihin. Kuljettajakohtaisesti käsitellyt puumäärät, kosketusten määrät ja %-osuudet olivat seuraavat:

Kuljettaja	Käsiteltyjä runkoja	Kosketuksia aiheuttaneiden työsyklien määrä (%)	Työsyklit, joissa kosketus 2 puuhun (%)
A	1664	269 (16.2)	9 (0.5)
B	2911	740 (25.4)	75 (2.6)
C	465	112 (24.1)	11 (2.4)
D	3151	458 (14.5)	25 (0.8)
Kaikki	8191	1579 (19.3)	120 (1.5)

Kosketuksista 95 % luokiteltiin lieviksi ja 5 % voimakkaiksi. Kosketusten määrä ei suoraan kuvaa työtilanteen vaativuutta tai kuljettajan taitoja, sillä koneenkuljettaja työtä suunnitellessaan voi ahtaissa työoloissa kaataa puun sellaisen puun päälle, jonka hän tietää kohta poistavansa. Tämän vuoksi

kosketuksen saaneet, mutta kuljettajan myöhemmin poistamat puut jaoteltiin metsänhoidollisesti poistettaviin ja metsänhoidollisesti kasvatettaviin. Pystyyn jääneistä kosketuksen saaneista puista tutkittiin mahdolliset vauriot ja mitattiin vauriotiedot. Kosketuksista oli syntynyt vaurioita seuraavasti.

Kuljettaja	Kosketuksia	Poistettu metsänhoidollisesti poistettavia puita	Poistettu kasvatettavia puita	Vaurioita, kpl (%) kosketuksista jääviin puihin	Pintavaurioiden osuus, %	Syvävaurioiden osuus, %
A	278	83	6	45 (16.2)	69	31
B	815	242	39	181 (33.9)	86	14
C	123	30	9	38 (45.2)	95	5
D	483	194	19	41 (15.2)	95	5
Kaikki	1699	549	73	304 (28.3)	86	14

Seurannan perusteella laskettiin myös vaurioprosentti tutkimusleimikoille. Keskimääräinen vaurioprosentti tutkimusleimikoissa oli 3.2 vaihdellen 0.0 - 8.1. Vaurioiden määrä/ha oli keskimäärin 20.2 vaihdellen 0.0 - 60.0.

Vaurioiden laatu ja sijainti

Hakkuutyön aiheuttamat vauriot olivat valtaosin pienikokoisia pintavaurioita. Vaurioiden keskikoko oli kaikilla vaurioilla 53 cm², pinta-vaurioilla 46 cm² ja syvävaurioilla 90 cm². Talvella syntyneiden vaurioiden keskikoko oli 36 cm² ja nila-ajan vaurioiden 77 cm². Pituus-leveys suhde vaurioissa oli keskimäärin 6.8. Kosketukset kohdistuivat keskimäärin 450 cm korkeudelle runkoon ja kosketuksen saaneen puun etäisyys koneesta oli keskimäärin 720 cm. Vaurioiden keskimääräinen etäisyys juurenniskasta oli 275 cm, ja vaurioiden etäisyys lähimmän uran keskeltä 595 cm.

Lähes 70 % kosketuksista syntyi kaatovaiheessa, ja kosketuksen aiheutti kaadettava puu. Erityisesti kookkaita puita kaadettaessa on vaikea välttää kaatovaiheen vaurioita, joita syntyy myös miestyöhakkuussa. Myös puun käsittelyvaiheessa runko karsittaessa ja siirreltäessä aiheuttaa usein kosketuksia.

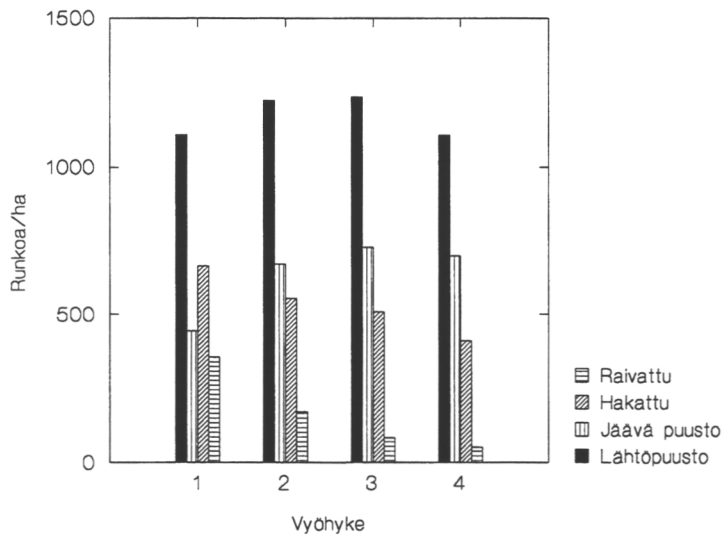
Vuodenaika vaikutti vaurioiden syntymiseen ja laatuun seuraavasti:

	Vaurioiden syntyherkkyys, % % kosketuksista	Pintavaurioita, %	Syvävaurioita, %
Talvi	24	86	14
Nila-aika	33	88	12
Kevät ja syksy	25	75	25

Jälki-inventoinnin tulokset

Seurantatutkimuksessa mukana olleiden alueiden jälki-inventoinnilla selvitettiin niiden metsänhoidollista tilaa ja kerättiin tietoa jälki-inventoinnin tulosten tarkkuudesta verrattuna seurantaan puustovaurioiden osalta. Inventointi tehtiin ennen metsäkuljetusta.

Kuvassa 2 esitetään lähtöpuuston, jäävän puusto, hakattujen ja raivattujen puiden määrä vyöhykkeittäin. Keskimääräinen vaurioprosentti oli 4,6 vaihdellen vyöhykkeittäin 4,0 - 5,6. Vaurioituneiden puiden lukumäärä hehtaarilla oli keskimäärin 27,7 vaihdellen vyöhykkeittäin 19,0 - 31,6. Vauriomäärissä oli selviä kuljettajakohtaisia eroja. Keskimääräinen vaurioprosentti kuljettaja A:lla oli 1,8, kuljettaja B:llä 9,1, kuljettaja C:llä 7,9 ja kuljettaja D:llä 1,1. Keskimääräinen ajouraleveys oli 4,8 m (SLU-menetelmä), uraväli 19,6 m ja raiteen syvyys 0,6 cm.



Kuva 2. Lähtöpuusto, jäävä puusto, hakattujen ja raivattujen puiden määrä vyöhykkeittäin.

Mahdollisuudet puustovaurioiden määrän ennustamiseksi

Puustovaurioiden määrän ennustamiseksi on tunnettava työvaiheiden määrä eri työoloissa, kunkin työvaiheen kosketusherkkyyys ja siihen vaikuttavat tekijät. Toisaalta on tunnettava eri työvaiheiden ja elinten aiheuttamien kosketusten seuraukset ja mahdollisten vaurion syntyherkkyyteen vaikuttavien tekijöiden, kuten vuodenajan, vaikutus.

Korjuujäljen ennustemalli koostuu kahdesta pääosasta, *kosketusmallista* ja *kosketusten seurausmallista*. Kosketusmalli kuvaa kosketusten määrää eri työvaiheissa ja koko työsyklillä erilaisissa työoloissa. Varsinkin tiheämmässä

puustossa työskenneltäessä saattaa samaa puuta käsiteltäessä syntyä kosketus kahteen eri puuhun. Tällaisten tapausten ennustamiseksi on laadittu **kahden kosketuksen malli**. Mallit on laskettu kullekin tutkimuskuljettajalle ja koko aineistolle.

Kosketusten seurausmalli kuvaa kosketusten seurauksia. Kosketusten seurausmallin aineistona ovat kaikki sellaiset kosketuspuut, joita kuljettajat eivät ole poistaneet. Vuodenaika vaikuttaa vaurion syntyherkkyyteen, ja seurausmallit onkin laskettu eri vuodenojille ja koko aineistolle. Kosketusten seurausmallit on myös laskettu eri työvaiheille ja koko työsyklille.

Yhdistämällä kosketusmalli ja kosketusten seurausmalli saadaan ennuste puustovaurioiden määrästä. Koska kuljettaja kuitenkin poistaa työskentelyn yhteydessä kosketuksen saaneita puita, joista osa on vaurioituneita, on laskettu **poistomalli**, jolla ennustetaan poistettavien kosketuspuiden määrää kuljettajittain ja koko aineistossa. Vähentämällä kosketusmallin ja seurausmallin antamasta vauriopuiden määrästä poistomallin antama puiden määrä, päästään vauriopuiden määrään. Vauriopuiden joukossa saattaa kuitenkin olla puita, joihin on kohdistunut kosketus eri työsykleillä. Tämän vuoksi on laskettu malli ennustamaan todennäköisyyttä sille, että samaan puuhun kohdistuu kosketus eri työsykleillä. Pieni osa näistä tällaisista kosketuspuista on sellaisia, joihin on molemmista kosketuksista syntynyt vaurio. Jottei tällaista puuta laskettaisi vauriopuiden määrään kahteen kertaan, on laadittu **kahden kosketuksen ja vaurion malli**, jolla tällaisten puiden määrää voidaan ennustaa. Näiden puiden määrä vähennetään vauriopuiden määrästä todellista vauriopuiden määrää ja vaurioprocenttia laskettaessa.

Yhdistämällä kaikki edelliset mallit saadaan **vaurioennustemalli**, jonka perusteella voidaan laatia vaurioennusteet eri kuljettajille ja koko aineiston perusteella hakkuukonetyölle. Vaurioennustemalliin liittyvät lisäksi **vaurion laatua ja sijaintia** ennustavat mallit.

Kaikki edellä mainitut mallit on laadittu käyttäen logistista regressiota. Kyseessä on tyypillinen logistisen regression käyttötilanne. Kosketus joko tapahtuu tai ei, vaurio syntyy tai ei. Seuranta- ja kosketusaineistoissa on muodostettu joukko uusia muuttujia, joilla on kaksi mahdollista arvoa; 0 tai 1.

Logistinen regressiomalli antaa laskettuna $\text{logit}(p)$ arvon, jossa $\text{logit}(p) = \log(p/(1-p))$. Esimerkiksi ennustettaessa kosketuksen syntytodennäköisyyttä vaikuttavat tekijät ovat kuljettajan lisäksi käsiteltävän rungon koko (kuutio) ja puiden lukumäärä hehtaarilla (puiha). Jokaisella työsyklillä, jolla kosketusta ei tapahdu, tehty uusi muuttuja kolhu saa arvon 0, ja jos työsyklillä tapahtuu kosketus, kolhun arvo = 1. Logistinen regressiomalli on esimerkiksi seuraava:

$$\text{Logit}(p) = 2,6310 - 0,00313 * \text{kuutio} - 0,00052 * \text{puiha}$$

Käsiteltävän rungon koon ollessa 200 dm^3 ja puiden tiheyden työalueella 1500 runkoa hehtaarilla $\text{logit}(p) = 2,6310 - 0,626 - 0,780 = 1,225$.

Malli kuvaa SAS-ohjelmistossa käytetyillä asetuksilla todennäköisyyttä sille, ettei kosketusta synny eli muuttuja kolhu = 0. Todennäköisyys sille, että kosketusta ei synny, voidaan ratkaista seuraavasti:

$p = e^{\text{logit}(p)} / (1 + e^{\text{logit}(p)}) = 2,718^{1,225} / (1 + 2,718^{1,225}) = 0,773$
jossa $e = 2,718 = \ln$ kantaluku.

Tällöin todennäköisyys kosketuksen synnylle on puolestaan $1 - p = 0,227$.

Esimerkkinä laadituista malleista esitetään seuraavassa kosketusmalli, joka kuvaa kosketusten määrää eri työoloissa. Koko työsykliä kuvaavan kosketusmallin perustana on koko havaintoaineisto, josta on laskettu kuljettajakohtaiset ja koko aineistoa kuvaavat kosketusmallit. Koko aineiston käsittävä **koko työsykliä kuvaava kosketusmalli** on seuraava:

$\text{Logit}(p) = 2,6310 - 0,00313 * \text{kuutio} - 0,00052 * \text{puiha}$
jossa kuutio = käsiteltävän rungon koko, dm^3
puiha = puiden lukumäärä/ha työalueella

Mallin mukaan todennäköisyys sille, että kosketusta ei synny, olisi esitettävissä olosuhteissa seuraava (koko seuranta-aineistossa keskimääräinen määrä puita/ha oli 1380):

Rungon koko, dm^3	Puita/ha			
	750	1000	1500	2000
100	0,873	0,858	0,823	0,782
200	0,834	0,815	0,773	0,724
300	0,786	0,763	0,713	0,658
400	0,729	0,702	0,645	0,584

Rungon koon tai puuston tiheyden kasvu lisää kosketusriskiä. Suuri rungon koko ja tiheys yhdessä aiheuttavat tuntuvasti kohonneen kosketusriskin.

Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa todettu korjuujälki oli verraten hyvä, kuljettajakohtaiset erot olivat kuitenkin huomattavan suuret. Puustovauriomäärät olivat kohtuullisia, ja lähes 90 % vaurioista oli pienikokoisia pinta-vaurioita, joiden taloudelliset seurausvaikutukset lahon ja kasvutappioiden muodossa ovat vähäisiä (Kokko & Siren 1996). Tutkimustuloksissa näkyi myös nila-ajan suurempi vaurioherkkyys. Jäävän puuston määrä ja jakautuminen kestävät vertailun miestyöhakkuun kanssa. Kuljettajat onnistuivat puuvalinnassa keskimäärin hyvin.

Hakkuukoneen aiheuttamat urapainumat olivat tutkimusleimikoissa vähäisiä. Vaikka tutkimusleimikot sijaitsivatkin pääosin maastoltaan helppoissa ja kantavuudeltaan hyvissä maastoissa, hakkuukoneen aiheuttamat maaperävauriot eivät yleensäkään liene ongelma. Hakkuukone on kuormattuun metsätraktoriin verrattuna kevyt, kulkee uralla useimmiten vain kerran ja pystyy tekemään eteensä havumaton, joka suojaa maaperää ja

juurenniskoja metsäkuljetuksessa. Kohtuullinen havujen tuonti uralle ei myöskään oleellisesti vaikuta tuottavuuteen.

Verrattaessa puustovaurioiden määrää aiempiin tutkimuksiin on huomioitava, että useimmiten on tarkasteltu koko korjuuketjun aiheuttamia vaurioita, jolloin hakkuuvaiheen vaurioita ei ole voitu eritellä kuin arvionvaraisesti. Uusimmissa tutkimuksissa vauriomäärät ovat olleet lähellä tässä tutkimuksessa todettua tasoa. Metsäkeskus Tapion korjuujälkiseurannassa keskimääräinen vaurioprocentti vuonna 1993 inventoiduissa 195 koneellisesti korjatussa leimikossa oli 5,1 (Hartikainen 1993). Ruotsalaisen Frödingin (1992) laajassa aineistossa harvesteriketjun keskimääräinen vaurioprocentti oli 5,9. Näissä luvuissa ovat mukana myös metsäkuljetuksen vauriot. Myös poistuman määrää eri etäisyyksillä urasta koskevat tulokset ovat Frödingillä (1992) samansuuntaisia kuin tässä tutkimuksessa. Vauriomäärät ovat varsin kohtuullisia verrattuna 1980-luvun alkuun, jolloin inventoinneissa todettiin korkeita, yli 10 % vauriomääriä (Sirén 1982, Fröding 1983).

Tämän tutkimuksen mukaan vauriot olivat pääasiassa kaadettavan tai käsiteltävän puun aiheuttamia. Erityisesti hieman järeämmässä tiheässä puustossa kaatovaiheen vaurioilta on usein mahdotonta välttyä, vaikka hakkuukoneella on parempi mahdollisuus hallita kaatoa kuin miestyönä. Kaatovaiheen vaurioherkkyys asettaa rajoituksia nila-ajan korjuulle, jota tulisi kuusikoissa välttää.

Nykyinen korjuuteknologia antaa mahdollisuuden hyvään korjuujälkeen. Tärkein korjuujälkeen vaikuttava tekijä on kuljettaja. Huolellinen korjuun suunnittelu, koulutus ja jatkuva korjuujäljen valvonta ovat välttämättömiä hyvän korjuujäljen takaamiseksi jatkossakin.

Kirjallisuus

- Blomqvist, H., Nilsson, N. & Ringagård, J. 1984. Transportarbete, transportintensitet och skador i gallring. Seminariearbete i skogsteknik. Sveriges lantbruksuniversitet. Garpenberg. 16 s.
- Fröding, A. 1983. Skador och stickvägar vid delmekaniserad gallring. Summary: Status of remaining stand after partly mechanized thinning. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Rapport nr 152. 34 s.
- Fröding, A. 1992. Gallringsskador - En studie av 403 bestånd i Sverige 1988. Summary: Thinning damage - A study of 403 stands in Sweden in 1988. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Rapport nr 193. 45 s.
- Hartikainen, S. 1993. Harvennushakkuiden korjuujälki. Metsäkeskus Tapio. Moniste 6.10.1993. Helsinki.
- Sirén, M. 1982. Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainprossessorilla. Summary: Stand danmage in thinning operations with a grapple loader processor. Folia Forestalia 528. 16 s.
- Kokko, P. ja Sirén, M. 1996. Harvennuspuun korjuujälki, korjuujäljen seurausvaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 592. 70 s.

Merkittävimpiä pohjaveden likaantumisriskiä aiheuttavia pysyviä tekijöitä pohjavesialueillamme ovat:

- vaarallisia kemikaaleja käyttävät tehtaat ja laitokset sekä niiden varastot
- korjaamot, huoltoasemat, öljysäiliöt, asfaltti- ja öljysora-asemat
- kaatopaikat, viemärit
- turkistarhat, sikalat, navetat, tuorerehusäiliöt
- puunkyllästämöt.

Pohjaveden likaantumisriskiä tai laadun huononemista aiheuttavia toimintoja ovat:

- hiekan ja soranotto
- pohjavedenpinnan alennus tai maankaivu, josta voi aiheutua muutoksia pohjavesiolosuhteissa kuten suovesien kulkeutuminen pohjavesialueelle
- öljyjen ja myrkyllisten aineiden kuljetukset ja tilapäinen varastointi
- jätevesien maahan imeytys
- sopimaton lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö maa- ja metsätaloudessa
- teiden suolaus.

Haja-asutuksen yksittäisten kaivojen likaantumista tai veden laadun muuttumista aiheuttavat muun muassa navetat, sikalat, käymälät, puutarhat, lannoitus ja jätevesien maahan imeytys. Likaantumisvaaraa lisää yli puolessa kaivoista niiden huono kunto (Korkkaniemi ym. 1993).

Tiedot pohjaveden likaantumisriskin aiheuttavien tekijöiden ja toimintojen todellisista vaikutuksista pohjavesialueilla ovat toistaiseksi puutteellisia. Järjestelmällistä pohjaveden likaantumisen kartoitusta ei ole maassamme vielä suoritettu. Yksittäisistä tapauksista kertyneet hajanaiset tiedot eivät ole yleistettävissä. Tilanne paranee, kun vesi- ja ympäristöhallinnon toimesta tehtävä pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitteluprojekti saadaan valmiiksi vuonna 1996.

Pohjaveden likaantumisvaaran aiheuttamien tekijöiden ja toimintojen seurauksena pohjaveteen voi päästä muun muassa seuraavia pohjavettä pilaavia tai sen laatua muuttavia aineita:

- bakteerit ja virukset
- erilaiset kemikaalit kuten puunkyllästysaineet ja liuottimet sekä kadmium- ja sinkkiyhdisteet
- öljytuotteet kuten poltto- ja voiteluaineet ja hydraulikkaöljyt
- veteen hyvin liukenevat suolat kuten typpilannoitteet ja maantiesuolat
- erilaiset orgaaniset yhdisteet kuten pinta- ja suovesien humusaineet
- muut haitalliset aineet kuten jätevesi, torjunta-aineet ja radioaktiiviset aineet.

Esimerkkejä pohjaveden laadun muuttumisesta ja likaantumisesta sekä suojaustoimenpiteistä

Yleistä

Pohjaveden laadun muuttumista ja likaantumista aiheuttavia tekijöitä ja toimintoja on tutkittu maassamme viime vuosina verraten laajalti. Tutkimukset ovat koskeneet muun muassa pohjaveden happamoitumista (Soveri 1988), soranoton vaikutuksia (Hatva ym. 1993, Hyyppä ja Penttinen 1993, Sandborg 1993), peltolannoituksen vaikutuksia (Rönkä 1989) sekä muita ihmisen toimintojen kuten kaatopaikkojen, taimitarhojen, hautausmaiden, puunkyllästämöiden ja turkistarhojen vaikutuksia (Mälkki ym. 1987 ja 1988a-d). Muita laajoja tutkimushankkeita ovat olleet tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen (Soveri ym. 1991, Hatva 1992) ja valtakunnallinen kaivovesitutkimus (Korkkaniemi ym. 1993).

Pohjaveden happamoituminen

Pohjaveden happamoitumisen kehityksestä on tutkimustuloksia lähinnä haja-asutuksen vedenhankintaan käytetyistä matalista kaivoista ja lähteistä. Kun samojen kaivojen veden laatua verrattiin vuonna 1958 ja 1989 tehtyjen tutkimusten perusteella, voitiin todeta että kaivovesien happamuus oli kasvanut ja alkaliniteetti merkittävästi pienentynyt (Wäre 1960). Happamuuden todettiin lisääntyneen erityisesti hiekka- ja hiekkamoreenimaiden kaivoissa (Korkkaniemi 1990). Happamilla alueilla kaivovesien alumiinipitoisuuksien on todettu lisääntyvän selvästi pH-alueilla alle 5.0-5.5 (Soveri 1988).

Varsinaisilla yhdyskuntien vedenhankintaan käytetyillä pohjavesialueilla pohjaveden happamoituminen ei ole vielä muodostunut ongelmaksi. Pohjavedessä on kuitenkin todettuja merkkejä happamoitumisesta (Hyyppä ja Penttinen 1993).

Soranoton vaikutus pohjaveteen

Kun maannoskerros poistetaan soranoton yhteydessä, muuttuvat pohjaveden muodostumisolosuhteet merkittävästi. Maannoskerroksessa tapahtuvat monet kemialliset ja biokemialliset reaktiot vähenevät oleellisesti. Maaperän pintaosan puskurikapasiteetti haposateita vastaan näyttäisi vähenevän. Kokonaisuutena maannoskerroksen poistaminen lisää pohjaveden likaantumisherkkyyttä (Sandborg 1993).

Soranottoalueella ja luonnontilaisella harjulla olevan pohjaveden laadussa on havaittavissa selviä eroja. Pohjaveteen liuenneiden suolojen määrän on todettu kasvavan soranottoalueilla. Tämä tulee hyvin esille sähkönjohtokyvyn nousuna. Yksittäisistä parametreistä ovat kohonneet selvimmin kovuus, sulfaatti-, kloridi- ja nitraattiarvot (taulukko 1). Siirryttäessä pohjoiseen erot ovat todettavissa, mutta vähenevät. Pohjaveden raskasmetallipitoisuuksissa ei ole todettavissa muutoksia. Muutosten suuruus riippuu soranottoalueen sijainnista ja laajuudesta pohjavesialueella (Hyyppä ja Penttinen 1993).

Veden laatu vaihtelee sorakuoppien pohjavesilammissa pintavesille ominaiseen tapaan eri vuodenaikoina. Mitä runsaammin lammen läpi virtaa pohjavettä, sitä pienempiä ovat vaihtelut. Lammet, joissa ei ole läpivirtausta, ovat ominaisuuksiltaan pintavesiesiintymien kaltaisia.

Taulukko 1. Pohjavesien koostumus Palaneenmäen (Tuusula), Lanneveden (Saarijärvi) ja Pitkäkankaan (Haapajärvi) luonnontilaisilla ja niiden viereisillä alueilla, joilta soraa on otettu pohjaveden pinnan yläpuolelta (Hatva ym. 1993).

Parametri ja yksikkö	Luonnontilaiset alueet					Käytössä olevat soranottoalueet				
	x	Md	min	max	n	x	Md	min	max	n
Lämpötila, °C	4,9	4,7	1,1	6,8	59	5,3	5,6	0,0	8,8	231
Happamuus pH	6,3	6,4	5,6	7,3	61	6,0	5,9	5,4	7,3	241
Happi, mg/l	9,5	10,7	1,3	12,0	44	9,4	9,2	4,5	13,6	76
Rauta, -"-	1,1	0,0	0,0	4,2	58	<0,1	0,0	0,0	0,4	399
Mangaani, -"-	<0,1	0,0	0,0	0,2	58	0,0	0,0	0,0	0,1	240
Sähkönjoht., mS/m	6,0	6,0	3,0	9,0	60	8,0	7,0	4,0	19,0	241
Hiilidioksidi, mg/l	14,0	11,0	2,0	44,0	43	24,0	24,0	2,0	62,0	78
Bikarbonaatti, -"-	24,3	25,0	14,6	38,4	61	24,8	20,1	7,9	44,5	241
Kloridi, -"-	2,0	2,0	1,0	6,0	57	4,0	3,0	2,0	37,0	97
Sulfaatti, -"-	6,0	4,2	3,5	12,0	44	9,9	10,0	5,4	16,0	89
KmnO ₄ -luku, -"-	2,6	2,5	0,0	9,2	61	2,5	2,2	0,0	51,0	241
Nitraatti, -"-	0,7	0,4	0,0	4,4	57	2,3	1,9	0,0	11,5	229
Kovuus, °dH	1,0	1,0	0,5	1,5	58	1,2	1,0	0,5	3,0	239
Kalsium, mg/l	5,7	5,8	3,0	7,7	58	6,9	5,6	3,0	16,0	239
Magnesium, -"-	1,3	1,4	0,5	2,6	58	1,8	1,4	0,7	4,7	240
Natrium, -"-	2,8	3,0	1,0	4,1	58	3,9	3,7	0,9	9,2	240
Kalium, -"-	1,2	1,2	0,9	1,6	58	1,2	1,1	0,7	2,2	240

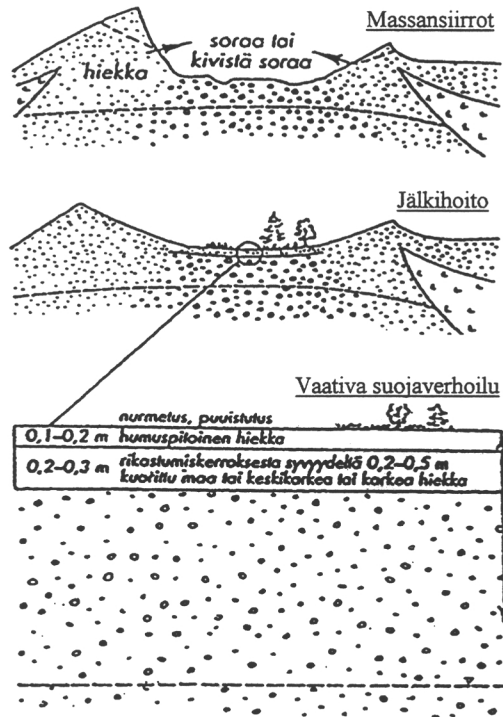
Lammen veden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat yleisten ympäristötekijöiden lisäksi sen sijainti pohjavesialueella, pohjaveden läpivirtaus, lammikon syvyys, koko ja ikä. Näistä tekijöistä riippuen lammikoiden veden laatu voi vaihdella merkittävästi. Lammikot voivat olla ominaisuuksiltaan karuja, kirkasvetisiä tai erittäin reheviä (Hyypä ja Penttinen 1993).

