

# FOLIA FORESTALIA 623

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1985

---

---

JOUKO HÄMÄLÄINEN, EERO PAAVILAINEN,  
OLLI SALMINEN & RIITTA HEINONEN

TULOKSIA OJITETTUIJEN KORPIKUUSIKOIDEN  
LANNOITUKSESTA

THE GROWTH RESPONSE TO AND  
PROFITABILITY OF FERTILIZATION IN  
DRAINED SPRUCE SWAMP STANDS

---





METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 661 401  
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyssönen
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetointia varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*



# FOLIA FORESTALIA 623

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1985

Jouko Hämäläinen, Eero Paavilainen, Olli Salminen & Riitta Heinonen

## TULOKSIA OJITETTUIJEN KORPIKUUSIKOIDEN LANNOITUKSESTA

The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce  
swamp stands

*Approved on 30.5.1985*

### SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. TUTKIMUSALUEET .....	3
3. MITTAUKSET JA AINEISTON ANALYSOINTI .....	4
4. NEULASTEN RAVINNEPITOISUUS .....	5
5. PUUSTON KASVU JA JÄREYTYMINEN .....	7
6. YLEISTÄ LANNOITUKSEN KANNATTAVUUDESTA .....	10
7. LANNOITUSTUOTOT JA -KUSTANNUKSET .....	10
71. Lannoitustuotot .....	10
72. Lannoituskustannukset .....	12
8. LANNOITUSINVESTOINNIN ERILLISKANNATTAVUUS VARTTUNEESSA KORPI- KUUSIKOSSA .....	14
9. LANNOITUSINVESTOINNIN ERILLISKANNATTAVUUS NUORESSA KORPIKUUSI- KOSSA .....	16
10. METSÄNPARANNUSTUEN VAIKUTUS LANNOITUKSEN ERILLISKANNATTA- VUUTEEN .....	18
11. KANTOHINTOJEN SUHDANNEVAIHTELUN VAIKUTUS LANNOITUSHANKKEEN KANNATTAVUUTEEN .....	20
12. LANNOITUSMENON JA PUUSTOON SITOUTUNEEN PÄÄOMAN KOKONAISKAN- NATTAVUUS .....	21
13. TULOSTEN TARKASTELUA .....	23
KIRJALLISUUS—REFERENCES .....	24
SUMMARY .....	25
LIITE — APPENDIX .....	26



HÄMÄLÄINEN, J., PAAVILAINEN, E., SALMINEN, O. & HEINONEN, R. 1985. Tuloksia ojitettujen korpi-  
kuusikoiden lannoituksesta. Summary: The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce  
swamp stands. *Folia For.* 623: 1—26.

Tutkimuksessa selvitettiin lannoituksen vaikutusta ja kannat-  
tavuutta uudistuskypsytyden saavuttaneessa (Orivesi) ja nuores-  
sa korpikuusikossa (Kuhmalahti). Lannoituksella aikaansaatu  
puuston kasvunlisäys oli kovarianssilla korjattuna varttuneessa  
kuusikossa keskimäärin 6,6—18,4 m<sup>3</sup>/ha eli selvästi suurempi  
kuin nuoressa kuusikossa (0—5,5 m<sup>3</sup>/ha), jossa taas puuston  
järeytyminen oli nopeaa ja voimakasta. Edellisessä tapauksessa  
lannoitusreaktion kesto oli vähintään 12 vuotta ja jälkimmäi-  
sessä kuusi vuotta.

Kummallakin tutkimusalueella NPK-lannoitus antoi parhaan  
kasvureaktion. Varttuneessa kuusikossa pelkkä PK-lannoitus-  
kin lisäsi puuston tilavuuskasvua. Nuoressa kuusikossa kasvun-  
lisäys jäi hyvin pieneksi ilman typpiä. Myös neulasanalyysin  
mukaan typen suhteellinen tarve fosforiin ja kaliumiin verrattu-  
na oli varttuneessa kuusikossa pienempi kuin harvennusikäises-  
sä.

Tutkimuksen taloudellisessa osassa selvitettiin lannoitusvai-  
htoehtojen liikelatoudellinen erilliskannattavuus käyttäen edulli-  
suuskriteereinä investointien reaalista sisäistä korkoa ja netto-  
tuottojen nykyarvoa. Kannattavuutta tarkasteltiin sekä omara-  
hoituksella että metsänparannustuella tapahtuvissa lannoituk-  
sissa.

Varttuneessa korpikuusikossa lannoitus oli omarahoituksel-  
lakin varsin edullinen toimenpide, jolla parhaimmillaan saatiin  
19 %:n reaalinen sisäinen korko ja 1100 mk:n nettotuottojen  
reaalinen nykyarvo hehtaarilta (4 %:n laskentakorolla). Edulli-  
simmaksi lannoitustasoksi osoittautui suometsien PK-lannosta  
200—400 kg hehtaarille. Nuoressa korpikuusikossa lannoituk-  
sen kannattavuus oli selvästi lannoituksen annostuksesta riip-  
puvampaa kuin varttuneessa korpikuusikossa —kolmessa lanoi-  
tusikäsitellyssä taloudellinen tulos jäi jopa negatiiviseksi. To-  
sin paras lannoitusvaihtoehto, suometsien PK-lannosta 200  
kg/ha, antoi nuoreksikin korpikuusikossa noin 16 %:n sisäisen  
koron. PK-lannoitukset olivat, etenkin varttuneessa korpiku-  
usikossa, keskimäärin selvästi NPK-lannoituksia kannattavam-  
pia. Typen lisäyksellä ei siten yleensä saatu sen aiheuttamia ko-  
hoavia kustannuksia kattavaa tulonlisäystä. Rahoitettaessa lanoi-  
tukset metsänparannustuella muodostuivat omarahoituksel-  
la jo melko hyvin kannattaneet hankkeet erinomaisen edullisiksi.  
Lainarahoitus oli selvästi avustusta kannattavampi rahoitus-  
tapa. Metsänparannusrahoitus paransi suhteellisesti eniten  
omarahoituksella heikoimmin kannattaneita lannoitusvaihtoehtoja.  
Tutkimuksessa tarkasteltiin myös kantohintojen suhdan-  
nevaihtelun vaikutusta lannoitusinvestointien kannattavuuteen.  
Lannoitusreaktion realisoinnin osuminen korkeasuhdanteeseen  
kasvatti ja matalasuhdanne laski esimerkiksi (keskimääräisiin)  
trendihintoihin perustuvia sisäisiä korkoja rahoitustavasta riip-  
puen 2—8 %-yksikköä.

Erilliskannattavuuden lisäksi varttuneelle korpikuusikolle  
laskettiin lannoitusmenon ja lannoitusajankohdan puuston  
hakkuuarvon muodostaman yhdistetyn investoinnin kannatta-  
vuus. Tällä on merkitystä harkittaessa varttuneen metsikön  
edelleen kasvatusta lannoittamalla tai vaihtoehtoisesti välitöntä  
päätehakkuuta. Erilliskannattavuuden tuloksiin verrattuna yh-  
distetyn investoinnin korkeimmat sisäiset korot jäivät paljon  
pienemmiksi ja erot eri lannoitusvaihtoehtojen sekä rahoitusta-  
pojen välillä kaventuivat. Tämä johtuu siitä, että puuston haku-  
uarvo verrattuna lannoitusmenoon on suuri etenkin varttu-  
neissa metsiköissä.

The effect and profitability of fertilization in a spruce stand  
approaching the regeneration stage (Orivesi) and a spruce stand  
in the thinning stage (Kuhmalahti) were examined in the study.  
The mean growth increment obtained through fertilization in  
the mature spruce stand was 6,6—18,4 m<sup>3</sup>/ha. This was clearly  
greater than the growth increment (0—5,5 m<sup>3</sup>/ha) obtained in  
the younger spruce stand. However, the increase in the  
dimensions of the young stand was greater and faster. The  
duration of the fertilization reaction in the former case was at  
least 12 years, and in the latter case 6 years.

NPK fertilization gave the best growth response in both  
experiments. PK fertilization alone increased the volume growth  
in the mature spruce stand. On the other hand, fertilization  
without nitrogen had only a very small effect in the young  
spruce stand. Foliar analysis also indicated that the relative  
need for nitrogen, compared to that for phosphorus and  
potassium, was smaller in the mature spruce stand than that in  
the stand at the thinning stage.

The profitability of fertilization was studied as alternative  
cases in which fertilization was financed either with the forest  
owner's own money or through state forest improvement  
financing. The real internal rate of return and the real net  
present value were used as the profitability criteria.

Fertilization was generally quite a profitable measure in the  
mature spruce swamp stand. The best alternatives were 200 or  
400 kg of PK fertilizer per hectare. The highest internal rate of  
return for 200 kg PK with own financing was 19 %, and for 400  
kg of PK 15 %. The real net present value at a four per cent  
calculative rate of interest was about FIM 1100/ha in both  
cases. In the young spruce swamp stand the best internal rate of  
return with own financing was as high as 16 % (PK 200 kg/ha).  
On the other hand, fertilization in the young stand was  
economically very uncertain since three of the seven treatments  
were negative.

Almost all the fertilization investments done with state forest  
improvement financing were very profitable. A forest improve-  
ment loan was a more profitable financing alternative than a  
forest improvement grant. PK fertilization was, especially in  
mature stands much more profitable than NPK fertilization.  
Thus the inclusion of nitrogen did not give sufficient extra  
revenue to cover the increased fertilization costs.

In addition to the separate fertilization investment (i.e. the  
fertilization costs only) the study also deals with the  
profitability of the combined investment formed by the felling  
value of the stand and the fertilization costs. Compared to  
separate investment, the internal rates of return of the  
combined investment were much lower and the differences  
between fertilization treatments and the financing alternatives  
became smaller. The reason for this is that the felling value of  
the stand is much higher than the fertilization costs, especially  
in mature stands.

ODC 237.4+2—114.444+651.75  
ISBN 951-40-0703-4  
ISSN 0015-5543

Helsinki 1985. Valtion painatuskeskus



## 1. JOHDANTO

Turvemaiden metsänlannoituskokeita on perustettu runsaasti nevoille ja rämeille, joilla käyttökelpoisten ravinteiden puute rajoittaa usein puuston kasvua. Turpeen luontaisten ravinnevarojen turvin hyvin kasvavien ojitettujen korprien lannoitusta on sen sijaan tutkittu varsin vähän. Tuloksia on julkaistu kahdesta Metsäntutkimuslaitoksen ja metsähallituksen yhteistyönä vuonna 1969 perustamasta lannoituskokeesta, joista toinen sijaitsee Orivedellä ja toinen Kuhmalahdella (Paavilainen 1975). Uusia kokeita on perustettu mm. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston vuonna 1972 käynnistämän turvemaiden jatkolannoitusprojektin puitteissa.

Edellä mainittujen Oriveden ja Kuhmalahden kokeiden ensimmäiset mittaustulokset kuusi kasvukautta lannoituksen jälkeen osoittivat mm., että lannoituksella voidaan lisätä puuston kasvua ojitetuissa korpikuusikoissa. Lannoituksen vaikutus näytti riippuvan puuston kehitysvaiheesta, sillä tyyppilannoitus paransi puuston kasvua vain harvennusikäisiä kuusikoita edustaneessa Kuhmalahden ko-

keessa, jossa myös PK-lannoituksen vaikutus oli aluksi voimakkaampi kuin uudistuskypsyyden saavuttaneessa kuusikossa Orivedellä.

Oriveden ja Kuhmalahden kokeet mitattiin suontutkimusosaston toimesta uudelleen syksyllä 1980. Saadut tulokset esitetään tässä julkaisussa. Sen lisäksi tarkastellaan lannoituksen kannattavuutta metsäekonomin tutkimusosaston liiketaloudellisen metsäekonomin tutkimussuunnan suorittamien laskelmien perusteella.

Eero Paavilainen ja Riitta Heinonen ovat yhdessä laatineet luvut 1—5 ja luvun 13 biologista osaa koskevan käsikirjoituksen. Liiketaloudellisen osan asiarymittely noudattaa pääpiirtein tutkimussuunnan viimeaikaisissa lannoituksen ekonomian tutkimuksissa käytettyä rakennetta. Liiketaloudellisen osan rakenne perustuu siten pääosin Hämmäläisen aiemmin suorittamiin tutkimuksiin. Salminen on enimmältä osaltaan tehnyt lukujen 6—12 ja 13 ensikertaiset käsikirjoitukset yhteisten neuvottelujen pohjalta. Hämmäläinen on lähinnä näiden pohjalta laatinut mainittujen lukujen lopulliset käsikirjoitukset. Kenttämittausten ryhmänjohtajana toimi mt. Heikki Takamaa. Käsikirjoitukseen tutustuivat MMT Erkki Lipas ja professori Yrjö Vuokila.

Esitämme parhaat kiitokset metsähallitukselle ja kaikille tutkimuksessa mukana olleille saamastamme avusta.

## 2. TUTKIMUSALUEET

Tutkimusaineisto koostui kahdesta koesarjasta, joista toinen sijaitsee Oriveden kunnan Vuorentaustan korpessa metsähallituksen entisessä Keski-Hämeen hoitoalueessa ja toinen Kuhmalahden kunnan Lakeissuolla metsähallituksen Hämeenlinnan hoitoalueessa.

Molemmilla alueilla on kolme lohkoa ja kussakin lohkokossa seuraavat kahdeksan käsittelyä. Koejärjestelynä on käytetty satunnaistettuja lohkoja.

Lannoitetta, kg/ha Urea	Suometsien PK-lannos	Ravinteita, kg/ha		
		N	P	K
0	0	—	—	—
0	200	—	21	25
100	200	46	21	25
200	200	92	21	25
0	400	—	42	50
100	400	46	42	50
200	400	92	42	50
0	600	0	63	75

Lannoitteet levitettiin Orivedellä 12.5.1969 ja Kuhmalahdella 13.5.1969.

Oriveden Vuorentaustan korpi ojitettiin v. 1935 ja täydennysojitettiin v. 1967. Alkuperäinen suotyyppi oli suurimmaksi osaksi mustikkakorpi, joskin osalla aluetta esiintyi jonkin verran ruoho- ja heinäkorpea sekä puolukkakorpea.

Turpeen paksuus oli useimmiten yli kaksi metriä, joidenkin koealojen reunoilla tosin vain 50—100 cm. Kuusien osuus koko puustosta lannoitushetkellä oli 55,2—89,6 % ja tilavuus 31,9—114,6 m<sup>3</sup>/ha.

Kuhmalahden Lakeissuo ojitettiin vuosina 1958—59. Alkuperäinen suotyyppi oli pääasiassa mustikkakorpi, osittain myös pallosarakorpi. Turpeen paksuus oli mustikkakorvella 20—50 cm ja pallosarakorvella yli metrin. Kuusien osuus koko puustosta oli lannoitushetkellä 77,9—100,0 %. Kuusien tilavuus lannoitushetkellä oli 16,0—75,2 m<sup>3</sup>/ha.



### 3. MITTAUKSET JA AINEISTON ANALYSOINTI

Puusto mitattiin vuoden 1980 syksyllä. Koepuut kairattiin rinnankorkeudelta ja vuotuiset sädekasvut mitattiin vuoteen 1964 asti. Pituuskasvumittaukset tarkistettiin kaato-koepuista, joita oli 3 kpl koelaa kohden. Puuston tilavuus ja muut tunnuksat laskettiin vuosittain Metsätutkimuslaitoksen koelajien peruslaskentaohjelmalla (KPL, ks. J. Heinonen 1981) VAX 11/780 tietokonetta käyttäen. Kasvua ja lannoituksen kannattavuutta laskettaessa otettiin huomioon pelkääntään kuusi.

