

Seppo Huurinainen

Seppo Huurinainen

## Bikarbonaatti ja kasvualueen ravinteisuus turve- ja puristenesteanalyysissä männyn paakkutaimilla

**Huurinainen, S.** 1999. Bikarbonaatti ja kasvualueen ravinteisuus turve- ja puristenesteanalyysissä männyn paakkutaimilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1999: 203–214.

Kahden metsätaimiturpeen happamuutta ja ravinnepitoisuutta seurattiin kahden vuoden ajan turve- ja puristenesteanalyysillä männyn paperikennotaimien kasvatuksessa. Ensimmäisenä vuonna taimia lannoitettiin samalla tavoin (N 9,7, P 2,7 ja K 13,9 g/m<sup>2</sup>). Toisena vuonna lannoitus eriytettiin kolmelle tasolle (tavoitejohtokykyarvot 1. taso: 0,4–0,8, 2. taso: 0,9–1,4 ja 3. taso: 1,5–2,5 mS/cm). Ensimmäisenä vuonna puristenesteen pH-arvot vaihtelivat 4,9:stä 5,5:een ja olivat toisena vuonna selvästi korkeampia nosten syksyllä 6,1:een. Turpeen pH-arvot olivat 0,3–0,6 pH-yksikköä puristenesteestä mitattuja arvoja korkeampia.

Puristenesteen bikarbonaatti (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)-pitoisuudet olivat ensimmäisenä vuonna alhaisia (26–43 mg/l) mutta nousivat toisena vuonna aina 240 mg/l:aan. Pitoisuudet olivat sitä korkeampia mitä voimakkaammin taimia lannoitettiin, minkä vuoksi bikarbonaattipitoisuuden ja johtokyvyn välinen riippuvuus oli melko voimakas. Puristenesteen bikarbonaattipitoisuus ei ilmentänyt turpeen pH:ta eikä sillä voida korvata pH-mittausta. Tutkimuksen perusteella bikarbonaattimääritystä ei kannata sisällyttää turpeen puristenesteanalyysiin.

Turpeesta uuttamalla ja puristenesteestä suoraan analyysoitujen makroravinnepitoisuuksien väliset riippuvuudet olivat melko voimakkaat fosforilla ja kaliumilla, mutta tyypellä riippuvuus oli alhainen. Puristenesteen johtokyky oli korkeimmillaan voimakkaimman lannoitusjakson jälkeen heinäkuussa, mutta turvelietoksesta mitattu johtoluku saavutti maksiminsa neljän viikon viiveellä elokuussa. Tämän eriaikaisuuden vuoksi johtoluvun ja johtokyvyn välinen riippuvuus oli heikko.

Puristenesteanalyysin tulokset vaikuttivat turveanalyysin tuloksia luotettavammilta nimenomaan tyypin kohdalla, mutta aineisto ei suppeutensa vuoksi soveltunut eri menetelmien paremmuuden vertailuun.

Avainsanat: taimitarhat, lannoitus, ravinneanalyysi, puristenesteet, bikarbonaatti, *Pinus sylvestris*  
Yhteyshenkilöt: Rantasalmen ympäristökasvatustutkimuskeskus, PL 41, 58901 Rantasalmi  
Faksi 015-361 925, sähköposti seppo.huurinainen@pp.inet.fi  
Hyväksytty 28.1.1999

# 1 Johdanto

Metsäpuiden taimitarhoilla on taimien lannoituksen ohjaamiseen käytetty peltomaiden analysointiin kehitettyjä analyysimenetelmiä, joissa ravinteet uutetaan maanäytteestä (esim. Vuorinen ja Mäkitie 1955). Tulosten tulkintaan on esitetty metsäpuiden taimille soveltuvia ohjearvoja (Armson ja Sadreika 1974, Westman ja Hänninen 1977, Raitio ja Rikala 1981, Youngberg 1984, Viljavuustutkimuksen ... 1988, 1996). Kasvukauden lopussa on saatettu katsoa tarpeelliseksi taimien ravinnetilän tutkiminen neulasanalyysin avulla. Saatuja määritysarvoja on sitten verrattu kriittisiin ravinnepitoisuuksiin tai optimisuositusarvoihin (esim. Puustjärvi 1965, Fiedler ym. 1973, Raitio ja Rikala 1981, Landis 1985, 1989, Viljavuustutkimuksen ... 1988, 1996).

Perinteisissä, uuttamiseen perustuvissa menetelmissä turpeen tiivistyminen ja näytteiden käsittely kuten kuivaus ja jauhatus muuttavat turpeen tilavuutta ja rakennetta, mikä saattaa vääristää tuloksia (Puustjärvi 1984b, 1987, Timmer ja Parton 1984). Edelleen eri uuttoliuksilla (Niskanen ja Jaakkola 1985, Schmilewski ja Günther 1988), uuttosuhteilla ja uuttoajoilla (Tummavuori ym. 1981, Sonneveld 1988, Landis 1989) on vaikutusta analyysiarvoihin. Myös puutarhoilla on puristeneesteanalyysiä tutkittu ja esitetty tuloksena kasvilajikohtaisia ohjearvoja (Lucas ym. 1972, Kasvihuoneanalyysien ... 1992). Metsäpuiden taimille on esitetty asiantuntijaryhmien laatimat turpeen ja puristenesteen ravinnepitoisuuksien ohjearvot (Viljavuustutkimuksen ... 1988, 1996).

Sekä turpeen vesilietoksesta, että turpeen puristeneesteestä mitattua sähkönjohtokykyä ja johtolukua ( $10 \times$  johtokyky) käytetään kasvualustan ravinnetilän yleisindikaattorina. Molemmat tunnuksat mitaavat kasvualustassa olevien vesiliukoisten suolojen kokonaispitoisuutta. Johtokyvyn ja johtoluvun käyttö perustuu ajatukseen, että valtaosa käyttökelpoisista ravinteista on vesiliukoisissa eikä esim. vaihtuvassa muodossa (Lucas ym. 1972, Lindell 1980, Puustjärvi 1984a, Landis 1990). Puristenesteen sähkönjohtokyky kuvaa siten kasvualustan liuosfaasissa olevaa ravinnetasoa varsin luotettavasti vastaavissa kasvualustan kosteuksissa (Rikala 1996) ja ilmentää erittäin luotettavasti kasvien vedensaannin nopeutta (Puustjärvi 1979a).

Puristenesteen johtokyvyn mittauksista on tullut viikottainen rutiinimittaus lähes jokaisella metsätaimitarhalla. Suomessa neste puristetaan mekaanisesti käsin tai puristimilla viljelykosteasta turpeesta (Puustjärvi 1979a, Viljavuustutkimuksen ... 1996). Useissa maissa johtokyky mitataan *vedellä kyllästytyä kasvualustasta* (saturated medium extract) imupumpun avulla otetusta vesinäytteestä. Myös yksinkertaisempia *korvaus-* (growing medium solution displacement) ja *läpivuotomenetelmiä* (leachate) käytetään johtokyvyn määrittämisessä (Lucas ym. 1972, Timmer ja Parton 1984, Landis 1989). Tyypeä määrittää lisäksi itsenäisesti noin 10 % taimitarhoistamme nitraattiliuskoilla (Piirainen 1982) tai mittarilla ja nesteen pH:ta vielä harvempi taimitarha (Ylikoski, suullinen tiedonanto 21.4.1996).

