

# Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus nuorten mäntymetsiköiden ravinnetilaan sekä puuston ja juuriston kehitykseen paksuturpeisella suonpohjalla

Effect of refertilisation and growing density on the nutrition, growth and root development of young Scots pine stands in a peat cutaway area with deep peat layers

Lasse Aro & Seppo Kaunisto

*Lasse Aro & Seppo Kaunisto, Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, Kaironiementie 54, FIN-39700 Parkano tel +358 10 2114025, fax +358 10 2114001, e-mail: lasse.aro@metla.fi*

The effects of refertilisation and growing density on the soil and tree nutrition, root penetration and growth of Scots pine stands were studied in a cutaway peatland area with deep peat layers. The fertilisation treatments were control, N<sub>1975</sub>+PKB<sub>1985</sub> and PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub> refertilisations and those of the growing density <1 300, 1 654 and 1 954 trees ha<sup>-1</sup>. The maximum root penetration varied between 26 and 34 cm independently of the treatments. The N/P ratios in pine needles were quite high even on the refertilised plots (11.6–15.7). The duration of P fertilisation seems to be shorter (about 15 years) on cutaway peatlands with deep peat layers than on drained peatland forests. The greatest yield without natural removal (239 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, on an average) in 35-years-old stands was measured on plots, which had the highest growing density and had been repeatedly fertilised with PK. The results show that quite a high yield of Scots pine can be reached on cutaway peatlands. However, pine has to be fertilised with PK at the afforestation stage and at least once later if the remaining peat layer is 40–60 cm, and possibly several broadcast fertilisations are needed on peat layers deeper than 60 cm. It seems that growing tree stands on cutaway peatlands in higher densities than in conventional forestry may improve nutrient cycling in stands and hence decrease leaching of nutrients from the site.

Key words: afforestation, cutaway peatlands, fertilisation, N/P ratio, nutrition, *Pinus sylvestris*, root penetration

## Johdanto

Turpeennoston päätyttyä jäljelle jääneiden suonpohjien yleisin käyttövaihtoehto on metsänkasvatus (Selin 1999). Menestyksellinen metsänkas-

vatus edellyttää tasapainoisia ravinnesuhteita kasvupaikalla. Suonpohjaturpeessa on erittäin niukasti kivennäisravinteita, mutta toisaalta runsaasti typpeä (Kaunisto 1979, Ferm & Kaunisto 1983, Kaunisto & Tukeva 1986, Aro ym. 1997). Siksi

kivennäisravinteiden niukkuus tai typen ja kivennäisravinteiden suhteen epätasapaino voi aiheuttaa puille ravinnetaloudellisia ongelmia ja jopa kuoleman. Jo melko ohut, 10-20 cm:n turvekerros voi taimien kehityksen alkuvaiheessa estää taimia saamasta kivennäisravinteita pohjamaasta (Aro 1995, Aro ym. 1997).

Turvetalouden alkuaikoina turpeennostokentälle saattoi jäädä paksuja turvekerroksia pohjamaan päälle. Nykyisin käytettävillä massansiirtomenetelmillä lähellä kivennäismaata oleva pohjaturvekerroskin voidaan ottaa melko tarkoin. Sarkojen keskiosiin saattaa kuitenkin jäädä varsin paksuja turvekerroksia, koska pintavesien valunnan nopeuttamiseksi sarat muotoillaan ojiin päin viettäväksi. Lisäksi sarkojen päihin, nostokoneiden kääntymisalueille, ja varastoauomojen alle saattaa jäädä jopa yli metrin paksuisia turvekerroksia. Puuston häiriötön kehitys näissä kohdissa on turvattava lannoittamalla kivennäisravinteilla tai muutoin metsikkö muodostuu aukkoiseksi (Aro ym. 1997).

Paksuturpeiset suonpohjat muistuttavat ravinnetaloudellisesti monin tavoin avosoita. Avosoiden metsityslannoitusta on tutkittu varsin runsaasti Suomessa (esim. Mannerkoski & Seppälä 1970, Kaunisto 1971, 1972, 1987, Mannerkoski 1971, Seppälä 1971, Laine & Mannerkoski 1980), muualla Pohjois-Euroopassa (Meshechok 1967, Ødelien & Jerven 1971) sekä myös Brittein saarilla (Zehetmayer 1954, O'Carroll 1984, Anderson ym. 2000, ks. myös kirjallisuuskatsaus Kaunisto & Päivänen 1985). Suonpohjaturpeiden ravinnetalous on kuitenkin avosoitakin kärjistyneempi, sillä niiden turpeen pintakerroksissa esim. kaliumia on usein vielä vähemmän kuin avosoilla, joilla sitä säilyy jonkin verran turpeen pintakerroksessa pintakasvillisuuden ja turpeen välisen ravinkierroksen seurauksena.

Tutkimuksen tavoitteina on selvittää:

1. Jatkolannoituksen vaikutusta sekä fosforilla ja kaliumilla tehdyn jatkolannoituksen ajoituksen vaikutusta puuston ravinnetilaan ja kasvuun tilanteessa, jossa suonpohjalle on jäänyt paksu turvekerros ja puuston hyvä alkukehitys on lannoituksen varassa.

2. Kasvatustiheyden vaikutusta puuston ravinnetilaan ja kasvuun tilanteessa, jossa suonpohjalle on jäänyt paksu turvekerros ja puustoa on lannoitettu toistuvasti fosforilla ja kaliumilla.

3. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutusta maan ravinnetilaan ja juuriston kehitykseen.

## Aineisto ja menetelmät

### Koe

Koe sijaitsee Kihniön Aitonevalla (62°12' N, 23°18' E, 160 m mpy, Metsäntutkimuslaitoksen suonpohjien metsityskoe 3). Tuloksia puuston alkukehityksestä ovat julkaisseet aikaisemmin Kaunisto (1979) sekä Kaunisto ja Tuveva (1986). Kokeen alkuperäisenä tavoitteena oli selvittää laikkulannoituksen annettujen lannoitemäärien ja viljelytiheyden vaikutusta männyn taimien kasvuun ja laatuun (Kaunisto 1979). Koealat oli istutettu vuonna 1964 koulimattomilla männyn taimilla (2+0) viljelytiheyksin 1 600, 1 975, 3 260 tai 10 000 kpl ha<sup>-1</sup>.

Metsityksen yhteydessä taimet saivat laikkulannoituksen 0, 15, 30 tai 60 g/taimi Suometsien NPK-lannoitetta (taulukko 1). Jo 1970-luvun alkupuolella puustossa esiintyneiden voimakkaiden ravinnepuutosoireiden vuoksi koe jatkolannoitettiin hajalevityksenä vuonna 1975 (0, N, PK tai NPK; Kaunisto 1979) sekä vuonna 1975 pelkästään tyypeä saaneet koealat edelleen fosforilla, kaliumilla ja boorilla vuonna 1985. Vuonna 1975 PK- tai NPK-jatkolannoituksen saaneet koealat jatkolannoitettiin uudelleen keväällä 1996 Metsän PK-lannoksella, joka sisältää myös booria.

Koealue on ojitettu 20 m leveisiin sarkoihin. Koealojen pinta-ala vaihteli 1 000 ja 3 150 m<sup>2</sup>:n välillä. Koealojen välissä oli suurimmassa osassa muutaman metrin levyinen vaippa. Tähän tutkimukseen valitut käsittelyt olivat joko kokonaan lannoittamattomia (lannoituskäsittely 0) tai jatkolannoitettu v. 1975 tyypellä (N) ja v. 1985 fosforilla, kaliumilla ja boorilla (lannoituskäsittely N+PKB) tai jatkolannoitettu v. 1975 fosforilla ja kaliumilla (PK) ja v. 1996 fosforilla, kaliumilla ja boorilla (lannoituskäsittely PK+PKB). Vuonna 1975 pelkästään tyypellä ja vasta vuonna 1985 fosforilla, kaliumilla ja boorilla jatkolannoitetut koealat otettiin mukaan aineistoon, sillä ne lisäisivät PK-jatkolannoituksen ajoituksen tarkastelumahdollisuutta. Kummassakin jatkolannoituskäsittelyssä jokaista metsityslannoitustasoa (15,

30 tai 60 g/taimi) edusti alunperin kaksi koalaa, mutta luontaisesti syntyneen koivun suuren osuuden takia suurimmassa viljelytiheydessä toinen suurimman lannoitemäärän saanut koala poistettiin aineistosta (ks. taulukko 1). Metsityslannoituksen eri lannoitetasoja ei tässä tutkimuksessa ole tarkasteltu erikseen, koska pituuserot ennen ensimmäistä jatkolannoitusta olivat varsin pienet ja pituuskasvun erot tasoittuivat täydellisesti jo kolmantena ensimmäisen jatkolannoituksen jälkeisenä vuotena (v. 1977, Kaunisto 1979). Lannoitteiden fosfori oli vuosina 1975 ja 1985 raakafosfaattia ja v. 1996 apatiittia ja kalium kaliumkloridia.

Syksyllä 1987 puustot harvennettiin, minkä jälkeen puuston koealoittainen kasvatustiheys oli 900-2 600 ja keskimääräiset kasvatustiheydet 1 287 (viljelytiheydet 1 600 ja 1 975), 1 654 (viljelytiheys 3 260) ja 1 954 kpl ha<sup>-1</sup> (viljelytiheys 10 000, taulukko 1). PK+PKB:ssä männyn harvennuspoistuma oli 7.1 (keskihajonta ±3.4) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> kasvatustiheydellä 1 272 kpl ha<sup>-1</sup>, 20.5 (±8.6) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> kasvatustiheydellä 1 654 kpl ha<sup>-1</sup> ja 54.7 (±5.6) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> kasvatustiheydellä 1 954 kpl ha<sup>-1</sup>. Kontrollissa (kasvatustiheys 1 103) poistuma oli 1.8 (±1.0) ja N+PKB:ssä (kasvatustiheys 1 094) 4.8 (±1.7) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Taulukko 1. Tutkimukseen valitut jatkolannoitus- ja kasvatustiheyskäsittelyt sekä toistojen määrä.

Table 1. Refertilisation and growing density treatments and the number of replicates.

Viljelytiheys <i>Planting density</i> Kpl – trees	Kasvatustiheys <i>Growing density</i> ha <sup>-1</sup>	Lannoitus <i>Fertilisation</i>		
		0	N+PKB <sup>1)</sup>	PK+PKB <sup>2)</sup>
1600, 1975	<1300	3	6	6
3260	1654			6
10000	1954			5

<sup>1)</sup> NPK (14-7.7-8.3) 15 (n=2), 30 (n=2) tai 60 g/taimi (n=2) 0.25 m<sup>2</sup>:n laikkuun v. 1964; N (27.5%) 500 kg ha<sup>-1</sup> v. 1975; PKB (9-17-0.2) 500 kg ha<sup>-1</sup> v. 1985.

<sup>2)</sup> NPK v. 1964 kuten 1):ssä lukuun ottamatta viljelytiheyttä 10 000, jossa 60 g/taimi (n=1); PK (10.3-12.5) 500 kg ha<sup>-1</sup> v. 1975; PKB (9-16-0.2) 500 kg ha<sup>-1</sup> v. 1996.

<sup>1)</sup> NPK (14-7.7-8.3) 15 (n=2), 30 (n=2) or 60 g/seedling (n=2) in 1964; N (27.5%) 500 kg ha<sup>-1</sup> in 1975; PKB (9-17-0.2) 500 kg ha<sup>-1</sup> in 1985.

<sup>2)</sup> NPK in 1964, see 1), except planting density 10 000 where 60 g/seedling (n=1); PK (10.3-12.5) 500 kg ha<sup>-1</sup> in 1975; PKB (9-16-0.2) 500 kg ha<sup>-1</sup> in 1996.

## Juuristonäytteet

Juuristonäytteet otettiin pohjamaahan tai korkeintaan 40 cm:n syvyyteen asti 5 cm:n kerroksina loka-marraskuun vaihteessa 1995. Tilavuustarkat (60 mm x 60 mm x 50 mm) osanäytteet otettiin ruudun keskipisteestä ja lävistäjien puolikkaiden keskeltä. Osanäytteistä muodostettiin koalakooste kerroksittain.

