

Alk-

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
SUONTUTKIMUSOSASTON TIEDONANTOJA

7/1976

LANNOITUKSEN AIHEUTTAMA FOSFORIN HUUHTOUTUMINEN
SUOMETSISTÄ

Marjut Norlamo

Helsinki 1976

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
SUONTUTKIMUSOSASTON TIEDONANTOJA

7/1976

LANNOITUKSEN AIHEUTTAMA FOSFORIN HUUHTOUTUMINEN
SUOMETSISTÄ

Marjut Norlamo

Helsinki 1976

SISÄLLYS:

1.	JOHDANTO	3
2.	PERUSTEITA	
21.	Suometsien lannoituksen käytännön toteutus ...	3
22.	Turvemaan fosforitaloudesta	5
23.	Lannoitefosforin sitoutuminen turpeeseen	6
24.	Fosforin kulkeutuminen pohjavesiin	7
25.	Fosforin luontainen huuhtoutuminen	8
26.	Fosforin merkityksestä vesistössämme	10
3.	LANNOITUKSEN AIHEUTTAMAN FOSFORIN HUUHTOUTUMISEN RIIPPUVUUS ERI TEKIJÖISTÄ	
31.	Erilaisten levitysmenetelmien vaikutus	12
32.	Levitysjankohdan vaikutus	14
33.	Suotyypin ja käytetyn lannoitelajin vaikutus .	16
34.	Ojituksen vaikutus	17
4.	TULOSTEN TARKASTELUA	20
5.	SUOMETSIEEN LANNOITUS VESIENSUOJELUN KANNALTA	21
6.	KIRJALLISUUSLUETTELO	23

1. JOHDANTO

Kuormituslähteiden vesistövaikutuksia arvioitaessa on viime aikoina kiinnitetty huomiota teollisuuden ja asutuskeskusten lisäksi myös maa- ja metsätalouden aiheuttamaan kuormitukseen. Lannoituksessa annettujen ravinteiden huuhtoutumista voidaan tarkastella kahdesta näkökulmasta: metsänlannoittajan kannalta on kyseessä ravinteiden hukkaan joutuminen, vesistöjensuojelua ajatellen haitallinen ravinnepitoisuuden nousu. Koska vesistössämme on korkea luontainen kuormitus olisi pyrittävä estämään metsätalouden aiheuttama humuksen lisääntyminen ja ravinnepitoisuuksien nousu.

Soiden lannoituksessa tärkein lisättävä ravinne on fosfori. Tässä esityksessä tarkastellaan lannoitustoimenpiteiden vaikutusta fosforin huuhtoutumiseen suometsistä, sekä mahdollisuuksia aiheutettavan vesistökuormituksen vähentämiseen.

2. PERUSTEITA

21. Suometsien lannoituksen käytännön toteutus

Ojituksen jälkeen suometsien kasvua ensisijaisesti rajoittava tekijä on fosforin puute. Usein on myös kalin lisääminen välttämätöntä, mutta typpeä tarvitaan vain kaikkein ravinneköyhimmillä soilla. Valtaosa suometsien peruslannoituksista tapahtuu heti ojituksen jälkeen. Yleisin lannoite on suometsien PK-lannos (0-24-15), jossa fosforiosa on veteen liukenematonta eloperäistä pohjois-afrikkalaista gafsa-fosfaattia. Tämän laivauskarkeata muotoa kutsutaan raakafosfaatiksi. Kalilannoitukseen käytetään kalisuolaksi kutsuttua

kaliumkloridia. Tähän asti käytetty jauheinen suometsien PK-lannos on edellisten mekaaninen seos. Vuosi sitten markkinoille on tullut edellisestä kehitetty rakeistettu muoto, joka on levitysteknillisiltä ominaisuuksiltaan jauheista lannoitetta parempi. Samalla ravinnesuhdetta on muutettu hieman kalipitoisemmaksi (0-22-17).

Soiden lannoitus poikkeaa annettavien ravinteiden suhteen täysin kangasmetsien lannoituksesta, sillä kivennäismailla käytetään yksinomaan typpilannoitteita. Toinen suuri ero on lannoituskohteiden valinnassa. Suometsissä käytetään laikkulannoitusta metsänviljelyn yhteydessä. Nuoria taimistoja ja keski-ikäisiä puustoja peruslannoitetaan sekä varttuneita runsaskuutioisempia kohteita kasvatuslannoitetaan. Kaikilla muodoilla ~~rahoitusehdot~~ ovet ovat erilaiset. Kangasmetsissä suoritetaan vain lähellä päätehakkuukäällä olevien runsaspuustoisten kohteiden kasvatuslannoituksia.

Käytännössä metsien lannoittaminen alkoi vasta 1960-luvun puolivälissä. Aluksi suometsien osuus oli 2/3 vuotuisesta kokonaisalasta, nykyisin se on noin puolet. Viime vuonna saavutettiin tähän astinen ennätys kokonaisalan ollessa 243 000 ha. Tämä on kuitenkin vain vajaa puolet siitä määrästä, jota vuonna 1969 laaditussa MERA III ohjelmassa vuodelle 1975 suunniteltiin. Metsien lannoituksessa annettavat ravinnemäärät ovat vain noin 10 prosenttia maamme vuotuisesta lannoitteiden käytöstä.

Puiden tarvitsema fosforimäärä on alhainen. Fosforin sitoutuminen muihin muotoihin on kuitenkin niin voimakasta, että puustossa lannoitusreaktion saamiseksi on fosforia käytettävä ainakin 50 kg P_2O_5 /ha. Nykyisissä käytännön ohjeissa suositellaan määräksi varmuuden vuoksi kuitenkin 75 kg P_2O_5 /ha. Tämä saadaan levittämällä 400 kg suometsien PK-lannosta hehtaarille.

Lannoitusvaikutuksen on uskottu kestävän soilla 20-30 vuotta. Tällaisia tuloksia onkin saavutettu puuntuhkalannoituksilla. Uusimpien tutkimustulosten mukaan lannoituksen vaikutus heikenee kuitenkin voimakkaasti jo 6-8 vuoden kuluttua (Paavilainen 1972a Karsisto 1972 ja 1974a). Täten lannoitusten uusinta tulisi suorittaa alle kymmenen vuoden välein. (Uusintalannoituksissa näyttäisi typen merkitys lisääntyvän.)

Lannoitteiden levittäminen on maassamme suoritettu valtaosin käsinlevityksenä. Nykyään on lentokonelevitys yleistymässä, mutta vieläkin sen osuus on vain 30 % kokonaislannoitusosalasta. Lannoitesäkit jaellaan maastoon yleensä lumikelillä ja varsinainen levitys tapahtuu myöhemmin. Suometsissä levitetään PK-lannosta ympäri vuoden. Lumelle levitystä pidetään mahdollisena, koska raakafosfaatti on veteen liukenematonta. Suometsien ja kangasmetsien typpilannoitus tapahtuu aina sulan maan aikana.

