

Lentolevityksen tarkkuus ojitusalueiden terveyslannoituksissa

The accuracy of aerial spreading of repair fertilization on drained peatlands

Timo Silver ja Markku Saarinen

Timo Silver, Metsäkeskus Lounais-Suomi, Kuralankatu 2, 20540 Turku. Puhelin: 020 772 6304, faksi: 020 772 6301, sähköposti: timo.silver@metsakeskus.fi
Markku Saarinen, Metla, Parkanon toimintayksikkö, Kaironiementie 54, 39700 Parkano. Puhelin: 010 211 4058, faksi: 010 211 4001, sähköposti: markku.saarinen@metla.fi

Tutkimuksessa selvitettiin helikopterilannoituksen tarkkuutta, levityksen tasaisuutta sekä suoraan ojiin kulkeutuvan lannoitteen määrää turvemailla. Lisäksi arvioitiin lannoituksen aiheuttamaa fosforin huuhtouman riskiä. Tarkasteltavana lannoitelajina oli PK-lannos. Tulokset osoittivat, että helikopterilannoituksen yhteydessä on hyvin vaikeaa välttää lannoitteen joutumista ojiin. Tutkimuksessa lannoitusalueen ojiin sijoitetuista keräyssuppiloista 69 % sai lannoitetta levityksen yhteydessä. Ojiin kulkeutui lannoitetta keskimäärin 13 kg ha⁻¹ (PK-lannoite sisältää fosforia 8–9 %). Levityksen alueellinen tasaisuus ei myöskään ollut tyydyttävä. Keskimääräinen levitystasaisuuden poikkeama oli 47 % (tavoite alle 30 %). Lannoitteen joutumista ojiin on vaikea välttää ojitusalueilla siksi, että ojaverkosto on usein epäsäännöllinen. Sarkaleveys vaihtelee yleensä 30–60 metrin välillä kun taas lentolannoituksen levityskaistan leveys on vakio; n. 30 m. Kova tuuli voi myös heikentää levityksen tarkkuutta. Lannoitusten vesistövaikutusten pienentämisessä oikea kohdevalinta on tärkeää ojitusalueilla.

Asiasanat: PK-lannos, huuhtouma, turvemaata, metsänlannoitus

Johdanto

Terveysslannoituskohteiksi määritellään maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa ravinteisuus- tasoltaan vähintään suursaraiset turvemaat, joiden kehitys on ravinteiden epätasapainon vuoksi taantuvaa ja jotka voidaan saada elpymään lannoittamalla (Maa- ja metsätalousministeriön asetus...2001). Terveysslannoituskohteiksi eivät näillä perusteilla kuulu esimerkiksi tyypeä vaativat

karut rämeet. Niiden sijaan asetuksen kuvaamaa ravinteiden epätasapainoa esiintyy lähinnä viljavimpien nevarämeiden, -korprien ja avosoiden ojitusalueilla sekä turvepeltojen metsitysalueilla. Kyseisillä kasvupaikoilla kaliumin määrät ovat puiden kasvutarpeisiin nähden liian pienet suhteessa käytettävissä olevaan tyypeen. Näitä kaliumin puutoksen suhteen potentiaalisia kasvupaikkoja on arvioitu olevan noin miljoona hehtaaria Suomessa (Kaunisto 1997), mutta puutosten

esiintymisen yleisyydestä on esitetty vaihtelevia arvioita (Laiho & Laine 1992, Laiho ym. 2005).

Kaliumin puutteesta kärsivillä soilla on yleensä puutetta myös fosforista, joka on ongelmallinen ravinne vesistökuormituksen kannalta. Tämä on todettu mm. käytännön lannoitushankkeiden neulasanalyysiaineistoissa (Silver ja Saarinen 2001). PK-lannoituksella on usein saatavissa myös selvä puuston kasvunlisäys (Paavilainen 1979, Westman 1981). Tämän lentolannoitustutkimuksen kohdealueella Lounais-Suomen metsäkeskuksessa on edelliseen perustuen sovellettu terveyslannoitusohjetta, jonka mukaan kaikki paksuturpeiset (turvetta yli 40 cm) saraiset suot lannoitetaan PK-lannoitteella. Vain alle 0,5 km säteellä vesistöä fosforin tarve on ohjeistettu tarkistettavaksi neulasanalyysillä. Tällöin kriteereinä fosforin puutokselle on käytetty Reinikaisen ym. (1998) esittämiä raja-arvoja.