Turpeen puristeneesteanalyysiin otettiin 1980-luvun alkupuolella mukaan uusi analysointikohde – nesteen bikarbonaattipitoisuus, jota pidettiin jonkinlaisena pH:n korvikkeena. Korviketta arveltiin tarvittavan, koska pH:n katsottiin voivan muuttua merkittävästi näytteenoton ja analysoinnin välisenä aikana (Puustjärvi 1984c). Korkean bikarbonaattipitoisuuden on todettu ilmentävän kasvualustan kosteutta, heikkoa kaasunvaihtoa (Mengel ja Kirkby 1982) ja heikentävän ravinteiden saatavuutta (Kramer ja Peterson 1990).

Männyn paakkutaimien lannoituskokeen (Huurinainen 1986, Rikala ja Huurinainen 1990) yhteydessä seurattiin taimien kasvun, morfologisten ominaisuuksien ja neulasten ravinnepitoisuuksien lisäksi kasvualustan ravinnepitoisuutta. Tässä tutkimuksessa kuvataan kasvualustan ravinnepitoisuutta turve- ja puristeneesteanalyysijä vertaamalla sekä arvioidaan aiemmin esitettyjä ohjearvoja.

Tämän työn tavoitteena oli tutkia:

- Miten hoitolannoitus vaikuttaa kasvualustan ravinnepitoisuuksiin?
- Miten ravinnepitoisuudet (N, P, K) ovat suhteutettavissa toisiinsa puristeneeste- ja turveanalyysimenetelmillä mitattuna?
- Kannattaako bikarbonaatti ( $\text{HCO}_3^-$ ) -pitoisuutta sisällyttää puristeneesteanalyysiin?

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Taimi-Tapion ja Pekolammin taimitarhan kanssa. Taimitarhaviheen analyysit kustansi Taimi-Tapio. Käsikirjoituksen

lukivat professorit Taneli Kolström ja Carl J. Westman, apul. prof. Pentti K. Räsänen, dosentti Markku Nygren, MMT Väinö Mäntylähti, MMT Risto Rikala ja tuotepäällikö Matti Ylikoski. Kiitän kaikkia työn valmistamiseen vaikuttaneita henkilöitä.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Männyn taimet kasvatettiin ensimmäisenä kasvukautena muovihuoneessa ja toisena kasvukautena avomaalla Lapinlahdella, Pekolammin taimitarhalalla (63°20'N, 27°25'E, 110 m mpy). Kasvatukseen käytetyistä paperikenoarkeista (FS 608) puolet täytettiin Vapo Oy:n (Vapo-400, Tree nursery peat) ja puolet Satoturve Oy:n (ST-400, PP6) metsätaimikasvatukseen tarkoitettulla turpeella. Turpeet oli peruskalkittu dolomiittikalkki 1:llä (3,0 kg/m<sup>3</sup>). Vapo-400 -turpeessa peruslannoituksena oli 1,0 kg/m<sup>3</sup> Kekkilän turpeen peruslannoitetta n:o 4 ja ST-400 -turpeessa 1,25 kg/m<sup>3</sup> ST-tasolannoitetta n:o 6 (liite 1). Tuoteselosteen mukaan turpeen huokostila oli Vapo-400 -metsätaimiturpeessa n. 94 % ja ilma-

tila n. 28 %. ST-400 -turpeen tuoteseloste ei ilmoittanut turpeen rakenneominaisuuksia. Molemmat valmistajat ilmoittivat turpeidensa maatumisasteeksi H<sub>1-3</sub> (von Post). Turpeiden rakenne tutkittiin koejäsenittäin 10 eri taimiarkista koostetusta yhden paa-kun kokoomanäytteestä kolme kertaa toisen kasvukauden aikana Viljavuuspalvelu Oy:ssä (esikostutus 1 l turvetta 0,5 kg painoiseksi, sumutus sumutusaltaassa yön yli, valutus 2 h, (pF 1), mittaukset (mod. Puustjärvi 1969)). Toisen kasvukauden aikana tehdyt rakennetutkimukset eivät tuoneet esille eroja turpeen ominaisuuksissa eri lannoitustasoilla. Ainoastaan ilmatila oli alentunut tuoteselosteen lukemasta (Rikala ja Huurinainen 1990).

Ensimmäisenä kasvukautena kaikkia kokeen taimia lannoitettiin samalla tavalla (taulukko 1). Toisena kasvukautena lannoitus eriytettiin molemmissa turpeissa kolmeen, turpeen puristenesteen johtokykyä määritettyyn tasoon (taulukko 2).

Alimmalla ja keskimmaisella lannoitustasolla johtokyky pystyttiin ylläpitämään tavoitetasolla samanlaisella lannoituksella mutta korkeimmalla tasolla Vapo-400 -turpeessa jouduttiin antamaan hie-man enemmän lannoitusta kuin ST-400 -turpeessa (taulukko 3).

**Taulukko 1.** Ensimmäisen kasvukauden hoitolannoitese-kä typpi-, fosfori- ja kaliummäärät.

Lannoite	Määrä g/m <sup>2</sup>	N	P	K
Kekkilä-9	25	4,8	1,3	5,0
Kekkilä-5	30	3,3	1,2	7,6
Kekkilä-4	5	0,8	0,2	1,3
Kalkkisalpietari	5	0,8	–	–
Yhteensä	65	9,7	2,7	13,9

**Taulukko 2.** Kasvualustan tavoitejohtokykyarvot eri lannoitustasoilla toisena kasvatuskesänä.

Taso	Aika	
	1.6–15.8.	16.8.–15.9.
	mS/cm	
1	0,4–0,8	0,3
2	0,9–1,4	0,7
3	1,5–2,5	1,0

**Taulukko 3.** Toisena kasvatuskesänä annetut hoitolannoitteet ja niiden sisältämät typpi-, fosfori- ja kaliummäärät.

Lannoitus-taso	Turve	Kloorivapaa Y-lannos	Kekkilä 9	Superex 5	Yhteensä g/m <sup>2</sup>	Typpi	Fosfori	Kalium
1	Vapo/ Sato	15	10	46	71	8	4	15
2	Vapo/ Sato	25	36	106	167	21	9	37
3	Vapo/	45	53	149	247	30	14	54
	Sato	45	43	142	230	27	13	50

Kasvualustan kosteus pyrittiin pitämään Puustjärven (1973) suosittelemalla optimikosteusalueella (39–46 til.-%) punnitsemalla kasvatusarkkeja viikottain ja kastelemalla arkit 8–9 kilon painoon. Kasvualustan kosteus vaihteli toisen kasvukauden aikana välillä 37–65 til.-%.

Ensimmäisenä vuonna taimien kasteluun käytetyn lampiveden johtokyky oli korkeimmillaan 0,36 mS/cm ja toisena vuonna käytetyn järviveden 0,07 mS/cm. Ensimmäisen kasvukauden kasteluveden korkeiden typen (28 mg/l), kaliumin (21 mg/l), kalsiumin (24 mg/l) ja kloorin (53 mg/l) pitoisuuksien ei havaittu aiheuttaneen taimissa näkyviä oireita tai vikoja, vaikka pitoisuudet ylittivät osin haitallisina pidettyjen pitoisuuksien rajat (Seppälä 1982, Bohlin 1988).