22. Turvemaan fosforitaloudesta

Suotyyppistä riippumatta ovat luonnontilaisten soiden fosforipitoisuudet kivennäismaitten vastaavia arvoja alhaisempia (Kaila 1963). Fosforin määrät vaihtelevat huomattavasti samankin suotyyppin sisällä. Kokonaismäärä on yleensä alle 400 kg/ha, mutta arvot saattavat vaihdella 30 kilosta aina yli tuhanteen kiloon hehtaarilla. Saraturpeiden fosforipitoisuus on keskimäärin korkeampi kuin rahkaturpeiden.

Kailan (1956) mukaan fosfori esiintyy turpeessa suurimmalta osalta orgaanisessa muodossa (55-95 %). Soiden liukoisen fosforin määrä on aina erittäin pieni, koska fosfori muodostaa vaikealiukoisia yhdisteitä maakolloidien ja turpeessa olevan raudan, alumiinin ja mangaanin sekä pH:n noustessa myös kalsiumin kanssa.

Luonnon olosuhteissa näyttää alumiini yhdisteinen olevan tärkeämpi fosforin pidättäjä kuin rauta ja kalsiumilla olevan vain vähän merkitystä fosforin sitomisessa (Kaila 1959).

Turpeessa on aivan pinta (0-5 cm) kaikkein fosforirikkainta, mikä mm. Waren (1924) on todennut ojittamattomilla soilla. Fosforipitoisuus pienenee syvyyden kasvaessa ainakin 30-40 cm syvyyteen asti. Vahteran (1955) tutkimuksen mukaan kuivatuilla soilla näyttää pintakerroksen (10-20 cm) fosforipitoisuus yleensä pienenevän ojitustiän kasvaessa.

23. Lannoitefosforin sitoutuminen turpeeseen

Lisäämällä kasvinravinteita metsämaahan pyritään muuttamaan puiden ulkoisia kasvutekijöitä siten, että puuaineena korjattavan sadon määrä nousee ja sen laatu paranee. Tämä toimenpide vaikuttaa kuitenkin koko ekosysteemiin. Puun kyky käyttää hyväkseen lannoitteena annettuja ravinteita saattaa olla hämmästyttävän pieni. Haveraaen (1967) on todennut kaiken lannoitefosforin sitoutuvan ekosysteemiin, mutta puiden siitä saaman osuuden olleen alle 10 %.

Fosfori esiintyy lannoitteissa liukoisuudeltaan erilaisissa muodoissa. Lannoitteen liukoisuus ja rakeisuus (Pessi 1970) vaikuttavat fosforin käyttäytymiseen maassa. Super Y-lannokset ovat vesiliukoisia, raakafosfaatti ja suometsien PK-lannos ovat sitruunahappoliukoisia.

Vesiliukoisen fosforin epäorgaaniselle pidättymiselle on ominaista, että se sitoutuu happamassa maassa melko nopeasti raudan, alumiinin ja mangaanin sekä niiden hydraattien kanssa ja vähemmän happamassa maassa kalsiumin kanssa. Tällöin fosfori ei ole enää

huuhtoutumiselle altis. Maalajeissamme on yleensä rautaa, alumiinia ja mangaania; vain Sphagnum fuscum -turpeesta niitä saattaa olla niukasti.

Raakafosfaatin fosfori on taas liukenematonta ja käyttäytyy maassa tämän vuoksi eri tavoin kuin vesiliukoinen. Raakafosfaatin fosforin on jouduttava maassa olevien happojen liuotukselle alttiiksi, ennenkuin kemiallista sitoutumista toiseen muotoon voi tapahtua. Raakafosfaatin fosfori ei kulkeudu heti lannoituksen jälkeen veden mukana alaspäin sellaisessakaan rakkaturpeessa, joka ei sisällä rautaa ja alumiinia ja jossa vesiliukoinen fosfori pääsee liikkumaan sitoutumatta.

Kailan (1961) tutkimuksessa todetaan fosforilannoituksen lisäävän epäorgaanisen fosforin ohella erityisen voimakkaasti orgaanisen fosforin määrää. Tämä johtuu heti lannoituksen jälkeen tapah-
tuvasta biologisesta sitoutumisesta. Kasvillisuuden sekä pieneliöi-
den ottama fosfori palautuu vain osittain kiertoon heikosta mobi-
lisaatiosta johtuen ja näin ollen suuri osa jää orgaaniseen muotoon

24. Fosforin joutuminen pohjavesiin

Luontainen fosfori esiintyy turvemaalla tiukasti sitoutuneena, kuten aiemmin on jo todettu. Soiden vesien vähäistä fosforipitoisuutta osoittaa Wäreen (1961) saama tulos turvemaan kaivojen veden laadusta. Kaivojen keskisyvyys oli 1,1 metriä ja veden pinta oli aivan maan rajassa. Tutkituissa tapauksissa ei kaivovedestä löydetty analyysitarkkuuden ylittävää määrää fosfaatti-ioneja.

Lannoitefosforilla on ominaisuus pidättyä aivan maan pintakerrokseen riippumatta siitä, missä muodossa fosfori on annettu (Kaila 1958). Paavilaisen (1969) tutkimuksen mukaan eri valmisteista peräisin oleva lannoitefosfori on lisännyt vain 0-10 cm:n fosforipitoisuutta. Syvempien kerrosten fosforimäärissä ei ole tapahtunut nousua, mikä osoittaa ravinteiden syvyysuuntaisen liikkumisen olevan vähäisen. Samansuuntaisia havaintoja on saatu vuosikymmeniä vanhojen tuhkalannoituskokeiden yhteydessä. Näissä on havaittu suurinakin annoksina käytettyjen ravinnelisyksien muuttaneen turpeen ominaisuuksia vain 13-15 cm:n syvyyteen asti (Lukkala 1951, Huikari 1953). Vaikka turvemaiden fosforin joutumisesta pohjavesiin ei ole suoranaisia tutkimustuloksia, voidaan edellä esitetyn perusteella tätä mahdollisuutta pitää vähäisenä. Ruotsalaisen Tammin (1974) mukaan määrättyillä soilla alumiinin ja raudan määrät ovat niin alhaisia, että teoreettisesti on ajateltavissa fosforin voivan lannoituksen jälkeen joutua pohjavesiin. On huomattava, että hänen mielipiteensä ei ole nojautunut tutkimustuloksiin. Tärkeätä on muistaa tässä yhteydessä lisäksi se, että soilla pohjavedeksi nimitetty ilmivesi ei ole suoranaudessa yhteydessä varsinaisiin pohjavesiin.