Näihin koesarjoihin liittyvän aikaisemman julkaisun (Paavilainen 1975) mukaan kuusien tilavuus syksyllä 1969 oli Orivedellä 28,3—128,2 m<sup>3</sup>/ha ja Kuhmalahdella 23,8—90,8 m<sup>3</sup>/ha. Uuden mittauksen mukaan oli kuusien tilavuuden vaihteluväli syksyllä 1969 Orivedellä 36,4—121,3 m<sup>3</sup>/ha ja Kuhmalahdella 20,1—84,0 m<sup>3</sup>/ha. Yksittäisten koelajien kohdalla mittauskertojen erot saattoivat olla jopa yli 10 m<sup>3</sup>/ha. Systemaattista eroa ei kuitenkaan havaittu.

Tilavuuksissa todetun eron yhtenä syynä on, että vuoden 1974 mittauksen jälkeen tapahtuneen luontaisen poistuman vuoksi puusto ei ollut vuoden 1980 mittauksessa enää täysin sama kuin v. 1974. Kairauksiin perustuvassa puuston tilavuuden ja kasvun laskennassa ei tätä muutosta voitu ottaa huomioon. Myös laskentamenetelmän ero eri mittauskertoina voi osaltaan selittää tulosten poikkeavuutta. Kummassakin mittauksessa koepuut valittiin relaskoopilla, mutta vuoden 1974 tulosten laskentaan käytettiin suontutkimusosastolla kehitettyä tilavuuden laskentaohjelmaa (Paarlahti, Ravela), joka perustuu pohjapinta-alakeskipuumenetelmään (ks. Kuusela 1966).

Lannoituksen vaikutus puuston tilavuuskasvuun laskettiin kovarianssianalyysillä (Snedecor 1962). Kovarianssikorjauksella tasoitettiin lannoitushetkellä vallinneet erot kasvutasossa. Järeytymiskehityksen tarkasteluun käytettiin korjaamattomia arvoja. Puuston järeytymistä tutkittiin myös laskemalla tukkipuun osuus kovarianssikorjattujen ar-

vojen avulla. Näin saadut tulokset eivät juuri poikenneet alkuperäisillä arvoilla saaduista tuloksista, joten lopulliseen tarkasteluun päättiin käyttää korjaamattomia arvoja.

Kuusen tilavuuskasvua tarkasteltiin aluksi selittämällä erikseen jokaista lannoituksen jälkeistä vuotuista kasvua mallilla, jossa luokkamuuttujina olivat lannoite- ja lohko-muuttujat. Regressiomuuttujia olivat:

- $X_1$  = kuusen tilavuuskasvu ennen lannoitusta
- $X_2$  = kuusen tilavuuden prosenttiosuus koko puustosta lannoitettaessa
- $X_3$  = kuusen tilavuus lannoitettaessa
- $X_4 = X_1^2$
- $X_5 = X_1 X_2$
- $X_6 = X_3^2$

Lopullisen mallin valinnassa oli tavoitteenä, että kasvua selitettäisiin kaikissa tapauksissa samoilla muuttujilla ja että mallin jäännöstermi olisi normaalisti jakautunut odotusarvolla nolla.

Näin päädyttiin molemmilla paikkakunnilla malliin, jossa luokkamuuttujana oli lannoitus ja regressiomuuttujina olivat kuusen tilavuuskasvu ennen lannoitusta ( $X_1$ ) ja kuusen tilavuuden prosenttiosuus koko puustosta lannoitettaessa ( $X_2$ ). Mallien selityksasteet olivat Orivedellä 70,1—93,0 % ja Kuhmalahdella 68,5—92,4 %. Eri muuttujien merkitsevyydet ja mallien selityksasteet esitetään taulukossa 1 ja kasvumallit julkaisun lopussa olevassa liitteessä.

Kasvumalleissa regressiomuuttujana mukana ollut kuusen prosenttiosuus koko puustosta lannoitettaessa ( $X_2$ ) ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta sen mukanaolo paransi jäännösvirheiden jakaumaa ja lisäksi lehtipuiden määrää pidettiin kuusen kasvuun oleellisesti vaikuttavana tekijänä.

Luokkamuuttujana lannoitus ei tullut toistojen vähäisen määrän ja aineiston heterogeenisuuden vuoksi tilastollisesti merkitseväksi, vaikka useat käsittelety lisäivät puuston kasvua (taulukko 1). Mallien avulla saatiin kuitenkin lasketuksi eri lannoituskäsitteille tilavuuskasvun estimaatit, jotka olivat vertailukelpoisemmat kuin suoraan aineistos-

Taulukko 1. Kuusen tilavuuskasvumallien F-arvot.<sup>1)</sup>  
 Table 1. F values of the volume increment models for spruce.<sup>1)</sup>

	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
	ORIVESI											
Lannoitus — Fertilization $X_L$	0,24	2,64	2,54	1,01	1,02	0,80	1,16	1,24	1,40	1,03	0,95	0,78
regr. 1 = $X_1$	37,78	85,26	52,38	31,68	17,01	16,68	13,60	16,72	15,38	13,86	10,22	11,86
regr. 2 = $X_2$	0,28	0,10	0,89	1,46	3,32	1,56	2,34	2,50	2,34	2,01	1,48	0,58
100 · R <sup>2</sup>	85,6	93,1	91,2	87,0	83,1	80,4	78,4	80,7	79,6	78,4	73,5	70,1
	KUHMALAHTI											
Lannoitus — Fertilization $X_L$	0,62	0,83	1,07	0,83	0,46	0,38	0,30	0,32	0,27	0,25	0,28	0,20
regr. 1 = $X_1$	50,91	39,49	30,08	27,87	18,28	22,65	18,43	21,34	13,99	9,30	8,37	6,57
regr. 2 = $X_2$	1,87	1,30	2,19	1,84	2,55	1,72	0,69	0,86	0,72	1,27	1,30	1,17
100 · R <sup>2</sup>	92,4	89,7	88,8	88,0	85,4	87,2	82,2	84,1	78,0	76,2	74,0	68,5

<sup>1)</sup> Tilavuuskasvumallit ovat muotoa  $y = a + bx_L + cx_1 + dx_2$ , missä  $x_L$  = lannoitus,  $x_1$  = tilavuuskasvu ennen lannoitusta ja  $x_2$  = kuusen tilavuuden prosentiosuus koko puustosta lannoitettaessa. Mallien parametrit ilmoitetaan liitteessä 1. F-jakauman 5 %:n riskitason raja-arvot lannoitemuuttujalle ovat 2,76 ja regressiomuuttujille 4,60.  
 The volume growth models are of the form  $y = a + bx_L + cx_1 + dx_2$ , where  $x_L$  = fertilization,  $x_1$  = volume growth of spruce before fertilization and  $x_2$  = proportion of spruce out of total volume of stand at fertilization. The model parameters can be found in Appendix. 1 The 5 % limit value of the F distribution for the fertilization variable is 2,76 and for the regression variables 4,60.

ta lasketut kasvut, koska malleilla voitiin tilavuuskasvuista poistaa regressiomuuttujien lannoitusvertailuja häiritsevä vaikutus.

Myös koepuiden sädekasvun riippuvuutta lannoituskäsittelystä tarkasteltiin kovariansianalyysin avulla. Koska koejärjestelyä ei oltu tehty yksittäistä puuta koeyksikkönä käyttäen eikä sädekasvujen tarkastelu tuonut tuloksiin mitään uutta, ei laskentatuloksia käsitellä tässä julkaisussa.

Neulasten ravinnepitoisuus selvitettiin vuo-

den 1974 huhtikuussa ottamalla näytteet 3—5 vallitsevaan latvuserrokseen kuuluvasta koepuusta jokaisella koealalla. Vuonna 1980 neulasnäytteet otettiin kaatokoepuista (3 kpl/koeala) elokuun lopussa. Näytteet olivat uusimmasta neulasvuosikerrasta. Niistä analysoitiin v. 1974 N, P ja K ja v. 1980 lisäksi myös Ca, Mg, B, Cu, Zn ja Fe. Lannoitusvaikutuksen selvittämiseen käytettiin variansianalyysiä.

#### 4. NEULASTEN RAVINNEPITOISUUS

Kuusen neulasten ravinnepitoisuus tutkimusalueilla analysoitiin ensimmäisen kerran vuonna 1974 otetuista näytteistä eli viisi kasvukautta lannoituksen jälkeen. Neulasten typpipitoisuus oli Oriveden vanhassa korpikuusikossa selvästi korkeampi, mutta fosfori- ja kaliumpitoisuus alempi kuin Kuhmalahden nuorena korpikuusikossa (taulukko 2). Lannoitus oli todennäköisesti lisännyt neulasten fosforipitoisuutta ainakin Oriveden koesarjassa, joskaan pitoisuuserot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Lannoitettujen puiden neulasten kaliumpitoisuus oli Orivedellä ja niiden typpipitoisuus Kuhmalahdella hieman korkeampi kuin lannoittamattomien puiden.

Vuonna 1980 neulasten typpipitoisuudessa oli enää vähäinen ero tutkimusalueiden välillä (taulukko 2). Neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat sensijaan Kuhmalahdella edelleen selvästi suuremmat kuin Orivedellä. Verrattaessa tuloksia aikaisemmassa tutkimuksessa esitettyihin turvemaan kuusikon lannoitustarvetta osoittaviin raja-arvoihin (ks. Paavilainen 1975) näyttäisi Orivedellä olevan puutetta erityisesti kaliumista, myös lannoitetuilla koealoilla. On kuitenkin otettava huomioon, että näytteet otettiin v. 1980 elokuun lopulla kaadetuista koepuista, eikä puuston ravinnetilanteen arvioinnin kannalta edullisimpana aikana talvella.

Lannoittamattomilta koealoilta saatujen



tulosten mukaan nuoressa korpikuusikossa oli paitsi neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuus myös niiden magnesium- ja rautapitoisuus suurempi kuin vanhassa korpikuusikossa (taulukot 2 ja 3). Jälkimmäisen kehitysvaiheen puustolle näyttää taas olevan ominaista neulasten korkea kalsium-, mangaani- ja kuparipitoisuus nuoreen korpikuusikkoon verrattuna. Neulasten boori- ja sinkkipitoisuudet olivat jokseenkin samat kummankin kehitysvaiheen metsikössä. Puuston kehitysvaiheen ohella ovat ravinnepitoisuuksissa havaittuihin eroihin tutkimusmetsiköiden välillä voineet tietenkin vaikuttaa myös kasvu-

paikkojen, kuten mm. suotyypin ja maan ravinteisuuden, erot. Näiden tekijöiden vaikutusta ei ole kuitenkaan voitu tässä yhteydessä selvittää.

Lannoituksen vaikutus näkyi vuonna 1980 vielä neulasten fosforipitoisuudessa Oriveden tutkimusalueella (taulukko 2). Kuhmalahdelta saadut tulokset viittaavat puolestaan siihen, että annettaessa PK:ta 200—400 kg/ha neulasten mangaani- ja sinkkipitoisuus olisi kasvanut tällä alueella (taulukko 3). Mikäli lannoitus on vaikuttanut muidenkin ravinteiden pitoisuuksiin, nämä erot ovat tasoittuneet 12 vuoden aikana.

Taulukko 2. Neulasten pääravinteiden pitoisuus.  
Table 2. The macro-nutrient content of the needles.

Lannoitus v. 1969 Fertilization in 1969		N %		P %		K %		Ca %	Mg %
Urea kg/ha	PK kg/ha	1974	1980	1974	1980	1974	1980	1974	1980
ORIVESI									
0	0	1,44	1,35	0,150	0,159	0,390	0,375	0,503	0,165
0	200	1,32	1,31	0,200	0,185	0,510	0,408	0,537	0,198
100	200	1,42	1,39	0,170	0,204	0,440	0,279	0,429	0,170
200	200	1,35	1,30	0,210	0,217	0,420	0,338	0,480	0,208
0	400	1,45	1,38	0,200	0,256	0,500	0,361	0,569	0,203
100	400	1,46	1,40	0,200	0,192	0,520	0,302	0,459	0,161
200	400	1,36	1,42	0,220	0,209	0,550	0,314	0,617	0,176
0	600	1,42	1,33	0,220	0,261	0,490	0,406	0,569	0,240
Vaihtelun lähde Source of variance		F-arvot — F values							
Käsittelyt Treatments		0,34	0,40	1,42	5,38**	0,73	0,84	0,79	1,40
Toistot Replications		5,72*	0,39	0,57	0,69	0,59	0,45	0,35	0,06
KUHMALAHTI									
0	0	1,20	1,33	0,180	0,216	0,650	0,538	0,397	0,188
0	200	1,29	1,24	0,190	0,224	0,590	0,506	0,480	0,220
100	200	1,22	1,23	0,180	0,211	0,500	0,466	0,393	0,182
200	200	1,25	1,32	0,180	0,197	0,530	0,457	0,491	0,199
0	400	1,26	1,23	0,210	0,212	0,680	0,538	0,477	0,206
100	400	1,29	1,22	0,180	0,208	0,580	0,434	0,477	0,225
200	400	1,24	1,31	0,200	0,277	0,590	0,546	0,413	0,206
0	600	1,20	1,24	0,210	0,215	0,640	0,525	0,377	0,177
Vaihtelun lähde Source of variance		F-arvot — F values							
Käsittelyt Treatments		1,15	0,75	2,60	1,25	1,82	1,22	1,04	1,07
Toistot Replications		3,11	0,91	1,10	0,69	2,95	2,27	0,97	0,40

Taulukko 3. Neulasten hivenravinteiden pitoisuus v. 1980.  
Table 3. The micronutrient content of the needles in 1980.

Lannoitus v. 1969 Fertilization in 1969						
Urea kg/ha	PK kg/ha	Mn	B	Cu ppm	Zn	Fe
ORIVESI						
0	0	1467	17,0	6,0	31,9	20,2
0	200	860	19,0	6,2	37,9	27,0
100	200	1130	17,0	4,3	29,9	23,5
200	200	756	14,2	4,8	30,0	22,0
0	400	1061	16,9	5,3	36,3	26,2
100	400	991	16,0	5,0	22,6	25,6
200	400	1180	13,1	5,1	30,5	23,9
0	600	1154	17,3	6,3	36,5	26,0
Vaihtelun lähde Source of variance						
		F-arvot — F values				
Käsittelyt Treatments		0,71	1,80	0,84	0,91	1,38
Toistot Replications		0,08	1,21	1,98	3,91*	1,13
KUHMALAHTI						
0	0	470	14,6	4,8	28,5	42,9
0	200	670	13,9	4,6	41,9	41,6
100	200	420	15,5	4,5	27,8	53,6
200	200	523	13,3	4,8	30,3	40,8
0	400	625	12,2	5,6	43,7	41,5
100	400	600	12,7	4,4	30,2	39,3
200	400	409	12,6	5,1	34,2	41,1
0	600	424	18,9	5,1	23,4	42,9
Vaihtelun lähde Source of variation						
		F-arvot — F values				
Käsittelyt Treatments		3,36*	2,56	0,24	2,77*	1,01
Toistot Replications		12,14***	6,75**	1,07	1,69	1,01

## 5. PUUSTON KASVU JA JÄREYTYMINEN

Puuston tilavuudessa ja kasvussa sekä tukkipuun prosenttiosuudessa oli lannoitushetkellä huomattavaa koealoittaista vaihtelua, mikä vaikeutti lannoituskäsittelyjen välistä vertailua. Lannoituksen vaikutus ei tullut kovarianssianalysissa merkitseväksi, vaikka eri käsittelyjen välillä oli selviäkkin eroja.

Oriveden koesarjan lannoittamattomilla koealoilla kuusen todellinen, korjaamaton tilavuuskasvu oli kuuden ensimmäisen vuoden aikana keskimäärin 21,4 m<sup>3</sup> ja muilla koealoilla 22,7—36,7 m<sup>3</sup> (taulukko 4). Jälkim-

mäisellä kuuden vuoden jaksolla lannoittamattomien koealojen puuston tilavuuskasvun keskiarvo oli 26,7 m<sup>3</sup> ja muiden 28,6—45,0 m<sup>3</sup>. Kovarianssikorjattujen kasvulukujen mukaan suurimman kasvunlisäyksen (18,38 m<sup>3</sup>/ha 12 vuoden aikana) antoi tässä koesarjassa 400 kg/ha PK-lannosta + 100 kg/ha ureaa (taulukko 5). Pienin kasvunlisäys saatiin käytettäessä PK-lannosta 200 kg/ha ja sen lisäksi typpeä. Kaikissa lannoituskäsittelyissä vaikutus kesti koko mittausjakson ajan eli vähintään 12 vuotta (kuva 1).