Turpeen puristeneste analysoitiin ensimmäisenä kasvukautena 3 kertaa ja toisena kasvukautena 6 kertaa Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Puristenesteestä mitattiin johtokyky, bikarbonaatti ( $\text{HCO}_3^-$ )-pitoisuus (0,02 M HCl titraus pH 4,5:een), liukoinen tyyppi (ns. kaksivaihepoltto; 0,1 N  $\text{K}_2\text{SO}_4$  lisäys, suodatus, siliconöljyn, devardan ja  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :n lisäys, poltto, tislauk ja titraus 0,01 N HCl:llä) (Bremner ja Mulvaney 1982, mod. Methods of ... 1986), P, K, Ca, Mg, S, Fe, B, Cu, Mn, Zn ja Na (plasma-emissiospektrometri; Jarrell-Ash ICAP 9000) ja Cl ionikromatografisesti.

Turpeen vesilietoksesta analysoitiin 6 ajankohtana (1:2,5, v/v) johtoluku ja liukoinen tyyppi samalla menetelmällä kuin puristenesteanalyysissä sekä 4 ajankohtana pH (vesilietos 1:2,5, v/v), P, K, Ca ja Mg (hapan ammoniumasetaatti), vesiliukoinen B

sekä happoliukoiset Cu, Mn, Zn ja Fe (Vuorinen ja Mäkitie 1955). Turve- ja puristenestenyätteet koostettiin vierekkäisistä yhden paakun osanäytteistä, ensimmäisenä vuonna 15 ja toisena vuonna 10 eri taimiarkista.

## 3 Tulokset

### 3.1 Kasvualustan ravinteisuus

Ensimmäisenä kasvatusvuonna puristenesteen pH-arvot vaihtelivat kummassakin turpeessa 4,9:stä 5,5:een. Toisena vuonna, jolloin pH-arvot kohosivat kasvukauden loppua kohti, vaihtelu oli 5,0–6,1. Turpeen vesilietoksesta mitatut pH-arvot olivat 0,3–0,6 pH-yksikköä puristenesteen arvoja korkeampia. Puristenesteen  $\text{HCO}_3^-$ -pitoisuudet olivat ensimmäisenä kasvatusvuonna alhaisia (taulukko 4) mutta nousivat toisena vuonna kasvukauden loppua kohti ja olivat sitä korkeampia mitä voimakkaammin taimia lannoitettiin (taulukko 5). Turpeiden erilainen peruslannoitus tuli näkyviin ensimmäisen kasvatusvuoden analyyseissä. ST-400 -turpeesta mitattiin huomattavasti enemmän rikkiä kuin Vapo-400 -turpeessa. Samoin ST-400 -turpeen johtokyky, fosfori- ja hivenainepitoisuudet rautaa lukuunottamatta olivat korkeammat kuin Vapo-400 -turpeessa, jossa puolestaan oli enemmän liukoista tyyppiä.

Toisen kasvukauden puristenesteanalyysitulokset esitetään lannoitustasoinnain, koska erot ravinnepitoisuudessa turpeiden välillä olivat hyvin pienet (taulukko 5).

**Taulukko 4.** Puristenesteanalyysitulokset ensimmäisenä kasvukautena Vapo- ja Sato-turpeissa.

Ajankohta/ turve	Johtokyky mS/cm	$\text{HCO}_3^-$	N	P	K	Ca	Mg	S mg/l	Cl	Fe	B	Cu	Mn	Zn
4.7.														
Vapo	1,6	26	135	98	145	80	53	9	73	1,20	0,35	0,30	0,50	0,17
Sato	1,9	34	90	122	145	57	56	119	93	0,78	0,82	0,84	0,59	0,44
30.7.														
Vapo	1,9	27	123	99	250	73	43	41	205	2,20	0,56	0,12	0,43	1,90
Sato	2,3	34	96	127	245	72	58	131	197	1,60	0,78	0,51	0,62	2,30
18.9.														
Vapo	0,5	43	41	43	135	36	18	8	102	2,00	0,26	0,32	0,28	0,68
Sato	0,6	28	44	29	100	26	21	37	95	0,85	0,43	0,54	0,31	0,50

**Taulukko 5.** Puristenesteanalyysitulokset toisena kasvukautena eri lannoitustasoilla turvermerkit yhdistettynä.

Ajankohta / lannoitustaso	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca	Mg	S	Cl	Na mg/l	Fe	B	Cu	Mn	Zn
29.5.											
Vapo	–	9	6	6	17	9	0,2	0,09	0,24	0,11	0,1
Sato	–	12	6	8	17	5	0,7	0,11	0,22	0,17	0,1
19.6.											
1	34	31	19	34	26	19	1,2	0,19	0,15	1,45	1,7
2	46	37	25	50	31	21	1,5	0,30	0,22	1,40	3,6
3	62	60	47	97	34	27	1,5	0,54	0,28	1,30	4,5
17.7.											
1	18	20	13	18	14	18	1,4	0,17	0,26	0,30	0,7
2	77	44	30	52	20	33	3,3	0,34	0,85	0,49	1,0
3	81	78	68	114	37	50	4,2	0,64	1,27	1,10	3,0
21.8.											
1	62	30	16	44	17	12	2,1	0,20	0,15	1,45	1,7
2	149	36	21	61	22	15	2,8	0,30	0,23	1,40	3,1
3	208	58	43	116	67	25	2,5	0,54	0,28	1,30	4,5
16.9.											
1	40	23	14	27	30	12	2,0	0,14	0,31	0,70	0,9
2	110	29	19	50	54	20	2,3	0,22	0,50	0,69	2,7
3	127	46	36	94	67	33	2,6	0,36	0,93	0,92	3,8
14.10.											
1	31	7	4	9	17	8	0,9	0,07	0,15	0,30	0,1
2	68	8	5	14	24	6	1,0	0,14	0,24	0,40	0,3
3	89	10	6	20	25	6	1,2	0,19	0,34	0,33	0,5

Puristenesteen johtokykytavoite saavutettiin noin kolmen viikon kuluttua lannoituksen aloittamisesta korkeimmallakin lannoitustasolla (kuva 1). Johtokyky oli korkeimmillaan voimakkaimman lannoitusjakson jälkeen heinäkuussa. Turpeen johtoluku saavutti maksimiarvonsa elokuussa ja aleni loppusyksyllä hitaammin kuin puristenesteen johtokyky.