Fosforin käyttöön terveyslannoitteena on suhtauduttu myös kriittisesti. Kyse on ravinteesta, jonka puutos ei aiheuta puuston kasvun rajua alenemista ja puustokuolemia, kuten voimakas kaliumin puute. Fosforilannoituksella saadaan selvää kasvunlisäystä kasvupaikoilla, joiden kaliumin määrä on puuston kasvun puuterajan alapuolella, mutta puustopääoman menetyksen uhkaa ei kuitenkaan ole olemassa samalla tavoin kuin turpeen kaliumvarojen loppuessa. Taloudellisesti on kuitenkin järkevää kytkeä saraisten soiden terveyslannoitukseen fosfori, koska fosforitoman kali-hiven lannoituksen kustannus on samaa luokkaa kuin suo-PK lannoituksen.

Terveyslannoitusten määrä on ollut viime vuosina vaatimatonta. Kansallisessa metsäohjelmassa määrää esitetään nostettavaksi 2000 hehtaaria 10 000 hehtaariin vuodessa (Kansallinen metsäohjelma 2010). Yhtenä syynä terveyslannoitusten vähäisyyteen pidetään vesistöhaittoja. Huolta lannoitefosforin huuhtoutumisesta ja vesistöjen rehevöitymisestä on pidetty tärkeimpänä syynä siihen, että lannoitustoiminta ojitusalueilla on nykyisin vähäistä (Nieminen 2001). Käytännössä lannoitustoimintaa soilla rajoittaa myös se, ettei terveyslannoituksen kohdevalintaa halita riittävän hyvin.

Fosforilannoitus lisää fosforin huuhtoutumista karuulta soilta, joissa turpeen alumiini- ja rautapitoisuudet ovat alhaisia. Fosforin pidättymi-

nen turpeeseen korreloi heikosti suotyypin kanssa, vaikka rehevien (terveyslannoituskelpoisten) soiden pidätyskyky on yleensä parempi kuin karujen soiden (Nieminen & Jarva 1996). Huuhtoutuminen on erityisen suurta vesiliukoista fosforia sisältävistä lannoitteista heti lannoituksen jälkeen (Nieminen & Ahti 1993). On arvioitu, että yli 20 % levitetystä fosforista voi huuhtoutua vesistöihin (Kenttämies & Saukkonen 1996). Hidasliukoisia lannoitteita käytettäessä fosforia alkaa huuhtoutua vasta 1–2 vuoden kuluttua lannoituksesta (Ahti 1983). Huuhtoutuminen jatkuu kuitenkin pitkään, ja nopea- ja hidaslukoisten lannoitteiden välillä ei liene pitkällä tähtäimellä merkittävää eroa kokonaishuuhtoumissa (Nieminen 2000). Nykyisin käytössä olevan uuden rautapitoisen PK-lannoitteen käytöstä soiden lannoituksessa on saatu tutkimuksissa lupaavia tuloksia (Nieminen 2005). Tutkimustuloksia pitkäaikaisista kenttäkokeista Rauta-PK:lla ei kuitenkaan vielä ole, joten varmuus tämän fosforilannoitteen paremmuudesta saadaan vasta vuosien kuluttua.

Nykyisin terveyslannoitukset tehdään pääsääntöisesti helikopterilevityksenä. Toinen vaihtoehto on maalevitys. Käsinvetyksellä voidaan estää lannoitteiden joutuminen suoraan ojaan ja myös riittävän suojavyöhykkeen jättäminen ojaan on mahdollista. Lounais-Suomessa toistaiseksi ainoastaan muutamat maanomistajat ovat tehneet terveyslannoitusta käsinvetyksenä tai traktorilevityksenä. Laajamittaisemman lannoitustoiminnan ainoa vaihtoehto lienee tällä hetkellä helikopterin käyttäminen.

Lentolevityksen levitystasaisuutta on tutkittu metsänlannoituksen huippuvuosina 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa. Julkaistuja tutkimustuloksia ojitusalueiden lentolevityksen osalta on vain lentokonelevityksestä. Lentokonelevityksessä todettiin työjäljen olevan hyvin epätasaista (Isakainen ja Moilanen 1981). Poikkeamaprosentti vaihteli välillä 34–86 %, kun hyväksyttävänä pidetään alle 30 % poikkeamaa (ks. kappale aineisto ja menetelmät). Tavoitemäärä ylittyi 2–4 kertaisesti osalla kuvioita ja vastaavasti esiintyi n. 0.5 ha:n suuruisia lannoittamattomia alueita. Ojat eivät välttyneet lannoitteelta, vaan saivat saman lannoitemäärän pinta-alayksikköä kohden kuin saratkin. On todettu, että mikäli poikke-

maprosentti alenee 50–60 %:n tasosta 20–30 %:n tasoon, voidaan puuston kasvussa saavuttaa parhaimmillaan jopa 0,5 kuutiometrin vuotuinen kasvunlisäys hehtaarilla (Paavilainen 1979). Paavilaisen ja Virtasen (1979) tutkimuksessa ei ojiin joutunut sanottavasti lannoitetta, mutta levitystasaisuus oli heikkoa poikkeamaprosentin ollessa keskimäärin 70–75 %. Virtasen ja Ylisen (1977) tutkimuksessa poikkeamaprosentti oli 26–43 % ojiin osuneen lannoitemäärän vaihdellessa välillä 6–17 kg ha⁻¹.