Soranottoalueen ja lammen vaikutus voi näkyä myös pohjavedenottamon veden laadussa. Jos lammikko sijaitsee lähellä ottamoa, vaikutus tulee yleensä esille muun muassa lämpötilan, happipitoisuuden ja pH:n nousuna sekä piihappopitoisuuden ja sähkön johtavuusarvojen laskuna.

Soranoton vaikutuksia pohjaveteen voidaan merkittävästi vähentää jälkihoitamalla alue nopeasti soranoton päätyttyä. Jälkihoidon tavoitteita ovat: pohjavettä suojaavan aluskasvillisuuden ja puuston kasvualustan luominen, biologisesti aktiivisen pintakerroksen kehittäminen, happamoitumisen estäminen tai hidastaminen, vedenpinnan vaihteluiden pienentäminen sekä uuden maannoskerroksen kehittymisen nopeuttaminen.

Suojaverhoilu suositellaan toteutettavaksi siten, että harjun soraa käsittävän runko-osan päälle levitetään vettä hyvin läpäisevää, puhdasta hiekkää. Hiekkakerroksen päälle rakennetaan orgaanista ainesta ja hiekkää sisältävää kasvualusta, johon kylvetään aluskasvillisuudeksi alueella luonteenomaisia kasvilajeja tai nurmikkoa. Puustoksi suositellaan sekapuustoa (kuva 1).

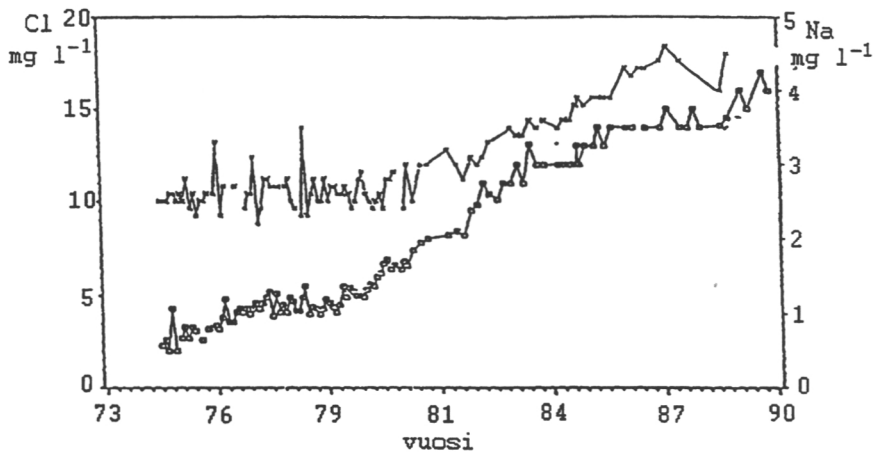
Jälkihoitoa tarvitaan



Kuva 1. Soranottoalueen jälkihoidon yhteydessä tehtävät massansiirrot (A), jälkihoito ja vaativa suojaus (B ja C) (Hatva ym. 1993).

Tiesuolaus ja onnettomuusriski

Maanteiden liukkaiden torjuntaa varten tehdyn suolauksen on viimeaikaisten tutkimusten perusteella todettu monin paikoin vaikuttaneen pohjaveden laatuun (Soveri ym. 1991 ja Hatva 1992). Merkittäviä haittoja on todettu yksittäisissä tienvarsialueiden kaivoissa, mutta myös laajemmilla pohjavesialueilla on todettu kloridipitoisuuden nousseen, joka jatkuessaan voi aiheuttaa pohjavesien pilaantumisen tai laadun muuttumisen (kuva 2). Kloridipitoisuuden nousua on todettu myös soranottoalueilla, missä on käytetty kalsiumkloridia pölyämisen estämiseen (Hyypä ja Penttinen 1993). Kloridipitoisuuden nousu lisää pohjaveden syövyttämisoimaisuuksia (Hedberg ym. 1990, Suomen kuntaliitto ja Vesi- ja viemärlaitosyhdistys 1993) ja voi nopeuttaa pohjaveden happamoitumiskehitystä (Hyypä ja Penttinen 1993).



Kuva 2. Natrium- ja kloridipitoisuuden lisääntyminen Valkealan pohjavesiasemalla vuosina 1975-1990 (Soveri ym. 1991).

Pohjavesialueilla olevat valtatie aiheuttavat myös pohjaveden likaantumisen onnettomuustapauksissa. Teiden luiskat tulisikin suojata sekä onnettomuuksien varalta että teiltä maaperään ja pohjaveteen kulkeutuvan tiesuolan johtamiseksi pohjavesialueen ulkopuolelle (Tielaitos 1993).

Yhdyskunnat

Yhdyskunnissa on monenlaista niiden toimintaan suoraan liittyviä toimintoja ja tekijöitä, kuten jätevesien johtaminen ja kaatopaikat, jotka ovat aiheuttaneet pohjaveden likaantumista. Useimmat terveyshaittoja aiheuttaneet pohjaveden likaantumistapaukset ovat johtuneet jätevesien pääsystä pohjaveteen ja edelleen pohjavedenottamolle. Todennäköistä tai todettua haittaa aiheuttavia kaatopaikkoja on arvioitu olevan tärkeillä pohjavesialueilla 294 kpl ja vedenhankintaan soveltuvilla alueilla 23 kpl (Seppänen 1992).

Jätevesien aiheuttamia riskejä voidaan vähentää tai ne voidaan poistaa johtamalla jätevedet tiiviissä viemäreissä. Kaatopaikat eivät sovi pohjavesialueille. Pohjavesialueilla vielä olevien kaatopaikkojen käyttö tulisikin lopettaa, selvittää niiden pohjavesille aiheuttamat haitat ja ryhtyä tarpeellisiin kunnostustoimenpiteisiin. Tällöin on otettava huomioon, että kaatopaikan pohjavesihaitat voivat tulla esille vasta vuosien tai jopa vuosikymmenien kuluttua.

Teollisuus

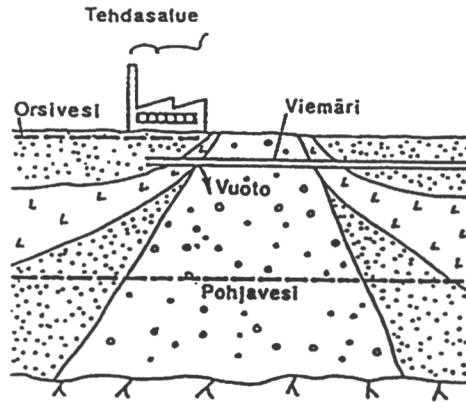
Suurimpia viime vuosina esille tulleita pohjaveden likaantumistapauksia ovat Kärkölässä sahan puunkyllästysaineen ja Hausjärven Oitissa pesulan liuotinaineen aiheuttamat pohjavesien likaantumiset. Näille ja monille muille kuten vääränlaisia kemikaaleja käyttävien tehtaiden ja laitosten sekä turkistarhojen aiheuttamille likaantumistapauksille on ominaista, että ne ovat tulleet esille hyvin pitkän ajan kuluttua likaantumisen ajankohdasta.

Kärkölässä pohjavesialueella olevalla sahalla puunkyllästykseen käytettyä kloorifenolia on päässyt valumaan maaperään ja edelleen pohjaveteen. Kloorifenoli ei hajoa eikä pidäty maaperään, jolloin se voi kulkeutua maaperässä pitkiäkin matkoja. Kärkölässä kloorifenoli on kulkeutunut kapeana vyöhykkeenä kallionpintaa pitkin noin kilometrin matkan Kähkölän kunnan pohjavedenottamolle. Korkeimmat pohjavedessä todetut kloorifenolipitoisuudet ovat suuruusluokkaa 100 000 µg/l. Vedenottamalla kloorifenolin pitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan noin 100 µg/l, kun suurin sallittu pitoisuus on 10 µg/l. Vedenottamo on jouduttu sulkemaan, kun likaantuminen oli todettu.

Hausjärvellä pohjavesialueella olleessa pesulassa liuotinaineena käytettyä tri- ja tetrakloorietyleeniä on joutunut jätevesikaivona käytetyn 13 metrin syvän kaivon kautta pohjaveteen. Pitkän ajan kuluessa liuotinaine on kulkeutunut edelleen Oitin taajaman noin kilometrin etäisyydellä olevalle pohjavedenottamolle pilaten antoisuudeltaan 1000 m³/d pohjavesialueen. Vedenottamo jouduttiin myös tässä tapauksessa sulkemaan.

Harjavallassa teollisuuslaitokset, jotka sijaitsevat harjun reunamalla olevalla orsivesivyöhykkeellä, ovat aiheuttaneet orsiveden likaantumisen (kuva 3). Orsivesi on erittäin hapanta ja sen kadmiumpitoisuus on noin 2 - 20 mg/l, sinkkipitoisuus 110 - 250 mg/l ja sulfaattipitoisuus 1 700 mg/l. Orsivesi purkautuu tehdasalueelta harjun poikki rakennetun viemärikaivannon kautta harjun pohjavesialtaaseen, ja edelleen noin kilometrin etäisyydellä olevalle pohjavedenottamolle. Pohjavedenottamalla veden kadmium pitoisuus ylittää juoma- ja talousvedelle annetun raja-arvon, jolloin antoisuudeltaan suuri vedenottamo (10 000 m³/d) on jouduttu sulkemaan.

Aikaisemmin esille tulleita teollisuuden aiheuttamia likaantumistapauksia ovat esimerkiksi Hangon seudulla 1980-luvulla todetut Fermion Oy:n ja Visko Oy:n aiheuttamat pohjaveden likaantumiset. Molemmat tehtaot sijaitsevat tärkeillä pohjavesialueilla. Salpausselkävyöhykkeellä. Kummankin tehtaan viemäri ja kemikaaliputket ovat vuotaneet, jolloin kemikaaleja on päässyt pohjaveteen. Visko Oy:n alueelta on päässyt pohjaveteen mm. ammoniumsulfaattia, lipeää ja rikkihiiltä. Fermion Oy:n alueelta on vuotanut mm. metyleenikloridia ja kloroformia. Kummassakin tapauksessa aiheutui pohjavedenottamoiden veden laadun likaantumista. Likaantumiset olisi voitu estää tai havaita ajoissa rakentamalla tehtaiden viemäri- ja kemikaaliputket maanpäällisiksi (Nysten 1988).



Kuva 3. Teollisuuden aiheuttama orsiveden ja pohjaveden likaantuminen Harjavallassa.

Yksittäisten kaivojen likaantuminen

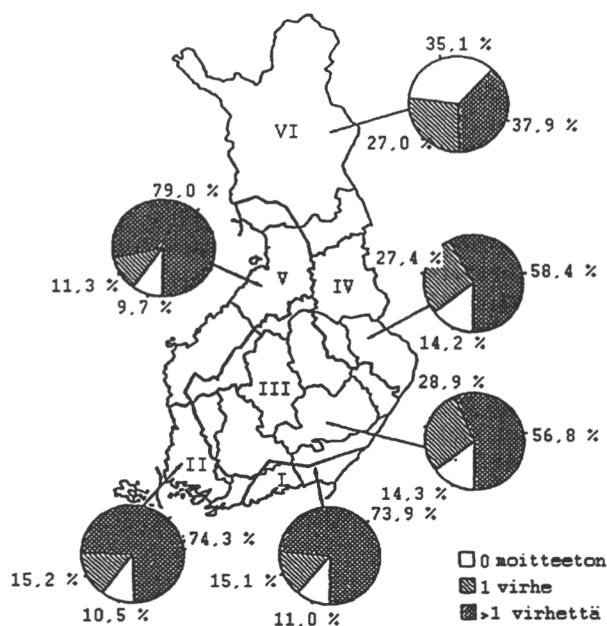
Haja-asutusalueilla käytettävien yksittäisten kaivojen likaantumista on tutkittu valtakunnallisen kaivovesitutkimuksen yhteydessä (Korkkaniemi ym. 1993). Kaivojen likaantumista on tutkittu myös aikaisemmin tehtyjen laajojen kaivovesitutkimusten yhteydessä (Wäre 1960, Lahermo ym. 1990).

Tutkimuksen mukaan kaivovedet ylittävät lääkintöhallituksen talousvedelle asettamat terveydelliset vaatimukset 30-50 %:ssa tapauksista. Vesi on laadultaan huonointa kesällä, jolloin vesissä esiintyi eniten fekaalisia koliformisia bakteereja. Muita terveydelliseen laatuun vaikuttavia tekijöitä olivat nitriitti-, nitraatti- ja fluoridipitoisuudet. Alueesta riippuen vain 11-27 % kaivoista täytti talousveden sekä laatuvaatimukset että tavoitteet (kuva 4).

Nitraattipitoisuudet olivat korkeimmat Sisä-Suomessa. Kohonneet pitoisuudet johtuivat karjataloudesta, lannoitteiden käytöstä ja jätevesien maahan imeytyksestä. Fluorin esiintyminen Kaakkois- ja Lounais-Suomessa johtuu rapakivigraniitista.

Kalliopohjavesille on ominaista muita vesiä korkeampi pH-arvo ja veteen liuenneiden suolojen määrä. Kalliovedet ovat vähemmän likaantuneita kuin matalien rengaskaivojen vedet, joihin pääsi kaivojen heikosta kunnosta johtuen helposti pintavesiä.

Huomattava osa likaantuneista kaivoista voidaan kunnostaa estämällä huonolaatuisten pintavesien pääsy kaivoon. Mikäli tämä ei ole mahdollista tulisi rakentaa uusi kaivo tai liittää vesijohtoverkoston.



Kuva 4. Talousveden laatuvaatimusten ja -tavoitteiden toteutuminen alueittain syksyllä 1990. Virhe = yhden laatuvaatimuksen tai -tavoitteen toteutumattomuus (Korkkaniemi ym. 1993).

Pohjaveden likaantumisesta Suomessa

Yleisesti voitaneen todeta, että pohjavesi on Suomessa puhdasta. Likaantumisriskin aiheuttavia tekijöitä on kuitenkin runsaasti ja pohjavesi on päässyt paikoitellen erityisesti haja-asutusalueiden yksittäisissä kaivoissa likaantumaan. Kun keskitettyyn vedenhankintaan soveltuvat pohjavesivarat sijaitsevat lukuisilla, mutta verraten pienialaisilla hiekka- ja sora-alueilla, ei laaja-alainen pohjavesien likaantuminen ole mahdollista. Tietylle vesilaitokselle pohjaveden likaantumisesta voi aiheutua sen sijaan suurta haittaa (Nysten 1988).

Monille likaantumistapauksille on ominaista, että ne ovat tulleet esille hyvin pitkän ajan kuluttua likaantumisen ajankohdasta. Pohjavesialueilla, joilla on likaantumisvaaraa aiheuttavia tekijöitä, tulisikin seurata pohjaveden laadussa tapahtuvia muutoksia vedenottamon lisäksi myös likaantumisvaaran aiheuttavan kohteen ympäristössä.

Monissa tapauksissa pohjavesi on likaantunut niin, että pohjavesialueen puhdistaminen ei ole käytännössä enää mahdollista. Esimerkiksi suovesien tai lika-aineiden pilaaman pohjavesialueen puhdistaminen voi olla liian suuritöinen, kallis ja pitkäaikainen toimenpide. Toisaalta erilaisten toimintojen kuten lannoituksen, teiden suolauksen ja soranoton aiheuttamia haittoja voidaan ja tulee korjata jälkikäteen. Esimerkiksi soranoton aiheuttamat haitat ja muutokset pohjavedessä voidaan poistaa tai niitä tuntuvasti vähentää oikeilla jälkihoito- ja saneeraustoimenpiteillä.

Tulossa olevaan ohjeistoa ja lainsäädäntöä

Uutta ohjelmistoa on juuri valmistunut muun muassa pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien laadinnasta (Suomela 1993), pohjavesimerkinnöistä kaavoihin (Ympäristöministeriö 1992), pohjaveden suojelusta soranoton yhteydessä (Hatva ym. 1993), soranoton suunnittelusta (Ympäristöministeriö 1994) ja pohjavesialueiden veden laadun valvonnasta. Tiesuolauksen vaikutuksia pohjaveteen tutkitaan parhaillaan ja uusia ohjeita on odotettavissa tutkimusten päätyttyä 1 - 2 vuoden kuluttua. Saastuneiden maa-alueiden kunnostusprojektin yhteydessä tullaan antamaan ohjeellisia raja-arvoja maaperän likaantumisesta. Pohjaveden suojelua koskeva ohjekirja (Kaupunkiliitto 1983) uusitaan vuoden 1996 kuluessa.

Kirjallisuus

- Hatva, T. 1992. Teiden suolaus ja tiealueiden suojaus pohjavesialueilla. *Vesitalous* 33(4): 13-17 & 38.
- Hatva, T. & Suomela, T. 1992. Pohjavesiasioiden kehittäminen vesi- ja ympäristöhallituksessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja - sarja B 3. 40 s.
- Hatva, T., Hyyppä, J., Ikäheimo, J., Penttinen, H. & Sandborg, M. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen, Raportti V. Soranotto ja pohjaveden suojelu. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja - sarja B 15. 75 s.
- Hedberg, T., Vik, E.A., Wagner, B., Oliphant, R., Ferguson, J.F., van den Hooven, T., Benjamin, M.M., Reiber, S., Nielsen, K., Pääkkönen, J., Fiksdal, L. & Forslund, J. 1990. The influence of water quality on different pipe materials and house installations. Conclusions from the workshop. Corrosion and corrosion control in drinking water systems. Proceedings from a corrosion workshop and seminar in Oslo, 19.-21.3.1990. pp. 4-7.
- Hyyppä, J. & Penttinen, H. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen, Tutkimusraportti II. Alueelliset pohjavesitutkimukset. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 329. Osa A; Tutkimustulokset. 231 s. Osa B; Tutkimustulosten tarkastelu. 135 s.
- Kaupunkiliitto 1983. Pohjaveden suojelu. Kaupunkiliiton julkaisu B 93. 93 s.
- Korkkaniemi, K. 1990. Kaivovesien happamoituminen Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 47. 74 s.
- Korkkaniemi, K., Sipilä, A., Hatva, T., Hiisvirta, L., Lahti, K. & Alftan, G. 1993. Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja - sarja A 146. 225 s. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2/93.
- Lahermo, P., Ilmasti, M., Juntunen, R. & Taka, M. 1990. Suomen Geokemian Atlas, osa 1. Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Geologian tutkimuskeskus, Helsinki.
- Mälkki, E., Sihvonen, K. & Suokko, T. 1987. Ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. I Kaatopaikat. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 49. 64 s. + 9 liitettä.
- Mälkki, E., Sihvonen, K. & Suokko, T. 1988a. Ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. II Taimitarhat. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 50. 37 s. + 4 liitettä.
- Mälkki, E., Hedlund, M., Heinonen-Tanski, H., Korhonen, L., Martikainen, P. & Vartiainen, T. 1988b. Ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. III Hautausmaat. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 51. 35 s. + 4 liitettä.
- Mälkki, E., Hedlund, M., Korhonen, L., Martikainen, P. & Mäkelä, J. 1988c. Ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. IV Turkistarhat. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 82. 78 s.

- Mälkki, E., Häkkinen, R., Nevalainen, P. & Sörkioja, A. 1988d. Ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. V Puunkyllästämöt. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 97. 42 s.
- Nysten, T. 1988. Pohjaveden likaantumistapauksia Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alueella. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 119. 46 s.
- Rönkä, E. 1989. Liian runsas peltolannoitus vaarana pohjaveden laadulle. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus. ss. 30-32. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja, Tiedonvirta 4/1991.
- Sandborg, M. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Tutkimusraportti III. Vajovesitutkimukset. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 330. 120 s.
- Seppänen, A. 1992. Kaatopaikkojen lukumäärä- ja haittatietoja. Ympäristö ja Terveys 9. ss. 578-582.
- Soveri, J. 1988. Laskeuman vaikutuksesta pohjaveden happamoitumiseen Porvoon ympäristöalueilla vuosina 1986 ja 1987. Porvoon maalaiskunta. Porvoo. Ympäristölautakunta tiedottaa 22/1988, 50 s.
- Soveri, J., Coster, A. & Vesterinen, J. 1991. Tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen Salpausselän alueella. Helsinki, Tielaitos. Tielaitoksen selvityksiä 26/1991, 44 s. + 7 liitettä.
- Suomela, T. 1993. Tuusulan kunnan Hyrylän pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja - sarja A. 40 s.
- Suomen kuntaliitto & Vesi- ja viemäri- ja viemäri- ja viemäri- ja viemäriyhdistys. 1993. Vesijohtoveden laatu ja korrosio. Helsinki. Kuntaliiton julkaisusarja. 90 s. (painossa)
- Tielaitos. 1993. Pohjaveden suojaus tien kohdalla. Helsinki, Tielaitos, Kehittämiskeskus. Tietekniikka. Valtion painatuskeskus. 32 s.
- Wäre, M. 1960. Talousvetenä käytetyn pohjaveden laadusta Suomen maalaiskunnassa. Vesitalous 1 (1960), 2.
- Ympäristöministeriö. 1992. Pohjavesimerkinnot kaavoihin. Pohjavesialueiden merkintätyöryhmän mietintö. 29 s. + 2 liitettä. Kaavoitus- ja rakennusosasto. Työryhmän raportti 1/1992.
- Ympäristöministeriö. 1994. Maa-ainesten ottaminen. Ohjeita maa-ainesten ottamisen suunnittelua ja jälkihoitoa varten. Opas 1. 74 s.

GEOLOGIAN JA METSÄTALouden VÄLISESTÄ VUORO- VAIKUTUKSESTA

Heikki Tanskanen

Geologian tutkimuskeskus

Suomen kallioperä

Kallioperä on alkuperäinen kasvualusta, jolla kasvillisuus on lähes olematonta. Korkeintaan levät ja jäkälät pystyvät kiinnittymään siihen ja saamaan välttämättömät ravinteensa ilmasta ja siitä vähästä, jota kallion pinnasta liukenee.

Jotta puut ylipäänsä voisivat kasvaa on alusta ensin muokattava niille sopivaksi, on oltava irtonainen löyhä kerros, johon juuristo voi tarttua, ja toisaalta on kasvualustasta saatava myös ravinteita elintoimintoja varten.

Rapautumisprosessi on elolliselle luonnolle välttämätön ilmiö. Se voidaan määritellä monella tavalla. Yksinkertaisesti se on kiinteän kallion rikkoutumista. Kallioperä on maan pinnalla sille labiileissa olosuhteissa, sen syntyolosuhteet mm. paineen ja lämpötilan suhteen olivat aivan erilaiset. Ulkoiset tekijät mm. kosteus, lämpötilan vaihtelu ja biologinen aktiviteetti koettelee kovaa kiveä. Fysikaalisessa rapautumisessa kiviaines hajoaa pienemmiksi partikkeleiksi, ja kemiallinen rapautuminen muuttaa kiven ja sen mineraalien koostumusta kohti kemiallista tasapainoa, joka vallitsee maan pinnalla. Fysikaalinen rapautuminen on tulos ulkoisista mekaanisista kalliioon vaikuttavista voimista, kuten voimakkaista lämpötilan vaihteluista, jäätymisestä ja myös juurten kiilamaisesta halkaisuvoimasta. Kemiallinen rapautuminen edellyttää liuottimien läsnäoloa, esimerkiksi sadevettä, joka lievästi happamana saa aikaan reaktioita kivessä ja sen mineraaleissa.

Käytännössä fysikaalinen ja kemiallinen rapautuminen etenevät käsi kädessä. Mitä pienemmiksi osaset hajoavat fyysisesti, sitä tehokkaammaksi kemiallinen rapautuminen tulee. Toisaalta kemiallinen rapautuminen voi liuottaessaan avata mineraaleissa tai kivissä onteloita ja rakoja ja edesauttaa osaltaan fysikaalista rapautumista.

Kemiallisessa rapautumisessa kallioperä ja sen mineraalit liukenevat ja toisaalta uusissa muuttuneissa olosuhteissa saattaa syntyä myös nk. sekundäärimineraaleja. Kemiallisella rapautumisella on erittäin suuri merkitys kasvien ravinteiden saannille. Pääravinteista kalsium, magnesium, kalium ja fosfori sekä joukko hivenravinteita ovat alkujaan lähtöisin kallioperästä.

Kivilajit ja niistä syntyneet irtaimet maalajit yhdessä topografisten ja erityisesti ilmastollisten tekijöiden kanssa määräävät paikallisen kasvualustan viljavuuden. Geologiasta riippuu ravintoaineiden varastojen suuruus ja niiden riittävyys toisin sanoen kestävä viljavuus.