25. Fosforin luontainen huuhtoutuminen

Luonnon vesien fosfori on joko suoranaisesti tai välillisesti peräisin maaperän fosforipitoisista kivilajeista. Rapautumisen seurauksena fosforia vapautuu jatkuvasti ja osa siitä kulkeutuu vesistöihin maan läpi suotautuvien vesien mukana, eroosion kuljettaman kiinteän maa-aineen mukana sekä pintavaluntana vesiin liuenneena.

Fosforin luontainen joutuminen vesiin on kuitenkin hidasta fosforin yleisen puutteen ja voimakkaan sitoutumisalttiuden vuoksi. Lisäksi Suomen maa- ja kallioperän fosforipitoisuus on yleensä melko alhainen. Vesistöihin joutuu fosforia paitsi maaperästä luontaisesti huuhtoutumalla myös taajamien, teollisuuden jätevesien mukana, suoraan sadevedestä sekä haja-asutusalueilla tapahtuvien ihmistoimintojen seurauksena.

Haja- eli diffuusiokuormitus tarkoittaa vesiin maaperästä luontaisesti huuhtoutuvien aineiden sekä ihmisen toiminnasta aiheutuvaa maaperän kautta tai suoraan vesiin muuhun kuin yhteen purkupaikkaan tulevan kuormituksen yhteismäärää (Särkkä 1971).

Fosforin huuhtoutuminen maaperästä on yleensä suhteellisen pientä. Luonnon osuus voidaan arvioida likimäärin, kun tarkastellaan alueita, joissa ihmisen vaikutus on vähäinen. Tiedetään, että luonnon aiheuttama fosforin huuhtoutuminen on Lapissa 3-7 kg/km² vuodessa, mutta Etelä-Suomessa vastaavasti 7-15 kg/km² vuodessa luonnon olosuhteista riippuen (Ranta-Pere 1974). Sadeveden aiheuttaman fosforikuormituksen on laskettu olevan noin 10 kg fosforia/km²/vuosi.

Maataloushallituksen Vesiteknillisen Tutkimustoimiston pieniltä järveltömiltä havaintoalueilta saatujen tulosten mukaan vesien kokonaisfosforin keskipitoisuudeksi todettiin aineistossa 0,106 mg P/l (Pasanen 1967). Muuntamalla tämä keskivaluman avulla fosforimääräksi voidaan todeta vesistöihin haja-asutuksen ja peltojen vaikutuksesta sekä luontaisesti maaperästä tulevan yhteensä fosforia keskimäärin noin 30 kg vuodessa neliökilometriltä. Valumavesien mukana kulkeutunut fosforin määrä on ollut Viron (1953) mukaan 17 kg/km² ja Kajosaaren (1965) mukaan 28 kg/km² vuodessa. Arvoissa on mukana myös ihmisen toiminnan aiheuttama hajakuormitus.

Täysin asumattomilla ja viljelemättömillä alueillakin saattavat fosforipitoisuudet poiketa toisistaan huomattavasti. Etelä-Suomessa on todettu hyvin suuriakin pitoisuuksia jopa 0,1 mgP/l ja Pohjois-Suomessakin noin 0,04 mg P/l. Luontaisen huuhtoutumisen suuruuden tunteminen on erikoisen tärkeää ryhdyttäessä tutkimaan lisääkö suometsien lannoitus luontaisia ravinnepitoisuuksia.

Ylimetsänhoitaja Metsänheimo (1970) on selvittänyt 1960-luvun alussa Lapissa eri ravinteisuustasoa olevilta lannoittamattomilta ojitusalueilta tulevien vesien ravinnepitoisuuksia. Eri suotyyppien välillä on todettu suuria eroja, samoin tuloksiin on vaikuttanut ojituksen ikä. Koko tämän aineiston keskiarvoina voidaan todeta luontaisen fosforin huuhtoutumisen olleen 3 kg/km^2 . Karsiston (1974) tutkimuksessa on todettu tehokkaasti ojitetulta mutta lannoittamattomalta suolta fosforin luontaisen huuhtoutumisen olleen 4 kg/km^2 .

Tarkasteltaessa fosforin huuhtoutumistuloksia voidaan todeta havaittujen arvojen vaihtelevan huomattavasti. Luontaisen fosforin vuotuisen huuhtoutumisen maksimi-arvot ovat Etelä-Suomessa vastanneet 30 kg/km^2 ja Pohjois-Suomessa olleet puolet siitä. Yleisesti ottaen suoalueelta valuvien vesien fosforipitoisuus on alhainen. Vielä tehokkaan ojituksen jälkeenkin arvot ovat huomattavasti keskimääräistä pienempiä.

26. Fosforin merkityksestä vesistössämme

Luonnonvesissä fosforin ja typen pitoisuudet ovat sangen pienet. Fosfori on vesistössämme yleensä tuotannon minimitekijänä, mutta eräissä tapauksissa myös typen puute saattaa rajoittaa biologisia tapahtumia.

Minimitekijän absoluuttinen pitoisuus ei yksin ole ratkaisevaa, vaan sen suhteellinen osuus muihin reaktioon osallistuviin aineisiin nähden. Minimitekijäkysymystä tarkasteltaessa on huomioitava myös muut kasvuun vaikuttavat tekijät. Meidän oloissamme esimerkiksi lämpötilalla, vedessä vallitsevilla valaistusolosuhteilla ja vesistön virtauksilla on suuri merkitys. Kemiallinen minimitekijä ei toisin sanoen yksin vaikuta levätuotannon ja hajotuksen intensiteettiin.

Vesistöjemme tyypillisiin ominaisuuksiin kuuluu myös pääasiassa soilta peräisin oleva ruskea suhteellisen inaktiivinen humusaine. Tätä on arvioiden mukaan keskimäärin 13 mg/l kuiva-aineksi laskettuna. Luonnossa humuksella on värin ja varjostuksen takia tuotantoa rajoittava vaikutus. Vaikka humus hajoaa vesistössä hitaasti, muodostaa se potentiaalisen happea kuluttavan kuormituksen.

Minimitekijänä oleva ravinne tulee käytetyksi joko hajotuksen tai uuden elimellisen materian synteesissä (Ryhänen 1967). Nykyisten tutkimustulosten perusteella ei tiedetä aiheuttaako lisääntyvä kasvinravinteiden pitoisuus humusvesissä ensin lisääntyvän perustuotannon, jonka seurauksena syntyy happihäiriöitä, vai ensisijaisesti humuksen hajoamisen ja hapen kulumisen sitä tietä.