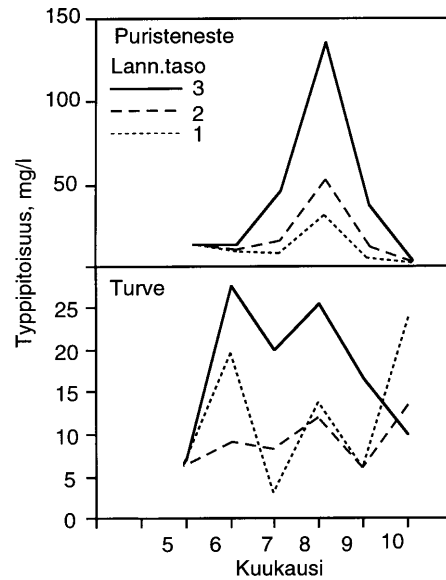
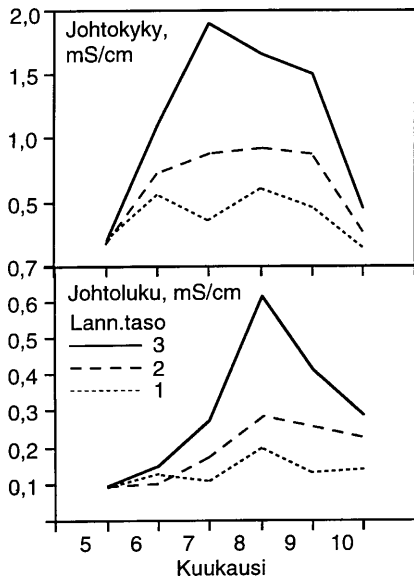
Sekä puristenesteen että turpeen typpipitoisuuden nousussa oli muutaman viikon viive lannoitukseen nähden. Korkeimmat arvot mitattiin elokuussa, vaikka kesä- ja heinäkuussa lannoitettiin eniten. Lannoitustasojen välinen kasvualustan typpipitoisuuksien ero oli selkeämpi puristeneste- kuin turveanalyysissä. Turveanalyysin mukaan liukoisen typen pitoisuus kohosi lokakuussa keskimmaisella ja varsinkin alimmalla lannoitustasolla, vaikka taimia ei tuolloin lannoitettu (kuva 2).

Lannoituksen ja puristenesteen fosforipitoisuuden nousun välillä ei esiintynyt yhtä suurta viivettä kuin

typen kohdalla. Puristenesteen kaliumpitoisuus nousi kaliumin lannoitusrytmiä elokuuhun saakka, mutta syyskuun analyysissä kaliumpitoisuus kohosi keskimmaisella ja korkeimmalla lannoitustasolla, vaikka lannoitusmäärät pienenevät.

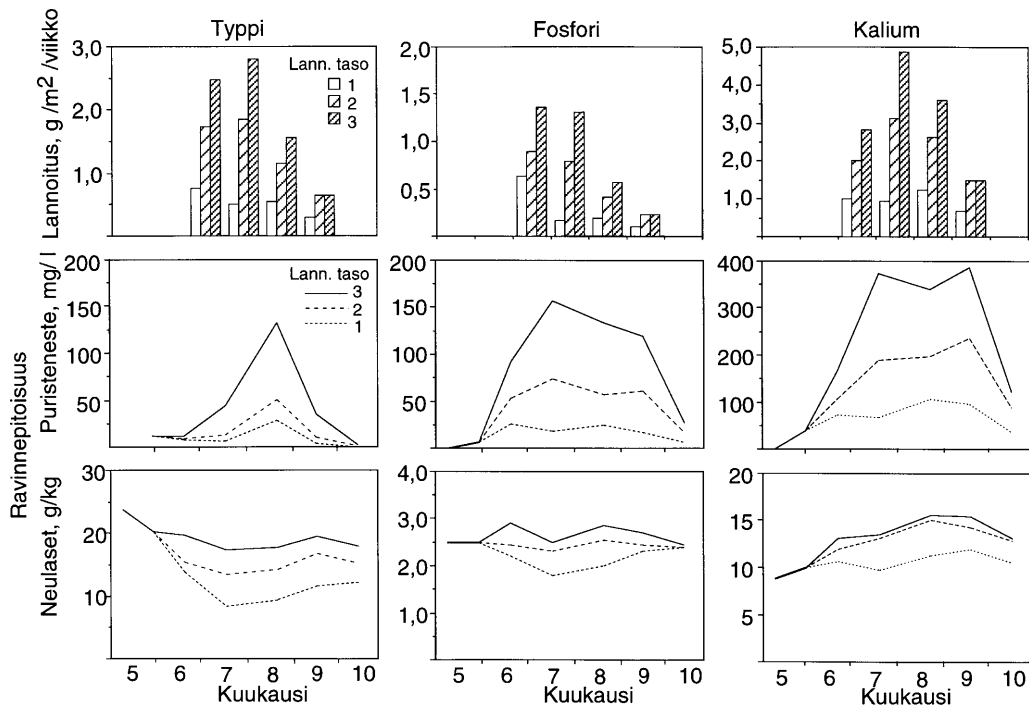
### 3.2 Taimet

Tässä tutkimuksessa taimien pituus oli kaksivuotisen taimitarhakasvatuksen päättyessä keskimäärin 12 cm ja kaikkien lannoitustasojen välillä mitattiin tilastollisesti merkitsevät taimien pituuserot ( $p < 0,01$ ). Runsas lannoitus voimakkaimman kuivamasan kasvun aikaan heinäkuussa lisäsi runsaasti taimien neulasmassaa ja neulasten pituutta (Rikala ja Huurinainen 1990). Toisen kasvukauden aikana neulasten typpipitoisuudet olivat sitä korkeammat mitä voimakkaammin taimia oli lannoitettu. Neu-

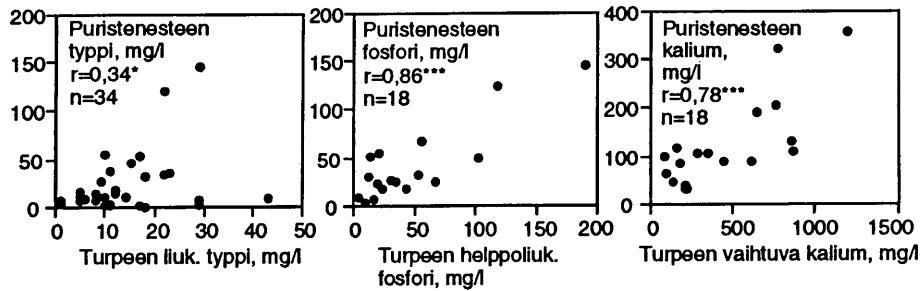


**Kuva 1.** Turpeen puristenesteen johtokyky sekä turpeen johtoluku toisen kasvukauden aikana eri lannoitustasoilla. Turvermerkit yhdistetty. Lannoitukset esitetty taulukossa 3 ja kuvassa 3.

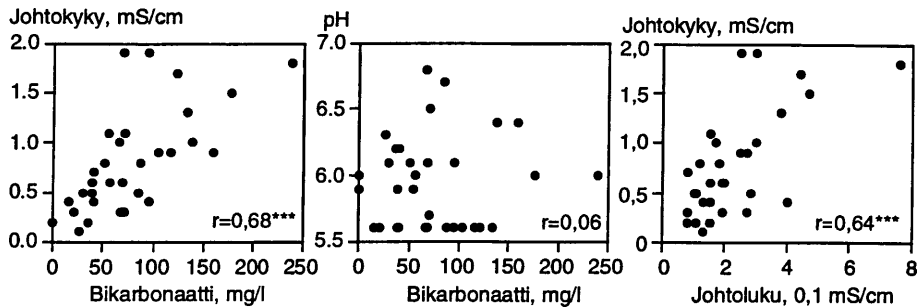
**Kuva 2.** Typpipitoisuus turpeen puristenesteessä ja turpeessa toisen kasvukauden aikana eri lannoitustasoilla. Turvermerkit yhdistetty. Lannoitukset esitetty taulukossa 3 ja kuvassa 3.