Turvenäytteistä erotettiin vesihuutelulla juuret, joista tunnistettiin ja erotettiin elävät männyn juuret. Ennen kuivamassan (105 °C, 1 vrk) määrittystä näytteestä otettiin valokopio pituusmäärittäksiin. Juurten pituus mitattiin tasoskannerilla tallennetusta bmp-tiedostosta GSRrootkuva-analyysiohjelmalla (Guddanti & Chambers 1993). Juurten kuivamassa ja pituus laskettiin neliometriä kohden. Juuriston syvyyssulottuvuuden laskennassa käytettiin koaloittain syvimmän männyn juuria sisältävän näytekerroksen keskisyvyyttä. Koalakohtaiset juuriston keskisyvyydet laskettiin sekä juurten kuivamassalla että pituudella painotettuina.

## Ravinnetilan määrittäminen

Maan ravinnetilan selvittämiseksi otettiin tilavuustarkat turvenäytteet (pinta-ala 38 mm x 48 mm) ruutujen keskipisteestä sekä lävistäjien puolikkaiden keskeltä kesäkuussa 1997. Näytteet otettiin raakahumuskerroksesta sekä 0-10 ja 10-20 cm:n turvekerroksista. Samalla mitattiin raakahumuksen paksuus (taulukko 2). Osanäytteistä muodostettiin koalakooste kerroksittain. Turvekerroksen paksuus oli mitattu jo aiemmin vuosina 1977 (kontrollissa keskimäärin 72.4±16.1 cm, N+PKB:ssä 67.2±17.5 cm ja PK+PKB:ssä 70.0±18.1 cm) ja 1995 (taulukko 2).

Turvenäytteistä määritettiin kuivatuoretiheys, pH (60 °C:ssa kuivatuista näytteistä tilavuussuhteessa maa/vesi = 1/5), orgaanisen aineksen osuus, kokonaistyyppi Kjeldahlin menetelmällä, ravinteiden kokonaispitoisuudet joko suolahappo- (P, K, Ca, Mg, Fe) tai fosfori-rikkihappoutuksesta (B) sekä happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4.65) uuttuvat P ja K Metsäntutkimuslaitoksessa käytettävien ja Parkanon tutkimusasemalla sovellettavien menetelmin (Halonen ym. 1983). P ja B määritettiin spektrofotometrillä ja K, Ca, Mg sekä Fe atomiabsorptiospektrofotometrillä (liitetaulukko 1).

Puiden ravinnetilan kehityksen seuraamiseksi otettiin neulasnäytteet helmi-maaliskuussa 1991 ja 1996 ennen lannoituskäsittelyn PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub> toista jatkolannoitusta ja maaliskuussa 1998 kaksi kasvukautta jatkolannoituksen jälkeen koealakoosteina noin kymmenestä puusta kultakin koealalta. Neulasnäytteet otettiin toiseksi ylimmästä oksakiehkurasta etelänpuoleisista uusimmista kasvaimista. Neulasnäytteistä (kuivaus 60 °C:ssa) määritettiin ravinteiden (N, P, K, Ca, Mg, B, Mn, Cu, Zn ja Fe) kokonaispitoisuudet.

### Puuston mittaus

Puut mitattiin kesäkuussa 1997 ympyräkoaloilta ( $r=5.0$  m,  $A=78.5$  m<sup>2</sup>), jotka sijoitettiin koealoille systemaattisesti siten, että koealan keskipisteen lisäksi ympyräkoalat tulivat lävistäjien puolikkaiden keskelle. Kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ( $d_{1,3}$ ) ristikkäismittauksena 1 mm:n tarkkuudella.

Koepuiksi valittiin joka toinen lukupuu sekä lisäksi ympyräkoalan pienin ja suurin puu, jos ne eivät muuten tulleet koepuiksi. Koepuista määritettiin perusmittausten lisäksi yläläpimitta  $d_{6,0}$  (alle 7.5 m pituisista puista  $d_{3,5}$ , mittaustarkkuus 1 cm), pituus ja elävän latvuksen alarajan korkeus maasta (1 dm:n tarkkuudella). Vuoden 1997 pituuskasvut jätettiin pois pituusmitasta. Kultakin ympyräkoetalta kairattiin lustonäytteet rinnankorkeudelta läpimitaltaan pienimmästä, suurimmasta ja mediaanipuusta tilavuuskasvun vaihteluiden selvittämiseksi. Puustotunnukset

laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-ohjelmalla (Heinonen 1994). Tukkipuun (pienin sallittu latvaläpimitta 14.5 cm) osuudessa ei huomioitu laatutekijöitä. Tutkimusmetsiköt olivat lähes puhtaita männiköitä, sillä koivun osuus oli vain 0-7 % runkoluvusta ja 0-3 % runkotilavuudesta.

### Laskenta

Aineisto laskettiin kahtena osa-aineistona. Lannoituksen vaikutusta voitiin testata alle 1 300 kpl ha<sup>-1</sup> kasvatustiheydessä. Kasvatustiheyden vaikutusta testattiin puolestaan vain niillä koealoilla, jotka oli jatkolannoitettu fosforilla ja kaliumilla vuosina 1975 ja 1996 (PK+PKB).

Maan ravinnemäärät koko tutkitussa profiilissa sekä juuristo- ja puustotunnukset testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Lannoitus- ja kasvatustiheyskäsittelyjen vaikutus maan eri kerrosten ravinnemääriin analysoitiin monimuuttajavarianssianalyysillä (MANOVA, jossa testinä käytettiin Wilksin lambdaa), jonka jälkeen tunnukset testattiin vielä erikseen kerroksittain varianssianalyysillä ja Tukeyn parittaisella vertailutestillä (The SAS System for Windows, Release 8.01). Puiden ravinnetilan ja turvekerroksen paksuuden muutos testattiin toistettujen mittausten varianssianalyysillä (MANOVA-testinä Wilksin lambda). Turvekerroksen paksuuden muutos testattiin niillä koealoilla, joilta oli mittaukset kumpanakin ajankohtana (1977 ja 1995). Korrelaatioanalyyseissä käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa.

### Tulokset

#### Turpeen ravinteet

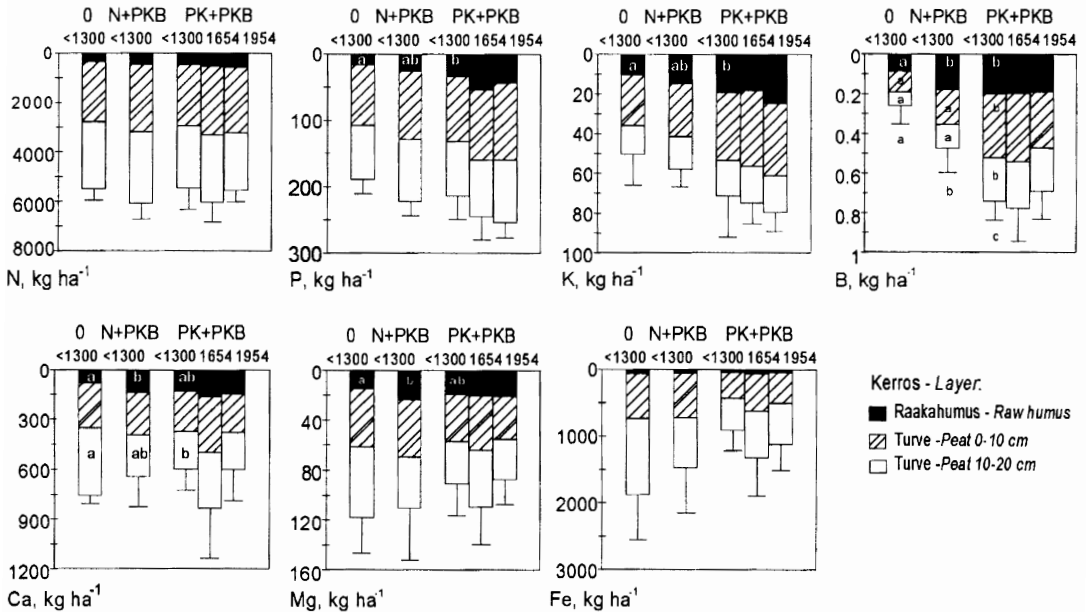
PK+PKB -jatkolannoitus lisäsi fosforin ja kaliumin määriä raakahumuksessa ja boorin määrää raakahumuksen lisäksi myös turpeessa kontrolliin verrattuna sekä turpeessa N+PKB -jatkolannoitukseenkin verrattuna (kuva 1). N+PKB -jatkolannoitus lisäsi kalsiumin ja magnesiumin määriä raakahumuksessa kontrolliin verrattuna.

Lannoitus ei kuitenkaan vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi koko tutkitun maakerroksen ravinteiden kokonaismääriin booria lukuunotta-

Taulukko 2. Raakahumuksen (Rh, vuonna 1997) ja turvekerroksen (1995) paksuudet (cm) käsittelyittäin (suluissa keskihajonta). Lannoituskäsittelyt on esitetty taulukossa 1.

Table 2. Thickness (cm) of raw humus (Rh in 1997) and remaining peat layer (year 1995) in different treatments (sd in parentheses). See fertilisation treatments in Table 1.

Lannoitus Fertilisation	Tiheys Density	Turve Peat	Rh Rh
0	<1 300	94.0 (29.0)	1.6 (1.2)
N+PKB	<1 300	64.0 (14.1)	2.5 (0.4)
PK+PKB	<1 300	67.0 (16.7)	3.1 (0.6)
PK+PKB	1 654	87.4 (36.8)	2.8 (0.9)
PK+PKB	1 954	77.8 (28.4)	3.4 (0.9)



Kuva 1. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden (< 300, 1 654, 1 954 puuta ha<sup>-1</sup>) vaikutus pintamaan (raakahumus + 20 cm:n turvekerros) ravinnemääriin. Lannoituskäsittelyt (ks. myös taulukko 1): 0= lannoittamaton vertailu, N+PKB= NPK<sub>1964</sub>+N<sub>1975</sub>+PKB<sub>1985</sub>, PK+PKB= NPK<sub>1964</sub>+PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub>. Pylväiden päissä on ilmoitettu koko profiilin ravinnemäärän keskihajonta. Samoin kirjaimin merkityt jatkolannoituskäsittelyt eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p \geq 0.05$ ).

Fig. 1. Effects of refertilisation and growing density (< 1 300, 1 654, 1 954 trees ha<sup>-1</sup>) on the nutrient amounts in surface soil (raw humus + 0-20 cm peat layer). Fertilisation treatments (see also Table 1): 0=control, N+PKB= NPK<sub>1964</sub>+N<sub>1975</sub>+PKB<sub>1985</sub>, PK+PKB= NPK<sub>1964</sub>+PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub>. Sd of the total nutrient amount is marked on the top of the bars. Means with the same capital are not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

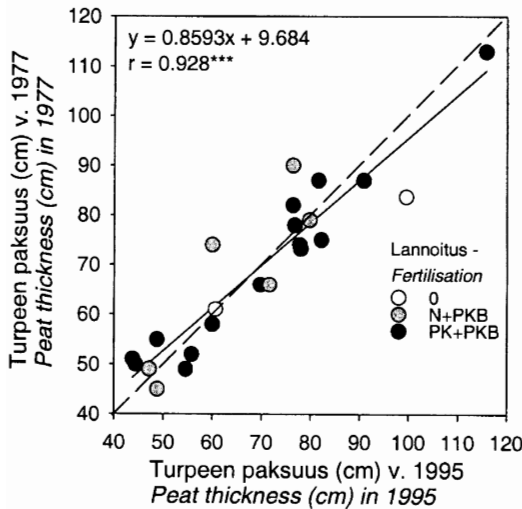
matta ( $p < 0.001$ , kuva 1). Boorin kokonaismäärä oli suurin vuonna 1996 PKB:llä jatkolannoitetuissa männiköissä. Samoin myös vuonna 1985 jatkolannoitetuissa männiköissä oli enemmän booria kuin vertailualueilla (kuva 1). Vuonna 1996 tehty PKB-jatkolannoitus lisäsi tilastollisesti merkitsevästi happamalla ammoniumasetaatilla uuttuvien fosforin ja kaliumin määriä kontrolliin verrattuna (taulukko 3).