Laikari ja Karimo (1967) ovat tiivistäneet kasvinravinteiden merkityksen vesistöissämme seuraavasti: "Merkittävimmät ja yleisimmin haittaa aiheuttavat muutokset vesistöissä liittyvät eloperäiseen aineeseen sekä sen hajotuksessa tapahtuvaan liuenneen hapen kulumiseen, olipa orgaaninen aine sitten vesistössä olevaa, siellä muodostuvaa tai sinne johdettavaa. Maamme karuissa vesistöissä ns. "minimiravinteilla" on keskeinen merkitys sen vuoksi, että eloperäisestä aineesta kasvuenergiansa saavat hajottajaorganismit eivät kykene hapettamaan orgaanista ainetta ilman solun rakennusaineena välttämättömiä, hajoitettavaan aineeseen sidottuja tai epäorgaanisessa muodossa olevia ravinteita.

Ja toisaalta vesistöissä ei muodostu uutta - ja hajotessaan happea kuluttavaa - eloperäistä ainetta, kasviplanktonia, ellei samoja ravinteita ole käytettävissä. Voimme siis karkeasti sanoa, että meillä vesien suojelun keskeinen kysymys on hajoamiskelpoisen orgaanisen aineen aiheuttama kokonaiskuormitus, jonka haitallisuutta ja määrääkin säätelevät minimitekijöinä olevat kasvinravinteet."

3. LANNOITUKSEN AIHEUTTAMAN FOSFORIN HUUHTOUTUMISEN RIIPPUVUUS ERI TEKIJÖISTÄ

31. Erilaiset levitysmenetelmät

Kuten on jo todettu aikaisemmin on käsinlevityksen osuus metsänlannoituksessa maassamme vielä varsin huomattava. Viime vuosina se on ollut 2/3 lannoitetusta kokonaisalasta. Koneellisten menetelmien käyttö on lisääntynyt ihmistyön kustannusten nousun seurauksena. Usein on ollut jopa mahdotonta saada levittäjiä. Ruotsissa on tälläkin alalla kehitys edennyt nopeammin. Koko 1970-luvun ajan koneellisten levitysten osuus siellä on ollut 97-98 % lannoituksista.

Suometsien talvilannoituksissa maassamme on käytetty moottori-
kelkkaa. Puustoa säästävänä menetelmänä on erityisesti lentolevi-
tyksellä tulevaisuuden näkymiä.

Toistaiseksi ei lannoitteiden levitysmenetelmistä ole ravinteiden huuhtoutumismielessä suoritettu vertailevia tutkimuksia. Eri yhteyksissä on kyllä käytetty erilaisia levitystapoja, mutta varsinaiset tutkimustulokset vesistövaikutuksista puuttuvat. Seuraavassa tarkastellaan jo olemassa olevien kokeiden pohjalta tähän asiaan liittyviä näkökohtia:

Levitystasaisuuden on todettu poikkeavan eri menetelmillä selvästi toisistaan (Virtanen 1975). Samalla on havaittu työjäljen olevan yllättävän epätasaista.

Käsinlevityksessä levittäjällä on luonnollisesti hyvä mahdollisuus vaikuttaa siihen, mihin lannoite leviää. Kulku-urat on pyrittävä valitsemaan siten, että lannoitteita joutuu mahdollisimman vähän ojiin. Lannoittaminen olisi suoritettava tyynellä säällä.

Moottorikelkkalevittimestä jakautuu rakeinen lannoite tasaisemmin kuin jauhemainen suometsien PK-lannos. Lannoitemäärästä jää valtaosa varsin kapealle alueelle kulku-uran molemmille puolille, mutta isoimmat rakeet lentävät jopa parinkymmenen metrin päähän. Karsiston (1973) tutkimuksissa lannoitteiden levitystasaisuudesta todettiin moottorikelkkaa käytettäessä jauhemaisen suometsien PK-lannoksen hajoavan alkuperäisiin komponentteihinsa keskipakoislevittimen ansiosta. Tällöin havaittiin fosforin ja kalin joutuvan eri etäisyyksille levittimestä keskimääräisen raekokonsa mukaisesti. Tällä on teoreettisesti merkitystä fosforin huuhtoutumista ajatellen, sillä paikallisesti tapahtuvan konsentraation liiallisen nousun lisäksi syntyy ravinne-epätasapaino. Kasvillisuus ei pysty käyttämään hyväkseen yksipuolista ravinteisuuden lisäystä. Tästä voi olla seurauksena huuhtoutuvan osuuden lisääntyminen.

Traktorilevittimellä työkaista on niin leveä, että ojitetulla suoalueella levitys olisi tapahduttava vain ojitussarkojen keskilinjalla, jotta välttyttäisiin lannoitteiden joutumiselta ojiin.

Lentolevityksessä on hyvin vaikea estää lannoitteiden joutuminen ojiin ja sieltä vesistöön. Lentolevitys onkin huomioon otettava vaaratekijä vesistölle. Virtasen tutkimuksissa osoittautui jauhemainen PK-lannoite rakeista heikommaksi levitysominaisuuksiltaan, etenkin tuuliherkkyytensä vuoksi. Tämä merkitsee samalla, että hienojakoinen lannoite joutuu rakeista helpommin ojiin. Paavilaisen (1972b) tutkimuksissa on todettu, että lannoitteet lentolannoituksessa ovat tulleet maahan varsin epätasaisesti. Osa alueista on jäänyt joko täysin tai lähes kokonaan lannoittamatta ja osa on saanut hyvinkin suuria lannoitemääriä. Epätarkkuuden aiheuttaman

riskin lisäksi nousee paikallisesti ravinteiden konsentraatio, mikä puolestaan lisää huuhtoutumisalttiutta. Lentolannoituksessa on koko työn tarkkuus ja levitystasaisuus riippuvainen lentäjän kokemuksesta ja arviointikyvystä. Levitystyön huolellinen suorittaminen pienentää huomattavasti metsänlannoituksen vesille aiheuttamaa räsitusta.

Ajatellen suometsien lannoituksen tulevaisuutta olisi levitysmenetelmiä kehitettävä siten, että lannoitteiden joutuminen ojiin estettäisiin täysin. Vesistöjen suojelun lisäksi tällä on merkitystä myös metsätaloudellisessa mielessä, koska ojiin joutunut osuus lannoitteista ei ole puiden käytettävissä. Toisaalta osa ojiin joutuneista ravinteista tulee käyttöön jo ojassa aiheuttaen ojan rehevöitymistä ja nopeuttaen umpeenkasvua. Mikäli lannoitteiden pääsy ojiin pystyttäisiin estämään, vähenisi myös ojien perkaamistarve.