Tässä artikkelissa esitetään helikopterilevityksen tuloksia käytännön lannoitustoiminnassa Lounais-Suomen metsäkeskuksen lannoitushankeilla. Levitystasaisuudesta ja ojiin joutuvien lannoitteiden määristä esitettävien tulosten lisäksi otetaan kantaa myös lannoitustoiminnan vesistövaikutuksiin ja pohditaan keinoja vesistöhaittojen minimoimiseksi.

Aineisto ja menetelmät

Aineisto kerättiin Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen terveyslannoitetuilta turvemailta. Lannoitukset toteutettiin vuosina 2000, 2002, 2004 ja 2006. Terveyslannoitetut kasvupaikat olivat kuusi- ja mäntyvaltaisia paksaturpeisia (turvetta yli 40 cm) alunperin saraisia suotyyppejä edustaneita soita. Levitystyön suoritti helikopterilannoituksia tekevä suomalaisyritys ja osan työstä toteutti vuonna 2002 ruotsalainen aliurakoitsija (koealat 1–6 ja 8 taulukossa 1). Aineistoon valittiin lannoitetuista alueista sellaiset suokuviot, joiden ojaiston kunto oli vähintään tyydyttävä. Kunnoltaan heikot ojaistot, joissa perkaustarve on lähimmän 10 vuoden aikana jätettiin aineistosta pois. Näillä kuvioilla lannoitteiden joutumista ojiin ei edellytetty varottavan, koska ojat olivat lähes täysin umpeutuneet ja siksi lannoitteiden huuhtoutumisen riski ojaista tulkittiin vähäisemmäksi.

Levitystasaisuutta tarkasteltiin vuosien 2000 ja 2002 kuvioilla Metsäntutkimuslaitoksessa 1970-luvulla kehitetyllä poikkeamaprosenttimenetelmällä (Huuhtanen ja Virtanen 1975). Sen mukaisesti tarkastelu tehtiin kangassuppiloiden avulla, joiden halkaisija oli 50 cm ja 60 cm. Suppilon joutunut lannoitemäärä muutettiin halkai-

sijan perusteella hehtaarikohtaiseksi lannoitemääräksi. Suppilot sijoitettiin systemaattisesti 3–5 metrin välein lannoitetun suokuvion saroille riviin kohtisuoraan lentosuuntaa vastaan ja lisäksi ojan pohjalle. Ensimmäinen suppilo sijoitettiin noin 3 metriä ojan ulkoreunasta. Suppiloita sijoitettiin kuviolle 8–20 kpl.

Suppiloihin kertyneistä lannoitemääristä laskettu poikkeamaprosentti ilmoittaa, kuinka suuressa osassa näytesuppiloita lannoitemäärä poikkeaa yli 50 % tavoitteesta. Hyväksyttynä poikkeamaprosenttina pidetään 30 % (Virtanen 1975). Vuosina 2000 ja 2002 tehtyjen lentolevitysten aikana (16 suokuviota) Metsän-PK:n hehtaarikohtainen tavoitemäärä oli 450 kg ha⁻¹, ja hyväksyty vaihteluväli 225–675 kg ha⁻¹. Poikkeamaprosenttia laskettaessa jätettiin huomioonottamatta ojien pohjalle asetetut suppilot.

Vuosina 2004 ja 2006 tehdyn levityksen yhteydessä (5 suokuviota) tarkasteltiin vain lannoitteen joutumista ojiin, jolloin kangassuppilot sijoitettiin pelkästään ojien pohjalle. Tällä mittausmenettelyllä keskityttiin lähinnä levitystekniikan vesistövaikutuksiin. Vesiensuojelun kannalta on vahingollista, mikäli lannoitetta joutuu ojaan ja pahimmassa tapauksessa suoraan valtaojissa virtaavaan veteen. Lisäksi ojiin joutunut lannoite rehevöittää ojien kasvillisuutta ja heikentää näin ojien kuntoa.