Kasvatustiheys ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi maan ravinnemääriin PK+PKB -jatkolannoitetuissa männiköissä (kuva 1). Kasvatustiheysaineistossa raakahumuksen fosforimäärä korreloi positiivisesti 0-10 cm:n turvekerroksen ( $r = 0.620$ ,  $p = 0.008$ ,  $n = 17$ ) ja koko profiilin ( $r = 0.514$ ,  $p = 0.035$ ) rautamäärien kanssa. Myös lannoitus- ja kasvatustiheyskäsittelyjen yhdistetyssä aineistossa fosforin ja raudan kokonaismäärät korreloivat raakahumuksessa keske-

nään tilastollisesti merkitsevästi ( $r = 0.596$ ,  $p = 0.001$ ,  $n = 26$ ). Liukoisen fosforin ja raudan määrien välillä ei ollut yksiselitteisiä korrelaatioita.

### Turvekerroksen paksuus ja puiden juuristo

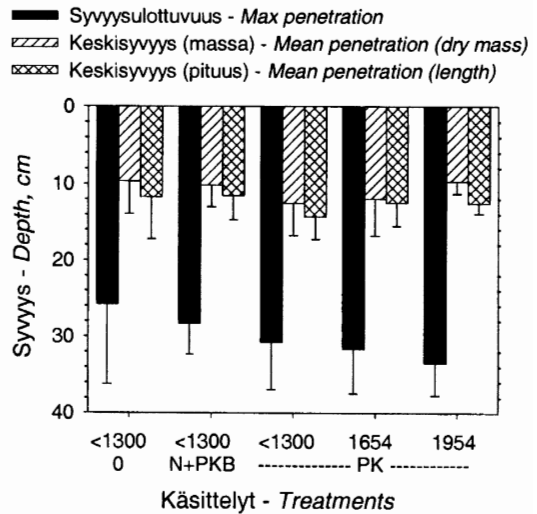
Turvekerroksen paksuus vaihteli välillä 44-155 cm v. 1995. Viidellä lannoitetulla koealalla turvekerros oli keskimäärin alle 50 cm (44-49 cm, kuva 2). Turvekerroksen paksuudessa oli vuosien 1977 ja 1995 välillä kiinteä lineaarinen riippuvuus. Turvekerros oli keskimäärin hieman paksumpi v. 1995 kuin v. 1977. Käsittelyittäin turpeen keskipaksuus oli 18 vuodessa pysynyt ennallaan PK+PKB -jatkolannoituksessa, lisääntynyt kontrollissa (+8 cm) ja hieman ohentunut N+PKB -jatkolannoituksessa (-3 cm), mutta lannoituksen ja ajan päävaikutukset sekä niiden yh-



Kuva 2. Turpeen paksuus vuosina 1977 ja 1995. PK+PKB -jatkolannoituksen eri kasvatustiheydet on yhdistetty. Fig. 2. Peat thickness measured in the years 1977 and 1995 (different growing densities of PK+PKB -refertilisation are combined).

dysvaikutus eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ( $p_{\text{lannoitus}}=0.750$ ,  $p_{\text{aika}}=0.392$ ,  $p_{\text{yhdysvaikutus}}=0.146$ ).

Juuriston keskimääräinen syvyyssulottuvuus vaihteli välillä 26-34 cm. Jatkolannoitus ( $p=0.530$ ) tai kasvatustiheys ( $p=0.725$ ) eivät kuitenkaan vaikuttaneet siihen tilastollisesti merkitsevästi (kuva 3). Juuria löytyi joissakin tapauksissa myös syvimmästä tutkitusta turvekerroksesta (35-40 cm). Juuriston kuivamassalla painotettu



Kuva 3. Juuriston syvyyssulottuvuus sekä juurten kuivamassalla ja pituudella painotetut keskiarvot eri jatkolannoitus- (ks. taulukko 1 ja kuva 1) ja kasvatustiheyskäsitelyissä (keskihajonta pylväiden päässä).

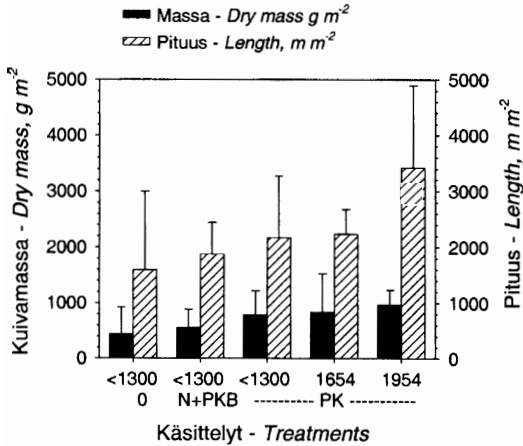
Fig. 3. Depth penetration of roots and the mean root depth weighted by the root dry mass and the length in different refertilisation and growing density treatments (sd is marked on the top of the bars). Key for the fertilisation in Table 1 and Fig. 1.

keskiarvo oli suurin PK<sub>1975</sub>-jatkolannoituksessa, mutta ero muihin lannoituskäsitelyihin ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p=0.438$ ). Kasvatustiheyskään ei vaikuttanut juuriston keskiarvoon ( $p=0.465$ ). Juurten pituudella painotettu keskiarvo

Taulukko 3. Jatkolannoituksen tilastollisesti merkitsevät vaikutukset happamaan ammoniumasettaattiin uuttuviin fosfori- ja kaliummääriin männiköissä, joissa kasvatustiheys oli alle 1 300 kpl/ha (Rh= raakahumus, keskihajonta suluissa). Samoin kirjaimin merkityt keskiarvot eivät eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p \geq 0.05$ ). Muuttujan nimen alla on ilmoitettu sulkeissa MANOVA-testin p-arvo lannoituksen osalta koko aineistossa ( $n=15$ ). Lannoituskäsitelyt on selitetty taulukossa 1 ja kuvassa 1.

Table 3. Significant effects of refertilisation on the AAAC extractable phosphorus and potassium amounts in different soil layers. Means with the same letter are not significantly different ( $p \geq 0.05$ ). Result of MANOVA test is marked in parentheses under the variable name (whole material,  $n=15$ ). See fertilisation treatments in Table 1 and Fig. 1. Sd in parentheses.

Muuttuja Variable	Maakerros Soil layer	Lannoitus - Fertilisation			P-arvo P value
		0	N+PKB	PK+PKB	
$P_{AAAC}$ , kg ha <sup>-1</sup> (0.077)	Rh+turve 0-20cm	10.5 (3.4) a	12.8 (1.5) ab	15.5 (2.9) b	0.038
	Rh	3.2 (2.6)	6.3 (1.1)	6.3 (1.6)	0.043
$K_{AAAC}$ , kg ha <sup>-1</sup> (0.021)	Rh+turve 0-20cm	40.5 (16.8) a	54.5 (7.6) a	75.2 (14.9) b	0.006
	Rh	10.5 (5.0) a	15.6 (1.7) ab	20.2 (5.9) b	0.028
	turve 0-10 cm	18.8 (8.4) a	24.6 (5.6) ab	38.7 (12.6) b	0.021



Kuva 4. Jatkolannoituksen (ks. taulukko 1 ja kuva 1) ja kasvustiheyden vaikutus juurten kuivamassaan ja pituuteen (keskihajonta pylväiden päässä).

Fig. 4. Effect of refertilisation and growing density on the dry mass and length of roots (sd is marked on the top of the bars). Key for fertilisation in Table 1 and Fig. 1.

vyys oli hieman suurempi kuin massalla painotettu. Käsittelyt eivät vaikuttaneet siihen tilastollisesti merkitsevästi ( $p_{\text{lannoitus}}=0.387$ ,  $p_{\text{tiheys}}=0.409$ ).

Juuriston kuivamassa vaihteli lannoitusaineistossa välillä 437-790 g m<sup>-2</sup> ja kasvustiheysaineistossa välillä 790-974 g m<sup>-2</sup> (kuva 4). Käsitteilyjen vaikutus siihen ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p_{\text{lannoitus}}=0.420$ ,  $p_{\text{tiheys}}=0.830$ ). Juurten pituus vaihteli lannoitusaineistossa kontrollin 1 597 m m<sup>-2</sup> ja PK<sub>1975</sub>-jatkolannoituksen 2 171 m m<sup>-2</sup> välillä (kuva 4), mutta jatkolannoitus ei lisännyt sitä tilastollisesti merkitsevästi ( $p=0.702$ ). Kasvustiheyden noustessa juurten pituus kasvoi, mutta sen vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä (2 171-3 418 m m<sup>-2</sup>,  $p=0.134$ ). Turpeen pakkaus ja juuristotunnukset eivät korreloineet keskenään tilastollisesti merkitsevästi.

## Puiden ravinnetila

Kaikkina vuosina neulasten typpipitoisuus oli kontrollimännnyillä suurempi kuin jatkolannoitettuihin ja selvästi männyn neulasten optimiarvojen yläpuolella (Reinikainen ym. 1998). Ensimmäisenä havainnointivuotena (1990) ero oli tilastollisesti merkitsevä N+PKB -jatkolannoitettuihin ja vuosina 1995 ja 1997 molempiin lan-

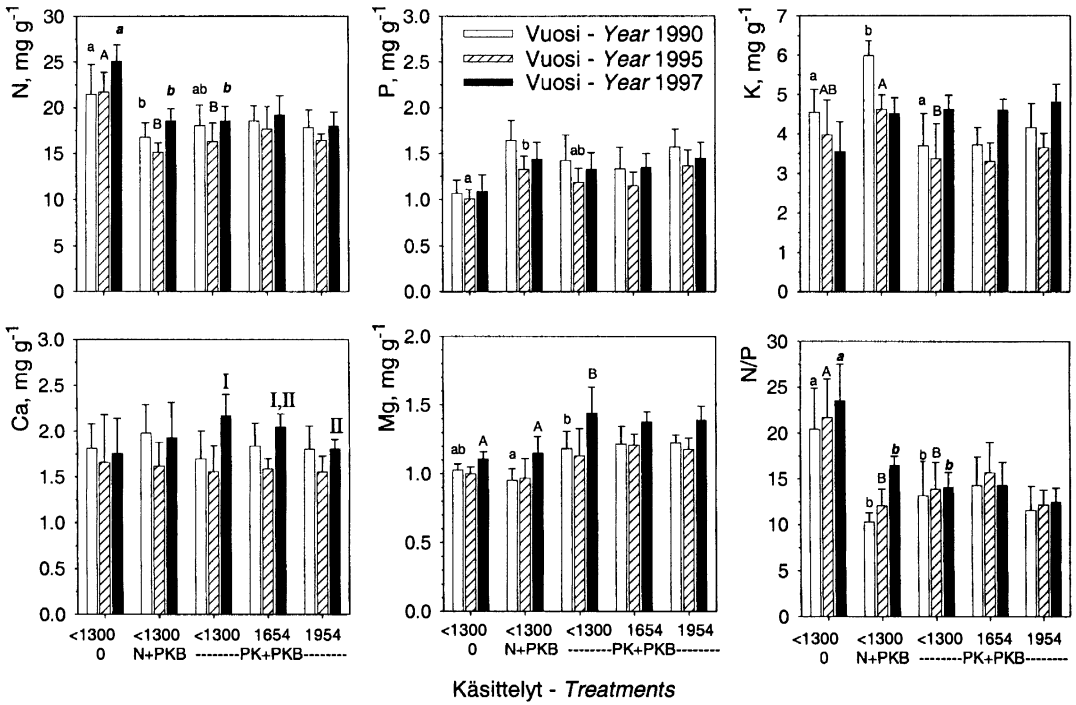
noituskäsitteilyihin verrattuna (kuva 5).

