



FOLIA FORESTALIA

740

Jouko Hämäläinen, Olavi Laakkonen & Mikko Kukkola

TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS KANGASMAILLA

Profitability of repeated fertilization on mineral soils

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja 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 kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen 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 ten 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 740

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1989

Jouko Hämäläinen, Olavi Laakkonen & Mikko Kukkola

TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS KANGASMAILLA

Profitability of repeated fertilization on mineral soils

Approved on 9.10.1989

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA -MENETELMÄ	3
21. Tutkimustehtävä	3
22. Menetelmä	3
23. Menetelmään liittyvät oletukset	4
3. KASVUNLISÄYS	4
31. Koeaineisto	4
32. Lannoitukset ja harvennukset	5
33. Metsikkötunnusten ja kasvunlisäysten laskenta	7
4. KANTOHINNAT JA LANNOITUSKUSTANNUKSET	8
41. Kantohinnat	8
42. Lannoituskustannukset	9
421. Lannoitekustannukset	9
422. Muut lannoituskustannukset	9
5. LANNOITUSTEN TUOTOT	9
6. TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS	10
61. Laskentakaava	10
62. Rahoitusvaihtoehdot	11
63. Kannattavuus	12
631. Omarahoitus	12
632. Metsänparannusavustus	13
633. Metsänparannuslaina	14
7. YHTEENVETO	15
KIRJALLISUUS — REFERENCES	16
SUMMARY	17
LIITTEET — APPENDICES	18

HÄMÄLÄINEN, J., LAAKKONEN, O. & KUKKOLA, M. 1989. Toistuvan lannoituksen kannattavuus kangasmailla. Summary: Profitability of repeated fertilization on mineral soils. *Folia Forestalia* 740. 20 p.

Tutkimuksessa selvitettiin toistuvan lannoituksen kannattavuutta Etelä-Suomen kangasmaiden männiköissä ja kuusikoissa. Lannoituksia aloitettaessa nuorimmat puustot olivat noin 20-vuotiaita ja vanhimmat yli 100-vuotiaita. Tutkimuksen tarkasteluajanjakso oli keskimäärin 17 vuotta ensimmäisestä lannoituksesta lukien. Lannoitukset toistettiin keskimäärin noin viiden vuoden välein. Kannattavuus määritettiin käyttäen sisäisen korkokannan menetelmää; kriteerinä oli siis reaalin sisäinen korko.

Lannoituksen tuotosvaikutus laskettiin lannoituskokeiden ja niiden pohjalta laadittujen mallien avulla. Tuotoiksi katsottiin lannoitetun ja lannoittamattoman puuston hakkuuarvojen erotus tutkimusjakson lopussa sekä ao. puustojen harvennuspoistumien erotus jakson aikana aikatekijä huomioonottaen. Puuston hinnoittelussa käytettiin hakkuuvuosien 1978/79—1986/87 reaalisten kantohintojen perusteella hakkuuvuodelle 1986/87 laskettuja trendihintoja. Kustannuksina otettiin huomioon lannoite-, suunnittelu- ja työnjohto- sekä kuljetus- ja levityskustannukset.

Laskelmissa tarkasteltiin paitsi kokonaan omarahoitteen lannoitusinvestoinnin kannattavuutta, myös metsänparannusrahoituksen ja verotuksen vaikutusta kannattavuuteen. Tulokset osoittivat, että toistuva lannoitus on lähes poikkeuksetta kannattava toimenpide kaikilla rahoitusmuodoilla. Kokonaan omarahoituksella lannoitettaessa saatiin männiköissä 7,3 %:n reaalin sisäinen korko ja kuusikoissa vastaavasti 4,6 %:n korko (kuusikkoaineistoa ei ollut kannattavuuden kannalta ilmeisesti parhaista ikäluokista 40—59 ja 60—79 vuotia). Eri perustein voidaan arvioida, että jos lannoitukset ja harvennukset olisi suoritettu nykysuosituksen mukaisina, niin sisäiset korot olisivat olleet huomattavasti korkeammat.

Keywords: fertilization, nitrogen, profitability, mineral soils, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*.
ODC 651.79 + 237.4 + 114.36

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

The profitability of repeated fertilization in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands was examined based on experimental plots and on the models which were also based on those plots. The plots were located on mineral soils in southern Finland and thus the results also apply for the same geographical area and soils.

The output of repeated fertilization was considered as the differences between the stumpage price values of fertilized and unfertilized experimental plots and the corresponding difference of the timber harvested during the investigated period. The stumpage prices were calculated from linear price models describing the development of annual stumpage prices in southern Finland during the period 1978—1987.

The costs of fertilization were calculated by summing up the cost of fertilizer, planning and supervising, transportation and spreading.

The profitability of repeated fertilization was measured by the real internal interest. The influence of state support in the form of straight subsidies and low interest loans, as well as the influence of taxation upon profitability were studied. The results proved that repeated fertilization is a profitable investment regardless of how it is financed.

ISBN 951-40-1076-0
ISSN 0015-5543

Helsinki 1989. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Kertalannoituksesta saatuja tuloksia ei sellaisinaan voida käyttää arvioitaessa toistuvan lannoituksen edullisuutta. Eri lannoituskertojen välillä on aivan ilmeisesti keskinäistä biologista ja tuotosopillista riippuvuutta, mikä heijastuu myös lannoittelajien ja -määrien valintaan ja siten lannoituskustannuksiin. Näin ollen myös edullisuuslaskelmien kannalta relevantti aikaperiodi voi saada toistuvan lannoituksen ja kertalannoituksen tapauksissa eri ratkaisun.

Tutkimuksen koeaineiston pohjalta on puuntuotoksen tutkimussuunnalla aiemmin julkaistu toistuvan lannoituksen aiheuttamaa kasvunlisäystä käsittelevä tutkimus (Kukkola ja Saramäki 1983). Tuo tutkimus nojautuu Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1955—65 perustamiin koelohiin, niin kuin tässä käsillä oleva tutkimuskin. Kysymys on siis viimekädessä Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston, puun-

tuotoksen tutkimussuunnan ja liiketaloudellisen metsäekonomin tutkimussuunnan yhteistutkimuksesta. Tässä esitetään lähinnä sen liiketaloudellisia tuloksia.

Tämän osatutkimuksen tutkimussuunnittelusta vastaavat Jouko Hämäläinen ja Olavi Laakkonen. Tutkimuksen pohjana olevat tuotostiedot perustuvat pääosin edellä mainittuun Mikko Kukkolan ja Jussi Saramäen tutkimukseen (1983). Mikko Kukkola on käsillä olevaa tutkimusta varten laatinut ekonomisen tarkastelun edellyttämät puuston rakennetta ja järeyttä kuvaavat mallit sekä osallistunut tämän tutkimuksen vaatimiin tuotostietojen lisälaskelmiin. Alustavan käsikirjoituksen on laatinut Olavi Laakkonen. Jouko Hämäläinen on muokannut käsikirjoituksen lopulliseen muotoonsa. Tietojenkäsittelyn toteutuksesta ovat eri vaiheissa vastanneet Heikki Männikkö, Jukka Markkanen ja Ilpo Mäkinen. Professorit Matti Keltikangas ja Eino Mälkönen ovat tarkastaneet käsikirjoituksen painatuskelpoisuuden ja tehneet varteen otettuja huomautuksia. Kirjoittajat esittävät heille ja muille käsikirjoituksen tutustuneille sekä tutkimusta eri vaiheissa edistäneille henkilöille parhaat kiitokset.

2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA -MENETELMÄ

21. Tutkimustehtävä

Tutkimuksen tehtävänä on selvittää toistuvan lannoituksen liiketaloudellista edullisuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

Aiempien kertalannoituskokeisiin perustuvien tutkimusten perusteella voidaan olettaa toistuvan lannoituksen edullisuuden riippuvan:

- 1) lannoitettavan metsän ominaisuuksista, kuten kasvupaikkatyypistä, puulajista, puuston iästä ja määrästä,
- 2) lannoitukseen liittyvistä tekijöistä, kuten lannoittelajista, lannoitemäärästä, lannoitusten aikavälistä ja lannoituskertojen lukumäärästä,
- 3) metsä- ja muun talouden tekijöiden tilasta, kuten raakapuun hintatasosta ja -suhteista, lannoitteiden ja työn hintatason sekä tuottavuuden kehityksestä.

Pääasiassa edellä mainitut tekijät vaikuttavat siihen, millaisten luokkien puitteissa toistuvien lannoitusten edullisuutta lasketaan ja millaisia arvoja laskentamallien eri tekijät saavat kulloisissakin laskentatilanteissa.

22. Menetelmä

Toistuvan lannoituksen liiketaloudellista edullisuutta tutkitaan tässä lannoituskohteen erilliskannattavuutena. Kysymyksessä on näin ollen yleensä yhden metsikön erilliskannattavuus. Tällöin selvitetään, millaisia taloudellisia erillisvaikutuksia toistuvilla lannoituksilla on tuon metsätalouden peruskäsittely-yksikön tasolla. Näin menetellään, vaikka metsätalouden harjoittajan olisikin periaatteessa arvioitava kaikkia toimenpiteitään koko metsälön ja viime kädessä koko yrityksen puitteissa. Kuitenkin metsiköittäiset edullisuuslaskelmat antavat mm. lukuisille metsätalouden päätöksentekijöille ja heidän avustajilleen hyödyllistä tietoa siitä, miten lannoitusmenot ja niillä aikaansaavat uudet rahalliset arvot suhtautuvat toisiinsa; pystytäänkö siis ja missä määrin tuottamaan lannoittamalla uusia (netto)arvoja.

Edullisuuden kriteerinä käytetään tässä tutkimuksessa lannoitusinvestointisarjan tuottamaa reaalia sisäistä korkoa. Sisäisen korkokannan menetelmällä saatetaan erilaisten metsiköiden toistuvien lannoitusten edullisuudet tietyillä edellytyksillä vertailukelpoisiksi toisaalta keskenään ja toisaalta metsänomistajalle tarjolla olevien muiden investointikohteiden kanssa. Tällaisia vaihtoehtoisia investointikohteita voivat olla esim. pankkitalletukset, obligaatiot, debentuurit, osakkeet ja optiot. Menetelmän käyttöön liittyy oletuksia, jotka on otettava huomioon tulosten tulkinnessa (ks. luku 23.).

Kunkin koealaluokan (puulaji, ikäluokka, lannoitus-kertojen lukumäärä) sisäiset korot laskettiin ko. luokkaan kuuluvien koealojen sisäisten korkojen keskiarvoina. Kunkin koealan sisäinen korko laskettiin koealan tulosarjan eli mahdollisten harvennustulujen ja tutkimusjakson loppuun mennessä lannoituksella aikaansaadun hakkuuarvon lisäyksen sekä menosarjan eli lannoitusmenojen perusteella. Laskentamenettely esitetään kaavan muodossa luvussa 61.

23. Menetelmään liittyvät oletukset

Sisäisen korkokannan käyttö toistuvan lannoituksen edullisuuslaskennassa ei ole ongelmantona, vaan saatujen tulosten tulkinnassa on otettava huomioon joukko oletuksia (ks. tarkemmin Hämäläinen 1973, s. 51—54, ja siinä viitattu kirjallisuus). Tällaisia ovat:

- 1) investointikohteille on pystyttävä kohdentamaan niiden erilliset tulo- ja menovirrat,
- 2) erisuuruisten alkuinvestointien erotusinvestoinnit ja investointikohteiden vuosittaiset alijäämät on pystyttävä kunakin vuotena rahoittamaan ja vastaavat ylijäämät sijoittamaan saadun sisäisen koron osoittamaan korkokantaan. Metsänomistajan on siis voitava periaatteessa rajoituksetta saada ja sijoittaa varoja em. laskentakorkokantaan.