Helikopteri suoritti levityksen keskipakolevittimellä. Lannoitettavan kaistan lannoitejakaumaa ja leveyttä säädeltiin lähinnä levittimen lautasessa olevien ”palikoiden” pituutta muuttamalla. Kaistan leveyttä ja lannoitemäärää voidaan säädellä myös lentonopeudella ja lentokorkeudella. Käytännössä lannoitekaistan leveys oli vakiona noin 30 metriä, vaikka em. pieniä säätömahdollisuuksia oli. Sarkavälin ollessa tyypillinen n. 30–40 m, levitys tehtiin yhtenä ns. kaistalentona. Sarkavälin kasvaessa 50–60 metriin sarka oli lennettävä kahtena rinnakkaisena kaistalentona.

Tulokset

Tyypillinen keskipakolevittimen lannoitejakauma saralla kaistalennossa on esitetty kuvassa 1. Taulukossa 1 on esitetty levitystasaisuuden tulos vuoden 2000 ja 2002 lannoituksissa. Poikkeamapro-

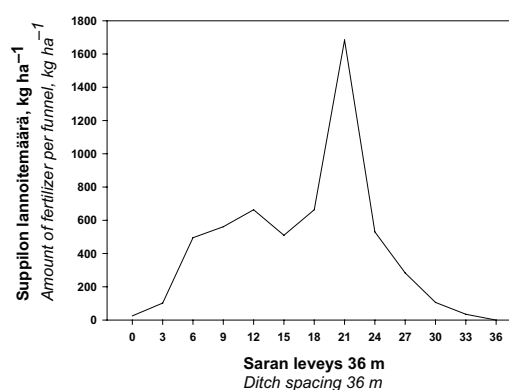
Taulukko 1. Helikopterilla levitetyn PK-lannoituksen levitystasaisuus tutkituissa ojitusaluemetsiköissä Lounais-Suomessa v. 2000 ja 2002. Vaihteluväli kuvaa lannoitemäärän vaihtelua g/suppilo saralla ja sitä vastaava hehtaarikohtainen lannoitemäärä (kg ha⁻¹). Ojiin mennyt lannoitemäärä esitetty ojitain. (Suppilon halkaisija 60 cm.).

Table 1. The spreading evenness of PK-fertilization carried out by helicopter in sampled tree stands on drained peatlands in the South-West Finland in year 2000 and 2002. The range of variation represents variation of fertiliser rates g/funnel on the strip and the corresponding fertiliser rates (kg ha⁻¹). The amounts of fertilisers drifted into ditches are presented for each ditch of the sample plot separately. (The diameter of the sampling funnel is 60 cm.)

Suokuvio	Kunta	Poikkeama- prosentti	Suppiloita kpl saroilla	Vaihteluväli g/suppilo (kg ha ⁻¹) Range g/funnel (kg ha ⁻¹)	Oja 1 g/suppilo (kg ha ⁻¹) Ditch 1 g/funnel (kg ha ⁻¹)	Oja 2 g/suppilo (kg ha ⁻¹) Ditch 2 g/funnel (kg ha ⁻¹)	Oja 3 g/suppilo (kg ha ⁻¹) Ditch 3 g/funnel (kg ha ⁻¹)	Oja 4 g/suppilo (kg ha ⁻¹) Ditch 3 g/funnel (kg ha ⁻¹)
Stand	Municipality	Deviation percentage	Funnels n/strip					
Vuosi 2000 Year 2000								
1	Laitila	79	19	1,4–47,7 (50–1684)	0 (0)	1,0 (35)	0 (0)	
2	Laitila	62	8	3,0–39,6 (106–1400)	2,0 (70)	1,4 (50)		
3	Mynämäki	45	20	1,0–47,7 (35–1684)	0,7 (25)	0 (0)	0 (0)	
4	Mynämäki	63	19	1,0–32,0 (35–1131)	1,0 (35)	1,0 (35)	0 (0)	
5	Mynämäki	6	18	6,5–20,2 (230–714)	4,0 (141)	8,70 (306)	0,7 (25)	
6	Yläne	53	19	0,5–14,0 (18–494)	0	0		
Vuosi 2002 Year 2002								
1	Mietoinen	50	16	0,5–43,3 (18–1531)	41,9 (1480)	9,0 (318)	4,0 (141)	25,0 (883)
2	Mynämäki	82	17	0–50,5 (0–1786)	9,0 (318)	0 (0)		
3	Koski TI	82	17	1,0–41,9 (35–1480)	37 (1307)	1,4 (51)	15,9 (561)	
4	Punkalaidun	71	17	0–17,3 (0–612)	1,0 (35)	3,0 (106)	0 (0)	
5	Punkalaidun	53	17	0–28,9 (0–1020)	2,0 (71)	0 (0)	14,5 (510)	
6	Huittinen	26	19	8,7–29,0 (306–1025)	9,0 (318)			
7	Kiukainen	11	9	8,0–20,0 (283–707)	10,0 (353)			
8	Eura	22	9	12,0–29,0 (424–1025)	9,0 (318)			
9	Nakkila	0	9	7,0–16,0 (247–565)	0 (0)			
10	Harjavalta	47	17	2,9–33,0 (102–1166)	3,0 (106)	3,0 (106)		

