



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1989

741

Olavi Laakkonen

TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS ETELÄ-SUOMEN
KUIVAHKON KANKAAN MÄNNIKÖISSÄ

The profitability of repetitive fertilization in pine stands on dryish
mineral soil in southern Finland

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 857 051
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-Ahvonen
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 741

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1989

Olavi Laakkonen

TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS ETELÄ-SUOMEN KUIVAHKON KANKAAN MÄNNIKÖISSÄ

The profitability of repetitive fertilization in pine stands on dryish
mineral soil in southern Finland

Approved on 25.10.1989

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA -MENETELMÄ	3
21. Tutkimustehtävä	3
22. Menetelmä	4
3. KASVUNLISÄYSTEN LASKENTA	4
31. Perusaineisto	4
32. Lannoitukset	4
33. Harvennukset	5
34. Kasvunlisäykset	5
4. KANTOHINNAT JA LANNOITUSKUSTANNUKSET	6
41. Kantohinnat	6
42. Lannoituskustannukset	7
5. HAKKUUARVOJEN LISÄYKSET	7
6. TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS	8
61. Laskelmien perusteet	8
62. Lannoitusten lukumäärä	9
63. Lannoitettavan metsikön ikä	10
64. Lannoitemäärä	13
65. Lannoitelaji	19
7. YHTEENVETO	21
KIRJALLISUUS — REFERENCES	22
SUMMARY	23
LIITTEET — APPENDICES	24

LAAKKONEN, O. 1989. Toistuvan lannoituksen kannattavuus Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männiköissä. Summary: The profitability of repetitive fertilization in pine stands on dryish mineral soils in southern Finland. *Folia Forestalia* 741. 26 p.

Tässä tutkimuksessa on toistuvan lannoituksen kannattavuutta selvitetty tavanomaisesta poiketen pelkästään matemaattisten mallien avulla. Tutkimuksessa on selvitetty, miten kannattavuus vaihtelee eri ikäisissä Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männiköissä, kun lannoituskäsittely vaihtelee tietyissä rajoissa.

Lannoitteena käytettiin ureaa ja oulunsalpietaria, lannoitemäärä vaihteli 80—240 N kg/ha välillä ja lannoituksia suoritettiin yhdestä viiteen kertaan 12 vuoden jakson aikana koko tarkastelujakson ollessa 18 vuotta. Laskelmat suoritettiin metsiköissä, jotka ensilannoitushetkellä vastasivat puustoltaan keskimäärin 30-, 50-, 70- ja 90-vuotiaita metsiköitä. Tutkimus perustuu niiden tilavuuskasvua, puutavaralajirakennetta ja keskimääräisiä runkolajien tilavuuksia kuvaavien mallien käyttöön.

Kantohinnat määriteltiin hakkuuvuosien 1978/79—1986/87 kantohintojen perusteella laskettujen lineaaristen trendiyhtälöiden avulla. Kustannuksina otettiin huomioon lannoite-, työnjohto- ja suunnittelu-, kuljetus- ja levityskustannukset.

Kannattavuutta mitattiin reaalisella sisäisellä korolla. Laskelmat suoritettiin simuloimalla suuri määrä erilaisia lannoitusvaihtoehtoja eri ikäluokissa. Tulokset esitetään monipuolisesti ryhmiteltyinä taulukoiden ja histogrammien muodossa. Yhteenvetona tuloksista voidaan mainita, että kuivahkon kankaan toistuva lannoitus on poikkeuksetta kannattava investointi.

The profitability of repetitive fertilization is examined purely on the basis of mathematical models. Profitability is shown to be dependent on variations of the fertilization treatment. The calculations were carried out for pine stands on dryish mineral soils in southern Finland.

Urea (46,5 % N) or ammonium nitrate with lime (27,5 % N) fertilizers were employed, the amount varying between 80—240 N kg/ha and the number of applications between 1—5 during a 12 years period. The whole investigated period was 18 years. The calculations were carried out for stands which at the time of the first fertilization were 30-, 50-, 70- and 90 years old. The mathematical models describe the development of volume, changes in saw timber and pulpwood percentages as well as changes in the mean volume of saw timber and pulpwood stems.

Stumpage prices were calculated from a linear trend equations which were based on the stumpage prices actually paid in southern Finland during 1978—1988. The costs were calculated as a sum of the cost of fertilizer, planning and supervising, transportation and spreading.

Profitability was measured by the real internal interest. The calculations were carried out by simulating several different fertilization treatments. Repetitive fertilization is, in every case, shown to be a profitable investment.

Keywords: repetitive fertilization, investment, simulation, profitability.
ODC 651.75 + 237.4 + 114.36

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

ISBN 951-40-1079-5
ISSN 0015-5543

Helsinki 1989. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Suomessa on julkaistu vähän tutkimustuloksia toistuvan lannoituksen edullisuudesta (Hämäläinen, Laakkonen ja Kukkola 1989). Kertalannoituksen edullisuudesta on julkaistuja tutkimuksia huomattavasti enemmän niin Suomessa kuin ulkomaillakin (Keipi ja Laakkonen 1980, Laakkonen ym. 1983, Hämäläinen ja Laakkonen 1983, Keltikangas ja Seppälä 1973, Möller 1986, Pettersson 1987). Kertalannoituksen kannattavuutta koskevat tutkimukset ovat rajoittuneet lähinnä päätehakkuihin tai niitä hyvin lähellä oleviin metsiköihin. Tällöin ainoa päätehakkuuta edeltävä toimenpide metsikössä on ollut lannoitus. Tämän jälkeen koko puustopääoma on ajateltu realisoitavan päätehakkuussa. Näissä tapauksissa päätöksentekotilanne on ollut yksinkertaisempi: päätehakkuu suoritetaan heti tai lannoitetaan tai jätetään lannoittamatta ja päätehakkuu suoritetaan vasta myöhemmin, yleensä 5—8 vuoden kuluttua.

Toistuvan lannoituksen kohteena voi olla minkäläinen puusto tahansa. Päätöksentekijän on syytä harkita ryhtyykö lannoitukseen lainkaan ja jos ryhtyy niin kuinka usein lannoittaa, millä lannoittelajilla kulloinkin, kuinka paljon lannoittaa kullakin kerralla, minkätyyppiset kasvupaikat ja minkäikäiset metsiköt olisi syytä valita lannoitettaviksi. Kertalannoituksista saatuja tuloksia ei voida käyttää hyväksi arvioitaessa toistuvan lannoituksen kannattavuutta, sillä myöhempien lannoitusten vaikutukset riippuvat aikaisemmista lannoituksista. Toisaalta, kuten sanottu, kertalannoitusta koskevat tutkimukset ovat kohdistuneet varttuneisiin metsiköihin ja

tarkasteltava aikaperiodi on ollut lyhyt.

Tämän tutkimuksen perustana on Metsän tutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1955—65 perustamat kokeet ja ennen kaikkea näiden kokeiden perusteella Metsän tutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnalla tehty toistuvan lannoituksen aiheuttamaa kasvureaktiota käsittelevä tutkimus (Kukkola ja Saramäki 1983) sekä puuston järeytymistä ja puutavaralajien osuuden kehitystä kuvaavat mallit (Hämäläinen, Laakkonen ja Kukkola 1989).

Tutkimuksen valmistumisajankohtana todellisten hakkuiden Suomessa jatkuvasti alitaessa hakkuusuunnitteet voidaan kysyä onko aiheellista tutkia keinoja millä puuta saadaan tuotetuksi lisää. Ilmeistä kuitenkin on, että tällainen tilanne ei ole pysyvä. Kysynnässä ja tarjonnassa tulee aina olemaan ajallisia ja paikallisia vaihteluita. Toisaalta eri päätöksentekijöiden kannalta tilanne tänäkin päivänä on hyvin erilainen.

Tutkimuksen on suunnitellut ja toteuttanut sekä käsikirjoituksen kirjoittanut Olavi Laakkonen. Myös tietojenkäsittelyn suunnittelusta on vastannut Olavi Laakkonen ja toteutuksesta Ilpo Mäkinen. Tässä yhteydessä minulla on erinomainen tilaisuus lausua parhaat kiitoksetni professoreille Matti Keltikangas ja Simo Poso, jotka ovat tehneet monia varteenotettuja huomautuksia käsikirjoitukseen. Myös professori Jouko Hämäläinen on myötävaikuttanut käsikirjoituksen viimeistelyyn. Käytännön kysymyksissä olen saanut arvokasta apua mm. Mikko Kukkolalta. Tutkimus on laadittu Metsän tutkimuslaitoksen liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla, ja on osa laajempaa tutkimusta. Tähän laajempaan tutkimussuunnitelmaan ovat tutustuneet ja ottaneet kantaa myös professorit Jouko Hämäläinen, Kari Mielikäinen ja Eino Mälkönen.

2. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA -MENETELMÄ

21. Tutkimustehtävä

Tavoitteeksi asetettiin selvittää Etelä-Suomen männiköiden, joissa $H_{100} = 21$ m, toistuvan lannoituksen liiketaloudellista edullisuutta sellaisten metsätalouden harjoittajien kannalta, jotka eivät tähän hankkeeseen voi saada tai eivät halua yhteiskunnan tukea metsänparan-

nusrahoituksen muodossa. Tällaisia metsätalouden harjoittajia ovat metsäteollisuusyritykset, valtio, kunnat ja seurakunnat, erilaiset järjestöt sekä sellaiset yksityiset metsänomistajat, jotka eivät halua sitoutua valtion metsänparannusrahoituksen edellyttämiin rajoituksiin metsänkäsittelyn suhteen tai eivät täytä metsänparannusrahoituksen saannin ehtoja. Vuokilan ja Väliahon (1980)

mukaan pituusboniteetti $H_{100} = 21$ m vastaa Etelä-Suomen männiköissä joko hyvän kanervatyypin (CT+) tai huonon puolukkatyyppin (VT-) metsiköitä. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää etenkin

- lannoitusten välisen ajan
- lannoitettavan metsikön iän
- lannoitemäärän ja
- lannoitelajin

vaikutusta toistuvan lannoituksen edullisuuteen.

22. Menetelmä

Toistuvan lannoituksen edullisuutta tarkastellaan tässä tutkimuksessa erilliskannattavuutena: tarkastelu koskee yhtä metsikköä. Tarkastelunäkökulma on toisessakin mielessä erillistarkastelu: kustannuksina otetaan huomioon vain lannoituksesta aiheutuvat menot eikä lannoitettavaan puustoon ja maahan sitoutuvaa alkupääomaa (ks. Hämäläinen ja Laakkonen 1983). Periaatteessa metsätalouden harjoittajan olisi samanaikaisesti arvioitava panostuksiaan ja niihin sitoutuvia resursseja koko metsälön ja koko yrityksensä kannalta. Edellä mainitulla tavallakin rajattuna tutkimus tuottaa arvokasta tietoa siitä, miten toistuvalla lannoituksella kyetään tuottamaan uusia taloudellisia arvoja.