**Kuva 3.** Lannoitteina annettujen typen, fosforin ja kaliumin määrät sekä niiden pitoisuudet turpeen puristenesteessä ja neulasissa toisen kasvukauden aikana eri lannoitustasoilla. Turvermerkit yhdistetty. Lannoitukset esitetty taulukossa 3.



Kuva 4. Turve- ja puristenesteanalyseissä mitattujen typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuuksien välinen riippuvuus toisen kasvukauden aikana. Turvemerkit yhdistetty.



Kuva 5. Bikarbonaatin ja johtokyvyn, bikarbonaatin ja pH:n sekä johtoluvun ja johtokyvyn välinen riippuvuus toisen kasvukauden aikana. Turvemerkit yhdistetty.

lasten kaliumpitoisuus ei juuri noussut keskimmäisen lannoitustason taimien pitoisuuksista korkeimmalla lannoitustasolla. Neulasten fosforipitoisuudet olivat samoja toisen kasvukauden lopussa lokakuussa kaikilla lannoitustasoilla (kuva 3).

Eri lannoituskäsittelyissä oli eroja myös neulasten värissä heinäkuun puolivälistä alkaen, jolloin alimman lannoitustason taimien väri muuttui vihreästä vaaleanvihreäksi ja edelleen kellertävämmäksi kasvukauden lopussa. Taimien väri oli loppusyksyllä vaaleanvihreä keskimmaisella ja tummanvihreä korkeimmalla lannoitustasolla.

### 3.3 Tunnusten välinen riippuvuus

Analyysikerroittain tarkasteltuna turpeen johtoluvun ja puristenesteen johtokyvyn väliset riippuvuudet olivat voimakkaampia, mutta regressiosuoran kulmakerroin vaihteli voimakkaasti kerrasta toiseen. Riippuvuus oli korkeimmillaan elo- ja syyskuun

mittauksissa. Yksittäisistä ravinteista niin johtoluku kuin johtokykykin korreloivat parhaiten turpeen fosforipitoisuuden (johtoluku;  $r = 0,96$ ,  $p < 0,001$  ja johtokyky;  $r = 0,98$ ,  $p < 0,001$ ) sekä kaliumin kanssa (johtoluku;  $r = 0,73$ ,  $p < 0,001$  ja johtokyky;  $r = 0,95$ ,  $p < 0,001$ ).

Määrittäjäajankohta vaikutti voimakkaasti myös puristenesteestä ja turpeesta mitattujen ravinteiden pitoisuuksien keskinäiseen riippuvuuteen. Turpeen ja puristenesteen ravinnepitoisuuksista fosforin ja kaliumin korrelaatio oli voimakkain (kuva 4).

Bikarbonaattipitoisuudet olivat sitä korkeampia mitä voimakkaammin taimia lannoitettiin, minkä vuoksi johtokyvyn ja bikarbonaattipitoisuuden välinen riippuvuus oli voimakas. Sen sijaan puristenesteen  $\text{HCO}_3^-$ -pitoisuuden ja turpeen pH:n välillä ei ollut edes samana ajankohtana mitattuna riippuvuutta. Myös johtoluvun ja johtokyvyn keskinäinen riippuvuus koko aineistosta tarkasteltuna oli varsin heikko (kuva 5).

## 4 Tulosten tarkastelu

### 4.1 Kasvualustan bikarbonaatti ja pH

Puristenesteen bikarbonaattipitoisuus pysytteli ensimmäisenä vuonna tasolla 20–50 mg/l, joka on Seppälän (1982) suositteluva vaihteluväli, mutta nousi toisena vuonna moninkertaiseksi lannoitus-tason kohotessa. Huurinaisen (julkaisematon aineisto) puristenesteanalyysissä bikarbonaattipitoisuudet olivat koko kasvukauden ajan kolmin-kuusinkertaiset (92–191 mg/l), kun lannoituksessa käytettiin samoja seoslannoitteita ja hoitolannoitustaso oli noin 50 % tässä käytettyä korkeampi. Tässä tutkimuksessa bikarbonaatilla ei ollut havaittavaa vaikutusta puristenesteen pH:hon eikä bikarbonaattipitoisuutta siten kannata käyttää puristeveden pH:n ilmentäjänä.

Bikarbonaattitunnuksen epäluotettavuus on tuotu esille aiemmin monissa tutkimuksissa (Puustjärvi 1984c, Hill ja Jenkins 1989, Kehew ja Passero 1990). Puustjärvi (1984c) totesi, että turpeessa muodostuu hajotuksen tuotteina erilaisia orgaanisia heikkoja happoja, jotka tulevat mukaan bikarbonaattimääritykseen kohottaen bikarbonaatin määrän todellista huomattavasti suuremmaksi. Hill ja Jenkins (1989) havaitsivat, että alkaliteettimääritys (titraus pH 4,3:een) saattaa olla jopa 600 %:sti virheellinen orgaanisten happojen läsnäollessa. Toisaalta kaste-luvesianalyyseissä sekä kivivilla- ja ravinneliuosviljelyssä alkaliteettimääritys bikarbonaattina on perusteltua. Alkaliteettimäärityksen avulla voidaan laskea, paljonko kasteluveteen on lisättävä happoja pH:n alentamiseksi toivotulle tasolle (esim. Tinus ja McDonald 1979, Kasvihuoneanalyysien ... 1992). Happojen käyttö on nimenomaan kasteluteknisesti tarpeellista silloin, kun kasteluun käytettävän lannoiteliuksen pH on yli 6 (Seppälä 1982). Metsätaimatarhoilla kasteluun käytetään yleensä järvi- tai jokivettä, mikä on luonnostaan hapanta.

Laboratoriossa turpeesta vesilietoksesta mitatut pH-arvot olivat 0,3–0,6 pH-yksikköä taimitarhalla mitattuja puristenesteen arvoja korkeampia. Tulos saa tukea havainnoista, että pH yleisesti kohoaa näytteen kuljetuksen ja postituksen aikana noin 0,5 pH-yksikköä (Viljavuustutkimuksen ... 1996). pH-ero selittyy myös sillä, että vesiutetta valmistettaessa näytteessä oleva ”puristeneste” laimenee. Täl-

löin vetyionikonsentraatio myös pienenee ja saadaan korkeampi pH.

### 4.2 Tunnusten keskinäiset suhteet

Johtoluvun ja johtokyvyn keskinäinen löyhä riippuvuus selittyy johtoluvun ja johtokyvyn erilaisella ajallisella rytmillä ja näytteiden kosteuden vaihtelulla (37–65 til.-%), mikä vaikutti etenkin puristenesteen lukemiin. Puustjärvi (1977) antaa johtokyvystä johtolukuun muuntokertoimeksi 2,0 silloin, kun kasvualustan vesitila on 50 til.-% ja 1,6 40 til.-%:n vesitilassa. Tässä aineistossa kasvualustan vesitila oli suurimman osan tutkimusajankohdasta yli 50 til.-%:a ja siten Puustjärven (1977) tutkimusta märempää, mikä nosti kertoimen 2,5:een. Kerroin on lähellä Luukkaisen (1979) mittaamaa tulosta (2,3 ± 13%). Mittaustuloksia tulkittaessa on pidettävä mielessä, että sähkönjohtokykyyn eivät kuitenkaan vaikuta sähköisesti varautumattomat hiukkaset kuten urea, boorihappo ja molekyyli muodossa olevat orgaaniset hapot, jotka muuttavat liuoksen osmoottista painetta ja siten vaikuttavat kasvien vedensaan-tiin (Puustjärvi 1987). Johtokyky mittauksien luotettavuuden ja keskinäisen verrattavuuden kannalta on tärkeää, että mittaukset tehdään samanlaisessa kasvualustan kosteudessa ja näytteen lämpötilassa (Rikala 1996, Viljavuustutkimuksen ... 1996).