senti saroilla oli viidellä koealalla kuudestatoista alle hyväksyttävänä pidettävän 30 %. Poikkeamaprosentti ylitti hyväksyttävän rajan 69 %:lla koealoista. Keskimääräinen poikkeamaprosentti oli 47 % vaihteluvälillä 0–82 %.

Taulukossa 2 on tuloksia vuosien 2004 ja 2006 lannoituksissa. Suppilot asetettiin tällöin vain ojan pohjalle tarkoituksena tehostetusti tarkkaila lannoitteen joutumista ojiin. Ojiin mennyt ravinnekuorma koko aineistossa (84 mittauspistettä) oli halkaisijaltaan 60 cm:n suppiloissa keskimäärin 5,5 g PK-lannoitetta, mikä vastaa arvoa 195 kg ha⁻¹. Kun ojien pintaleveys on keskimäärin 2,3 m ja ojatiheys 300 m/ha, saadaan yhdellä ojitusaluehehtaarella oleviin ojiin joutuneeksi lannoitemääräksi 13 kg, mikä on vertailukelpoinen luku Virtasen ja Ylisen (1977) tuloksiin. Ojissa olevaa avointa yläpintaa kohti laskettuna saadaan suoraan veteen joutuneen PK-lannoitteen määräksi 2,9 kg ha⁻¹, joka vastaa noin 245 g ha⁻¹ puhdasta fosforia. Viimeksi mainittu luku saatiin arvioimalla veden koskettaman ojan pohjan leveydeksi 50 cm. Ojiin joutui 69 %:lla mittaus-



Kuva 1. Tyypillinen helikopterin keskipakolevittimen lannoitejakauma kaistalennossa. Taulukon 1 kuvio 3 Mynämällä.

Fig. 1. The lateral distribution of fertilizer when using centrifugal spreader of the helicopter.

pisteistä lannoitetta, vain noin kolmannes säilyi puhtaana. Suurin ojaan joutunut määrä oli 41,9 g 60 cm läpimitaltaan olevassa suppilossa eli seitsemänkertainen keskimääräiseen verrattuna. Taulu-

Taulukko 2. Tulokset PK-lannoitteen kulkeutumisesta suoraan ojiin helikopterilla suoritetun lannoitteen levityksen yhteydessä tutkituissa ojitusalueetsiköissä Lounais-Suomessa v. 2004 ja 2006 (suppilot sijoitettu ojan pohjalle). Ylempi luku g/suppilo (halkaisija 60 cm), alla vastaava luku (suluissa) muunnettuna kg ha⁻¹.

Table 2. The results of PK-fertilisers drifted directly into ditches in Southwest Finland in year 2004 and 2006 (the sampling funnels installed on the bottom of ditches). The fertilisation have been carried out by helicopter. The upper figure g/funnel (the diameter of the sampling funnel is 60 cm) and the corresponding figure modified (kg ha⁻¹) (bracketed). sarkaoja= drainage ditch; valtaoja = main ditch

Suokuvio	Kunta	Ojatyyppi	Sarkaväli	PK-lannoitetta ojissa g/suppilo ja (kg ha ⁻¹) (suluissa)										
Stand	Municipality	Type of ditch	Ditch spacing	PK-fertilisers drifted into ditches g/funnel and (kg ha ⁻¹) (bracketed)										
1	Kokemäki	sarkaoja	35–40 m	6,0	0	23,0	2,0	0	25,0	2,0	20,0	25,0	0	1,0
		(212)		(0)	(813)	(71)	(0)	(883)	(71)	(707)	(883)	(0)	(35)	
		valtaoja		2,0	2,0	6,0	0	0	1,4	0				
				(71)	(71)	(212)	(0)	(0)	(51)	(0)				
2	Punkalaidun	sarkaoja		21,0	11,0									
				(742)	(389)									
3	Kokemäki	sarkaoja	40–45 m	1,0	1,0	2,0	6,0	1,0	0					
		(35)		(35)	(71)	(212)	(35)	(0)						
		valtaoja		0	0	1,0	0	0	0	1,0				
				(0)	(0)	(35)	(0)	(0)	(0)	(35)				
4	Yläne	sarkaoja	30–35 m	17,0	12,0	2,0	1,0	27,0	6	0				
				(601)	(424)	(71)	(35)	(954)	(212)	(0)				
5	Yläne	sarkaoja	40–50 m	6,0	0	1,0	2,0	8,7	2,9	0				
				(212)	(0)	(35)	(71)	(306)	(102)	(0)				

kosta 2 nähdään, että myös valtaojiin joutui lannoitetta noin puolella mittauspisteistä. Tämä johtui siitä, että lento meni saroilla hieman pitkäksi.