3. KASVUNLISÄYSTEN LASKENTA

31. Perusaineisto

Puuston kasvun sekä toistuvien lannoitusten aiheuttamien kasvunlisäysten laskenta perustui Kukkolan ja Saramäen (1983) esittämiin malleihin. Mallien lannoitusreaktioita selittävinä muuttujina ovat puulaji, kasvupaikan boniteetti, runkoluku, valtapituus, lannoitemäärä, lannoitelaji sekä lannoitusten ajoittuminen. Tarkasteltavien metsiköiden ikä ensilannoitushetkellä oli 30, 50, 70 ja 90 vuotta. Taulukossa 1 on esitetty mallien tarvitsemien muiden metsällisten tunnusten arvot tarkastelujakson alkuajankohtana. Nämä arvot otettiin Vuokilan ja Väliahon (1980) viljeltyjen havumetsien kehitystä käsittelevästä tutkimuksesta. Tutkimuksen tarkastelujakso eli investoinnin pitoaika oli kaikissa tapauksissa 18 vuotta, joskin myöhemmin esitetään myös mitä tuon tarkastelujakson lyhentäminen tai pidentäminen olisi kannattavuuteen marginaalisesti vaikuttanut.

Edullisuuden mittarina käytettiin lannoitusinvestoinnin reaalista sisäistä korkoa, jota laskettaessa menoina otettiin huomioon lannoitusmenot ja tuloina mahdolliset harvennustulot ja tutkimusjakson loppuun mennessä lannoituksella aikaansaatua hakkuuarvon lisäys.

Tulosten laskemiseksi simuloitiin kasvunlisäysmallien avulla useita kymmeniä tuhansia erilaisia vaihtoehtoja tutkittavien muuttujien saadessa erilaisia arvoja mallien sallimissa puitteissa. Tuloksina esitetään näiden vaihtoehtojen keskiarvoja ja -hajontoja.

Päätöksentekijä voi jonkin verran helpommin verrata toistuvan lannoituksen tuottamaa taloudellista hyötyä muiden tarjolla olevien sijoitusvaihtoehtojen tuottamaan hyötyyn vertaamalla niiden tuottamia sisäisiä korkoja keskenään. Vertailussa on otettava huomioon paitsi koron odotusarvo myös mm. sijoituksiin liittyvät erisuuruiset riskit. Toistuviin lannoituksiin liittyvää vaihtelua on tässä tutkimuksessa kuvattu sisäisen koron keskihajonnalla. Vertailuja vaikeuttaa myös eri sijoitusvaihtoehtojen eripituiset pitoajat, erilaiset tulo- ja menovirrat, likvidointimahdollisuudet, verotus ja monet muut tekijät. Tässä tutkimuksessa toistuvan lannoitusinvestoinnin pitoaika on 18 vuotta, kun se muissa sijoitusvaihtoehtoisissa on yleensä huomattavasti lyhyempi. Tällöin vertailut eivät ole niin suoraviivaisia, että vertailtaisiin vain sisäisiä korkoja, vaan huomioon on otettava myös muita tekijöitä, jotka eivät ole tämän tutkimuksen aluetta (ks. Hämäläinen 1973). Tässä tutkimuksessa on sisäistä korkoa ja sen keskihajontaa käytetty lähinnä eri lannoitusvaihtoehtojen keskinäisen edullisuuden vertailupohjana.

Taulukko 1. Eräiden puustotunnusten arvot lannoituksen aloitusajankohtana.

Table 1. The values of some characteristics at the time of the first fertilization.

Puustotunnus Characteristics	Metsikön ikä, vuotta Age of stand, years			
	30	50	70	90
Tilavuus, m ³ Volume, m ³	39,1	110,5	156,8	174,0
Runkoluku, kpl No of stems	1800	1012	608	377
Tukki-% Percentage of sawtimber	—	25	66	87
Kuitu-% Percentage of pulpwood	72	73	33	13

32. Lannoitukset

Vaihtoehtoisina lannoitelajeina käytettiin ureaa ja oulunsalpietaria. Kullakin lannoituskerralla lannoitelajina saattoi olla joko

urea tai oulunsalpietari riippumatta siitä, mitä lannoitetta oli mahdollisessa edellisessä lannoituksessa käytetty. Metsähallituksen ohjeiden (1988) mukaan tulisi männiköiden lannoituksissa käyttää ureaa 325 kg/ha (150 kg N) tai oulunsalpietaria 550 kg/ha (150 kg N) joka toisella lannoituskerralla ja joka toisella NP-lannosta 600 kg/ha (150 kg N). Kasvumallien asettamien rajoitusten johdosta tämäntapaisten lannoitusketjujen kannattavuutta ei voitu tarkastella.

Tutkimuksessa simuloitiin vaihtoehtoja, joissa lannoituskertojen lukumäärä vaihteli yhdestä viiteen 18-vuotisen tarkastelujakson aikana. Ensimmäinen lannoitus suoritettiin aina tutkimusjakson alussa. Kaksi kertaa lannoitettaessa toinen lannoitus suoritettiin aina 12 vuoden kuluttua ensilannoituksesta eli lannoitusväli oli 12 vuotta, kolme kertaa lannoitettaessa lannoitusväli oli aina 6 vuotta, neljä kertaa lannoitettaessa lannoitusten välinen aika oli aina 4 vuotta ja viisi kertaa lannoitettaessa oli lannoitusväli aina 3 vuotta. Tällä järjestelyllä päästiin siihen, että aika viimeisestä lannoituksesta tarkastelujakson loppuun oli aina 6 vuotta. Toisaalta antamalla lannoitusvälin vapaasti vaihdella olisi vaihtoehtoja tullut niin runsaasti, ettei niitä olisi ollut käytännössä mahdollista ratkaista käytettävissä olevilla resursseilla. Lisäksi saltiltaessa mielivaltainen kombinaatio lannoitusajankohtia olisi vastaan tullut kasvumallien relevanttisuuden asettamat rajoitukset.

Lannoitusten välinen aika ei välttämättä ollut vakio koska ensimmäistä lannoitusta lukuunottamatta mikä tahansa muu lannoitus, mutta vain yksi kussakin vaihtoehtoisessa lannoitusketjussa, saatettiin jättää suorittamatta. Esimerkiksi simuloitaessa neljän lannoituksen kannattavuutta sisältyi vaihtoehtoihin tapaus, jossa kolmas lannoitus jätettiin suorittamatta, jolloin lannoitusvälit olivatkin 4 ja 8 vuotta ja lannoituksia olikin itseasiassa kolme.

Lannoitemäärä vaihteli siten, että kerta-annos sisälsi puhdasta typpeä 60—240 kg/ha, jolloin siis kerrallaan levitettävän urean määrä vaihteli välillä 130—520 kg/ha ja oulunsalpietarin määrä välillä 220—870 kg/ha. Näin ollen hehtaaria kohden levitetyn puhtaan typen määrä tutkimusjakson aikana vaihteli kertalannoituksissa 90—210 kg:n, kahden lannoituksen tapauksessa 100—440 kg:n, kolmen lannoituksen tapauksessa 200—680 kg:n, neljän lannoituksen tapauksessa 300—920 kg:n ja viiden lannoituksen tapauk-

sessä 400—1160 kg:n välillä. Keskimääräinen kerta-annos puhdasta typpeä oli noin 150 kg/ha.

33. Harvennukset

Harvennukset suoritettiin Vuokilan ja Väliahon (1980) harvennusmalleja mukaellen siten, että harvennusten voimakkuus oli noin 30 % pohjapinta-alasta. Harvennukset suoritettiin automaattisesti aina lannoitetun metsikön pohjapinta-alan saavuttaessa metsikön valtapituudesta ja kasvupaikasta riippuvan leimausrajan mukaisen käyrän. Tällöin kumpaakin puustoa, siis sekä lannoitettua että lannoittamatonta harvennettiin harvennusmallien mukaisesti niin paljon, että pohjapinta-ala asettui metsikön alarajan mukaiselle käyrälle. Näiden metsikön valtapituudesta riippuvien pohjapinta-alan harvennusmallien matemaattiset funktiot olivat seuraavat:

$$\begin{aligned} \text{alaraja (m}^2/\text{ha)} &= 0,52 + 1,6 h_{\text{dom}} - 0,03 h_{\text{dom}}^2 \\ \text{yläraja (m}^2/\text{ha)} &= 2,53 + 2,1 h_{\text{dom}} - 0,04 h_{\text{dom}}^2 \end{aligned}$$

missä h_{dom} on metsikön valtapituus.

Pohjapinta-alan poistuman ja valtapituuden perusteella saatiin lasketuksi tilavuuspoistuma (Kuusela 1961) ja tilavuuspoistuman perusteella taas puolestaan runkolukupoistuma (Vuokila ja Väliaho 1980). Näin saatiin selville sekä harvennuksen vaikutus kasvu- ja kasvunlisäysmallien selittäviin muuttujiin eli metsikön tila harvennuksen jälkeen että harvennuspoistuman tilavuus ja rakenne. Harvennusmalleina olisi tietysti voitu käyttää myös Vuokilan (1983) tilavuuteen perustuvia malleja. Harvennuksen pohjapinta-alan antavien mallien käyttöön päädyttiin lähinnä siksi, että ne ovat käytännönläheisiä; puuston pohjapinta-alan arviointi käy helposti relaskoopilla.

34. Kasvunlisäykset

Kasvunlisäykset määriteltiin, kuten yleensäkin lannoitetun ja lannoittamattoman metsikön puustojen kasvujen erotuksiksi. Tätä

varten Kukkolan ja Saramäen (1983) kasvumallien sekä puutavaralajien osuuksien ja järeystunnusten kehitystä kuvaavien mallien (ks. Hämäläinen, Laakkonen ja Kukkola 1989) avulla laskettiin rinnakkain sekä lannoitetun että lannoittamattoman metsikön puustotunnusten vuosittaista kehitystä kuvaavat sarjat ensimmäisen lannoituksen jälkeiselle ajalle. Selittävinä muuttujina olivat metsikön ikä ja tilavuus, runkoluku ja valtapituus sekä lannoitetuissa metsiköissä lisäksi lannoittelaji ja -määrä sekä lannoitusten

ajankohdat. Mallien muut selittävät muuttujat ovat tutkimustehtävän rajauksen perusteella vakioita sillä tarkastelun kohteena ovat kasvupaikaltaan pituusboniteettia $H_{100} = 21$ m vastaavat Etelä-Suomen männiköt. Laskennassa käytetyt mallit muuttujaluettelointeen on esitetty liitteessä 1. Liitteessä 2 on yksityiskohtaisesti vuokaavion muodossa kuvattu laskennan eteneminen. Harvennusten vaikutus puustotunnusten kehitystä kuvaaviin sarjoihin otettiin huomioon luvussa 33 esitetyllä tavalla.