Sekä johtokyvyn että johtoluvun riippuvuus kasvualustan fosforipitoisuudesta oli korkea, mikä ilmeisesti osittain johtuu siitä, että käytetyissä hoitolannoitteissa fosfori on täysin vesiliukoista (Kekkilä Oy). Puustjärvi (1987) mittasi puristenesteen fosforipitoisuuden kohoavan lannoituksen mukana likimain suoraviivaisesti. Typpi-ionien fosforia ja kaliumia heikompi vaikutus johtokykyyn ja johtolukuun johtune osaksi siitä, että osa tyyppistä on ammoniummuodossa, joka pidättyy turpeeseen vaihtuvaan muotoon (Puustjärvi 1984d). Juntusen ym. (1996) ennakkotulokset paljastavat myös, että huomattava osa paakkujen tyyppistä oli orgaanisina yhdisteinä, mitkä eivät vaikuta sähkönjohtavuuteen.



### 4.3 Ravinteiden tarkkailu ja ohjearovot

Eri puolajien paakkutaimikasvatuksessa nykyisiä, verraten tasalaatuisia metsätaimurpeita (Heiskanen 1994, Rikala 1994) ja seoslannoitteita käytettäessä kasvualustan ravinteisuuden ja kosteuden tarkkailuun on pidetty riittävänä puristenesteen johtokyvyn ja taimiarkkien kosteuden viikottaista seuranta punnitsemalla tai muulla tavoin mittaamalla. Kuitenkin lannoituskäytännön kannalta on pidettävä mielessä, että alkuaineiden ionit vaikuttavat johtokykyyn eri painolla (Puustjärvi 1979b). Vaikka johtokykyarvo on suositusalueella, voivat yksittäisten ravinteiden pitoisuudet poiketa huomattavasti omista optimiarvoistaan. Tämä on tullut esille Rikalan (1996) tutkimuksissa männyn paakkutaimilla syyskesällä, jolloin lannoitus on kalium- ja fosforivoittoinen taimitarhoilla tuona ajankohtana yleisesti käytettävillä seoslannoitteilla. Johtokyky myötäilee tällöin voimakkaasti fosfori- ja kaliumpitoisuutta ja puristenesteen typpipitoisuus on laskenut varsin alhaiseksi, jolloin taimet kärsivät typen puutetta (Rikala ja Huurinainen 1990, Rikala 1996). Lannoitusta tuleekin jatkaa elokuussa pieninä annoksina aina syyskuun loppupuolelle saakka neulasten ravinnepitoisuuden liian voimakkaan laskun välttämiseksi.

Yhdistettynä aiemmin esitettyihin tuloksiin taimien kasvusta ja kehitymisestä (Rikala ja Huurinainen 1990) voidaan todeta, että kaksivuotiaille männyn taimille annetut ohjearovot kasvatusvaiheessa 0,7–1,2 mS/cm ja karaisuvaiheessa 0,4–0,9 mS/cm (Viljavuustutkimuksen ... 1996) saavat tukea tästä tutkimuksesta. Puristenesteen johtokyky nousi yksittäisissä näytteissä ylimmillään 3,0 mS/cm:iin voimakkaimmalla lannoitustasolla. Tinus ja McDonald (1979) suosittelevat lannoiteliuksen johtokyvyn arvoiksi 0,5–1,0 mS/cm raakaveden johtokykyä korkeampaa arvoa ja varoittavat yli 3 mS/cm arvoista. Lindell (1980), Rikala (1982) ja Puustjärvi (1992) suosittavat, ettei 2 mS/cm:n arvoa ylitettäisi, sillä seurauksena on taimien vedensaannin ja ravinteidenoton (esim. Puustjärvi 1991) vaikeutuminen. Jos puristenesteen johtokyvyn ei annettaisi ylittää em. arvoa, voitaisiin turve pitää optimaalisen kosteusalueen alarajan tuntumassa, mikä edistäisi juuriston toimintaa ja uudistumista (Puustjärvi 1992). Tästä huolimatta eräät suurtaimtarhat suosittavat 1-vuotiaiden männyn taimien kasvatusvaiheessa johto-

kyvyksi 1,5–3,0 mS/cm vedoten siihen, että ”suurella taimitarhalla on turvallisempaa pitää hieman korkeammat lukemat, jolloin ravinnetaso ei pääse huomaamatta alas” (Metsähallitus ... 1995). Toisaalta pitämällä johtokyky korkealla voidaan aiheuttaa taimille kuivuusstressi, minkä on todettu parantavan ainakin douglaskuusen ja kontortamännyn taimien istutuksen jälkeistä kuivuuden sietokykyä (van den Driessche 1992).

Alimmalla lannoitustasolla puristenesteen typpipitoisuus jäi korkeimmillaankin, elokuussa alle 30 mg/l, jolloin neulasten typpipitoisuus oli 0,9 %. Alimmalla lannoitustasolla taimet olivat silmämääräisesti tarkasteltuna muiden lannoitustasojen taimia kituliaampia ja neulaset kellertävän värisiä, mikä todennäköisesti aiheutui nimenomaan typen niukuudesta. Keskimmäisellä lannoitustasolla neulasten väri pysyi normaalin vihreänä n. 50 mg/l typpitasolla, mikä antoi neulasten typpipitoisuudeksi 1,4 %. Korkeimmalla lannoitustasolla neulaset olivat tumman vihreitä ja ylireheviä, typpipitoisuudeltaan 1,8 %, kun puristenesteen typpipitoisuus oli korkeimmillaan vastaavana aikana elokuussa yli 130 mg/l. Troengin ja Ackzellin (1988) mukaan erityisesti kookkaat ja korkean ravinnepitoisuuden omaavat männyn taimet saattavat kasvaa heikosti ja kärsiä voimakkaasta ravinnepitoisuuden laskusta karulla istutuspaikalla. Voimakkaan typpilannoituksen on todettu heikentävän männyn taimien kylmänkestävyyttä (Aronsson 1980), lisäävän sienitauteja kuten surmakkaa (Ylimartimo 1991) ja olevan vahingollista mykorritsoille (Holopainen ja Heinonen-Tanski 1993). Toisaalta verson alhainen typpipitoisuus heikentää männyn taimien pakkaskestävyyttä (Troeng ja Ackzell 1990).