Suomen kallioperä ei ole homogeeninen vaan se vaihtelee mm. ikänsä perusteella suuresti. Yleisesti ottaen kallioperämme on hapanta, sen

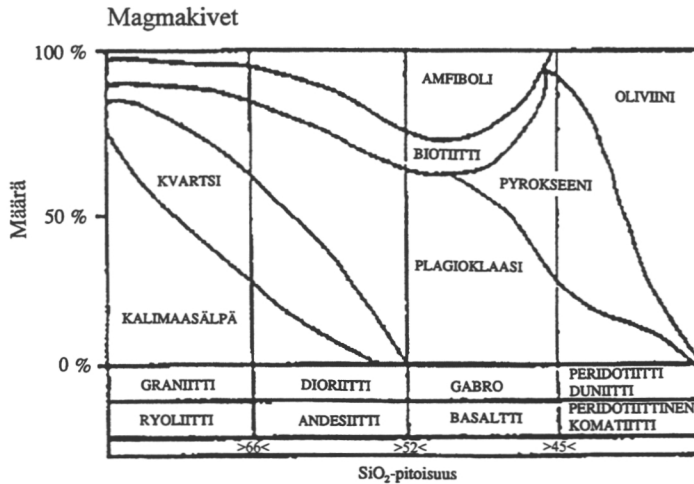
piihappopitoisuus on korkea ja toisaalta ravinnerikkaiden emäksisten kivilajien osuus vähäinen.

Taulukossa 1 on esitetty Sederholmin arvio yleisimpien kivilajien prosentuaalisesta jakautumasta Suomessa. Taulukko sisältää niin magmakivet, metamorfiset muuttuneet kivilajit kuin sedimentitkin.

Taulukko 1. Suomen kallioperän pääkivilajien alueellinen koostumus on J.J. Sederholmin mukaan.

Piihapporikkaat syväkivet (graniitit, granodioriitit, kvartsidioriitit)	52 %
Migmatiitit (seoskivilajit)	22 %
Liuskeet (fylliitit, kiilleliuskeet, amfiboliitit)	8 %
Kvartsiiitit ja hiekkakivet	4 %
Granuliitit	4 %
Kalkkikivet (karbonatiitit)	0,1 %

Kivilajit puolestaan koostuvat mineraaleista, jotka ovat muodostumisympäristönsä olosuhteille (paine, lämpötila, kivisulan koostumus) tyypilliset. Magmakivet erotetaan mm. toisistaan mineraalikoostumuksen perusteella (Kuva 1)



Kuva 1. Yleisimpien magmakivien eli laavoista syntyneiden kivilajien luokitus perustuu kiven SiO₂-pitoisuuteen ja eräiden muiden mineraalien suhteisiin.

Tärkeimmät kivien luokituksessa esiintyvät mineraalit ja niiden likimääräinen kemiallinen koostumus ovat:

Kvartsi	SiO ₂
Kalimaasälpä	K[AlSi ₃ O ₈]
Plagioklaasi	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈
Biotiitti	KMg ₃ Fe[AlSi ₃ O ₁₀](OH) ₂
Amfiboli	Ca ₂ Mg ₄ (Al Fe)[AlSi ₇ O ₂₂](OH) ₂
Pyrokseeni	Mg(FeCa)[Si ₂ O ₆]
Oliviiini	Mg(Fe) ₂ (SiO ₄)

Yllä esiintyvissä silikaattimineraaleissa on suurin osa kasvukunnan tarvitsemista ravinnealkuaineista. Näitä täydentävät karbonaatit (dolomiitti CaMg(CO₃) ja kalsiitti (CaCO₃)) sekä apatiitti Ca₅(PO₄)₃OH

Kallioperän koostumus yksin ei kuitenkaan ratkaise alueen viljavuutta. Puut ottavat ravinteensa nk. juurikerroksesta, joka on maan pinnasta lukien noin puoli metriä paksu. Irtaimet maalajit kallion pinnan päällä eivät välttämättä ole kemiallisesti analogisia kallion kanssa. Jääkausien aikana kalliosta murskattua ainesta kulkeutui jäätikön mukana paikasta toiseen, lajittui veden läsnäollessa ja kerrostui jälleen. Pelkän kallioperän tunteminen ei siis riitä määriteltäessä maan hyvyttä tai huonoutta puuston kasvuille.

Moreenien geogemiallinen kartoitus

Geologisen tutkimuskeskuksen vuosina 1982-1994 toteuttaman moreenin geokemiallisen kartoituksen alkuperäinen tavoite oli tuottaa uutta tietoa malminetsintää varten. Siksi niin näytteenotto kuin analytiikkakin valittiin tätä tarkoitusta varten. Nytemmin on kuitenkin havaittu, että tuloksia voidaan hyödyntää myös muilla luonnon tutkimusaloilla ei vähiten metsätaloudessa.

Kartoitus kattoi koko maan. Pistetiheys oli yksi näyte 4 km² kohti ja näytemateriaali oli moreeni, meillä yleisimmin ja tasaisimmin levinnyt irtain maalaji. Keskimääräinen näytesyvyys oli 1,5 metriä ja näyte pyrittiin saamaan uuttuneen maakerroksen alapuolelta vastaten podsoloituneen maaprofilin muuttumattomasta C-kerrosta. Kuivatuista näytteistä seulottiin < 0,06 mm lajite, josta mm. analysoitiin kuumasta kuningasvesiuutoksesta Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn, ja Zr.

Tulokset on julkistettu 1:400 000 karttalehdittäin. Julkistettu tieto on myös saatavana digitaalisessa muodossa ja muokattavissa tutkijoiden toiveiden mukaisesti esimerkiksi uusiksi johdannaiskartoiksi (Salminen 1995).

Kun kartoja käyttää on muistettava, että näytteenottoverkosto on harva, tutkittu fraktio on moreenin hieno lajite ja että analyyseissä käytetty uutto on vahva.

Tarvaisen (1995) mukaan hienon < 0,06 mm ja karkean < 2 mm lajitteen antamat analyysitulokset korreloivat hyvin keskenään ja alueelliset

levinneisyyskuviot yhtyvät. Mikäli hienoaineksen pitoisuudet tunnetaan voidaan laskea karkean lajitteen pitoisuudet. Hienossa lajitteessa on säännöllisesti korkeammat pitoisuudet, koska hienoon osaan rikastuvat ne mineraalit, joissa on eniten sitoutuneina eri alkuaineita. Karkeassa lajitteessa on taas puolestaan enemmän kvartsi- ja maasälpärakeita. Toisaalta myös kuningasveden liuottava vaikutus on tehokkaampi hienossa lajitteessa, koska nk. ominaispinta-ala on siinä moninkertainen karkeaan fraktioon verrattuna. Yhdessä grammassa savipartikkeleita on ominaispinta-ala 10- 50 m² g⁻¹ kun taas hiekkafraktion ominaispinta-ala on <1m² g⁻¹.

Suomen moreenit sisältävät myös vaihtelevassa määrin eri lajitteita. Lintinen on väitöskirjassaan (1995) selvittänyt Suomen moreenien alle kahden millin fraktion hienoaines-lajitteen (<0,06 mm) osuuden. Hän on jakanut Suomen moreenit alueellisesti edelleen hienoaineksen savipitoisuuden perusteella kymmeneen luokkaan. Kullakin alueella oli tunnusomainen alkuainekoostumus ja selityksenä oli useimmiten ei niinkään hienoainespitoisuus vaan sen sisältämä savifraktion osuus.

Analytiikassa käytetty kuuma kuningasvesiuutto ei vastaa totaaliuuttoa eikä myöskään heikkouuttoja. Kuningasveteen liukenevia mineraaleja ovat esimerkiksi karbonaatit, useimmat sulfidit, sulfosuolat, arsenidit ja sulfaatit. Silikaattien liukoisuus vähenee pääsääntöisesti sarjassa oliviini, kiilteet (biotitti), pyrokseenit, amfibolit ja maasälvät. Poikkeuksena on Ca-rikas maasälpä anortiitti, joka liukenee huomattavassa määrin kuningasveteen. Kiilteistä taas muskoviitti on lähes liukenematon (Noras & Kontas 1989). Useimpien alkuaineiden ja erityisesti hivenaineiden esiintyminen moreenin mineraaleissa vaihtelee alueen geologian ja geologisten rapautumisprosessien edistymisvaiheen mukaan. Tämän vuoksi myös kuningasveteen liennut osuus alkuaineen kokonaispitoisuudesta vaihtelee jossain määrin eri alueilla ja eri kivilajeissa.

Huolimatta eräistä puutteista ovat geokemialliset kartat kuitenkin parhaat mitä maastamme löytyy niin kattavuuden, havaintotiheyden kuin analytiikankin suhteen. Sama-arvokuvioilla on jatkuvuutta ja niille löytyy useimmissa tapauksissa geologinen selitys.

Rapautuminen ja puuntuotannon vaikutus maaperään

Kemiallinen rapautuminen riippuu pääasiassa kiven mineraalikoostumuksesta, raekokojakaumasta, kiven permeabiliteetista ja ilmastosta. Tärkeitä tekijöitä ovat myös sadeveden happamuus ja orgaaniset ainekset.

Rapautumisnopeutta on yritetty mitata jo viime vuosisadan lopulla. Goodchild (1890) arvioi kalkkikiven rapautuvan noin yhden tuuman 250-500 vuoden kuluessa. Myöhemmin Rankama (1954) laski, olettaen, että kaikki nykyisin ilmakehässä ja vedessä oleva ⁴⁰A on maan kuoren ⁴⁰K hajoamistuote, ja että kaikki ⁴⁰A on vapautunut rapautumisen myötä, magmakivien rapautuneen geologian historian aikana 6462 kg cm⁻² 3500 miljoonan vuoden aikana.

Ensimmäinen Suomen metsämaiden rapautumisnopeuden arviointi perustui Euroopan kallioperäkartaan, jonka perusteella kivilajit oli jaettu neljään rapautumisnopeusluokkaan. Eräs uusimmista rapautumisnopeuden tutkimuksista on emäskationien rapautumisnopeuden laskentamalli, joka on kehitetty tutkimalla

maannosprofileja (Olsson ym. 1993, Johansson & Tarvainen 1996). Kehitystyö perustuu zirkoniumin käyttöön sisäisenä standardina, koska se esiintyy erittäin hyvin rapautumista kestävässä zirkonimineraalissa ($ZrSiO_4$). Zirkoniumin määrä on pysynyt vakiona maaprofiilin eri maannoshorisonteissa aina jääkaudesta lähtien. Kun muut alkuaineet uuttuvat niin Zr:n osuus kasvaa. Erityisen hyvin ilmiö näkyy emäskationien uuttumisessa. Menetelmällä on arvioitu alkuaineiden poistuminen (köyhtyminen) rapautumisen myötä.

Edellä esitetyn perusteella on kehitetty rapautumisnopeuden laskentamalli. Laskentamallin parametreina tarvitaan Ca:n ja Mg:n kokonaispitoisuuksia nk. muuttumattomassa pohjareenissa ja tehollista lampösummaa.

Molemmat edellä mainitut mallit kertovat keskimääräisen rapautumisnopeuden viimeisten 10 000 vuoden aikana.

Ruotsalaisen Svedrupin luoma nk. Profile malli yrittää mallintaa tämän hetken rapautumisnopeutta.

Paraakaa on meneillään yhteistyöhanke Metsäntutkimuslaitoksen ja Geologian tutkimuskeskuksen välillä, jossa yritetään edelleen kehittää menetelmiä, joilla saisi luotettavampia tuloksia rapautumisesta. Asia on akuutti mallinnettaessa valuma-alueiden ainevirtoja. Työ liittyykin Ympäristön Yhdenntyn Seurannan (YYS/IM) ohjelmaan ja sitä tehdään Lieksan Hietajärven valuma-alueella, joka on yksi monitorointialueista.

Asia on osoittautunut merkittäväksi myös metsätalouden kannalta. Ruotsissa tehtyjen selvitysten mukaan mm. nk. ”kokopuukorjuu” metsänkorjuumenetelmä voi osoittautua vahingolliseksi maaperän ravinnevarastoille. (Olsson et. al. 1993). Mikäli puunkorjuun yhteydessä häviää metsästä ravinteita enemmän kuin mitä rapautuminen voi korvata alkaa kestävä kehityksen mukainen puuntuotanto horjua. Erityisesti kalsiumin osalta tilanne vaikuttaa huolestuttavalta jopa Etelä-Ruotsia myöten, maaperässä on syntymässä Ca-vaje.

Metsäntuotannon kannalta parhaita alueita ovat mäntykankaat, jotka kasvavat lajittuneilla, harjuilla ja rantamuodostumilla. Samanaikaisesti alueet ovat myös seudun parhaita pohjaveden muodostumisalueita. Tällöin voi metsänkorjuun ja pohjaveden suojelun välille syntyä ristiriitoja jos ei riittävästi oteta huomioon luonnon herkästi horjuvia tasapainotiloja. Puunkorjuu sinällään ei aiheuttane suuria muutoksia pohjaviesien laadulle, mutta kaikinainen maan pinnan rikkominen tuhoaa pohjavettä suojaavan kerroksen. Ylin mm. happosateita torjuva kerros häviää ja ravinteet sekä myös myrkyt uuttuvat nopeasti saavuttaen kohta pohjaveden. Voimakkaat maanmuokkaustoimenpiteet, auraukset ja laikutukset vastaavat maanoton ylimmän kerroksen poistamista, jonka vaikutuksia pohjaveteen on tutkittu mm. projektissa ”Soranoton vaikutus pohjaveteen” (Hatva et.al. 1993).

Jo vuonna 1992 käynnistyi metsähallituksen aloitteesta hanke ”Metsämaan mosaiikkimaisuus”, jossa Geologian tutkimuskeskus, Oulun yliopiston geotekniikan laboratorio, Metsäntutkimuslaitos ja metsähallitus yhdessä selvittävät moreenien ominaisuuksien ja metsäkasvillisuuden välisiä suhteita. Tavoitteena on luoda maaperän vesi- ja ravinnetaseeseen perustuva kasvupaikkaluokitus käytännön metsätalouden tarpeita varten.

Jotta voitaisiin ennakolta suunnitella nykyistä paremmin metsänhoidolliset toimenpiteet aina kylvöstä (istutuksesta) päätehakkuuseen asti, on paikallaan hyödyntää tehokkaammin maassamme tarjolla olevia geologisia kartta-aineistoja,

erityisesti maaperäkartoja ja geokemiallisia kartoja. Ensin mainituista näkee asiantutkija suoraan kullekin metsätyypille otollisen maaperän. Geokemiallisia kartoja voi käyttää apuna arvioitaessa metsäalueiden ravinteikkuutta, myrkyllisyyttä tai vaikkapa päätettäessä metsänkorjuumenetelmistä.

Kirjallisuus

- Goodchild, J. G. 1890. Notes on some observed rates of weathering of limestones. *Geol. Mag.* 27. pp. 463-466.
- Hatva, T. et al. 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Raportti VI: Pohjavesi ja soranotto. Tutkimusraportti 1/1993. Ympäristöministeriö, kaavoitus- ja rakennusosasto. Helsinki. 58 s.
- Johansson, M. & Tarvainen, T. 1996. Estimation of weathering rates for critical load calculations in Finland. *Environmental geology*. (painossa).
- Lintinen, P. 1995. Origin and physical characteristics of till fines in Finland. *Geol. Surv. Finland, Bulletin* 379. Espoo. 83 p.
- Noras, P. & Kontas, E. 1989. Extractabilities of elements- a new approach to interpretation of regional geochemical data. XIII Int. Geochem. Expl. Symp. Rio de Janeiro, Brazil. Abstracts. 114 p.
- Olsson, M., Melkerud, P.-A. & Rosén, K. 1993. Regional modelling of base cation losses from Swedish forest soils due to whole-tree harvesting. In *Applied Geochemistry, supplementary issue number 2* (B. Hitchon & R. Fuge eds.). Proceedings from the 2nd International Symposium on Environmental Geochemistry, Uppsala 1991. pp.189-194.
- Rankama, K. 1954. A calculation of the amount of weathered igneous rock. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 5. pp. 81-84.
- Salminen, R. 1995. (Toim.) Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982-1994. Summary: Regional Geochemical Mapping in Finland in 1982-1994. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti - Geological Survey of Finland, Report of Investigation 130. 47 s.
- Tarvainen, T. 1995. The geochemical correlation between coarse and fine fractions of till in southern Finland. *Journal of Geochemical Exploration* 54: 187-198.

SUOEKOSYSTEEMIEN AINEVIRRAT

Tapani Sallantaus

Hämeen ympäristökeskus

Ydin

Luonnontilainen suoekosysteemi toimii kärjistäen kuin valuma-alueen ”munuainen”: tasaisen topografian, pintaturpeen suotuisten fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien sekä suokasvien ja turpeen biologisten prosessien ansiosta soilla on merkittävä kyky toimia pidättävänä puskuriekosysteeminä valuma-alueelta huuhtoutuvia epäpuhtauksia ja veden laadunvaihteluita vastaan. Valitettavasti tätä kykyä on ehditty käyttää hyväksi vain pienessä osassa toteutettuja ojituksia. Metsätalous tarvitsee kuitenkin pysyviä, huoltovapaita vesiensuojeluratkaisuja. Ideaalisiksi puskuriekosysteemeiksi soveliaita suokuvioita tulisi koemielessä ennallistaa käytännön metsätalousalueilla, jotta saataisiin selvyys toiminnan vesiensuojeluhyödyistä. Tavoitteita ovat esimerkiksi kiintoaineksen, ravinteiden, sulfaatin ja haitallisten metallien (esimerkiksi alumiini) pidättäminen sekä pH-vaihteluiden tasaaminen.

Esitys on kuvaileva ja pyrkii tuomaan näkökulmaa soiden ja suometsien biogeokemialliseen käyttäytymiseen ilman varsinaisia kirjallisuusviitteitä. Kaikkiin väittämiin löytyy kuitenkin lähde tai tutkijan perustelut. Useiden alkuperäisten viitteiden jäljille pääsee esimerkiksi Laineen ym. (1995) perusteella.

Veden rooli soiden ainekierrossa

Soiden synnyn edellytys on vesi. Suot sitovat ilmakehän hiilidioksidia kasvimateriaksi, aivan kuten muutkin ekosysteemit. Runsaan veden ja siitä aiheutuvan hapettomuuden ansiosta osa syntyneestä kasvimateriasta jää hajoamatta ja kertyy turpeeksi, osa vapautuu metaanina ilmakehään.

Veden sekä laskeuman mukana luonnontilaiset suot saavat myös kasvimateriaalin tuotannossa tarvittavat ravinteet ja muut kivennäisaineet. (Suo ymmärretään tässä esityksessä ekosysteemiksi, jossa turvekerros on jo niin paksu, että kasvien juuret eivät enää yllä suonalaan kivennäismaahan). Kaikki suot saavat syntynsä alkuvaiheessa kivennäismaan kanssa kosketuksissa ollutta vettä; suokasvillisuus on tällöin rehevää, minerotrofista - esimerkiksi letot, korvet, ruohoiset ja saraiset suotyypit. Muodostuvia turvelajeja ovat esimerkiksi ruskosammalturve, saraturve, sarapuuturve. Jossain vaiheessa suot saattavat kasvaa irti maavesien vaikutuspiiristä: ombrotrofiset rahkasammalet valtaavat kasvupaikan ja kerrostuva turve on

myös rahkavaltaista. Rahkasammalen jäänteitä on kuitenkin myös minerotrofisissa turpeissa, usein huomattaviakin määriä.

Soiden luonne riippuu mm. maaperätekijöistä, topografiasta ja sääoloista. Pohjoisilla soilla runsaat kevättulvat estävät rahkoittumista, kun taas Etelä-Suomessa rahkasuon synty kuuluu suurten soiden luonnolliseen kehitykseen. Suurten hyvin kehittyneiden soiden luonteessa esiintyvien säännönmukaisuuksien perusteella maamme suot voidaan jakaa suoyhdistymätyyppeihin.

Etenkin aapasuovyöhykkeellä soilla on erittäin hallitseva asema maisemassamme. Koska suot syntyvät alaville paikoille vesien luontaisille kertymis- ja kulkureiteille, voidaan sanoa, että ainakin ennen metsäojitusta pääosa vesistöjemme vedestä on ollut soiden suodattamaa vettä.

Suot muuttavat niiden kautta purkautuvien vesien laatua. Suot paitsi kerrostavat osan ilmakehästä sitomastaan hiilestä turpeeksi ja jalostavat sitä metaaniksi, myös tuottavat orgaanista hiiltä valumavesiin. Tämä aiheuttaa suovesien ruskean värin ja vaikuttaa niiden happamuutta lisäävästi.

Kivennäisaineiden osalta suot eivät varsinaisesti toimi näiden lähteinä valumavesiin vaan päinvastoin pidättiminä: soihin on akkumuloitunut geologisesti varsin lyhyessä ajassa jääkauden jälkeen huomattavia määriä tyypeä, fosforia, rautaa, kalsiumia, alumiinia ym. alkuaineita. Rikin pidättyminen on voimakkaasti tehostunut rikkilaskeumien kasvun myötä. Eri alkuaineiden pidättymistehokkuudet ja niiden vuodenaikaisrytmit vaihtelevat, riippuen mm. alkuaineen kemiallisista ominaisuuksista, biologisesta tarpeesta ja sitoutumismekanismeista.

Turvekerros eristää vesien pääsyä kosketuksiin suonalaisen kivennäismaan kanssa, jonka reaktioihin suon synnyttämä hapettomuus samalla kuitenkin vaikuttaa siten, että rapautumisessa vapautuvien alkuaineiden liikkuvuus on erilainen kuin kangasmailla. Esimerkiksi rautaa ja mangaania suonalaisissa pohjavesissä on usein suuria määriä. Rautaa kulkeutuu myös paksuturpeistenkin soiden pintakerrokseen, saostuen osaksi siellä. Pohjaveden hapettomuuden pääasiallinen syy on veden suotautuminen turvekerroksen läpi; turvekerrokseen voi palata siis jossain vaiheessa jo turvekerroksen läpi kertaalleen suotautunutta vettä. Suotautuminen turpeen läpi voi tapahtua valuma-alueen yläosilla, mutta samakin suokuvio voi ajoittain toimia pohjaveden muodostumisalueena, ajoittain pohjaveden purkautumisalueena.

Turvekerroksen aiheuttama hapettomuus kivennäismaassa sekä orgaanisen aineksen runsas huuhtoutuminen lisäävät eräiden alkuaineiden liikkuvuutta kangasmaihin verrattuna. Raudan ohella esimerkiksi fosfori, joka kangasmailla rapautumisen myötä vapautuessaan liikkuu pääosin vain joitain kymmeniä senttimetrejä maaprofiilissa alaspäin saostuakseen rikastumiskerroksessa sekundaarisiksi rauta- tai alumiiniyhdisteiksi, liikkuu suonalaisissa hapettomissa oloissa veden mukana jo huomattavasti paremmin. Fosfori ja typpi huuhtoutuvat myös orgaanisen aineksen rakenneosina merkittävässä määrin; vesihumuksessa on tyyppiä, samoin kuin turpeessakin, alle prosentista muutamaan prosenttiin, ja fosforia kertaluokkaa vähemmän. Orgaanisen fosforin ja typen luonnonhuuhtouma voi olla suovaltaisilla alueilla selvästi suurempaa kuin kangasmaavaltaisilla.

Soiden metsätaloudellinen käyttö

Soita on alkujaan ollut runsaat 10 milj. ha. Vuonna 1953 soita oli metsätalouden maalla 9,7 miljoonaa ha, joista 0,9 milj. ha oli ojitettu. Tämän päivän metsäojitustilastot puhuvat noin kuudesta miljoonasta ojitushehtaarista. Metsäojitettuja turvemaita on Suomessa kuitenkin vain hieman runsaat 5 miljoonaa hehtaaria. Osa tilastoiduista ojituksista on päällekkäisöjituksia, osa alkujaan ohutturpeisista soista luokitellaan jo kangasmetsiksi. Myös ojitamattomista soista huomattava osa on metsätalouuskäytössä.

Ojitus toiminnan painopiste on siirtynyt voimakkaasti kunnostusojitukseen. Noin kolmannes ojitetuista turvemaista on vähintään kertaalleen lannoitettu, joskin viime vuosina lannoitustoiminta on ollut lähes olematonta. Suometsiköihin on kertynyt suuria harvennushakkuurasteja. Myös Suomessa vuosittain tehtävistä päätehakkuista turvemailla tehdään huomattavasti vähemmän kuin mikä on turvemaiden osuus metsätalouden maasta.

Jäljellä olevista ojitamattomista soista vain osa on luonnontilaisia. Osa on selvästi kuivahtaneita, ja vaikka suo näyttäisi edelleen luonnontilaiselta, on sen vesi- ja ravinnetalous saattanut muuttua varsin kaukanakin sijaitsevien ojien tai muiden toimintojen johdosta.

Metsätalouden vaikutusmekanismit valumavesien laatuun

Ojitus vaikuttaa sekä suon vesi- että ravinnetalouteen; veden kulkureitit valuma-alueen mittakaavassa muuttuvat oleellisesti. Kangasmailta alkujaan suon kautta purkautuneet vedet päätyvät ojastoon, huomattavassa määrin jo reuna-osaan, eivätkä enää saavuta suon aktiivista pintakerrosta. Suoekosysteemin suodatusvaikutus valumavesien laatuun eliminoituu. Ojien lähivaikutuspiirissä valumavedet purkautuvat huomattavasti syvemmillä sijaitsevien maakerrosten kautta kuin ennen ojitusta.

Myös suolta kivennäismaan kautta purkautuvien vesien määrä saattaa lisääntyä. Ojituksella vähennetään valuma-alueelle varastoituvan veden määrää pysyvästi; tästä aiheutuva vesivaraston tyhjentyminen lisää valuntaa lyhytaikaisesti. Pohjavesipinta laskee, jolloin haihdunta aluksi vähenee ja turpeen mineralisaatio kiihtyy - vapauttaen ravinteita, jotka ovat taas uuden biomassan käytettävissä. Kasvillisuus reagoi muuttuneisiin olosuhteisiin. Haihdunta lisääntyy kasvillisuuden kehittymisen myötä. Vähitellen myös syntyvän karikkeen (ennenkaikkea puiden juurikarike) sekä turpeen laatu muuttuu. Muutokset heijastuvat myös suoveden sekä valumaveden laatuun. Mikäli suometsä lannoitetaan, käytettävä ravinnemäärä on puuston vuosittain käyttämään ravinnemäärään verrattuna moninkertainen.