4. KANTOHINNAT JA LANNOITUSKUSTANNUKSET

4.1. Kantohinnat

Tutkimuksessa käytettiin kantohintoina hakkuuvuosina 1978/79—1987/88 Etelä-Suomen yksityismetsissä toteutuneiden kauppojen perusteella laskettujen trendiyhtälöiden hakkuuvuoden 1987/88 mukaisia kantohintoja. Vuosittaiset nimelliset kantohinnat muutettiin ensin reaalisiksi tukkuhintaindeksin kokonaisindeksillä hakkuuvuoden 1987/88 rahan arvoon ja trendiyhtälöt laskettiin näin muodostettujen aikasarjojen perusteella. Mäntytukkipuun ja -kuitupuun trendiyhtälöiksi saatiin

$$\begin{aligned} \text{mäntytukkipuu} &= 103,03 + 1,27 \cdot x \\ \text{mäntykuitupuu} &= 59,51 + 0,38 \cdot x \end{aligned}$$

missä x on hakkuuvuotta kuvaava indeksi (esim. hakkuuvuodelle 1987/88 on $x = 87$).

Yhtälöt kuvaavat siis reaalisten kantohintojen kehitystä edellä mainittuna ajanjaksona. Niiden perusteella lasketut hakkuuvuoden 1987/88 peruskantohinnat olivat:

$$\begin{aligned} \text{mäntytukkipuu} & 213,52 \text{ mk/m}^3 \\ \text{mäntykuitupuu} & 92,57 \quad \text{''} \end{aligned}$$

Näiden reaalisten kantohintojen oletettiin pysyvän vakioina koko tarkastelujakson eli 18 vuoden ajan. Peruskantohintoihin tehdään useita yksikköhinnan korjauksia sen mukaan miten leimikko poikkeaa ns. perusleimikosta. Tällaisia peruskantohintaa joko kohottavia tai alentavia tekijöitä ovat leimikon koko, tiheys, metsäkuljetusmatka ja puuston järeys. Tässä tutkimuksessa leimikon koko eli leimi-

kosta kokonaisuudessaan samalla metsänhakkuusopimuksella samalle varastolle myytävä puumäärä sekä metsäkuljetusmatka oletettiin perusleimikon mukaisiksi, joten niillä ei tässä tutkimuksessa ole vaikutusta kantohintoihin. Näihin asioihin ei myöskään lannoituksella voida vaikuttaa. Edellä mainittuihin peruskantohintoihin tehtiin sen sijaan leimikon tiheyden eli hehtaarilta hakattavan puumäärän ja puuston järeiden mukaiset korjaukset.

Harvennussmallien soveltamistavasta johtuen ja tiheyskorjauksen ollessa suhteellisen lievän, ei tiheyskorjauksella ollut suurtakaan merkitystä kannattavuuteen. Puuston järeiden mukaisilla korjauksilla on sen sijaan tärkeä merkitys arvioitaessa lannoituksen kannattavuutta. Lannoitus lisää puuston tilavuutta nimenomaan järeyttämällä puita eli kasvattamalla yksittäisten runkojen tilavuutta. Oikein suoritettu lannoitus parantaa myös puun laatua (Tuimala 1988), tosin vastakkaisiakin käsityksiä on olemassa. Muutamina lannoitusta seuraavina vuosina metsikkö on mahdollisesti myös alttiimpi lumi- ja myrskytuhoille lannoituksen tuuhentaessa latvuksen ennen juuriston lujittumista (Laiho 1988). Toistuvien lannoitusten ollessa kyseessä tämä koskee nimenomaan muutamaa ensilannoituksen jälkeistä vuotta. Tässä tutkimuksessa ei ole käytetyistä menetelmistä johtuen voitu ottaa kantaa kumpaankaan asiaan. Nykyisissä hintasuositussopimuksissa ei puun laatu myöskään ole hinnoittelukriteerinä. Tässä tutkimuksessa peruskantohintoihin tehtiin hakkuuvuoden 1987/88 hintasuositussopi-

musten mukaiset yksikköhinnan korjaukset seuraavasti:

Järeys:	mäntytukkipuun koko käyttöosan tilavuus (m ³ /runko)	yksikköhinnan korjaus, mk/m ³
	—0,3	—4
	0,3—0,4	—2
	0,4—0,5	0
	0,5—0,6	+2
	0,6—	+4
	mäntykuitupuun keskimääräinen rinnankorkeuslöpimitta, cm	
	— 7	—25
	— 9	—15
	11	— 5
	13	0
	15	+ 5
	17	+10
	19+	+15
Tiheys:	hakattava puumäärä yhteensä, m ³ /ha	
	—30	—8
	31—60	—3
	61—100	0
	101—150	+3
	150—	+5

Tukkirunkojen käyttöosan järeys saatiin suoraan liitteen 1 mallien perusteella. Sen sijaan kuiturungon keskimääräinen rinnankorkeuslöpimitta laskettiin löpimitan ja tilavuuden keskinäisen riippuvuuden perusteella (Laasasenaho 1976). Järeystunnusten laskenta on selvitetty myös liitteessä 2.

42. Lannoituskustannukset

Lannoituskustannukset laskettiin lannoite-, suunnittelu- ja työnjohto-, kuljetus- ja levityskustannusten summana hakkuuvuoden 1987/88 loppupuolen kustannus- ja hintatason mukaisesti. Näiden kustannusten oletettiin pysyvän reaalisesti samalla tasolla koko 18-vuotisen tarkastelujakson ajan. Tutkimuk-

sessä oletettiin siis sekä kantohintojen että lannoituskustannusten pysyvän reaalisesti hakkuuvuoden 1987/88 lopun tasolla koko tutkimusjakson ajan.

Tutkimuksessa käytettyjen typpilannoitteiden yksikköhinnat ilman valmisteveroa olivat seuraavat:

urea	0,92 mk/kg
oulunsalpietari	0,86 mk/kg

Käytetyn urean typpipitoisuus oli 46,3 % ja oulunsalpietarin 27,5 %.

Suunnittelu- ja työnjohtokustannuksiksi laskettiin 75 mk/ha. Lannoitteen yksikköhintaan lisättäväksi kauko- ja lähikuljetuskustannukseksi arvioitiin yhteensä 0,20 mk/kg.

Metsä- ja uittoalan vuoden 1988 lopulla voimassaolevan työehtosopimuksen mukaan lannoitteiden käsinlevitys suoritetaan tuntityönä, sovellettavan tuntipalkan ollessa 24,28 mk/t. Tuntipalkkaan lisätään ko. töissä 6,06 mk/t suuruinen olosuhdelisä (Metsä- ja uittoalan työehtosopimus... 1988). Kun työpäivän pituudeksi oletetaan 8 tuntia ja sosiaalikulannuksiksi 42 % palkasta saatiin mies-työpäivän hinnaksi n. 345 mk.

Lannoitteiden levittämiseen katsottiin kuluvan hehtaaria kohden yksi miestyöpäivä, jos levitettävä lannoitemäärä on enintään 400 kg/ha. Työmenekin katsottiin kasvavan taiseesti levitettävän määrän suhteessa siten, että levitettävän lannoitemäärän ollessa 800 kg/ha, levitykseen kuluu kaksi miestyöpäivää. Levitettäessä kertalannoituksena 165 kg puhdasta typpeä hehtaarille on kustannus edellä esitetyillä periaatteilla laskien lannoitelajista riippuen seuraava:

urea	820 mk/ha
oulunsalpietari	1 230 mk/ha

Nämä ovat siis kokonaan omalla kustannuksella suoritettavien lannoitusten yhtä lannoituskertaa kohden laskettuja kokonaiskustannuksia sosiaalikuluneen.

5. HAKKUJARVOJEN LISÄYKSET

Puuston kehitystä kuvaavien mallien selittävät puustotunnukset laskettiin jokaiselle tutkimusjaksoon kuuluvalle vuodelle kasvattamalla taulukossa 1 esitetyjä lähtöpuustoja

vuosi kerrallaan. Laskelmat tehtiin erikseen sekä lannoitetuille että lannoittamattomille puustoille. Näiden perusteella lannoitettuja ja lannoittamattomia puustoja harvennettiin lu-

vussa 33 esitetyllä tavalla. Lannoitetuissa metsiköissä harvennukset tapahtuivat lannoitusreaktion verran suurempina kuin lannoittamattomissa metsiköissä. Lannoitetuissa metsiköissä harvennuspuu oli myös keskimäärin järempää ja tukkipuuvaltaisempaa. Tällöin lannoitusten taloudellinen vaikutus saatiin lannoittamattomiin metsiköihin nähden samanaikaisina mutta suurempina harvennustuloina. Toinen mahdollisuus olisi ollut harventaa metsiköt aina toisistaan riippumatta kunkin puuston saavuttaessa harvennusmallien leimausrajan. Tällöin lannoitettua metsikköä olisi voitu harventaa lannoittamattomaan nähden aina hieman aiemmin. Näin menetellen lannoitusyöty olisi harvennuksissa otettu ajallisesti varhaisempina mutta harvennusmalleista johtuen jokseenkin samansuuruisina harvennustuloina lannoittamattomiin metsiköihin verrattuna.

Harvennuspoistumat hinnoitettiin luvussa 32 esitetyllä tavalla ottaen peruskantohintojen lisäksi siis huomioon poistuman tilavuus, rakenne ja järeyks.

Tässä tutkimuksessa lannoitetun metsikön harvennustulot otettiin huomioon lannoituksella aikaansaatuina tulon lisäyksiä ja vastaavan lannoittamattoman metsikön harvennustulot lannoitusinvestoinnin tulon vähennyksiä.

Hakkuuarvojen lisäyksiä laskettaessa otettiin huomioon harvennustulojen lisäksi tietysti myös lannoitetun ja lannoittamattoman metsikön loppupuustojen hakkuuarvojen erotus eli hakkuuarvojen ero tarkastelujakson lopussa.

Loppupuustojen hakkuuarvojen laskennassa sovellettiin samoja periaatteita kuin harvennuspoistumien kantoraha-arvojen laskennassakin.

Lannoituksilla aikaansaatua hakkuuarvojen lisäys oli siis tulo-menosarja, jossa tuloina olivat lannoitetun metsikön harvennustulot ja loppupuuston hakkuuarvo ja menoina lannoittamattoman metsikön harvennustulot ja loppupuuston hakkuuarvo eli hakkuuarvo tutkimusjakson lopussa.

6. TOISTUVAN LANNOITUKSEN KANNATTAVUUS

61. Laskelmien perusteet

Tässä tutkimuksessa kannattavuutta mitattiin reaalisella sisäisellä korolla. Reaalinen sisäinen korko laskettiin lannoitetun ja lannoittamattoman metsikön harvennustulojen, loppupuustojen hakkuuarvojen erotuksen ja lannoitusmenojen muodostamalle tulo-menosarjalle. Harvennukset suoritettiin metsiköissä aina samanaikaisesti Vuokilan ja Väliahon (1980) suositusten mukaan, metsikön pohjapinta-alan ja valtapituuden perusteella nimenomaan lannoitetun metsikön saavuttaessa leimausten mukaisen ylärajan. Sekä lannoitetun että lannoittamattoman metsikön hakkuupoistuma hinnoiteltiin erikseen. Myös loppupuustot hinnoiteltiin erikseen. Tutkimuksen missään vaiheessa ei siis käytetty hypoteettisia lannoitetun ja lannoittamattoman metsikön puutavarana laskettuja erotuspuustoja tai erotuspoistumia.