Tämän tutkimuksen perusteella nykyistä puristenesteen typpipitoisuuden ohjearvoa, 100–200 mg/l (Viljavuustutkimuksen ... 1996) voidaan käyttää edelleenkin, joskin suosituksen alarajan tuntumassa olevat typpipitoisuudet vaikuttavat jo riittävilta. Vuosina 1992–1993 eri ikäisiltä männyn paakkutaimilta Viljavuuspalvelussa analysoidut puristenesteen typpipitoisuudet olivat männynillä keskimäärin 60 mg/l ja kuusilla 76 mg/l sekä maksimi-arvot 280–430 mg/l (Mäntylähti 1994).

Vaikka tässä tutkimuksessa korkeista puristenesteen kaliumpitoisuuksista ei näyttänyt olevan suoranaista haittaakaan, ilmeisesti ohjearvoina (Vilja-

vuustutkimuksen ... 1996) annettu 100–200 mg/l on riittävä. Samoin fosforin ohjepitoisuutta 20–50 mg/l voidaan pitää sopivana.

Myös metsäpuiden taimien turvealustan aiempia ohjearvoja (Viljavuustutkimuksen ... 1988) on hilljattain tarkistettu alaspäin typen, fosforin, kalsiumin ja magnesiumin osalta (Viljavuustutkimuksen ... 1996). Toimenpide saa tukea tältä tutkimukselta. Annettu tyypipitoisuuden ohjearvo (20–50 mg/l) vaikuttaa ylärajan osalta korkeahkolta samoin kuin puristenesteessä.

Turve- ja puristenesteanalyysit on nähtävä toisinaan täydentävinä. Kummallakin analyysimenetelmällä on omat heikkoutensa. Puristenesteanalyysin käyttökelpoisuus on sitä suurempi, mitä suuremmissa määrin ravinteet annetaan ja ne pysyvät vesiliukoisessa muodossa. Turveanalyysin käyttökelpoisuus paranee, jos turpeen tiivistyminen otetaan huomioon tuloksia tulkittaessa. Puutarhapuolella on turpeen veden ravinneanalyysiä pidetty perinteistä maa-analyysiä parempana menetelmänä lannoituksen ohjaamiseen (Lucas ym. 1972, Puustjärvi 1983, 1984b, Bunt 1986). Tässäkin tutkimuksessa puristenesteanalyysin tulokset vaikuttivat luotettavammilta nimenomaan typen kohdalla, mutta aineisto ei suppeutensa vuoksi sovellu turve- ja puristenesteanalyysin paremmuuden vertailuun eikä analyysien välisten muutokertoimien esittämiseen. Puristenesteen bikarbonaattipitoisuus ei ilmentänyt turpeen pH:ta eikä sillä voida korvata pH-mittausta.

## Kirjallisuus

- Armson, K. & Sadreika, V. 1974. Forest tree nursery soil management and related practices. Ministry of Natural Resources, Ontario. 179 s.
- Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scot pine (*Pinus silvestris* L.) II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. *Studia Forestalia Suecica* 155. 27 s.
- Bohlin, C. 1988. Vatnet – en viktig produktionsfaktor. Skogshögskolan, Carpenberg. *Plantnytt* 1988/2. 4 s.
- Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen – total. Teoksessa: Miller, R.H. & Keeney, D.R. (toim.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second edition.* American Society of Agronomy, Inc. Soil Science of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin USA: 595–624.
- Bunt, A.C. 1986. Problems in the analysis of organic and light weight potting substrates. *Horticultural Sciences* 21: 229–231.
- Fiedler, J.H., Nebe, W. & Hoffman F. 1973. *Forstliche Pflanzenernährung und Düngung.* Veb Gustav Fischer Verlag. Jena. 481 s.
- Heiskanen, J. 1994. Hydrological properties of peat-based growth media. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 524. 41 s.
- Hill, D.T. & Jenkins, S.R. 1989. Measuring alkalinity accurately in aqueous system containing high organic acid concentrations. *Transactions of the ASAE.* 32(6): 2175–2178.
- Holopainen, T. & Heinonen-Tanski, H. 1993. Effects of different nitrogen sources on the growth of Scots pine seedlings and the ultrastructure and development of their mycorrhizae. *Canadian Journal of Forestry Research* 23: 362–372.
- Huurinainen, S. 1986. Männyn kaksivuotisten paakkutaimien lannoituskoe. Pohjois-Savon piirimetsälautakunta, Pekolammin taimitarha. Koeselostus 28.09.1986.
- Juntunen, M.-L., Hammar, T., Rikala, R. & Kangasjärvi, J. 1996. Ennakkotuloksia paakkutaimituotannon ravintekuormituksesta. Teoksessa: Smolander, H. & Salonen, T. (toim.) *Metsätaimitarhapäivät Jyväskylässä 13.–14.2.1996.* Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 601: 49–55.
- Kasvihuoneanalyysien tulkintaopas. 1992. Viljavuuspalvelu Oy. Moniste. 8 s.
- Kehew, A.E. & Passero, R.N. 1990. pH and redox buffering mechanisms in a glacial drift aquifer contaminated by landfill leachate. *Ground-Water* 28(5): 728–737.
- Kramer, L.L. & Peterson, J.C. 1990. Influences of water pH, alkalinity and acid additions on growth and nutrient relationships in *Chrysanthemum morifolium* 'Bright Golden Anne'. *Journal of Plant Nutrition.* 13(2): 169–186.
- Landis, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. Teoksessa: Duryea, M.L. (toim.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests.* Forest research laboratory. Proceedings of the workshop held October 16–18.1984. Oregon State University, Corvallis, s. 29–48. ISBN 0-87437-000-0.
- 1989. Mineral nutrition and fertilization. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. 1989. *The container tree nursery manual. Volume 4. Agriculture Handbook 674.* Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 1–67.