Vuonna 1990, jolloin oli kulunut 6 vuotta N+PKB -koealojen PKB-jatkolannoituksesta ja 16 vuotta PK+PKB -koealojen PK-jatkolannoituksesta, fosforipitoisuudet olivat korkeimmat N+PKB -koealojen neulasissa. Vuonna 1995 ero oli merkitsevä verrattuna kontrolliin, jolla puut kärsivät voimakkaasta fosforin puutoksesta (pitoisuus alle 1.3 mg g<sup>-1</sup>, Reinikainen ym. 1998). Myös lannoitetuilla koealoilla neulasten fosforipitoisuudet olivat matalia. Jatkolannoitukseen vuonna 1996 ei vaikuttanut vuoden 1997 neulasten fosforipitoisuuteen.

Taulukko 4. Jatkolannoituksen (lann) vaikutus männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin, -määriin (mg 100 neulasessa) ja pitoisuussuhteisiin vuosina 1990, 1995 ja 1997.

Table 4. Effect of refertilisation (fert) on the nutrient concentrations, amounts in 100 needles (mg) and on some nutrient concentration ratios in Scots pine needles in 1990, 1995 and 1997.

Muuttuja Variable	p-arvo — p-value —		
	Lann Fert	Vuosi Year	Vuosi×lann Year×fert
Dm of 100 needles	0.300	0.000	0.837
N, mg g <sup>-1</sup>	0.003	0.000	0.026
P, mg g <sup>-1</sup>	0.026	0.000	0.807
K, mg g <sup>-1</sup>	0.011	0.000	0.000
Ca, mg g <sup>-1</sup>	0.929	0.007	0.143
Mg, mg g <sup>-1</sup>	0.020	0.000	0.262
B, mg kg <sup>-1</sup>	0.029	0.000	0.000
Mn, mg kg <sup>-1</sup>	0.009	0.019	0.942
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	0.030	0.001	0.040
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	0.001	0.019	0.293
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	0.088	0.110	0.053
N, mg	0.451	0.000	0.328
P, mg	0.102	0.000	0.979
K, mg	0.070	0.000	0.009
Ca, mg	0.553	0.000	0.435
Mg, mg	0.041	0.000	0.284
B, mg	0.031	0.000	0.000
Mn, mg	0.029	0.001	0.757
Cu, mg	0.163	0.000	0.372
Zn, mg	0.096	0.000	0.752
Fe, mg	0.172	0.000	0.124
N/P	0.001	0.160	0.621
N/K	0.004	0.010	0.001
K/P	0.027	0.760	0.042
Ca/B	0.080	0.128	0.124



Kuva 5. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin ja N/P-suhteeseen kolmena eri ajankohtana. Samoin kirjaimin (lannoitus) tai numeroin (kasvatustiheys) merkityt käsittelyt eivät poikkea toisistaan samana vuonna tilastollisesti merkitsevästi ( $p \geq 0.05$ ). Keskiahjonta on esitetty pylväiden päässä (lannoituskäsittelyt, ks. taulukko 1 ja kuva 1).

Fig. 5. Effect of refertilisation and growing density on the nutrient concentrations and N/P ratios in Scots pine needles at three different sampling times. Means with the same capital (fertilisation) or Roman numeral (growing density) are not significantly different ( $p \geq 0.05$ ). Sd is marked on the top of the bars. Key for the fertilisation treatments in Table 1 and Fig. 1.

Kontrollimäntyjen neulasissa typen ja fosforin suhde (20-23) oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin lannoitetuissa männyissä (kuva 5, taulukko 4). Lannoitettujenkin mäntyjen N/P-suhde oli varsin korkea kaikkina tutkittuina vuosina (kuva 5, ks. esim. Kaunisto & Paavilainen 1977). Ainoastaan suurimman kasvatustiheyden ryhmässä N/P-suhde säilyi melko vakaana ja lähes tyydyttävällä tasolla koko tutkimusjakson ajan.

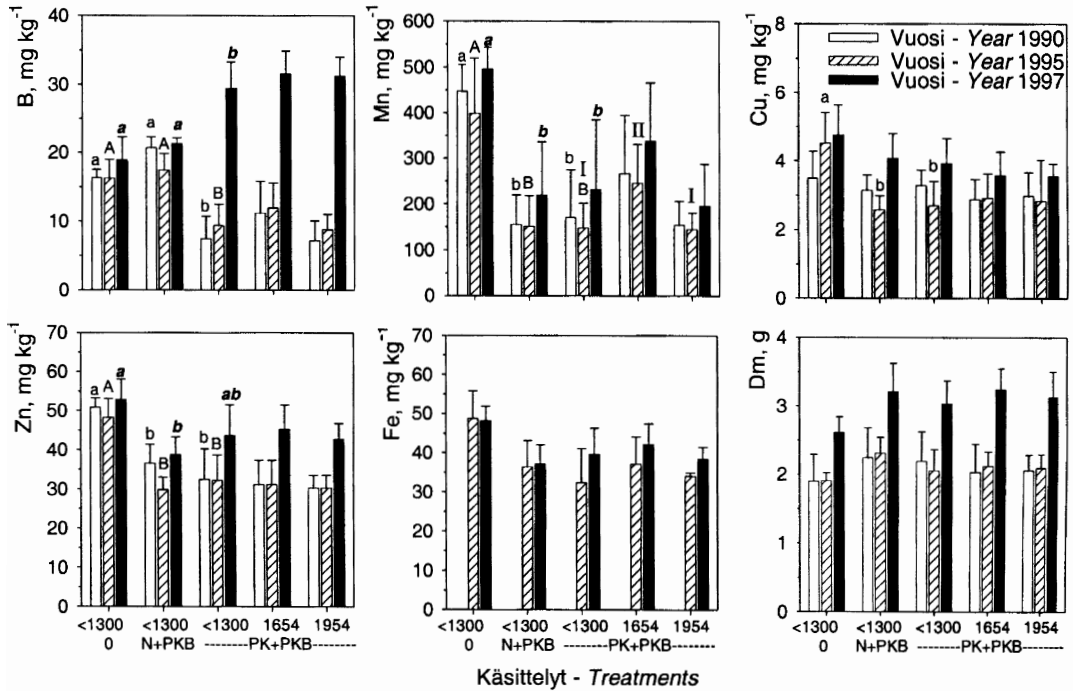
Neulasten kaliumpitoisuudet olivat N+PKB-käsittelyssä vielä vuonna 1990 erittäin korkealla tasolla ( $>5.6 \text{ mg g}^{-1}$ ) ja tilastollisesti merkitsevästi muita jatkolannoituskäsittelyitä korkeampia, mutta alenivat vuoteen 1995 mennessä ollen kuitenkin vielä merkitsevästi korkeampia kuin PK:lla vuonna 1975 jatkolannoitetuilla koaloilla (kuva 5). Vuonna 1996 tehty PKB-jatkolannoitus ko-

hotti vuoden 1997 neulasten kaliumpitoisuuden samalle, kohtalaisen kaliumravitsemuksen tasolle kuin N+PKB-jatkolannoituksessakin. Sen sijaan kontrollissa kaliumpitoisuus oli pudonnut puutostasolle (Reinikainen ym. 1998).

Myös booripitoisuudet olivat vuosina 1990 ja 1995 N+PKB-käsittelyssä verraten korkeita ja tilastollisesti merkitsevästi korkeampia kuin PK-jatkolannoitetuilla, joilla pitoisuudet olivat lähellä puutostasoa ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$ , Reinikainen ym. 1998). Booripitoisuudet kohosivat vuonna 1996 tehdyn PKB-jatkolannoituksen vaikutuksesta erittäin voimakkaasti ja olivat vuoden 1997 neulasissa tilastollisesti merkitsevästi korkeampia kuin lannoittamattomissa tai vuonna 1985 PKB-jatkolannoitetuissa.

Neulasten kupari- ja sinkkipitoisuudet olivat





Kuva 6. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus männyn neulasten hivenravinteiden pitoisuuksiin ja 100 neulasen kuivamassaan (Dm) kolmena eri ajankohtana. Samoin kirjaimin (lannoitus) tai numeroin (kasvatustiheys) merkityt käsitellyt eivät poikkea toisistaan samana vuonna tilastollisesti merkitsevästi ( $p \geq 0.05$ ). Keskiahjonta on esitetty pylväiden päässä (lannoituskäsitellyt, ks. taulukko 1 ja kuva 1).

Fig. 6. Effect of refertilisation and growing density on the micronutrient concentrations and dry mass of 100 needles in Scots pine needles at three different sampling times. Means with the same capital (fertilisation) or Roman numeral (growing density) are not significantly different ( $p \geq 0.05$ ). Sd is marked on the top of the bars. Key for the fertilisation treatments in Table 1 and Fig. 1.

korkeampia kontrollikoealoilla kuin jatkolannoitetuilla. Kuperipitoisuuksien ero kontrollin ja lannoituskäsitelyjen välillä oli tilastollisesti merkitsevä vuonna 1995 ja sinkkipitoisuuksien sekä vuonna 1990 että 1995. Kummankin pitoisuudet olivat korkeimmillaan vuoden 1997 neulasissa. Sinkkipitoisuudet olivat jatkolannoitetuilla koealoilla poikkeuksellisen matalia (Reinikainen ym. 1998).

Kevään 1996 PKB-jatkolannoituksen vaikutus vuoden 1997 neulasten kalium- ja booripitoisuuksiin näkyi selvästi myös kasvatustiheyden osa-aineistossa (kuvat 5 ja 6). Kasvatustiheys ei vaikuttanut vuosien välisiin eroihin (taulukko 5). Männyn kasvatustiheydellä ei ollut myöskään tilastollisesti merkitsevää vaikutusta ravinnetunnuksiin, kun ne laskettiin kaikkien vuosien kes-

kiarvoina.

Jatkolannoitus vaikutti tilastollisesti merkitsevästi kaikkiin muihin neulasten ravinnepitoisuuksiin paitsi Ca- ja Fe-pitoisuuteen sekä Ca/B-suhteeseen, kun tarkasteltiin kaikkien vuosien keskiarvoja (taulukko 4). Neulasten kuivapainossa ja ravinnepitoisuuksissa sekä -määrissä oli suuri vuosien välinen vaihtelu Fe-pitoisuutta lukuun ottamatta (taulukko 4, kuvat 5 ja 6). Kaliumin ja boorin pitoisuudet muuttuivat eri suuntiin peräkkäisinä vuosina. Tämä aiheutui eri aikoina tehdyistä jatkolannoituksista ( $N_{1975}+PKB_{1985}$ ,  $PK_{1975}+PKB_{1996}$ ) ja näkyy vuosien ja lannoituksen välisinä yhdysvaikutuksina (taulukko 4).

## Puuston kehitys

PK-jatkolannoitus lisäsi merkitsevästi männyn keskiläpimittaa, pohjapinta-alaa, keskipituutta ja runkotilavuutta lannoittamattomaan käsittelyyn verrattuna (taulukko 6, kuva 7). Lannoitus lisäsi myös puuston kokonaistuotosta (ilman luonnonpoistumaa,  $p < 0.001$ , kuva 7). Suurin kokonaistuotos  $139 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  oli PK-jatkolannoitetuilla koealoilla. Kasvatustiheyden lisääntyessä puuston pohjapinta-ala, keski- ja valtapituudet sekä runkopuun tilavuus lisääntyivät ja vastaavasti keskiläpimitta ja latvussuhde pienenivät (taulukko 7). Runkoluvun, pohjapinta-alan ja runkotilavuuden

Taulukko 5. Kasvatustiheyden vaikutus PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub> -jatkolannoitettujen mäntyjen neulasten ravinnepitoisuuksiin, -määriin (mg 100 neulasessa) ja pitoisuussuhteisiin vuosina 1990, 1995 ja 1997

Table 5. Effect of growing density on the nutrient concentrations, amounts in 100 needles (mg) and on some nutrient concentration ratios in Scots pine needles in 1990, 1995 and 1997.