Harvennustulot ovat tietenkin realisoitavissa tutkimuksessa menetellyllä tavalla, ovathan niiden perustana olevat harvennusmallit hyvin lähellä nykysuosituksia. Koska vertail-

tavat metsiköt harvennettiin aina samanaikaisesti, olivat lannoittamattoman puuston harvennukset nykysuosituksiin verrattuna hieman lievempiä ja ne toistuivat tavallista useammin. Tämä menettely ei missään tapauksessa liioittele lannoituksen sisäisellä korolla mitattua kannattavuutta vaan mieluummin päinvastoin. Jos lannoittamaton metsikkö olisi harvennettu aina vasta sen saavuttaessa leimausten ylärajan, olisi lannoituksella saatava reaalinen sisäinen korko ollut keskimäärin tässä tutkimuksessa saatua hiukan suurempi. Vaihtelua tietysti esiintyi puoleen ja toiseen metsikön iän, lannoitusten lukumäärän ja lannoitemäärän suhteen.

Loppupuuston hakkuuarvot ja siten myös lannoituksilla aikaansaatua hakkuuarvojen lisäys on realisoitavissa tutkimusjakson lopussa suoritettavaksi ajatellussa päätehakkuussa silloin, kun puusto ensilannoituksen ajankohtana on iältään 70- tai 90-vuotias. Lähtöpuuston ollessa 30- tai 50-vuotias, on tutkimuksessa tehty oletus, että lannoitettua metsikköä voidaan tutkimusjakson lopussa harventaa niin paljon että harvennustulona

saadaan lannoitetun ja lannoittamattoman puuston hakkuuarvojen erotus tutkimusjakson lopussa. Toinen mahdollisuus olisi realisoida kasvunlisäystä vastaava kantoraha-arvo tutkimusjakson lopussa metsänomistajan muista metsiköistä vastaisten kantorahatulosten siitä pienemättä metsänomistajan koko metsätalouden harjoittamisen kannalta asiaa katsottuna.

Niin kuin aiemmin todettiin, kustannusten ja kantohintojen oletettiin pysyvän reaalisesti samalla tasolla kuin ne ovat tutkimusjakson alussa. Tutkimusjakson pituudeksi eli toistuvan lannoitusinvestoinnin pitoajaksi valittiin 18 vuotta. Tämä valinta perustui laskelmiin investoinnin pitoajan vaikutuksesta reaalisesta sisäisen koron tasoon sekä kasvumallien asettamiin fyysisiin rajoituksiin. Käytettyjen kasvumallien kannalta maksimaalinen investoinnin pitoaika on noin 22 vuotta. Kun investoinnin pitoaika lyhennettiin 18 vuodesta 16 vuoteen, laski reaalin sisäinen korko ikäluokittain tarkasteltuna keskimäärin 0,2 prosenttiyksikköä vaihtelun ollessa +0,2:n ja -0,5:n prosenttiyksikön välillä. Lannoitus kertojen lukumäärän kannalta asiaa tarkastellen vastaavan pitoajan lyhennys johti keskimäärin 0,04 prosenttiyksikön reaalisesta sisäisen koron pienemiseen vaihtelun ollessa +0,5:n ja -0,6:n prosenttiyksikön välillä. Kun investoinnin pitoaika jatkettiin 18 vuodesta 20 vuoteen olivat vastaavat reaalin sisäisen koron tason laskut kummassakin edellä mainitussa tapauksessa keskimäärin 0,3 prosenttiyksikköä siten, että missään ikätaikaa lannoituskertaluokassa ei saatu korkeampaa reaalista sisäistä korkoa kuin vastaavassa luokassa pitoajan ollessa 18 vuotta. Näin ollen myöhemmin esitettävillä reaalisista sisäistä korkoa kuvaavilla funktioilla on satulapiste yleensä investoinnin pitoajan ollessa välillä 17—19 vuotta ikäluokasta ja lannoituskertojen lukumäärästä riippuen.

Jotta investoinnit olisivat keskenään paremmin vertailukelpoisia valittiin pitoajaksi aina sama aika ikäluokasta tai lannoituskertojen lukumäärästä riippumatta. Muuten olisi tehtävä oletus, että lyhyempien investointien tuotot voitaisiin edelleen sijoittaa niistä odotettavissa olevaan reaalisesta sisäiseen korkoon pisimmän investoinnin määrittämälle erotusajanjaksolle. Edellä mainituista syistä johtuen ei investoinnin pitoaika ryhdytty lannoituskertojen tai ikäluokan mukaan optimoimaan, vaan investoinnin pitoajaksi valittiin aina 18 vuotta.

Matemaattisesti esitettynä yhteenvedona edellisestä reaalin sisäinen korko saatiin ratkaisemalla yhtälöstä

$$\sum_{k=0}^{n-1} (h_k - h_k^0) \left(\frac{1}{1+i}\right)^k - \sum_{k=0}^m I_k \left(\frac{1}{1+i}\right)^k + (H - H^0) \left(\frac{1}{1+i}\right)^n = 0$$

missä

h_k = lannoitetun metsikön harvennustulo k:n vuoden kuluttua tarkastelujakson alusta lukien (mk/ha)

h_k^0 = lannoittamattoman metsikön harvennustulo k:n vuoden kuluttua tarkastelujakson alusta lukien (mk/ha)

I_k = lannoitusmeno k:n vuoden kuluttua tarkastelujakson alusta lukien (mk/ha, $I_0 > 0$)

H = lannoitetun metsikön hakkuuarvo tarkastelujakson lopussa (mk/ha)

H^0 = lannoittamattoman metsikön hakkuuarvo tarkastelujakson lopussa (mk/ha)

i = reaalin sisäinen korkoprosentti

n = investoinnin pitoaika (vuotta, tässä tutkimuksessa $n = 18$)

m = viimeisen mahdollisen lannoituksen suoritusajankohta vuosissa tarkastelujakson alusta lukien (tässä tutkimuksessa $m = 12$)

k = juokseva indeksi

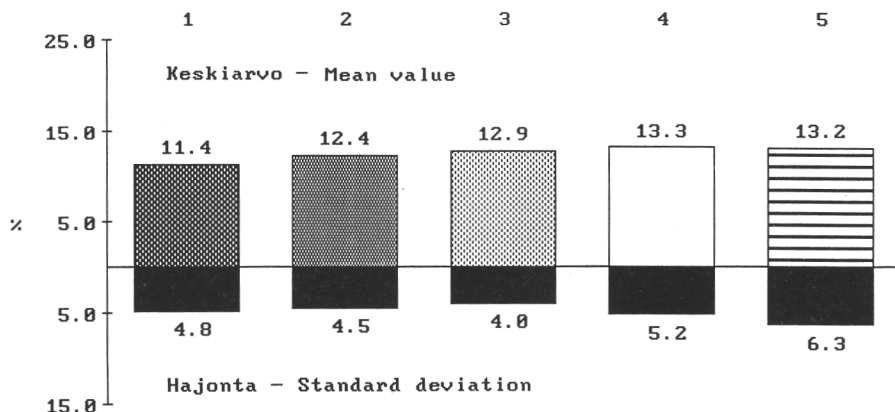
Tätä tutkimusta varten edellä mainitun kaltaisia yhtälöitä ratkaistiin noin 100 000 kpl iän, lannoitelajin, lannoitemäärän, lannoitusten lukumäärän ja pitoajan vaihdellessa edellisissä ja tässä luvussa kuvatulla tavalla. Tutkimustuloksina esitetään monin eri tavoin ryhmiteltyjä reaalin sisäisen koron keskiarvoja ja vastaavia luokan sisäisiä keskihajontoja. Keskiarvot ovat kannattavuuden odotusarvoja ja keskihajonnat kuvaavat kannattavuuden vaihtelua luokan sisällä. Kasvumalleihin liittyvää epävarmuutta ei laskelmissa otettu huomioon, vaan laskelmissa käytettiin mallien antamia odotusarvoja.

62. Lannoitusten lukumäärä

Tutkimuksessa lannoitusten lukumäärä vaihteli yhdestä viiteen siten, että viimeisen lannoituksen ja tarkastelujakson loppuajankohdan välinen aika oli aina 6 vuotta paitsi kertalannoituksissa, joissa ko. aika oli 18 vuotta. Kertalannoituksen tuloksia esitetään tässä tutkimuksessa vain vertailun vuoksi.

Keskimääräinen reaalin sisäinen korko kasvaa neljään lannoituskertaan asti, jonka jälkeen se viisi kertaa lannoitettaessa on jo pienempi kuin neljä kertaa lannoitettaessa (kuva 1). Toisaalta hajonta pienenee, ollen pienimmillään kolmen lannoituksen tapauksessa ja kasvaen tämän jälkeen voimakkaasti

Lannoitusten lkm - Number of fertilizations



Kuva 1. Keskimääräisten reaalisten sisäisten korkojen ja hajontojen riippuvuus lannoitusten lukumäärästä.

Figure 1. The correlation between the average real internal interest and the standard deviation and the number of fertilizations.

lannoituskertojen määrän mukana. Kun kolmen ja neljän lannoituksen tapauksessa sisäisten korkojen odotusarvojen erotus on vain 0,4 prosenttiyksikköä neljän lannoituksen hyväksi, mutta kolmen lannoituksen tapauksessa hajonta on 1,2 prosenttiyksikköä eli odotusarvojen erotukseen nähden kolme kertaa pienempi, voidaan kolmea lannoituskertaa pitää keskimäärin parhaimpana vaihtoehtona. Keskimäärin tutkimuksen männiköissä saadaan toistuvilla lannoituksilla noin 13 % reaalin sisäinen korko.