Näillä oletuksilla pyritään keskenään vertailtavat investointiprojektit itsenäistämään eli eliminoimaan seuraavien tekijöiden vaikutukset:

- 1) vertailtavien lannoitusvaihtoehtojen erisuuret alkusijoitukset,
- 2) vaihtoehtojen erisuuret vuotuiset maksuvirrat,
- 3) vaihtoehtojen eripituiset pitoajat (tutkimusjaksot).

3. KASVUNLISÄYS

31. Koeaineisto

Koeaineisto, joka koostuu Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1955—1965 perustamista kangasmetsien lannoituskokeista, on sama kuin Kukkolan ja Saramäen (1983) toistuvalla lannoituksella saatavaa kasvunlisäystä koskevassa tutkimuksessa. Toistuvien lannoitusten kannattavuutta tutkittaessa Pohjois-Suomen osaineisto jätettiin pois sen pienuuden ja yksipuolisuuden takia. Sen lisäksi Etelä-Suomen aineistosta poistettiin mäntykoe 158 ja kuusikoe 95 viimeisten lannoituksen jälkeisten mittaustulosten puuttumisen takia. Aineistossa ei ollut yhtään ikäluokkaan 60—79 v. kuuluvaa kuusikoetta. Sen lisäksi Etelä-Suomen kuusiaineistosta poistettiin ikäluokka 40—59 v. Siihen kuuluvat 3 koetta (111, 130 ja 153) sijaitsivat yksinomaan rehevällä kasvualustalla, OMT ja OMaT. Todettakoon kuitenkin, että reaalin sisäinen korko tuli jokaisella noista kokeista negatiiviseksi. Muiden ikäluokkien kuusikokeilla metsätyyppi vaihteli välillä VT-OMaT.

Kuusella aineisto koostui näin ollen kahdesta osasta: nuoresta ja hakkuukypsästä puustosta. Kuusen aineistoa pienensi edelleen kalkittujen koealojen poisjättäminen. Näin meneteltiin siksi, että kalkituksen on havaittu

kivennäismailla erityisesti kuusella hidastavan kasvua (Kukkola ja Saramäki 1983, Derome ym. 1986).

Taulukossa 1 on esitetty keskeisiä puustotunnuksia ikäluokittain kokeiden perustamishetkellä. Lannoittamattomien koealojen (0-koealat) aineistoon yhdistettiin sellaisen lannoituskäsittelyn saaneet koealat, joissa tuon käsittelyn ei todettu vaikuttaneen tilastollisesti merkitsevästi kasvuun. Jatkossa näitä koealoja yhdessä lannoittamattomien koealojen kanssa kutsutaan vertailukoealoiksi. Koealojen kahteen pääryhmään tuli siten seuraavanlaisen käsittelyn saaneita koealoja:

Mänty:

Vertailukoealat	0, Ca, CaP, CaK, CaPK, P, PK, K
Typpilannoitetut koealat	N, CaN, CaNP, CaNK, CaNPK, NP, NPK, NK

Kuusi:

Vertailukoealat	0, P, PK, K
Typpilannoitetut koealat	N, NP, NPK, NK

Kokeiden alkuvaiheessa käytettiin lannoitteita, joita ei enää sittemmin ollut kaupan. Ne korvattiin lannoitekustannuksen laskemista varten lähes vastaavilla nykylannoitteilla tai niiden seoksilla. Siten ammoniumsulfaatti

Taulukko 1. Eräiden keskeisten puustotunnusten keskiarvot ikäluokittain lannoittamattomilla ja lannoitetuilla koealoilla kokeiden perustamishetkellä. Suluissa puustotunnusten keskihajonnat. (0=lannoittamaton, L=lannoitettu).

Table 1. The mean values of some important stand variables in different age groups in control plots and in fertilized plots at the time the experiments were established. Standard deviations of the characteristics are given in parentheses. (0=control plot, L=fertilized plot).

Puustotunnus Stand variable	20—39		40—59		MÄNTY — PINE				≥ 100		Kaikki — All	
	0	L	0	L	60—79		80—99		0	L	0	L
Runkoluku, kpl/ha	1797	1768	860	882	721	711	424	375	350	332	1182	1173
Stems/ha	(624)	(582)	(409)	(399)	(216)	(245)	(149)	(98)	(102)	(95)	(751)	(732)
Tilavuus, m ³ /ha	39,2	36,8	110,2	109,7	132,0	120,9	136,1	115,5	106,9	98,9	83,1	77,0
Volume, m ³ /ha	(21,6)	(20,1)	(53,0)	(51,8)	(71,6)	(53,3)	(33,9)	(20,6)	(26,5)	(24,2)	(59,0)	(52,0)
Tukki-%	0,9	1,0	42,2	38,2	43,1	42,3	74,1	73,4	74,8	73,0	29,0	27,5
Percentage of sawtimber	(2,3)	(3,0)	(22,6)	(24,2)	(28,0)	(26,3)	(14,5)	(13,9)	(13,4)	(11,8)	(32,6)	(31,7)
Kuitu-%	70,2	68,3	51,5	53,7	55,0	55,8	25,2	25,9	24,5	26,3	56,1	56,3
Percentage of pulpwood	(24,4)	(24,2)	(15,3)	(17,0)	(26,7)	(25,1)	(14,3)	(13,7)	(13,1)	(11,5)	(27,1)	(26,2)
Koealoja No of plots	63	66	25	24	25	27	10	9	14	15	137	141

Puustotunnus Stand variable	20—39		40—59		KUUSI — SPRUCE				≥ 100		Kaikki — All	
	0	L	0	L	60—79		80—99		0	L	0	L
Runkoluku, kpl/ha	1921	1790	..	..	..	..	624	655	459	434	1543	1431
Stems/ha	(693)	(518)	..	..	..	..	(293)	(297)	(164)	(173)	(862)	(726)
Tilavuus, m ³ /ha	43,9	36,4	..	..	..	..	111,3	118,4	162,6	146,9	68,3	63,9
Volume, m ³ /ha	(51,1)	(45,0)	..	..	..	..	(27,3)	(14,5)	(27,6)	(11,7)	(61,7)	(58,1)
Tukki-%	1,9	1,2	..	..	..	..	46,1	46,8	70,7	71,6	17,0	17,5
Percentage of sawtimber	(5,7)	(4,3)	..	..	..	..	(23,7)	(21,6)	(20,1)	(15,6)	(28,0)	(28,4)
Kuitu-%	49,1	44,2	..	..	..	..	52,2	51,7	28,6	27,7	47,3	43,6
Percentage of pulpwood	(35,6)	(39,3)	..	..	..	..	(22,8)	(20,7)	(19,7)	(15,2)	(32,6)	(34,7)
Koealoja No of plots	26	24	..	..	..	..	6	6	4	4	36	34

korvattiin ekvivalentilla määrällä oulunsalpietaria, kotkafosfaatti vastaavasti superfosfaatin ja raakafosfaatin seoksella ja hienofosfaatti raakafosfaatilla (ks. lähemmin luku 421.).

32. Lannoitukset ja harvennukset

Alkuvaiheessa kokeilla käytettiin typpilannoitteena ammoniumsulfaattia. 1960-luvulla alettiin käyttää sen sijasta ureaa, koska silloin yleistyi käsitys urean soveltuvuudesta metsänlannoitukseen. Urealannoituksista saadut huonot kokemukset (esim. Viro 1972, Malm ja Möller 1974) vaikuttivat kuitenkin siihen, että kokeilla siirryttiin käyttämään oulunsalpietaria. Lannoitteet on levitetty kokeille keväällä tai alkukesästä, mikä lienee osaltaan heikentänyt urealannoituksilla saatua kasvunlisäyksiä (Möller 1981, Lipas 1988). Tutkimusaineisto edustaa siten toistuvia lannoituksia, joissa lannoitelajeina on

käytetty ammoniumsulfaattia, ureaa ja oulunsalpietaria.

Tutkimusjakson alussa monilla kokeilla uusintalannoitus suoritettiin lyhyemmin aikavälein kuin sen loppupuolella. Tutkimusjaksoilla tarkoitetaan tässä aikaa lannoituskokkeen perustamishetkestä viimeisen lannoituskerran jälkeisen yhdeksännen vuoden loppuun. Lainojen pitkistä takaisinmaksuajoista ja myös lähes yhtä pitkistä keskimääräisestä lannoituksen vaikutusajasta johtuen tutkimusjakso ulotettiin nimenomaan yhdeksän vuoden päähän viimeisestä lannoituksesta. Aineistossa lannoituskertojen lukumäärä tutkimusjakson aikana vaihteli kahdesta neljään. Se oli keskimäärin mäntykoealoilla 3,0 ja kuusikoealoilla 2,8 (ks. taulukko 2). Tutkimusjakson alussa ensi- ja uusintalannoitusten typpimäärät olivat nykykäsitysten mukaan pieniä, alle 100 kg/ha. Lisääntyneen tutkimustiedon ansiosta kerta-annokset kasvoivat myöhemmin niin, että ne olivat jakson loppupuolella 150 kg/ha. Tutkimusjakson

Taulukko 2. Keskiarvotietoja typpi- ja fosforilannoituksista ikäluokittain (suluissa vaihteluväli).
Table 2. Mean values of nitrogen and phosphorus fertilizations in different age groups (range in parenthesis).

	MÄNTY — PINE					Kaikki — All
	20—39	40—59	60—79	80—99	≥ 100	
Koealoja	66	24	27	9	15	141
<i>Number of plots</i>						
Typpilannoitusten lukumäärä	2,5 (2—3)	3,0 (2—4)	3,3 (2—4)	3,6 (3—4)	3,8 (3—4)	3,0 (2—4)
<i>Number of nitrogen fertilizations</i>						
Typpimäärä tutkimusjaksona, kg/ha	227 (133—324)	288 (174—416)	314 (164—444)	345 (266—462)	377 (222—416)	278 (133—462)
<i>Amount of nitrogen during the investigated period, kg/ha</i>						
Typpilannoitusväli, v	6,0 (2—10)	4,9 (3—9)	3,3 (2—6)	3,9 (3—4)	3,5 (2—4)	4,9 (2—10)
<i>Time between nitrogen fertilizations, yr</i>						
Tutkimusjakso, v	17,1 (14—21)	18,0 (15—21)	16,8 (11—21)	18,9 (17—21)	19,1 (14—21)	17,5 (11—21)
<i>The investigated period, yr</i>						
	KUUSI — SPRUCE					Kaikki — All
	20—39	40—59	60—79	80—99	≥ 100	
Koealoja	24	..	..	6	4	34
<i>Number of plots</i>						
Typpilannoitusten lukumäärä	2,5 (2—3)	..	..	3,7 (3—4)	3,5 (3—4)	2,8 (2—4)
<i>Number of nitrogen fertilizations</i>						
Typpimäärä tutkimusjaksona, kg/ha	228 (174—284)	..	..	399 (266—554)	410 (266—554)	279 (174—554)
<i>Amount of nitrogen during the investigated period, kg/ha</i>						
Typpilannoitusväli, v	5,8 (3—10)	..	..	3,3 (2—4)	3,8 (3—4)	5,1 (2—10)
<i>Time between nitrogen fertilizations, yr</i>						
Fosforilannoitusten lukumäärä	0,8 (0—2)	..	..	0,7 (0—2)	0,8 (0—2)	0,8 (0—2)
<i>Number of phosphorus fertilizations</i>						
Fosforimäärä tutkimusjaksona, kg/ha	30 (0—110)	..	..	27 (0—73)	26 (0—73)	29 (0—110)
<i>Amount of phosphorus during the investigated period, kg/ha</i>						
Tutkimusjakso, v	17,1 (14—19)	..	..	18,0 (14—20)	18,5 (17—20)	17,4 (14—20)
<i>The investigated period, yr</i>						

aikana annettu kokonaistyppimäärä oli keskimäärin noin 300 kg/ha. Aineisto edustaa voimassa olevia suosituksia selvästi pienemmillä typpimäärillä tehtäviä lannoituksia. Niinpä Metsähallituksen antamien ohjeiden (1988) mukaan metsänparannusvaroin toteutettavissa metsänlannoituksissa kangasmailla suositellaan levitettäväksi männiköissä joka toisella lannoituskerralla ureaa 325 kg/ha (N 150 kg/ha) tai oulunsalpietaria 550 kg/ha (N 150 kg/ha) ja joka toisella 600 kg/ha (N 150 kg/ha) NP-lannosta. Kuusikoissa suositel-

laan käytettäväksi NP-lannosta 600 kg/ha (N 150 kg/ha) kaikilla lannoituskerroilla.