Muuttuja Variable	P-arvo - P-value		
	Tiheys Density	Vuosi Year	Vuosi×Tiheys Year×Density
Dm 100 needles	0.959	0.000	0.599
N, mg g <sup>-1</sup>	0.567	0.000	0.705
P, mg g <sup>-1</sup>	0.146	0.000	0.886
K, mg g <sup>-1</sup>	0.474	0.000	0.859
Ca, mg g <sup>-1</sup>	0.522	0.000	0.165
Mg, mg g <sup>-1</sup>	0.963	0.000	0.288
B, mg kg <sup>-1</sup>	0.246	0.000	0.333
Mn, mg kg <sup>-1</sup>	0.110	0.005	0.930
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	0.820	0.007	0.557
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	0.941	0.000	0.924
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	0.488	0.000	0.511
N, mg	0.691	0.000	0.426
P, mg	0.585	0.000	0.483
K, mg	0.845	0.000	0.772
Ca, mg	0.664	0.000	0.478
Mg, mg	0.716	0.000	0.793
B, mg	0.166	0.000	0.461
Mn, mg	0.102	0.000	0.570
Cu, mg	0.749	0.000	0.373
Zn, mg	0.768	0.000	0.779
Fe, mg	0.208	0.000	0.655
N/P	0.191	0.110	0.612
N/K	0.209	0.000	0.741
K/P	0.771	0.004	0.927
Ca/B	0.400	0.000	0.754

den välinen ero oli merkitsevä harvimman ja tiheimmän kasvatustiheyden välillä. Koealakohtaisesti männiköiden runkotilavuus vaihteli kasvatustiheysaineistossa  $91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ :n (kasvatustiheys  $1272 \text{ kpl ha}^{-1}$ ) ja  $219 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ :n (kasvatustiheys  $1954 \text{ kpl ha}^{-1}$ ) välillä.

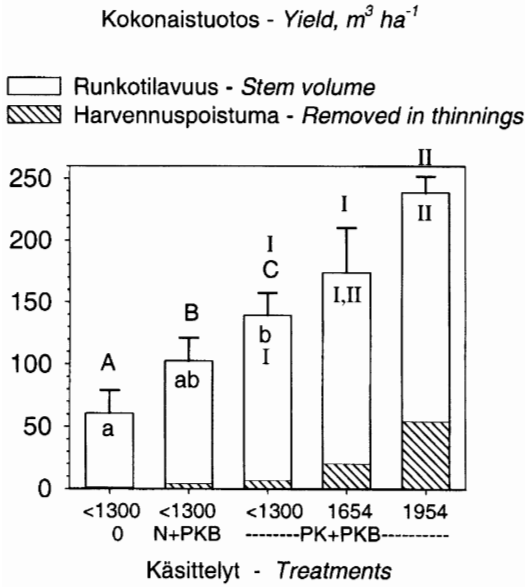
Lannoituksen osa-aineistossa PK+PKB -jatkolannoitetuilla koealoilla tukkipuun osuus koko puustosta oli 29 % ja kuitupuun 68 %, kun vastaavat luvut lannoittamattomilla koealoilla olivat 22 % ja 72 % (taulukko 6). N+PKB -jatkolannoituskäsittelyssä tukkipuuta oli 34 % ja kuitupuuta 63 %. Käsittelyt eivät vaikuttaneet tukkipuun määrään tilastollisesti merkitsevästi (taulukot 6 ja 7). Kasvatustiheyden lisääntyminen pienimmästä suurimpaan lähes 700 rungolla  $\text{ha}^{-1}$  vähensi tukkipuun osuutta vain runsaalla  $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ :llä, mutta lisäsi kuitupuun määrää  $55 \text{ m}^3$ :llä. Myös kokonaistuotos oli suurin tiheimmässä asennossa kasvatetuissa puustoissa ( $239 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ,  $p_{\text{tiheys}} = 0.005$ , kuva 7).

Jatkolannoitus PK:lla vuonna 1975 lisäsi voimakkaasti puuston vuotuista kuutiokasvua (kuva 8). N+PKB -käsittelyn N-jatkolannoitus vuonna 1975 vaikutti vähän puuston vuotuisen kuutiokasvuun, mutta PKB-jatkolannoitus vuonna 1985 kohotti kuutiokasvun neljässä vuodessa harvimmassa asennossa kasvatettujen, vuonna 1975 PK:lla jatkolannoitettujen puustojen tasolle. Syksyllä 1987 tehdyn harvennuksen jälkeen edelleenkin suurimpaan kasvatustiheyteen jääneiden puustojen kasvu kohosi selvästi muita suuremmaksi ollen parhaimmillaan yli  $13 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Kaikissa käsittelyissä puuston kasvu kääntyi laskuun vuonna 1992 ja vuoden 1994 paremman kasvun jälkeen uudelleen laskuun vuosina 1995 ja 1996.

## Tulosten tarkastelu

### Männiköiden ravinnetila

Tämän tutkimuksen vertailualojen pääravinteiden määrät pintamaassa (raakahumus + 20 cm:n turvekerros) olivat samaa suuruusluokkaa (Kaunisto & Paavilainen 1988) tai jonkin verran pienempiä (Laiho & Laine 1994, 1995, Kaunisto & Moilanen 1998) kuin mitä on mitattu vanhoilta rämeiden ojitusalueilta. Luonnontilaisiin ruohoisiin



Kuva 7. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus männyn runkopuun tilavuuteen ja kokonaistuotokseen ilman luonnonpoistumaa (lannoituskäsittelyt, ks. taulukko 1 ja kuva 1). Samoin kirjaimin (lannoitus) tai numeroin (kasvatustiheys) merkityt käsittelyt eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p \geq 0.05$ ). Pylväiden päässä on esitetty kokonaistuotoksen keskijännöt.

Fig. 7. Effect of refertilisation and growing density on the stem volume and yield (natural removal excluded) of Scots pine. Means with the same capital (fertilisation) or Roman numeral (growing density) are not significantly different ( $p \geq 0.05$ ). Sd of the yield is marked on the top of the bars. Key for the fertilisation treatments in Table 1 and Fig. 1.

sararämeisiin (Westman 1981) verrattuna suonpohjamänniköiden pintamaassa oli tyypeä noin kaksinkertainen määrä. Magnesiumin ja kalsiumin määrät olivat lähes samalla tasolla kuin Westmanin (1981) tutkimuksessa. Kaliumin määrä oli 48 % Westmanin (1981) ilmoittamista ruohoisten sararämeiden kaliumvaroista. Myös booria oli vertailualoilla suunnilleen saman verran kuin em. rämeistä kehittyneillä turvekankailla.

Lannoitus lisäsi tutkitun maakerroksen boovirastoja huomattavasti ja vaikutus oli havaittavissa koko tutkitussa maakerroksessa vielä 12 vuoden kuluttua lannoituksesta ( $N_{1975}+PKB_{1985}$ ). Tämän lannoituskäsittelyn vaikutus oli todettavissa myös maan fosforin määrässä (ero kontrolliin  $33 kg ha^{-1}$ ). Lisäksi Paavilaisen (1980) tutkimuksen ravinnepitoisuuksia käyttäen voidaan

arvioida puustoon sitoutuneen tai harvennuspuuston mukana maasta poistuneen fosforia yhteensä  $10-11 kg ha^{-1}$  enemmän kuin kontrollikoealoilta. Sen sijaan oli yllättävää, että toistetun fosforijatkolannoituksen ( $PK_{1975}+PKB_{1996}$ ) koealoilla fosforia oli tutkitussa kerroksessa vain noin  $24 kg ha^{-1}$  enemmän ja se näkyi lähinnä vain raakahuomuksen suurempana fosforimääränä kontrolliin verrattuna. Tosin Paavilaisen (1980) tutkimuksen perusteella voidaan arvioida, että puustoon oli sitoutuneena tai harvennuksen mukana oli poistunut fosforia  $18-20 kg ha^{-1}$ . Yhteensä puustoon sitoutunut ja maassa jäljellä olevan fosforin määrän erotus kontrolliin verrattuna vastaa kummasakin tapauksessa lähes yhden lannoituskerran fosforimäärää ( $45 kg ha^{-1}$ ).

Lannoitetujen mäntyjen neulasten typpipitoisuus vaihteli  $15.1$  ja  $19.2 mg g^{-1}$ :n välillä osoittaen puiden hyvää tai jopa arveluttavan korkeaa typpiravitsemusta (Paarlahti ym. 1971, Kaunisto 1982, Reinikainen ym. 1998). Kontrollimänyissä N-pitoisuudet olivat jopa yli  $20 mg g^{-1}$  ja siten erittäin korkeat. Korkeiden typpipitoisuuksien ( $> 18 mg g^{-1}$ ) seurauksena mm. männyn neulasten kylmänkestävyys heikkenee (Aronsson 1980). Samaan aikaan neulasten P-pitoisuudet osoittivat kaikissa tapauksissa fosforin puutosta (Paarlahti ym. 1971, Reinikainen ym. 1998) ja jopa hiljattain (v. 1996) jatkolannoitetuissakin mänyissä neulasten fosforipitoisuus ( $1.3-1.5 mg g^{-1}$ ) jäi esim. Reinikaisen ym. (1998) mukaan hyvää fosforiravitsemusta osoittavan pitoisuuden ( $1.6-2.2 mg g^{-1}$ ) alapuolelle. Seurauksena olikin useissa tapauksissa korkea neulasten N/P-suhde: N/P-suhde oli lannoittamattomilla koealoilla yli 20 ja vuonna 1996 lannoitetuilla  $12.5-14.3$ . Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että N/P-suhteen tulisi olla alle  $11-12$  (Puustjärvi 1962, Kaunisto & Paavilainen 1977).

Neulasten epäedullinen N/P-suhde on seurausta turpeeseen orgaanisesti sitoutuneiden typpi- ja fosforivarojen suhteen epätasapainoisuudesta (N/P turpeessa  $24-28$ ), jota ei ole kyetty tässä tapauksessa kokonaan korjaamaan lannoituksella. Puut käyttävät tyypeä fosforiin nähden noin kymmenkertaisesti (Paavilainen 1980, Kaunisto & Paavilainen 1988, Finér 1989, 1991). Tämän tutkimuksen aineistossa tyypeä onkin todennäköisesti mineralisoitunut liikaa fosforiin verrattuna. Vuonna 1985 jatkolannoitetuilla koealoilla N/P-

suhde oli vielä viiden vuoden kuluttua lannoituksesta hyvä, mutta 12 vuoden kuluttua jo varsin korkea (16.5). Samoin 1975 PK:lla jatkolannoitettuihin (PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub>) männynillä neulasten fosforipitoisuudet olivat jo vuoden 1990 neulasissa puutosrajalla ja vuoden 1995 neulasissa selvästi sen alapuolella ja vastaavasti N/P-suhteet korkeita. Näyttääkin siltä, että fosforilannoituksen vaikutusaika on jäänyt varsin lyhyeksi normaaleihin metsäojitusalueisiin verrattuna (Penttilä & Moilanen 1987, Silfverberg & Hartman 1999). Toisaalta on todennäköistä, että vuonna 1996 tehty lannoitus ei ollut vielä ehtinyt vaikuttaa vuoden 1997 neulasten fosforipitoisuuteen, koska lannoitteen fosforin lähteenä oli veteen liukenevan apatiitti (Karsisto 1977, Vasander & Lindholm 1992, Kaunisto ym. 1993, 1999).