Kaiken kaikkiaan, kun kaikkien muiden tekijöiden vaikutus on eliminoitu yhdistämällä tulokset, voidaan kuvan 1 perusteella todeta, ettei lannoitusten lukumäärällä ole kovin suurta merkitystä lannoituksen kannattavuuteen. Näin ei kuitenkaan ole kaikissa tapauksissa. Kuvasta 2 nähdään lannoituskertojen ja reaalin sisäisen koron välinen riippuvuus eri ikäluokissa. Pääsääntöisesti kannattavuus kasvaa lannoitusten lukumäärän kasvaessa. Kaikkein selvimmän näin tapahtuu vanhimmassa ikäluokassa. Tässä ikäluokassa viisi kertaa lannoitettaessa saadaan lähes kaksi kertaa parempi tulos eli 11,0 % kuin kertalannoituksella, jolla saadaan 6,1 % reaalin sisäinen korko. Aiemmissa kertalannoituksen kannattavuutta koskevissa tutkimuksissa on saatu suurempia reaalisia sisäisiä korkoja (esim. Keipi ja Laakkonen 1980, Laakkonen, Keipi ja Lipas 1983). Nyt reaalista sisäistä korkoa näihin tutkimuksiin verrattuna oli

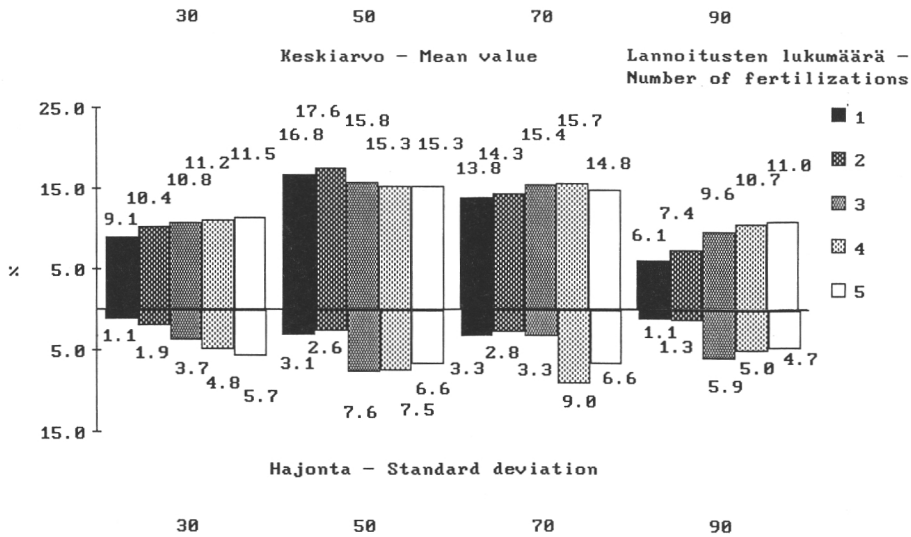
omiaan pienentämään karumpi kasvupaikka ja erityisesti myös investoinnin pidempi laskennallinen pitoaika. Kun vanhimmassa ikäluokassa vielä hajonta ensin vähän kasvaa mutta kolmen lannoituksen tapauksesta lähtien pienenee, niin selvästikin paras tulos saavutetaan viisi kertaa lannoitettaessa. Tähän säännönmukaisuuteen tekee poikkeuksen 50-vuotiaat kasvatusmetsiköt, joissa sisäinen korko laskee lannoitusten lukumäärän kasvaessa kertalannoituksia lukuunottamatta. Korkein keskimääräinen reaalin sisäinen korko 17,6 % saavutettiin mainitussa ikäluokassa kaksi kertaa lannoitettaessa. Kun vielä hajontakin on tässä ikäluokassa pienimmillään kahden lannoituksen tapauksessa, on se keskimääräisen sisäisen koron kannalta paras vaihtoehto.

Muissa ikäluokissa eli tarkastelujakson alussa 30- ja 70-vuotiaissa metsiköissä otettaessa huomioon sekä reaalin sisäisen koron odotusarvo että keskihajonta, voidaan kolmea lannoitusta pitää parhaimpana ratkaisuna. Tällöin 30-vuotiaissa metsiköissä keskimääräinen reaalin sisäinen korko on 10,8 % ja 70-vuotiaissa vastaavasti 15,4 %.

63. Lannoitettavan metsikön ikä

Samanarvoisilla kasvupaikoilla sijaitsevien ja saman puolajin vallitsevien metsiköiden,

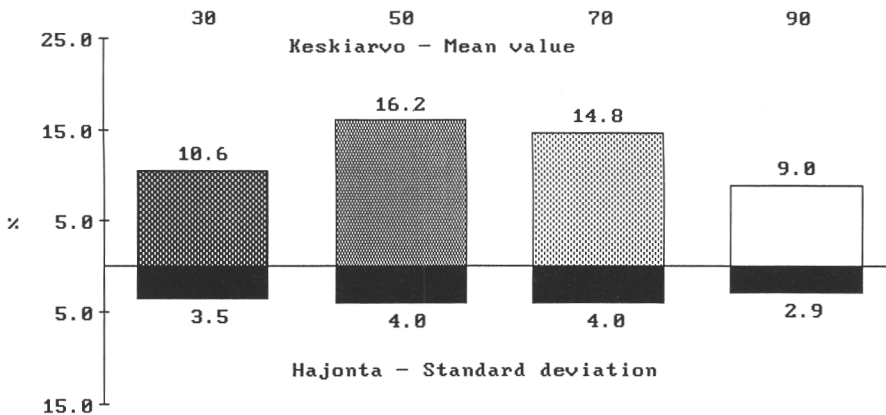
Metsikön ikä, vuotta - Age of stand, years



Kuva 2. Ensilannoitushetkellä eri ikäisten metsiköiden keskimääräisen reaalisen sisäisen koron ja hajonnan sekä lannoitusten lukumäärän välinen riippuvuus.

Figure 2. The correlation between the average real internal interest and the standard deviation and the number of fertilizations in stands at different ages.

Metsikön ikä vuotta - Age of stand, years



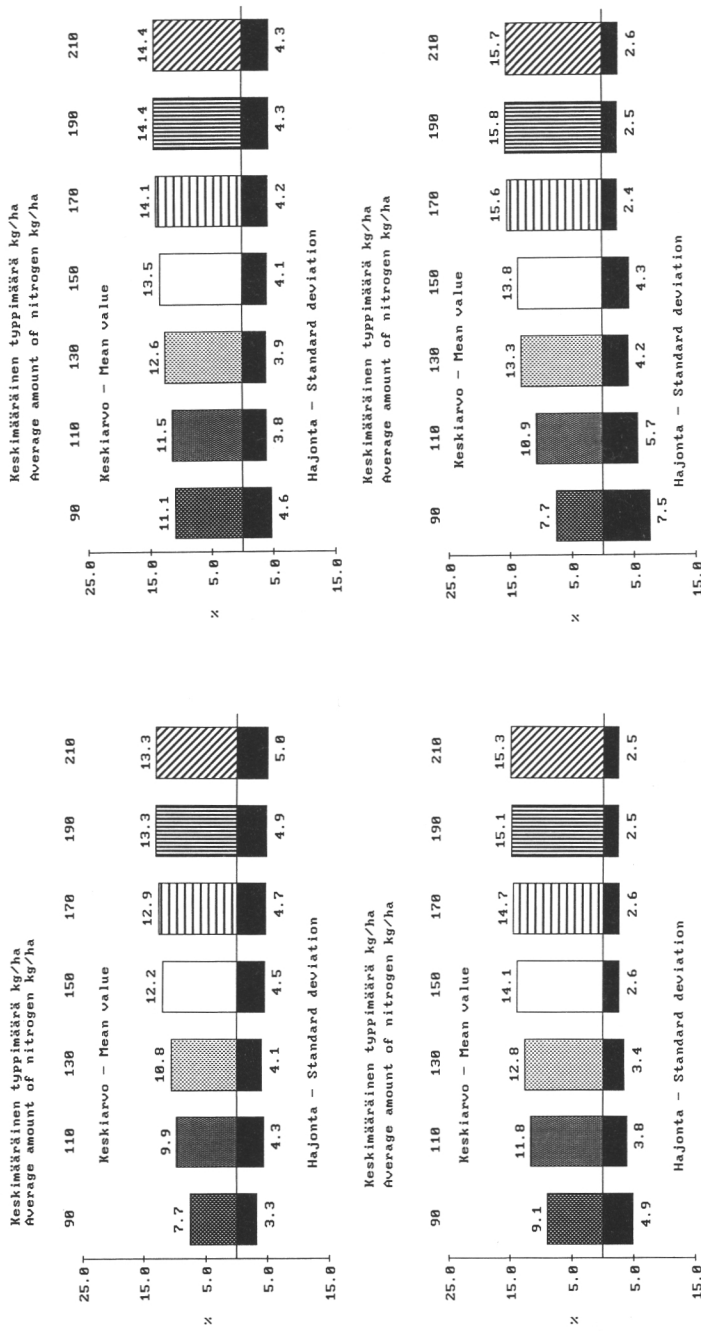
Kuva 3. Keskimääräisten reaalisten sisäisten korkojen ja hajontojen riippuvuus metsikön iästä ensilannoituksen ajankohtana.

Figure 3. The correlation between the average real internal interest and standard deviation and the age of the stand at the first fertilization.

tässä tapauksessa siis Etelä-Suomen hyvien CT- tai huonojen VT-männiköiden lannoituksen kannattavuuteen on suurin vaikutus lannoitettavan metsikön iällä. Tämä asia käy selvästi ilmi kuvasta 3, jossa on esitetty keskimääräisen reaalisen sisäisen koron ja lannoitettavan metsikön iän välinen riippuvuus kun muiden korkoon vaikuttavien tekijöiden

vaikutus on eliminoitu luokittelemalla aineisto vain iän perusteella. Tällöin siis ikäluokan sisällä lannoitusten lukumäärä, lannoitelajikombinaatio ja lannoitemäärä vaihtelee aiemmissä luvuissa esitetyllä tavalla. Vaihtelu on kaikkien luokkien sisällä samanlaista.

Kuivahkon kankaan männiköistä keskimäärin parhaita lannoituskohteita ovat ensi-



Kuva 4. Metsikön keskimääräisten sisäisten korkeiden ja hajontojen riippuvuus lannoituskerroa kohden levitetystä typpimäärästä. Lannoituskerroja yksi (a), kaksi (b), kolme (c), neljä (d) tai viisi (e).

Figure 4. The correlation between the average real internal interest and the amount of nitrogen given in fertilization. Number of fertilizations one (a), two (b), three (c), four (d) or five (e).

lannoitushetkellä 50-vuotiaat metsiköt (vrt. Hämäläinen, Laakkonen ja Kukkola 1989), joissa saavutettiin keskimäärin 16,2%:n reaalin sisäinen korko. Lähes yhtä hyvään tulokseen eli 14,8 %:iin päästiin 70-vuotiaissa metsiköissä. Myös sisäisten korkojen keskijajonnat näissä ikäluokissa olivat keskenään samaa suuruusluokkaa. Näissä metsiköissä lannoituksen hyvä kannattavuus nuoriin ja vastaavasti hyvin varttuneisiin metsiköihin nähden perustuu lähinnä siihen, että lannoitus nopeuttaa siirtymää kuitupuusta tukkipuuhun eli lannoitus nopeuttaa kuitupuuta paljon arvokkaamman tukkipuun sekä suhteellista että absoluuttista kasvua. Samalla lannoituksen kasvua lisäävä vaikutus kohdistuu selvemmin arvokkaampaan puuston osaan. Puusto myös ylipäättään järeytyy lannoitusten vaikutuksesta. Ensilannoitushetkellä 30-vuotiaissa metsiköissä tällaista siirtymää ei siinä määrin ehdi tapahtua 18 vuoden pituisen tarkastelujakson aikana, että se oleellisesti vaikuttaisi kannattavuuteen.