Suometsätalouden vesistökuormitus

Suovesien tunnusomaisia piirteitä on liuenneen orgaanisen aineksen aiheuttama kellertävä tai ruskea väri. Soiden metsätalouden vaikutus liukoisen

orgaanisen aineksen huuhtoutumiseen saattaa olla voimakkaasti lisäävä esimerkiksi välittömästi ojituksen jälkeen tai hakkuun jälkeen. On kuitenkin viitteitä myös orgaanisen aineksen huuhtoutumisen vähenemistä ojituksen jälkeen. Ilmiö on teoreettisesti selitettävissä esimerkiksi sillä, että ojitus vähentää turvekerroksen kanssa kosketuksiin joutuvan veden määrää. Myös tehostunut valunta suonalaisen kivennäismaan kautta saattaa vähentää valumaveden humuspitoisuuksia etenkin vähäisen valunnan aikaan, jolloin em. valunnan osuus on suurimmillaan. Hakkuiden vaikutus on lyhytaikainen ja vesistöjen orgaanisen aineksen taseissa vähämerkityksellinen.

Vesistöjen pitkäaikaisseurannat eivät toistaiseksi ole suurilla vesistöalueilla osoittaneet yksiselitteisiä merkkejä orgaanisen aineksen pitoisuuksien kasvusta, huolimatta laajasta metsäojitustoiminnasta.

Suometsien lannoitus on merkittävä fosforikuormittaja vielä tälläkin hetkellä tämä johtuu lannoitefosforin huuhtoutumisen pitkäkestoisuudesta etenkin karuilla soilla, joilla sekä kemiallinen että biologinen fosforin pidättyminen on heikkoa. Myös turvemaiden avohakkuun ja metsäojituksen on todettu lisäävän fosforikuormitusta useita vuosia toimenpiteestä. Ojitusalueilla lievä fosforihuuhtoutumien kasvu saattaa olla pysyvää, kun taas hakkuun vaikutukset ovat suhteellisen nopeasti ohimeneviä. Suometsätalous on vastannut pääosasta metsätalouden tähänastisesta fosforikuormituksesta.

Suometsätalouden tyyppikuormitus on suhteellisen vähäistä. Metsäojitus kuitenkin lisää epäorgaanisen typen huuhtoutumista, samoin kuin hakkuut. Ojituksen vaikutus typen huuhtoutumiin selittyy valunnan painopisteen siirtymisellä syvempiin suokerroksiin; turvemaan pohjavedessä ammoniumtyypipitoisuus kasvaa nopeasti juurikerroksen alapuolelle siirryttäessä. Syvävalunnan tehostuminen selittää myös fosforihuuhtoutumien ehkä pysyvääkin lisääntymistä.

Metsäojituksen ja turvemaiden avohakkuun on havaittu useissa eri tutkimuksissa lisänneen raudan huuhtoutumista. Rautapitoisuuksien kasvua on todettu myös suurissa vesistöissä. Raudan huuhtoutumisen lisääntyminen selittyy suonalaisten kivennäismaiden vesien liikkuvuuden parantumisella sekä suon suodatusvaikutuksen vähentymisellä ojituksen jälkeen. Hakkuiden kohdalla raudan väliaikainen huuhtoutumien kasvu liittyy maan vettymiseen ja happitilanteen äkilliseen heikkenemiseen hakkuun jälkeen.

Suometsätalouden merkitys valumavesien happamuuteen on hyvin monimutkainen kysymys; vaikuttavia tekijöitä ovat ennenkaikkea orgaanisen aineksen, sulfaatin, emäskationien sekä muiden metallien huuhtoutumisen muutokset. Useissa tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että valumavesi neutraloituu osaksi metsäojituksen seurauksena. Ojitus eliminoi suureksi osaksi suon emäskationeja ja muita metalleja pidättävän vaikutuksen - suoekosysteemi muuttuu näiden aineiden nielusta niiden lähteeksi valumavesiin. Positiivisesti varautuneiden metallien pidättyminen turpeeseen tuottaa vetyioneja valumavesiin, nettovapautuminen on taas neutraloiva prosessi. Toisaalta myös sulfaatin pidättyminen turvekerrokseen (valumavettä neutraloiva prosessi) saattaa vähentyä ojituksen seurauksena. Neutraloivaan suuntaan vaikuttaa myös kivennäismaavalunnan lisääntyminen. Väliaikainen pH-arvojen lasku on mahdollista, mikäli humusaineen huuhtoutuminen lisääntyy esimerkiksi runsaan suoveden tyhjentyemisvalunnan vuoksi. Runsas

humusaineksen huuhtoutuminen saattaa myös avohakkuussa peittää alleen hakkuun aiheuttaman emäskationien huuhtoutuman kasvusta aiheutuvan neutraloitumisen. Turpeen vaihtuvien kationien suuri varasto toimii kuitenkin puskurina veden happamuuden äkillisiä vaihteluita vastaan ja turpeella on erittäin suuri kyky pidättää mm. alumiinia, joka on tärkeänä syynä vesistöjen happamoitumisesta seuraaviin haitallisiin vaikutuksiin vesistöissä.

Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset valumavesien happamuuteen turvemailla tunnetaan erityisen huonosti. Suometsikön kehittyessä pintaturpeen happamuus kasvaa vähitellen. Syinä tähän ovat puustoon ja muuhun biomassaan sitoutuvat emäskationit (Ca, Mg, K). Myös huuhtoutuminen kuluttaa turvekerroksen emäskationivaroja. 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. Aihepiiriä on aktiivisesti tutkittu viime vuosina.

Kiintoainesta ei luonnontilaisilta soilta huuhtoudu juuri lainkaan. Ojitus mahdollistaa kiintoaineen huuhtoutumisen ja erityisen runsasta eroosio voi olla valtaojia ym. runsaasti vettä kuljettavia ojia kaivettaessa sekä ylivalumakausina kaivutöiden jälkeen.

Mahdollisuudet vesistövaikutusten lieventämiseen

Tieto suometsätalouden kuormituksen määrästä, synty tavoista ja torjuntamahdollisuuksista on hieman myöhäissyntyistä. Merkittävät vesistökuormitusta aiheuttaneet työtavat - purojen perkaus ja muu mittava peruskuivatus toiminta, karujen vähäpuustoisten soiden lannoitukset, liukoisten fosforilannoitteiden käyttö, suuret vuosittaiset uudisojitusalat vetisillä, vähäpuustoisillakin soilla ilman mitään vesiensuojeluratkaisuja - ovat jo historiaa. Suometsätaloudessa on kuitenkin edelleen paljon tehtävää. Kunnostusojitukset, harvennus- ja päätehakkuut sekä puiden korjuu ovat suureksi osaksi edessäpäin. Uudisojituksen kaltaista ojitustakin tehdään edelleen avohakkuiden yhteydessä soistumisuhan torjumiseksi. Suometsien terveydentilasta on kyettävä huolehtimaan, ehkä muuttuvissa ilmasto-oloissa. Ajatuksella kerätylle tutkimustiedolle olisi edelleen käyttöä.

Haitallisimpien toimenpiteiden tai toimintatapojen välttäminen on parhaita tapoja kuormituksen vähentämiseen. Kuormitusta syntyy helpoimmin siellä, missä vettä eniten liikkuu; valtaojissa, usein myös reunaojissa, puro- tai noronotkelmissa, vetisissä painanteissa. Pehmeillä mailla jo kevyiden koneiden liikkuminen voi aiheuttaa suuria mullistuksia. Uusimmat vesiensuojeluohjeet ovat jo erittäin hyviä. Suojavyöhykkeiden käyttö, kulku-urien suunnittelu ja perattavien uomien tarkka tarveharkinta ovat itsestäänselvyksiä. Lietekuopat, altaat ym. keinotekoiset pidättimet menettävät nopeasti tehonsa, kun vesimäärät kasvavat. Uoman koko ja valuma-alueen suuruus on aina pidettävä mielessä. Vakiintunut tilanne, luonnollinen tulva-alue ja elinvoimainen kasvillisuus vesien kulkureiteillä olisi pyrittävä säilyttämään.

Toimiva ojitattoman suoekosysteemi metsätalousohjauksen ja vesistön välillä on ideaalinen vesiensuojeluratkaisu, paitsi suometsätalouden myös

kangasmaiden metsätalouden vesistökuormitusta vastaan. Suoekosysteemillä on merkitystä fysikaalisena, kemiallisena ja biologisena vesiensuojeluratkaisuna. Pääosin nämä ideaaliset puskuriekosysteemit on menetetty jo peruskuivatusvaiheessa. Sopivissa oloissa niiden aktiivinen ennallistaminen voisi tulla kysymykseen paitsi pysyvänä huoltovapaana vesiensuojeluratkaisuna, myös keinona luonnon monimuotoisuuden ja uhanalaisten biotooppien palauttamiseksi.

Lopuksi

Soiden hyväksikäyttö on Suomessa laajempaa kuin ehkä missään muualla pinta-alaan suhteutettuna, joten myös soiden hyväksikäyttöön liittyvät ympäristökysymykset ovat kansainvälisessä työnjaossa luonnostaan meille lankeava tutkimusaihepiiri. Suuressa osassa kehittyntä maailmaa suot ovat käyneet äärimmäisen vähiin. Harvat, jopa alkuperäisen tilansa menettäneet suokuviot ovat innokkaan luonnonharrastuksen kohteena. Kosteikot - sekä luonnontilaiset suot että luonnonpurot - ovat nousseet arvoon arvaamattomaan. Mitä muualla, sitä myös meillä. Suometsätaloudella voidaan tuhota vielä tiedostamattomiakin arvoja, joista voisi mainita vaikka suohydrologis-kemiallisen tutkimuksen. Eteläisessä Suomessa suotutkija voi jo nyt joutua tekemään huomattavan paljon työtä löytääkseen täysin luonnontilaisen varsinaista sararämettä olevan suovaluma-alueen - vaikka ko. suotyyppin pitäisi olla yleisimpiä suotyyppejämme. Useimmat rehevät suotyypit ovat Etelä-Suomessa erittäin uhanalaisia. Ympäristöhoito kokonaisvaltaisena kysymyksenä on suometsätalouden merkittäviä haasteita - soidensuojeluohjelmista ja pohjoisen Suomen laajoista kansallispuistoista huolimatta.

Kirjallisuus

Laine, J., Vasander, H. & Sallantausta, T. 1995. Ecological effects of peatland drainage for forestry. *Environmental Reviews* 3: 286-303.

KUNNOSTUSOJITUKSEN AIHEUTTAMA VESISTÖ- KUORMITUS

Erkki Ahti

Metsäntutkimuslaitos

Tausta

Metsäojitusalueita kunnostetaan 1990-luvun puolivälissä noin 80 000 hehtaaria vuodessa. Pääosa toiminnasta on vanhojen ojien perkausta, mutta myös täydennysojituksella, joka usein on vanhojen ojitussarkojen halkaisua uusilla ojilla, on huomattava osuus. Kunnostusojituksen vuosittainen pinta-ala tulee vielä jonkin verran kasvamaan.

Uudisojitus aiheutti soiden vesitaseen selvän, joskin palautuvan muutoksen. Suurimmat muutokset havaittiin kesän ylivalumissa, mutta myös vuosivalunta kasvoi selvästi. Kiintoainekuormitus, joka on ojituksen näkyvin haitta, ja jossakin määrin myös typpi- ja fosforikuormitus, kasvoivat uudisojituksen vaikutuksesta. Useimpien tutkimusten mukaan valumaveden pH-arvo on noussut ja liuenneen orgaanisen aineksen pitoisuus pienentynyt.

METVE-projektin kunnostusojitustutkimukset

Ojanperkauksen aiheuttamaa vesistökuormitusta tutkittiin METVE-projektissa ympärivuotisesti Kiiminkijoen sivuhaaran, Tilanjoen valuma-alueella, jossa tutkimusalueina oli neljä 28-99 hehtaarin ojien rajaamaa pientä valuma-aluetta (Ahti ym. 1995). Alueiden laskuojat olivat uudisojituksen yhteydessä syöpyneet siinä määrin, että osa ojanvarsipuustosta oli kaatunut. Alueista kaksi käsiteltiin ojanperkauksin kuuden vuoden kalibroinnin jälkeen vuonna 1989. Kaivun yhteydessä laskuojiin tehtiin pienet laskeutusaltaat. Myös mittauspatojen tasausaltaat toimivat laskeutusaltaina jopa siinä määrin, että ne jouduttiin tyhjentämään lietteestä vedenkorkeusmittareiden toiminnan mahdollistamiseksi. Alueet olivat pääosin ohutturpeisia karuhkoja rämeitä, jotka oli ojitettu metsäoja-auralla 30 metrin ojaväleihin 1960-luvun lopulla. Pohjamaa oli Tilanjoen koalueella pääosin hienoa hiekkaa tai karkeata hietaa.

Kunnostusojituksella ei ollut selvää vaikutusta valuntaan. Pääosin havaitut pienet muutokset johtuivat todennäköisesti ojanperkauksen jälkeen tapahtuneesta pohjavesipinnan syvyysmuutoksesta ja suon tyhjenemisvalunnasta.

Kun Tilanjokeen purkautuvien vesien kiintoainepitoisuutta tarkasteltiin kolmen kuukauden kausikeskiarvoilla (talvi = joului-helmikuu, kevät = maaliskuu-toukokuu, kesä = kesä-elokuu, syys = syys-marraskuu), voitiin todeta, että ojanperkaus oli ensimmäisten neljän vuoden aikana nostanut pitoisuudet noin

arvosta 3 mg/l 4-5-kertaisiksi. Ero johtui pääosin kaivun aikana havaituista korkeista kiintoainepitoisuuksista. Jo vuoden kuluttua ojanperkauksesta pitoisuudet olivat palautuneet lähelle ennen kaivua vallinnutta tasoa.

Mineraalityypen pitoisuudet kasvoivat 5-10-kertaisiksi kummallakin toimenpidealueella. Muutokset olivat tilastomatemattisesti merkitseviä, mutta kun lähtötaso oli sekä ammoniumin että nitraatin kohdalla suuruusluokkaa 5 µg/l, keskimääräiset pitoisuudet ovat kaivun jälkeenkin kummankin tyyppiyhdisteen osalta pysytelleet tasolla 50 µg/l eli 0,05 mg/l.

Valumaveden fosforipitoisuus reagoi ojanperkaukseen epäjohdonmukaisesti. Toisella alueella sekä veden kokonaisfosfori- että fosfaattifosforipitoisuudet selvästi pienenevät; muutos jatkui koko ojanperkauksen jälkeisen neljän vuoden ajan. Toisella alueella fosforipitoisuudet kohosivat kaivun yhteydessä selvästi, mutta palautuivat pian entiselle tasolle. Kokonaisfosforipitoisuus oli toimenpidealueilla keskimäärin suuruusluokkaa 30 µg/l ja fosfaattifosforipitoisuus 5-10 µg/l.

Valumaveden pH-arvo nousi toisella alueella 0,3 yksikköä ja toisella 0,5 yksikköä. Kemiallinen hapenkulutus ja väriluku pienenevät selvästi, mikä merkitsee valumaveden liunneen orgaanisen aineksen vähenemistä.

Useimmat ojanperkauksen aiheuttamat muutokset olivat samoja kuin uudisojituksen aiheuttamat. Pääosin havaitut muutokset ovat sopuinnassa Mannisen (1995) tulosten kanssa.

METVE-projektin yhteydessä tutkittiin kunnostusojituksen vaikutuksia e.m. ympärivuotisen tutkimuksen lisäksi lumettomana aikana noin 40 valuma-alueparilta (Ahti ym. 1995). Tulokset olivat samansuuntaiset kuin Tilanjoen hankkeessa: kiintoainepitoisuus kymmenkertaistui, mineraalityppipitoisuudet kasvoivat jonkin verran, fosforipitoisuuden osalta ei saatu selkeää tulosta, pH-arvo nousi selvästi ja valumaveden orgaanisen hiilen pitoisuus pieneni. Laskeutusaltaat pidättivät kiintoainetta suhteellisen hyvin alueilla, joiden pohjamaa oli karkeaa hietaa tai sitä karkeampaa ainesta. Altaiden mitoitussarvot osoittautuivat yleisesti liian pieniksi.

Jatkotutkimusten suuntaaminen

Edellä mainitut tutkimukset antavat suhteellisen selvän kuvan kunnostusojituksen vaikutuksesta valumavesien ainepitoisuuksiin. Sen sijaan ne eivät anna selvää vastausta kysymykseen, miten kunnostusojitus vaikuttaa valuntaan. Ilmeistä kuitenkin on, että muutokset ovat huomattavasti pienempiä kuin kunnostusojituksen vaikutukset valumaveden ainepitoisuuksiin. Tämä merkitsee, että tutkittaessa kunnostusojituksen vaikutusta vesistökuormitukseen päätelmät voitaisiin tehdä pääosin pitoisuusmuutosten perusteella mittaamatta valuntaa.

Metsäntutkimuslaitoksella on käynnistynyt tutkimus, jossa käytännön kunnostusojitusalueilla yritetään selvittää, miten pintavalutus kentillä voidaan vaikuttaa kuormitukseen. Toistaiseksi on ollut vaikea löytää sellaisia pintavalutus kenttiä, joilla tutkimuksen edellyttämä näytteenotto olisi riittävän tarkkaa.

Jatkossa tutkimuksen kohteeksi on tarkoitus ottaa kaivukatkojen ja kaivutöiden jaksottamisen vaikutus.

Kirjallisuus

- Ahti, E., Alasaarela, E. & Ylitolonen, A. 1995. Kunnostusojituksen vaikutus ojitusalueen hydrologiaan ja valumavesien ainepitoisuuksiin. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu, ss. 157-168. Helsinki 1995.
- Ahti, E., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1995. Laskeutusaltaiden vaikutus kunnostusojitusalueiden kiintoainehuuhtoutumaan. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu, ss. 139-155. Helsinki 1995.
- Manninen, P. 1995. Kunnostusojituksen vesiensuojelututkimus; veden laadun, kuormituksen ja biologiset muutokset kahden ensimmäisen ojituksen jälkeisen vuoden aikana. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu, ss. 169-181. Helsinki 1995.

AVOHAKKUUN, MAANMUOKKAUKSEN JA LANNOITUKSEN VAIKUTUS AINEVIRTOIHIN OJITETUILLA TURVEMAILLA

Mika Nieminen

Metsäntutkimuslaitos

Avohakkuun vaikutus typen kiertoon ojitetuilla turvemaidilla

Kaikkien ravinnekiertoon vaikuttavien prosessien tutkiminen on edellytys ravinnehuuhtoutumisissa tapahtuvien muutosten ymmärtämiseksi ja ennustamiseksi metsätaloustoimenpiteiden jälkeen. Tutkittaessa avohakkuun vaikutuksia typen huuhtoutumiseen on siten tunnettava avohakkuun aiheuttamat muutokset kaikissa typen kierron osatekijöissä, ts. muutokset 1) avohakkuualueelle tulevan typen määrissä (typpilaskeuma ja biologinen ilmakehän typen sidonta), 2) typen sisäisessä kierrossa (mineralisaatio, nitrifikaatio, denitrifikaatio, immobilisaatio, kasvillisuuden typen otto ja karikkeen muodostus) ja 3) alueelta poistuvan typen määrissä (orgaaninen ja epäorgaaninen typpihuuhoutuma ja typpikaasuemissiot). Avohakkuun vaikutuksia kokonaistyyppi-, NO_3^- - ja NH_4^+ -huuhtoutumiin sekä typen kierron eri prosesseihin tutkitaan ravinnerikkailta ojitetuilla turvekankailla Etelä-Suomessa.

Tutkimusalueilla tehdään mm. seuraavia mittauksia:

- laskeuman laatu nk. laskeumasuppiloista
- perkolaatioveden laatu hakkuutähteiden alla ja hakkuutähteettömissä kohdissa
- ravinteiden mineralisoituminen hakkuutähteistä nk. karikepussimenetelmällä
- typpihuuhoutumat limnigrafein varustetuista mittapadoista
- kaasuemissiot suljetun kammion mittaamenetelmällä
- turveanalyysit ennen hakkuuta ja kolme vuotta hakkuun jälkeen
- hakkuutähteiden kokonaisbiomassa ja ravinnemäärät
- kasvillisuuden sitomat typpimäärät
- lisäksi alueilla mitataan typen kiertoon vaikuttavia ympäristötekijöitä, kuten ojaveden, ilman ja turpeen lämpötiloja sekä pohjavesipinnan syvyyttä.

Tähän mennessä vasta osasta mittauksia on kertynyt tutkimustuloksia. Alustavia tuloksia avohakkuun vaikutuksista laskeuman, perkolaatioveden ja valunnan typpipitoisuuksiin sekä typpikaasuemissioihin on esitetty seuraavissa julkaisuissa:

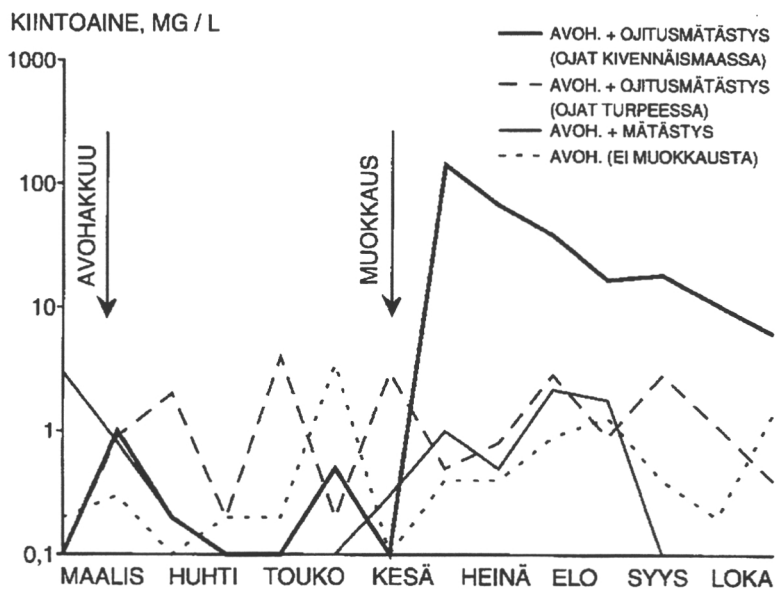
Nieminen, M. 1995. Avohakkuun vaikutus typen kiertoon ojitetuilla turvekankailla: alustavat tulokset ensimmäisenä vuonna hakkuusta. Teoksessa: Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta yhteistutkimusprojekti (METVE). Tutkijaseminaarin abstraktit. ss. 47-50.

Nieminen, M. 1995. Avohakkuun vaikutus typen kiertoon vanhoilla ojitusalueilla: alustavat tulokset ensimmäisenä vuotena hakkuusta. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 - ympäristönsuojelu. Helsinki 1995. ss. 363-382.

Maanmuokkauksen vaikutus kiintoaineen huuhtoutumiseen ojitetulta suolta

Vilppulan Jaakkoinсуolle perustettiin viisi pientä, keinotekoista valuma-alueetta maanmuokkauksen eroosiovaikutusten selvittämiseksi. Kalibrointikauden jälkeen talvella 1995 neljä aluetta avohakattiin yhden jäädessä vertailualueeksi. Myöhemmin kesällä yksi avohakattu alue ojitusmätästettiin siten, että mätästysojat ulottuivat turpeen alaiseen kivennäismaahan. Toinen alue ojitusmätästettiin niin, että ojat jäivät turpeeseen. Kolmas avohakattu alue mätästettiin ilman ojia, ja neljäs alue jätettiin muokkaamatta.

Käsittelyistä pelkkä avohakkuu, avohakkuu ja mätästys ilman ojia sekä avohakkuu ja ojitusmätästys turvepohjaiseen ojaan eivät lisänneet eroosiota eli kiintoaineen huuhtoutumista (kuva 1). Sen sijaan mätästysojien ulottaminen turpeen alaiseen kivennäismaahan aiheutti huomattavan kiintoainekuormituksen.



Kuva 1. Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus kiintoaineen huuhtoutumiseen vanhalta ojitusalueelta.

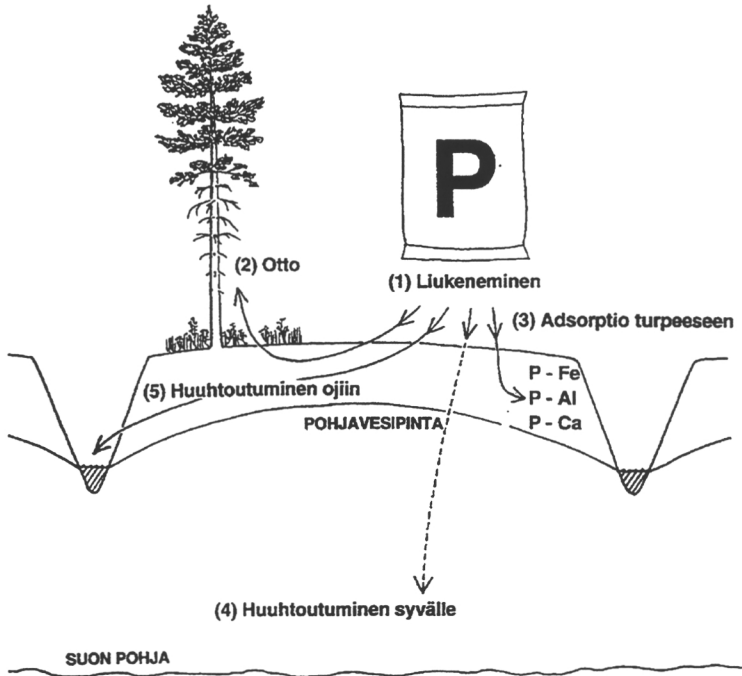
Tulosten perusteella erityisesti ohutturpeiset suot ja soistuneet kankaat ovat riskialueita maanmuokkauksen eroosiovaikutusten kannalta, koska käytännön metsätaloudessa näillä alueilla ojitusmätästysojat yleensä ulotetaan kivennäismaahan.