Kivennäismaan mukana turpeeseen sekoituvat alumiini ja rauta sitovat turpeesta tai lannoitteesta vapautuvaa heppoliukoista fosforia, jolloin fosforin huuhtoutumisriski vähenee (Nieminen 2002). Paksuturpeisella suonpohjalla, kuten tässä tapauksessa, kivennäismaan sekoittumista turpeeseen ei tapahdu, joten fosforin sitoutuminen riippuu kokonaan turpeen omasta rauta- ja alumiinipitoisuudesta. Raudan määrä turpeessa vastasi tässä aineistossa fosforinpidätyskyvyltään verrattain heikosti fosforia adsorpoivia turpeita (Nieminen & Jarva 1996). Aineistossa ei myös-

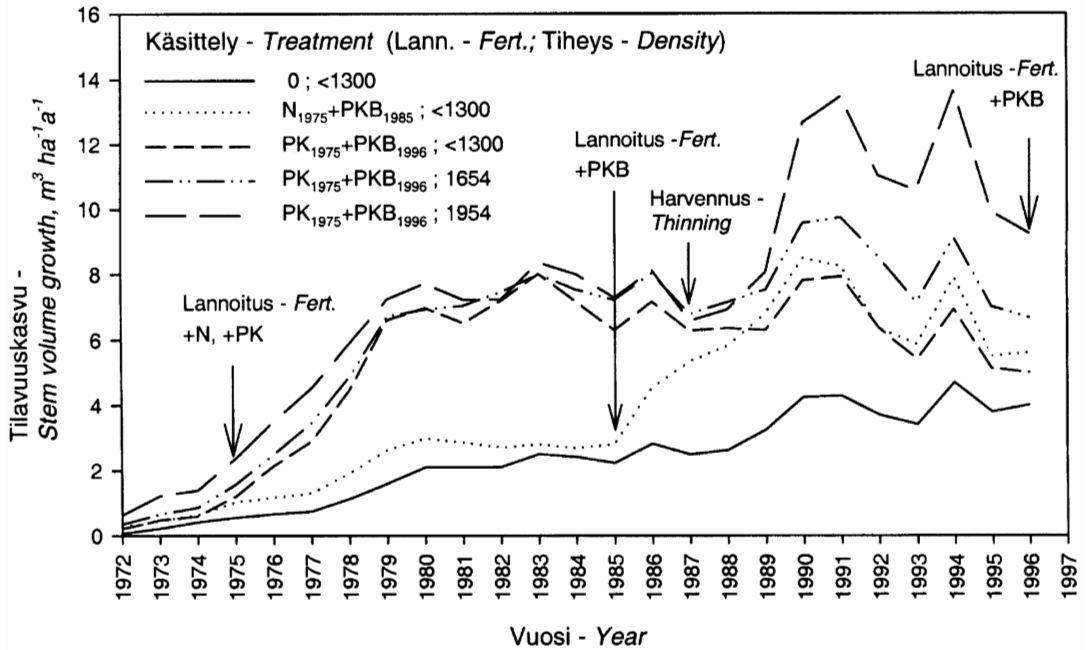
kään ollut havaittavissa negatiivista riippuvuutta turpeen raudan ja liukoisien fosforin välillä. Fosforilannoituksen lyhyeen vaikutusaikaan voisi näin ollen olla synnä fosforin huuhtoutuminen tutkittua (20 cm) syvempiin turvekerroksiin tai kokonaan pois kasvupaikalta. Näin on saattanut tapahtua erityisesti ensimmäisen jatkolannoituksen yhteydessä vuonna 1975, jolloin taimikot eivät olleet vielä sulkeutuneet ja ne olivat ravinnepuutosten vuoksi huonokuntoisia (Kaunisto 1979). Tätä tukee myös se, että kertaalleen (1985) fosforilla jatkolannoitettujen koealojen turpeessa ja puustossa oli fosforia yhtä paljon kuin kahteenkin kertaan (1975 ja 1996) fosforia saaneilla koealoilla, kuten jo aikaisemmin on todettu. Lopullinen syy siihen, miksi fosforilannoituksen vaikutus on jäänyt näin lyhytaikaiseksi, ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan selviä.

Kokonaan lannoittamattomilla ja vuonna 1975 PK:lla jatkolannoitettuihin koealoilla kehittyi 1990-luvulla nopeasti ankara kaliumin puutostila (pitoisuus alle 3.5 mg g<sup>-1</sup>, Paarlahti ym. 1971, Sarjala & Kaunisto 1993, Reinikainen ym. 1998). Jatkolannoituksesta oli tällöin kulunut 15-20 vuotta. Vuonna 1985 jatkolannoitettuihin koealoilla neulasten kaliumpitoisuudet olivat vuonna 1997, 13 vuotta lannoituksen jälkeen, vielä tyydyttävällä tasolla. Tulos on yhdenmukainen Kauniston ym. (1999) esittämien tulosten kans-

Taulukko 6. Jatkolannoituksen vaikutus männiköiden puustotunnuksiin (N=runkoluku, G=pohjapinta-ala, H=aritmeettinen keskikpituus, H<sub>100</sub>= 100 paksuimman puun valtapituus, CR=latvussuhde, V=kuorellinen runkotiilavuus, V<sub>t</sub>=tukkiilavuus ja V<sub>k</sub>=kuituosan tilavuus; keskihajonta suluisissa). Samoin kirjaimin merkityt keskiarvot eivät eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (p ≥ 0.05). Lannoituskäsittelyt on esitetty taulukossa 1 ja kuvassa 1.

Table 6. Effect of refertilisation on the stand characteristics (N=number of trees/ha, G=basal area, H=mean height, H<sub>100</sub>=dominant height of the 100 thickest trees, CR=crown ratio, V=stem volume over the bark, V<sub>t</sub>=saw timber and V<sub>k</sub>=pulpwood). Means with the same letter are not significantly different (p ≥ 0.05). See fertilisation treatments in Table 1 and Fig. 1. Sd in parentheses.

Muuttuja Variable	Lannoitus – Fertilisation			P-arvo P value
	0	N+PKB	PK+PKB	
N	1 103 (103)	1 094 (111)	1 272 (162)	0.082
D <sub>1.3</sub> , mm	107 (7) a	129 (22) ab	142 (15) b	0.048
G, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	11.6 (2.5) a	16.4 (4.7) ab	21.4 (3.1) b	0.010
H, m	8.0 (0.9) a	9.7 (1.5) ab	10.9 (1.5) b	0.034
H <sub>100</sub> , m	11.8 (1.5)	11.9 (1.4)	12.9 (0.8)	0.279
CR, %	53.5 (3.9)	51.0 (6.3)	46.0 (4.8)	0.138
V, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	58.9 (17.3) a	97.7 (34.4) ab	132.2 (26.1) b	0.011
V <sub>t</sub> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	13.1 (11.0)	32.8 (20.4)	38.8 (20.4)	0.229
V <sub>k</sub> , m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	42.5 (8.9) a	61.9 (16.1) a	90.5 (15.4) b	0.002



Kuva 8. Jatkolannoituksen ja kasvustiheyden vaikutus männiköiden vuotuisen tilavuuskasvuun (lannoituskäsittelyt, ks. taulukko 1 ja kuva 1).

Fig. 8. Effect of refertilisation and growing density on the annual stem volume growth of Scots pine. Key for the fertilisation treatments in Table 1 and Fig. 1.

sa, joiden mukaan runsastyyppisillä kasvupaikoilla männyt kärsivät kaliumin puutuksesta 11-14 vuotta lannoituksen jälkeen, ja vakavasta kaliumin puutuksesta 16-19 vuoden jälkeen, kun K-lannoitteena käytettiin kaliumkloridia kuten tässäkin

tutkimuksessa (ks. myös Kaunisto 1992).

Neulasten booripitoisuus oli lannoittamattomilla ja 1985 PKB-lannoitetuilla ( $N_{1975}+PKB_{1985}$ ) männnyillä varsin hyvä koko tarkasteltuna aikajaksona, mutta 1975 PK-jatkolannoitetuilla koe-

Taulukko 7. Kasvustiheyden vaikutus männiköiden puustotunnuksiin (keskihajonta suluisissa). Samoin kirjaimin merkityt keskiarvot eivät eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p \geq 0.05$ ). Puustotunnukset, ks. taulukko 6.

Table 7. Effect of growing density on the tree stand characteristics (explanations in Table 6). Means with the same letter are not significantly different ( $p \geq 0.05$ ). Sd in parentheses.

Muuttuja Variable	Tiheys - Density			P-arvo P value
	<1 300	1 654	1 954	
N	1 272 (162) a	1 654 (504) ab	1 954 (299) b	0.021
$D_{1.3}$ , mm	142 (15)	135 (15)	129 (9)	0.334
$G$ , $m^2 ha^{-1}$	21.4 (3.1) a	24.5 (2.9) ab	27.4 (4.0) b	0.032
H, m	10.9 (1.5)	11.1 (1.5)	12.0 (0.7)	0.371
$H_{100}$ , m	12.9 (0.8)	12.8 (1.8)	14.1 (0.7)	0.218
CR, %	46.0 (4.8)	43.4 (3.3)	41.9 (3.0)	0.234
V, $m^3 ha^{-1}$	132.2 (26.1) a	153.4 (27.5) ab	184.0 (21.4) b	0.016
Vt, $m^3 ha^{-1}$	38.8 (20.4)	37.3 (27.7)	33.1 (7.8)	0.902
Vk, $m^3 ha^{-1}$	90.5 (15.4) a	111.7 (16.7) a	145.3 (20.4) b	0.001

aloilla oli tapahtunut jo 15 vuoden kuluessa voimakas booripitoisuuden aleneminen (ohentumisilmiö, esim. Veijalainen 1977), mikä ei kuitenkaan johtanut varsinaiseen boorin puutostilaan vielä edes seuraavien viiden vuoden aikana. Boorilannoitus vuonna 1996 kohotti neulasten booripitoisuuden jopa Reinikaisen ym. (1998) esittämän optimin ylärajalle. Puut reagoivat erittäin nopeasti myös kaliumlannoitukseen, mutta apatiittipohjaiseen fosforilannoitukseen selvästi hitaammin. Tämä on tullut esille myös muissa tutkimuksissa (Kaunisto ym. 1993, 1999).

Neulasten Ca-, Mg-, B-, Mn-, Cu- ja Fe-pitoisuudet olivat tyydyttävällä tasolla Reinikaisen ym. (1998) esittämiin arvoihin verrattuna. Sen sijaan lannoitetuissa männnyissä neulasten Zn-pitoisuudet olivat ennen viimeisintä jatkolannoitusta alle 40 mg g<sup>-1</sup>, mitä Reinikainen ym. (1998) pitävät harvinaisen matalana. Kaunisto ja Paavilainen (1988) sekä Kaunisto ja Moilanen (1998) ovat kiinnittäneet huomiota turpeen vähäisiin sinkin määriin. Puun kasvua alentavaa sinkin puutosta Suomen suometsissä ei kuitenkaan ole todettu.

### Juuriston syvyys

Verrattuna metsäojitetuilla soilla tehtyihin juuristotutkimusten tuloksiin juuriston pituudella painotettu keskisyvyys oli tässä tutkimuksessa varsin suuri (12–16 cm). Esim. Paavilaisen (1966) tutkimuksessa jopa viiden metrin sarkaleveydellä tai 70 cm:n pohjaveden syvyydellä juuriston pituudella painotettu keskisyvyys oli alle 10 cm ja normaaleja metsäojitusalueita vastaavissa olosuhteissa valtaosa juurista oli 0–5 cm:n kerroksessa (myös Heikurainen 1955). Samoin kuin Paavilaisen (1968) tutkimuksessa lannoitus PK:lla lisäsi myös tässä tutkimuksessa jonkin verran keskisyvyttä. Tiheimmissä männiköissä juurten pituus oli 55 % suurempi kuin kahdessa harvemmassa kasvatustiheydessä. Koska tiheimpien männiköiden juuriston kuivamassa oli vain 20 % suurempi, niin juuriston on täytynyt niissä olla hienojakoisempi ja siten tehokkaampi ravinteiden otossa kuin harvemmissä männiköissä. Tämä saattaa myös osaltaan selittää korkeampaa tuotosta suurimmassa kasvatustiheydessä.

### Puuston kehitys

Lannoitus vaikutti johdonmukaisesti puuston kehitykseen. Kaikilla koealoilla puut kärsivät fosforin ja kaliumin puutoksesta jo 1970-luvun alussa, ennen ensimmäistä jatkolannoitusta. Vuonna 1975 yksipuolinen tyyppijatkolannoitus todennäköisesti vielä kärjisti tilannetta (ks. Kaunisto & Paavilainen 1977, Kaunisto 1987). Sen sijaan puuston vuotuinen tilavuuskasvu kohosi vuonna 1975 fosforilla ja kaliumilla jatkolannoitetuilla koealoilla viiden vuoden kuluessa tasolle 7–8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ja säilyi tällä tasolla noin 10 vuoden ajan, kun samaan aikaan vertailualoilla kasvu oli vain 2–3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Yhdellä jatkolannoituksella saatu kasvun lisäys oli näin ollen varsin merkittävä ja se jatkui vielä 1990-luvulla, joskin pienempänä. Vuonna 1996 tehty toinen jatkolannoitus (PKB) ei vielä ollut ehtinyt vaikuttaa kasvuun. Vuonna 1975 pelkällä tyypellä jatkolannoitetuilla koealoilla kasvu kohosi vasta vuoden 1985 PKB-jatkolannoituksen jälkeen ja kokonaistuotos jäi näin ollen selvästi jälkeen vuonna 1975 PK:lla jatkolannoitetuista.