Niin kuin edellä todettiin, tämä tutkimus perustuu lannoituksen aikaansaaman kasvunlisäyksen määrityksen osalta kokeisiin, jotka on perustettu v. 1955—65. Tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa siihen, mitä esim. viime aikoina tapahtunut typpilaskeuman lisääntyminen vaikuttaa lannoitustarpeeseen. Joka tapauksessa on muistettava, että tämän tutkimuksen perustana olleissa lannoituskoikeissa lannoitteiden määrät olivat suurim-

man tuotoksen ja kannattavuuden kannalta liian pieniä.

Koepuustojen harvennukset olivat vähäisiä ja epäsystemaattisia. Ne oli tehty vain pakottavista metsänhoidollisista syistä. Harvennushakkuut otettiin huomioon lannoitusvaikutusta määritettäessä tuonnempana esitettävällä tavalla.

33. Metsikkötunnusten ja kasvunlisäysten laskenta

Metsikkötunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen koealojen peruslaskentaohjelmalla KPL (Heinonen 1981). Tukkipuun määrää laskettaessa KPL:ssa oli kutakin tukin pituutta vastaava minimilatvaläpimitta seuraava:

Tukin pituus, m	Tukin kuorellinen latvaläpimitta, cm	
	mänty	kuusi
3,1	20,5	
3,4	18,5	
3,7	18,5	19,5
4,0	16,5	17,5
4,3	14,5	16,5
4,6—6,1	14,5	15,5

Suurin sallittu tukin pituus oli 6,1 m. Kuitupölkyn kuorellinen minimilatvaläpimitta oli 5,5 cm ja pölkyn pituus 2 m. Puustotunnukset laskettiin sekä mittausajankohdille että jokaiselle niiden väliselle vuodelle. Peräkkäisten mittauksien tuloksista muodostettiin vuosittaiset puusto- ja kasvutiedot sisältävä aikasarja (ks. mittauksista Kukkola ja Saramäki 1983).

Lannoituksilla aikaansaatu kasvunlisäys määritettiin kuten yleensäkin lannoitetun ja lannoittamattoman ja siihen rinnastetun (siis vertailukoealojen) puuston kasvun erotukseksi. Kasvunlisäys laskettiin vuosittain jokaiselle koealalle.

Lannoituksen aikaansaaman vuotuisen kasvunlisäyksen laskenta on selostettu Kukkolan ja Saramäen (1983) julkaisussa. Ly-

hyesti sanoen tilavuuskasvumallin, valtipuuden kasvumallin sekä kukin kokeen vertailukoealojen avulla laskettiin, kuinka kukin lannoitettu koeala olisi kehittynyt vuodesta toiseen ilman lannoituksia (estimoitu nollakehitys). Kasvunlisäys saatiin sen jälkeen lannoitetun koealan vuotuisen kasvun ja tuon estimoidun nollakehityksen mukaisen kasvun erotuksena.

Estimoidun nollakehityksen puutavaralajiosuuksien ja puutavaran hinnoitteluun vaikuttavien järeystunnusten laskennassa käytettiin liitteen 1 mukaisia malleja liitteessä 2 esitetyllä tavalla.

Tukkipuun osuutta ja tukkirunkojen käyttöosan keskitilavuutta kuvaavat mallit ovat perusteiltaan samat kuin Vuokilalla ja Väliaholla (1980). Tosin viimeksi mainittua mallia Vuokila ja Väliaho käyttivät kuvaamaan tukkirunkojen keskitilavuutta. Kaikkien mallien kertoimet on kuitenkin laskettu Kukkolan ja Saramäen (1983) tutkimuksen aineiston avulla. Kuitupuun osuus saatiin vähentämällä puuston kokonaistilavuudesta tukkipuun ja hukkapuun määrä.

Niin kuin edellä todettiin, tämän tutkimuksen laskelmia varten koealojen tarkastelu ulotettiin Kukkolan ja Saramäen menetelmästä poiketen nimenomaan yhdeksän vuoden päähän viimeisestä lannoituksesta. Niillä koealoilla, joilla puuston kehitystä ei voitu määrittää suoritettujen koealamittausten perusteella ajallisesti noin kauas, puuttuvien vuosien havainnot arvioitiin Kukkolan ja Saramäen (1983) esittämällä kasvu- ja kasvunlisäysmalleilla sekä liitteessä 1 esitetyillä malleilla. Mallien käyttö edellytti, että viimeisen lannoituksen ja sitä seuraavan mittauksen välinen aika oli vähintään kolme vuotta eli lannoittamattoman ja lannoitetun puuston kehitystä ennustettiin mallien avulla enintään kuuden vuoden ajalle. Muussa tapauksessa viimeistä lannoitusta ja sen jälkeistä aikaa ei otettu koealan tutkimusjaksoon kuuluvaksi. Sitä edeltänyt lannoitussarja sen sijaan hyväksyttiin aineistoon.

4. KANTOHINNAT JA LANNOITUSKUSTANNUKSET

41. Kantohinnat

Tutkimuksessa käytetyt kantohinnat laskettiin Etelä-Suomen yksityismetsien trendihintoina eri puutavaralajeille hakkuuvuosilta 1978/79—1986/87 (Metsätilastollinen vuosikirja 1977—1987).

Nimelliset kantohinnat muutettiin reaalisiksi tukkuhintaindeksin kokonaisindeksillä hakkuuvuoden 1986/87 rahan arvoon laske-malla hakkuuvuosittaiset indeksiluvut kuusikausittaisten indeksilukujen aritmeettisena keskiarvona. Reaalisten hintojen pohjalta las- ketut puulajeittaiset tukin sekä kuitupuun trendiyhtälöt olivat:

$$\begin{aligned} \text{mäntytukkipuu } Y_1 &= 136,53 + 0,77733 X \\ \text{kuusitukkipuu } Y_2 &= 421,60 - 3,14970 X \\ \text{mäntykuitupuun } Y_3 &= 63,91 + 0,29050 X \\ \text{kuusikuitupuun } Y_4 &= -33,96 + 1,52050 X \end{aligned}$$

missä X tarkoittaa vuotta (esim. hakkuu- vuodelle 1980/81 $X=80$) ja $Y_i, i=1 \dots 4$, vas- taavaa puutavaralajin reaalista kantohintaa mk/m^3 .

Ajan kuluessa mäntykuitupuun hinta on lähestynyt kuusikuitupuun hintaa. Hakkuu- vuoden 1982/83 hintasuositussopimuksessa sovellettiin jopa yhtenäishintaa molemmille kuitupuille, mistä sittemmin on kuitenkin luovuttu. Tutkimuksessa käytettiin edellä esi- tetyistä trendiyhtälöistä saatuja hakkuuvuo- den 1986/87 trendihintoja, jotka olivat seu- raavat (suluissa on esimerkinomaisesti ko. hakkuuvuoden hintasuositusten mukaisten Lounais-Suomen nimellisten kantohintojen vaihteluväli):

$$\begin{aligned} \text{mäntytukkipuu } & 203 \text{ mk}/\text{m}^3 \text{ (187—197 mk}/\text{m}^3) \\ \text{kuusitukkipuu } & 151 \text{ mk}/\text{m}^3 \text{ (139—156 mk}/\text{m}^3) \\ \text{mäntykuitupuun } & 89 \text{ mk}/\text{m}^3 \text{ (81—85 mk}/\text{m}^3) \\ \text{kuusikuitupuun } & 97 \text{ mk}/\text{m}^3 \text{ (93—97 mk}/\text{m}^3) \end{aligned}$$

Edellä laskettujen reaalisten kantohintojen oletettiin pysyvän vakioina (samoin kuin lan- noituskustannustenkin) koko toistuvien lan- noitusten tarkasteluajanjakson ajan, ts. en- simmäisestä lannoituksesta viimeisen lannoit-uksen jälkeiseen yhdeksänteen vuoteen saak- ka. Ottaen huomioon mänty- ja kuusitukin hintasuhteiden kehityksen viime aikoina on mahdollista, että kuusitukin hinta tulee las-

kelmien tuloksia tulevaisuuteen sovellettaessa jossakin määrin yliarvioiduksi.

Hintasuositussopimuksen mukaan perus- leimikon kantohintoihin tehdään kulloinkin kysymykseen tulevat leimikon koon ja tihey- den sekä metsäkuljetusmatkan ja puuston jä- reyden mukaiset yksikköhinnan korjaukset. Leimikon koko ja metsäkuljetusmatka oletet- tiin tässä perusleimikon mukaisiksi. Järeiden ja tiheyden mukaiset yksikköhinnan korjauk- set otettiin tukin yksikköhinnassa huomioon hakkuuvuoden 1986/87 hintasuositussopi- muksen mukaisesti (Puun hintasuositussopi- mus... 1986). Tällöin järeiden suhteen korja- tut mänty- ja kuusitukin kantohinnat saatiin lisäämällä korjaamattomaan kantohintaan runkolajin koko käyttöosan tilavuuteen pe- rustuva järeystekijä Y (mk/m^3), mikä näkyy seuraavasta asetelmasta:

Runkolajin koko käyttöosan tilavuus (m^3/runko)	Yksikköhinnan korjaus Y (mk/m^3)	
	mänty	kuusi
—0,300	—4	—5
0,301—0,400	—3	—3
0,401—0,500	0	0
0,501—0,600	2	2
0,601—	4	3

Myös kuitupuun kantohintaa korjattiin hin- tasuositussopimusten mukaisesti eli tämä korjaus perustui kuiturunkojen keskimääräi- seen rinnankorkeusläpimittaan. Keskimääräi- nen rinnankorkeusläpimitta laskettiin keski- määräisen kuiturungon tilavuuden ja rungon tilavuutta läpimitan funktiona kuvaavien yh- tälöiden perusteella (Laasasenaho 1982). Kun tukkipuulle korjaustekijä otetaan huomioon runkokohtaisesti, niin kuitupuulla se koskee koko leimikkoa. Korjaus tehdään samansuu- ruisena männylle ja kuuselle seuraavan ase- telman mukaisesti:

Keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta, cm	Yksikköhinnan korjaus Y (mk/m^3)
— 9,9	—18
10,0—10,9	—11
11,0—11,9	— 7
12,0—13,9	0
14,0—	7

42. Lannoituskustannukset

421. Lannoitekustannukset

Lannoituskustannuksiin luettiin mukaan lannoite-, suunnittelu- ja työnjohto-, kuljetus- ja levityskustannukset. Männiköissä otettiin huomioon vain typpilannoitteiden hinta ja muut lannoituskustannukset, sillä muilla käytetyillä ravinteilla ei aineistossa todettu merkittäviä tuotosvaikutuksia (Kukkola ja Saramäki 1983). Sen sijaan kuusikoissa fosfori oli typen ohella annettuna lisännyt kasvureaktiota, joten kuusikoissa kustannuksina otettiin huomioon myös fosforilannoitteiden hinta ja muut lannoituskustannukset. Lannoituskustannuksia laskettaessa käytettiin lannoitteiden hakkuuvuoden 1987/88 joulukuun hintoja. Kokeiden alkuvaiheessa käytetyt typpi- ja fosforilannoitteet, jotka ovat sittemmin poistuneet myynnistä, hinnoitettiin nykyisten vastaavien lannoitteiden mukaisesti. Tällöin typen ja fosforin määrät pidettiin samoina kuin todellisissa lannoituksissa. Lannoituskokeiden perustamisen yhteydessä levitetyn hienofosfaatin valmistus lopetettiin 1960-luvulla ja kotkafosfaatin 1970-luvulla. Hienofosfaatti on itse asiassa raakafosfaattia, mutta vain hienommin jauhettua, joten sille käytettiin raakafosfaatin hintaa. Kotkafosfaatti on seos hieno- ja superfosfaatista siten, että ko. lannoitteiden sisältämät fosforimäärät ovat yhtä suuret. Näin ollen kotkafosfaatti korvattiin hinnoituksessa raakafosfaatin (vasta hienofosfaattia) ja superfosfaatin seoksella.