Lannoituksilla aikaansaatu kannattavuuden lisäys ikäluokassa 30 v perustuu pääasiassa kuitupuun tilavuuskasvun lisääntymiseen ja kuiturunkojen käyttöosan järeytymiseen. Vanhimmassa eli 90-vuotiaiden ikäluokassa tilanne on periaatteessa hyvin samantapainen. Lannoituksiin ryhdyttäessä lähes koko puusto on tukkipuuta. Tällöin lannoitusten aiheuttama tilavuuskasvun lisäys tapahtuu tukkirunkojen järeytymisenä. Muutoksia puutavaralajiosuuksissa ei juurikaan tapahdu. Kun 30-vuotiaissa männiköissä päästiin keskimäärin 10,6 %:n kannattavuuteen reaalisella sisäisellä korolla mitaten, jäätettiin 90-vuotiaissa hieman tämän alle eli 9,0 %:iin. Vanhimmassa ikäluokassa hajonta oli jonkin verran pienempi kuin nuorimmassa ikäluokassa. Nuorimmassa ikäluokassa hajontaa lisäsi se, että niissä kuitenkin jonkin verran tapahtui siirtymää kuitupuusta tukkipuuhun.

64. Lannoitemäärä

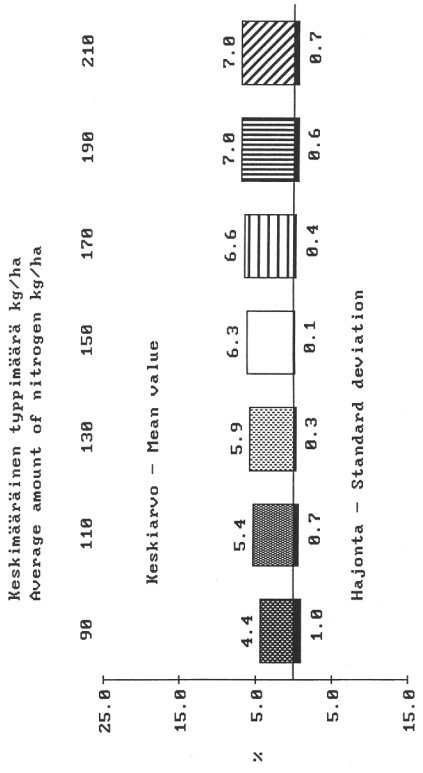
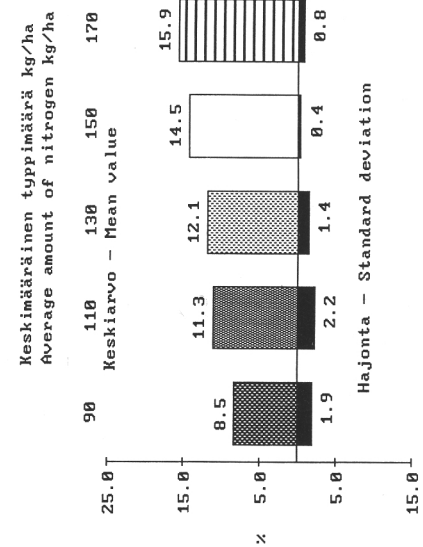
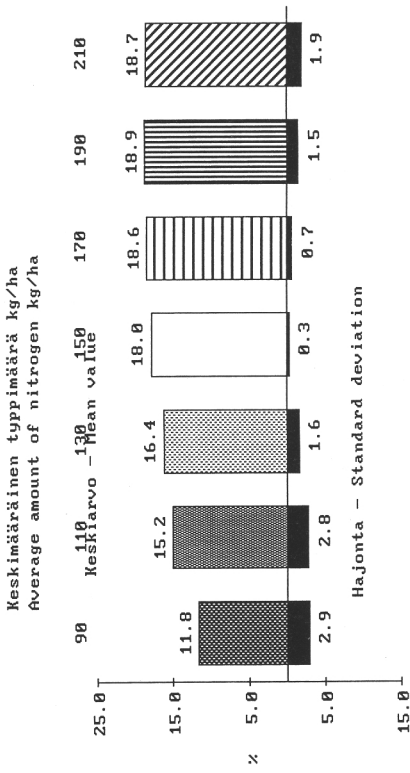
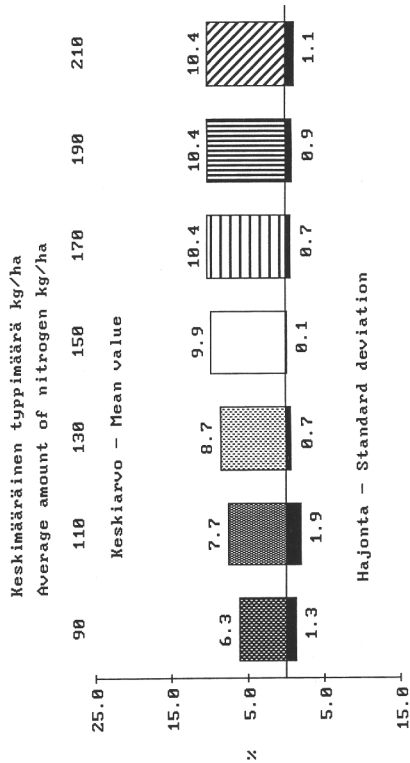
Yhdellä lannoituskerralla hehtaaria kohden annetun typen määrä vaihteli tutkimuksessa reilusti nykysuositusten kummankin puolen. Tulosten tarkastelua varten eri lannoitemäärillä saadut reaaliset sisäiset korot ryhmiteltiin keskimääräisen kerta-annoksen mukaisiin luokkiin. Kuvassa 4 on esitetty keski-

määräisen kerta-annoksen ja keskimääräisen reaalisien sisäisen koron ja koron keskijajonnan välinen riippuvuus ryhmiteltynä vielä lannoituskertojen lukumäärän mukaan. Kuvasta voidaan päätellä, että keskimääräisen reaalisien sisäisen koron odotusarvo vielä kasvaa keskimääräisen kerta-annoksen kasvassa hieman nykysuosituksia suuremmaksi eli noin 170—190 kg N/ha asti. Samalla yleensä myös sisäisen koron keskijajonta pienenee. Keskijajonnan pieneminen johtuu pääasiassa siitä, että samalla myös kerta-annosten välinen suhteellinen vaihtelu pienenee eli mitä suurempi on keskimääräinen kerta-annos sitä lähempänä tätä keskiarvoa ovat myös eri lannoituskertoilla levitetyt typpimäärät. Etenkin useita kertoja lannoitettaessa keskimääräisen kerta-annoksen ollessa pieni hajonta on suhteellisen suuri ja odotusarvo suhteellisen pieni verrattuna tapauksiin, joissa keskimääräinen kerta-annos oli suuri. On muistettava, että lannoitemääräluokkiin, joissa keskimääräinen kerta-annos on pieni, sisältyy tapauksia, joissa jokin lannoitus jätettiin suorittamatta. Tämä oli omiaan lisäämään reaalisien sisäisen koron keskijajontaa ja pienentämään sen odotusarvoa.

Kuvan 4 mukaan voidaan myös päätellä, että useammin lannoitettaessa voidaan käyttää keskimäärin hieman pienempiä eli noin 170 kg/ha kerta-annoksia kuin harvemmin lannoitettaessa. Koron odotusarvon ja hajonnan kannalta parhaisiin toistuvan lannoituksen kannattavuuksiin päästiin yleensä tapauksissa, joissa mitään lannoituskertaa ei, ehkä viimeistä lannoitusta lukuunottamatta, jätetty suorittamatta. Vastaavasti huonoimmat tulokset saatiin yleensä tapauksissa, joissa jokin muu lannoitus ensimmäistä tai viimeistä lukuunottamatta jätettiin suorittamatta. Asia oli näin säännönmukaisesti keskimääräisen kerta-annoksen suuruudesta riippumatta.

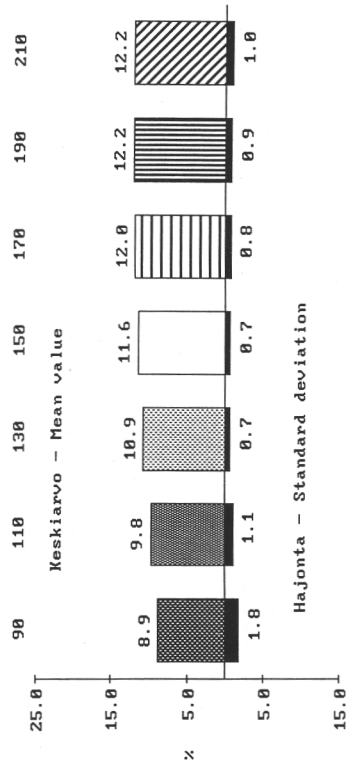
Kuvissa 5—9 on esitetty reaalisien sisäisen koron odotusarvon ja hajonnan sekä keskimääräisen kerta-annoksen välinen riippuvuus ryhmiteltynä lannoituskertojen lukumäärän ja lannoitettavan metsikön iän mukaan. Näistä kuvista nähdään yksityiskohtaisemmin kannattavuuden ja em. tekijöiden välinen yhteys. Kuvat 5—9 on tarkoitettu lähinnä tarkemmaksi käytännön ohjeeksi kuin yhteenvetokuva 4.

Edellä tässä luvussa on kannattavuutta tarkasteltu keskimääräisen kerta-annoksen

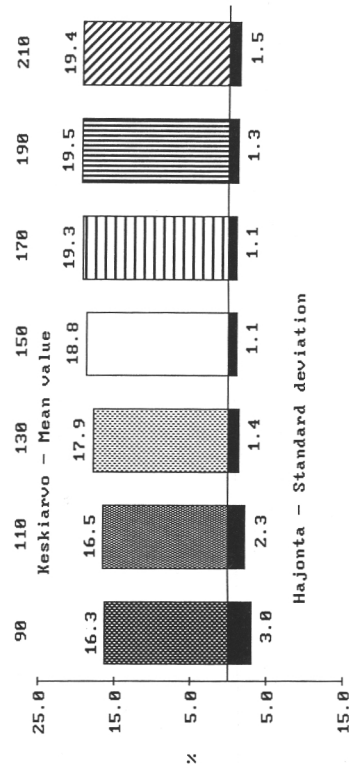


Kuva 5. Kerran lannoitetun metsikon keskimääräisen reaalisen sisäisen koron ja hajonnan sekä lannoituskertaa kohden levitetyn keskimääräisen typpimäärän välinen riippuvuus. Metsikon ikä ensilannoituksessa 30 (a), 50 (b), 70 (c) tai 90 (d) vuotta.
 Figure 5. The correlation between the average real internal interest and the standard deviation and the average amount of nitrogen given in fertilization in case of one fertilization. Stand age at the first fertilization 30 (a), 50 (b), 70 (c) or 90 (d) years.