Yhteenlaskettu ojamäärä (kunnostusojat ja mätästysojat) on ojitusmätästysalueilla lisäksi huomattavasti suurempi kuin pelkässä uudis- tai kunnostusojituksessa, joten riski suuriin huuhtoutumiin on isompi. Siksi vesiensuojelutoimenpiteet ovat ohutturpeisilla ojitusmätästysalueilla ensiarvoisen tärkeitä. Laskeutusaltaat eivät välttämättä ole paras vesiensuojelutoimenpide vähentämään eroosioaineksen huuhtoutumista vesistöihin eroosioherkillä alueilla, koska altaista itsestään voi huuhtoutua kiintoainetta. Riskialueilla kannattaakin harkita ojitusmätästysten korvaamista pelkällä mätästyksellä. Myös ojakatkot ojitusmätästysojien ja valtaojan välillä sekä valtaojan perkaamatta jättäminen uudistamisen yhteydessä voivat vähentää eroosioaineksen huuhtoutumista vesistöihin.

Fosforilannoitteiden huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät ojitetuilla turvemilla

Tutkimuksen tarkoituksena on empiirisen tutkimuksen ja mallintamisen keinoin selvittää fosforilannoitteiden huuhtoutumisriskit ojitusalueilta.

Tärkeimmät fosforilannoitteiden huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät ojitusalueilla on esitetty kuvassa 2. Metsäntutkimuslaitoksessa selvitetään erilaisten fosforilannoitteiden liukenemismenopeuksia (1) kenttäolosuhteissa nk. lannoitepussimenetelmällä. Puuston ja muun kasvillisuuden lannoitefosforin ottoa (2) on selvitetty lannoitetulla puolukaturvekankaalla. Fosforinpidätystä turpeen Fe-, Al- ja Ca-hydroksideihin (3) on selvitetty laboratoriomittausten perusteella. Tulevaisuudessa on myös tarkoitus kerätä vesi- ja turvenäytteitä suon pinnasta aina pohjaan asti vanhoilta lannoituskokeilta sen selvittämiseksi, huuhtoutuuko ja pidättyykö lannoitefosforia syviin suokerrostumiin (4). Tutkimuksen lopullisena tarkoituksena on laatia fosforihuuhtoutumia kuvaava malli, kunhan fosforin huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät on ensin empiirisesti selvitetty.



Kuva 2. Lannoitefosforin huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät ojitetuilla soilla.

Tähän mennessä tutkimushankkeessa on valmistunut seuraavat raportit:

Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus adsorption by peat from drained mires in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* (painossa)

Finér, L. & Nieminen, M. 1996. Dry mass and nutrient amounts of understorey vegetation and litter layer and changes caused by fertilization on a drained ombrotrophic pine bog. (käsikirjoitus).

METSÄTALouden VAIKUTUKSET KALAKANTOIHIN

Martti Rask,
Eero Jutila,
Teuvo Järvenpää,
Antti Lappalainen ja
Pekka Vuorinen
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Johdanto

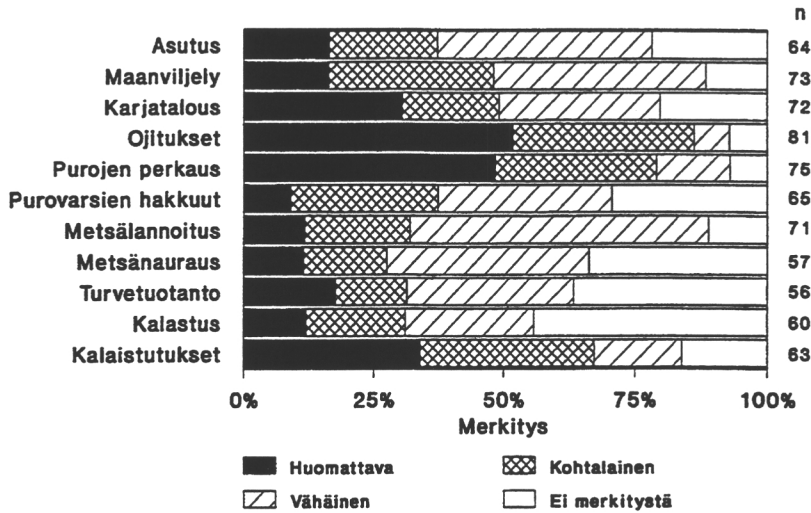
Tämä kirjoitus on yhteenveto Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen (RKTL) osuudesta yhteistutkimuksessa Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta (METVE). RKTL oli mukana hankkeella "Metsätalouden vesistövaikutukset: kalat ja kalatalous", jossa tutkittiin metsätalouden vaikutuksia kaloihin sekä virtaavissa vesissä että järvissä. Kohdealueina olivat Isojoen vesistön latvaosat Etelä-Pohjanmaalla sekä neljä Kuhmossa sijaitsevaa metsäjärveä. Kokeellisissa tutkimuksissa selvitettiin metsätalouden aiheuttamien veden laadun muutosten vaikutusmekanismeja kaloissa. Lisäksi tehtiin rapututkimuksia sekä selvitettiin kyselytutkimuksella ihmisten käsityksiä metsätalouden vaikutuksista kalavesien laatuun ja kalanviljelyyn. Tutkimuksista on tähän mennessä raportoitu lähinnä osana METVE-projektin raportointia (Saukkonen & Kenttämies 1993, Saukkonen & Kenttämies 1995). Lisäksi on julkaistu RKTL:n raportteja (Lappalainen & Rask 1993, Laamanen ym. 1994) ja myös ensimmäiset tieteelliset artikkelit (Rask ym. 1993, Peuranen ym. 1994).

Metsätalous taimenpurojen uhkana

Isojoen vesistössä Etelä-Pohjanmaalla tutkittiin metsätalouden toimenpiteiden vaikutuksia virtaavien vesien kalakantoihin ja kalatalouteen. Tutkimuksen aluksi Isojoen vesistön metsävaltaisissa latvapuroissa tehtiin kalastus selvitys sähkökalastamalla yhteensä noin 90 paikassa 50 purossa. Kaloja saatiin 30 purosta. Taimen oli purojen yleisin kalalaji, ja sitä esiintyi Kärjenjoen aluetta lukuun ottamatta koko vesistössä. Isojoen alueella purot ovatkin tärkeitä kalavesiä. Isojoen ja Karijoen kunnissa tehdyn kalastustiedustelun mukaan kalastaneista ruokakunnista joka neljäs oli kalastanut puroissa (Laamanen ym. 1994). Vesistön keski- ja yläosan kokonaissaaliiksi arvioitiin v. 1992 noin 5 300 kiloa. Eniten kalastettiin taimenta (1 600 kg), harjusta (1 500 kg) ja haukea (1 500 kg).

Sähkökalastusten yhteydessä kerättyjen taimennäytteiden perusteella Isojoen purotaimen jakaantuu ainakin viiteen perinnöllisesti erilaistuneeseen

kantaan. Metsätalous muodostaa selvän uhan näiden taimenkantojen säilymiselle. Kalastustiedustelussa (kuva 1) taimenen ilmoitettiin hävinneen viime vuosikymmenien aikana 14 purosta, mihin pääasiallisena syynä pidettiin metsäojituksia. Kalatalouden kannalta on välttämätöntä, että metsätalouden toimenpiteistä ei enää jatkossa aiheudu paikallisten taimenkantojen häviämistä ja kalaston biodiversiteetin pysyvää vähenemistä.



Kuva 1. Eri tekijöiden vaikutus taimenen runsaudessa havaittuihin muutoksiin Isojoen puroissa tiedustelututkimuksen perusteella (Laamanen ym. 1994).

Metsätalous vaikuttaa taimenkantoihin niiden elinympäristöä muuttamalla

Isojoen kalastokartoituksen yhteydessä kerättiin myös tietoja koealojen ominaisuuksista, kuten perkauksista, pohjan laadusta, virtausoloista, rannan ja rantakasvillisuuden laadusta. Sähkökalastuskohtien yläpuoliselta alueelta selvitettiin karttatarkastelun avulla valuma-alueen koko sekä metsien, soiden ja peltojen osuudet ja metsäojien määrä (Jutila ym. 1995).

Peratuissa puroissa taimentiheydet olivat merkitsevästi pienempiä kuin luonnontilaisissa, joten purouoman perkaus heikentää yksittäisistä toimenpiteistä selvimmin taimenkantojen elinolosuhteita. Koko aineiston perusteella taimentiheyksien vaihtelun kannalta neljää tärkeintä tekijää olivat veden pH ja virtasyvänteiden (poolien) ja vedenpinnan yläpuolelle ulottuvien rantaräystäiden lukumäärä, jotka vaikuttivat taimentiheyksiin lisävästi sekä yläpuolisen valuma-alueen ojitus, mikä vaikutti taimenmäärää vähentävästi. Peratuilla koealoilla taimentiheyksien vaihtelua ei voitu selittää kovinkaan tarkasti.

Ympäristötekijöiden vaikutusta alle yksivuotiaiden taimenten esiintymiseen tutkittiin istutuskokeilla, joita tehtiin yhteensä 11 purossa. Poikastiheyden vaihtelu voitiin selittää varsin pitkälle positiivisesti vaikuttavien poolien

lukumäärän, räystäiden ja halkaisijaltaan yli kahden sentin kivikon esiintymisen perusteella.

Tulosten perusteella taimenen esiintyminen ja poikastuotanto riippuvat erittäin voimakkaasti purouoman rakenteellisesta monimuotoisuudesta, kuten vedensyvyyden vaihtelusta sekä rantalippojen ja pohjakivikoiden esiintymisestä. Purouomien perkaus puolestaan vaikuttaa näihin tekijöihin selvimmin, joten purojen perkauksista metsäojitusten yhteydessä tulisikin luopua kokonaan. Muista metsätalouden toimista ainakin ojituksilla on taimenen kannalta selvästi haitallisia vaikutuksia.

Taimenen mädin haudontatulosta tutkittiin panemalla hedelmöitettyä mätiä syksyllä hautoutumaan purojen pohjalle haudontarasioissa. Paras haudontatulos saatiin luonnontilaisesta ja lähdepitoisesta Lohiluomasta. Huonoin tulos saatiin erittäin hiekottuneesta Hukanluomassa, jossa mäti tuhoutui kokonaan. Ojituksen aiheuttamasta eroosiosta johtuva hiekottuminen olikin suurin mädin kuolevuutta lisäävä yksittäinen tekijä.

Lievää rehevöitymistä metsäjärvisä

Metsätalouden vaikutuksia pieniin järviin, niiden veden laatuun ja eliöstöön, on tutkittu neljällä metsähallinnon Kuhmon hoitoalueella sijaitsevalla järvellä vuodesta 1991 alkaen (Nyberg ym. 1993, Rask ym. 1995). Tutkimusta tehdään Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen ja Kainuun ympäristökeskuksen yhteistyönä. Tavoitteena on selvittää luonnontilaisissa järvisä (3-10 ha) tapahtuvia muutoksia sen jälkeen kun osalla (15-33 %) niiden valuma-alueesta on tehty avohakkuita ja maanmuokkauksia.

Veden laadussa havaittiin valuma-alueen käsittelyn vaikutuksia kaikilla kolmella koejärvellä. Kemiallinen hapenkulutus ja veden väri suurenivat, mikä viittaa lisääntyneeseen orgaaniseen kuormitukseen. Lisäksi suurenemista havaittiin kokonaisfosforin, raudan ja kaliumin pitoisuuksissa, mikä viittaa epäorgaanisen kuormituksen nousuun. Muutokset verrattuna Evolla 1980-luvun alussa tehtyihin tutkimuksiin (Rask ym. 1993) eivät olleet kovin voimakkaita, mihin osaltaan saattoi vaikuttaa rannoille jätetty 20-50 metrin levyinen suojakaista.

Päällysväestön määrä suurentui vuodesta 1991 vuoteen 1993 tutkimusjärvisä, kun kehitys vertailujärvisä oli päinvastaiseen suuntaan. Yhden järven kasviplanktonissa havaittiin ravinteisuutta suosivien levälajien runsastumista ja syksyllä 1993 lievä sinileväkukinta. Sekä veden että päällysväestön klorofyllipitoisuudet suurenivat. Kahdessa järvisä äyriäisplanktonin kummankin pääryhmän, vesikirppujen ja hankajalkaisäyriäisten, tiheydet suurentuivat. Pohjaeläintiheydet suurenivat kaikissa koejärvisä vuosina 1991-1994. Tämä johtui pienten surviaissääsken toukkien runsastumisesta.

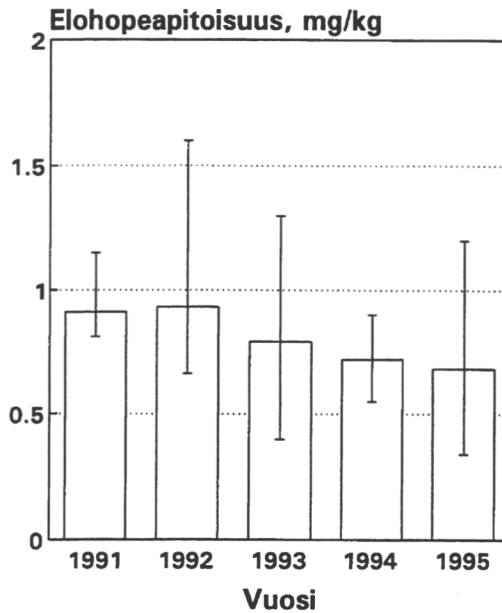
Vähän vaikutuksia pienten järvien kalastoon

Kalaston tutkimusjärvissä muodostavat ahven ja hauki. Yhdessä järvessä on näiden lisäksi siikaa istutettuna. Koekalastussaalessa, kalakantojen rakenteessa tai kalojen kasvussa ei ole toistaiseksi tapahtunut metsätaloustoimien vaikutuksiin yhdistettäviä muutoksia. Äyriäisplanktonin runsastuminen kahdessa koejärvessä heijastui kuitenkin selvästi sen suurempana osuutena ahventen ravinnossa.

Tässä havaittua metsätalouden kalastovaikutusten vähäisyyttä ei pidä yleistää, sillä ahven ja hauki ovat meikäläisistä kalalajeista parhaiten sopeutuneita ympäristön muutoksiin. Samaan "yleiskalojen" ryhmään voidaan empimättä lisätä särki. Ne lisääntyvät ja voivat muutoinkin elää matalissa vesissä, joten muutokset syvemmillä, esimerkiksi alusveden happikato, eivät rajoita niiden elinmahdollisuuksia. Suomessa on järviä, suuriakin, kuten esimerkiksi Lentua ja Änättijärvi Kuhmossa, missä metsätaloudesta johtuva ravinnekuormitus on vuosien mittaan aiheuttanut rehevöitymistä niin, että niiden alusveden happipitoisuus on heikentynyt (Sandman ym. 1994). Kun tällainen kehitys etenee riittävän pitkälle, viileää alusvettä vaativien lajien kuten mateen tai muikun elinmahdollisuudet huonontuvat. Myös kutupohjien liettyminen lisääntyneen kiintoainekuormituksen seurauksena vaikuttaa samaan suuntaan.

Tämän tutkimuksen järvien kaloista mitattiin varsin korkeita elohopeapitoisuuksia, suurimmillaan 1,6 mg/kg ahvenesta ja yli 3 mg/kg hauesta. Etukäteen ajateltiin, että metsätaloustoimet lisääisivät elohopean huuhtoutumista valuma-alueelta ja aiheuttaisivat pitoisuuksien nousua kaloissa. Kalojen keskimääräisissä elohopeapitoisuuksissa havaittiin kuitenkin lievästi laskevaa suuntausta (kuva 2). Todennäköinen syy tähän lienee veden laadun muutosten vaikutus elohopean dynamiikkaan, mikä on vähentänyt elohopean rikastumista järven tuotantoketjussa.

Tähän mennessä havaituissa metsätalouden aiheuttamissa muutoksissa ei juuri ole ollut sellaisia, joista olisi haittaa järvien kalataloudelliselle käytölle, joka tutkimusjärvien kaltaisilla pikkujärvillä on poikkeuksetta virkistyskalastusta. Päälyslävästön kasvun suureneminen oli niin vähäistä, ettei se aiheuttaisi mainittavampaa pyydysten limoittumista. Elohopeapitoisuuksissa havaittu laskeva suuntaus pikemminkin parantaisi kuin huonontaisi kalojen käyttökelpoisuutta.



Kuva 2. Saukkolammen 15-20 cm:n mittaisten ahventen keskimääräinen elohopeapitoisuus (mg/kg tuorepainosta) vuosina 1991-1995. Janat pylväiden päässä kuvaavat vaihteluväliä.

Uomien perkaus ja metsäojitus vahingoittavat rapukantoja

Pienet latvavesistöt ovat monin paikoin viimeisiä hyviä rapuvesiä. Rapu on hyvin herkkä ympäristönsä sekä fyysisille että kemiallisille muutoksille. Hitaana pohjaeläimenä rapu ei kykene merkittävästi väistämään lyhytaikaisiakaan haitallisia muutoksia ympäristössään. Ravun elämänsäkierto on pitkä, joten vahingoittuneet kannat elpyvät hitaasti.

Metsäojitusten, samoin kuin muidenkin ojitusten, yhteydessä ojitusalueen alapuoliset lasku-uomat perataan yleensä johtamaan vettä mahdollisimman nopeasti. Jos tällainen lasku-uoma on luonnollinen joki tai puro, se kaivetaan usein mahdollisimman suoraksi kanavaksi, josta kaikki virtausesteet poistetaan. Tutkimushankkeessa koeravustettiin puro, jonka yläosa oli edelleen luonnontilainen ja alaosa oli perattu kolmekymmentä vuotta aikaisemmin, 1960-luvun alussa pelto-ojituksen tarpeisiin. Luonnontilaisessa osassa oli edelleen hyvä rapukanta, mutta peratulta osuudelta löytyi vain satunnaisia yksilöitä.

Tutkimuskohteen kaltaisessa pienessä purossa perkauksesta todettiin aiheutuvan seuraavaa: ruoppauksen ja perkauksen välittömänä seurauksena rapukanta häviää ja rapuille soveltuva pohjan pinta-ala pienenee kun puron luonnolliset polvet ja poukammat oiotaan. Samalla rapujen suojapaikat vähenevät kun kivet, juurakot ja kasvituppaat raivataan pois. Uoman keskimääräinen vedenkorkeus pienenee kun pohja tasoitetaan yhteen tasoon. Tämän seurauksena rapujen alivirtaaman aikaisina turvapaikkoina toimivat syvänteet häviävät. Virtaamavaihtelut suurenevät ja nopeutuvat ja lisäävät

paljaaksi kaivettujen penkereiden kulumista. Paljaista penkereistä huuhtoutuva kiintoaine liettää pohjia; rapujen suojakolot tukkeutuvat ja syönnösalueet liettyvät kaivualueella ja sen alapuolisilla uoman osilla.

Korkean veden aikaisen kiintoaineiden kulkeutumisen havaittiin olevan toinen ojituksista aiheutuva, rapujen menestymistä haittaava fysikaalinen ympäristön muutos. Tämä osoitettiin sekä koeravustuksin että sumputuskokein Isojoessa ja siihen laskevassa Pajuluomassa. Mittavista istutuksista huolimatta Isojoen keskijuoksulle ei ole onnistuttu palauttamaan rapukantaa. Sumputuskokeessa koesumput täyttyivät virran kuljettamalla hiekalla ja hiedalla kevättulvan aikana sekä Pajuluomassa että Isojoen pääuomassa Pajuluoman liittymäkohdan alapuolella. Samalla tavoin hautautuisivat myös luonnollisissa suojakoloissa kylmässä vedessä hiljaiseloa viettävät ravut. Sumpuissa rapujen mäti ei näyttänyt vahingoittuneelta, kun sumput rapuineen kaivettiin esille. Mädistä ei kuitenkaan kuoriutunut eläviä poikasasia.

Laboratorioaltistuksissa selvitettiin alustavasti rauta- ja humuspitoisuuden suurenemisen vaikutuksia rapujen hapenottokykyyn. Suurentuneen rautapitoisuuden havaittiin vähentävän rapujen hapenkulutusta happamassa vedessä. Jos vedessä oli runsaasti humusta, raudan hapenkulutusta vähentävä vaikutus jäi pienemmäksi.

Rauta- ja alumiinipitoisuuden suurentuminen heikentää harjuksen elinmahdollisuuksia humuksisessakin vedessä

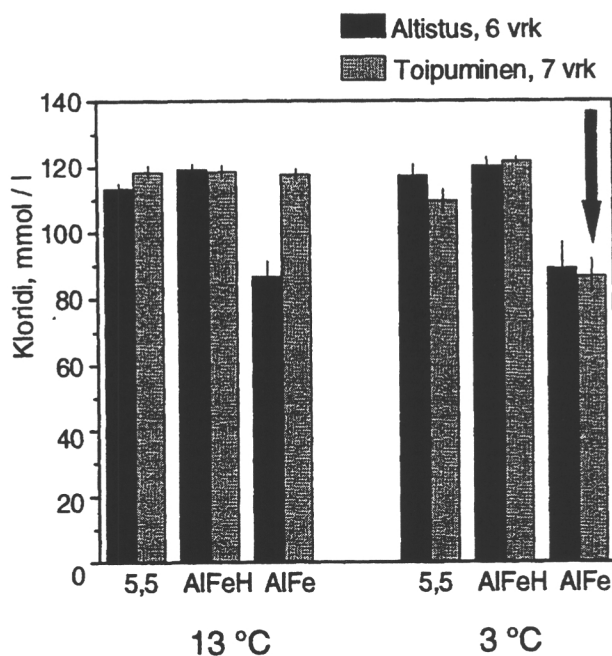
Raudan ja alumiinin vaikutuksia sekä veden humuspitoisuuden kasvun ja happamuuden merkitystä niiden aiheuttamiin vaikutuksiin tutkittiin laboratoriossa harjuksen ja taimenen ruskuaispussipoikasilla (Vuorinen ym. 1995). Lisäksi kesänvanhoilla taimenen (Vuorinen ym. 1993, Peuranen ym. 1994) ja harjuksen poikasilla tutkittiin vaikutuksia kiduksiin. Koska esimerkiksi jokivesissä vedenlaatumuutokset voivat olla melko lyhytaikaisiakin, testattiin yksikesäisillä harjuksilla toipumista lyhytaikaisesta altistuksesta. Tämä koe tehtiin sekä lämpimässä että kylmässä vedessä lämpötilan vaikutuksen selvittämiseksi. Harjuksen ruskuaispussipoikasilla kokeita tehtiin keinotekoisien vesien lisäksi Isojoen sivupuroista noudetuilla vesillä. Turvetuotantovesien haitallisuutta testattiin sekä sinällään että sekoittamalla niitä happaman, alumiinia sisältävän veden ja puroveden kanssa. Näillä testeillä pyrittiin simuloimaan tilannetta, jossa turvetuotantovesiä valuu selkeytysaltaasta keväällä puroon, johon samalla valuu happamia alumiinipitoisia sulamisvesiä.

Kokeissa humuksen lisääminen veteen lievensi selvästi alumiinin ja raudan myrkyllisyyttä taimenelle ja harjukselle. Kuitenkin vielä pH:ssa 6 humustakin sisältävissä testivesissä, joiden väriluku vastasi luonnonvesien värilukua, raudalla ja alumiinilla oli myrkyvaikutuksia harjuksen ruskuaispussipoikasiin ja kesänvanhojen taimenten ja harjusten hapenkulutukseen. Se, että humus ei kuitenkaan kokonaan poista alumiinin ja raudan myrkyllisyyttä näkyi myös siinä, että harjuksen ruskuaispussipoikasten ionitasapaino häiriintyi, liikkumisaktiivisuus väheni ja niitä jopa kuoli altistettaessa runsaasti alumiinia

ja rautaa sekä humusta sisältäville Isojoen sivupurojen vesille. Nämä luonnonvedet eivät olleet edes kovin happamia; happamimman veden pH-arvo oli hieman alle kuuden. Myrkyllisimmässä purovedessä oli suureen alumiini- ja melko suureen rautapitoisuuteen nähden suhteellisen pieni väriluku, eli humuspitoisuus ei ollut kovin suuri. Luonnonvesissä voi olla alumiinin ja raudan lisäksi mangaania kaloille haitallisessa määrin. Ruskuaispussipoikasista taimenet näyttivät uintiaktiivisuuden ja kuolleisuuden perusteella kestävästi happamuutta ja alumiinia paremmin kuin harjukset; taimen kesti - alumiinipitoisuudesta riippuen - vajaata puolta pH-yksikköä happamampaa vettä. Kesänvanhoina sen sijaan harjukset vaikuttivat olevan lyhytaikaisessa testissä kestävämpiä kuin taimenet.

Koska metsätaloustoimialueilta tulevat päästöt voivat olla myös lyhytaikaisia huippupäästöjä, kalojen selviytymisen kannalta on tärkeää miten niiden kidukset toipuvat metallien aiheuttamista vaurioista. Tätä selvitettiin altistamalla kesänvanhoja harjuksia kuuden vuorokauden ajan vedessä, jossa oli rautaa 1 mg ja alumiinia 0,1 mg litrassa ja veteen joko oli tai ei ollut lisätty humusta. Veden pH oli 5,5. Altistuksen jälkeen harjusten annettiin palautua seitsemän vuorokauden ajan puhtaassa vedessä, jonka pH oli noin 7. Vaikka harjuksia kuoli rauta- ja alumiinialtistuksessa +13 -asteisessa, mutta ei +3 -asteisessa vedessä, kylmyys ei sinänsä antanut suojaa metallien myrkyllisyyttä vastaan. Pienempi kuolleisuus kylmässä vedessä johtui todennäköisimmin vain aineenvaihdunnan hidastumisesta ja pienentyneestä hapentarpeesta. Aineenvaihdunnan hidastumisesta kylmässä saattoi kuitenkin johtua se, etteivät kidusvauriot korjautuneet puhtaaseen veteen siirtämisestä huolimatta. Kidusten vaurioituminen johti samalla ionisäätelyn häiriytymiseen (kuva 3). Kidusepiteelin kyvyttömyys palautua metallialtistuksesta kylmässä vedessä voikin olla kohtalokasta kaloille esimerkiksi keväällä, jolloin vedet vielä ovat kylmiä. Kylmyys lisäksi hidastaa myrkyllisen ferroraudan hapettumista ferrimuotoon.