32. Levitysjankohdan vaikutus

Levitysjaksiksi helppoliukoisille fosforilannoitteille kuten superfosfaatille suositellaan vain sulan maan aikaa. Vaikealiukoisia fosforilannoitteita levitetään myös talvella. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimukset ovat osoittaneet, että NPK-lannoitus, jossa fosfori on hienofosfaattina, voidaan antaa sulalle maalle milloin tahansa ilman merkittävää kasvuvaikutuksen heikkenemistä (Paarlahti 1967, Karsisto 1967). Tästä on pääteltävissä, että ainakaan suuremmissa määrin tapahtunut huuhtoutuminen ei ole ollut mahdollista sulan maan aikaan suoritetuissa lannoituksissa.

Paavilainen (1969) on tutkinut myös fosforilannoitteiden kulkeutumista lumikerroksen läpi. Mukana ovat olleet suometsien PK-lannos, hienofosfaatti, superfosfaatti ja fosforirikas super Y-lannos.

Tutkimus osoitti, että fosforilannoitteiden kulku lumessa on mää-
rällisesti verraten vähäistä. Tulokset osoittavat, että suoritettaes-
sa lannoitus kuukautta ennen lumen sulamista, vain murto-osa lannoit-
teista ehtii saavuttaa maan pinnan ennen sulamisajankohtaa. Tutki-
muksista selviää lisäksi, että suometsien PK-lannosta lukuunottamat-
ta on fosforin määrä ollut turvemaassa 0-10 cm:n syvyydessä lumen
sulamisen jälkeen lannoitetuilla koeruuduilla selvästi suurempi
kuin lumelle levitetyillä koeruuduilla. Tulos osoittaa, että fosfori
on ilmeisesti kulkeutunut lumelle levitettäessä sulamisvesien muka-
na hukkaan tai ainakin tunkeutunut syvimpiin kerroksiin. Vain suo-
metsien PK-lannoksen karkeajakoista raakafosfaattia on jäänyt enem-
mälti maahan. Veteen liukenematonta mutta hienojakoista hienofosfaat-
tia on sitä vastoin osittain mennyt sulamisvesien mukana koeruuduilta
pois. Koeruutujen ravinteisuudessa ei ollut mainittavaa eroa 10 cm
syvemmällä. Tämä osoittaa, että ravinteiden syvyysuuntainen liikku-
vuus on vähäistä.

Vesihallituksen suorittamissa kokeissa on fosforin ja kalin huuhtoutumistuloksia lumelle levitettäessä esitetty Rasinaho nimiseltä alueelta (Särkkä 1970). Valuma-alueesta oli lannoitettu 47 % suometsien PK-lannoksella helmikuussa käsityönä. Lannoituksen jälkeen alueelta poistuvien vesien fosforipitoisuus lisääntyi toistovuoden tarkastelujakson aikana keskimäärin vain 0,004 mg/l ja kalin osalta 0,22 mg/l. Käyttäen keskimääräisiä vuosivaluntoja ja ottaen huomioon lannoitetun alan osuuden koko alueesta saadaan lannoituksen seurauksena huuhtoutuneiden ravinnemäärien suuruudeksi fosforin osalta 2,4 kg P/km². Särkän tuloksista on todettavissa, että huuhtoutumista tapahtuu lannoitusajasta riippumatta pääasiassa runsaan veden aikana keväisin ja syksyisin.

Karsiston ja Ravelan suorittama tutkimus (1971) eri ajankohtina annettujen fosforilannoitteiden huuhtoutumisesta metsäojitusalueilta sisältää levitysaikakokeen, joka lähinnä kuvaa tilannetta ryhdyttäessä suorittamaan uusintalannoitusta.

Tutkittava alue oli peruslannoitettu suometsien PK:lla vuonna 1968. Lumelle levitys suoritettiin sekä sulavalle lumelle että sulalle maalle. Aikaisempien tutkimusten mukaan lannoituksen jälkeen ylimääräisten ravinteiden tulo loppuu jo ensimmäisen vuoden jälkeen (Karsisto 1970). Kuitenkin tämä perusravinnetason kohottaminen on merkinnyt suurempaa ravinteiden huuhtoutumismahdollisuutta. Tuloksissa esiintyy fosforin kohdalla huomattavaa hajontaa. Erikoista on ollut, että nimenomaan sulalle maalle suoritettu levitys on nostanut ojavesien fosforipitoisuutta eniten. Toisaalta tärkeä havainto myös vesiensuojelullisessa mielessä on se, että yksipuolisesta vain yhtä pääravinnetta sisältävästä lannoituksesta on huuhtoutunut eniten. Keskimääräinen lannoituksen aiheuttama fosforipitoisuuden lisäys ojavesissä jäi vähäiseksi, ollen vain 0,008 mg fosforia/l. Kokonaishuuhtoutumismääränä tämä on tehnyt vain 2 kg P/km². Laskennassa on käytetty ylisyöksypadolla mitattuja valunnan arvoja. Tulos vahvistaa sitä käsitystä, että raakafosfaattia voidaan joko sellaisenaan tai suometsien PK-lannoksena levittää myös lumelle.

33. Suotyypin ja käytetyn lannoitelajin vaikutus

Metsäpuolen suorittamissa lannoitelajitutkimuksissa on pääpaino yleensä ollut puiden reaktioissa. Harvemmin on selvitetty eri lannoitelajien vaikutuksia vesistöön joutuvien ravinteiden määriin. Useissa tutkimuksissa (mm. Paarlahti & Karsisto 1968) on tarkasteltu eri fosforilannoitteiden vaikutusta puiden kasvuun. Kaikkien käytettyjen fosforilannoitteiden aiheuttaman kasvun lisäyksen on todettu olevan yhtä voimakkaan käytettyjen fosforimäärien ollessa yhtä suuret. Samalla on kuitenkin erillisissä osaselvityksissä havaittu, että kaikista vesiliukoisista lannoitteista aiheutuu lumelle levityksen seurauksena voimakas huuhtoutumisvaara (Paavilainen 1969).

Superfosfaatti ja superfosfaattipohjaiset Y-lannokset ovat vesiliukoisia.