Levitystyötä tehneet lentäjät olivat hyvin ammattitaitoisia. Eroja lentäjien työn tuloksessa kuitenkin näkyi siten, että lannoituslentäjänä kokemattoman henkilön levitystulokset (taulukon 1 kuviot 1–6,8) olivat hieman heikompia kuin kokeneempien lentäjien. Levitystyön tekeminen vaatii lentäjältä poikkeuksellista tarkkuutta ja varsinkin väsyneenä tulee inhimillisiä virheitä. Tästä johtuneeksi se, että joskus jää kokonainen sarka lannoittamatta, kuten tapahtui taulukon 1 kuviolla 4 Punkalaitumella sekä kuviolla 2 Mynämäellä.

Myös voimakkaan sivutuulen merkitys näkyi selvästi levitystuloksessa. Sivutuulen nopeus ei saisi ylittää 3–4 m/s lentolevityksessä (Huuhtanen ja Virtanen 1975). Jos kova tuuli on vielä puuskittainen, on lähes mahdotonta estää lannoitteen joutumista ojiin. Tämä on nähtävissä mm. taulukon 1 Koski Tl:n koealan 3 tuloksessa, jossa lähes ennätysmäärä lannoitetta joutui ojaan (37 g/suppilo).

Tulosten tarkastelu

Tuloksista nähdään, että suorittamalla metsän lannoitus helikopterilla, lannoitteiden joutumista ojiin ei voida kokonaan estää. Samanlaisia tuloksia on saatu aiemmin lentokonelevityksessä ojitusalueilla (Issakainen ja Moilanen 1981). PK-lannoitteita joutui ojiin 69 %:lla ojien pohjalle sijoitetuista mittauspisteistä. Koko aineistossa suoraan ojiin mennyt lannoitemäärä oli keskimäärin noin 13 kg jokaiselta lannoitettavalta ojitusaluehehtaarilta. Määrä on samaa suuruusluokkaa, kun Virtasen ja Ylisen (1977) lentokonelevitystä koskevassa tutkimuksessa.

Vaihteleva sarkaväli (noin 30–60 m) ja melko vakiona pidetty kaistan leveys (noin 30 m) tekevät hyvin vaikeaksi sen, että systemaattisesti voitaisiin välttää lannoitteiden joutuminen ojiin. Ojien varominen on lisäksi vaikeaa, jos ojaverkosto on epäsäännöllinen ja saroilla on poikki-*ojia*. Tässä aineistossa ei asetettu suppiloita näihin poikkiojiin. Käytäntönä on ollut, että näitä oja ei tarvitse varoa, koska se vaikeuttaa koh-

tuuttomasti työn suorittamista. Samoin on aiemmin jouduttu toimimaan lentokonelevityksessä (ks. Virtanen ja Ylinen 1977). Sarkoja leikkaavat ojat ja mutkittelevat ojat otettiin sarkojen ohella lannoitusalaan mukaan.

Voimakas sivutuuli heikentää myös selvästi lentolannoituksen levitystarkkuutta (Huuhtanen ja Virtanen 1975). Tämä oli silmämääräisesti havaittavissa myös muutamilla tämän tutkimuksen koealoilla. Käytännön lannoitustoiminnassa tuulta ei kuitenkaan voida kovin paljon ottaa huomioon kustannussyistä. Ainoastaan kovalla tuulella toiminta keskeytetään.