PK+PKB -jatkolannoitettujen männiköiden puustotunnuksissa näkyi selvästi kasvatustiheyden vaikutus: runkoluvun lisääntyessä puuston valtapituus, pohjapinta-ala ja tilavuus suurenivat selvästi, mutta toisaalta rinnankorkeusläpimitta pieneni. Tulos on yhdenmukainen esim. Perssonin (1977) sekä Kauniston ja Tukeyan (1986) tulosten kanssa. Vuoden 1987 harvennukseen asti PK+PKB -jatkolannoitettujen männiköiden vuotuinen tilavuuskasvu oli suurin piirtein samalla tasolla eri viljelytiheyksissä. Kolmantena harvennuksen jälkeisenä vuotena (1990) tiheimpien männiköiden (1954 kpl ha<sup>-1</sup>) vuotuinen tilavuuskasvu oli jo noin 5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> suurempi kuin harvemmissä kasvatustiheyksissä. Tilavuuskasvujen välinen ero pysyi samantasoisena vuoteen 1996 asti.

Harvennuksen myötä lisääntyneen kasvutilan ja muita tiheyksiä suuremman puustopääoman ohella tiheimpien männiköiden parempaan tilavuuskasvuun on saattanut vaikuttaa vuoden 1987 hakkuutähteet, joiden määrän on täytynyt olla suurin tiheimmissä männiköissä. Esim. Kauniston ja Tukeyan (1986) mukaan 22 vuoden iässä kyseisissä männiköissä oli eläviä puita vielä hie-

man yli 5 000 kpl ha<sup>-1</sup>. Hakkuutähteistä vapautuneita ravinteita on ilmeisesti siirtynyt puiden ravinnekiertoon. Tätä tukevat myös raakahumuksen kaliummäärä sekä vuosien 1990 ja 1995 neulasten kaliumpitoisuudet, jotka olivat tiheimmissä männiköissä suuremmat kuin harvemmissä männiköissä. Lisäksi kasvatustiheyden mukana myös laikkulannoituksena toteutetun metsityslannoituksen kaliummäärä lisääntyi jonkin verran harvimmasta tiheimpään viljelykäsittelyyn, koska lannoitus oli taimikohtainen.

PK+PKB -jatkolannoitettujen männiköiden runkopuun tilavuus oli keskimäärin samalla tasolla kuin vastaavanikäisten, luontaisesti syntyneiden ja harvennuksin käsiteltyjen ja suurin piirtein samassa tiheydessä kasvavien mustikkatyypin männiköiden runkotilavuus (Koivisto 1959). Ensimmäisessä jatkolannoituksessa pelkkää tyypeä saaneiden suonpohjamänniköiden runkotilavuus vastasi Koiviston (1959) esittämiä tuloksia puolukkatyypin männiköistä ja lannoittamattomien männiköiden tilavuus yli kymmenen vuotta vanhempia kanervatyypin männiköitä. Sen sijaan männiköiden valtatavuuden perusteella kasvupaikka vastaisi puolukkatyyppiä ( $H_{100} = 24$ , kylvömänniköt, Vuokila & Väliaho 1980).

Vuonna 1975 PK:lla jatkolannoitetutkin puustot kärsivät lievistä fosforin ja kaliumin puutoksesta muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta jo vuonna 1990. Kasvun taantuma voitiinkin havaita selvänä vuosina 1992 ja -93 ja edelleen syvenevänä vuosina 1995 ja -96. Kun jatkolannoitus näillä tehtiin vasta vuonna 1996, on ilmeistä, että yllä esitetyt tuotosluvut eivät edusta suurinta mahdollista puuntuotosta tämän tutkimuksen kaltaisilla suonpohjan turpeilla.

## Johtopäätökset

Paksulla suonpohjan turpeella (yli 40 cm) voidaan saada aikaan verrattain korkea puuntuotos männyllä, mutta sen edellytyksenä on lannoitus fosforilla ja kaliumilla viljelyn yhteydessä ja todennäköisesti vähintään yksi jatkolannoitus. Yli 60 cm paksuisilla turpeilla tarvitaan todennäköisesti useampiakin jatkolannoituksia fosforilla, kaliumilla ja boorilla. Tulosten perusteella näyttää siltä, että kaliumkloridia käytettäessä kalium-

lannoitus tulisi uusina noin 15 vuoden välein luontaisesti runsastyyppisillä suonpohjilla. Fosforilannoitusta saatetaan tarvita yhtä usein kuin kaliumia eli selvästi useammin kuin metsänkasvustavarten ojitetuilla puustoisilla soilla, mikäli turvekerros sisältää kovin vähän rautaa ja alumiinia. Suonpohjapuustoja kannattaneet kasvattaa normaalia tiheämpinä metsiköiden sisäisen ravinnekierron tehostamiseksi, jolloin myös ravinteiden huuhtoutuminen kasvupaikalta todennäköisesti vähenee. Männyn juuriston pituudella painotettu keskisyvyys on selvästi suurempi kuin metsäojitusalueilla ja se näyttää kykenevän tunkeutumaan 35-40 cm:n syvyyteen noin 30 vuoden aikana.

## Kiitokset

Kokeen mittaus ja maa-analyysi vuonna 1997 sekä viimeisimpien vuosien neulasanalyysit toteutettiin Metsämiesten Säätiön myöntämän apurahan turvin. Kasvi- ja maanäytteet analysoitiin Metlan Parkanon tutkimusasemalla Arja Ylisen johdolla. Aulikki Hamari piirsi kuvat. Käsikirjoituksen luki ja kommentoi MMT Jyrki Hytönen. VTM Jaakko Heinonen neuvoi aineiston tilastanalyysissä. Englannin kielen tarkisti Leena Kaunisto.

## Kirjallisuus

- Anderson, A.R., Ray, D. & Pyatt, D.G. 2000. Physical and hydrological impacts of blanket bog afforestation at Bad a' Cheo, Caithness: the first 5 years. *Forestry* 73(5): 467-478.
- Aro, L. 1995. Nuorten mäntyjen kehitys suonpohja-alueilla. Ennakkotuloksia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 538: 23-35.
- Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997. Suopohjien metsitys. Hankeraportti 1986-1995. Summary: Afforestation of peat cutaway areas. Project report in 1986-1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 634. 51 s.
- Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Studia Forestalia Suecica* 155: 1-27.
- Ferm, A. & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koi-vumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. *Folia Forestalia* 558. 32 s.

- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Seloste: Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu- mäntysekametsikössä ja kuusikossa. Acta Forestalia Fennica 208. 63 s.
- Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Seloste: Lannoituksen vaikutus männyn kuivamassan kertymään ja ravinteiden kiertoon ombrotrofisella rämeellä. Acta Forestalia Fennica 223. 42 s.
- Guddanti, S. & Chambers, J.L. 1993. GSRRoot Version 5.00. Automated Root Length Measurement Program. Users Manual. Louisiana State University, Agricultural Center. 40 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Heikurainen, L. 1955. Rämemännikön juuriston rakenne ja kuivatuksen vaikutus siihen. Referat: Der Wurzelbau der Kiefernbestände auf Reisermoorböden und seine Beeinflussung durch die Entwässerung. Acta Forestalia Fennica 65(3): 1-85.
- Heinonen, J. 1994. Koalojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Karsisto, K. 1977. Kotimaisten fosforirikasteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Suo 28(2): 43-46.
- Kaunisto, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kylvötaijien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Summary: Effect of fertilization, soil preparation, and distance of water level on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 75(2): 1-64.
- Kaunisto, S. 1972. Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnotaimien määrään rahkanevalla. Tuloksia Kivisuon koekentältä. Summary: Effect of fertilization on successful planting and the number of naturally born seedlings on a fuscum bog at Kivisuo experimental field. Folia Forestalia 139. 11 s.
- Kaunisto, S. 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä. Summary: Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas. Folia Forestalia 404. 14 s.
- Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. Seloste: Männyn istutustaimien kehityksen riippuvuus eräistä turpeen ominaisuuksista sekä lannoituksesta, muokkauksesta ja kalkituksesta ojitetuilla avosoilla. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 109. 56 s.
- Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 140. 58 s.
- Kaunisto, S. 1992. Effect of potassium fertilization on the growth and nutrition of Scots pine. Tiivistelmä: Kalilannoituksen vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilään. Suo 43(2): 45-62.
- Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia 1998(3): 393-410.
- Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1993. Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköissä. Summary: Apatite and phlogopite as phosphorus and potassium fertilizers in peatland pine forests. Folia Forestalia 810. 30 s.
- Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1999. Effect of apatite and phlogopite application on the needle nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* (L.) on drained pine mires. Tiivistelmä: Apatiitti- ja flogopiittilannoituksen vaikutus männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin ojitetuilla rämeillä. Suo 50(1): 1-15.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Seloste: Typpijatkolannoituksen vaikutus männyn taimien kehitykseen karulla turvealustalla. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 92(1): 1-54.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 145. 39 s.
- Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemilla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review. Folia Forestalia 625. 75 s.
- Kaunisto, S. & Tuveva, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemilla. Summary: Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat. Folia Forestalia 646. 36 s.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 51(8): 1-49.
- Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and Phosphorus Stores in Peatlands Drained for Forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 9(3): 251-260.
- Laiho, R. & Laine, J. 1995. Changes in Mineral Element Concentrations in Peat Soils Drained for Forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 10(3): 218-224.
- Laine, J. & Mannerkoski, H. 1980. Lannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun ja hirvituhoihin karuilla ojitetuilla nevoilla. Summary: Effect of fertilization on tree growth and elk damage in young Scots pine stands planted on drained, nutrient-poor open bogs. Acta Fore-



- stalia Fennica 166. 45 s.
- Mannerkoski, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Summary: Effect of fertilization on the initial development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. *Silva Fennica* 5(2): 105-128.
- Mannerkoski, H. & Seppälä, K. 1970. Lannoituksen vaikutus istutustaimiston alkukehitykseen lyhytkortisella nevalalla. Summary: On the influence of fertilization on the initial development of plantations in open low-segde bogs. *Suo* 21(1): 12-17.
- Meshechok, B. 1967. Om startgjødsling ved skogkultur på myr. Summary: Initial fertilization when afforesting open swamps. *Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvesen* 87(25): 1-140.
- Nieminen, M. 2002. Hakkuun, maanmuokkauksen ja lannoituksen vaikutus huuhtoumiin ojitetuilta turvemailta. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 856: 9-13.
- Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus Adsorption by Peat from Drained Mires in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11(4): 321-326.
- O'Carroll, N. 1984. Peatland Afforestation in the Republic of Ireland. *Julkaisussa: Proc. 7th International Peat Congress, Dublin, June 18-23, 1984. Vol. 3: 450-461.*
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. *Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(5): 1-58.
- Paavilainen, E. 1966. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61(1): 1-110.
- Paavilainen, E. 1968. Juuristotutkimuksia Kivisuon metsänlannoituskoeentällä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 66(1): 1-31.
- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. *Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 98(5): 1-71.
- Penttilä, T. & Moilanen, M. 1987. Fosforilannoitteet suometsien lannoituksessa Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 278: 136-148.
- Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Summary: Quality development in young spacing trials with Scots pine. *Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk.* 45. 151 s.
- Puustjärvi, V. 1962. Suometsien fosforiravitsemuksesta ja neulasten P/N- suhteesta neulasanalyysin valossa. *Suo* 13(2): 21-24.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset - metsänkasvattajan ravinneopas. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 688. 44 s.
- Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1993. Needle polyamine concentrations and potassium nutrition in Scots pine. *Tree Physiology* 13: 87-96.
- Selin, P. 1999. Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjien hyödyntäminen Suomessa. Summary: Industrial use of peatlands and the re-use of cut-away areas in Finland. *Jyväskylän Studies in Biological and Environmental Science* 79. 239 s.
- Seppälä, K. 1971. Metsitys-lannoituksessa käytetyn lannoitemäärän ja levitystavan merkitys istutustaimiston alkukehitykselle ojitetuilla avosoilla. Summary: On the quantity of fertilizer and application methods used in afforestation of open bogs. *Silva Fennica* 5(2): 61-69.
- Silfverberg, K. & Hartman, M. 1999. Effects of Different Phosphorus Fertilisers on the Nutrient Status and Growth of Scots Pine Stands on Drained Peatlands. *Silva Fennica* 33(3): 187-206.
- Vasander, H. & Lindholm, T. 1992. Effect of readily and slowly soluble fertilizers on the growth and needle nutrient contents of Scots pine in Southern Finland. *Julkaisussa: Proc. 9th International Peat Congress, Uppsala Sweden, 22-26 June, 1992. Vol. 2: 342-351.*
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. *Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravintelanteen määrittämisessä turvemailloilla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(4): 1-32.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(2): 1-271.
- 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. 77 s.
- Zehetmayer, J.W.L. 1954. Experiments in tree planting on peat. *Forestry Commission Bulletin* 22: 1-110.
- Ødelien, M. & Jerven, O. 1971. Gjødslingsforsøk i skogplantefelter på myr. *Næringshusholding - vekst. Tidsskrift för Skogbruk* 79(2): 203-213.