Tehdyissä kokeissa osoittautui, että alumiinin lisäksi myös rauta - suurehkoina, mutta kuitenkin luonnossa esiintyvinä pitoisuuksina - voi olla myrkyllistä sekä taimenille että harjuksille ja että veden happamuuden kasvaessa näiden metallien myrkyvaikutus kasvaa. Jo lievästi happamassa vedessä kummankin metallin pitoisuuden kasvu lisää veden haitallisuutta kaloille. Kalat eivät kykene kylmässä vedessä viikossakaan toipumaan metallien aiheuttamista kidusvaurioista. Humus selvästi vähentää raudan ja/tai alumiinin myrkyllisyyttä, mutta ei täysin poista sitä. Metsäojitus- ja turvetuotantoalueiden vesillä voi olla kaloille myrkyllisiä vaikutuksia etenkin kevään sulamisvesien ja syysateiden aikana. Ruskuaispussipoikasista altistamalla joidenkin metsätalous- ja turvetuotantoalueiden vaikutuspiirissä olevien luonnonvesien todettiin aiheuttavan haittaa kalojen elintoiminnoille ja saattavan olla lyhyenäkin altistusajana jopa tappavia.



Kuva 3. Harjuksen yksikesäisten poikasten ionisäätely häiriintyi veriplasman kloridipitoisuuden perusteella arvioituna, kun kaloja altistettiin raudalle ja alumiinille ("AlFe"). Ionisäätelyn häiriintyminen johtui kidusten vaurioitumisesta. Humuksen lisääminen veteen sen sijaan esti tässä kokeessa (rautaa 1 mg/l ja alumiinia 0,1 mg/l) kiusvaurioiden syntymisen ja ionisäätelyn häiriintymisen ("AlFeH"). Lämpimässä (+13°C) vedessä pidettyjen kalojen kidukset ja samalla ionisäätely palautuivat, kun kalat siirrettiin viikoksi puhtaaseen, neutraaliin veteen. Kylmässä (+3°C) vedessä kalat eivät kuitenkaan toipuneet: kiusvauriot olivat edelleen selviä puhtaaseen veteen siirtämisestä huolimatta eikä plasman kloridipitoisuus palautunut ennalleen (nuoli).

Niukasti tietoa metsätalouden vaikutuksista vapaa-ajankalastukseen ja kalanviljelyyn

Tutkimuksessa pyrittiin arvioimaan, miten yleisesti metsätaloustoimenpiteet ja nimenomaan ojitukset koetaan vapaa-ajankalastajien keskuudessa kalavesien pilaajana verrattuna muihin vesiympäristössä muutoksia aiheuttaviin tekijöihin. Aineisto kerättiin postikyselyllä RKTL:n valtakunnallisen vapaa-ajankalastuskyselyn yhteydessä (Lappalainen & Hildén 1993). Noin kolme neljäsosaa kalastaneista ilmoitti pääasialliseksi kalastusvesistöksen sisävedet, eli järvet tai virtaavat vedet. Metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksille herkimmit vesistötyypit eli pienehköt, alle 10 km² metsäjärvet sekä virtaavat vedet olivat tulosten perusteella pääasiallinen kalastusvesistö runsaalle neljännekselle vapaa-ajan kalastajista. Vapaa-ajan kalastajien kokonaismäärän ollessa noin kaksi miljoonaa tarkoittaisi osuus lukumääräisesti noin puolta miljoonaa henkilöä.

Kalanviljelyn osalta tarkoituksena oli selvittää, kuinka yleisesti metsätalouden toimenpiteiden vaikutukset ja muut vesien tilaa heikentävät tekijät haittaavat sisävesialueiden kalanviljelyä. Tiedot kalan- ja ravunviljelijöiltä kerättiin postikyselyllä ja puhelinhaastatteluilla (Tammi & Lappalainen 1993).

Ojitusten aiheuttamat haitat havaittu yleisesti

Noin 8% vapaa-ajankalastajista piti metsä- tai suo-ojituksia huomattavana pääasiallista kalastusvesistöään pilanneena tekijänä (taulukko 1). Ojituksia pidettiin vapaa-ajankalastajien keskuudessa yhtä yleisenä vesistöhaitan aiheuttajana kuin vesien säännöstelyä ja rakentamista tai teollisuuden aiheuttamaa kuormitusta. Vain maatalous katsottiin yleisemmäksi haitan aiheuttajaksi. Maatalouden tiedetäänkin olevan selvästi suurin yksittäinen vesistöjen ravinnekuormittaja Suomessa. Noin 2% vapaa-ajankalastajista katsoi, että ojitukset olivat ainoa heidän omaa kalastusvesistöään huomattavasti pilannut tekijä.

Taulukko 1. Tavallisimpien vesistöjä muuttavien tekijöiden yleisyys vastaajien pääasiallista kalastusvesistöä "huomattavasti" pilanneena tekijänä. Luvut perustuvat vapaa-ajankalastajien omiin havaintoihin ja käsityksiin. n=3605.

	Merialueet	Järvet	Virtaavat vedet	Yhteensä
Metsäteollisuus	9%	6%	6%	7%
Muu teollisuus	13	5	6	7
Asutuskeskukset	10	4	7	6
Maatalous	10	14	21	14
Turkistarhaus	2	0	0	1
Kalankasvatus	7	2	2	3
Happamoituminen	6	5	4	5
Turvetuotanto	1	3	4	2
Metsä- ja suo-ojitukset	4	9	16	8
Säännöstely/jokirakent.	5	8	20	9
Jokien perkaukset	3	2	7	3
Radioakt. laskeuma	2	3	3	3
Vesiliikenne/uitto	2	2	5	2
Muu syy	3	1	1	1

Vapaa-ajankalastajien haittakäsitysten ja -havaintojen todenperäisyyttä tukee se, että selvästi yli puolet niistä, jotka pitivät ojituksia huomattavana

haitanaiheuttajana, ilmoittivat havainneensa ilmiöitä, jotka yleensä liittyvät ojitusten aiheuttamiin vesistömuutoksiin. Seisovien pyydysten nopea likaantuminen ja havainnot veden värin tummumisesta olivat selvästi keskimääräistä yleisempiä nimenomaan vesistöissä, joiden katsottiin olevan ojitusten muuttamia tai pilaamia. Havainnot ojitustoiminnan haitoista olivat myös yleisimpiä niissä osissa maata, joissa ojitustoiminta on ollut laajinta. Yleisimmillään ne olivat Oulun läänin alueella.

Humus ja kiintoaine yleisimmät riesat kalanviljelylaitoksilla

Kyselyyn vastanneista laitosviljelijöistä 45:llä eli 23 %:lla oli esiintynyt viime vuosina ongelmia käyttöveden laadussa. Tyypillisimmin ongelmia esiintyi pienvesistä (purot, joet ja pienet järvet) käyttöveden ottavilla laitoksilla. Yleisin ongelma laitoksilla oli veden korkea humus- tai kiintoainepitoisuus, jotka haittasivat toimintaa 25 laitoksella eli 13 %:lla vastanneista. Metsäojituksia pidettiin merkittävimpana vesistön humus- ja kiintoainepitoisuuden kohottajana, mutta muutamassa tapauksessa myös turvetuotannon ja vesien säännöstelyn katsottiin aiheuttavan humus- ja kiintoaineongelmia. Useimmiten vesistön kiintoainepitoisuuden merkittävän nousun todettiin tapahtuneen valuma-alueella suoritettujen uudis- tai kunnostusojitusten jälkeen ja toimenpiteitä seuraavina vuosina ojitusten aiheuttamat ongelmat lievenivät. Myös tuloveden liian alhainen pH samoin kuin maatalouden aiheuttama ravinnekuormitus ja siitä johtuva vesien rehevöityminen olivat suhteellisen yleinen haitta. Useimmiten vedenlaatuongelmat esiintyivät pahimmillaan kevättulvien aikaan, mutta myös kesällä ja syksyllä runsaiden sateiden aiheuttaessa valunnan voimakasta lisääntymistä.

Havaitut vedenlaatuongelmat liittyivät 3/4:lla laitoksista poikaskasvatukseen tai mädinhaudontaan ja lopuilla ruokakalan kasvatukseen. Veden korkean humus- ja kiintoainepitoisuuden sekä happamuuden todettiin lisäävän mäti- ja poikaskuolleisuutta. Suuren kiintoainepitoisuuden takia oli kahdella laitoksella jouduttu siirtymään mädin saavihaudonnasta asettihaudontaan ja kolmella laitoksella oli kokonaan luovuttu mädinhaudonnasta. Yleisimmät menetelmät viljelylaitosten käyttöveden laadun parantamiseksi olivat veden suodatus ja kalkitseminen sekä erällä laitoksilla myös ilmastus. Kokonaiskustannukset käyttöveden laadun parantamiseksi eivät olleet suuria, mutta vedenlaatuongelmat koettiin useimmiten merkittävänä haittana viljelytoiminnalle.

Metsätalouden kala- ja raputaloushaittoja voidaan välttää

Metsätalouden pienvesistöille ja niiden eliöstölle aiheuttamia haittoja voidaan välttää noudattamalla vesistöjen läheisyydessä aikaisempaa pehmeämpiä metsänkäsittelytapoja uusimpien suositusten mukaisesti. Suojavyöhykkeiden jättäminen käsittelyalueen ja rannan väliin on osoittautunut tehokkaaksi

tavaksi sekä kalojen elinympäristöä huonontavan kiintoainekuormituksen että haitallisten veden laadun muutosten estämisessä. Ojitusten yhteydessä kuormitusta vesistöihin voidaan välttää esimerkiksi laskeutusaltaiden ja pintavalutuskenttien avulla. Isojoella tehtyjen tutkimusten perusteella vaikuttaa siltä, että purouomien perkauksista sekä eroosioherkillä mailla tehtävistä metsäojituksista tulisi luopua kokonaan. On toivottavaa, että asenne ja käytäntö tässä suhteessa muuttuisivat mahdollisimman nopeasti, sillä luonnontilaiset pienvedet, jotka ovat osa Suomen luonnon monimuotoisuutta, ovat nykyisin sangen harvinaisia etenkin Etelä- ja Keski-Suomessa.

Kirjallisuus

- Jutila, E., Ahvonen, A., Laamanen, M. & Kiuru, M. 1995. Metsätalouden toimenpiteiden vaikutukset virtaavien vesien kaloihin ja kalatalouteen. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.): Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 2. ss. 281-296.
- Laamanen, M., Ahvonen, A. ja Jutila, E. 1994. Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus Isojoen vesistön kalastukseen ja tilaan - tiedustelututkimus. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar 86. 49 s. + liite.
- Lappalainen, A. & Hildén, M. 1993. Virkistyskalastajien kokemat metsä- ja suo-ojituksen vesistöhaitat. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar 69. ss. 103-121.
- Lappalainen, A. & Rask, M. 1993 (toim.). Metsätalouden vaikutukset kaloihin ja kalatalouteen. Osahankkeiden raportit vuosien 1990-1992 tuloksista. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar 69. 136 s.
- Nyberg, K., Markkanen, S.-L., Ojala, A., Rask, M. & Somppi, K. 1993. Eräiden Kuhmon järvien limnologia ennen valuma-alueiden metsätaloudellisia käsittelyjä. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar 69. ss. 35-60.
- 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*). *Annales Zoologici Fennici* 31. ss. 389-396.
- Rask, M., Arvola, L. & Salonen, K. 1993. Effects of catchment deforestation and burning on the limnology of a small forest lake in southern Finland. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25. ss. 525-528.
- Rask, M., Markkanen, S.-L., Nyberg, K., Ojala, A., Tallberg, P., Makkonen, E. & Liimatainen, H.-M. 1995. Metsätalouden limnologiset vaikutukset: havaintoja Kuhmon metsäjärviltä vuosina 1991-1994. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.): Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 2. ss. 241-262.
- Sandman, O., Huttunen, P. & Huttunen, P. 1994. Metsätalouden pitkäaikaiset vaikutukset suurissa järvissä, Kuhmon Änättijärven ja Lentuan sedimenttitutkimus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 179. ss. 1-56.
- Saukkonen, S. & Kenttämies, K. 1993 (toim.). Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta. METVE-projektin väliraportti. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 455. 160 s.
- Saukkonen, S. & Kenttämies, K. 1995. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 2. 420 s.
- Tammi, J. & Lappalainen, A. 1993. Hajakuormituksen vaikutukset sisävesialueiden kalan- ja ravunviljelylaitosten käyttöveden laatuun. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos. Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar 69. ss. 123-136.
- Vuorinen, P. J., Peuranen, S., Vuorinen, M. & Hollender, A. 1993: Raudan, humuksen ja happamuuden vaikutus taimenen (*Salmo trutta*) kiduksiin ja elintoihintoihin. Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Kalatutkimuksia-Fiskundersökningar 69: 13-31.

Vuorinen, P. J., Vuorinen, M., Peuranen, S. & Tigerstedt, C. 1995. Veden rauta-, alumiini- ja humuspitoisuuden sekä happamuuden vaikutukset harjukseen ja taimeneen laboratorioskokeissa. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.): Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen Ympäristö 2. ss. 297-311

METSÄTALOUSTOIMENPITEIDEN AIHEUTTAMAT MUUTOKSET VESISTÖISSÄ JA NIIDEN MERKITYS

Kaarle Kenttämies

Suomen ympäristökeskus

Esityksessä pyritään tyypittelemään ja kuvailemaan esimerkein merkittävimmät metsätalouden vesistövaikutukset. Useimpien vaikutustapojen kvalitatiivinen kuvailu on jo varsin pitkällä, mutta kvantitatiivinen, ilmiön yleistettävyyden mahdollistava tutkimus on vasta alullaan. Vesistövaikutusten alueellistaminen tulee edellyttämään vaikutusten kuvailututkimuksista poikkeavien metodien käyttöön ottoa, mm. valtakunnallisten tietokantojen hyväksikäyttöä. Onnistumista ei voida pitää missään tapauksessa itsestään selvänä. Eräs keskeisin ongelma on tällä hetkellä metsätalouden toimenpiteiden selville saaminen kohtuullisin ponnistuksin ja kustannuksin.

Metsätalouden vesistövaikutukset voidaan ryhmitellä vaikutusmekanismien kannalta kahteen päätyyppiin:

1. Suorat, välittömästi vesistöjen käyttökelpoisuutta muuttavat vaikutukset
2. Epäsuorat, biotooppimuutoksien kautta ilmenevät vaikutukset.

Suoria vesistömuutoksia ovat esimerkiksi ojitusten aiheuttamat tulvat, irtouiton aiheuttamat kulkuongelmat ja pohjavesien vähentynyt käyttökelpoisuus hakkuun ja lannoitusten nitraattihuuhtoumien vuoksi.

Epäsuorat, biotooppimuutoksien seurauksina tapahtuneet muutokset ovat edellistä ryhmää monitahoisempia. Ekosysteemin muutoksen voi aiheuttaa fyysikaalinen tekijä, kuten lämpötilan nousu avohakkuun jälkeen, puron perkaus, vedenpinnan lasku tai ylivirtaamien kasvusta johtuva jokiuoman eroosio. Muutoksen pääsyynä on usein metsätalouden toimenpiteistä johtuva kuormituksen kasvu. Vesiekosysteemit ovat herkkiä kasvinravinteiden, orgaanisen hiilen, happamuuden ja eräiden metallien (Al, Fe) kuormitukselle. Vesiekosysteemien perustuotannon kasvu johtaa maamme ilmasto-oloissa helposti ylirehevoitymiseen ja järvien happitalouden häiriöihin, joka vähentää voimakkaasti myös vesistöjen ihmiskeskeistä käyttökelpoisuutta. Metsätalouden toimenpiteistä ojitus ja hakkuu ja hakkuisiin liittyvä maanmuokkaus lisäävät raudan huuhtoutumista. Tietyissä olosuhteissa rauta on varsin haitallista ainakin kaloille ja rauville.

Luonnon, siis myös vesiekosysteemien monimuotoisuuden säilyttäminen ja parantaminen on viime vuosina noussut maailmanlaajuisesti ympäristöpolitiikan erääksi keskeiseksi tavoitteeksi. Erityisesti vesistöjen latvaosissa metsätalous on suurin riski alkuperäiselle pienvesien ja kosteikkojen monimuotoisuudelle.

LUONNONHUUHTOUTUMAN EROTTAMINEN METSÄTALOU- DEN AIHEUTTAMASTA KUORMITUKSESTA

Pirkko Kortelainen, Suomen ympäristökeskus,
Sari Saukkonen, Päijänne - luontokeskus,
Leena Finér, Metsäntutkimuslaitos,
Tapani Sallantaus, Hämeen ympäristökeskus,
Michael Starr, Metsäntutkimuslaitos ja
Antti Isomäki, Metsäntutkimuslaitos

Maatalous ja vesien kuormitus -yhteistutkimusprojektissa, MAVERO, (Rekolainen ym. 1992) ja Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta - yhteistutkimusprojektissa, METVE, (Kenttämies ja Saukkonen 1996) arvioitiin maa- ja metsätalousmaalta Suomen vesistöihin tulevaa kokonaiskuormitusta. Kummassakaan näistä laajoista projekteista ei kuitenkaan pystytty arvioimaan luonnonhuuhtoutuman alueellista merkitystä Suomessa. Luonnonhuuhtoutuman suuruudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä ei ole olemassa alueellisesti hyödynnettävissä olevia arvioita myöskään muista maista.

Tämän vuonna 1996 käynnistyvän tutkimuksen tavoitteena on tarkentaa arvioita metsätalouden merkityksestä vesistökuormittajana Suomessa siten, että luonnonhuuhtoutuman osuus on erotettu metsätalouden aiheuttamasta lisäkuormituksesta. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää välittömästi tutkimus-, valvonta- ja katselmushankkeissa arvioitaessa eri metsätaloustoimenpiteiden merkitystä kuormitukseen.

Luonnonhuuhtoutuman alueellisen merkityksen kvantifiointi nousi keskeiseksi tutkimustarpeeksi METVE -projektin osahankkeessa, jossa laskettiin huuhtoutumia 21 normaalissa metsätalousoikeudessa olleelta valuma-alueelta (Saukkonen ja Kortelainen 1995). Alueilla tehdyt metsätaloustoimenpiteet (uudis- ja kunnostusojitus, lannoitus, hakkuut ja maanmuokkaus) selvitettiin 1960-luvulta lähtien. Eri toimenpiteitä tehtiin valuma-alueen eri osissa samanaikaisesti. Lisäksi samalla metsäkuviolla toimenpiteitä tehtiin peräkkäisinä vuosina, esimerkiksi päätehakkuuta seurasi usein maanmuokkaus ja ojitusta lannoitus. Eri vuosien välinen vaihtelu huuhtoutumisissa oli suurta useimmilla alueilla. Osa tästä vaihtelusta johtui eri vuosien välisestä luontaisesta hydrologisesta vaihtelusta, osa metsätalouden aiheuttamista muutoksista. Metsätalouden aiheuttamaa lisäkuormitusta ei kuitenkaan voida luotettavasti arvioida tällaisilta normaalissa metsätalousoikeudessa olevilta alueilta, koska luonnonhuuhtoutuman alueellista merkitystä ei tunneta.

Vuonna 1996 käynnistyvässä hankkeessa hyödynnetään monia METVE-projektin aikana kerättyjä aineistoja. Metsätalouden vesistövaikutustutkimuksissa on käytetty paljon nk. kalibrointi-vertailualuemenetelmää, jossa muutaman vuoden kalibroinnin jälkeen toisella tutkimusalueella tehdään metsätaloustoimenpiteitä ja toinen alue jää

koskemattomaksi. Tällaisia kalibrintikausilta ja vertailualueilta kerättyjä tuloksia on olemassa mm. seuraavista käynnissä olevista hankkeista "Metsätaloustoimenpiteiden vaikutukset purovesien laatuun, määrään ja hydrobiologiaan" (Ahtiainen ja Huttunen 1995), "Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus veden ja ravinteiden kiertoon metsäekosysteemeissä" (Finér ym. 1995), "Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vesistövaikutukset" (Alasaarela ym. 1995), "Metsänuudistamisen vaikutukset ainetaseisiin" (Saukkonen ja Seuna 1995).

Edellä mainitut alueet sijaitsevat kuitenkin maantieteellisesti melko rajoittuneella alueella, Kuhmon, Kurun, Kuusamon, Sotkamon, Taivalkosken ja Valtimon kunnissa. Täten niiden ei voida katsoa antavan edustavaa kuvaa luonnonhuuhtoutuman alueellisesta vaihtelusta eri osissa Suomea. Lisäksi talousmetsissä tehdyt arviot kalibrintijakson ja vertailualueen huuhtoutumista eivät aina vastaa todellista luonnonhuuhtoutumaa, sillä huuhtoutumiin voivat vaikuttaa alueilla aiemmin tehdyt metsätaloustoimenpiteet.

Tämän tutkimuksen uudet alueet valitaan kansallis- ja luonnonpuistoista ja muilta suojelualueilta. Näin varmistetaan, etteivät ihmisen toiminnat ilmaperäistä kuormitusta lukuunottamatta vaikuta huuhtoutumiin. Osa alueista pyritään perustamaan samoille alueille, joilla sijaitsevat Metsäntutkimuslaitoksen Luonnontilaisten metsien kehitys -hankkeen koelalat. Alueille ei rakenneta mittapatoja, vaan Suomen ympäristökeskuksen ja alueellisten ympäristökeskusten ylläpitämän valtakunnallisen hydrologisen seurannan nk. pienten valuma-alueiden aineiston avulla arvioidaan alueellisia virtaamia. Nämä pienet valuma-alueet ovat normaalissa maa- ja metsätalouskäytössä ja hydrologinen havainnointi on aloitettu osittain jo 1930-luvulla. Seurannassa on nykyään noin 40 aluetta, joten alueiden voidaan katsoa kattavan Suomen riittävän tarkasti.

Valuma-alueilta lähtevistä puroista otetaan vesinäytteitä vuosina 1997-1999. Näytteitä otetaan tiheästi kevään ja syksyn tulvahuippujen aikana, sillä alueellisesti ja ajallisesti kattavan metsätalousmaavalttaisten valuma-alueiden aineiston perusteella noin puolet fosforin ja typen vuosihuuhoutumasta tuli keväällä, vaikka kevätjakso edusti ajallisesti vain noin 10-15 % koko vuodesta (Saukkonen ja Kortelainen 1995). Huuhtoutumiseen vaikuttavien tärkeimpien tekijöiden selvittämiseksi valuma-alueilla tehdään mm. puuston ja maaperän kuvioittainen arviointi. Tarkempia puusto- ja maaperämittauksia tehdään kuvioille perustettavilta koelaloilta. Maaperä- ja kallioperäkartoja käytetään hyväksi alueiden luokitteluun. Alueiden palohistoria selvitetään dendrokronologisin menetelmin.

Kansallis- ja luonnonpuistoista ja muilta suojelualueilta valittujen uusien alueiden sekä kalibrintikausilta ja vertailualueilta olemassa olevien aineistojen avulla pyritään identifioimaan tärkeimmät alueelliseen huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät. Paikkatietojärjestelmän tietokantoja käytetään hyväksi arvioitaessa luonnonhuuhtoutuman alueellista merkitystä Suomessa.

Kirjallisuus

- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset purovesien laatuun ja kuormaan. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE -projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 33-50. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Alasaarela, E., Kubin, E., Seuna, P., Ylitolonen, A. & Väitalo, J. 1995. Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vesistövaikutukset: kalibrointiajan tuloksia. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 399-411. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- 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. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE -projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 383-398. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Kenttämies, K. & Saukkonen, S. 1996. Metsätalous ja vesistöt. Yhteistutkimusprojektin "Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta" (METVE) yhteenveto. MMM:n julkaisuja 4/1996. Helsinki.
- Rekolainen, S., Kauppi, L. & Turtola, E. 1992. Maatalous ja vesien tila. MAVEROn loppuraportti. Luonnonvarainjulkaisuja 15. Luonnonvarainneuvosto. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki 1992.
- Saukkonen, S. & Kortelainen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus ravinteiden ja orgaanisen hiilen huuhtoutumiseen. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE -projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 15-32. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.
- Saukkonen, S. & Seuna, P. 1995. Metsänuudistamisen vesistövaikutukset: kalibrointiajan tuloksia. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE - projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 413-416. Suomen ympäristökeskus. Helsinki.

METSÄTALOUDEN AIHEUTTAMAN KUORMITUKSEN MERKITYS YMPÄRISTÖVIRANOMAISEN NÄKÖKULMASTA

Marketta Ahtiainen

Pohjois-Karjalan ympäristökeskus

Vesiensuojelu ja sen lähiajan tavoitteet

Suomen ympäristökeskus on valmistellut ehdotuksen vesiensuojelun tavoiteohjelmaksi vuoteen 2005 (Suomen ympäristökeskus 1995). Siinä todetaan mm. että vesien tilaa heikentävät merkittävimmin yhdyskuntien, teollisuuden, maa- ja metsätalouden sekä liikenteen päästöt, maankäyttö ja vesivarojen käyttö.

Haitalliset muutokset näkyvät luonnontilaisten vesistöjen vähenemisenä, vesiluonnon monimuotoisuuden pienenemisenä, vesistöjen pilaantumisenä sekä elinympäristömme yleisenä heikkenemisenä.

Ympäristönsuojelussa on ollut toistaiseksi helpointa puuttua yksittäisiin toimijoihin ja suuriin päästölähteisiin. Vaikeampaa sen sijaan on ollut hallita hitaita useiden toimijoiden aiheuttamia vähittäisiä ja kasautuvia muutoksia, joista esimerkkinä ovat hajakuormituksen aiheuttama rehevöityminen, pohjavesien pilaantuminen ja monimuotoisuuden väheneminen.