Kuhmalahdella lannoittamattomien koe-



alojen puuston tilavuuskasvun keskiarvo oli kuuden ensimmäisen vuoden aikana 44,4 m<sup>3</sup>/ha ja lannoitetuilla 43,3—64,3 m<sup>3</sup>/ha (taulukko 4). Kuuden seuraavan vuoden aikana keskimääräinen tilavuuskasvu oli lan-

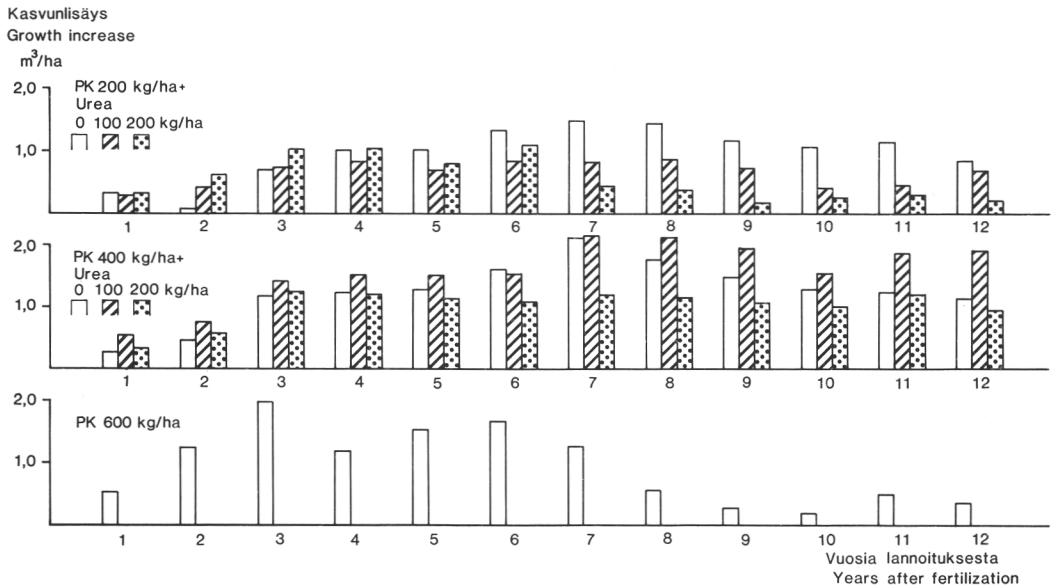
noittamattomilla koaloilla 62,8 m<sup>3</sup>/ha, lannoitetuilla puolestaan 52,5—76,8 m<sup>3</sup>/ha. Kovarianssikorjattujen kasvulukujen mukaan lannoitus lisäsi puuston kasvua vain ensimmäisen kuuden vuoden aikana (taulukko 5, kuva 2). Suurin lisäys (5,49 m<sup>3</sup>/ha) saatiin annettaessa PK-lannosta 400 kg/ha ja sen lisäksi ureaa 200 kg/ha.

Taulukko 4. Puuston tilavuus ja tukkipuun osuus.  
Table 4. Stand volume and percentage of saw-timber.

Lannoitus v.1969 Fertilization in 1969		Tilavuus m <sup>3</sup> /ha Stand volume			Tukkipuuta, % tilavuudesta Saw-timber, percentage of stand volume		
Urea PK		Syksy — Autumn			Syksy — Autumn		
kg/ha	PK	1968	1974	1980	1968	1974	1980
ORIVESI							
0	0	50,7	72,1	98,8	57,5	63,5	67,3
0	200	74,2	107,2	149,9	48,9	59,0	67,9
100	200	51,0	73,7	102,3	59,8	65,6	68,6
200	200	73,8	108,8	147,8	59,9	68,8	72,6
0	400	56,5	86,5	125,6	48,3	61,4	66,5
100	400	58,3	86,2	123,8	67,4	69,4	70,5
200	400	72,4	109,1	154,1	62,7	68,9	71,6
0	600	56,6	89,3	123,9	56,0	61,4	66,9
KUHMALAHTI							
0	0	35,3	79,7	142,6	6,9	16,7	27,2
0	200	41,0	87,2	148,1	8,7	30,3	42,5
100	200	46,4	103,2	172,8	4,8	14,9	31,2
200	200	34,5	77,8	130,3	0,0	13,5	24,4
0	400	56,4	120,7	197,6	1,7	14,8	30,9
100	400	46,7	96,8	165,0	3,4	14,8	26,5
200	400	46,3	101,1	164,1	6,0	25,9	37,6
0	600	48,8	106,0	178,3	6,3	12,0	23,8

Tukkipuun osuus puuston tilavuudesta on esitetty taulukossa 4. Tukkipuuprosentin vuotuinen kehitys lannoittamattomilla ja kahdella tavanomaisen lannoitusosuituksen mukaan lannoitetulla käsittelyllä nähdään kuvassa 3. Tukkipuun osuus oli Orivedellä syksyllä 1968 48,3—67,4 % ja vuonna 1980 66,5—72,6 %. Tukkipuun osuuden kasvu oli mittausjakson aikana 2,5—16,9 prosenttiyksikköä. Lannoitus lisäsi useimmissa tapauksissa tukkipuuprosenttia, joskaan kasvua eniten lisännyt käsittely (400 kg/ha PK-lannosta + 100 kg/ha ureaa) ei vaikuttanut juuri lainkaan tukkipuun osuuteen.

Kuhmalahden koaloilla tukkipuun osuus oli hyvin pieni syksyllä 1968, vain 0,0—8,7 %. Mittausjakson aikana puustossa tapahtui voimakasta järeytymistä, jota lannoitus näyttää nopeuttaneen. Tukkipuun prosentiosuuden kasvu oli lannoitusta seuranneen kahdentoista vuoden aikana 17,1—28,8 prosenttiyksikköä.

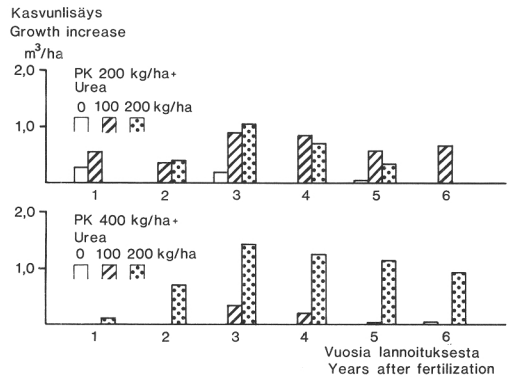


Kuva 1. Orivesi. Kovarianssikorjatut kasvunlisäykset.  
Fig. 1. Orivesi. Adjusted increases in volume growth.

Taulukko 5. Kovarianssikorjattu kasvunlisäys 6 vuoden jaksoissa.

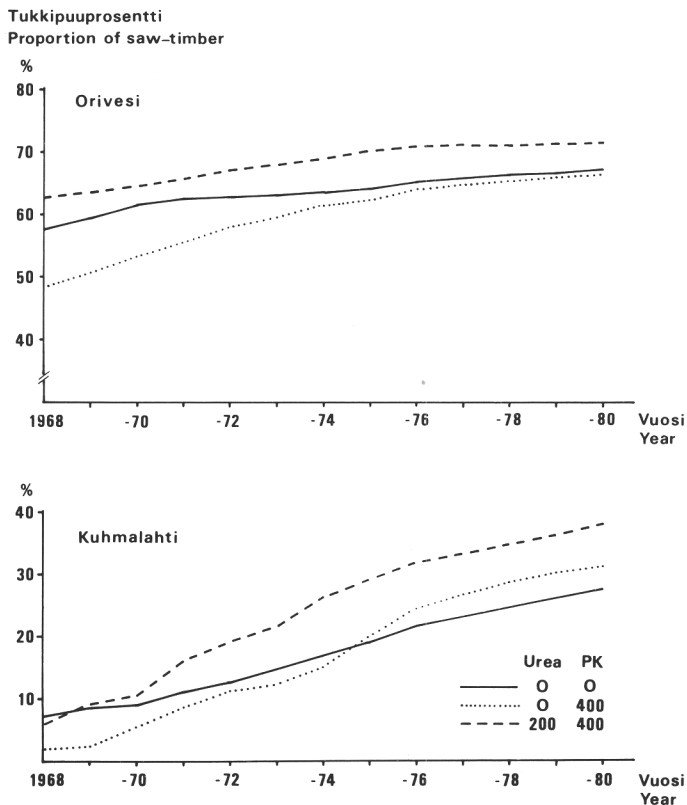
Table 5. Adjusted increase in volume growth in 6-year-periods.

Lannoitus v. 1969 Fertilization in 1969		Mittausjakso Measuring period		Yhteensä Total
Urea	PK	1969—1974	1975—1980	
		Kasvunlisäys, m <sup>3</sup> /ha Increase in volume growth, m <sup>3</sup> /ha		
ORIVESI				
100	400	7,25	11,13	18,38
0	400	6,02	9,07	15,09
200	400	5,58	6,61	12,19
0	200	4,43	7,17	11,16
0	600	8,12	3,11	11,23
100	200	3,79	4,00	7,79
200	200	4,87	1,77	6,64
KUHMALAHTI				
200	400	5,49	—	—
100	200	3,85	—	—
200	200	2,22	—	—
0	200	0,22	—	—
100	400	0,14	—	—



Kuva 2. Kuhmalahti. Kovarianssikorjatut kasvunlisäykset.

Fig. 2. Kuhmalahti. Adjusted increases in volume growth.



Kuva 3. Tukkipuuprosentin lisäys vuosina 1968—80.

Fig. 3. The increase in the proportion (%) of saw-timber.



## 6. YLEISTÄ LANNOITUKSEN KANNATTAVUUDESTA

Metsänlannoitus on tyypillinen investointi. Siinä pääomaa sidotaan tuotannon tekijöihin vastaisten tulojen saamiseksi. Lannoituksen taloudellinen edullisuus, mielekkyys, olisi periaatteessa arvioitava ottaen huomioon metsää omistavan yrityksen koko talous (ks. Hämäläinen ja Laakkonen 1983, s. 3—4). Toisaalta tulosten yleistettävyyden vuoksi rajoituttiin tässä tutkimuksessa metsikkökohtaisiin laskelmiin; päätöksentekijän muu talous on laskelmissa mukana pelkistetyksi vain vaihtelevan laskentakorkokannan muodossa.

Ensin esitetään tuloksia lannoituksen erilliskannattavuudesta. Tällöin investointimeno muodostuu vain luvussa 72. esitettävistä lannoituksen aiheuttamista maksutapahtumista. Kannattavuutta tarkastellaan sekä omarahoituksella (luvut 8 ja 9) että metsänparannustuella (luku 10) tapahtuvissa lannoituksissa. Edullisuuskriteereinä käytetään investoinnin sisäistä korkoa ja nettotuottojen nykyarvoa, koska lannoitustutkimuksissakin kannatta-

vuus pitää pyrkiä laskemaan yleisesti käytössä oleviin menetelmiin nojautuen, jotta saadut tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia muiden investointikohteiden tuloksiin. Sisäinen korko on kriteerinä myös laskettaessa varttuneen kuusikon lannoitusajankohdan hakkuuarvon ja lannoitusmenon muodostaman yhdistetyn investoinnin edullisuutta (luku 12).

Nettotuottojen nykyarvolla saatuun edullisuusjärjestykseen vaikuttaa usein ratkaisevasti laskentakorkokannan suuruus. Laskentakorkokannan kohotessa lähiajan nettotulojen paino kasvaa ja päinvastoin. Käsitteellisesti ja suuruudeltaan yksiselitteistä laskentakorkokantaa ei ole olemassa (ks. Hämäläinen 1973, s. 92—99), minkä vuoksi nykyarvot on hyödyllistä laskea eri suuria korkokantoja käyttäen. Laskentakorkokanta on joka tapauksessa voimakas yksinkertaistus yrittäjän rahoituskustannuksista ja nettotulojen edelleen sijoituksen kannattavuudesta.

## 7. LANNOITUSTUOTOT JA -KUSTANNUKSET

### 71. Lannoitustuotot

Metsikkökohtaisissa edullisuuslaskelmissa lannoitustuotot voidaan laskea esim. lannoituksen aiheuttaman hakkuumäärän lisäyksen perusteella tai kasvunlisäys voidaan yrittää muuttaa kiertoajan lyhenemistä ilmaiseksi vuosimääräksi (Carbonnier 1962). Menetelmiä ovat esitelleet mm. Keipi ja Kekkonen (1970), Keipi (1972) sekä Keltinkangas ja Seppälä (1973).

Tässä tutkimuksessa käytettiin hakkuumäärän lisäykseen perustuvaa menetelmää,

jossa tuotot saadaan lannoitetun ja lannoitamattoman metsikön hakkuuarvojen erotuksena lannoituksen kulloisenkin tarkastelu-periodin lopussa. Laskentamenetelmä yliarvioi lannoitustoimenpiteen edullisuuden, mikäli kasvunlisäystä ei pystytä tai haluta realisoida välittömästi laskentaperiodin (esim. lannoituksen vaikutusajan) lopussa. Kuitenkin esimerkiksi harvennusvaiheen ohittaneissa lannoitetuissa metsiköissä lannoitusvaikutus pystytään realisoimaan voimistetuissa väljennyshakkuussa, jos metsikkö ei ole vielä taloudellisesti ja metsänhoidollisesti uudista-

miskelpoinen. Väljennettyä metsikköä voidaan sitten joko kasvattaa lannoittamattomana tai lannoittaa toistuvasti ja realisoida uusi lannoitusvaikutus päätehakuussa.

Lannoituksella aikaansaatuun puuston hakkuuarvon lisäykseen vaikuttaa tilavuuskasvun lisäksi myös tukkipuurunkojen järeytyminen, erityisesti tukkipuurunkojen järeytyminen sekä puuston realisoitihetken kantohintataso. Jotta koejärjestely ei vaikeuttaisi lannoitusvaikutuksen arviointia tasoitettiin lannoitushetkellä vallinneet erot puutavaralajisuhteissa sekä tukkipuurunkojen järeydessä erikseen kummankin koejärjestelyn koalojen välillä kovarianssianalyysillä. Kovariaattina käytettiin kulloinkin tasoitettavan muutujan lannoitusta edeltänyttä tilannetta. Lannoittamattoman ja lannoitettujen puustojen vuosittaiset hakkuuarvon lisäykset on laskettu käyttämällä alkuarvoina koalojen kovarianssikorjattua keskitilavuutta, puutavaralajisuuhdetta sekä tukkipuurunkojen järeyttä ennen lannoitusta. Näistä on johdettu vuotuisten kovarianssikorjattujen kasvujen avulla vaihtoehtojen vuotuiset puuston hakkuuarvot ja arvokasvut.

Suhdanne- ym. vaihteluiden eliminoimiseksi kannattavuuden peruslaskelmista niissä käytettiin kantohintoina pitkän aikavälin (hakkuuvuodet 1949/50—1982/83) Etelä-Suomen reaalisten kantohintasarjojen perusteella laskettuja vuoden 1982/83 trendihintoja. Rahanarvon mittarina käytettiin tukkuhintojen kokonaisindeksiä. Lannoitusvaikutuksen realisoitijankohdan suhdannevaiheen merkityksen selvittämiseksi suoritettiin vielä laskelmia vaihtelevin hintaoletuksin (luku 11).