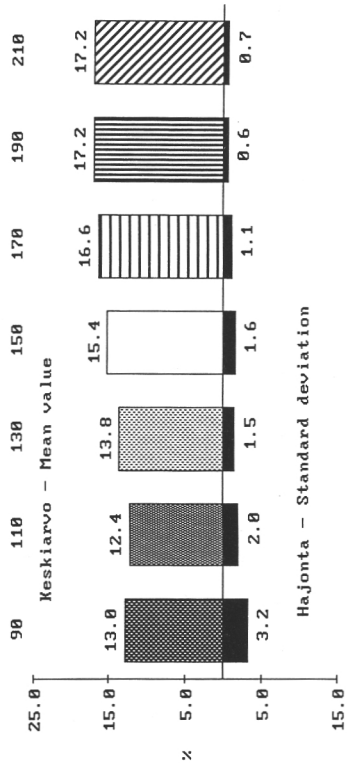
Keskimääräinen typpimäärä kg/ha
Average amount of nitrogen kg/ha



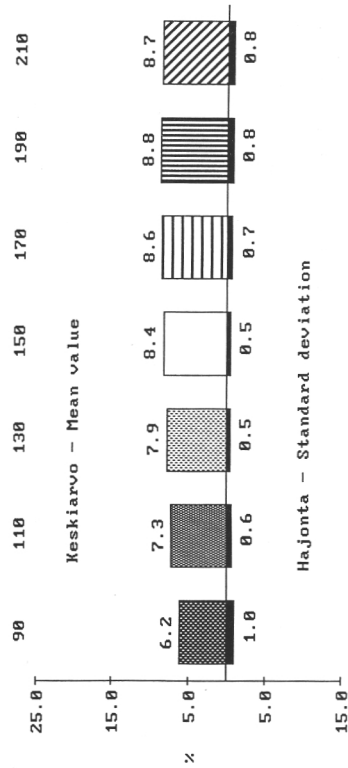
Keskimääräinen typpimäärä kg/ha
Average amount of nitrogen kg/ha



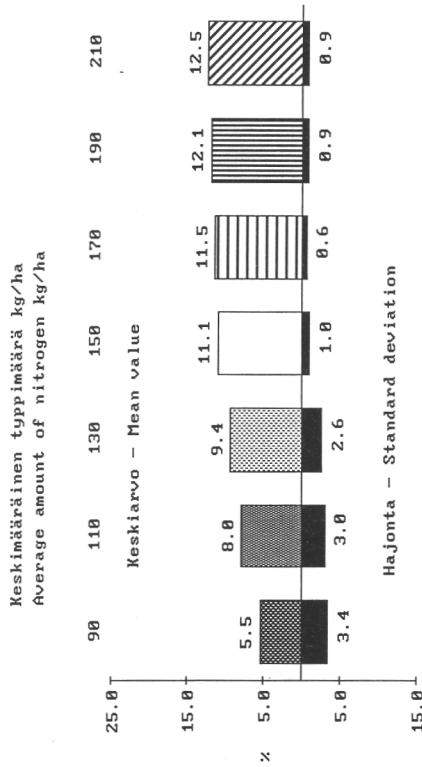
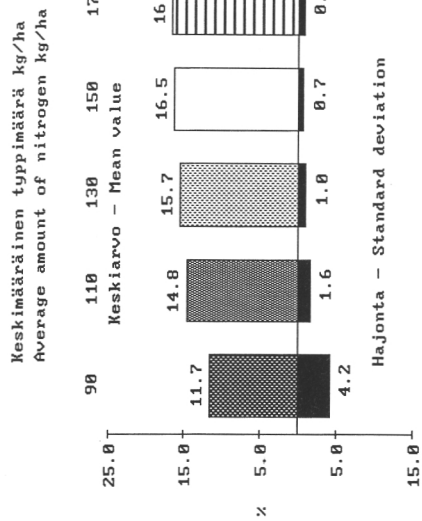
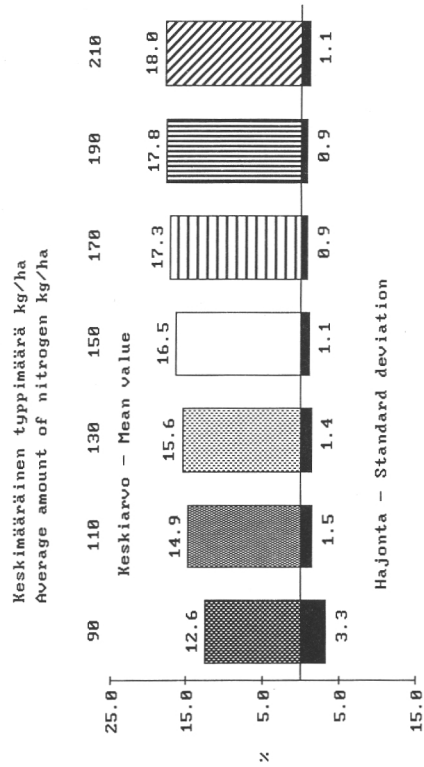
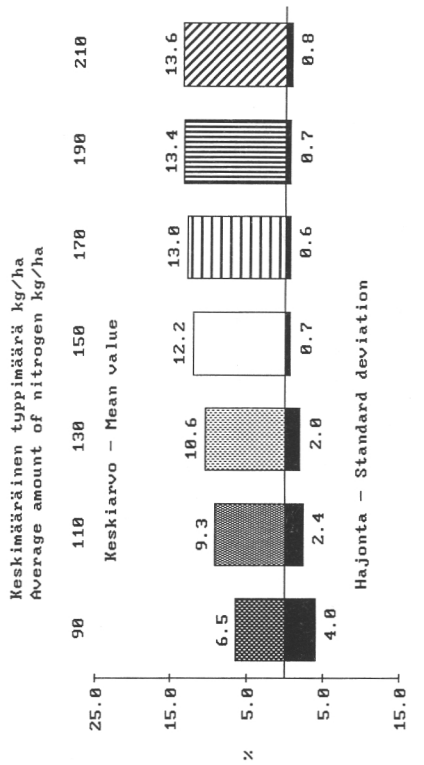
Keskimääräinen typpimäärä kg/ha
Average amount of nitrogen kg/ha



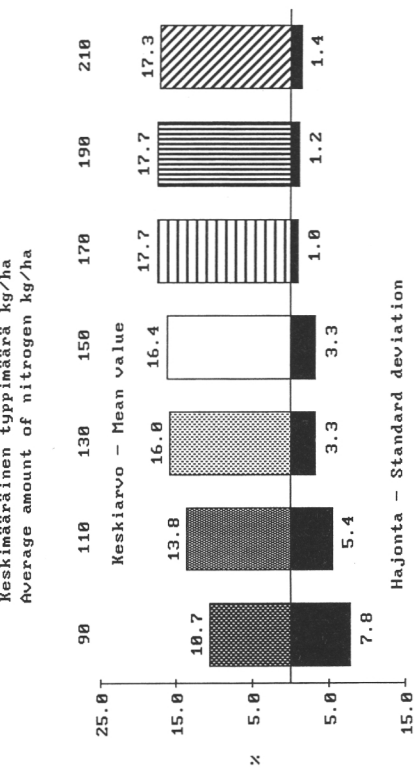
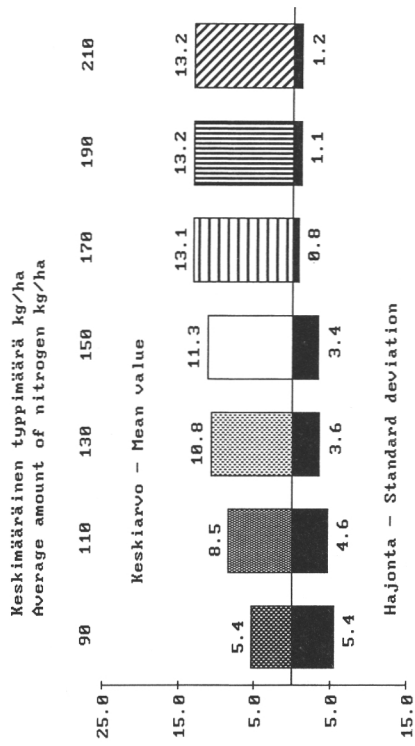
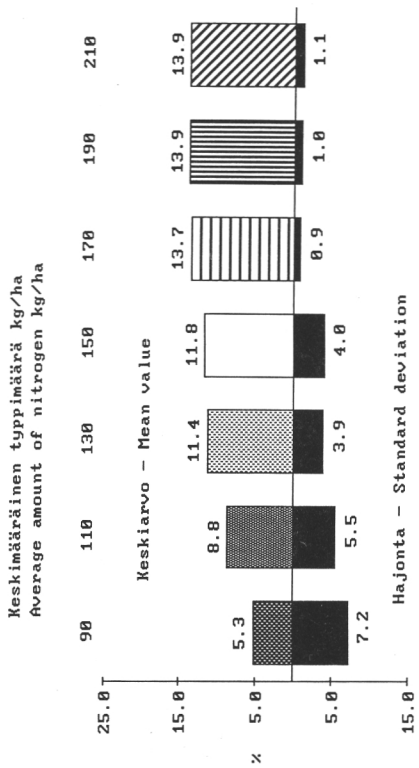
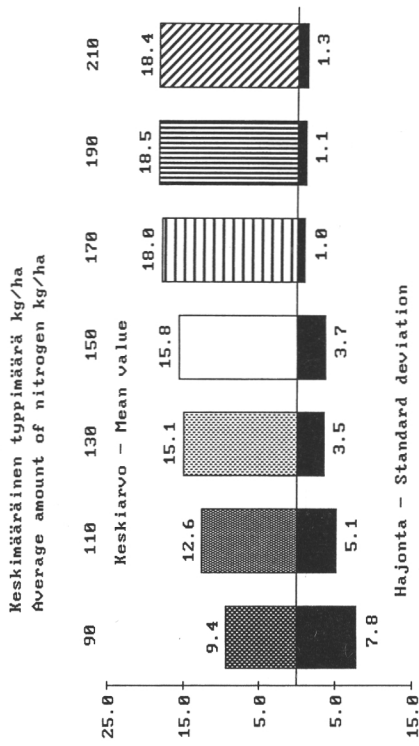
Keskimääräinen typpimäärä kg/ha
Average amount of nitrogen kg/ha