Typpilannoitteita hinnoitettaessa päädyttiin ammoniumsulfaatti korvaamaan oulunsalpietarilla, koska nykyisin ammoniumsulfaattia käytetään vain puutarhalannoitteena. Oulunsalpietarin ja ammoniumsulfaatin aikaansaama kasvunlisäys on likimain yhtä suuri edellyttäen, että levitetty lannoite sisältävät saman määrän typpeä (Mälkönen 1979).

Hinnoituksissa käytettävien lannoitteiden hakkuuvuoden 1987/88 joulukuun hinnat olivat ilman valmisteveroa seuraavat:

urea	0,92 mk/kg
oulunsalpietari	0,85 mk/kg
kaksoissuperfosfaatti	1,48 mk/kg
raakafosfaatti	0,68 mk/kg

422. Muut lannoituskustannukset

Lannoitusmenoihin kuuluviksi kauko- ja lähikuljetuskustannuksiksi oletettiin 15 p/kg (vrt. Hämäläinen ja Laakkonen 1983). Sekä mänty- että kuusikoealoille lannoitteet levitettiin käsin määrän vaihdella 199 kg:sta 545 kg:aan/ha. Koska lannoitemäärä oli keskimäärin alle 500 kg/ha, päädyttiin kiinteään levityskustannukseen, ts. kunkin lannoitteen levittämiseen katsottiin kuluvan aina puoli miestyöpäivää/ha (Metsän lannoitus- ja kasvinsuojeluopas 1981). Vuonna 1986/87 metsä- ja uittoalan työehtosopimuksen (Metsä- ja uittoalan... 1986) mukaan metsänhoito- ja metsänparannustöissä Etelä-Suomessa päiväpalkka oli 221 mk, johon sisältyi ns. likaisen työn lisä (5,74 mk/h). Laskemalla päiväpalkkaan 25 %:n urakkalisä saatiin urakkapalkaksi 277 mk. Miestyöpäivän hinnaksi tuli 387 mk lisäämällä urakkapalkkaan 40 %:n mukaiset sosiaalikulut. Lannoituksen suunnittelu- ja työnjohtokustannuksiksi katsottiin 70 mk/ha. Näillä perusteilla tutkimusjakson aikana kaikkien lannoituskertojen selaisenaan yhteenlasketut, reaaliset kokonaiskustannukset/ha olivat typpilannoitetuilla mäntykoealoilla keskimäärin 1700 mk/ha, typpeä tai sekä typpeä että fosforia saaneilla kuusikoealoilla 2100 mk/ha. Nämä luvut tarkoittavat kokonaan omalla rahoituksella suoritettavien lannoitusten aiheuttamia keskimääräisiä kustannuksia tutkimusjakson aikana.

5. LANNOITUSTEN TUOTOT

Pääasiallinen lannoituksen tuotto edullisuuslaskelmissa on lannoituksen aikaansaama puuston hakkuuarvon lisäys tutkimusjakson aikana. Lisäksi otettiin huomioon luvussa 32. mainittujen tutkimusjakson aikana suoritettujen vähäisten harvennusten antamat tu-

lot. Kunkin koealan puuston lannoituksesta aiheutuva hakkuuarvon lisäys saatiin tällöin lannoitetun koealan puuston hakkuuarvon ja ko. koealan lannoittamattoman kehityksen (estimoitu nollakehitys) mukaisen hakkuuarvon erotuksena.

Perustana kunkin vuoden hakkuuarvon määrittämiselle olivat luvussa 33. esitetyt kasvu- ja tuotosopilliset kasvun ja puutavara-lajiosuuksien laskentamenettelyt ja luvussa 41. esitetyt kantohinnat. Puuston järeytymisen otettiin hinnoituksessa huomioon.

Lannoituksen aiheuttama tilavuuden lisäys ajatellaan siis käytetyssä menetelmässä kokonaisuudessaan realisoitavaksi valtaosin juuri tutkimusjakson lopussa tapahtuvissa kasvatus- tai päätehakkuissa. Etenkin sellaisessa tilanteessa, missä lannoitukset aloitetaan verraten nuorella iällä ja jatkuvat varttuneeseen ikään saakka, ei kaikkea esim. tämän tutkimuksen 15—20 vuoden tutkimusjakson aikana lannoituksen avulla saatua puuston lisäystä yleensä kuitenkaan liene tarkoituksenmukaista hakata tuon jakson lopussa. Jatkuvasti, siis tutkimuksen edellyttämän jakson jälkeenkin lannoitettavissa metsiköissä kasvatuspuuston tilavuus pidettäneen käytännössä jonkin verran suurempana kuin lannoittamattomissa metsiköissä. On kuitenkin huomattava, että todellisuudessa suuri osa kasvunlisäystä vastaavasta puumäärästä kuitenkin hakattaisiin jo tarkasteltavana olevan 15—20 vuoden tutkimusjakson aikana, päinvastoin kuin tässä käytettävänä olleessa koela-aineistossa oli yleensä menetely. Jos kohta siis hakkuuarvon lisäysten realisoitioletus etenkin nuorehkoissa ikäluokissa jonkin verran liioittelee kannattavuutta, niin päinvastaiseen suuntaan vaikuttaa se, ettei tutkimusaineistossa tarkastelujakson aikana juurikaan hakata lannoituksella aikaansaatu puuta.

Lannoittamattomien ja lannoitettujen koe-

alojen vähäisten harvennuspoistumien keskimääräinen kantoraha-arvo oli likimain yhtä suuri. Lannoitetuilla mäntykoealoilla tuo kantoraha-arvo (1530 mk/ha) oli koko tutkimusjaksona keskimäärin 280 mk/ha suurempi kuin vastaavilla vertailukoealoilla. Sen sijaan lannoitettujen kuusikoealojen harvennuspoistuman kantoraha-arvo (830 mk/ha) oli keskimäärin 90 mk/ha pienempi kuin vertailukoealojen vastaava arvo. Koko tutkimusjakson aikana toistuvilla lannoituksilla aikaansaadut hakkuuarvojen diskonttaamattomat lisäykset olivat mäntykoealoilla keskimäärin 4800 mk/ha ja kuusikoealoilla 4700 mk/ha. Hakkuuarvon lisäykset kasvavat yleensä siirryttäessä nuorimmasta ikäluokasta vanhempiin aina ikäluokkaan 80—99 asti. Tämän luokan jälkeen hakkuuarvon lisäykset alkavat laskea. Tämä selittyy mm. sillä, että nuorimmassa ikäluokassa yleensä koko tilavuuskasvu tapahtuu kuitupuumittaisissa rungoissa kun taas sitä vanhemmissa ikäluokissa tapahtuu tilavuuskasvun lisäksi sekä siirtymää kuitupuusta sitä arvokkaampaan tukkipuuhun että tukkipuuston järeytymistä. Tukkirunkojen järeytyessä yksikköhinta kohoaa niiden koko tukin vaatimukset täyttävän tilavuuden osalta. Kaikkein vanhimmissa ikäluokissa siirtymä on enää vähäistä. Arvokasvu aiheutuu tällöin miltei yksinomaan tilavuuskasvusta ja järeytymisestä.

Kuusen lannoituskoealojen määrä on verraten pieni. Sen vuoksi tutkimuksessa lannoituksen avulla saatuja hakkuuarvon lisäyksiä on pidettävä kuusella epävarmempina kuin männyllä.

6. TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS

61. Laskentakaava

Kannattavuuden kriteerinä käytetty sisäinen korkokanta (i) määritettiin kunkin lannoitetun koelan lannoitusinvestoinnille iteroimalla seuraavasti kaavasta:

$$(1+i)^{-n} E_f + \sum_{t=1}^{n-1} H_{t_f} (1+i)^{-t} - \left[(1+i)^{-n} E_o + \sum_{t=1}^{n-1} H_{t_o} (1+i)^{-t} \right] = \sum_{t=0}^{n-1} (1+i)^{-t} C_t$$

- i = haettava sisäinen korkokanta
real internal rate of interest to be solved
- n = tutkimusjakson pituus (lannoitusinvestoinnin pitoaika), v ;
length of the investigated period, yr;
- E_f = lannoitetun puuston pystykaupan mukainen hakkuuarvo tutkimusjakson lopussa, mk/ha;
stumpage value of fertilized stand at the end of the investigated period, FIM/ha;
- H_{t_f} = lannoitetun puuston pystykaupan mukainen harvennushakkuutulo tutkimusjakson t :ntenä vuotena, mk/ha;
stumpage value of the trees harvested from fertilized stand during the year t , FIM/ha;

- E_0 = lannoittamattoman puuston pystykaupan mukainen hakkuuarvo tutkimusjakson lopussa, mk/ha;
stumpage value of unfertilized stand at the end of the investigated period, FIM/ha;
- H_{t_0} = lannoittamattoman puuston pystykaupan mukainen harvennushakkuutulo tutkimusjakson t:ntenä vuotena, mk/ha;
stumpage value of the trees harvested from unfertilized stand during the year t, FIM/ha;
- C_t = lannoitusmeno tutkimusjakson t:ntenä vuotena, mk/ha;
fertilization cost during the year t, FIM/ha.

Silloin, kun lannoitusmeno rahoitetaan metsänparannusavustuksella, C_t pienenee avustuksen verran. Käytettäessä metsänparannuslainaa C_t jakaantuu tuleville vuosille ikäänkuin vähittäismaksulla suoritettavaksi. — Vuotuisherä muodostuvat tällöin reaalisiksi muunnetuista lainan lyhennyks- ja korkoeristä. Lainojen pitkästä maksuajasta johtuen tutkimusjakso ulottuu viimeisestä lannoituskerrasta yhdeksän vuotta eteenpäin.

62. Rahoitusvaihtoehdot

Yksityismetsänomistajalla on mahdollisuus saada valtiolta metsänparannuslainaa ja/tai -avustusta metsänlannoitukseen. Tutkimuksessa metsänparannusrahoitus oletetaan myönnettävän aina täysimääräisenä. Tämän tutkimuksen koealat sijaisivat pääasiassa metsänparannuslain mukaisissa rahoitusvyöhykkeissä 1, 2 ja 3. Tällä alueella metsänparannusrahoituksen ehdot täyttävä metsänomistaja voi joko saada lannoituskustannuksia vastaavan metsänparannuslainan tai rahoitusvyöhykkeestä riippuen 0—10 % avustuksena ja loput lainana tai luopuessaan kokonaan lainasta 25—35 % avustuksena. Jälkimmäisessä tapauksessa avustuksen suuruus riippuu paitsi sijainnista niin myös siitä lainan määrästä, josta metsänomistaja luopuu.

Rahoitettaessa lannoitusinvestointi valtion metsänparannusvaroilla ovat suunnittelu- ja työnjohtokustannukset metsänomistajalle aina maksuttomia. Ne eivät siis näissä rahoitusvaihtoehdoissa ole lainkaan mukana. Myös omarahoituksella tapahtuvissa lannoituksissa yksityismetsänomistajan on mahdollista saada maksutta lannoituksen suunnit-

telu ja työnjohto. Tässä kuitenkin katsottiin, että metsänomistaja itse vastaa näistä kustannuksista, koska lannoituksia ilman metsänparannusrahoitusta suorittavat pääasiassa muut kuin yksityismetsänomistajat. Kasvatuslannoituksiin myönnettävän metsänparannuslainan vuotuiskorko on 5 % ja takaisinmaksuaika 9 vuotta, joista kaksi ensimmäistä on maksun ja lyhennyksen suhteen vapaavuosia. Kasvatuslannoitusta varten myönnetty laina on maksettava takaisin 18 % vuotuismaksuina, joista luetaan korkoksi em. 5 % jäljellä olevalle lainalle ja muu osa pääoman lyhennykseksi. Metsänomistaja voi ansiotoimintaan kohdistuvina ottaa lainan korot rajoituksetta verotuksessa tulon vähennyksinä huomioon.