Turvelajien vertailuista fosforinhuuhtoutumismielessä on klassillisena esimerkkinä Bremenin koeasemalla Saksassa Tacken (1898) suorittamat lysimetriset tutkimukset. Fosforia ei huuhtoutunut analyysitarkkuuteen riittävää määrää lannoituksen jälkeen rahka- eikä mutaturpeelta. Salonen (1968) on suorittamiensa astiakokeiden yhteydessä todennut pelkälle rahkaturpeelle annetun superfosfaattilannoituksen aiheuttaneen läpivaluneisiin vesiin korkean fosforipitoisuuden verrattuna muihin käytettyihin fosforivalmisteisiin. Vesistöä suojelevana toimenpiteenä hän on varoittanut suurten rahkasuoalueiden lannoittamista superfosfaattipohjaisilla lannoitteilla. Samaan tulokseen on päätynyt Karsisto (1973) astiakokeissa, joissa neljällä eri turvealustalla testattiin neljäntoista erilaisen fosforivalmisteen huuhtoutumista. Turvelajeista rahkaturpeen todettiin aiheuttavan suurimman fosforipitoisuuden läpivaluneisiin vesiin. Erityisesti superfosfaatista rahkaturvealustalla tuli fosforia lävitse monikymmenkertaiset määrät verrattuna raakafosfaattiin muilla alustoilla.

Koska metsäpuolella ei tarvita nopealiukoisia lannoitteita, uusien fosforivalmisteiden kehittämisessä olisi entistä enemmän kiinnitettävä huomiota vesiensuojelullisiin näkökohtiin.

34. Ojituksen vaikutus

Lannoitettavat turvemaat ovat aina myös ojitettuja. Koska ravinteet kulkeutuvat suometsistä ojavesien mukana, on syytä tarkastella erilaisten ojitusten vaikutuksia. Useissa tutkimuksissa on selvitetty ojituksen aiheuttamia muutoksia valuma-alueiden virtaamissuhteissa, sen sijaan ojituksen aiheuttamaa humus- ja kiintoainepitoisuuksia sekä vesistöjen fosforipitoisuuksia on selvitelty suhteellisen vähän.

Seuraavassa käsitellään suoritettujen tutkimusten pohjalta ojituksen tehokkuuden vaikutusta mainittuihin asioihin.

Ojituksen vaikutuksia pohdittaessa on kiinnitetty eniten huomiota valumien muuttumiseen. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että ojitus suurentaa alivalumia. Ylivalumien muuttumisesta on sen sijaan esitetty hyvin erilaisia mielipiteitä. Tulvakomitea (1939) on esittänyt ojituksen voivan sekä vähentää että lisätä ylivalumaa riippuen suon ominaisuuksista ja ojien sijainnista. Hallakorpi (1936) sekä Metsänheimo (1936) ovat päätelleet ojituksen aiheuttaman pohjaveden pinnan alentumisen ja maan veden varastoitumiskyvyn lisääntymisen johtavan ylivalumien pienenemiseen. Seunan (1974) tutkimuksissa avosoilla todetaan ojituksen lisänneen valumaa kaikkina vuodenaikoina. Vuosivalunnan kasvu oli keskimäärin 43 %. Suurimmalta osalta tämä johtuu haihtumisen vastaavasta pienentymisestä. Metsäojitus vaikuttaa Mustosen (1970) mukaan ojitusalueelta valuvan veden määrään lähinnä kahta kautta: ensinnäkin pohjaveden pinta laskee, mikä vaikuttaa haihduntaa pienentävästi ja sitten yleensä valuntaa lisäävästi. Puuta kasvavilla soilla haihdunnan pieneneminen ja valunnan lisäys on vähäisempää kuin avosoilla. Toisaalta suolle kaivetut ojat tekevät veden virtauksen mahdolliseksi lähes kaikkina vuodenaikoina. Myös Huikarin (1959) tutkimuksen mukaan pinta-alayksikköä kohti laskettu valunta on aukeilla saroilla selvästi ja säännönmukaisesti suurentunut sarkaleveyden kaventuessa ja vastaavasti haihdunta on ollut pienempi kuin vastaavan levyisiltä aukeilta saroilta. Yleisesti voidaan todeta metsäojituksen tasaavan valuntoja. Toisaalta pitkällä tähtäimellä metsäojitus vähentää puustojen rehevöidyttä valuntaa. Tähän vaikuttaa eniten sateesta tapahtuvan latvuspöydän lisääntyminen (Päivänen 1966).

Valunnan lisääntyminen nostaa virtaamia, mutta saattaa lyhentää altaiden viipymiä. Tämä voi joko parantaa tai huonontaa veden laatua. Yleensä veden laatu paranee altaissa viipymän kasvaessa.

Virtaamien kasvun johdosta saadaan alapuolisiin vesiin runsaammin vettä, mutta viipymien pienenemisestä johtuen saattaa vesi olla huonompilaatuista. Ojituksen aiheuttama alivirtaamien kasvu vaikuttaa edullisesti etenkin järvettömällä ja jätevesien voimakkaasti kuormittamilla vesistöalueilla. Maataloushallituksen Vesiteknillisen Tutkimustoimiston pieniltä järvettömiltä havaintoalueilta saatujen tulosten mukaan on todettu, ettei metsäojituksen voida väittää pilaaavan veden laatua (Mustonen, Särkkä 1967).

Ojitus lisää ojitustyön kestäessä alueelta virtaavan veden kiintoainemäärää, josta suurin osa on turpeesta peräisin olevia hiukkasia. Mittapatoalueelta tehtyjen tutkimusten mukaan metsäojituksella ei ole pitempiaikaista vaikutusta alueelta virtaavan veden kiintoainemäärään (Kohonen 1972). Suuri osa kiintoaineesta sedimentoituu jo ojiin aiheuttaen ojien tukkeutumista. Kiintoaineksen aiheuttamat haitat näkyvät useimmiten vain ensimmäisessä järvialtaassa, jossa vesi kirkastuu sedimentaation avulla (Kenttämies 1972).

Metsäojituksen tärkein vaikutus vesistöihin lienee humuspitoisuuden nousu. Karsisto (1974) toteaa, että heti ojituksen jälkeen on humuksen määrä ojavesissä ollut kaksinkertainen verrattuna vanhaan ojitukseen. Vanhan yli 30 vuotta ojitettona olleen alueen vesien humuspitoisuus on vastannut läheiseltä ojittamattomalta alueelta virranneen luonnontilaisen puron humuspitoisuutta. Myös Laaksosen (1970) tutkimuksessa todetaan ojituksella olevan vaikutusta Suomen olosuhteissa vesistöjen veden laatuun humuspitoisuutta nostavana tekijänä. Humuksesta pidättyy sen saostumistaipumuksen ansiosta suuri osa järvialtaisiin (Laaksonen 1970). Kuormitus kohdistuu voimakkaana välittömästi ojitusalueen alapuolella sijaitseviin järviin. Vaikutus veden laatuun alajuoksulla taas riippuu oleellisesti yläpuolisen vesistön osan järvisyydestä. Metsäojituksen veden humuspitoisuutta ja muuta lietettä lisäävä vaikutus tasaantuu nopeasti ja päättyy muutaman vuoden kuluksena ojien kaivusta. Kuitenkaan tällä hetkellä ei voida ennustaa kuinka pitkäksi aikaa suoalueen ojitus lisää vesistön kuormitusta.