Kantohintojen ( $\text{mk}/\text{m}^3$ ) trendiyhtälöt muodostuivat seuraaviksi:

$$\begin{aligned} \text{havutukki} & y = 58,05 + 1,57 x \\ \text{kuusikuitupuun} & y = 115,57 - 0,31 x, \text{ missä} \end{aligned}$$

$x$  = hakkuuvuosien määrä perusvuodesta 1900/1901 eteenpäin. Siis esim. v. 1980/81 kysymyksessä on  $x = 80$ .

Peruskantohinnoiksi valittiin puutavaralajeittain hakkuuvuoden 1982/83 trendiarvot. Tilastoissa ei ole ennen hakkuuvuotta 1979/80 erotettu kuusi- ja mäntytukkia, joten kuusitukin hinta oli määritettävä havutukin trendihinnasta (ks. Keipi ja Laakkonen 1980). Kuusitukin peruskantohinnaksi saatiin  $175 \text{ mk}/\text{m}^3$  ja kuusikuitupuun  $89 \text{ mk}/\text{m}^3$ .

Maataloustuottajain Keskusliiton ja Teollisuuden Puuyhdistyksen välisissä hintasuosi-

tussopimuksissa on sovittu, että niissä määritellyn perusleimikon kantohintoja korjataan metsäkuljetusmatkan, maaston, puuston järeyden sekä leimikon koon ja tiheyden perusteella. Tässä tutkimuksessa oli tarpeellista tai mahdollista ottaa huomioon vain puuston järeyden ja tiheyden aiheuttamat kantohintojen muutokset. Järeyskorjaus tehtiin vain tukkipuun trendihintaan. Tämä em. sopimusta vastaava järeyskorjaus  $\Delta Y_1$  saatiin seuraavasti yhtälöstä.

$$\begin{aligned} \Delta Y_1 &= -17,97 + 39,90z_1, \text{ missä} \\ z_1 &= \text{tukkirungon käyttöosan keskitilavuus, m}^3 \text{ kuorellisena} \end{aligned}$$

Tiheyskorjaus puolestaan tehtiin sekä tukki- että kuitupuun trendikantohintoihin. Se ( $\text{mk}/\text{m}^3$ ) oli molemmille puutavaralajeille sama ja saatiin yhtälöstä:

$$\begin{aligned} \Delta Y_2 &= -7,83 + 0,009z_2, \text{ missä} \\ z_2 &= \text{leimikon tiheys (m}^3/\text{ha)} \end{aligned}$$

Todellisuudessa raakapuun kantohinnoissa on huomattavaa suhdanne- yms. vaihtelua. Lannoituksen kannattavuus riippuu siten myös osaltaan siitä, millaiseen hintaan lannoituksen vaikutuksesta saatava lisäpuumäärä voidaan myydä. Kantohintatason vaikutusta lannoituksen kannattavuuteen tutkittiin siten, että kantohintoina käytettiin vaihtoehtoisesti myös lähinnä matalasuhdanteita ja toisaalta korkeasuhdanteita vastaavia hintoja. Matalasuhdannehinnat saatiin vähentämällä hakkuuvuoden 1982/83 trendihinnasta laskennallinen ”matalasuhdannepoikkeama”. Korkeasuhdannehintoja määritettäessä taas vastaavaan trendihintaan lisättiin tietty poikkeama. Suhdannepoikkeamien laskemiseksi selvitettiin kuitukin hakkuuvuodesta 1949/50 . . . 1982/83 sen reaalisen kantohinnan poikkeama trendiarvosta. Matalasuhdanteen poikkeama laskettiin kaikkien niiden hakkuuvuosien poikkeamien keskiarvona, joina tuo poikkeama trendiarvosta alaspäin oli  $> 10 \%$ . Korkeasuhdanteen poikkeamaa laskettaessa otettiin vastaavasti huomioon vuotuiset poikkeamat trendihinnasta ylöspäin. Kuusitukin matalasuhdannehinnaksi tuli näin  $149 \text{ mk}/\text{m}^3$  ja kuusikuitupuun  $69 \text{ mk}/\text{m}^3$  sekä vastaaviksi korkeasuhdannehinnoiksi  $222 \text{ mk}/\text{m}^3$  ja  $110 \text{ mk}/\text{m}^3$ . Kuusitukin hinta oli matalasuhdanteessa  $15 \%$  ja kuusikuitupuun  $22 \%$  vastaavaa peruskantohintaa pienempi. Korkeasuhdannehinnat olivat puolestaan  $27 \%$  ja  $34 \%$  peruskantohin-

toja suuremmat.

Kuvissa 4a ja 4b on esitetty eri käsittelyvaihtoehtoissa lannoituksella aikaansaadut kumulatiiviset puuston hakkuuarvon lisäykset lannoituksesta kuluneen ajan funktiona. Oriveden varttuneessa korpikuusikossa (kuva 4a) kumulatiiviset hakkuuarvojen lisäykset kehittyivät eri vaihtoehtoissa aluksi varsin tasaisesti. Vasta viidennen vuoden jälkeen lannoitusvaihtoehtojen välille syntyi selviä eroja. Kuhmalahden nuoressa kuusikossa sen sijaan (kuva 4b) nämä raha-arvoina määritetyt lannoitusvaikutukset poikkesivat eri vaihtoehtojen välillä jo alkuvuosista lähtien.

Kahdentoista vuoden kuluessa lannoitus lisäsi puuston hakkuuarvoa lannoittamattomaan nähden lannoituskäsittelyittäin seuraavasti:

Käsittely	1	2	3	4	5	6	7
Ureaa ja PK-lannosta	0	100	200	0	100	200	0 kg/ha
Orivesi (varttunut kuusikko)	2165	1285	967	2702	2151	1559	1922 mk/ha
Kuhmalahdi (nuori kuusikko)	1321	1631	407	846	553	1473	-1826 mk/ha

Oriveden varttuneessa korpikuusikossa lannoitusvaikutuksen raha-arvo 12 vuoden ajalta oli suurin lannoituskäsittelyssä 4, siis annettaessa suometsien PK-lannosta 400 kg hehtaaria kohden. Pelkän PK-lannoksen eri määrillä saatiin Oriveden varttuneessa puustossa kahdessatoista vuodessa keskimäärin 2250 mk:n ja NPK-lannoituksella n. 1500 mk:n hakkuuarvon lisäys hehtaarille. Urean antaminen PK-lannoksen lisänä on johtanut selvästi pienempään hakkuuarvon lisäykseen kuin pelkkä PK-lannos. On selvää, että lopullisen taloudellisen tuloksen kannalta tyyppisen lisäyksen ei ole voinut olla perusteltua.

Kuhmalahden nuoressa korpikuusikossa lannoituksella aikaansaadut hakkuuarvon lisäykset jäivät selvästi Orivedellä saatuja pienemmiksi lukuunottamatta lannoituskäsittelyä 2 (ureaa 100 kg/ha ja suometsien PK-lannosta 200 kg/ha). Keskimäärin lannoituksella saatu hakkuuarvon lisäys Kuhmalahdella oli PK-lannoituksissa, kun mukaan ei oteta lannoituskäsittelyä 7, n. 1100 mk/ha ja NPK-lannoituksissa 1000 mk/ha. Lannoituskäsittelyllä 7 (suometsien PK-lannosta 600 kg/ha) ei saatu kasvunlisäystä, joka olisi ylittänyt lannoittamattomien koelajien luontaisen kasvukyvyn. Ensinnä mainitulla kovarianssikorjattu kasvu oli hieman yli 9 m<sup>3</sup>/ha ja

jälkimmäisissä noin 10 m<sup>3</sup>/ha vuodessa. Lannoitustuottojen laskentamenetelmän vuoksi (hakkuuarvojen erotus) tuotot jäivät lannoituskäsittelyssä 7 siten selvästi negatiivisiksi.

Lannoituksella aikaansaatu puuston hakkuuarvon lisäys aiheutuu Oriveden varttuneessa kuusikossa pääasiassa tilavuuskasvun lisäyksestä ja Kuhmalahdella lähinnä suhteellisen pienen kasvunlisäyksen keskittymisestä puuston järeimpään osaan.

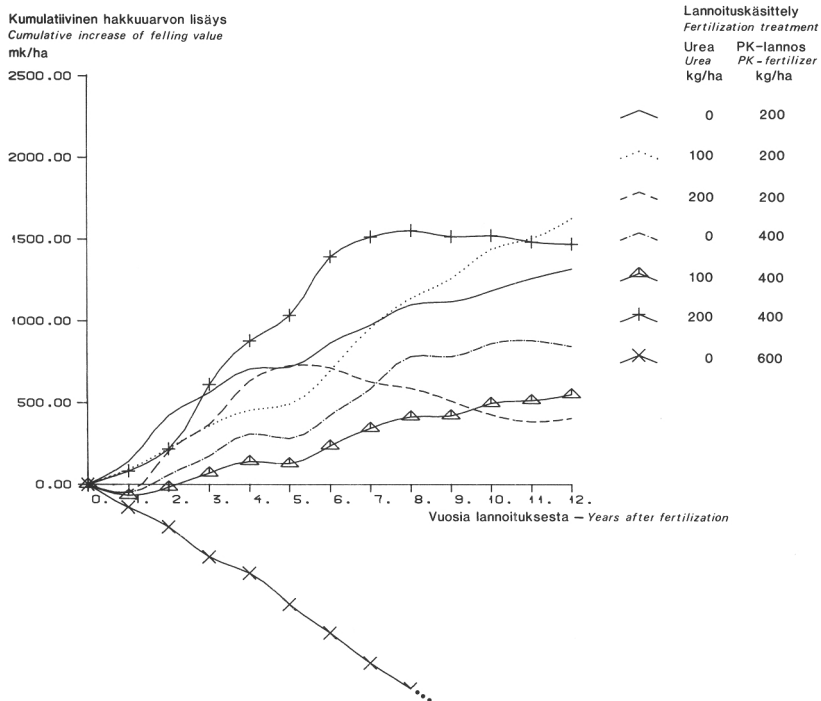
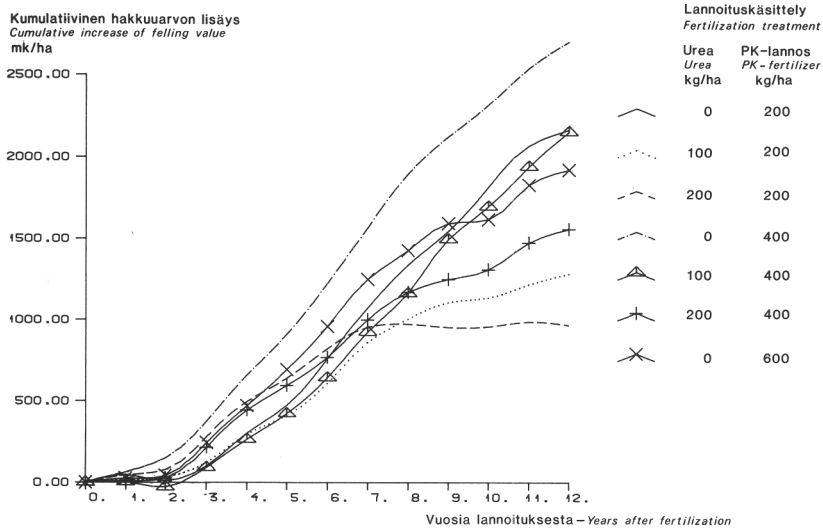
Vuosittaiset hakkuuarvon lisäykset saavuttivat maksiminsa Orivedellä varttuneessa kuusikossa keskimäärin seitsemän ja Kuhmalahdella neljän vuoden kuluttua lannoituksesta. Tuo maksimaalinen vuotuinen hakkuuarvon lisäys oli kaikkien Oriveden PK-lannoitusten keskiarvona 315 mk/ha ja NPK-lannoituksissa vastaavasti 260 mk/ha. Kuhmalahdella korkein vuotuinen arvoinen lisäys oli PK-lannoitusten keskiarvona 240 mk/ha ja NPK:lla 260 mk/ha.

## 72. Lannoituskustannukset

Lannoituksen kokonaiskustannukset pinta-alayksikköä kohden muodostuvat lannoituksen suunnittelusta ja työnjohdosta, lannoitteiden yksikköhinnoista, käytettävistä määristä, kauko- ja lähikuljetuksesta sekä levityksestä.

Lannoitteiden hinnat on, suometsien PK-lannosta lukuunottamatta, porrastettu maassamme siten, että ne nousevat lannoitusvuoden loppua, kesäkuuta kohden. Tässä tutkimuksessa käytettiin lannoitusvuoden 1982/83 joulukuun hintoja. Urean hinta oli tuolloin 127,10 mk/100 kg ja suometsien PK-lannoksen 82,45 mk/100 kg (Lannoitteiden hinnasto 1982/83). Hinnat ovat valmisteveerottomia. Kysymyksessä ovat siis po. lannoitusvuoden likimain keskimääräisen kuukauden hinnat.

Muiden kuin lannoitekustannusten osalta käytettiin keskimääräisiä kustannustietoja lannoituskohteiden sijainnista ja maasto-olosuhteista johtuvan yksilöllisen vaihtelun poistamiseksi. Tämän tutkimuksen laskelmat perustuvat käsinlevityksen tekniikkaan mm. siksi, että käsinlevityksessä hehtaarikustannukset ovat maasta tapahtuvaa koneellista levitystä ja lentolevitystä vähemmän riippuvia lannoitettavasta pinta-alasta. Lannoitteiden kauko- ja lähikuljetuskustannusten arvioitiin olevan yhteensä 15 penniä lannoitekiloa kohden. Lannoitteiden käsinlevityksessä



Kuva 4. Kertalannoituksella aikaansaatuun hakkuuarvojen kumulatiivisten lisäysten kehitys lannoituksesta kuluneen ajan funktiona.

- a) varttunut korpikuusikko (Orivesi)
- b) nuori korpikuusikko (Kuhmalahti)

Figure 4. Development of the increase in the cumulative felling value obtained through fertilization as a function of time since fertilization.

- a) mature spruce swamp stand (Orivesi)
- b) young spruce swamp stand (Kuhmalahti)



levitystuotos vaihtelee välillä 500—1000 kg miestyöpäivää kohden (esim. Salonen 1983, s. 218). Laskelmissa käytettiin tuotoksena 800 kg/mtp., joka saatiin Huuskon (1971) sekä Möllerin ja Ekbergin (1972) aikatutkimusten keskiarvona. Miestyöpäivän hinta oli lannoitusvuonna 1982/83 voimassa olleiden työehtosopimusten mukaan Etelä-Suomessa b-palkkausryhmässä 253 mk. Hinnassa ovat mukana jo likaisen työn lisä, urakkalisä (25 %) ja sosiaalikulut (41 %).

Keskusmetsälautakunta Tapion ohjeiston mukaan suunnittelu- ja työnjohtokustannukset ovat yhteensä 12 % muiden kustannusten kokonaissummasta (KML Tapio ohjaustietokanta 1982). Suunnittelu- ja työnjohtokustannukset oletettiin lannoitemäärästä riippumattomiksi (ks. esim. Keipi 1972, s. 11), jolloin niiden määräksi tuli em. periaatteella 70 mk/ha. Lannoituskustannukset hehtaaria kohden menolajeittain ja lannoituskäsittelyittäin on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Lannoituskustannukset hehtaaria kohden eri lannoituskäsittelyissä.

Taulukko 6. Fertilization costs per hectare with different fertilization treatments.