Myös verotuksen vaikutus metsänparannuslainalla suoritettavan lannoituksen kannattavuuteen otettiin huomioon lainan korkojen ja lannoitemenojen verovähennys-oikeuksien muodossa. Veroprosenttina käytettiin tällöin 45 % marginaaliprosenttia (Hämäläinen ja Laakkonen 1983, Laakkonen ym. 1983). Edullisuuslaskelmat tehtiin reaalisina. Inflaation vaikutus lainarahoitukseen otettiin tällöin huomioon siten, että rahan arvon vuotuiseksi huononemiseksi katsottiin 4 %.

Metsähallituksen antamat ohjeet (1988), jotka koskevat metsänparannuslainsäädännön mukaista lannoitusta, edellyttävät, että jatkolannoitus voidaan suorittaa kangasmetissä aikaisintaan 6 kasvukauden kuluttua edellisen lannoituksen suorittamisesta. Tämän tutkimuksen koeala-aineisto ei kuitenkaan täytä tätä ehtoa, vaan lannoitus on tosiasiaa tapahtunut keskimäärin tiheimmin aikaväleihin. Samoin kerralla annetut lannoitemäärät ovat usein metsänparannussäännösten edellyttämien alapuolella. Kuitenkin oletetaan, että tästä huolimatta metsänparannusrahoitus myönnettäisiin aineiston mukaisiin lannoitukseen täysimääräisenä. Edelleen laskelmissa on oletettu, että metsänomistaja käyttää kaikkien metsänparannusrahoituksen piiriin kuuluvien lannoituskertojen yhteydessä johdonmukaisesti aina samaa rahoitusvaihtoehtoa, joko avustusta tai lainaa.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin seuraavilla vaihtoehtoisilla tavoilla rahoitettujen toistuvien kasvatuslannoitusten edullisuutta Etelä-Suomessa (tarkastelut suoritettiin keskimääräisinä, koska vaihtoehtoja olisi muuten tullut kovin monta):

1. Kokonaan omarahoitus, siis myös suunnittelun ja työnjohdon osalta.
2. Suunnittelu- ja työnjohtokustannukset ovat maksuttomia ja niillä vähennetyistä lannoituskustannuksista valtio maksaa 30 % metsänparannusavustuksena. Lannoitekustannukset otetaan verotuksessa vähennyksinä huomioon.
3. Suunnittelu- ja työnjohtokustannukset ovat maksuttomia ja lopuille kustannuksille myönnetään metsänparannuslaina. Lannoitekustannukset ja lainan korkokustannukset otetaan verotuksessa huomioon.
4. Suunnittelu- ja työnjohtokustannukset ovat maksuttomia ja lopuille kustannuksille myönnetään 5 % metsänparannusavustuksena ja 95 % metsänparannuslainana. Lannoitekustannukset ja lainan korkokustannukset otetaan verotuksessa huomioon.

Metsänparannusvaroilla metsikköä voidaan lannoittaa vain kaksi kertaa. Tarkkaan ottaen tämän tutkimuksen n. kolmen lannoituskerran ”lannoitusketjut” eivät siis sopisi koko ajalliselta pituudeltaan metsänparannusvaroilla rahoitettaviksi.

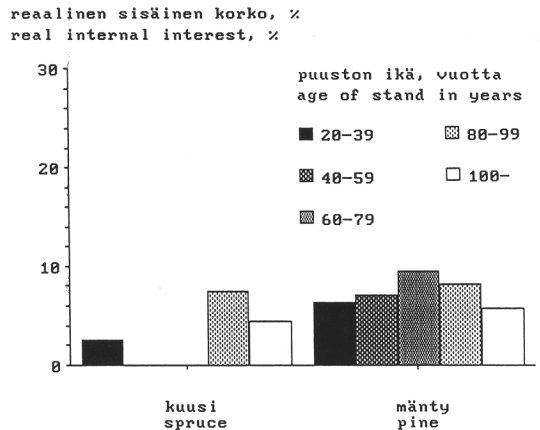
Aiempien tutkimusten mukaan (Keipi ja Laakkonen 1980) toki tiedetään, että yksityisen metsänomistajan on tästä viimeksi mainitusta ehdosta johtuen joskus edullisempaa luopua metsänparannusrahoituksesta ja suorittaa lannoitus omalla rahoituksellaan pyrkivään mahdollisimman suureen reaaliseen sisäiseen korkoon.

63. Kannattavuus

631. Omarahoitus

Rahoitettaessa lannoitusmenot kokonaisuudessaan omalla rahoituksella saatiin mäntykoaloilla keskimäärin 7,3 %:n ja kuusikoaloilla 4,6 %:n reaalinen sisäinen korko koko tutkimusjaksolta. Niin kuin taulukosta 2 näkyy, jakson kokonaispituus vaihtelee kokeittain. Viimeisen lannoituksen jälkeen lannoitusreaktio on joka tapauksessa kussakin koeksessä määritetty yhdeksän vuoden päähän.

Kuvassa 1 on esitetty reaalinen sisäinen korko ikäluokittain. Männyllä kannattavuus on ollut nuorissa ja keski-ikäisissä kasvatusmetsiköissäkin huomattavan korkea. Kuusikoaloista puuttuvat juuri ne ikäluokat, joissa männyllä on saavutettu paras kannattavuus. Toistuvan lannoituksen kannattavuus on siis ainakin männyllä ollut paras varttuneissa kasvatusmetsiköissä. Se heikkenee jossakin määrin siirryttäessä toisaalta ensilannoitusten aloittamisajankohtana jo likimain uudistus-



Kuva 1. Reaalinen sisäinen korko eri ikäluokissa, kun lannoitukset on rahoitettu kokonaan omalla rahoituksella.

Figure 1. Real internal interest in different age groups without state support.

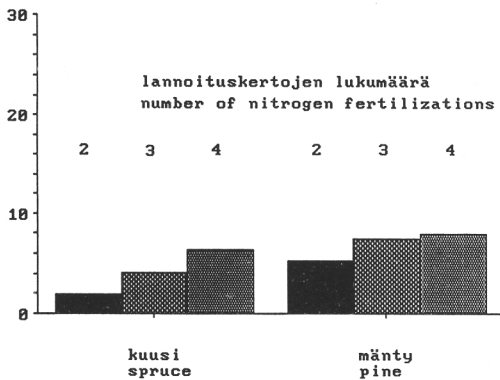
kypsyyksiän saavuttaneisiin metsiin tai hyvin nuoriin kuitupuuvaltaisiin metsiin.

Eri ikäluokkia edustavissa metsiköissä on tutkimuksen mukaan männyn ja kuusen toistuvan lannoituksen kannattavuusluvuissa selvä ero männyn hyväksi. Erityisesti kuusen aineisto on kuitenkin pieni, joten arvioon liittyy huomattavasti epävarmuutta.

Aiemmissä tutkimuksissa (mm. Laakkonen ym. 1983, Möller 1986, Pettersson 1987) on päätehakkuuikäisen metsikön kertalannoituksissa saavutettu melkoisesti korkeammat reaaliset sisäiset korot. Tämä johtuu paitsi hieman erilaisista laskentatilanteista ja -perusteista, myös ja ensinnäkin siitä, että tämän tutkimuksen koalojen toistuvien lannoitusten kannattavuutta rasittavat etenkin tutkimusjaksojen alkupuolen lannoituskertojen liian pienet typpimäärät. Laskentatilanteen puolesta toistuvat lannoitukset ja varttuneiden metsiköiden kertalannoitukset eroavat toisistaan siten, että kertalannoitusten kasvunlisäys on todellisuutta vastaavasti oletettu saatavan realisoiduksi tulona tämän tutkimuksen ajanjaksoon nähden vajaan puolen pituisen ajanjakson kuluttua. Koronkorkoperaate vaikuttaa tällöin laskenta-ajanjakson pidentyessä voimakkaasti sekä sisäisen koron suuruuteen että diskonttausmenetelmällä saatavaan nettotulojen nykyarvoon.

Nimenomaan se, että tämän tutkimuksen koaloilla pidättäydettiin lähes kokonaan tutkimusjakson aikana harvennushakkuista on alentanut tuntuvasti toistuvien lannoitus-

reaalinen sisäinen korko, %
real internal interest, %



Kuva 2. Reaalisen sisäisen koron ja lannoituskertojen lukumäärän välinen riippuvuus, kun lannoitukset on rahoitettu kokonaan omalla rahoituksella.
Figure 2. Correlation between real internal interest and number of fertilizations without state support.

ten kannattavuusprosenttia. Suoritetut harvennuksetkin olivat olleet erittäin lieviä ja siten ”järkeviin” harvennuksiin verrattuina epätaloudellisia. Sekä lannoitteiden kerta-annosten pienuuden että harvennuksiin liittyvän epätarkoituksenmukaisuuden vaikutuksen suuruusluokasta sisäisen koron tasoon saadaan käsitys liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla valmistumassa olevasta kuivahkon kankaan männikön toistuvan lannoittamisen kannattavuutta koskevasta tutkimuksesta. Tuossa tutkimuksessa on ennustettu erilaisilla ohjelmilla lannoitetujen ja eri tavoin harvennettujen puustojen kehitystä. Sen perusteella voidaan arvioida, että suoritettaessa lannoitukset suuremmilla kerta-annoksilla kuin tämän tutkimuksen koaloilla ja harvennettaessa metsikkö ajoissa, kuitenkin korjuutaloudelliset näkökohdat huomioon ottaen, lannoitusinvestoinnin reaalin sisäinen korkokanta saataisiin nousemaan tässä tutkimuksessa omarahoituksella saadusta tasosta männyllä (7,3 %) ainakin 5 %-yksikköä ja kuusella (4,6 %) ainakin 3 %-yksikköä. — Kuusikoiden lannoituksen kannattavuudesta edellä esitettyä lukua on ollut omiaan pienentämään vielä seuraava seikka: Kuusikoissa fosforin on todettu lisäävän kasvua selvästi silloin, kun fosfori annetaan typen ohella. Kukkolan ja Saramäen tutkimuksessa (1983) keskimääräinen vuotuinen kasvureaktio oli Etelä-Suomen kuusikoissa N-lannoituksella 1,3 m³/ha ja NP-lannoituksella 1,7 m³/ha, eli fosforilla

saatiin noin 30 % lisäys kasvureaktioon. Tässä tutkimuksessa yhdistettiin kuitenkin kuusikkokokeiden N- ja NP-lannoitetut koalat aineiston vähäisyyden vuoksi. NP-lannoituilla koaloilla kuusikoissa typpi- ja fosforilannoitteet annettiin erikseen. Nykyisin kuusikoissa suositellaan käytettäväksi metsän NP-lannosta, jolloin etenkin levityskustannukset ovat edellä mainittua käytäntöä pienemmät.

Tämän tutkimuksen kuvista ja seuraavasta tekstistä ilmenevät tulokset tarkoittavat joka tapauksessa tämän tutkimuksen aineiston perusteella saatuja, siis systemaattisesti liian matalia lukuja. Männiköissä on saatu selvä sisäisellä korolla mitattu kannattavuuden lisäys kun lannoituskertoja on enemmän kuin kaksi eli kolme tai neljä lannoitusta (kuva 2). Sillä, onko lannoitetta annettu kolme tai neljä kertaa ei sen sijaan näytä juurikaan olevan merkitystä. Kuusella selvästi paras tulos saavutettiin neljä kertaa lannoitettaessa ja selvästi huonoin tulos kaksi kertaa lannoitettaessa. Johtopäätösten teko kuusen osalta ei kuitenkaan ole viisasta aineiston suppeuden vuoksi kuten edellä todettiin. Kummallakin puulajilla kannattavuus näyttää kuitenkin paranevan lannoituskertojen ja samalla siis myös lannoitemäärän lisääntyessä. On kuitenkin syytä muistaa, että lannoitemäärät ovat olleet pieniä nykysuositukseen verrattuna.