## Summary:

### Effect of refertilisation and growing density on the nutrition, growth and root development of young Scots pine stands in a peat cutaway area with deep peat layers

The effects of repeated fertilisation and growing density on the soil nutrients and tree nutrition, root penetration and growth of young Scots pine stands were studied in a peat cutaway area with deep peat layers. The study was carried out in an afforestation experiment (established in 1964) on cutaway peatland of the Finnish Forest Research Institute, enabling long-term investigations on the development of tree stands. It is located at Aitoneva, Kihniö (62°12' N, 23°18' E, 160 m asl) in western Finland. Originally, the experiment was established to study the need of fertilisation when afforesting cutaway peatlands and the effect of planting density (1 600, 1 975, 3 260 and 10 000 seedlings ha<sup>-1</sup>) on the quality of Scots pine (Kaunisto 1979). The size of the sample plots varied from 1 000 to 3 150 m<sup>2</sup>. Ditch spacing was 20 m. Pine stands were thinned in 1987 to reach the growing densities mentioned. The refertilisation treatments were control, N<sub>1975</sub>+PKB<sub>1985</sub> and PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub>, and those of growing density were <1 300 (planting density 1 600-1 975 trees ha<sup>-1</sup>), 1 654 (3 260) and 1 954 (10 000) trees ha<sup>-1</sup> (Table 1).

The material was collected mostly between the years 1991 and 1998. Volumetric soil samples were collected as subsamples from five points on each plot and combined by layers to represent the whole plot. The current year needles (1990, 1995 and 1997) were sampled from the second topmost whorl during the dormant period in 1991, 1996 and 1998. The samples were analysed by the methods routinely used in the Finnish Forest Research Institute (Halonen et al. 1983). The tree stand characteristics were calculated with a computer programme package KPL developed for computing stand characteristics from sample plot measurements (Heinonen 1994). The material was analysed in two subparts. The effect of refertilisation on the soil and tree variables was tested when growing density was <1 300 trees ha<sup>-1</sup>, and that of growing density only

with the PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub> refertilisation.

The amounts of N, P, K, Ca, Mg, Fe and B varied between 5 460-6 090, 190-255, 51-80, 602-837, 88-118, 915-1 886 and 0.3-0.8 kg ha<sup>-1</sup> in the studied surface soil layer (raw humus + 0-20 cm peat), respectively. PK+PKB refertilisation increased the amounts of P, K and B in raw humus and the amount of B also in peat compared with the control (Fig. 1). Growing density did not affect soil properties. The total amount of P correlated positively with total Fe in the raw humus layer ( $r=0.596$ ,  $p=0.001$ ,  $n=26$ ). Peat thickness was 44-155 cm in 1995. There were no notable changes in it between the years 1977 and 1995 (Fig. 2). The maximum root penetration varied between 26 and 34 cm and the mean root penetration between 9.7 and 14.3 cm (Fig. 3). They were not affected by the treatments. However, the mean root penetration was quite deep if compared with drained peatland forests (e.g. Paavilainen 1966). The effects of fertilisation and growing density on the root dry mass (variation in the fertilisation comparison 437-790 and in growing density comparison 790-974 g m<sup>-2</sup>, Fig. 4) and on the root length (variation 1 597-2 171 and 2 171-3 418 m m<sup>-2</sup>, respectively) were not significant ( $p_{\text{Fert}}=0.420$  and  $0.702$ ,  $p_{\text{Density}}=0.830$  and  $0.134$ , respectively).

The needle N concentrations of the fertilised pine trees were 15.1-19.2 mg g<sup>-1</sup> indicating good or even over optimum nitrogen nutrition (Fig. 5, Paarlahti et al. 1971, Kaunisto 1982, Reinikainen et al. 1998). On the other hand, the needle P concentrations indicated phosphorus deficiency. Accordingly, the trees suffered from a severe imbalance between nitrogen and phosphorus. It seems that the duration of P fertilisation is shorter on cutaway peatlands with deep peat layers (about 15 years) than on drained peatland forests (25-30 years, see e.g. Silfverberg & Hartman 1999). The K fertilisation should also be repeated about 15 years after the first broadcast application.

PK<sub>1975</sub>+PKB<sub>1996</sub> refertilisation increased significantly the DBH, basal area, height (Table 6), stem volume and total yield (natural removal excluded, Fig. 7) of Scots pine compared with the control. Differences in the basal area and stem volume also were significant between the smallest and the highest growing densities (Table 7). The greatest yield (239 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) was measured from the treatment with repeated PK fertilisation and the highest growing density (1 954 trees ha<sup>-1</sup>, Fig. 7). Refertilisation with P and K in 1975 increased the annual stem volume growth, whereas N application had no effect (Fig. 8). Refertilisation in 1985 and thinning in 1987 also had a clear effect on the annual stem volume growth, which was over 13 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> at its best

in the stands of the highest growing density during the last few years (Fig. 8).

The results show that quite a high yield of Scots pine can be reached on cutaway peatlands even with thick peat layers (more than 40 cm). However, the sites have to be fertilised at least with phosphorus and potassium but supposedly also with boron at the afforestation stage and at least once later if the thickness of the remaining peat layer is 40–60 cm. Several fertiliser applications are needed if the peat layer is deeper than 60 cm. It seems that growing tree stands on cutaway peatlands in higher densities than in conventional forestry may improve nutrient cycling in stands and hence decrease leaching of nutrients from the site.

Liitetaulukko 1. Raakahumuksen (Rh) ja turpeen (0-10 ja 10-20 cm) ravinnepitoisuudet, maan tiheys, orgaanisen aineksen osuus (OM) ja pH-luku (suluissa keskihajonta).

Appendix 1. Nutrient concentrations, bulk density, organic matter content (OM) and pH of raw humus (Rh) and peat (0-10 and 10-20 cm). Sd in parentheses.

Muuttuja Variable	Maakerros Soil layer	Lannoitus ja kasvatustiheys (toistojen määrä) Fertilisation and growing density (no. of replicates)				
		0 <1 300 ha <sup>-1</sup> (n=3)	N+PKB <1 300 (n=6)	PK+PKB <1 300 (n=6)	PK+PKB 1 654 (n=6)	PK+PKB 1 954 (n=5)
N, %	Rh	2.0 (0.1)	1.9 (0.1)	1.8 (0.2)	1.9 (0.2)	1.7 (0.1)
	0-10 cm	1.9 (0.2)	1.9 (0.3)	1.7 (0.1)	1.8 (0.2)	1.7 (0.1)
	10-20 cm	1.9 (0.3)	1.8 (0.2)	1.7 (0.2)	1.8 (0.2)	1.6 (0.2)
P, mg kg <sup>-1</sup>	Rh	1 010 (358)	1 041 (295)	1 407 (534)	1 998 (1 012)	1 275 (360)
	0-10 cm	721 (103)	710 (79)	680 (87)	705 (71)	774 (90)
	10-20 cm	579 (78)	597 (44)	553 (50)	565 (96)	642 (64)
K, mg kg <sup>-1</sup>	Rh	601 (140)	592 (94)	780 (349)	656 (135)	705 (76)
	0-10 cm	188 (59)	186 (48)	251 (128)	255 (56)	243 (58)
	10-20 cm	102 (31)	104 (9)	122 (57)	123 (23)	125 (40)
Ca, mg kg <sup>-1</sup>	Rh	4 678 (1 521)	5 633 (1 391)	5 377 (2 168)	6 129 (2 701)	4 313 (1 449)
	0-10 cm	2 177 (396)	1 767 (553)	1 754 (584)	2 245 (925)	1 600 (766)
	10-20 cm	2 885 (685)	1 623 (698)	1 543 (535)	2 290 (1 013)	1 512 (594)
Mg, mg kg <sup>-1</sup>	Rh	818 (171)	942 (204)	757 (193)	724 (167)	619 (217)
	0-10 cm	353 (87)	318 (126)	271 (95)	292 (90)	233 (88)
	10-20 cm	395 (90)	259 (133)	235 (107)	309 (119)	219 (63)
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	Rh	3 008 (2 080)	1 926 (708)	1 480 (933)	1 883 (1 075)	1 221 (154)
	0-10 cm	5 978 (4 176)	4 681 (2 040)	2 781 (772)	3 736 (1 477)	3 138 (1 069)
	10-20 cm	8 166 (3 168)	4 833 (2 732)	3 216 (1 097)	4 761 (2 487)	4 200 (1 963)
B, mg kg <sup>-1</sup>	Rh	4.9 (2.8)	7.3 (1.3)	7.5 (2.8)	6.8 (1.9)	5.7 (2.5)
	0-10 cm	0.8 (0.3)	1.2 (0.4)	2.3 (0.6)	2.3 (0.5)	1.9 (0.2)
	10-20 cm	0.5 (0.2)	0.8 (0.3)	1.5 (0.5)	1.6 (0.3)	1.4 (0.8)
P <sub>AAAc</sub> , mg kg <sup>-1</sup>	Rh	185 (139)	255 (67)	251 (69)	254 (72)	282 (62)
	0-10 cm	38 (6)	28 (7)	45 (20)	42 (12)	37 (10)
	10-20 cm	17 (2)	16 (2)	20 (10)	21 (5)	17 (5)
K <sub>AAAc</sub> , mg kg <sup>-1</sup>	Rh	588 (197)	628 (106)	815 (344)	687 (142)	776 (86)
	0-10 cm	148 (55)	170 (41)	279 (114)	260 (63)	245 (59)
	10-20 cm	79 (39)	91 (7)	113 (48)	114 (24)	114 (39)
Tiheys, g cm <sup>-3</sup>	Rh	0.138 (0.08)	0.104 (0.03)	0.088 (0.03)	0.109 (0.04)	0.105 (0.02)
	0-10 cm	0.128 (0.03)	0.145 (0.01)	0.143 (0.02)	0.151 (0.01)	0.151 (0.01)
	10-20 cm	0.143 (0.01)	0.157 (0.01)	0.148 (0.02)	0.150 (0.01)	0.148 (0.01)
OM, %	Rh	90.6 (1.6)	93.2 (3.3)	95.0 (2.7)	94.0 (2.4)	95.4 (1.6)
	0-10 cm	95.1 (0.6)	91.8 (5.7)	85.8 (24.7)	95.8 (0.4)	95.0 (1.9)
	10-20 cm	95.3 (0.9)	95.0 (1.4)	96.6 (0.4)	96.3 (0.7)	96.0 (0.6)
pH (H <sub>2</sub> O)	Rh	4.3 (0.3)	4.4 (0.2)	4.3 (0.4)	4.3 (0.3)	4.1 (0.2)
	0-10 cm	4.0 (0.1)	3.9 (0.2)	3.9 (0.2)	3.9 (0.1)	3.8 (0.1)
	10-20 cm	4.0 (0.2)	3.9 (0.2)	3.8 (0.1)	3.8 (0.1)	3.8 (0.1)