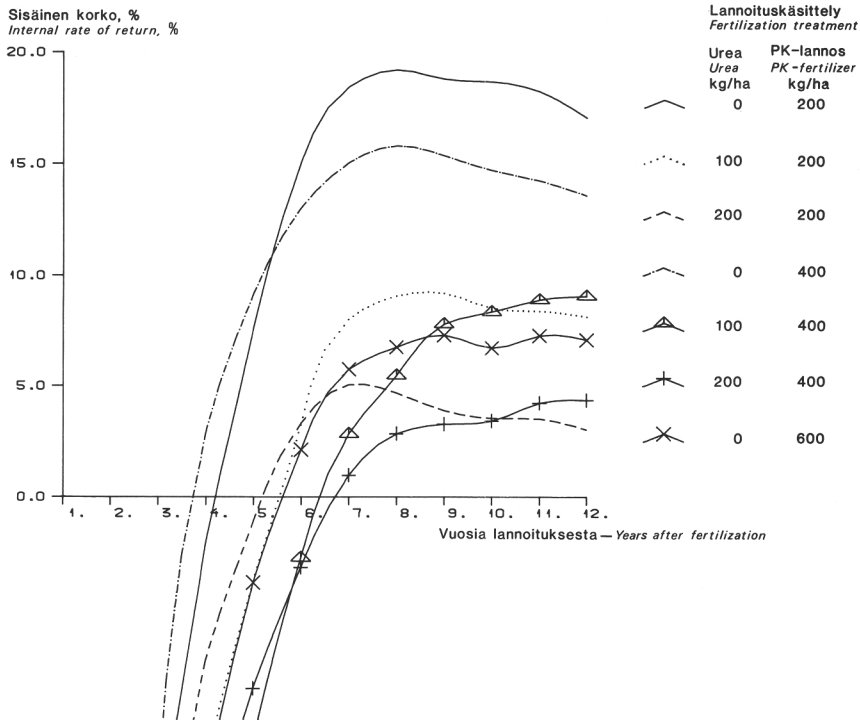
Lannoituskäsittely Fertilization treatment	1	2	3	4	5	6	7
Urea (kg/ha)	0	100	200	0	100	200	0
Urea							
PK-lannos (kg/ha)	200	200	200	400	400	400	600
PK fertilizer							
Kustannuslaji Cost item	Kustannus mk/ha Cost FIM/ha						
Lannoitteet Fertilizers	165	292	419	330	457	584	495
Kuljetus Transportation	30	45	60	60	75	90	90
Levytykset Spreading	63	95	127	127	158	190	190
Suunnittelu ja työnjohto Planning and supervision	70	70	70	70	70	70	70
Yhteensä Total	328	502	676	587	760	934	845

## 8. LANNOITUSINVESTOINNIN ERILLISKANNATTAVUUS VARTTUNEESTA KORPIKUUSIKOSSA

Kuvassa 5 on esitetty omarahoituksella tehtyjen lannoitusinvestointien sisäiset korot varttuneessa korpikuusikossa lannoitusajan kohdasta eteenpäin lasketuilta eri pitkiltä ajanjaksoilta. Investointien sisäiset korot kasvavat tarkasteluajanjakson pidentyessä yleensä seitsemään vuoteen asti jyrkästi, minkä jälkeen nousu hidastuu tai alkaa vähittäinen lasku. Eri lannoituskäsittelyjen sisäiset korot saivat positiivisia arvoja 4—7 vuoden vaikutusajoista alkaen ja maksiminsa nuo korot saavuttivat 7—12 vuoden kuluttua lannoituksesta. Tosin eräissä vaihtoehdoissa, joissa annettiin sekä ureaa että PK-lannosta, sisäisen koron maksimi olisi aivan ilmeisesti saavutettu 12 vuotta pidemmällä vaikutusajalla. Pelkissä PK-lannoituksissa optimipitoaika oli pääsääntöisesti kahdeksan vuotta, kun NPK-lannoituksissa optimipitoaika vaihteli käsittelystä riippuen 7—12 vuoteen. Hämäläisen ja Laakkosen (1983) mukaan optimipitoaika 3—5 ravinteisuusluokan ojitettujen turvekankaan varttuneiden männiköiden PK- ja NPK-lannoituksissa oli selvästi enemmän kuin kahdeksan vuotta ollen PK:lla pidempi kuin NPK:lla. Käytettävissä olleen

koala-aineiston mittaajakson lyhyden vuoksi ei em. tutkimuksessa optimipitoaikoja voitu määrittää. Mainitut turvemaiden männiköt eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia tämän tutkimuksen ojitettuihin korpiin siinä mielessä, että NPK-lannoitetut turvekankaiden männiköt olivat ravinteisuudeltaan ja puustoltaan selvästi heikompia kuin PK-lannoitetut. Kysymyksessä ei siis ollut samojen turvekankaan metsiköiden vaihtoehtoinen lannoittaminen PK:lla tai NPK:lla.

Suurin sisäinen korko varttuneissa korpikuusikoissa omarahoituksella — 19,2 % — saatiin lannoituskäsittelyllä suometsien PK-lannosta 200 kg/ha ja kahdeksan vuoden vaikutusajalla. Myös suometsien PK-lannoksen määrällä 400 kg/ha päästiin saman suuruusluokan (15,8 %) sisäiseen korkoon kahdeksan vuoden vaikutusajalla (taulukko 7). Vielä 12 vuoden vaikutusajalla sisäinen korko oli molemmissa tapauksissa vain n. 2 %-yksikköä matalampi kuin kahdeksan vuoden vaikutusajalla. NPK-lannoituksista parhaimman tuloksen omarahoituksella antoi käsittely 2: ureaa 100 kg/ha ja suometsien PK-lannosta 200 kg/ha. Samansuuruinen sisäinen



Kuva 5. Ilman valtion metsänparannusrahoitusta toteutettujen kertalannoitusten reaali sisäinen korko lannoituksesta kuluneen ajan funktiona Oriveden varttuneessa korpikuusi-kossa.

Figure 5. The real internal rates of return of the fertilization investments financed without state forest improvement subsidies as a function of time since fertilization in the mature spruce swamp stand at Orivesi.

korko, tosin pidemmällä aikajänteellä, saatiin lannoitusvaihdolla 5 (ureaa 100 kg/ha ja suometsien PK-lannosta 400 kg/ha).

Taulukossa 8 on esitetty omarahoitettujen lannoituskäsittelyjen nettotuottojen nykyarvot (diskonttausarvot) eri laskentakoroilla 8 ja 12 vuoden aikajänteillä. Kuuden prosentin laskentakorkoon asti edullisin lannoituskäsittely oli suometsien PK-lannosta 400 kg/ha. Sitä suuremmillakin laskentakoroilla tämä vaihtoehto oli kahdeksan vuoden vaikutusajalla kannattavin. Sen sijaan 12 vuoden vaikutusajalla PK-annostus 200 kg/ha antoi noilla korkeilla korkokannoilla jo paremman tuloksen kuin 400 kg PK:ta/ha. Metsätalouden investointilaskelmissa usein käytetyllä neljän prosentin laskentakorolla parhaan PK-lannoituksen (400 kg/ha) nykyarvo 12 vuoden aikajänteellä oli 1101 mk/ha ja heikoimman (PK-lannosta 600 kg/ha) 356 mk/ha. NPK-lannoituksissa vastaavat summat

Taulukko 7. Ilman valtion metsänparannusrahoitusta toteutettujen kertalannoitusten reaaliset sisäiset korot 8–12 vuoden ajanjaksoilta (pitoajoilta) Oriveden varttuneessa korpikuusikossa.

Table 7. The real internal rates of return of the fertilization investments financed without state forest improvement subsidies for time periods of 8–12 years following fertilization in the mature spruce swamp stand at Orivesi.

Lannoituskäsittely Fertilization		Sisäinen korko, % Internal rate of return, %				
Urea kg/ha	PK-lannos PK-fertilizer kg/ha	Vuosia lannoituksesta Years after fertilization				
		8	9	10	11	12
0	200	19.2	18.8	18.7	18.2	17.0
100	200	9.1	9.2	8.5	8.4	8.2
200	200	4.7	3.9	3.5	3.5	3.0
0	400	15.8	15.4	14.7	14.2	13.6
100	400	5.5	7.8	8.4	8.9	9.1
200	400	2.9	3.3	3.4	4.2	4.4
0	600	6.8	7.3	6.7	7.3	7.1

Taulukko 8. Ilman valtion metsänparannusrahoitusta toteutettujen kertalannoitusten reaaliset nettotuottojen nykyarvot 8 ja 12 vuoden ajanjaksoilta (pitoajoilta) Oriveden varttuneessa korpikuusikossa.

Table 8. The real net present values of the fertilization investments financed without state forest improvement subsidies for time periods of 8 and 12 years following fertilization in the mature spruce swamp stand at Orivesi.

Lannoituskäsitely Fertilization		Ajanjakso Time period	Nettotuottojen nykyarvo, mk/ha Net present value, FIM/ha						
Urea kg/ha	PK-lannos PK fertilizer kg/ha	Vuosia Years	Laskentakorkokanta, % Calculative rate of interest, %						
			0	2	3	4	5	7	9
0	200	8	1009	813	727	649	577	450	343
		12	1837	1379	1190	1024	877	633	442
100	200	8	505	357	293	234	179	84	3
		12	783	511	399	301	213	69	-45
200	200	8	298	155	93	36	-17	-109	-187
		12	291	86	2	-72	-138	-247	-332
0	400	8	1311	1033	911	800	698	518	366
		12	2115	1544	1308	1101	918	613	374
100	400	8	404	233	159	90	28	-83	-176
		12	1392	936	749	584	438	195	5
200	400	8	235	64	-11	-80	-143	-254	-347
		12	625	295	159	40	-66	-242	-380
0	600	8	581	372	281	196	120	-15	-129
		12	1077	671	503	356	225	9	-162

olivat 584 mk/ha (ureaa 100 kg/ha ja PK-lannosta 400 kg/ha) ja -72 mk/ha (ureaa 200 kg/ha ja PK-lannosta 200 kg/ha).

Nettotuottojen nykyarvolla mitattu optimipitoaika (aikajänne) neljän prosentin laskentakorolla oli lähes kaikissa vaihtoehdoissa tutkimuksen mittausten mahdollistama kaksitoista vuotta. Koron noustessa 6—9 %:iin optimipitoajat laskivat keskimäärin vuodella, ja yli 10 %:n laskentakoroilla optimipitoaika oli lannoituskäsitelyssä 1 (suometsien PK-lannosta 200 kg/ha) kymmenen vuotta ja lannoituskäsitelyssä 4 (suometsien PK-lannosta 400 kg/ha) yhdeksän vuotta.

Varttuneessa korpikuusikossa lannoitusvaihtoehdot 1 (suometsien PK-lannosta 200 kg/ha) ja 4 (suometsien PK-lannosta 400

kg/ha) olivat sekä investoinnin sisäisellä korolla että nettotuottojen nykyarvolla mitattuina siis omarahoituksellakin hyvin kannattavia. Muut lannoituskäsitelyt antoivat taloudellisesti ainakin tyydyttävänä pidettävän tuloksen. PK-lannoitusten kannattavuus aleni lannoitemäärän kasvaessa 400 kg:sta 600 kg:aan hehtaarille sekä sisäisellä korolla että nettotuottojen nykyarvolla mitattuna. NPK-lannoitusten edullisuus laski puolestaan urean osuuden kasvaessa sadasta kahteensataan kiloon hehtaarilla. Tämän tutkimuksen perusteella NPK-lannoitus varttuneissa korpikuusikoissa ei ole, ainakaan ensilannoituksena yksityistaloudellisesti perusteltua, koska sen kannattavuus jää selvästi ”oikein” annosteltuja PK-lannoituksia heikommaksi.

## 9. LANNOITUSINVESTOINNIN ERILLISKANNATTAVUUS NUORESSA KORPIKUUSIKOSSA

Nuoren korpikuusikon lannoitus antoi positiivisen sisäisen koron vain neljässä tutkimuksen seitsemästä lannoituskäsitelystä omarahoitusta käytettäessä (taulukko 9). Korkein sisäinen korko saavutettiin suomet-

sien PK-lannoituksella 200 kg/ha (16,4 %), kun tarkastelujakso oli kahdeksan vuotta. Sisäisen koron kannattavuuskriteerillä antoi parhaan tuloksen siis sama lannoituskäsitely sekä varttuneessa että nuoressa korpikuusi-

kossa. Verraten korkea sisäinen korko saatiin myös lannoituskäsittelyllä 2 (ureaa 100 kg/ha ja suometsien PK-lannosta 200 kg/ha) ja tyydyttäväksi katsottava vielä käsittelyillä 4 (suometsien PK-lannosta 400 kg/ha) ja 6 (ureaa 200 kg/ha ja suometsien PK-lannosta 400 kg/ha). Eri pitoajoilla (tarkastelujaksoilla 8—12 vuotta) sisäinen korko ei muuttunut kovinkaan paljon.

Taulukossa 10 on esitetty omarahoitettujen lannoituskäsittelyjen nettotuottojen nykyarvot vaihtelevilla laskentakoroilla 8 ja 12 vuoden aikajäniteillä. Kahdeksan vuoden aikajäniteellä edullisin lannoitusvaihtoehto oli kaikilla käytetyillä laskentakoroilla jälleen suometsien PK-lannos 200 kg/ha. Kahden toista vuoden aikajäniteellä kannattavin lannoitusvaihtoehto aina 6 prosentin laskentakorkoon asti oli lannoituskäsittely 2 eli ureaa 100 kg/ha ja suometsien PK-lannosta 200 kg/ha. Sitä korkeammilla laskentakorkokannoilla korkein nettotuottojen nykyarvo 12 vuoden aikajäniteelläkin saatiin vaihtoehdosta suometsien PK-lannosta 200 kg/ha.

Saatujen tulosten valossa näyttää nuorten jo luontaisesti hyvin kasvavien korpikuusikoiden lannoittaminen ainakin tutkimuksessa käytetyillä suurimmilla lannoitemäärillä ta-

Taulukko 9. Ilman valtion metsänparannusrahoitusta toteutettujen kertalannoitusten reaaliset sisäiset korot 8—12 vuoden ajanjaksoilta (pitoajoilta) Kuhmalahden nuorssa korpikuusikossa.

Table 9. The real internal rates of return for the fertilization investments financed without state forest improvement subsidies for time periods of 8–12 years following fertilization in the young spruce swamp stand at Kuhmalahdi.

Lannoituskäsittely Fertilization		Sisäinen korko, % Internal rate of return, %				
Urea Urea kg/ha	PK-lannos PK fertilizer kg/ha	Vuosia lannoituksesta Years following fertilization				
		8	9	10	11	12
0	200	16.4	14.6	13.7	13.0	12.3
100	200	10.8	10.8	11.1	10.5	10.3
200	200	Negatiivisia arvoja — Negative values				
0	400	3.7	3.3	3.9	3.8	3.1
100	400	Negatiivisia arvoja — Negative values				
200	400	6.6	5.5	5.0	4.3	3.9
0	600	Negatiivisia arvoja — Negative values				

loudelliselta tulokseltaan selvästi heikommalta kuin varttuneiden korpikuusikoiden lannoittaminen. Tutkituissa tapauksissa päästiin kuitenkin verraten pienillä PK-lannoitteen määrillä tai käytettäessä PK- ja urea-lannoitteita ”oikeassa” suhteessa myös omarahoituksella hyvään tai tyydyttävään tulokseen.

Taulukko 10. Ilman valtion metsänparannusrahoitusta toteutettujen kertalannoitusten reaaliset nettotuottojen nykyarvot 8 ja 12 vuoden ajanjaksoilta (pitoajoilta) Kuhmalahden nuorssa korpikuusikossa.

Table 10. The real net present values of the fertilization investments financed without state forest improvement subsidies for time periods of 8 and 12 years following fertilization in the young spruce swamp stand at Kuhmalahdi.