Kenttämiehen suorittamien tutkimusten mukaan vesistöjen fosforipitoisuudet eivät muutu metsäojituksen vaikutuksista. Ylimetsänhoitaja Metsänheimon aineistoista sitä vastoin voidaan todeta jo pelkällä metsäojituksella olevan merkitystä ravinteiden lisääjänä. Karsiston ja Ravelan (1971) tutkimuksissa ojituksen tehokkuuden vaikutuksesta huuhtoutumiseen todetaan siirtymisen ojitetuista ja lannoittamattomista suometsistä tehokkaaseen ojitukseen ja lannoitukseen nostavan ojavesien fosforipitoisuuksia kaksinkertaisiksi. Huuhtoutuneet kokonaismäärät nousisivat vieläkin enemmän, koska tehostettu ojitus lisää myös valuneiden vesien määriä. Tehokkaasta ojituksesta ja lannoituksesta johtuva kokonaishuuhtoutuman lisäys ensimmäisenä vuotena on ollut koko aineiston keskiarvona 66 g P/ha. Lisäys on erityisesti prosentuaalisesti suuri, mutta myös absoluuttisena määränä sillä on merkitystä vesistöjä ajatellen.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Edellä esitetyt arvot fosforin huuhtoutumisesta ovat yksittäisiä tutkimustuloksia, jotka kuvaavat vain kyseisen alueen huuhtoutumia. Näiden yleistäminen saattaa johtaa virhepäätelmiin.

Selvitettäessä yleisesti suometsien lannoituksen vaikutusta vesistöihin, olisi perustettava koekenttiä eri suotyypeille ja eri tavoin ojitetuille alueille, joilla tutkittaisiin eri levitystapojen ja levitysjankohtien vaikutuksia. Näin saataisiin mainituista tekijöistä aiheutuvat ravinteiden huuhtoutumisen erot selvitettyä.

Suopuolen tutkimuksissa on tällä hetkellä seurattu pääasiassa ojavesien ravinnepitoisuuksien muuttumista. Tutkimukset olisi entistä enemmän laajennettava myös alapuolista vesistöä koskeviksi, jolloin selvitetäisiin myös suometsien lannoituksen vaikutusta kalantuotantoon.

Soveltamalla käytäntöön olemassa oleva tietous lannoitusajan ja -tavan merkityksestä huuhtoutumisen kannalta voidaan vähentää ravinteiden joutumista vesistöön.

Suometsien lannoitusmetodiikkaa kehitettäessä olisi pyrittävä ratkaisuihin, jotka metsänlannoittajan lisäksi tyydyttäisivät myös vesiensuojelijaa.

5. SUOMETSIEN LANNOITUS VESIENSUOJELUN KANNALTA

Nykyisin metsänlannoituksessa käytettävien ravinteiden määrä on noin 10 % peltolannoitteiden määrästä. Metsänlannoituksen lisääntyessä tulee sen osuus myös lannoitteiden kokonaiskäytössä kasvamaan. Tästä syystä tulisi entistä enemmän kiinnittää huomiota metsänlannoituksen aiheuttamiin muutoksiin vesistöissä. Erityisesti tämä koskee suometsien lannoitusta, sillä toistaiseksi fosforia käytetään vain turvemaidilla.

Käytettävissä olevien tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että suometsien lannoituksen aiheuttamat lisäykset fosforin huuhtoutumismäärissä ovat pieniä. Suometsien lannoitusta suoritetaan yleensä alueilla, jotka ovat kasvipeitteisiä, luonnontilaisia ja muokkaamattomia sekä huuhtoutumista ajatellen kohtalaisen tehotomasti ojitettuja. Lannoitetut alueet sijaitsevat kuitenkin suurimmalta osalta pienten latvavesien alueilla. Vesistöt, jotka muuten säilyisivät luonnontilaisina, joutuvat suometsien lannoituksen takia lisäkuormituksen kohteiksi. Suuret lannoitusalat voivat täten edistää lampien ja järvien rehevöitymistä alajuoksun alueilla, jotka jo ennestään ovat huomattavan kuormituksen rasittamia.

Lannoituksen aiheuttama vähäinenkin fosforin lisäys sitoutuu levämassaan sekä hajottajaorganismeihin. Osa fosforista joutuu näin vähitellen pohjasedimenttiin.

Mikäli resipientin hapen kuluminen lisääntyy ja pohjasedimentin ja veden välinen rajapinta pelkistyy, saattaa pitkien aikojen kuluessa pohjalietteeseen varastoitunut fosfori päästä veteen. Lietteen ja rajapinnan väliset ilmiöt ovat kuitenkin meidän olosuhteissamme vielä melko tuntemattomia.

Kokonaiskuormitukseen verrattuna suometsien lannoituksen aiheuttama ravinteiden lisäys on hyvin pieni, rohkeimpienkin arvioiden mukaan vain 1 %. Vesistöjemme kannalta huuhtoutuneita fosforimääriä tärkeämpi lieneekin soiden metsätaloudellisen käytön seurauksena lisääntyvä humuksen määrä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- H a l l a k o r p i, J.A. 1936. Suurenevatko vesistöjen vedenpaljoudet joenperkaus- ja maankuivaustöiden johdosta. Teknillinen Aikakauslehti, Helsinki.
- H a v e r a a e n, O. 1967. Vekst- og naeringstudier i et gjødslingsforsøk med svartgran *Picea mariana* (Mill.), på myr. Med. Norske skogforsøksv. 85:143-175.
- H u i k a r i, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Comm. Inst. For. Fenn. 42.2.
- "- 1959. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Comm. Inst. For. Fenn. 51.2.
- K a i l a, A. 1956. Phosphorus in various depths of some virgin peatlands. J. Sci. Agric. Soc. Finland. 28.2:90-104.
- "- 1958. Effect of various kinds of phosphorus fertilizers on a peat soil. J. Sci. Agric. Soc. Finland. 30.4:213-222.
- "- 1959. Retention of phosphate by peat samples. J. Sci. Agric. Soc. Finland. 31.3:215-224.
- "- 1961. Fertilizer phosphorus in some Finnish soils. J. Sci. Agric. Soc. Finland. 33.2:131-139.
- "- 1963. Total content of phosphorus in some Finnish soils. J. Sci. Agric. Soc. Finland. 35.1:19-26.
- K a j o s a a r i, E. 1965. Huomioita fosforin huuhtoutumisesta vesistöihin. Vesitalous VI: 3.17-25.
- K a r s i s t o, K. 1967. Eri ajankohtina annetun NPK-lannoituksen aiheuttamista reaktioista rämeen männyntaimistoissa. Suo 18(1967),4.
- "- 1970. Lannoituksessa annettujen ravinteiden huuhtoutumisesta turvemailta. Suo 21:60-65.
- "- , R a v e l a, H. 1971. Washing away of phosphorus and potassium from areas drained for forestry and topdressed at different time of the year. Acta Agr. Fenn. 123.
- K a r s i s t o, K. 1972. Lannoituksen vaikutuksen kestoajasta suometsissä. Reports from Pyhäkoski Research Station at the Finnish Forest Research Institute 2(1972).
- "- 1973. Lannoitteiden levitystasaisuudesta moottorikelkkaa käytettäessä. Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tutkimus- aseman tiedonantoja 5:25.