Tulosten mukaan poikkeamaprocentti oli hyväksytyissä rajoissa vain noin kolmanneksella koealoista. Keskimääräinen poikkeamaprocentti oli 47 % vaihteluvälillä 0–82 %. Tämän voi olettaa vähentävän selvästi lannoituksen puun kasvua lisäävää vaikutusta (Paavilainen 1979). Helikopterilannoituksen levitystasaisuus oli kuitenkin tässä aineistossa samaa luokkaa kuin aiemmissa lentokonelevitystä koskevissa tutkimuksissa. Molemmilla levitystekniikoilla ojien varominen on tärkeimpiä syitä hyväksyttävän poikkeamaprocentin ylityksiin. Ojien varominen aiheuttaa toisaalta myös laskennallisen harhan verrattaessa poikkeamaprocentteja kangasmailla saatuihin poikkeama-arvoihin. Vuosina 2000 ja 2002 tehtyjen lentolevitysten aikana yleisesti käytössä oleva suometsien lannoituksen tavoitemäärä hehtaarille oli 450 kg, joka on kuitenkin laskettu ojat mukaan lukien koko ojitusaluepinta-alalle. Koska lannoitteet pyritään kuitenkin levittämään vain saroille, saadaan vastaavasta lannoitemäärästä pelkästään sarkapinta-alaa kohden laskettuna noin 600 kg:n hehtaarikohtainen lannoitetiheys. Kun poikkeamaprocentiksi saatiin tällä aineistolla keskimäärin 47, olisi vastaava lukema 38 % käytettäessä laskennassa tavoitetiheyttä 600 kg ha⁻¹. Viimeksi mainittu on levitystyön tekijän kannalta oikeampi luku verrattaessa levitystasaisuutta kangasmaiden lannoituskohteisiin. Kangasmaiden kasvatuslannoituksissa, joissa ojat eivät vaikeuta levitystyötä, levitystasaisuus on yleisesti jäänyt alle hyväksytyyn 30 % poikkeaman rajan (julkaisemattomat havainnot Lounais-Suomen metsäkeskuksen lannoitushankkeilta).

Pohdintaa

Vesistökuormituksen suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lannoitetun suokuvion etäisyys vesistöön, ojastojen vesimäärät ja kunto. Vesistöjen varteen on nykysuositusten mukaan jätettävä 50 metrin lannoittamaton kaista (Ojitettujen soiden puuntuotanto ja ympäristöhoito 1999). Kuormitusriski lienee selvästi suurempi valtaojsissa ja puroissa, joissa on jatkuva veden virtaus eikä kasvillisuus sido ravinteita. Vesistösuojelun näkökulmasta lannoitus olisikin syytä tehdä ennen kunnostusojitusta, jolloin osa ojiin joutuneista ravinteista sitoutuu umpeutuneiden valta- ja sarkaojien kasvillisuuteen.

Lannoitteen joutuminen ojiin merkitsee joka tapauksessa vesistökuormituksen lisäystä. Lisäselvyyttä kuormituksen suuruuteen ja haitallisuuteen vesistöille saadaan parhaillaan käynnissä olevien pitkäaikaisiin seurantoihin perustuvien tutkimushankkeiden tuloksista. Lannoitustekniikan puutteista johtuvaa vesistökuormituksen ongelmaa voidaan olennaisesti pienentää nykyisellä rautapitoisella PK-lannoitteella, mikäli se osoittautuu myös pitkäaikaisissa kenttäkokeissa aiempaa PK-lannoitetta selvästi vesistöystävällisemmäksi. Tässä selvityksessä havaitut lentolannoituksen levitystekniset ongelmat kuitenkin osin kyseenalaistavat näkemyksen, jonka mukaan kokopuukorjuussa syntyvät ravinnehävikit suometsissä voitaisiin järjestelmällisesti korvata keinolannoitteilla. Vaikka nykyisin käytössä olevilla lannoitetuotteilla voitaisiinkin vähentää fosforin huuhtoutumariskiä, pelkät korjuutekniset syyt, jolloin tavoitteina ovat hakkuusaannon lisääminen ja kannattavuuden parantaminen kokopuukorjuulla, eivät liene järkeviä perusteita lannoituspinta-alojen lisäämiseksi. Tämä korostuu lähitulevaisuudessa, kun metsätalouden toimenpiteiden suunnittelussa joudutaan huomioimaan vesistöohjelmien mukaiset kuormitusten vähennystavoitteet (mm. Kansallinen metsäohjelma 2010) ja tulevat vesipuidedirektiivin vaatimukset. Vesiensuojelua ajatellen pitäisi yleensäkin harkita soiden lannoitusten rajoittamista vain välttämättömiin kalin ja/tai fosforin puutteesta kärsivien ojitusaluiden terveyslannoituksiin. Lisäksi karujen suokasvupaikkojen NPK-lannoituksiin tulisi suhtautua hyvin kriittisesti, koska fosforin

huuhtoutumisriski on niissä suurin (Nieminen & Jarva 1996). Sen sijaan ravinne-epätasapainosta kärsivien runsaasti typpeä omaavien ojitusaluiden PK-lannoituksia on jatkossakin järkevää tehdä, jotta kasvupaikan muutoin hyvä puuntuototoskyky voidaan taloudellisesti hyödyntää.