Lannoituskäsittely Fertilization		Ajanjakso Time period	Nettotuottojen nykyarvo, mk/ha Net present value, FIM/ha						
Urea Urea kg/ha	PK-lannos PK fertilizer kg/ha	Vuotia Years	Laskentakorkokanta, % Calculative rate of interest, %						
			0	2	3	4	5	7	9
0	200	8	774	612	542	477	418	313	225
		12	993	713	598	497	407	258	142
100	200	8	639	472	399	332	270	162	71
		12	1129	784	642	517	406	222	78
200	200	8	Negatiivisia arvoja — Negative values						
		12	Negatiivisia arvoja — Negative values						
0	400	8	198	83	33	-13	-56	-130	-193
		12	259	80	6	-59	-116	-211	-286
100	400	8	Negatiivisia arvoja — Negative values						
		12	Negatiivisia arvoja — Negative values						
200	400	8	620	392	292	201	118	-30	-154
		12	539	228	99	-14	-114	-280	-410
0	600	8	Negatiivisia arvoja — Negative values						
		12	Negatiivisia arvoja — Negative values						



## 10. METSÄNPARANNUSTUEN VAIKUTUS LANNOITUKSEN ERILLISKANNATTAVUUTEEN

Metsänparannusrahoituksen säännösten mukaan valtio rahoittaa yksityismetsien lannoituksia metsänparannuslainan ja/tai -avustuksen muodossa. Käytännössä yksityismetsien lannoituksista valtion tuella tehdään vuosittain noin 95 % (Tapion Vuosikirja 1982, s. 37). Suomi on jaettu — lähinnä alueellisen puuntuotoskyvyn perusteella — neljään metsänparannustuen rahoitusvyöhykkeeseen. Tuki on porrastettu siten, että se kasvaa etelästä pohjoiseen siirryttäessä.

Yksityismetsänomistaja voi Etelä-Suomessa kasvatuslannoituksissa rahoittaa lannoituskustannuksensa joko kokonaan metsänparannuslainalla tai vaihtoehtoisesti valtio maksaa avustuksena 15 % kustannuksista, jolloin 85 % jää metsänomistajan omarahoitukseen varaan. Metsänparannusvaroin tehtävissä lannoituksissa suunnittelu ja työnjohto ovat lisäksi aina maksuttomia. Avustustapauksissa metsänomistajan katettavaksi jäi tämän tutkimuksen lannoitusvaihtoehdoissa seuraavat kustannukset:

Lannoituskäsitely	1	2	3	4	5	6	7
Urea ja	0	100	200	0	100	200	0
PK-lannosta	200	200	200	400	400	400	600
Metsänomistajan kustannusosuus	219	367	515	440	587	734	659

Metsänparannuslainan laina-aika on kasvatuslannoituksissa kahdeksan vuotta ja vuotuis korko 5 %. Lainan ajan ensimmäinen vuosi on koroton ja laina maksetaan takaisin 2. vuodesta alkaen. Kyseessä on ns. annuiteettilaina, missä maksettava koron ja lyhennyksen summa on vuosittain vakio eli 18 % lainan alkuperäisestä määrästä. Lainavaihtoehdossa lannoituskustannukset maksetaan lannoituksen jälkeen eli edullisuuden laskentajakokohdan nähden tulevaisuudessa. Sen vuoksi lainamaksut muunnettiin laskentajakokohdan rahanarvoon. Vuotuista rahanarvon huonontumista osoittavaksi inflaatio prosentiksi katsottiin seitsemän. Metsänomistajan reaalkorkovaatimuksen eli lasken-

takoron eri tasoilla olivat lainarahoituksen vuotuismaksujen (ennen veroja) nykyarvot eli omistajalle jäävät reaalikustannukset seuraavan suuruiset:

Lannoitusvaihtoehto Urea + PK-lannosta	Laskentakorkokanta						
	0 %	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	
0	200	225	206	190	175	163	151
100	200	377	345	317	292	270	250
200	200	529	484	445	410	379	351
0	400	451	413	379	349	323	299
100	400	602	551	508	467	432	401
200	400	754	633	583	538	498	498
0	600	676	619	568	522	482	447

Lainavaihtoehto oli avustusta edullisempi rahoitustapa em. inflaation taloudessa kaikissa lannoitusvaihtoehdoissa kun laskentakorkokanta on  $\geq 2$  % ja vuotuinen inflaatio samalla 7 prosenttia. Metsänparannuslainan korot ovat verovähennyksellisiä. Siten esitetyt lainarahoitukseen perustuvat lannoituksen reaalkustannukset pienenevät vielä jonkin verran otettaessa verotus huomioon. Maatilatalouden keskimääräisellä veroasteella (26 %) lainan nimelliseksi koroksi jää 3,7 %. Jos taas metsänparannuslainan korkoja tarkastellaan marginaaliperiaatteella ja marginaalivero-%:ksi oletetaan suhteellisen varovasti 45, jää lainan nimelliseksi koroksi verojen jälkeen 2,8 %.

Metsänparannustuen myöntämiseen liittyvä ehto, jonka mukaan puustoa ei saa lannoituksen jälkeen hakata ennenkuin kahdeksan vuoden kuluttua. Kun edullisuuden laskentamenetelmät tässä lähtevät siitä, että lannoituksella lisää saatu puusto on realisoitavissa laskentajakson (investoinnin pitoajan) lopussa, täytyy tuon jakson siis olla vähintään kahdeksan vuotta. Metsänparannusavustusta saataessa muodostuivat lannoitushankkeiden reaaliset sisäiset korot kahdeksan vuoden jaksolta 3—6 prosenttiyksikköä korkeammiksi kuin metsänomistajan rahoittaessa lannoitushankkeet kokonaan itse (taulukko 11 sekä kuva 6a—6b). Toteutettaessa lannoitukset metsänparannuslainalla reaaliset si-

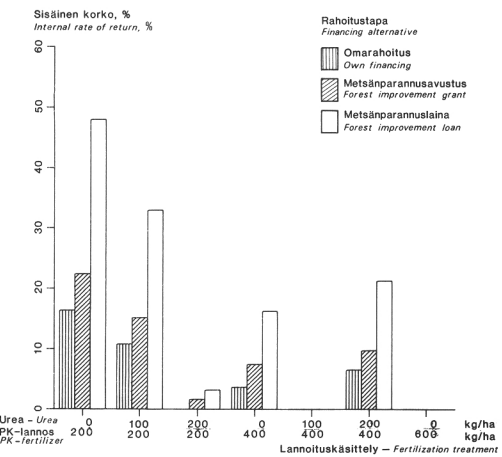
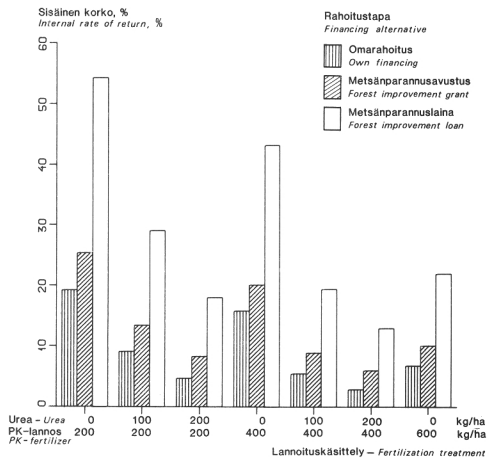
Taulukko 11. Metsänparannusrahoituksella toteutettujen kertaannoitusten reaaliset sisäiset korot (ennen veroja) kahdeksan vuoden ajanjaksolta (pitoajalta).  
 Table 11. The real internal rates of return (before tax) of the fertilization investments financed with state forest improvement subsidies for time periods of eight years following fertilization.

Lannoituskäsitely Fertilization		Sisäinen korko, % Internal rate of return, %			
Urea Urea	PK-lannos PK fertilizer	Varttunut korpikuusikko Mature spruce swamp stand	Laina Loan	Nuori korpikuusikko Young spruce swamp stand	Laina Loan
kg/ha	kg/ha	Avustus Grant	Laina Loan	Avustus Grant	Laina Loan
0	200	25.4	54.3	22.4	48.0
100	200	13.4	29.1	15.2	33.0
200	200	8.3	18.0	1.7	3.2
0	400	20.1	43.2	7.5	16.3
100	400	8.9	19.4	Negatiivisia arvoja Negative values	
200	400	6.0	12.9	Negatiivisia arvoja Negative values	
0	600	10.1	22.0	Negatiivisia arvoja Negative values	

säiset korot kasvoivat 2,5–5,5 -kertaisiksi omarahoitukseen nähden. Otettaessa huomioon metsänparannuslainan korkokulujen verovähennyskelpoisuus, sisäiset korot ko- hoavat vielä veroasteesta riippuen 2–3 prosenttiyksikköä. Asian luonteesta johtuen samaan tulokseen on tultu aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Hämäläinen ja Laakkonen 1983).

Optimipitoajat sisäisen korkokannan mukaisissa laskelmissa vaihtelivat avustusta saatessa eri lannoitusvaihtoehdoissa seitsemästä yhteentoista vuoteen. Yksityistaloudellisen edun ja yhteiskunnan asettaman hakkuurajoituksen välillä ei siten yleensä ollut ristiriitaa. Samaan tulokseen tulivat Hämäläinen ja Laakkonen (1983) ojitettujen turvemaiden männiköiden lannoituksen suhteen.

Nettotulojen nykyarvot kasvoivat metsänparannusavustusta saatessa sekä varttuneessa että nuorena korpikuusikossa kaikilla diskonttauskoroilla lannoitusvaihtoehdosta riippuen 100–200 mk/ha (taulukko 12). Riippumattomuus korkokannasta johtuu tietenkin siitä, että avustus saadaan heti lannoitusajankohtana. Toteutettaessa lannoitukset metsänparannuslainalla nettotuottojen nykyarvot (ennen veroja) suurenevät sekä varttuneessa että nuorena kuusikossa omarahoitukseen nähden esimerkiksi 4 %:n laskentakorolla eri lannoitusvaihtoehdoissa 140–300 mk/ha ja 10 %:n korolla 180–440 mk/ha.



Kuva 6. Eri tavoin rahoitettujen kertaannoitusten reaaliset sisäiset korot kahdeksan vuoden ajanjaksolta lannoituksesta lukien. Metsänparannuslainan korkokulujen vähennyskelpoisuutta verotuksessa ei ole otettu huomioon (lisää sisäistä korkoa 2–3 %-yksikköä).

- a) varttunut korpikuusikko (Orivesi)
- b) nuori korpikuusikko (Kuhmalahti)

Figure 6. The real internal rates of return of differently financed fertilization investments eight years after fertilization. Tax-deductibility of the interest paid for the forest improvement loan has not been taken into consideration (it would increase internal rates by 2 to 3 %-units).

- a) mature spruce swamp stand (Orivesi)
- b) young spruce swamp stand (Kuhmalahti)

Metsänparannusrahoitus ei muuttanut omarahoituksella saatua lannoitusvaihtoehtojen edullisuusjärjestystä eikä niiden optimipitoaikoja. Metsänparannustuella, etenkin lainalla, rahoitettaessa lannoitushankkeet tu-

livat varttuneessa korpikuusikossa lähes poikkeuksetta erinomaisen edulliseksi, samoin kuin osa nuoren korpikuusikon lannoituksista. Metsänparannustuki paransi suhteellisesti eniten omarahoituksella heikoiten

kannattaneita lannoitusvaihtoehtoja. Tämä sinänsä selvä johtopäätös on voitu tehdä jo aikaisemminkin omarahoituksella eri tavoin kannattaviin lannoituskohteisiin nähden (vrt. Hämäläinen ja Laakkonen 1983).

Taulukko 12. Metsänparannusrahoituksella aikaansaadut reaaliset nettotuottojen nykyarvon lisäykset omarahoitukseen nähden 8 vuoden ajanjaksolta (pitoajalta).

Table 12. The increase in the real net present values obtained through the forest improvement financing compared with own financing for a time period of eight years following fertilization.

Lannoituskäsitely Fertilization		Nettotuottojen nykyarvon lisäys, mk/ha Increase in the net present value, FIM/ha							
		Laina — Loan				Avustus — Grant			
Urea Urea	PK-lannos PK fertilizer	Laskentakorkokanta, % Discounting rate, %							
kg/ha	kg/ha	0	2	3	4	5	7	9	≥0
0	200	103	122	131	140	147	162	175	109
100	200	125	158	173	186	200	223	245	135
200	200	147	193	214	233	252	286	316	161
0	400	136	175	193	209	225	254	280	148
100	400	158	210	234	256	277	315	350	174
200	400	180	245	275	303	329	377	420	200
0	600	169	227	254	279	302	346	384	169

## 11. KANTOHINTOJEN SUHDANNEVAIHTELUN VAIKUTUS LANNOITUSHANKKEEN KANNATTAVUUTEEN

Verraten korkean hintatason ajankohtaan osunut lannoitetun puuston realisointi lisäsi lannoituksen suhteellista kannattavuutta omarahoituksella ja metsänparannusavustusta saataessa keskisuhdanteeseen nähden keskimäärin 3—4 %-yksikköä ja metsänparannuslainarahoituksessa 6—8 %-yksikköä. Matalasuhdanteessa tapahtuva puuston realisointi laski omarahoituksella rahoitettujen lannoitusten edullisuutta noin 2 %-yksikköä, avustuksella rahoitettujen 2—3 %-yksikköä ja lainalla rahoitettujen lannoitusten edullisuutta 5—6 %-yksikköä. Lannoitusreaktion talteenotto korkeasuhdanteessa keskisuhdanteen sijasta kasvatti nettotuottojen nykyarvoa neljän prosentin laskentakorolla kahdeksan vuoden aikajänteellä lannoituskäsitelystä riippuen 150—300 mk/ha ja kahdentoista vuoden aikajänteellä 200—450 mk/ha. Realisoinnin tapahtuessa matalasuhdanteessa nettotuotot laskivat keskisuhdanteen vaihtoehtoon

toon verrattuna vastaavasti 100—150 mk/ha ja 150—200 mk/ha.

Metsänomistajan käyttäessä hankkeen edullisuuskriteerinä sisäistä korkoa hänen kannattaa korkeasuhdanteen sattuessa aikaistaa ilman valtion tukea rahoitettujen lannoitusten tuotoslisien hakkuita 1—2 vuodella. Selvässä matalasuhdanteessa vastaavaa realisointia kannattaa puolestaan lykätä, mikäli reaalisesti korkeammat hinnat ovat lähivuosina odotettavissa. Hintasuhdanteiden mahdollinen huomioon ottaminen hakkuupäätöksissä liittyy kuitenkin metsänomistajan koko talouteen. Siten hakkuupäätöksiin vaikuttavat usein muutkin tekijät kuin raaka-puun hintojen vaihtelut.

Metsänparannusavustusta saataessa tilanne on omarahoituksen kaltainen. Sen sijaan metsänparannuslainalla rahoitettaessa ei hakkuuta ole kannattavuuden mielessä yleensä edullista lykätä suhdannevaiheen vuoksi kah-

deksaa vuotta pidemmälle silloin kun metsänomistaja tavoittelee maksimaalista sisäistä korkoa. Niinkuin taulukoista 7 ja 9 näkyy, ei sisäinen korko tosin vakiokantohintaodotuksillakaan paljoa alene lannoituksen pitoajan kasvaessa. Kun vielä maksimaalisen sisäisen koron tavoittelun mielekkyys jää riippumaan mm. hakkuutulojen edelleen sijoituksen edullisuudesta, voidaan myös metsänparannuslainalla rahoitettujen lannoitusten kasvunli säys realisoida kannattavasti vielä vuosia pa-

kollisen kahdeksan vuoden pitoajan jälkeenkin. Käytettäessä edullisuuskriteerinä nettotuottojen nykyarvoa matalasuhdanteen ohimenoa kannattaa odottaa vieläkin suuremmalla syyllä kuin sisäistä korkokantaa maksimoitaessa. Tällöinhän nykyarvoja laskettaessa käytettävä yrittäjän laskentakorkokanta on yleensä selvästi matalampi kuin tämän tutkimuksen parhaiden lannoitusvaihtoehtojen sisäinen korko.