- 1990. Growing media. Teoksessa: Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. & Barnett, J.P. The container tree nursery manual. Volume 2. Agriculture handbook 674. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 41–85.
- Lindell, M. 1980. Ledningstal och pH – hjälpmiddel i plantproduktionen. Skogshögskolan, Carpenberg. Plantnytt 3. 4 s.
- Lucas, R., Rieke, P. & Doll, E. 1972. Soil saturated extract method for determining plant-nutrient levels in peats and other soil mixes. The Proceedings of the 4th International Peat Congress. Otaniemi, Finland, June 25...30, 1972. Vol. 3: 221–230.
- Luukkainen, H. 1979. WS-arvo – vaihtoehto johtoluvuille. Puutarha-Uutiset 26: 632–633.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. 3rd. Edition. International Potash Institute. Bern. 655 s.
- Methods of soil and plant analysis. 1986. Agricultural Research Centre, Department of Soil Science. Jokioinen. 45 s. ISBN 951-729-285-6.
- Metsähallitus. Siemen- ja taimituotanto. Koulutusaineisto. Nuojua 12.6.–16.6.1995. Moniste. 38 s.
- Mäntylähti, V. 1994. Näytteenotokset ja analyysivalikoima taimitarhatuotannossa. Metsätaimiharapivät Kekkila Oy, Hyrylä 26–27.1.1994. Moniste. 4 s.
- Niskanen, R. & Jaakkola, A. 1985. Comparison of analytical methods in testing soil fertility. Journal of Agricultural Science in Finland. 57: 183–194.
- Piirainen, J. 1982. Nitraattiliuskan käyttö kasvihuone- ja avomaanviljelyssä. Puutarha-Uutiset 32: 864–865.
- Puustjärvi, V. 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Summary: The analysis of needles as an exponent for the need of fertilization of Scotch pine. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 82: 26–28.
- 1969. Fixing peat standards. Peat and Plant News 2(1): 3–8.
- 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Turveteollisuusliitto ry. Julkaisu 1. 173 s.
- 1977. Tehokkaaseen ja nopeaan ravinnetarkkailuun. Turvetutkimuslaitoksen julkaisuja 4/1977. Eripainos Puutarha-Uutisista, 2 s.
- 1979a. Turpeen puristeveden sähkönjohtokyky. Puutarha-kalenteri 1979: 187–195.
- 1979b. Johtoluvun koostumus. Puutarha 7: 344–345.
- 1983. Ravinteiden teho turveviljelyssä. Puutarha 2: 64–65.
- 1984a. Turve- ja puristenesteanalyysit käyttökelpoisten ravinnepitoisuuksien ilmentäjinä. Puutarha 3: 154–155.
- 1984b. Maa- ja puristenesteanalyysien keskinäinen vertailu. Puutarha 4: 218–219.
- 1984c. Bikarbonaatti – uusi tulokas puristenesteanalyysissä. Puutarha 10: 602–603.
- 1984d. Turpeen puristenesteen ja ravinneliuoksen keskinäinen vertailu. Puutarha 9: 544–546.
- 1987. Puutarhakasvien ravinnetalous. Puutarhaliiton opaskirjoja n:o 33. Julkaisu 244. 89 s.
- 1991. Kasvu ja kasvun hallinta kasvihuoneviljelyssä. Kauppapuutarhaliitto ry. Tuotanto-osaston julkaisu 10. 287 s.
- 1992. Käyttökelpoinen vesi. Puutarha 10: 682–683.
- Raitio, H. & Rikala, R. 1981. Näkökohtia taimien ravinnetaloudesta ja lannoituksesta taimitarhalla. Suomen tutkimasasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 15. 28 s.
- Rikala, R. 1982. Gödslingens och bevattningens inverkan på tallplantornas kvalitet. Teoksessa: Puttonen, P. (toim.). Vitality and quality of nursery stock. Proceedings of a nordic symposium Hyytiälä, January 12–13, 1982. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 36: 111–122.
- 1994. Happamuuden ja johtoluvun merkitys ja vaihtelu kasvuturpeissa. Metsätaimiharapivät Kekkila Oy, Hyrylä 26.–27.1.1994. Moniste. 7 s.
- 1996. Puristenesteen johtokyvyn sudenkuopat – turpeen vesipitoisuuden, ravinteiden ja lämpötilan vaikutus puristenesteen johtokykyyn. Teoksessa: Smolander, H. & Salonen, T. (toim.) Metsätaimiharapivät Jyväskylässä 13.–14.2.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 601: 67–74.
- & Huurinainen, S. 1990. Lannoituksen vaikutus männyn kaksivuotisten paakutaimien kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Summary: Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year old containerized Scots pine seedlings. Folia Forestalia 745. 16 s.
- Schmilewski, G. & Günther, J. 1988. An international comparative study on the physical and chemical analysis of horticultural substrates. Teoksessa: Willumsen, J. (toim.). Symposium on horticultural substrates and their analysis. Gl. Aversaes, Funen, Denmark 5–11 September 1987. Technical communications of ISHS, International Society for Horticultural Science. Acta Horticulturae 221: 425–441.
- Seppälä, J. 1982. Kasteluveden puhdistusmahdollisuudet kasvihuoneviljelyksillä. Puutarhakalenteri 1982: 346–354.
- Sonneveld, C. 1988. Analytical methods for substrates in the Netherlands. Acta Horticulturae 221: 413–416.
- Timmer, V.R. & Parton, W.J. 1984. Optimum nutrient levels in a container growing medium determined by a saturated aqueous extract. Commun. in Soil Science and Plant Analysis 15(6): 607–618.

- Tinus, R. & McDonald, S. 1979. How to grow tree seedlings in containers in greenhouses. U.S.D.A. Forest Serv. Rocky Mountain Forest and Range Exp. Sta., Fort Collins, Colorado. General technical report RM-60. 256 s.
- Troeng, E. & Ackzell, L. 1988. Growth regulation of Scots pine seedlings with different fertilizer compositions and regimes. *New Forests* 2: 119–130.
- & Ackzell, L. 1990. Effects of carbon dioxide enrichment on bud formation and growth of coniferous seedlings. *Acta Horticulturae* 268: 179–189.
- Tummavuori, J., Kaikkonen, R. & Nyrönen, T. 1981. On the analysis of major nutrients of fertilized peat moss part I: The analysis of peat moss. *Yhteenveto: Lannoitetun kasvuturpeen ravinneanalyysistä osa I: Pääravinteiden analyysi. Suo* 32(1): 9–14.
- van den Driessche, 1992. Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen and potassium treatments. *Canadian Journal of Forestry* 22: 740–749.
- Westman, C.J. & Hänninen, P. 1977. Kemiallinen maanalyyysi paljasjuuristen taimien tuotannossa – ennakkotiedonanto. *Metsäntutkimuslaitos. Metsänviljelyn koaseman tiedonantoja* 22: 1–16.
- Viljavuustutkimuksen tulkinta metsäpuiden taimituotannossa. 1988. Viljavuuspalvelu Oy. Moniste. 11 s.
- Viljavuustutkimuksen tulkinta metsätaimiarhoilla. 1996. Viljavuuspalvelu Oy. 18 s. ISBN 951-97434-0-5.
- Vuorinen, V. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Selustus: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmistä. *Agrogeological Publications* 63: 1–44.
- Ylimartimo, A. 1991. Effects of foliar nitrogen, potassium and magnesium concentrations on the resistance of Scots pine seedlings to *Scleroderris* cancer infection. *European Journal of Forest Pathology* 21: 414–423.
- Youngberg, C.T. 1984. Soil and tissue analysis: Tools for maintaining soil fertility. Teoksessa: Duryea, M.L. & Landis, T.D. *Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings: 75–80.* Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. The Hague/Boston/Lancaster, for Forest Research Laboratory. Oregon State University Corvallis.

## 60 viitettä

**Liite 1.** Tutkimuksessa käytettyjen lannoitteiden alkuainepitoisuudet.

Ravinne	Turpeen peruslannoite 4	St-taso- lannoite 6	Kloorivapaa Y-lannos	Kalkki- salpietari	Kekkilä Superex		
					4	5	9
					%		
Tot-N	12,0	15,0	7,0	15,5	16,6	10,9	19,4
NO <sub>3</sub> -N	6,5	–	0,5	14,1	7,5	7,5	7,2
P	9,0	5,3	10,5	–	4,0	4,0	5,3
K	18,0	11,0	11,6	–	25,3	25,3	20,0
Ca	–	4,0	–	20,0	–	–	–
Mg	1,5	–	2,5	0,2	0,2	1,5	0,2
S	2,0	5,0	10,7	–	0,3	2,0	0,3
					ppm		
Fe	3500	6500	1000	–	1800	1800	1800
Mn	1700	3000	10000	–	970	970	970
B	500	600	1500	–	270	270	270
Zn	700	300	–	–	230	230	230
Cu	3300	7000	4000	–	140	140	140
Mo	200	–	–	–	20	20	20
Co	–	–	–	–	10	10	10