Ympäristöministeriön ympäristöohjelmassa esitetään vesiensuojelun tavoitteeksi mm. seuraavaa: "Vesistöjen ekologinen toimintakyky palautetaan ja mahdollisuudet käyttää vesiä eri tarkoituksiin turvataan. Vesiluonnon suojelua tehostetaan luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseksi." (Ympäristöministeriö 1995). Vesiensuojelun tavoiteohjelman vuoteen 2005 tavoitteena on vähentää metsätalouden ympäristöohjelmassa esitetyin vesiensuojelu-menetelmin metsätalouden aiheuttamaa ravinnekuormitusta 50 % ja kiintoainekuormitusta 90 % vuoteen 2005 mennessä. Typpikuormitusta on vähennettävä erityisesti niillä alueilla, joilla typpi aiheuttaa rehevöitymistä. Vesiluonnonsuojelua on tehostettava vesien monimuotoisuuden säilyttämiseksi.

Ohjauskeinot

Ympäristönsuojelun tarvetta ja tuloksia arvioidaan ympäristön tilan kehityksen perusteella. Ympäristönsuojelun ympäristöoikeudellisia yleisperiaatteita ovat mm. varovaisuusperiaate, parhaan käyttökelpoisen tekniikan ja ympäristön kannalta parhaan käytännön periaate, likaaja maksaa periaate, monikäytön periaate, haitan minimoinnin periaate ja kestävä käytön periaate. Näitä periaatteita ei ole saatu toistaiseksi koskemaan maa- ja metsätalouden toimintoja.

Rehevöityminen on vesistöjen pahin ongelma. Vesiensuojelun tavoitteena on parantaa pahasti rehevöityneiden vesialueiden tilaa sekä vähentää lievästi rehevöityneiden vesialueiden laajuutta. Edelleen pyritään ehkäisemään toistaiseksi hyvälaatuisten, mutta kuormituksen uhkaamien vesialueiden tilan heikkeneminen. Uudet vesistöjä muuttavat ja pilaavat toiminnot pyritään ohjaamaan jo muuttuneille alueille siten, että luonnonarvoiltaan arvokkaimmat alueet säilyvät luonnontilaisina. Toimia tarvitaan erityisesti maa- ja metsätalouden ja kalankasvatuksen aiheuttamien haittojen vähentämiseen sekä teollisuuden ja kemikaalikuljetusten aiheuttamien ympäristöriskien torjuntaan sekä riskeihin varautumiseen.

Pohjavesien suojelun merkitys korostuu, koska pohjavesien likaantumiskit ovat lisääntyneet. Pohjavesiä uhkaavat maa- ja metsätalous, mutta myös ilman kautta leviävät epäpuhtaudet ennen muuta hapan laskeuma.

Vesi- ja rantaluonto on muuttunut rehevöitymisen ja happamoitumisen seurauksena. Nopeita ja kokonaisvaltaisia muutoksia ovat aiheuttaneet rakentaminen, ml. ojitaminen ja ruoppaus. Vesi- ja rantaluonnon säilyttämiseen on kiinnitetty huomiota vasta aivan viime vuosina.

Ohjauskeinojen kehittämisen tavoitteena on ympäristöongelmien tehokas ratkaiseminen ja uusien ongelmien välttäminen. Ympäristönsuojelussa tarvitaan useita eri ohjauskeinoja: hallinnollis-oikeudellisia, taloudellisia, informaatio-ohjausta, vapaaehtoisuutta sekä mukaan ovat tulleet myös markkinavoimat. Lainsäädännöllisiä tavoitteita ovat mm. yhtenäistää ja yksinkertaistaa lupa-, ilmoitus- ja valvontajärjestelmää, etsiä lainsäädännöllisiä keinoja, miten vaikutetaan eri tahojen yhdessä aiheuttamaan vesistöjen ja ympäristön pilaantumiseen ja muuttamiseen, pohjavesien suojelun tehostamiseen, ojitusten rinnastamiseen muuhun rakentamiseen.

Metsätalous uhkaa ennen muuta erityistä suojelua vaativien vesistöjen tilaa sekä pienvesiä. Metsätalouden ympäristöohjelmassa esitetyt keskeisimmät vesistökuormitusta vähentävät keinot ovat:

- metsätalous luopuu soiden uudisojituksista, kivennäismaiden aurauksista ja vesakkojen kemiallisesta lehvästökäsittelystä 1996 loppuun mennessä
- hakkuu-, maanmuokkaus-, kulutus-, pellonmetsitys ja metsälannoitusalueita rajattaessa vesistöjen varsiin ja lähteiden ympärille jätetään suojavyöhyke (ei estä aina hydrologisia muutoksia)
- metsäojituksen ja kunnostusojituksen vesistöhaittoja torjutaan oikealla, vesien- ja luonnonsuojelun huomioivalla kohdevalinnalla, valuma-aluekohtaisella ojituksen suunnittelulla, laatimalla hankekohtainen vesiensuojelusuunnitelma sekä soveltamalla tunnettuja liettymisen estotoimia
- ojitusvesiä ei johdeta lainkaan suoraan vesistöihin, lähteisiin tai puroihin, vaan suotautumisvyöhykkeelle tai ainakin riittävän tehokkaasti mitoitettuun laskeutusaltaaseen
- metsälannoituksia ei tehdä lainkaan luontaisesti metsänkasvatuskelvottomille soille ja helppoliukoiset lannoitteet tulee levittää vain sulan maan aikaan
- metsätalouden organisaatioiden tulee omalta osaltaan valvoa ajanmukaisten vesiensuojelutoimenpiteiden käyttöönottoa metsätaloudessa ja yhdessä

ympäristöviranomaisten kanssa pyrkiä minimoimaan haitalliset vesistö- ja pohjavesivaikutukset myös hanketasolla.

Monimuotoisuuden väheneminen

Komiteamietinnön (1992) mukaan puuntuottaminen on ylivoimaisesti tärkein luonnon monimuotoisuutta vähentävä tekijä metsissä ja soilla Suomessa. Puuntuottamisen vuoksi suurin osa pienvesistämme on tuhoutunut ja myös osa perinneympäristöistä on metsitetty.

Taloustmetsistä puuttuvat ylispuut, kuolevat ja lahoppuut, metsien epätasainen ikärakenne ja monilatuuskerroksisuus. Metsäojitus on ollut voimakkaimmin suoluontoa muuttava tekijä Suomessa. Koko maassa ojittamattomia korpia on enää hieman yli 30 % ja rämeitä 37 % suotyyppien kokonaisalasta (Metsäntutkimuslaitos 1995).

Pienvesiä - puroja, lampia, pieniä järviä ja lähteitä - on Suomessa ollut satojatuhansia alunperin. Suomen etelä- ja keski-osissa näistä on jäljellä enää muutamia prosentteja. (Hämäläinen 1987, Lammi 1993). Näiden tuhoaminen ei ole tapahtunut kuormitusta lisäämättä.

Metsätalouden kuormitus

Puuntuottaminen on Suomessa laaja-alaista ja voimaperäistä, yli 90 % metsistämme on talouskäytössä. Eri metsänkäsittelytoimet seuraavat toisiaan useiden vuosien ajan mm. uudishakkuun jälkeen. Vuotuinen hakkuuala on tällä hetkellä lähes 350 000 ha, maanmuokkaus 120 000 ha ja ojitus 110 000 ha sekä lannoitus vajaat 5 000 ha (Aarne 1994).

Metsätalouden aiheuttamaa kuormitusta arvioitaessa on muistettava, että hydrologiset vaikutukset voivat kestää 10-30 vuotta, samoin aikaisempien tehometsätalouden aikaisten toimien vaikutukset esim. lannoitusten eivät ole vielä välttämättä päättyneet. Orgaanisen aineen kuorma sekä kiintoaineen mukana kulkeutuneet ravinteet voivat aiheuttaa edelleen etenkin latvavesissä järvien ja lampien sisäistä kuormitusta ja rantojen liettymistä. Useat sedimenttitutkimustulokset viittaavat järvien tilamuutoksiin (Sandman ym. 1994).

Kuohattijärvi

Nurmeksessa sijaitseva Kuohattijärvi on melko kookas (lähes 11 km²) latvajärvi, joka on merkittävä moninaiskäytön kohde. Valuma-alueen metsätalous on viime vuosikymmenet ollut Kuohattijärven merkittävin kuormittaja. Pistekuormittajia ei ole ja muu hajakuormitus on hyvin vähäistä.

Metsätaloustoimia, kuten metsäojituksia ja -lannoituksia, hakkuita ja maanmuokkausta, on ajoittain tehty laajalla alalla koko Kuohattijärven valuma-alueen kokoon nähden. Siten luontaisesti karun Kuohattijärven

ravinnekuormitus on ajoittain kohonnut merkittävästi ja järvi on rehevöitynyt. Metsäojitukset ja rehevöitymisen myötä järven kiihtynyt perustuotanto (kasviplankton ja isot vesikasvit) ovat yhdessä lisänneet eloperäistä happea kuluttavaa ja ravinnepitoista ainesta järven pohjasedimentissä. Tällöin järven ravintoketjun ja pohjan muutosten seurauksena Kuohattijärven kalastossa on tapahtunut muutoksia. Esimerkiksi muikkukannan taantuminen voi ainakin osittain aiheutua kutualueiden liettymisestä.

Kuohattijärven pinta-ala on 10.79 km², tilavuus 62.6 milj. m³, suurin syvyys 18 m ja keskisyyvyys 5.8 m. Järven viipymä on 3.9 vuotta.

Pääosa metsätalouden kuormituksesta on peräisin soiden PK-lannoituksesta, syvämuokatuilta ts. auratuilta tai ojitus-mätästetyiltä, päätehakkualoilta sekä metsäojituksista. Metsätalouden ravinnekuormitus on ajoittain vaihdellut voimakkaasti valuma-alueella tehtyjen metsätaloustoimien laajuuden ja toimenpiteiden mukaan.

Vuonna 1995 kaikkien metsätaloustoimenpiteiden fosforikuorma Kuohattijärveen oli yhteensä 324 kg, joka oli 44 % järven fosforin kokonaiskuormasta (731 kg). Vuosina 1985-94 PK-lannoitusala oli 209 ha. Näiden lannoitusten sisältämä fosforimäärä oli 8100 kg, eli lannoitetulle hehtaarille 35-40 kg. Pääosa 173 ha lannoituksista toteutettiin vuosina 1988-89, jolloin levitettiin 6700 kg, josta huuhtoutui 1990-luvun alkuvuosille asti keskimäärin 300-400 kg fosforia vuodessa Kuohattijärveen. Tämä ilmeni Kuohattijärven ja siihen laskevien purojen poikkeuksellisen korkeina fosforipitoisuuksina vuosina 1988-89. Tällä hetkellä turvemaiden PK-lannoitusten fosforikuorma on noin 100 kg vuodessa. Tämä PK-lannoitusten fosforikuormituksen vähittäinen pieneneminen ilmenee tällä hetkellä Kuohattijärven ja siihen laskevien purojen veden jossain määrin tasaantuneina ja pienentyneinä fosforipitoisuuksina.

Vuosina 1985-94 Kuohattijärven valuma-alueella on tehty 125 ha alueella ojituksia ja avohakkuita. Hakatut alueet joko laikutettiin, äestettiin tai syvämuokattiin (ojitus-mätästys tai auraus) 173 ha. Näiden toimenpiteiden aiheuttamaa orgaanisen aineen kuormaa ei ole laskettu, mutta järvestä on vielä nytkin havaittavissa pohjan läheisessä 20-30 syvyydessä orgaanisen humuskerroksen muodostama matto laajoilla alueilla. Kevätalvella 1996 järven kutualueilla tehtiin mädinhaudontakokeita, joiden tulokset eivät ole vielä käytettävissä. Järven valuma-alueella tehtävät vesiensuojelutoimet aloitetaan lumien sulettua ja mahdolliset kutualueiden pohjan kunnostus- ja hoitotyöt haudontakokeiden valmistuttua. Avovesikauden alettua sedimentin tilaa selvitetään vielä kaikuluotauksin, jotta saadaan tarkempi kuva pohjasedimentin laadusta, määrästä ja liettyneiden alueiden sijainnista (Tossavainen 1991,1995).

Lopuksi

Metsätalouden ympäristötutkimukset antavat kuvan eri metsänkäsittelyjen aiheuttamasta kuormituksesta, mihin myös mallinuksilla haetaan vastausta. Hyvin tärkeää olisi perusteellisesti tutkia nykyisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen vaikutukset ja vaikutusten kesto erilaisiin vesi- ja

maaekosysteemeihin. Metsien monimuotoisuus- ja kuormituskysymyksiä on perusteltua käsitellä kokonaisvaltaisesti ja samanaikaisesti. Haittavaikutusten korjaamiseen tulisi myös panostaa.

Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim.) Metsätilastollinen vuosikirja 1993-94. Metsäntutkimuslaitos STV Maa- ja metsätalous 1994:7. 348 s.
- Hämäläinen, A. 1987. Mikkelin läänin pienvesistöjen tila. Ympäristöministeriön julkaisuja, sarja D 29.
- Lammi, A., 1993. Pienvesien luonnonarvot ja niiden määrittäminen. VYH:n monistesarja, nro 497.
- Sandman, O., Turkia, J. & Huttunen, P. 1994. Metsätalouden pitkäaikaiset vaikutukset suurissa järvissä, Kuhmon Änättijärven ja Lentuan sedimenttitutkimus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja- sarja A, 179: 59-79.
- Suomen ympäristökeskus 1995. Ehdotus vesiensuojelun tavoitteiksi vuoteen 2005. Suomen ympäristökeskus 28.12.1995. Moniste 172 s. Helsinki.
- Tossavainen, T. 1991. Metsälannoituksen ja metsäojituksen vaikutukset eräiden järvien fosforikuormitukseen sekä puroveden laatuun ja ainehuuhtoutumiin Itä-Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 310. 113 s.
- Tossavainen, T. 1995. Kuohattijärven vesiensuojelusuunnitelma (käsikirjoitus).
- Ympäristöministeriö 1995. Ympäristöohjelma vuoteen 2005. Toim. Nyroos, H. & Salonen, L. Helsinki, 144 s.

YMPÄRISTÖKUORMITUS OSANA METSÄSEKTORIN VIH- REÄTÄ YMPÄRISTÖTILINPITOA

Jukka Matero

Joensuun yliopisto

Tiivistelmä

Bruttokansantuotetta (BKT) käytetään yleisesti taloudellisen kehityksen mittana esimerkiksi eri maiden vertailuun. Koska BKT on pohjimmiltaan tuotantomitta, hyvinvoinnin mittaaminen sen avulla on hyvin ongelmallista. Hyvinvointitarkasteluissa päähuomio kiinnitetäänkin nettokansantuotteeseen, jossa bruttokansantuotteeseen lisäävästi vaikuttava pääoman kuluminen on vähennetty. Pääomavarannon kulumisenhan merkitsee pohjimmiltaan tulevien kulutusmahdollisuuksien vähenemistä. Varsinaisessa ympäristötilinpidossa myös ympäristökustannukset on pyritty sisällyttämään eksplisiittisesti kansantuotelaskelmiin.

Dasguptan ym. (1994) mukaan ympäristötilinpitomitan suureneminen pitäisi pystyä tulkitsemaan yhteiskunnallisen hyvinvoinnin lisäykseksi. Hultkrantzin (1992) mukaan ympäristötilinpitokaan ei nettokansantuotteeseen sisältyvien puutteiden takia sovellu suoranaiseksi hyvinvointimitaksi, pikemminkin taloudellisen kasvun kestävyuden analysointiin.

Hyvinvointiteoreettisesti johdonmukainen nettokansantuotemitta johdetaan yleensä optimaalisen kasvuteorian avulla (esimerkiksi Johansson 1993). Optimaalisen kasvun malleissa päätösongelmana on maksimoida yhteiskunnallisen hyvinvoinnin nykyarvo käyttäen rajoitteena erilaisia tuotannolle ja varantojen kehitykselle asetettuja ehtoja.

Johanssonin (1993) mallin mukaan tavanomaiseen nettokansantuotteeseen tulisi sisällyttää kotitalouksien saastepäästöistä kokemat suorat haitat sekä luonnonvaravarantojen ja niiden muutosten arvot. Erilaisten ympäristönsuojelukustannusten tulisi tilinpidossa olla negatiivisia. Myös palkkatulot pitäisi vähentää hyvinvoinnin nettomitasta. Palkan suuruus vastaa nimittäin marginaalitarkastelussa menetetyn vapaa-ajan arvoa. Mikäli vapaa-ajan arvo otetaan palkkakustannuksissa oikealla tavalla huomioon, voidaan nettokansantuotemittassa johdonmukaisesti tarkastella myös metsien virkistyskäytön arvoa.

Dasgupta ym. (1994) korostavat nettokansantuotemitan merkitystä nimenomaan pienten muutosten (hinnat eivät muutu) tarkastelussa. Hintojen muuttuessa hyvinvointimitan tulisi olla epälineaarinen eli siihen tulisi sisällyttää muutokset kuluttajan ja tuottajan ylijäämissä sekä muutokset tulojen hyvinvointipainoissa.

Varantomuutosten arvottamisessa tulisi käyttää hintoja, jotka heijastavat yhden varantoyksikön nykyisestä muutoksesta tulevaisuudessa seuraavien hyötyvaikutusten nykyarvoa. Esimerkiksi Hultkrantz (1992) ja Eliasson

(1994) arvottivat puustovarannon lisäyksen erikseen puutavaran ja puustoon sitoutuneen hiilen suhteen. Saastamoinen (1995) puolestaan arvotti puustovarannon muutoksen ainoastaan hiilinelun epäsuorana käyttöarvona. Näitä menettelyjä tarkempi tapa olisi yhdistää hiilitase ja puunkäyttö yhteen simulointimalliin ja laskea puuston nykyisestä lisäyksestä aiheutuva tulevien nettotulojen nykyarvon muutos, kun sekä puutavara että hiili on hinnoiteltu. Tällöin täytyy ottaa huomioon hiilen vapautuminen puutuotteista niiden hajotessa. Vaikutusten ajallisella ulottuvuudella ja korkokannan valinnalla on laskelmissa keskeinen merkitys.

Metsätalouden laskelmia kasvihuoneilmion kannalta on ilmeisesti syytä täydentää erityisesti turvemaiden käsittelyllä, jolla voi olla hyvinkin merkittäviä, tosin tällä hetkellä vielä huonosti tunnettuja vaikutuksia. Turpeen hiilivarastothan ovat Suomessakin huomattavasti suuremmat kuin esimerkiksi puustoon sitoutuneet.

Ympäristötilinpitoon sisältyvät ympäristöhaitta-arviot perustuvat yleensä haittojen lieventämiskustannuksiin. Kustannusten käyttö ympäristövarantojen muutosten arvottamisessa edellyttää, että on olemassa poliittisesti määritettyjä yksiselitteisiä tavoitetasoja tai kriittisiä arvoja ympäristövarannoille. Lisäksi näin määriteltyjen tavoitteiden tulisi riittävän tarkasti aproksimoida ympäristön laadun parantamisen tai ympäristövarannon lisäämisen hyötyjä.

Monimuotoisuuden suojelun kustannuksena voidaan käyttää tietyn tavoitepinta-alaosuuden suojelussa menetettyjen kantorahatulojen ja puunkorjuun palkkatulojen määrää (esimerkiksi Hultkrantz 1992). Lähtökohtana on tällöin ajatus, että osa nykyisistä puunmyyntituloista on saatu monimuotoisuuden vähenemisen (tai vähenemisriskin lisääntymisen) kustannuksella.

Vientituotteiden tuotannon ympäristökuormitus voidaan sisällyttää periaatteessa joko tuottaja- tai kuluttajamaan kansantuotelaskelmiin. Arjopalon (1994) mukaan johdonmukaisin tapa olisi määrittää ympäristökuormitus kotimaan omaan käyttöön tulevan tuotannon ja kotimaan kokonaiskulutuksen osuutena globaalista ympäristökuormituksesta. Tällöin pääosa Suomen puuntuotannon ympäristökuormituksesta tulisi sisällyttää puutuotteiden kuluttajamaiden kansantuotteisiin lisäkustannuksina. Suomen kansantuotetta korjattaisiin ainoastaan omaan käyttöön tulevan tuotannon osuuden mukaisesti.

Vastaavaan haittojen kohdentamiseen pyrkii myös ns. Rion sopimus, jonka mukaan valtiot määrittelevät itsenäisesti, millä tasolla biodiversiteettiä ylläpidetään (Salo 1994). Valtioilla on siis sopimuksen mukaan omistusoikeus oman maansa biodiversiteettivarantoon, jonka käytöstä (eli varannon pienenemisestä) se voi omistajana (tuottajamaana) periä korvauksen luonnonvarojen tai niistä johdettujen tuotteiden kuluttajamaalta. Yhtenäisen käytännön noudattaminen vienti- ja tuontihyödykkeiden osalta edellyttää tietenkin kansainvälisiä sopimuksia.

Ehkä merkittävimmät ongelmat ympäristötilinpidon kehittämisessä syntyvät siitä, että markkinattomien hyötyjen mukaanotosta voi aiheutua muutoksia kansantalouden tilinpidossa jo mukana olevien markkinahintaisten hyödykkeiden (esimerkiksi puu) hintoihin. Metsätaloudessa pelkästään hiilen sitomisen arvottaminen hiilipäästöjen yksikköverolla voisi johtaa merkittäviin

muutoksiin raakapuun ja puutuotteiden hinnoissa (Hoen 1993). Jos puun hinnan muutosta ei huomioida, kansantuotemitta saa virheellisen arvon.

Kansantuotelaskelmien korjaaminen osittain (esimerkiksi toimialakohtaisesti ainoastaan metsäsektorin osalta) ei välttämättä johda edes yhteiskunnallisen hyvinvointioptimin lähenemiseen. Jos esimerkiksi metsänkäsittelyn mahdollisesti aiheuttamat ympäristöhaitat sisällytetään kansantuotelaskelmaan, näin syntyvät lisäkustannukset voivat ohjata resursseja muille (puun korvikkeita käyttäville) toimialoille, joiden ympäristöhaitat voivat olla metsäsektoria suurempiakin.

Globaalissa tarkastelussa vastaava "korjausongelma" syntyy myös, mikäli kansantuotelaskelmia korjataan ainoastaan yksittäisissä maissa ja etenkin, mikäli ympäristöhaitat sisällytetään tuottajamaan tuotantokustannuksiin (Schallau & Goetzl 1992, Sedjo 1993). Mikäli kuluttajamaat kokevat muiden maiden tuotteet kyseisten maiden tuotteiden täydellisiksi substituuteiksi, muiden maiden tuotteiden kysyntä kasvaa. Globaalia hyvinvointia ajatellen myös näiden maiden tuotannon ympäristöhaittojen sisällyttäminen kansantuotelaskelmiin on tärkeää (Hultkrantz 1993).

Ympäristötilinpidon ohella metsien käsittelyn kestävyyttä voidaan tarkastella erilaisten indikaattorien avulla (esimerkiksi Arjopalo 1994, Maa- ja metsätalousministeriö 1995). Tietty hanke voi kuitenkin aiheuttaa samanaikaisesti joidenkin indikaattoriarvojen suurenemisen ja toisten indikaattoriarvojen pienenemisen. Tällöin ei voida yksiselitteisesti arvioida kyseisen hankkeen kestävyyttä ellei indikaattoreille ole määritetty niiden tärkeyttä kuvaavia painoarvoja. Arvottamisongelmaan törmätään nytkin.

Metsien hyötyjä koskevat ympäristötilinpitolaskelmat ovat selkeästi osoittaneet sen, että pelkästään puuntuotannon tuottamien hyötyjen tarkastelu kansantuotelaskelmissa antaa ilmiselvästi puutteellisen ja mahdollisesti virheellisenkin kuvan metsien merkityksestä yhteiskunnan hyvinvoinnille. Osa kaikista fundamentaaleimmista metsien inhimillisistä arvoista voi silti jäädä kokonaan taloudellisen paradigman ulkopuolelle (Peterson & Brown 1995).

Kirjallisuus

- Arjopalo, Outi. 1994. Ekologisesti kestävä kehityksen mittaaminen. Tilastokeskus. SVT. Ympäristö 1994:2. 51 s.
- Dasgupta, P., Kriström, B. & Mäler, K.-G. 1994. Current Issues in Resource Accounting. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsekonomi. Rapport 107: 1-50.
- Eliasson, P. 1994. Miljöjusterade nationalräkenskaper för den svenska skogen åren 1987 och 1991. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsekonomi. Rapport 108: 1-58.
- Hoen, H. F. 1993. Forestry and National Accounting - A Comment. Teoksessa: Linddal, M. & Naskali, A. (Eds.). Proceedings of the workshop Valuing biodiversity - on the social costs of and benefits from preserving endangered species and biodiversity of the boreal forests. Espoo, Finland, October 1992. Scandinavian Forest Economics 34: 136-146.
- Hultkrantz, L. 1992. National Account of Timber and Forest Environmental Resources in Sweden. Environmental and Resource Economics 2(3): 283-305.
- Hultkrantz, L. 1993. Naturvårdsavgift i skogsnöringen? Behov och syfte, alternativa avgiftmodeller, konsekvenser. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsekonomi. Rapport 101: 1-50.

- Johansson, P.-O. 1993. *Cost-Benefit Analysis of Environmental Change*. Cambridge.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 1995. Suomen kestävä metsätalouden kriteerit ja indikaattorit. Projektin väliraportti 20.12.1995. Maa- ja metsätalousministeriö. Metsäosasto. 31 s.
- Peterson, G. & Brown, T. 1995. Accounting for Nonmarket Values for Sustainable Ecosystem Management. Abstract of Invited Paper. IUFRO XX World Congress. 6-12 August 1995. Tampere, Finland.
- Saastamoinen, O. 1995. Kohti metsien kokonaisarvoa: teoreettinen kehikko ja kokeellisia laskelmia. Joensuun yliopisto. *Metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja* 36: 1-39.
- Salo, J. 1994. Biodiversiteetisopimus. *Luonnon Tutkija* 98(5): 168-171.
- Schallau, C. H. & Goetzl, A. 1992. Effects of constraining US Timber Supplies. Repercussions are national and global. *Journal of Forestry* 90(7): 22-27.
- Sedjo, R. A. 1993. Global consequences of US Environmental Policies. *Journal of Forestry* 91(April): 19-21.