Myös Ruotsissa tehdyssä toistuvan lannoituksen edullisuutta koskevassa tutkimuksessa on männyn osalta päästy samantapaisiin tuloksiin. Ko. tutkimuksen mukaan kannattavuus parani typen kerta-annoksen kohotessa aina 360 kg/ha tasolle asti (Möller, 1986).

632. Metsänparannusavustus

Etelä-Suomessa täysimääräinen avustus kasvatuslannoituksiin vaihtelee 25 % ja 35 % välillä. Laskelmissa on yksinkertaisuuden vuoksi käytetty keskimääräistä 30 % avustusta. Tämän ohella ei myönnetä enää lainaa, vaan lainasta luopuminen on avustuksen saannin edellytys. Loput 70 % kustannuksista suoritetaan tässä tapauksessa omalla rahoituksella. Avustusta myönnettäessä on lannoituskustannuksista ensin vähennetty suunnittelun ja työnjohdon osuus, jotka yksityiselle metsänomistajalle ovat osittaistakin met-

sänparannusrahoitusta myönnettäessä aina maksuttomia. Edelleen yhteiskunta rahoittaa hanketta lannoitekustannusten verovähennys-oikeuden muodossa.

Rahoitettaessa lannoitukset täyden metsänparannusavustuksen turvin on reaalin sisäinen korko tutkimusaineiston männiköissä keskimäärin 13,9 % ja kuusikoissa keskimäärin 10,5 %. Metsänparannusavustus paransi siis kannattavuutta männiköiden osalta 6,6 prosenttiyksikköä ja kuusikokeiden osalta 5,9 prosenttiyksikköä. Eri ikäluokissa avustus paransi männiköiden lannoituksen kannattavuutta 5,5—8,0 prosenttiyksikköä ja kuusikoiden 5,5—6,1 prosenttiyksikköä. Kummassakaan tapauksessa ei siis eri luokkien välinen absoluuttinen kannattavuusero muuttunut. Metsänparannusavustuksella vain saatiin aikaan edellä mainittujen suuruiset reaalin sisäisen koron tason nousut.

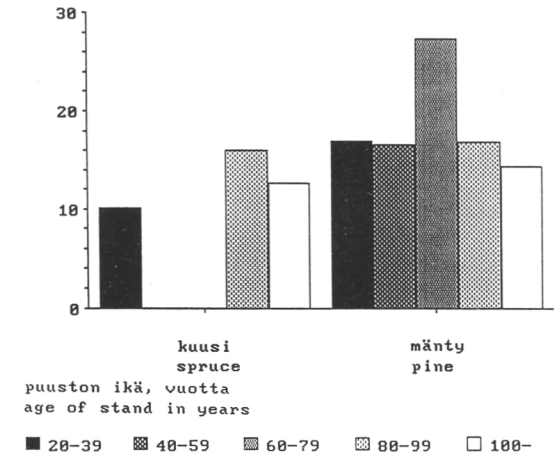
633. Metsänparannuslaina

Lannoitushanke voidaan rahoittaa myös kokonaisuudessaan halpakorkoisella metsänparannuslainalla. Aiemmissa tutkimuksissa (mm. Keipi ja Laakkonen 1980, Hämäläinen ja Laakkonen 1983, Laakkonen ym. 1983) on todettu, että laina on yksityistaloudellisesti usein osittaista avustusta edullisempi vaihtoehto. Tämä johtuu metsänparannuslainan edullisista ehdoista sekä noissa laskelmissa oletetusta 7 %:n vuotuisesta inflaatiosta. Inflaatio on noista ajoista saatu eri toimenpiteiden yhteisvaikutuksena laskemaan jonkin verran matalammalle tasolle.

Rahoitettaessa toistuvat lannoitukset kokonaan metsänparannuslainalla saavutettiin tutkimuksen mäntykoaloilla keskimäärin 18,5 % ja kuusikoaloilla vastaavasti 12,6 % reaalin sisäinen korko ennen veroja. Lainan nosti siis kannattavuutta männyn osalta peräti 11,2 prosenttiyksikköä ja kuusen osalta 8,0 prosenttiyksikköä verrattaessa kokonaan omalla rahoituksella suoritettuihin vastaaviin lannoitushankkeisiin. Muistettakoon, että asiaan on vaikuttanut olennaisesti oletettu 4 % vuotuinen inflaatio.

Kuvassa 3 on esitetty reaaliset sisäiset korot eri ikäluokissa kun lannoitus rahoitetaan kokonaan metsänparannuslainalla. Verrattaessa kuvia 1 ja 3 voidaan todeta, että molemmilla puulajeilla eri ikäluokkien sisäisten

reaalin sisäinen korko, %
real internal interest, %



Kuva 3. Reaalin sisäinen korko eri ikäluokissa, kun kaikki lannoitukset on rahoitettu kokonaan metsänparannuslainalla.

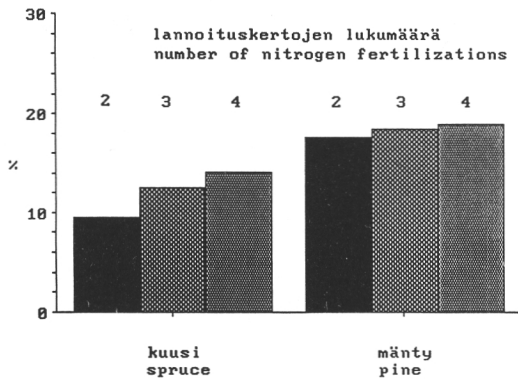
Figure 3. Real internal interest in different age groups with state loan granted to forest improvement purposes.

korkojen erot ovat kasvaneet mutta niiden kannattavuusjärjestys ei ole muuttunut oleellisesti käytettäessä omarahoituksen sijasta metsänparannuslainaa. Rahoitettaessa lannoitushanke omalla rahoituksella oli eri ikäluokkien välinen kannattavuusero suurimmillaan tutkimuksen mäntykoaloilla vain 3,7 prosenttiyksikköä ja kuusikoaloilla vastaavasti 4,5 prosenttiyksikköä. Metsänparannuslainaa käytettäessä vastaavat erot olivat 13,0 ja 5,9 prosenttiyksikköä. Kuvan 3 mukaan suurin reaalin sisäinen korko 27,5 % saavutettiin varttuneissa kasvatusmänniköissä ikäluokassa 60—79. Kuusikokeillakin päästiin suurimmillaan 16,1 % reaaliiseen sisäiseen korkoon (ikäluokka 80—99 v.).

Tarkasteltaessa kannattavuutta lannoituskertojen lukumäärän suhteen (kuva 4) huomataan, että suhteelliset kannattavuuserot eri luokkien välillä ovat jonkin verran tasoittuneet täydelliseen omarahoitukseen verrattuna (kuva 2). Edullinen laina tukee suhteellisesti eniten muutoin heikommin kannattavia lannoituksia.

Niin kuin edellä todettiin, laskelmissa on otettu huomioon, että metsänomistaja voi ottaa metsänparannuslainan korot sekä lannoitemenot verotuksessa vähennyksinä huomioon. Tämä nostaa lannoitusten kannattavuutta metsänomistajan marginaaliveropro-

reaalinen sisäinen korko, %
real internal interest, %



Kuva 4. Reaalisen sisäisen koron ja lannoituskertojen lukumäärän välinen riippuvuus, kun lannoitukset on rahoitettu kokonaan metsänparannuslainalla.

Figure 4. Correlation between real internal interest and number of fertilizations with state loan granted to forest improvement purposes.

7. YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitettiin lannoituskokeisiin sekä niitä aineistona käyttäen laadittuihin malleihin perustuen toistuvan lannoituksen kannattavuutta Etelä-Suomen kangasmailla. Koelata-aineisto on sama kuin Kukkolan ja Saramäen (1983) tutkimuksessa. Samaten kasvunlisäyksen laskenta perustuu mainittujen tutkijoiden kehittämisiin menetelmiin. Muiden edullisuuslaskelmissa tarvittujen muuttujien relevantit arvot selvitettiin käsillä olevassa tutkimuksessa.

Toistuvan lannoituksen tuotoksi kullakin lannoitetulla koelalalla katsottiin lannoitetun ja lannoittamattoman koelatan hakkuuarvojen erotus tutkimusjakson lopussa sekä harvennuksissa poistetun puuston arvojen erotus. Reaalisisäisillä kantohintoilla käytettiin hakkuuvuoden 1986/87 reaalisisäisiä trendihintoja, jotka laskettiin hakkuuvuosien 1978/79—1986/87 nimellisten kantohintojen ja vastaavien vuosien tukkuhintojen kokonaisindeksin avulla. Kantohintoihin tehtiin myös puuston järeyden mukaiset korjaukset hakkuuvuotta 1986/87 koskevan hintasuositussopimuksen mukaisina. Näin laskien saatiin toistuvan lannoituksen tuotoksi tutkimusjakson kuluessa männiköissä keskimäärin 4 800 mk/ha ja kuusikoissa 4 700 mk/ha.

sentista riippuen. Tässä lähdettiin siitä, että metsänparannuslainan korko sekä lannoitemenot vähennetään verotuksessa metsänomistajan marginaalituloista. Kun marginaaliveroproosenttina käytettiin tutkimuksessa 45 % niin yhteiskunta tukee lannoituksia paitsi myöntämällä halpakorkoista lainaa myös ”maksamalla” 45 % tuon lainan koroista. Tutkimuksen männiköissä tämä aiheutti eri luokissa kannattavuudessa keskimäärin 5,3 prosenttiyksikön nousun ja kuusikoissa vastaavasti 4,2 prosenttiyksikön nousun aiemmin esitettyihin kannattavuuslukuihin.

Rahoitettaessa lannoituskustannukset 95 %:sti lainalla ja 5 %:n avustuksella parani kannattavuus vielä noin puoli prosenttiyksikköä verrattuna kokonaan metsänparannuslainalla rahoitettuun vaihtoehtoon.

Lannoituskustannuksina otettiin huomioon lannoite-, suunnittelu- ja työnjohto- sekä kuljetus- ja levityskustannukset hakkuuvuoden 1987/88 joulukuun tilannetta vastaavina. Männiköissä lannoituskustannusten reaalinen summa tutkimusjakson aikana oli sellaisenaan 1 700 mk/ha ja kuusikoissa 2 100 mk/ha.

Lannoituksen kannattavuutta mitattiin reaalisisäisellä korolla. Tällöin laskelmat tehtiin sekä olettaen lannoituksen tapahtuvan kokonaan omalla rahoituksella että valtion metsänparannusrahoituksen eri muotoja käyttäen. Myös verotuksen vaikutus lannoituksen kannattavuuteen otettiin laskelmissa huomioon.

Tämän tutkimuksen tulokset on tiivistetty esitetty kuvissa 1—4. Niiden perusteella voidaan esittää luettelomaisesti tutkimuksen päätulokset seuraavasti:

- reaalisisäisellä korolla mitaten toistuvan lannoituksen erilliskannattavuus oli männiköissä 7,3 % ja kuusikoissa 4,6 % ilman metsänparannusrahoitusta
- metsänparannuslaina on yksityistaloudellisesti edullisempi vaihtoehto kuin 30 %:n avustus
- metsänparannuslaina parantaa toistuvan lannoituksen yksityistaloudellista kannattavuutta

oleellisesti. Kannattavuus paranee männiköiden osalta em. 7,3 %:sta 18,5 %:iin ja kuusikoiden osalta em. 4,6 %:sta 12,6 %:iin; siis kummallakin puulajilla melkein kolminkertaisesti

- lainakorkojen ja lannoitekustannusten vähennysoikeus verotuksessa parantaa lannoituksen yksityistaloudellista kannattavuutta marginaaliveroprosentista riippuen. Kun marginaaliprosentiksi oletettiin 45, niin mainitut vähennykset nostivat kannattavuutta 4—5 prosenttiyksikköä.
- männiköiden toistuva lannoittaminen on keskimäärin kuusikoiden lannoittamista edullisempää kaikilla rahoitusmuodoilla.
- toistuva lannoitus on kannattavinta varttuneissa kasvatusmetsiköissä ja kannattavuus heikkenee siirryttäessä lannoittamaan tätä nuorempia tai vanhempia ikäluokkia. Paras kannattavuus saavutettiin männiköissä ikäluokassa 60—79 v. ja kuusikoissa ikäluokassa 80—99. Kuusikkokokeista tosin puuttuivat kokonaan ikäluokat 40—59 ja 60—79 v.