## 12. LANNOITUSMENON JA PUUSTOON SITOUTUNEEN PÄÄOMAN KOKONAISKANNATTAVUUS

Uudistuskypsää tai sitä lähenevää metsää lannoitettaessa on otettava huomioon, että samalla luovutaan vaihtoehtoisesti jo hakattavissa olevan puuston hakkuusta ja sidotaan se vielä useiksi vuosiksi puunkasvatuksen tuotannontekijäksi. Lannoituspäätöstä tällaisessa tilanteessa harkittaessa on tarpeen tietää, kuinka suuri suhteellinen kannattavuus (sisäinen korko) saadaan myöhemmäksi siirtävästä hakkuusta puuston hakkuuarvon ja maan arvon sekä lannoitusmenon muodostamalle yhdistetylle investoinnille (periaatteesta ks. enemmän Hämäläinen ja Laakkonen 1983). Oriveden korven tapaisissa varttuneissa puustoissa tällainen tarkastelu antaa päätöksentekijälle lisäinformaatiota. Mainitun Hämäläisen ja Laakkosen tutkimuksen tapaan tässäkin ei maan (diskonttaus) arvoa otettu huomioon, koska sen merkitys on varttuneen metsikön hakkuuarvoon verrattuna suhteellisen pieni. Joka tapauksessa tällainen ilman maan arvoa operoiva kannattavuuskalkyylikin antaa käsityksen siitä, missä määrin lannoituksella voidaan vaikuttaa varttuneen metsikön edelleen kasvattamisen suhteelliseen kannattavuuteen.

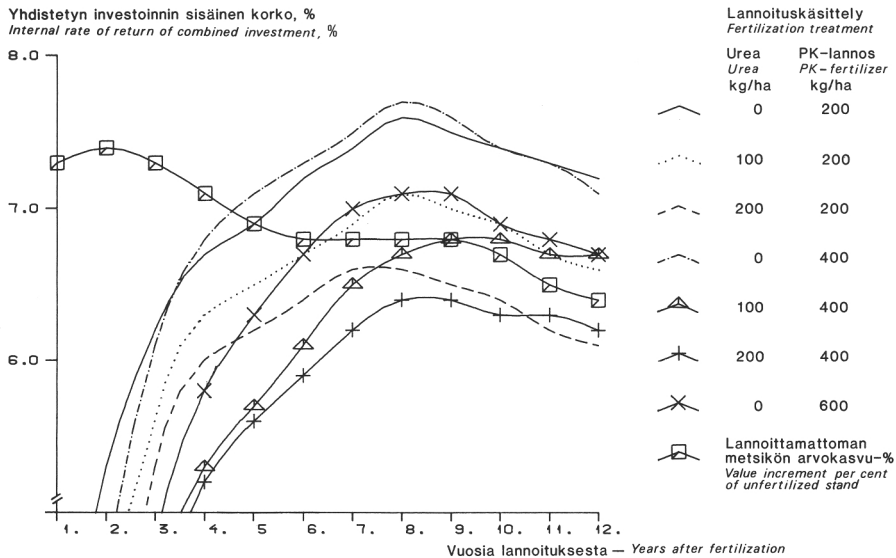
Tarkasteltaessa yhdistetyn investoinnin sisäistä korkoa eri pituisilta ajanjaksoilta lannoitusajankohdasta eteenpäin havaitaan, että se aluksi jää lannoittamattoman vertailumetsikön arvokasvusadanneksen alapuolelle ylittäen sen kuitenkin keskimäärin 5—8 vuoden pituisista ajanjaksoista alkaen. Tätä pidemmillä ajanjaksoilla eli pitoajoilla yhdistetyn investoinnin sisäiset korot ovat useimmissa lannoitusvaihtoehtoissa vertailumetsikön

vastaavan ajanjakson arvokasvuprosenttia suurempia eli lannoitus lisää metsikön kasvatuksen kannattavuutta (kuva 7). Suurimmillaan yhdistetyn investoinnin kannattavuus oli kahdeksan vuoden pituiselta jaksolta kaikissa lannoitusvaihtoehtoissa. Tuon jakson sisäiset korot eri lannoitusvaihtoehtoista rahoitusmuodoittain on esitetty taulukossa 13.

Erilliskannattavuuden tuloksiin verrattuna korkeimmat sisäiset korot ovat huomattavasti pienentyneet. Luonnollisena syynä on se, että puuston luontaiseen kasvukykyyn perustuva arvokasvu-% on tällöin paljon pienempi kuin lannoituksen erilliskannattavuutta osoittava sisäinen korko. Tämä vaikuttaa vielä erityisesti siksi, että puuston hakkuuarvo on etenkin varttuneessa metsikössä paljon suurempi kuin lannoitusmeno. Toisaalta matalimmat erilliskannattavuudelle saadut sisäiset korot ovat nousseet, mikä juuri osoittaa, että tällöin lannoittamattomien metsiköiden arvokasvu-%:t ovat korkeampia kuin lannoituksen erilliskannattavuutta osoittavat prosentit. Lannoituskäsittelyjen edullisuusjärjestys on kuitenkin säilynyt lähes samana, sillä vain lannoituskäsittelyt suometsien PK-lannosta 200 ja 400 kg/ha ovat vaihtaneet sijoitusta; suometsien PK-lannosta 400 kg/ha on nyt edullisin lannoitusvaihtoehto.

Yhdistetyn investoinnin sisäisten korkojen erot rahoitustapojen välillä ovat lannoituksen erilliskannattavuudessa ilmeneviin eroihin nähden pieniä (taulukko 13). Tämä johtuu siitä, että erityisesti varttuneessa metsikössä puuston hakkuuarvo on korkea suhteessa lannoitusmenoon, joten lannoituksen





Kuva 7. Ilman valtion metsänparannusrahoitusta toteutetun yhdistetyn investoinnin reaalin sisäinen korko lannoituksesta kuluneen ajan funktiona.  
Figure 7. The real internal rate of return of combined investment financed without state forest improvement subsidies as a function of time since fertilization (mature spruce swamp stand).

erilliskannattavuuden suhteellisen suuretkaan erot eivät voi kovin paljoa muuttaa po. yhdistetyn investoinnin kannattavuutta. Tutkimuksen korpikuusikoissa lannoitetun puuston hakkuuarvon ja lannoitusmenon summalle laskettu juokseva vuotuinen tuotto-% ja toisaalta pelkkä lannoitetun metsikön juokseva arvokasvu-% kehittyvät lannoituksesta kuluneen ajan funktiona seuraavasti (vaihtoehto 200 kg PK/ha):

Lannoituksesta vuotta	Yhdistetyn investoinnin juokseva vuotuinen tuotto-%				Lannoitetun metsikön juokseva vuotuinen arvokasvu-%	
	Kokonaan oma-rahoitus		Saadaan metsänparannusavustus		Nuori kuusikko	Varttunut kuusikko
	Nuori kuusikko	Varttunut kuusikko	Nuori kuusikko	Varttunut kuusikko		
1	19,6	7,5	20,1	7,6	21,2	7,9
2	20,7	6,8	21,1	6,9	22,1	7,1
3	16,8	7,8	17,1	7,9	17,7	8,1
4	15,2	8,0	15,4	8,1	15,9	8,3
5	12,1	7,4	12,2	7,5	12,6	7,6
6	14,4	8,2	14,6	8,3	14,9	8,4
7	13,9	8,7	14,1	8,8	14,4	9,0
8	14,1	8,4	14,2	8,5	14,5	8,6
9	10,3	6,6	10,4	6,7	10,6	6,8
10	10,2	7,0	10,3	7,0	10,4	7,1
11	9,9	6,1	10,0	6,1	10,1	6,2
12	8,3	5,3	8,4	5,3	8,5	5,4

Asetelman luvuista käy ilmi, että varttuneessakin korpikuusikossa sekä yhdistetyn

Taulukko 13. Lannoitusmenon ja puuston hakkuuarvon muodostaman yhdistetyn investoinnin reaalin sisäinen korko varttuneessa korpikuusikossa kahdeksan vuoden ajanjaksolta (pitoajalta).

Table 13. The real internal rate of return of the combined investment formed by fertilization costs and the felling value of the initial stand in the mature spruce swamp stand for a time period of eight years following fertilization.

Lannoituskäsitelly Fertilization		Kontrollikoealojen arvokasvuprosentti The value increment percent of control plots	Yhdistetyn investoinnin sisäinen korko, % The internal rate of return of the combined investment, %			
Urea kg/ha	PK-lannos PK fertilizer kg/ha		Rahoitustapa Financing alternative			
				Oma Own	Avustus Grant	Laina Loan
0	200	6.9	7.6	7.6	7.8	
100	200	6.9	7.1	7.3	7.4	
200	200	6.9	6.6	6.8	6.9	
0	400	6.9	7.7	7.9	8.0	
100	400	6.9	6.7	6.9	7.1	
200	400	6.9	6.4	6.7	6.9	
0	600	6.9	7.1	7.4	7.6	

investoinnin rajakannattavuus että arvokasvu-% ovat vielä kahdentenaosta vuotena lannoituksen jälkeen siksi korkeita, että metsänomistajat aivan yleisesti lykkäisivät päte-hakkuuta tuonemmaksi.

### 13. TULOSTEN TARKASTELUA

Orivedelle ja Kuhmalahdelle perustettujen kokeiden mittaustulokset osoittivat jo kuuden kasvukauden kuluttua, että lannoituksella voidaan lisätä ojitettujen korpikuusikoiden kasvua (Paavilainen 1975). Tämä käsitys vahvistui uusintamittauksessa 12 vuotta kokeiden perustamisen jälkeen.

Lannoituksen vaikutus puuston tilavuuskasvuun oli Oriveden varttuneessa kuusikossa huomattavasti suurempi kuin Kuhmalahden harvennusikäisessä kuusikossa, jossa taas puuston järeytyminen oli nopeampaa ja voimakkaampaa etenkin NPK-lannoitusta käytettäessä. Ensiksi mainitussa kokeessa suurin puuston tilavuuskasvun lisäys oli runsaat 18 m<sup>3</sup>/ha, jälkimmäisessä vain n. 5,5 m<sup>3</sup>/ha 12 vuodessa.

Pelkkä PK-lannoitus lisäsi Oriveden kokeessa selvästi puuston tilavuuskasvua, kun taas Kuhmalahdella kasvunlisäys jäi hyvin pieneksi ilman tyypeä. Myös neulasanalyysi osoitti fosforilannoituksen voimakkaan ja edelleen jatkuvan vaikutuksen Oriveden kokeessa sekä sen, että typen suhteellinen tarve fosforiin ja kaliumiin verrattuna oli Kuhmalahden kuusikossa suurempi kuin Orivedellä. Neulasten alhainen kaliumpitoisuus Orivedellä osoittaa puolestaan, että kaliumin määrän lisääminen fosforiin verrattuna kokeissa käytetystä saattaa olla perusteltua ojitettujen paksuturpeisten korprien lannoituksessa.

Kun lannoitusreaktioiden erot tutkittujen kokeiden välillä johtunevat ensi sijassa puuston kehitysvaiheesta, on varttuneita korpikuusikoita pidettävä odotettavissa olevan kasvunlisäyksen kannalta edullisempina lannoituskohteina kuin harvennusikäisiä kuusikoita. Jatkokutkimuksin tulisi selvittää, kuinka laajalti tämä johtopäätös pitää paikkansa.

Neulasten ravinnepitoisuuden ja puuston kehitysvaiheen välillä näytti vallitsevan riippuvuusuhde. Neulasistossa oli vanhassa kuusikossa suhteellisesti enemmän kuin nuoressa mm. kalsiumia, jota yleensä kertyy puissa vanhoihin neulasvuosikertoihin enemmän kuin nuoriin (ks. esim. Paavilainen 1980). Nuoressa kuusikon neulasistossa taas

oli enemmän mm. kaliumia ja magnesiumia, joiden pitoisuus on yleensä suurin nuorissa neulasissa. Tulosten perusteella näyttää siltä, että neulasanalyysia edelleen kehitettäessä ja selvitettäessä lannoitustarvetta osoittavia raja-arvoja tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota puuston kehitysvaiheeseen.

Oriveden varttuneessa korpikuusikossa lannoitus osoittautui ilman valtion tukeakin taloudellisesti varsin kannattavaksi toimenpiteeksi. Paras taloudellinen tulos saavutettiin annettaessa suometsien PK-lannosta 200—400 kg hehtaarille. Näille käsittelyille voidaan tämän tutkimuksen mukaan Etelä-Suomessa odottaa omarahoituksellakin 15—20 %:n reaalista sisäistä korkoa ja 1100 mk:n reaalista nettotuottojen nykyarvoa hehtaarilta 4 %:n diskonttauskorolla. NPK-lannoitusten kannattavuus jäi selvästi em. PK-lannoituksia pienemmäksi. Mustikkakorven ravinteisuustasolla tyyppi ei ole minimiravinne, joten PK-lannoitteen lisänä annettulla tyypellä ei saatu, ainakaan ensilannoituksena, kohoavia kustannuksia kattavaa tulonlisäystä.

Varttuneessa korpikuusikossa lannoituksen edullisuus näyttää olevan vastaavilla lannoitemäärillä samaa suuruusluokkaa kuin turvemaiden varttuneissa männiköissä (ks. Hämäläinen ja Laakkonen 1983). On kuitenkin otettava huomioon, että nyt tutkitussa korpikuusikossa paras kannattavuus saavutettiin pienemmällä lannoitemäärillä kuin mainitussa turvemaiden männiköiden lannoituskokeessa oli käytetty, ja että puuston kokonaistilavuus oli keskimäärin vain noin puolet kyseisen männikön tilavuudesta. Mikäli puustot eivät poikkeaisi oleellisesti toisistaan, niin korpikuusikon lannoitus antaisi todennäköisesti hieman rämemänniköitä paremman tuloksen. Keltikangas ja Seppälä (1973) ovat tosin todenneet turvemaiden PK-lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen olevan jokseenkin riippumaton puuston alkutilavuudesta sen ylittäessä 60—70 m<sup>3</sup>/ha; käsitellyssä korpikuusikossa puuston tilavuus oli lannoitushetkellä keskimäärin 62 m<sup>3</sup>/ha. Lisäksi puuston kokonaistilavuutta parem-

min kasvunlisäystä selittää lannoitusta edeltänyt kasvu (esim. Gustavsen ja Lipas 1975).

Nuorena korpikuusikossa vain neljä lannoituskäsittelyä seitsemästä antoi positiivisen taloudellisen tuloksen. Varttunut korpikuusikko onkin tämän tutkimuksen perusteella nuorta kuusikkoa edullisempi ja riskittömämpi lannoituskohde. Luontaisesti hyvä kasvukyky, jota lannoituksella pystyttiin lisäämään rajoitetusti, selittänee ainakin osaksi nuoren korpikuusikon ongelmallisuutta lannoituskohteena. Niinpä vain pienillä PK-lannoitteen määrillä sekä PK:n ja urean oikeasuhteisella sekoituksella päästiin hyvään tai tyydyttävään tulokseen. Selvästi edullisin lannoitusvaihtoehto nuoressakin korpikuusikossa oli suometsien PK-lannosta 200 kg hehtaarille, jolla saatiin 16 %:n reaalin sisäinen korko 8 vuoden jaksolta ja noin 500 mk:n nettotuottojen nykyarvo hehtaarilta 4 %:n laskentakorolla.

Valtion myöntämän metsänparannusrahoituksen avulla omarahoituksella vähintään tyydyttävästi kannattaneet lannoitushankkeetkin tulivat jopa erinomaisen edullisiksi. Metsänparannusavustus nosti esimerkiksi sisäisiä korkoja 3—6 %-yksikköä omarahoitukseen nähden ja metsänparannuslaina puo-

lestaan kasvatti reaaliset sisäiset korot 2,5—5,5-kertaisiksi. Lainarahoitus oli metsänomistajalle selvästi metsänparannusavustusta edullisempi rahoitustapa. Metsänparannuslainan paremmuus johtuu sekä edullisista lainaehdoista että inflaation sekä jossakin määrin verotuksen antamasta rahoitushyödyistä. Metsänparannusrahoitus paransi suhteellisesti eniten omarahoituksella heikoimmin kannattaneita lannoitusvaihtoehtoja.