YMPÄRISTÖKUORMITUKSEN HUOMIOONOTTAMINEN METSÄTALouden SUUNNITTELUSSA

Ron Store

Metsäntutkimuslaitos

Johdanto

Monet metsätalouden toimenpiteet aiheuttavat ympäristökuormitusta metsäekosysteemiin. Näistä ympäristön kannalta haitallisimpia ovat ojitus, hakkuut, maanmuokkaus ja lannoitus, joilla on vaikutusta valuma-alueelta tulevan veden laatuun ja määrään sekä pohjaveteen. Lisäksi hakkuut tietyissä kohteissa aiheuttavat mm. maaperän happamoitumista ja ravinteiden huuhtoutumista. Ympäristönsuojelun ja metsätalouden yhteensovittaminen on kuitenkin mahdollista. Huolellisen ennakkosuunnittelun avulla voidaan merkittävästi vähentää metsätalouden aiheuttamaa ympäristökuormitusta.

Metsäsuunnittelu tarjoaa toimivan ympäristön talousmetsien ympäristönsuojelun kehittämiseen. Hyvin suuri osuus Suomen metsistä kuuluu säännöllisen metsäsuunnittelun piiriin, mikä mahdollistaa metsäsuunnittelun käytön metsäneuvonnan ja metsäpoliittiseen ohjauksen välineenä. Näin ollen metsäsuunnittelu tarjoaa kanavan sisällyttää mm. ympäristönsuojellisia päämääriä talousmetsien hoitoon ja käyttöön. Tätä edesauttaa se, että monet metsänomistajat haluavat vapaasta tahdostaan ottaa ympäristöseikat huomioon metsiensä käsittelyssä (Kangas ja Niemeläinen 1995).

Metsäsuunnittelu

Metsäsuunnittelun avulla tuotetaan päätöksentekoa tukevaa informaatiota kokonaishyötyään maksimoivalle metsänomistajalle tai muulle päätöksentekijälle. Tavoitteena on löytää metsäalueelle optimaalinen tuotanto-ohjelma, jolloin kullekin metsikkökuviolle valitaan se käsittelyvaihtoehto, joka johtaa metsälötasolla parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen.

Nykyisin metsäsuunnittelussa metsälölle asetetaan useita erilaisia tavoitteita, jotka lisäksi voivat olla ristiriidassa keskenään. Tärkeimpänä tavoitteena on usein edelleenkin puuntuotanto, mutta myös esimerkiksi ympäristönsuojelu, monimuotoisuus ja virkistyskäyttö koetaan tärkeiksi. Kuitenkin monet käytössä olevat suunnittelujärjestelmät on alunperin kehitetty lähinnä puuntuotannon suunnitteluun. Metsän muiden arvojen huomioonottaminen metsäsuunnittelussa onkin toistaiseksi toteutettu lähinnä ns. kuvailevin menetelmin. Tällä tarkoitetaan tavoitteiden ja arvojen liittämistä suunnitteluprosessiin, lähinnä suunnittelijoiden kokemusten ja näkemysten perusteella, ilman vaihtoehtojen numeerista vertailua.

Käytännön suunnittelutilanteessa erilaisia käsittelyvaihtoehtojen yhdistelmiä on niin paljon, että numeerinen optimointi on halvin ja usein ainoa mahdollinen tapa etsiä kuvioittaisten käsittelyohjelmien joukosta paras mahdollinen yhdistelmä. Numeerisen optimoinnin edellytys on, että tavoitemuuttajat voidaan ilmaista numeerisesti. Kuvailevien menetelmien puutteita ovat mm. se, että niiden avulla voidaan tarkastella vain muutamaa vaihtoehtoa sekä vaihtoehtojen arvioinnin vaikeus suhteessa päätöksentekijän tavoitteisiin (Pukkala ym. 1995). Lisäksi päätöksentekijän tavoitteet voidaan niissä huomioida lähinnä suunnittelijoiden subjektiivisten näkemysten ja kokemusten perusteella.

Eniten taktisessa metsäsuunnittelussa käytetty optimointimenetelmä on lineaarinen ohjelmointi. Sen keskeisimmät soveltamisongelmat monitavoitteiseen metsäsuunnitteluun, liittyvät mahdollisuuksiin käsitellä epälineaarisia riippuvuussuhteita mitattujen arvojen ja niistä koituvien hyötyjen välillä sekä joustavaan tavoitteiden aseteluun (Kangas ja Pukkala 1996).

Viime aikoina on metsäsuunnittelun alalla kehitetty menetelmiä, joiden avulla voidaan päätöksentekijän tavoitteet sisällyttää entistä paremmin suunnitteluprosessiin, käsitellä epälineaarisia hyötyfunktioita, numeeristaa kuvailevaa tietoa ja yhteismitallistaa eri mittayksiköillä ilmaistut suureet. Näissä menetelmissä on hyödynnetty analyyttistä hierarkiaprosessia (AHP), joka on menetelmä monitavoitteisen päätöstilanteen kokonaisvaltaiseen analysointiin (Saaty 1980). Sen avulla on mahdollista estimoida sekä kvalitatiivisten että kvantitatiivisten päätöskriteerien tärkeydet ja arvottaa päätösvaihtoehdot päätöskriteerien suhteen. Tuotanto-ohjelman valinta voi tapahtua heuristisen optimointialgoritmin avulla, jossa käsittelyohjelmien optimaalinen yhdistelmä etsitään iteratiivisten hakumenetelmien avulla, usein interaktiivisesti päätöksentekijän kanssa (Pukkala ja Kangas 1993).

Perusmenetelmiä monitavoitteiseen suunnitteluun on jo käytettävissä, mutta monien tavoitteiden kohdalla ongelmaksi muodostuu puute matemaattisista malleista, joilla päätösvaihtoehdot voitaisiin arvottaa. Mallien puuttuessa korostuu asiantuntijatietämyksen merkitys suunnitteluprosessissa.

Ympäristökuormituksen kytkeminen numeeriseen metsäsuunnitteluun

Suomessa metsänkäsittelytoimenpiteiden ympäristövaikutukset on pyritty ottamaan huomioon kaikkien metsänomistajaryhmien metsänkäsittelyohjeissa. Käytännössä ympäristövaikutukset on sisällytetty suunnitelmiin kuvailevien menetelmien kautta, jolloin ei tiedetä onko metsän tuotantomahdollisuudet hyödynnetty täysimääräisesti ja vastaako suunnitelma metsänomistajan tavoitteita. Numeeristen menetelmien käyttö on ollut vähäistä.

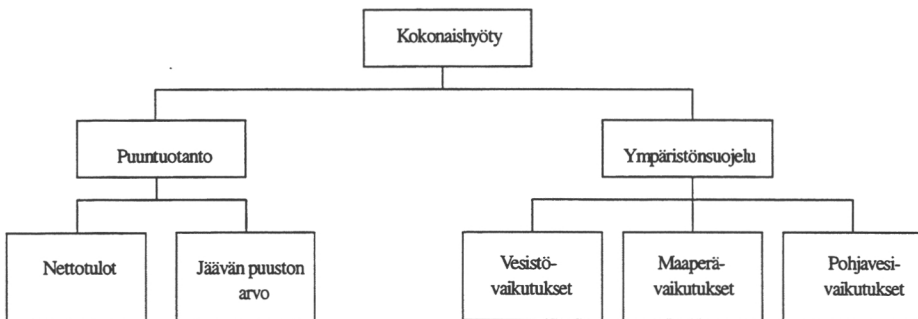
Ympäristökuormituksen, kuten myös muiden päätöskriteerien sisällyttämisessä numeeriseen metsäsuunnitteluun voidaan erottaa seuraavat vaiheet: tavoitteiden ja niiden tärkeyksien määrittäminen, päätösvaihtoehtojen arvottaminen suhteessa kuhunkin tavoitteeseen, tavoitteiden ja vaihtoehtojen yhteismitallistaminen sekä päätösvaihtoehtojen vertailu tavoiteyhdistelmän saavuttamisen kannalta (Kangas 1992). Näiden vaiheiden kautta saadaan

valittua päätösvaihtoehtojen joukosta se, joka maksimoi päätöksentekijän kokonaishyödyn.

Ympäristökuormituksen arviointiin tarkoitettuja malleja, jotka käyttäisivät perinteisessä metsäsuunnittelussa kerättäviä tietoja ja olisivat riittävän luotettavia, ei toistaiseksi ole ollut käytettävissä. Niinpä on pyritty kehittämään menetelmiä, joilla ympäristöalan asiantuntijoiden tietämys saataisiin kytkettyä numeeriseen metsäsuunnitteluun.

Asiantuntijatietämystä hyödyntäviä numeerisia suunnittelumenetelmiä onkin jo kehitetty mm. kunnostusojitusvaihtoehtojen hyötyvertailuun (Kangas 1991, Kangas ym. 1996). Kankaan ym. (1996) esittelemässä menetelmässä kehitettiin delfi-tekniikan ja AHP:n yhteiskäyttöön perustuva tapa arvottaa asiantuntijoiden tietämykseen perustuen kunnostusojituksen vaihtoehdot niiden vesistövaikutusten kannalta. Tapaustutkimuksessa joukko metsä- tai ympäristöalan asiantuntijoita arvioi viiden kunnostusojitusvaihtoehdon vesiensuojelulliset hyvyydet. Vertailut tehtiin AHP:n pareittaisten vertailujen tekniikalla. Asiantuntija-arviot eri käsittelyvaihtoehtojen vesiensuojelullisista hyvyyksistä hyödynnettiin monitavoitteisessa päätösanalyysissä.

Analyttistä hierarkiaproessia on käytetty usein myös päätöskriteerien tärkeyksien estimoimisessa. Tällöin ensimmäisenä vaiheena on päätöshierarkian muotoileminen jakamalla päätösongelma päätöselementteihin ja määrittämällä niiden väliset suhteet (kuva 1). Vertailemalla pareittaisten vertailujen tekniikalla saman tason päätöskriteerejä saadaan muodostettua päätöskriteerien tärkeydet sisältävä hyötyfunktio, jota käytetään päätösvaihtoehtojen arvottamisessa.



Kuva 1. Esimerkki puunmyyntituloja haluavan, mutta myös ympäristönsuojelua arvostavan metsänomistajan päätöshierarkiasta.

Paikkatietojärjestelmät

Paikkatietojärjestelmät tarjoavat joukon työkaluja, joita voidaan hyödyntää ympäristökuormituksen pienentämiseen tähtäävässä suunnittelussa. Yksi paikkatietojärjestelmän tärkeimmistä ominaisuuksista on, että sen avulla pystytään yhdistämään eri lähteistä peräisin olevaa tietoa, kuten maastomittaustiedot, numeerinen korkeusmalli, kaukokartoitustiedot jne. Tätä

ominaisuutta ovat hyödyntäneet esimerkiksi Mumby ym. (1995) kehittäessään suunnittelumenetelmiä rannikkometsien käytön suunnitteluun.

Tyypillisin paikkatietosovellus ympäristönsuojelun alalla on etsiä alueet, joissa tietyn toimenpiteen toteuttaminen aiheuttaa mahdollisimman vähän ympäristöongelmia (esimerkiksi Pereira ja Ducktein 1993, Store 1996). Vesistökuormituksen ja eroosion vähentämiseen tähtääviä paikkatietojärjestelmäpohjaisia suunnittelumenetelmiä ovat kehittäneet mm. Ashton ym. (1995) sekä Adinarayana (1995). Vaikutusvyöhykkeitä (buffer) on muodostettu monissa tutkimuksissa rajaamaan esimerkiksi vesistöjen varrella sijaitsevia alueita varovaisemman metsänkäsittelyn piiriin.

Rasterimuotoista paikkatietoa, joka soveltuu mm. ympäristökuormituksen arviointiin, on nykyisin tarjolla runsaasti (esim. numeeriset korkeusmallit, maaperätiedot). Myös rasterimuotoisen tiedon analysointimahdollisuudet monissa kehittyneissä paikkatietojärjestelmissä ovat monipuoliset. Spatiaalisista analyyseistä erityisesti overlay-, naapuruus- ja yhdistävyysanalyysit ovat käyttökelpoisia ympäristövaikutusten arvioinnissa ja mallittamisessa. Yhdeksi ongelmaksi on kuitenkin muodostumassa paikkatietoanalyyseillä tuotetun tiedon integrointi numeeriseen suunnittelusysteemiin.

Yleisin, joskin kankea tapa sisällyttää paikkatietojärjestelmällä tuotettu tieto numeeriseen suunnitteluun on käyttää analyyseillä paikallistettuja alueita suoraan rajoitteina. Toinen mahdollisuus on laskea paikkatietoanalyyseiden tuloksista kuviokohtaisia indeksi-karttoja, jolloin indeksi on suoraan käytettävissä optimointilaskelmissa (Store 1996). Nalli ym. (1996) puolestaan käyttivät paikkatietoanalyysejä numeerisessa suunnittelussa jakamaan suunniteltava alue lohkoihin, joiden käytölle määritetyt tavoitteet poikkesivat toisistaan.

Lopuksi

Metsäsuunnittelun suuren kattavuuden ansiosta pienetkin parannukset ympäristönsuojelun huomioonottamisessa numeerisessa metsäsuunnittelussa voivat olla merkittäviä. Erityisen tärkeitä olisi pyrkiä kehittämään menetelmiä, joilla ympäristönsuojelu, kuten esimerkiksi ympäristökuormituksen pienentäminen, voitaisiin ottaa rutiiniluonteisesti ja kohtuullisin kustannuksin huomioon vaihtoehtoisten metsäntuotanto-ohjelmien vertailussa niin metsikkötason kuin metsäaluetasonkin tarkasteluissa.

Kirjallisuus

- Adinarayana, J. & Krishna, N. 1995. An approach to land-use planning in a hilly watershed using geographical information systems. *Land Degradation & Rehabilitation* 6(3): 171-178.
- Ashton, P., Vanzyl, F. & Heath, R. 1995. Water quality management in the crocodile river catchment, Eastern Transvaal, South Africa. *Water Science & Technology* 32(5-6): 201-208.

- Kangas, J. 1991. Menetelmä metsänojituvaihtoehtojen hyötyvertailuun. Summary: A method for utility comparison of forest drainage alternatives. *Suo* 42: 49-59.
- Kangas, J. 1992. Multiple-use planning of forest resources by using the analytic hierarchy process. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7: 259-268.
- Kangas, J., Lauhanen, R. & Store, R. 1996. Kunnostusvaihtoehtojen vesistövaikutusten arviointi ja integrointi päätösanalyysin. Summary: Assessing the impacts of ditch network maintenance on water ecosystems on the basis of expert knowledge and integrating the assessments into decision analysis. *Suo* 47(2): 47-57.
- Kangas, J. & Niemeläinen, P. 1995. Kansalaismielipide Suomen metsistä sekä metsien hoidosta ja käytöstä. *Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja* 561. 24 s.
- Kangas, J. & Pukkala, T. 1996. Operationalization of biological diversity as a decision objective in tactical forest planning. *Canadian Journal of Forest Research* 26(1): 103-111.
- Mumby, P., Raines, P., Gray, D. & Gibson, J. 1995. Geographic information systems - a tool for integrated coastal zone management belize. *Coastal Management* 23(2): 111-121.
- Nalli, A., Nuutinen, T. & Päivinen R. 1996. Site-specific constraints in integrated forest planning. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11(1): 85-96.
- Pereira, J. & Duckstein, L. 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *Int. J. Geographical Information Systems* 7(5): 407-424.
- Pukkala, T. & Kangas, J. 1993. A heuristic optimization method for forest planning and decision making. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 560-570.
- Pukkala, T., Nuutinen, T. & Kangas, J. 1995. Integrating scenic and recreational amenities into numerical forest planning. *Landscape and Urban Planning* 32: 185-195.
- Saaty, T. 1980. *The analytic hierarchy process. Planning, priority setting, resource allocation.* McGraw-Hill. New York. 283 s.
- Store, R. 1996. Maiseman huomioonottavan metsikkökuvioidin tuottaminen paikkatietojärjestelmällä. *Käsikirjoitus* 16 s.

METSÄTALOUDEN YMPÄRISTÖKUORMITUKSEN VÄHENTÄMINEN KÄYTÄNNÖN METSÄTALOUESSA

Päivi Salpakivi-Salomaa

UPM-Kymmene Metsä

Kuluvan vuosikymmenen alussa käynnistettiin käytännön metsätaloudessa tavoitteiden uudelleenarviointi. Terveen, tuottavan metsän rinnalle nousivat uusiksi tavoitteiksi metsien monimuotoisuuden säilyttäminen, vesien ja vesiluonnon sekä maaperän suojelu. Kun uusia tavoitteita maastoutettiin metsien käsittelysuosituksiksi, toimi punaisena lankana ajatus metsien luontaisen kehityskulun jäljittelystä. Työtä tehtiin joiltakin osin pohjoismaisen tutkimustiedon, mutta vielä enemmän maalaisjärjen ja kokemustiedon perusteella.

Perustan käytännön metsätalouden toimille antavat edelleen metsäsuunnittelu ja kasvupaikkakohtainen metsien käsittely. Metsäsuunnitteluun on uutena haasteena noussut ympäristönhoitoon liittyvien tietojen, esimerkiksi eroosioherkkien alueiden tai metsien monimuotoisuudelle erityisen arvokkaiden elinympäristöjen, avainbiotooppien, tietojen liittäminen perinteisiin puustotietoihin. Metsien käsittelyvaihtoehtovalikoima on laajentunut ja jokaiselle kasvupaikalle räätälöidään sille sopivien toimenpiteiden yhdistelmä ja esimerkiksi puulajikoostumus. Suurimmat muutokset käytännön metsätaloudessa ovat avainbiotooppien määrittely, tunnistaminen ja ominaispiirteiden säilyttäminen metsien käsittelyn kaikissa vaiheissa. Tärkeitä muutoksia ovat myös lehtipuun suosiminen, lahoppuun säilyttäminen ja lisääminen, yksittäisten puiden ja puuryhmien säästäminen, vesien- ja vesiluonnonsuojelutekniikka sekä maisemanhoidon kehittäminen. Tässä yhteydessä otan esimerkiksi vesiensuojeluun liittyviä suosituksia.

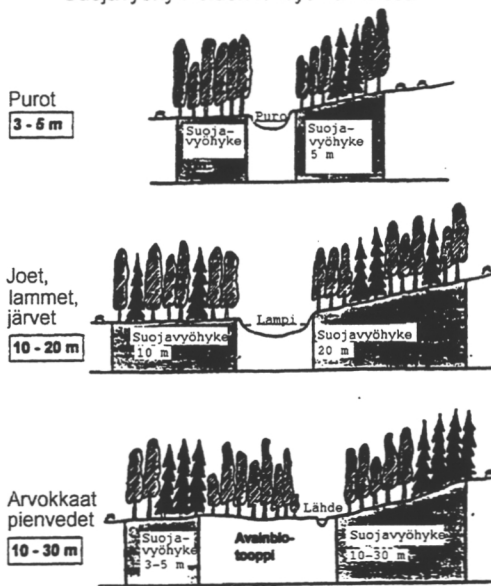
Vuonna 1994 perustettiin metsäteollisuuden aloitteesta laaja sekä ympäristö- että metsäorganisaatioiden edustajista koostuva työryhmä laatimaan suositukset vesien- ja vesiluonnonsuojelusta merkittävimpiin metsätalouden toimenpiteisiin: töiden suunnitteluun, puunkorjuuseen, maanpinnan käsittelyyn ja kunnostusojitukseen (Hänninen ym. 1995). Uutta suosituksissa on pienvesien suojelu, vesiluonnon monimuotoisuuden säilyttäminen sekä näihin liittyvä työtekniikka. Esimerkiksi puunkorjuun toteutuksessa vesiensuojelua voidaan edistää leimikon rajauksessa, avainbiotooppien huomioon ottamisessa, suojavyöhykkeiden käytöllä, hakkuutavan valinnalla, korjuun toteutuksen ajankohdan valinnalla ja korjuun teknisessä toteutuksessa, kuten ajourien suunnittelussa ja puiden kaatosuunnan valinnassa (Kivimaa ym. 1995). Vesiensuojelu puunkorjuussa on ennen kaikkia taitokysymys.

Suojavyöhykkeet ovat yksi tärkeimmistä ympäristökuormituksen vähentämiseen käytettävistä keinoista. Ne ovat kasvipeitteellisiä alueita, joiden kautta hakkuualueen vedet kulkevat. Yhden tutkimuksen perusteella niiden

oletetaan vähentävän haitallisia vesistövaikutuksia. (Ahtiainen 1991). Maalaisjärjen perusteella laadittujen suositusten mukaan maan pintakerroksen säilyttäminen rikkoontumattomana on tärkeää, samoin aluskasvillisuuden ja pensaskerroksen koskemattomana säilyttäminen. Suojavyöhykkeillä suositetaan lehtipuita ja puusto suositellaan jätettäväksi luonnontilaan. Tällöin niillä on merkitystä myös metsä- ja vesiluonnon monimuotoisuuden ja maisemanhoidon kannalta. Jos tämä ei ole mahdollista, suositellaan yksittäisten puiden poistamista niin, että jäljelle jäisi varjostavaa, tuulissa säilyvää lehtipuustoa tai alikasvosta. Kuusivaltaisilla kohteilla luodaan jo harvennusvaiheessa tilaa lehtipuulle väljentämällä rantoja. Korjuussa ajetaan vyöhykkeen ulkopuolella, puut kaadetaan pois päin vesistöstä ja huolehditaan siitä, että hakkuutähteet eivät pääse vesistöön aiheuttamaan ravinnekuormitusta. Suojavyöhykkeiden leveys suositellaan sopeutettavaksi joustavaksi maaperä- ja maasto-olosuhteiden mukaan. Ohjeellinen leveys vaihtelee 3-30 metriin. (kuva 1).

Vesiensuojelusuosituksia varten keskusteltiin tutkijoiden kanssa ja käytiin läpi tutkimustuloksia. Työn aikana kuitenkin selvisi, että käytäntöä palveleva tutkimustieto oli puutteellinen. Avoimeksi jäivät esimerkiksi seuraavat kysymykset: Millaisilla suojavyöhykkeillä voimme vaikuttaa parhaiten ympäristökuormituksen vähentämiseen tai onko tieteellisiäkin perusteita pienten kosteikkojen luonnontilaan jättämiselle? Erityisesti hämmästyttää se, että emme tiedä, mitkä ovat normaalin eteläsuomalaisen avohakkuun (1,5-2 ha) ympäristöä kuormittavat vaikutukset ja näiden torjuntakeinot tavallisissa metsissämme, mustikkatyypin kuusivaltaisessa tai/ja puolukkatyypin mäntyvaltaisessa metsässä? Pelkkä tutkimustieto ei vielä sekään riitä, vaan tulokset olisi saatettava sellaiseen muotoon, että ne ovat käytännön kenttäväen saavutettavissa. Onko Metsätalouden ympäristökuormitus -tutkimushankkeesta löydettävissä se tutkijajoukko, joka tulosten laskennan jälkeen jaksaa miettiä niiden vaikutusta käytäntöön, haluaa yhteistyötä tulosten soveltamisessa ja työstää tulokset vaikkapa ymmärrettävään sarjakuvamuotoon saakka!

Suojavyöhykkeiden leveys hakkuissa



Tavoitteena maastoon sopeutettu vyöhyke

Suojavyöhykkeiden käsittely hakkuissa



Kuva 1. Suojavyöhykkeisiin liittyviä suosituksia (Kivimaa ym. 1995).

Kirjallisuus

- Ahtiainen, M. 1991. Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset purovesien laatuun. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisu. Sarja A.
- Hänninen, E., Kärhä, S., Salpakivi-Salomaa, P. 1995. Metsätalous ja vesiensuojelu. Metsätehon opas.
- Kivimaa, T., Hänninen, E., Karjalainen, J., Kenttämies, K., Kokkonen, J., Luotonen, H., Nyrhinen, T., Salpakivi-Salomaa, P. 1995. Vesien ja vesiympäristöjen suojele metsätaloudessa. Taustatietoaineisto Metsätehon oppaaseen Metsätalous ja vesiensuojelu. Metsätehon moniste 25.4.1995

Viimeisimmät Joensuun tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjan julkaisut:

- Nro 459 Toropainen, M. 1993. Metsäsektorin muutosten työllisyysvaikutukset 1989 -1997. 84 s.
- Nro 467 Kangas, J. & Karsikko, J. 1993. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimukset, metsänhoito ja metsäsuunnittelu. 60 s.
- Nro 478 Mäkkeli, P. & Kangas, J. (toim.) 1993. Metsäluonnon ja -ympäristön hoito. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. 68 s.
- Nro 481 Timonen, M., Gustavsen, H.G., Ruotsalainen, K. & Timonen, T. 1993. Lapin suojametsäalueen pysyvät (SUOJAINKA) kokeet. Suunnitelmat, mittaushjeet ja aineiston kuvaus. 31 s. + liitteet.
- Nro 488 Sulonen, S. & Kangas, J. (toim.) 1994. Näkökohtia metsien monikäyttöön. Metsien monikäytön tutkimusohjelman tutkimuspäivä Espoossa 1993. 122 s.
- Nro 500 Toropainen, M. & Mäkkeli, P. (toim.). 1994. Metsäsektori myllerryksessä. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1994. 62 s.
- Nro 504 Heinonen, J. 1994. Koelajojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. 80 s.
- Nro 568 Korhonen, K.T. & Mäkkeli, P. (toim.). 1995. Metsien eri käyttömuodot yhdistävä suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1995. 67 s.
- Nro 569 Korhonen, K.T. 1995. Koepuutiedon käyttö inventointitulosten laskennassa. 29 s. + 4 osaliitettä.
- Nro 594 Parviainen, J., Tervo, L., Carneiro, J. & Soares, R. 1996. Establishment and management of tree plantations in southern Brazil. Finnish - Brazilian cooperation in forest research. 53 p.
- Nro 599 Finér, L., Leinonen, A. & Jauhiainen, J. (toim.). 1996. Puun ravinteet tuhkana takaisin metsään? Keski-Suomen ympäristökeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä tutkimusseminaari Jyväskylässä Ympäristökeskus Kammissa 14.3.1996. 65 s.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Joensuun tutkimusasema

Käyntiosoite: Yliopistokatu 7
Postiosoite: PL 68, 80101 Joensuu
Puhelin: (013) 251 4000 (ohivalinnat)
Telefax: (013) 251 4111

ISSN 0358-4283
ISBN 951-40-1521-5