Lannoituksen ja harvennuksen osalta kokeiden käsittely on poikennut nykysuosituksesta, mikä on heijastunut myös kannattavuuslaskelmien tuloksiin. Harvennukset ovat olleet tutkimusjakson aikana vähäisiä, mikä on pidentänyt tuottojen odotusaikaa verrattuna nykyisten harvennusmallien mukaiseen harvennusten ajoittamiseen. Lannoitemäärät ovat olleet kokeiden alkuvaiheessa nykysuosituksia huomattavasti pienempiä, mikä myös on heikentänyt taloudellista tulosta.

Koeaineiston kuusikoiden lannoituksen kannattavuutta nykysuositusten mukaiseen lannoitukseen nähden on heikentänyt vielä seuraava seikka. Kuusikoissa fosforin on todettu lisäävän kasvua selvästi silloin, kun fosfori annetaan typen ohella. Tässä tutkimuksessa yhdistettiin kuitenkin kuusikkokokeiden N- ja NP-lannoitetut koealat aineiston vähäisyyden vuoksi. NP-lannoitetuilla koealoilla kuusikoissa typpi- ja fosforilannoitteet annettiin erikseen. Nykyisin kuusikoissa suositellaan käytettäväksi metsän NP-lannosta, jolloin etenkin levityskustannukset ovat edellä mainittua käytäntöä pienemmät.

KIRJALLISUUS

- Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. National Swedish Environment Protection Board, Report 3084. 107 s.
- Heinonen, J. 1981. Koealojen peruslaskenta. [Programme for calculating stand characteristics]. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto. 32 s.
- Hämäläinen, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: Underlying models and empirical applications. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 77. 178 s.
- & Laakkonen, O. 1983. Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus. Summary: Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peat land. Folia Forestalia 570. 32 s.
- Keipi, K. & Laakkonen, O. 1980. Päätehakkuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja. Summary: Profitability comparisons of urea fertilization in old stands. Folia Forestalia 420. 35 s.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 114. 55 s.
- Laakkonen, O., Keipi, K. & Lipas, E. 1983. Typpilannoituksen kannattavuus varttuneissa kangasmetsissä. Summary: Profitability of nitrogen fertilization in mature forests on mineral soils. Folia Forestalia 577. 20 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108. 74 s.
- Lipas, E. 1988. Typpilannoituksen ajankohta kangasmetsissä. Summary: Timing of nitrogen fertilization on mineral soils. Folia Forestalia 709. 22 s.
- Malm, D. & Möller, G. 1975. Skillnader i volymtillväxtökning efter gödsling med urea resp ammoniumnitrat. Summary: Differences in volume growth increase after fertilization with urea and ammonium nitrate fertilizer. Föreningen Skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1974: 46—74.
- Metsähallituksen ohjeet keskusmetsälautakunnille metsänparannuslainsäädännön mukaisesta lannoituksesta. 1988. Helsinki.
- Metsä- ja uittoalan työehtosopimus ja sen mukaiset metsätyöpalkkojen taulukot 1.3.1986—28.2.1988. Palkkausalue 4. 1986. Sanomapaino. Helsinki. 118 s.
- Metsän lannoitus- ja kasvinsuojeluopas. 1981. Kemira Oy.
- Metsätalastollinen vuosikirja eri vuosilta (1977—1987). Suomen virallinen tilasto (eri vuosina eri numeroilla).
- Mälkönen, E. 1979. Kangasmaiden lannoitustutkimus. Summary: Research on forest fertilization on mineral soils. Teoksessa: Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Metsäntutkimuslaitoksen metsänlannoituksen seminaari 15.2.1979. Folia Forestalia 400: 20—28.
- Möller, G. 1982. Gödslingstidpunktens betydelse för gödslingseffekten. Summary: The influence of the

time of fertilizer application on growth response. Föreningen Skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1981: 46—84.

- 1987. Ståndortsanpassad gödsling ökar lönsamheten. Summary: Increased profitability from site adjusted forest fertilization. Föreningen skogsträdsförädling, Institutet för skogsförbättring. Årsbok 1986: 59—81.

Pettersson, F. 1987. Förlängt gödslingsomdrev minskar kubikmeterkostnaden. Summary: Decreased cubic metre cost by increasing the application interval.

Institutet för skogsförbättring. Information, Gödsling 1986/87 (3). 6 s.

Puun hintasuositussopimus 15.4.1986—31.3.1987. 1986. Viro, P. 1972. Die Walddüngung auf finnischen Mineralböden. Folia Forestalia 138. 19 s.

Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatussmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(2). 271 s.

Total of 21 references

SUMMARY

Profitability of repeated fertilization on mineral soils

The profitability of repeated fertilization in stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in southern Finland were examined. The study was based on experimental plots and on models based on those plots. The mean values of the stand characteristics describing the sample plots at the time when the plots were established are shown in Table 1. The calculation of the volume growth response to fertilization is based on the models developed by Kukkola and Saramäki (1983). Other stand variables needed in the economical calculations were produced for this study (see Appendix 1). The procedure how the development of unfertilized and fertilized tree stands were obtained is explained in Appendix 2.

The additional money values obtained by fertilization for each fertilized plot was the sum of two components: 1) the difference between the stumpage values of fertilized and unfertilized tree stands at the end of the investigated period; 2) the difference between the stumpage revenues from thinnings in fertilized and unfertilized tree stands (see formula in chapter 61.). The trend prices of the year 1986/87 were used as the real stumpage prices. The trend prices were calculated according to the stumpage prices of the years from 1978/79 to the year 1986/87 and the corresponding wholesale price indexes. These stumpage prices were adjusted by the commercial volume of the stems.

The average additional stumpage value by the repeated fertilizations during the investigated period was in pine stands 4800 FIM/ha and in spruce stands 4700 FIM/ha.

The fertilization costs were calculated as the sum of the price of the fertilizers and the costs caused by planning, supervision of work, transportation and spreading, all according to the price level of December 1987. The fertilization costs were in pine stands during the investigated period (see Table 2) 1700 FIM/ha and in spruce stands 2100 FIM/ha. The harvested volumes and the amounts of fertilizers were relatively small compared with those recommended today. These two facts also caused the real internal interests obtained in this study to be smaller than would "normally" be expected.

The incremental profitability of fertilization was measured by the real internal rate of interest. The mathematical formula of the real internal rate of

interest is expressed in chapter 61. The profitability calculations were carried out in two ways. On one hand the costs were totally paid by a forest owner and on the other hand different subsidies given by the state in the form of partial subsidy or low interest loan was assumed. Also the effects of taxation were studied.

The main results of this study are presented in Figures 1—4. According to them we can conclude that

- without the subsidies given by the state the real internal rate of interest was in pine stands 7.3 % and in spruce stands 4.6 %.
- from the standpoint of private forest owner low interest loan given by the state is better alternative than partial (30 %) subsidy
- a low interest loan improves the real profitability of fertilization in pine stands from 7.3 % to 18.5 % and in spruce stands from 4.6 % to 12.6 % respectively. So the subsidies given by the state make the profitability almost three times as good as without subsidies
- the possibility to take the interests of loan and fertilizer costs as depreciations in taxation also improves the profitability of fertilization. When a 45 % marginal taxation was assumed then 4 to 5 percentage units better internal rates of interest were obtained
- in the average fertilization of pine stands was more profitable than fertilization of spruce stands with and without the subsidies given by the state
- repeated fertilizations were most profitable in rather mature stands and the profitability decreased towards younger or older age groups. The highest profitability in the pine stands was obtained at the age group of 60—79 years and in the spruce stands at the age group of 80—99 years. However, it must be noticed that there were no observations from 40—79 years old spruce stands.

A study to be published later indicates that the internal rates of interest increase considerably if the single nitrogen dose is greater than that used in this study and if the tree stands are thinned in a reasonable way with respect to time and intensity. On the sample plots used here, the thinnings have been both occasional and slight.

Liite 1. Hakkuarvojen laskennassa käytetyt puustoa kuvaavat mallit.
Appendix 1. Tree stand models used in timber value calculations.

Puulaji <i>Tree species</i>	Selitettävä muuttuja <i>Dependent variable</i>	Havaintoja <i>Observations</i>	R ²	Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	t-arvo <i>t-value</i>
Mänty <i>Pine</i>	$\ln(1-S\%/96)$	2129	0,975	Vakio — <i>constant</i>	0,502460	60,00
				\bar{v}	-5,23056	-167,68
				T	-0,00451611	-26,60
Kuusi <i>Spruce</i>	$\ln(1-S\%/95)$	685	0,958	Vakio — <i>constant</i>	0,646951	4,48
				\bar{v}	-5,18886	-37,11
				H_{dom}	-0,0673720	-3,84
				H_{dom}^2	0,00259522	4,39
Mänty <i>Pine</i>	100-W%	2803	0,979	$\bar{v}(540\bar{v})^{-1,2}$	99,6588	2938,21
Kuusi <i>Spruce</i>	100-W%	1027	0,988	$\bar{v}(560\bar{v})^{-1,2}$	99,6393	1368,83
Mänty <i>Pine</i>	$\ln\bar{v}_s$	2129	0,945	Vakio — <i>constant</i>	-1,93188	-201,15
				\bar{v}	2,63507	44,71
				\bar{v}^2	-1,11295	-16,13
				TH_{100}	0,000108511	9,47
Kuusi <i>Spruce</i>	\bar{v}_s	685	0,927	Vakio — <i>constant</i>	0,210789	105,78
				$\bar{v}^{1,3}$	0,787442	92,91
Mänty <i>Pine</i>	\bar{v}_p	2654	0,877	$c^{c^{-1}}$ $c = 0,1241\sqrt{H_{\text{dom}}}$	0,424638	295,14
Kuusi <i>Spruce</i>	\bar{v}_p	989	0,887	$c^{c^{-1}}$ $c = 0,1265\sqrt{H_{\text{dom}}}$	0,363314	169,45
Mänty <i>Pine</i>	$\bar{d}_p = e^{(\ln\bar{v}_p + 2,2945)/2,57025}$					
Kuusi <i>Spruce</i>	$\bar{d}_p = e^{(\ln\bar{v}_p + 2,41218)/2,62463}$					

Esimerkiksi männyn tukkipuun osuus tilavuudesta (%) saadaan ratkaisemalla S% yhtälöstä
 For example, the percentage of sawtimber is obtained by solving S% from the equation