Kirjallisuus

- Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 111: 1–20.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus kestävän metsätalouden rahoituksesta annetun lain nojalla puuntuotannon kestävyden turvaamiseksi tehtävistä töistä 44/01. 9 s.
- Huhtanen, E. & Virtanen, J. 1975. Taitavasti taivaalta. Lannoitusopas. Kirjapaino Oy Maakunta. Joensuu. 79 s.
- Issakainen, J. & Moilanen, M. 1981. Lentolannoituksen levitystasaisuudesta ja työpöjäljen valvontamenetelmän kehittämisestä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 17. 20 s.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/1999. 37 s.
- Kaunisto, S. 1997. Suometsien kasvu turvattava metsänparannus- ja metsänhoitotoimilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedote 27.11. 1997. 1 s.
- Kenttämies, K & Saukkonen, S. 1996. Metsätalous ja vesistöt. Yhteistutkimusprojektin "metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta" (METVE) yhteenveto. MMM:n julkaisuja 4/1996. 102 s.
- Laiho, R & Laine, J. 1992. Potassium stores in peatlands drained for forestry. Proceedings of the 9th International Peat Congress. June 22–26, 1992. Uppsala, Sweden, Vol.1: 158–169.
- Laiho, R., Kaunisto, S. & Alm, J. 2005. Suometsien ravinnetilan kehitys ojituksen jälkeen. Julkaisussa: Ahti, E., ym. (toim.) Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 46–60.
- Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained peatland forests: empirical studies and modeling. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 756. 50s.
- Nieminen, M. 2001. Miksi soilta huuhtoutuu fosforia? Voidaanko huuhtoutumista estää?
- Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.–27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 37–42.
- Nieminen, M. 2005. Suometsien lannoituksen vaikutus fosforin huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Ahti, E., ym. (toim.) Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman lop-

- puraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 259–265.
- Nieminen, M. & Ahti, E. 1993. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta. *Folia Forestalia*: 814: 1–22.
- Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus adsorption by peat from drained mires in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 321–326.
- Ojitettujen soiden puuntuotanto ja ympäristöhoito 1999. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 1999. Helsinki. 48 s.
- Paavilainen, E. 1979. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 112 s.
- Paavilainen, E. & Virtanen, J. Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä turvemaalla. (Abstract: Effect of spreading method on forest fertilization results on peatlands). *Folia Forestalia* 382: 1–10.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset — metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688: 1–44.
- Silver, T. & Saarinen, M. 2001. Terveyslannoituskohteen määrittely turvemailla. (Summary: Determining the need of repairing fertilization on drained peatlands). *Suo* 52: 115–120.
- Virtanen, J. 1975. Lannoitustasaisuus metsänlannoituksessa. (Summary: Spreading evenness in forest fertilization.) *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 86 (1): 1–72.
- Virtanen, J. & Ylinen, M. 1977. Ojitusalueiden lentolannoitus. (Abstract: Aerial spreading of fertilizers on peatlands.) *Folia Forestalia* 305: 1–18.
- Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. (Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvupaikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin). *Acta Forestalia Fennica* 172: 1–77.

Summary: The accuracy of aerial spreading of repair fertilization on drained peatlands

The purpose of this study was to investigate the accuracy of aerial spreading of fertilizers by helicopter on drained peatlands, spreading evenness, amounts of PK-fertilizers drifting into ditches and to estimate the risk of phosphorus leaching into the watercourses. The study areas were located in seven case areas in Southern Finland.

The results of helicopter spreading indicate that it is quite impossible to avoid drifting of fertilizers into ditches. 69% of the sample funnels, which were installed on the bottom of the ditches received fertiliser. Only one third of the sample funnels were empty. On average, the ditches received a total of 13 kg PK-fertilizer /hectare (PK-fertilizer contains 8–9% phosphorus). The evenness of the aerial spreading was also unsatisfactory. The mean deviation percentage was 47 % (acceptable upper limit in Finnish practical forestry is 30%).

Avoiding ditches is difficult, because the ditch space network is often irregular. The strip width on drained peatlands varies between 30–60 meters and the width of the flight path is quite constant; about 30 meters. Also, hard wind may cause inaccuracy when using aerial spreading.

Although only a part of the phosphorous drifted to the ditches leaches into the water course, it is a real risk from the standpoint of environmental protection. Thus, minimising fertilisations on peatlands is important issue in order to decrease the water load of peatland forestry. Avoiding NPK-fertilization on nutrient poor peatlands would be reasonable when trying to decrease phosphorus leaching from peatlands. However, vitality PK-fertilization would be necessary in drainage areas, which have imbalanced nutrition, but high site's potential for wood production.

Key words: PK-fertiliser, nutrient leaching, water load, forest fertilisation