Mikäli lannoitusta tarkastellaan yhdistetynä investointina, ts. lannoitusmenon lisäksi myös puustoon sitoutuva pääoma otetaan huomioon kustannuksena, kaventuvat erot eri vaihtoehtojen ja rahoitustapojen välillä. Syynä tähän on alkupuuston hakkuuarvon suuruus suhteessa lannoitusmenoon.

Varttuneessa korpikuusikossa yhdistetyn investoinnin sisäiset korot olivat lannoituskäsittelystä ja rahoitustavasta riippuen korkeimmillaan välillä 6—8 %. Yhdistetyn investoinnin sisäisellä korolla mitattu suhteellinen kannattavuus oli kuitenkin pääsääntöisesti lannoittamattoman metsikön arvokasvuprosenttia korkeampi, joten lannoitus lisäsi puuston edelleen kasvatuksen kannattavuutta.

## KIRJALLISUUS—REFERENCES

- Carbonnier, C. 1962. Några resultat av gödslingsförsök i rena tall- och granbestånd. Summary: Some results from fertilization experiments in pure Scots pine and Norway spruce stands. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift. Häfte 3.
- Gustavsen, H.G. & Lipas, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. *Folia For.* 246: 1—20.
- Heinonen, J. 1981. Koalojen peruslaskenta. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto. 38 s.
- Huusko, M. 1971. Lannoitteiden käsinlevitys. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Koeselostus.
- Hämäläinen, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: underlying models and empirical applications. *Commun. Inst. For. Fenn.* 90(3): 1—178.
- Hämäläinen, J. & Laakkonen, O. 1983. Turvemaan männiköiden lannoituksen edullisuus. Summary: Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peatland. *Folia For.* 570: 1—32.
- Keipi, K. 1972. Lannoituskustannusten ja tuottojen käsittely metsänlannoituksen kannattavuuslaskelmissa Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa. Summary: The concept of forest fertilization returns in Norway, Sweden and Finland. *Folia For.* 152: 1—38.
- Keipi, K. & Kekkonen, O. 1970. Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Seloste: Laskelmia metsänlannoituksen edullisuudesta. *Folia For.* 84: 1—23.
- Keipi, K. & Laakkonen, O. 1980. Päätehakkuikeiden metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja. Summary: Profitability comparisons of urea fertilization in old stands. *Folia For.* 420: 1—35.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1973. Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu. Summary: Variations in the profitability of forest fertilization. *Silva Fennica* 73: 192—235.
- Kuusela, K. 1966. A basal area-mean tree method in forest inventory. Seloste: Pohjapinta-alakeskipuumenetelmä metsäninvestoinnissa. *Commun. Inst. For. Fenn.* 61(2): 1—32.
- Möller, G. & Ekberg, A. 1972. Studier över hand- och traktorspridning vid praktisk skogsgödsling. Föreningen skogsträdsförädling institutet för Skogsförbättring. Årbok 1972.
- Paarlahti, K. & Ravela, H. 1974. Kuutiomäärän kasvun ja puutavaralajijakaantumien laskennan ATK-ohjelma. Moniste.
- Paavilainen, E. 1975. Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa. Summary: On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. *Folia For.* 239: 1—10.
- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub

pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvi-  
biomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla iso-  
varpulisella rämeellä. *Commun. Inst. For. Fenn.*  
98(5): 1—71.

Salonen, K. 1983. Metsänlannoitus. Teoksessa: *Tapion*  
*Taskukirja*. 19. uud. painos. Keskusmetsälautakunta  
Tapion julkaisuja. Helsinki.

Snedecor, G.W. 1962. *Statistical methods applied to*  
*experiments in agriculture and biology*. 5th ed.  
Ames, Iowa, The Iowa State University Press. 534 s.

*Tapion Vuosikirja 1982* (Tapio's yearbook 1982). Kes-  
kusmetsälautakunta Tapio. Helsinki. 139 s.

*Total of 18 references*

## SUMMARY

The effect and profitability of fertilization in two spruce swamps in southern Finland, one situated in Orivesi and the other in Kuhmalahti, were examined in the study.

The peatland type in both fertilization experiments was primarily *Vaccinium myrtillus* spruce swamp. PK fertilizer was applied either alone or together with urea. The effect of fertilization on the volume growth of the stand was determined using covariance analysis.

Fertilization continued to exert an effect on volume growth throughout the course of the measurement period (12 years) in the spruce stand approaching the regeneration stage in Orivesi. Although PK fertilization alone increased tree growth, the best growth response was obtained with a combination of 400 kg PK/ha and 100 kg urea/ha.

Fertilization had only a small effect on the volume growth of the spruce stand at the thinning stage in Kuhmalahti, although the dimensions of the stand increased more strongly and more rapidly than in the stand in Orivesi. The best growth response was obtained with a combination of 400 kg PK/ha and 200 kg urea/ha.

Foliar analysis indicated that phosphorus fertilization had a strong effect, which was still continuing, in the experiment at Orivesi, and that the relative need for nitrogen compared to that for phosphorus and potassium was greater in the spruce stand in Kuhmalahti than in Orivesi. The low foliar potassium content in Orivesi shows that increasing the amount of potassium in comparison to the amount of phosphorus used in the experiments may be justified in the fertilization of drained spruce swamps with a thick peat layer.

Chapters 6 to 12 concern the profitability of fertilization. The returns from the fertilization investments (Fig. 4) were calculated as the difference between the felling values of the fertilized stands and the control stand. The felling values were estimated using covariance-corrected figures for the total volume, the timber assortment distribution and the mean size of saw-timber trees. The prices for felling year 1982/83, estimated from the long-term trends (1949/50—1982/83), were used as stumpage prices. The fertilization returns of the mature stands were mainly derived from the increased volume, and in the young stands from the increased amount of saw-timber. The costs of the fertilization were composed of fertilizer costs, transportation costs, spreading costs and planning and supervision costs (Table 6). The real internal rate of return and the real net present value were used as the profitability criteria.

The profitability of fertilization was very high in those mature spruce swamp stands that received 200 or 400 kg/ha of PK fertilizer. The highest real internal rate of return for the former was about 19 per cent and for the latter about 15 per cent (Table 7). The net present value at the four per cent calculative rate of interest was

in both cases about FIM 1100/ha (Table 8). The other fertilization treatments in the mature stands also gave at least results which were satisfactory. According to this study, the profitability of fertilization in the mature stands decreased when the amount of PK fertilizer was increased above 400 kg/ha and also when the amount of urea in NPK fertilizer was increased from 100 to 200 kg/ha. On the average, pure PK fertilization was noticeably more profitable than NPK fertilization.

The profitability of fertilization varied considerably in the young spruce swamp stands at Kuhmalahti. Three of the seven fertilization treatments were totally unprofitable (Tables 9 and 10). On the other hand, the best fertilization alternative (PK fertilizer 200 kg/ha) gave almost the same profitability as in the mature stands. The net present value of the young stands was much lower than that of the mature stands due to the smaller total volume and the different timber assortment distributions. Fertilization of the young spruce swamp stands gave the best economic results when 200—400 kg/ha of PK fertilizer was used, or when the amount of urea in NPK fertilizer was half the amount of PK.

In the profitability calculations outlined above, the forest owner paid all the fertilization costs. The effect of state forest improvement subsidies on profitability was also considered. A forest owner can apply for a forest improvement grant or a forest improvement loan. The former covers 15 per cent of the total fertilization costs and the latter is a five per cent (nominal) rate loan with an eight-year pay-back period covering all costs (yearly inflation was assumed to be 7 %). The planning and supervision costs in both alternatives are paid by the government. Both forms of state forest improvement subsidy clearly increased the profitability. The real internal rates of returns were 2.5—5.5 times greater with the forest improvement loan (before-tax) than with own financing. The forest improvement grant raised the profitability much less, (3—6 %-units) (Table 11). The net present values were FIM 100—400/ha greater with a forest improvement loan than with own financing. The forest improvement grant raised the net present values by FIM 100—200/ha (Table 12). The forest improvement loan was thus a more profitable financing alternative than the forest improvement grant.

The fact that the already realizable capital is fixed for several years to the factor of timber growing should be taken into account when mature timber stands are fertilized. This is the reason why it is necessary to know how delayed cuttings affect the profitability of the combined investment of the felling value of the initial growing stock and the fertilization costs (the discounting value of the forest land is rather low). Compared with the separate investment (i.e. the fertilization costs only) the real internal rates of return were much lower and also the differences between financing alternatives became smaller (Table 13).



Liite 1. Kuusen vuotuiset tilavuuskasvumallit.  
Appendix. The annual increment models for spruce.

Vuosi Year	Vakio Constant	Kertoimien parametrit — Coefficient parameters									
		$X_1$	$X_2$	0	1	2	Lannoitus <sup>1)</sup> —Fertilization <sup>1)</sup> $X_L$				
							3	4	5	6	7
ORIVESI											
1969	-0,197	0,897	0,008	-0,32	0,00	-0,04	0,00	-0,04	+0,22	+0,02	+0,20
1970	-0,824	0,964	0,004	-0,51	-0,44	-0,10	+0,10	-0,05	+0,24	+0,05	+0,73
1971	-0,136	1,137	0,016	-1,03	-0,33	-0,30	-0,01	+0,14	+0,39	+0,21	+0,95
1972	0,502	1,099	0,026	-1,00	0,00	-0,17	+0,03	+0,23	+0,51	+0,21	+0,18
1973	1,112	0,892	0,043	-0,99	+0,02	-0,29	-0,20	+0,29	+0,51	+0,15	+0,54
1974	0,759	1,072	0,036	-1,14	+0,19	-0,30	-0,04	+0,46	+0,39	-0,05	+0,53
1975	1,527	1,155	0,053	-1,19	+0,30	-0,36	-0,76	+0,94	+0,96	+0,01	+0,07
1976	1,211	1,187	0,050	-1,04	+0,41	-0,18	-0,66	+0,72	+1,08	+0,12	-0,49
1977	1,183	1,013	0,043	-0,86	+0,31	-0,13	-0,68	+0,63	+1,08	+0,22	-0,60
1978	0,332	0,937	0,039	-0,72	+0,34	-0,30	-0,46	+0,58	+0,82	+0,29	-0,53
1979	0,132	0,913	0,038	-0,84	+0,31	-0,38	-0,53	+0,40	+1,03	+0,37	-0,35
1980	0,344	1,048	0,025	-0,77	+0,08	-0,07	-0,56	+0,38	+1,14	+0,18	-0,41
KUHMALAHTI											
1969	3,721	1,067	0,061	-0,79	+0,74	+0,55	+0,34	+0,36	-0,47	-0,36	-0,34
1970	3,444	1,199	0,065	+0,05	+0,05	+0,41	+0,45	-0,79	+0,02	+0,75	-0,95
1971	4,400	1,089	0,088	-1,30	+0,24	+0,45	+0,99	+0,25	-0,36	+0,48	-0,73
1972	3,863	1,112	0,086	-0,26	-0,26	+0,58	+0,44	-0,49	-0,06	+0,98	-0,90
1973	5,123	0,924	0,103	-0,20	-0,14	+0,37	+0,13	-0,29	-0,18	+0,92	-0,58
1974	4,057	1,173	0,097	-0,07	-0,36	+0,60	-0,27	-0,02	-0,23	+0,84	-0,51
1975	0,968	1,145	0,066	+0,49	-0,03	+0,50	-0,63	-0,70	+0,49	+0,19	-0,29
1976	1,091	1,247	0,075	+0,62	+0,05	+0,36	-0,55	-0,76	+0,63	-0,04	-0,30
1977	0,737	1,004	0,068	+0,67	+0,02	+0,31	-0,43	-0,58	+0,54	-0,04	-0,47
1978	2,447	0,906	0,100	+0,43	-0,02	+0,33	-0,67	-0,02	+0,72	-0,30	-0,48
1979	2,266	0,862	0,102	+0,47	+0,13	+0,48	-0,57	-0,31	+0,70	-0,32	-0,56
1980	4,135	0,949	0,120	+0,74	+0,32	+0,23	-0,41	-0,64	+0,65	-0,37	-0,50

1)

	Urea	PK	Urea	PK
0	0	0	4	0
1	0	200	5	100
2	100	200	6	200
3	200	200	7	0
				600





# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema  
*Punkaharju Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema  
*Ojajoki Experimental Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* Valtakatu 18  
69100 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema  
*Ruotsinkylä Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420



- No 604 Pelkonen, Paavo: Temperature response of electrical impedance in poplar cuttings: A preliminary concept. Poppelipistokkaiden impedanssin riippuvuus lämpötilasta: Alustava malli.
- No 605 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1982—84. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1982—84.
- No 606 Arbetsorganisation i skogsbruket. Slutrapport för ett projekt vid Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd under perioden 1981—1983. The organization of work in forestry. Metsätalouden työorganisaatio.
- No 607 Jokinen, Katriina: Männyn tyvitervastaudin leviäminen ja torjunta harmaaorvakalla (*Phlebiopsis gigantea*) männyn taimikoiden harvennuksessa. The spread of *Heterobasidion annosum* and its control using *Phlebiopsis gigantea* during thinnings in the young stands of Scots pine.
- No 608 Savonen, Eira-Maija & Lähde, Erkki: Paakun taimimäärän vaikutus männyntaimien kehitykseen. Effects of seedling density on the development of containerised Scots pine seedlings.
- No 609 Lehto, Tarja: Kalkituksen vaikutus männyn mykorritsoihin. The effects of liming on the mycorrhizae of Scots pine.
- No 610 Repo, Tapani, Mela, Martti & Valtanen, Jukka: Männynversosyövälle alttiiden ja vastustuskykyisten taimialkuperien erottaminen neulasten ominaisimpedanssin mittauksella. Separation of susceptible and resistant provenances of Scots pine to *Gremmeniella abietina* by specific needle impedance.

## 1985

- No 611 Raitio, Hannu: Yksivuotiaiden avomaalla kasvatettujen paljasjuuristen männyntaimien kasvuhäiriön oireet ja esiintyminen. Symptoms and occurrence of a growth disturbance in one-year-old, bare-rooted Scots pine seedlings raised in the open.
- No 612 Långström, Bo: Tukkimiehintäin aiheuttamat tuhot Suomessa vuosina 1970—1971. Yhteispohjoismaisen tutkimuksen Suomea koskevat tulokset. Damage caused by *Hylobius abietis* in Finland in the years 1970—1971. Results from the Finnish part of a joint Nordic study.
- No 613 Ferm, Ari & Markkola, Annamari: Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season.
- No 614 Hytönen, Jyrki: Teollisuuslietteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos. Leafless above-ground biomass production of *Salix 'Aquatica'* fertilized with industrial sludge.
- No 615 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th National Forest Inventory.
- No 616 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen, ilman lämpösumman ja eräiden kasvualustan ominaisuuksien vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun turvemilla. Effect of fertilization, temperature sum and some peat properties on the height growth of young pine sapling stands on peatlands.
- No 617 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan sekä Kainuun suometsät vuosina 1951—1983. Peatland forests in Keski-Pohjanmaa, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1951—1983.
- No 618 Lipas, Erkki: Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties.
- No 619 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemilla. Preliminary results from high efficiency forest regeneration experiments on peatlands.
- No 620 Metsätalastollinen vuosikirja 1984. Yearbook of Forest Statistics, 1984.
- No 621 Salo, Kauko: Luonnonmarjojen ja sienten poiminta Suomussalmella ja eräissä Pohjois-Karjalan kunnissa. Wild-berry and edible-mushroom picking in Suomussalmi and in some North Karelian communes, Eastern Finland.
- No 622 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkien, lehtipuutukkien, mäntypylväiden ja ratapölkkyaihoiden mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista. Skogsforskningsinstitutets beslut gällande enhetsvolymtal för användning vid mätning av barrtimmer, lövtimmer, tallstolpar och sliperstimmer.
- No 623 Härmäläinen, Jouko, Paavilainen, Eero, Salminen, Olli & Heinonen, Riitta: Tuloksia ojittettujen korpikuusi-koiden lannoituksesta. The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce swamp stands.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341

ISBN 951-40-0703-4  
ISSN 0015-5543