- K a r s i s t o, K. 1974 a. On the duration of fertilization influence in peatland forests. Proceeding of the International Symposium on Forest Drainage. Jyväskylä-Oulu, Finland 1974.
- "- 1974 b. Ojituksen ja metsänlannoituksen vaikutus vesien saastumiseen. Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tutkimus-
aseman tiedonantoja 13.
- K e n t t ä m i e s, K. 1972. Metsäojituksen vaikutus vesistön veden laatuun. IV maanparannus- ja vesitaloussymposiumi, Vaasa 30.-31.5.1972. Vesihallitus, tiedotus 34 A. Helsinki.
- K o h o n e n, T. 1972. Ravinteiden huuhtoutuminen mittapatoalueilta. Kuukausi- ja vuorokausihuuhtoutumat sekä korrelaatiot. Käsikirjoitus. Vesitutkimustoimisto.
- L a a k s o n e n, R. 1970. Vesistöjen veden laatu. Vesiensuojelun valvontaviranomaisten vuosina 1962-1968 suorittamaan tarkkailuun perustuva tutkimus. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 17. Helsinki. 132 pp.
- L a i k a r i, H., K a r i m o, K. 1967. Jätevesien vaikutus vesistöihin. Vesien käytön kokonaissuunnittelu. Osa II.
- L u k k a l a, O.J.1951. Kokemuksia Jaakkoinsoon koeojitusalueelta. Comm. Inst. For. Fenn. 39.6.
- M e t s ä n h e i m o, U. 1936. Die Entwässerung für den Waldbau und der Wasserhaushalt. V Hydr. Konf. d. Baltischen Staaten Bericht 8 B, Helsinki.
- "- 1970. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla oleva julkaisematon materiaali.
- M u s t o n e n, S., S ä r k k ä, M. 1967. Maa- ja metsätalouden aiheuttama vesistön kuormitus. Vesien käytön kokonaissuunnittelu. Osa II.
- M u s t o n e n, S. 1970. Soiden kuivatuksen ja lannoituksen vaikutus valuntaan. Maanparannussymposiumi, Helsinki 20.-21.10. 1970.
- P a a r l a h t i, K. 1967. Lannoitusajankohdan vaikutus rämemännikön kasvureaktioihin. Comm. Inst. For. Fenn. 63.4:1-20.
- "- , K a r s i s t o, K. 1968. Koetuloksia kaliummetafosfaatin, raakafosfaatin, hienofosfaatin ja superfosfaatin käyttökel-
poisuudesta suometsien lannoituksessa. Folia For. 55.
- P a a v i l a i n e n, E. 1969. Tutkimuksia levitysavajankohdan vaikutuksesta nopealiukoisten lannoitteiden aiheuttamiin kasvureaktioihin submetsissä. Folia For. 75:25.

- P a a v i l a i n e n, E. 1972 a. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatlands. Comm. Inst. For. Fenn. 77.3.
- "- 1972 b. Lannoitteiden lentolevityksen tasaisuudesta. Metsän-
tutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 3:8.
- P a s a n e n, M. 1967. Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedet. Ve-
sien käytön kokonaissuunnittelu. Osa II.
- P e s s i, Y. 1970. Väkilannoitteiden ominaisuuksista ravinteiden
huuhtoutumisen kannalta. Suo 21:58-59.
- P ä i v ä n e n, J. 1966. Sateen jakaantuminen erilaisissa metsiköis-
sä. Silva Fennica 119.
- R a n t a - P e r e, V. 1974. Vesistöjen hajakuormitusten arvioimi-
nen. Ympäristö ja Terveys 5:309-321.
- R y h ä n e n, R. 1967. Yhteenveto vesistöjen kuormitusta ja reak-
tioita käsitelleistä esitelmistä. Vesien käytön kokonais-
suunnittelu. Osa II.
- S a l o n e n, M. 1968. Apatite as a phosphorus fertilizer. J. Sci.
Agric. Soc. Finland. 40.4:209-218.
- S e u n a, P. 1974. Influence of forest draining on the hydrology
of an open bog in Finland. Proceedings of the International
Symposium on Forest Drainage. p. 385-393.
- S ä r k k ä, M. 1970. Metsänlannoituksen vaikutus vesistöissä.
Suo 21:67-74.
- "- 1971. Kasvinravinteiden huuhtoutuminen maaperästä Suomessa.
Kemian Teollisuus 28:367-377.
- T a c k e, Br. 1898. Untersuchungen über die Zusammensetzung der Sic-
kerwasser aus nicht gedüngten und aus gedüngten Moorboden
mit besonderer Berücksichtigung der Stickstoffverbindungen.
Landwirtschaftl. Jahrbücher. 27. Erg. Band 4. 347-391.
- T a m m, C.O., H o l m e n, H., P o p o v i c, B., W i k l a n d e r
G. 1974. Leaching of plant nutrients from soils as consequen-
se of forestry operations. Ambio 3:211-221.
- T u l v a k o m i t e a n m i e t i n t ö. 1939. Komiteamietintö
n:o 14. Helsinki.
- V a h t e r a, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soiden
ravinnepitoisuuksista. Comm. Inst. For. Fenn. 45:4.
- W a r e n, H. 1924. Untersuchungen über die botanische Entwirkung
der Moore mit Berücksichtigung der chemischen Zusammenset-
zung der Torfes. S. Suovilj. yhd. tiet. julk. 5.

- V i r o, P.J. 1953. Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. Comm. Inst. For. Fenn. 42.1.
- V i r t a n e n, J. 1975. Lannoitustasaisuus metsänlannoituksessa. Comm. Inst. For. Fenn. 86.1.
- W ä r e, M. 1961. Turvemaan kaivoista ja suovesistä. Suo 12 (1961) 6:96-97.