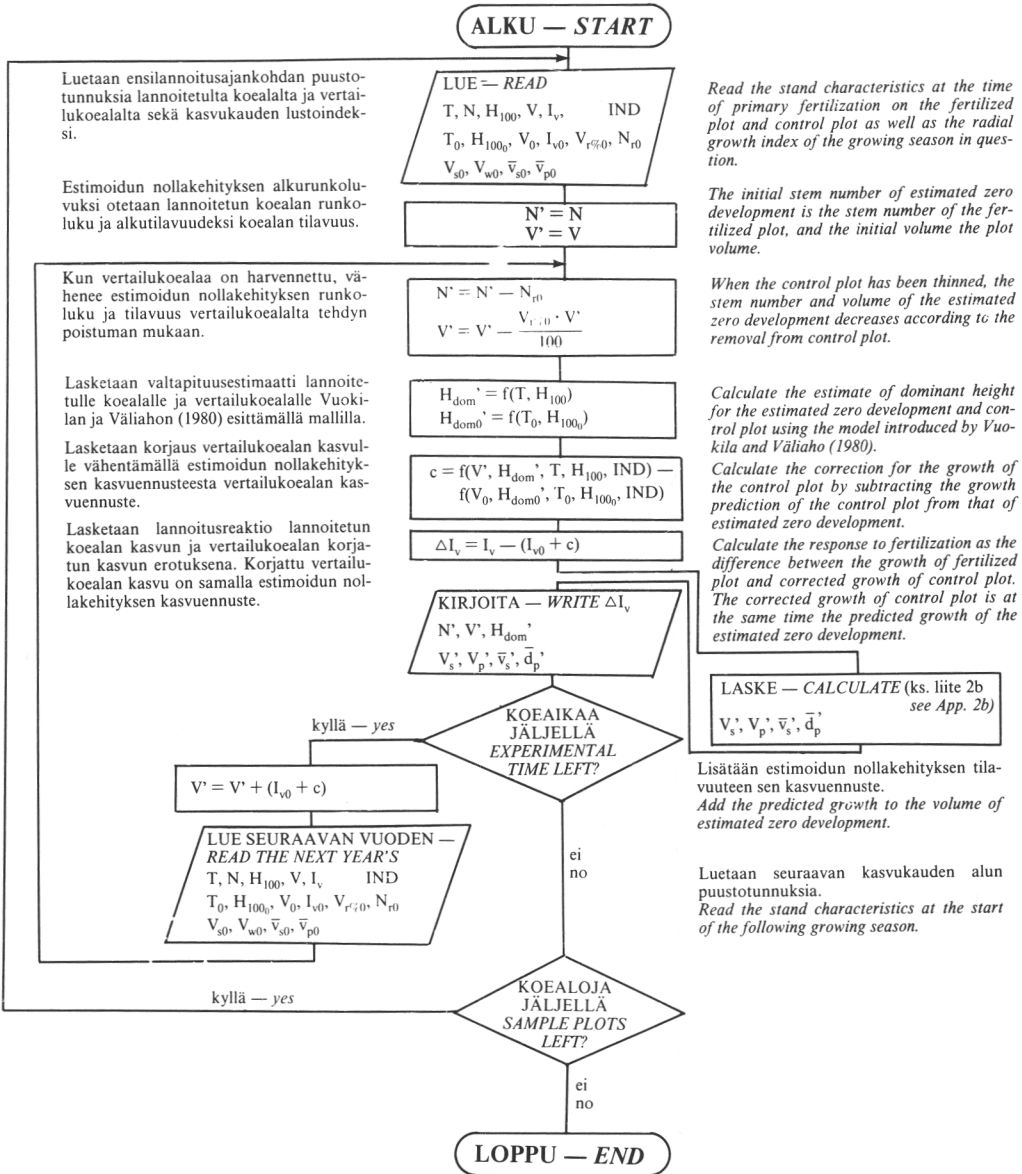
$$\ln(1-S\%/96) = 0,502460 - 5,23056\bar{v} - 0,00451611T$$

Liitteiden 1 ja 2 merkinnät, ks. s. 20
 For symbols in App. 1 and 2, see p. 20

Kaavio estimoidun nolakehityksen laskennasta kokeen tyypellä lannoitetuille koealoille. Estimoitu nolakehitys tarkoittaa ennustetta siitä, kuinka ko. koealan puusto olisi kehittynyt ilman lannoitusta. Lannoitetun koealan puustotunnusten merkinnät ovat alaindeksittömiä ja vertailukoealan tunnusten alaindeksinä on 0. Kun kokeella on useita vertailukoealoja, käytetään tunnusten keskiarvoja:

Flowchart of the calculation of the estimated zero development for the nitrogen fertilized plots of one experiment. The estimated zero development refers to the predicted value for unfertilized stand development. The stand characteristics of the fertilized plots are not marked with subindexes and the subindex of the control plot is 0. If there are several control plots in the experiment, mean values of the characteristics are used:

$$\bar{f}(V_0, H_{dom0}, T_0, H_{100}, IND), \bar{I}_v, \bar{H}_{100}, \bar{V}_{r\%0}, \bar{N}_{r0}, \bar{V}_{s0}, \bar{V}_{p0}, \bar{V}_{w0}, \bar{V}_{s0}, \bar{V}_{p0}$$



Liite 2 b

Estimoidun nollakehityksen tukki- ja kuitupuumäärien sekä järeystunnusten laskenta.

Appendix 2 b

The calculation of the volume of sawtimber and pulpwood as well as the mean commercial volume of sawtimber stems and the mean diameter of pulpwood stems for the estimated zero development.

Lasketaan estimoidun nollakehityksen ja vertailukoelan puiden keskitilavuus

$$\bar{v}' = \frac{V'}{N'}$$

$$\bar{v}_0 = \frac{V_0}{N_0}$$

... sekä vertailukoelan tukkipuuprosentti

$$S_{\%0} = \frac{V_{s0} \cdot 100}{V_0}$$

... ja hukkapuuprosentti.

$$W_{\%0} = \frac{V_{w0} \cdot 100}{V_0}$$

Calculate the mean volume of stems for the estimated zero development and control plot,

... and the percentage of saw timber for control plot.

... and the percentage of waste for control plot.

Lasketaan korjaus (= estimaattien erotus) vertailukoelaa

$$c_{s\%} = f_{s\%}(T, \bar{v}', H_{dom}') - f_{s\%}(T_0, \bar{v}_0, H_{dom0}')$$

... tukkipuuprosentille

Calculate the correction for the control plot (= the difference between estimates)

... for the saw timber percentage

... hukkapuuprosentille

$$c_{w\%} = f_{w\%}(\bar{v}') - f_{w\%}(\bar{v}_0)$$

... for the waste percentage

... tukkirunkojen käyttöosan keskitilavuudelle

$$c_{\bar{v}s} = f_{\bar{v}s}(T, \bar{v}', H_{100}') - f_{\bar{v}s}(T_0, \bar{v}_0, H_{1000}')$$

... for the mean commercial volume of saw timber stems

... sekä kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuudelle.

$$c_{\bar{v}p} = f_{\bar{v}p}(H_{dom}') - f_{\bar{v}p}(H_{dom0}')$$

... and for the mean commercial volume of pulpwood stems.

Lasketaan estimoidun nollakehityksen

$$V_s' = \frac{(S_{\%0} + c_{s\%}) \cdot V'}{100}$$

Calculate for the estimated zero development

... tukkipuun määrä

... the volume of saw timber

... hukkapuun määrä

$$V_w' = \frac{(W_{\%0} + c_{w\%}) \cdot V'}{100}$$

... the volume of waste

... kuitupuun määrä

$$V_p' = V' - V_s' - V_w'$$

... the volume of pulpwood

... tukkirunkojen käyttöosan keskitilavuus

$$\bar{v}_s' = \bar{v}_0 + c_{\bar{v}s}$$

... the mean commercial volume of saw timber stems

... kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuus

$$\bar{v}_p' = \bar{v}_{p0} + c_{\bar{v}p}$$

... the mean commercial volume of pulpwood stems

... sekä kuiturunkojen keskiläpimitta rinnankorkeudella.

$$\bar{d}_p' = f(\bar{v}_p')$$

... and the mean diameter of pulpwood stems at breastheight.

Merkinnät liitteissä 1 ja 2 — Symbols in Appendices 1 and 2

T	metsikön ikä, v age of the stand, yr	\bar{v}_s	tukkirunkojen käyttöosan (tukkiosa + kuituosa) keskitilavuus, m ³ mean commercial volume (sawtimber + pulpwood) of sawtimber stems, m ³
N	runkoluku, kpl/ha stems/ha	V_p	kuitupuun kuorellinen tilavuus, m ³ /ha volume of pulpwood incl. bark, m ³ /ha
Nr	harvennuksessa poistuva runkoluku, kpl/ha number of stems removed in thinning, no/ha	\bar{v}_p	kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuus, m ³ mean commercial volume of pulpwood stems, m ³
H _{dom}	valtipituus; hehtaaria kohti 100 paksuimman puun keskipituus, m dominant height; the mean height of the 100 thickest trees per hectare, m	\bar{d}_p	tilavuudella painotettu kuiturunkojen keskiläpimitta rinnankorkeudella, cm mean diameter of pulpwood stems at breastheight; weighted with stem volume, cm
H ₁₀₀	pituusboniteetti; valtipituus 100 vuoden iällä, m site index; dominant height at the age of 100 years,	V_w	hukkapuun kuorellinen tilavuus, m ³ /ha volume of waste incl. bark, m ³ /ha
V	kuorellinen tilavuus, m ³ /ha stem volume incl. bark, m ³ /ha	W _%	hukkapuun osuus tilavuudesta, % waste, per cent of volume
\bar{v}	metsikön puiden keskitilavuus, m ³ mean volume of all trees, m ³	I _v	vuotuinen kuorellinen tilavuuskasvu, m ³ /ha/v annual volume increment incl. bark, m ³ /ha/yr
V _{r%}	harvennuspoistuman osuus tilavuudesta, % percentage of volume removed in thinning	ΔI_v	lannoituksen aiheuttama vuotuinen kasvureaktio, m ³ /ha/v annual growth response to fertilization, m ³ /ha/yr
V _s	tukkipuun kuorellinen tilavuus, m ³ /ha volume of saw timber incl. bark, m ³ /ha	IND	lustoaindeksi, normaalivuoden sädekasvun taso = 100 radial growth index, the normal level = 100
S _%	tukkipuun osuus tilavuudesta, % saw timber, per cent of volume		

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) 82 912

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 tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Field 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:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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



- No 729 Oksanen-Peltola, Leena: Eteläsuomalaisen VT-männikön uudistamisvaihtoehtojen yksityistaloudellinen edullisuusvertailu.
Profitability comparisons of some regeneration alternatives of *Vaccinium* type pine stands in private forests of southern Finland.
- No 730 Metsätalastollinen vuosikirja 1988.
Yearbook of Forest Statistics, 1988.
- No 731 Hynynen, Jari & Kukkola, Mikko: Harvennustavan ja lannoituksen vaikutus männikön ja kuusikon kasvuun.
Effect of thinning method and nitrogen fertilization on the growth of Scots pine and Norway spruce stands.
- No 732 Pajuoja, Heikki: Suomen puunkäyttö ja poistuma 1986—1987.
Wood utilization and total drain in Finland 1986—1987.
- No 733 Saksa, Timo: Männyn taimikoiden tila auraus- ja äestysaloilla Etelä-Savossa.
State of Scots pine plantations in ploughed or harrowed reforestation areas in central Finland.
- No 734 Korhonen, Kari T: Puutavaralajijakauman arvioinnin luotettavuus valtakunnan metsien inventoinnissa.
Reliability of estimation of timber assortment distribution in National Forest Inventory of Finland.
- No 735 Salonen, Tommi & Oja, Seppo: Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1988.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1988.
- No 736 Poikajärvi, Helena, Sepponen, Pentti & Varmola, Martti (toim.): Tutkimus luonnonsuojelualueilla.
Research activities on the nature conservation areas.
- No 737 Lyly, Olavi & Kurki, Hannu: Fenoksiherbisidit ja glyfosaatti kasveissa. Kirjallisuuskatsaus.
Phenoxy herbicides and glyphosate in plants. Literature review.
- No 738 Raulo, Jyrki & Hokkanen, Tatu: Harmaa- ja tervalepän karikesato. Litter fall of *Alnus incana* and *Alnus glutinosa*.
- No 739 Ripatti, Pekka & Reunala, Aarne: Yksityismetsälöiden lukumäärän kehitys rekisteritietojen perusteella.
Utvecklingen av antalet privata skogsbruksenheter på basen av registeruppgifter.
Development of the number of private forest holdings in Finland.
- No 740 Hämääläinen, Jouko, Laakkonen, Olavi & Kukkola, Mikko: Toistuvan lannoituksen kannattavuus kangasmailla.
Profitability of repeated fertilization on mineral soils.