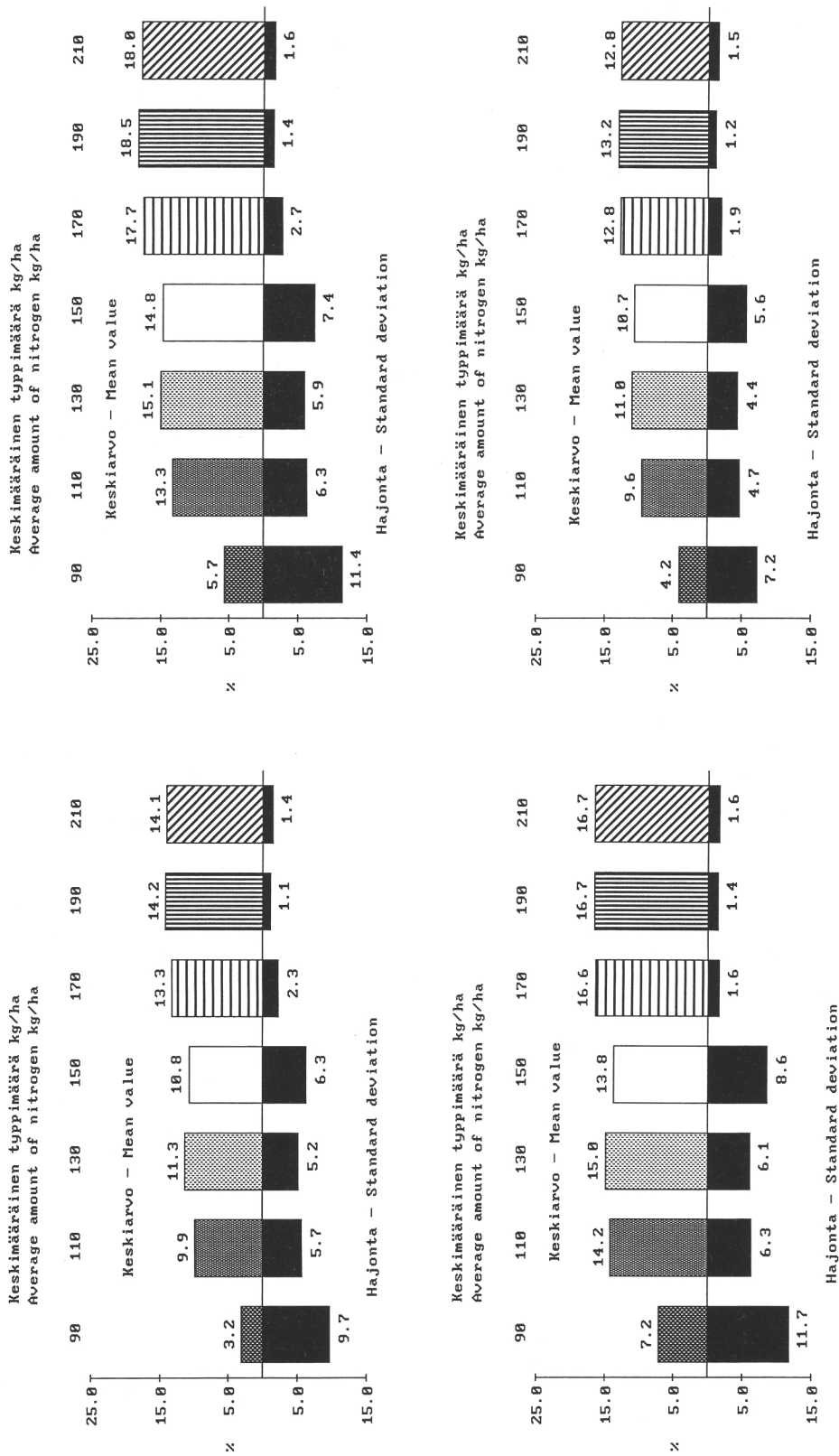
Kuva 6. Kaksi kertaa lannoitetun metsikön keskimääräisen reaalisen koron ja hajonnan sekä lannoituskertaa kohden levitetyn keskimääräisen typpimäärän välinen riippuvuus. Metsikön ikä ensilannoituksessa 30 (a), 50 (b), 70 (c) tai 90 (d) vuotta.
Figure 6. The correlation between the average real internal interest and the standard deviation and the average amount of nitrogen given in each fertilization in case of two fertilizations. Stand age at the first fertilization 30 (a), 50 (b), 70 (c) or 90 (d) years.



Kuva 7. Kolme kertaa lannoitetun metsikön keskimääräisen reaalisien sisäisen koron ja hajonnan sekä lannoituskertaa kohden levitetyn keskimääräisen typpimäärän välinen riippuvuus. Metsikön ikä ensilannoituksessa 30 (a), 50 (b), 70 (c) tai 90 (d) vuotta.
Figure 7. The correlation between the average real internal interest and the standard deviation and the average amount of nitrogen given in each fertilization in case of three fertilizations. Stand age at the first fertilization 30 (a), 50 (b), 70 (c) or 90 (d) years.



Kuva 8. Neljä kertaa lannoitetun metsikön keskimääräisen reaalisien sisäisen koron ja hajonnan sekä lannoituskertaa kohden levitetyn keskimääräisen typpimäärän välinen riippuvuus. Metsikön ikä ensilannoituksessa 30 (a), 50 (b), 70 (c) tai 90 (d) vuotta.
Figure 8. The correlation between the average real internal interest and the standard deviation and the average amount of nitrogen given in each fertilization in case of four fertilizations. Stand age at the first fertilization 30 (a), 50 (b), 70 (c) or 90 (d) years.



Kuva 9. Viisi kertaa lannoitetun metsikön keskimääräisen reaalisen sisäisen koron ja hajonnan sekä lannoituskertaa kohden levitetyn keskimääräisen typpimäärän välinen riippuvuus. Metsikön ikä ensilannoituksessa 30 (a), 50 (b), 70 (c) tai 90 (d) vuotta.
 Figure 9. The correlation between the average real internal interest and the standard deviation and the average amount of nitrogen given in each fertilization in case of five fertilizations. Stand age at the first fertilization 30 (a), 50 (b), 70 (c) or 90 (d) years.

Taulukko 2. Eri lannoituskerroille annettava typen suhteellinen osuus (%) kokonaistypimäärästä tapauksissa, joissa saavutettiin korkein reaalin sisäinen korko.

Table 2. The relative amount of nitrogen (%) of total amount of nitrogen in those cases where the highest real internal interest was obtained.

Lannoitusten lukumäärä Number of fertilizations	Lannoitusten järjestysnumero The ordinary number of fertilization				
	1	2	3	4	5
1	100				
2	72	28			
3	40	49	11		
4	27	34	34	5	
5	20	25	24	25	6

eli lähinnä tutkimusjakson aikana annetun kokonaistypimäärän mukaan ryhmiteltyä. Suoritetuissa simuloinneissa eri kerroilla annetun typen määrä vaihteli huomattavasti, jotta saataisiin tietoa siitä, kuinka paljon kokonaistypimäärästä kullakin lannoituskerroilla on syytä antaa pyrittäessä maksimoimaan reaalisien sisäisen koron odotusarvoa. Taulukossa 2 on esitetty eri lannoituskerroilla annettavan typen suhteellinen osuus kokonaistypimäärästä niissä tapauksissa, joissa keskimäärin saavutettiin paras kannattavuus. Taulukon perusteella voidaan todeta, että viimeisellä lannoituskerralla annetaan aina hyvin pieni kerta-annos muihin lannoituskertoihin verrattuna, yleensä suhteellisesti sitä pienempi mitä useammin lannoitetaan. Myös ensimmäinen lannoitus suoritetaan hie-man seuraavia lannoituksia pienempänä pait-si kahden lannoituksen tapauksessa, jossa suurin osa eli noin 72 % lannoitteista levitetään ensilannoituksessa. Näihin seikkoihin lienee sisäisen koron menetelmään nimen-omaan aikatekijän vaikutuksesta sisältyvien tekijöiden lisäksi ainakin jossain määrin myös biologisia syitä. Annettaessa ensimmäinen lannoitus muita pienempänä sen kustannusvaikutus on pienempi, mutta samalla myös lannoituksen vaikutus tuottoihin on pienempi eli tuotot siirtyvät ajallisesti kauemmaksi. Mitä kauemmaksi tuotot ajallisesti siirtyvät sitä pienempi on niiden vaikutus sisäisen koron tasoon. Suorittaessa muut lannoitukset suurempina on niiden kustannusvaikutus aikatekijän vaikutuksesta pienempi. Tämä on hyvin loogista, kun lannoitukset toistuvat usein, ajoittuvat harven-nuksetkin sisäisen koron kannalta sopivasti.

Toisaalta kahden lannoituksen tapaukses-sa jälkimmäinen lannoitus annetaan 12 vuo-den kuluttua ensimmäisestä lannoituksesta,

jolloin sen tuottoja lisäävä vaikutus on aika-tekijän vaikutuksesta pieni ja edellisen lan-noituksen vaikutus yleensä jo kokonaan päättynyt (ks. Laakkonen, Keipi ja Lipas, 1983). Tällöinhän kasvun lisäyksen mahdol-listamat tuotot saadaan yleensä realisoituiksi vasta tutkimusjakson lopussa. Biologisesti asia on todennäköisesti niin, että ensimmäi-nen lannoitus parantaa ravinnepulasta kärsi-vän puuston kykyä paremmin hyödyntää seuraavilla kerroilla annettavat ravinteet.

Tässä tutkimuksessa esitettyjen tulosten mukaan keskimäärin paras kannattavuus saavutetaan lannoitettaessa kolme kertaa ja keskimääräisen puhtaan typen kerta-annok-sen ollessa noin 170 kg/ha. Yhdistettäessä nämä tulokset taulukon 2 kanssa olisi suosi-teltava lannoitusohjelma esimerkiksi 70-vuo-tiaassa Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männikössä seuraavan asetelman mukainen:

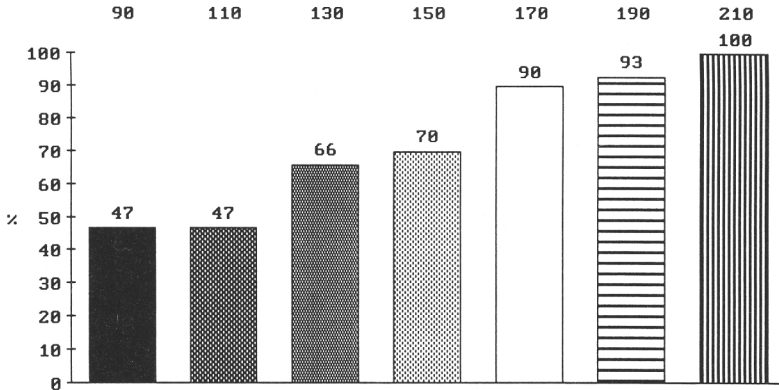
1. lannoitus: 200 kg N/ha (ensilannoitus)
2. lannoitus: 250 " (6 vuoden kuluttua ensilan-noituksesta)
3. lannoitus: 60 " (12 vuoden kuluttua ensilan-noituksesta)

Tulokset ovat suuntaa-antavia. Tuntuvasti yli 200 kg:n kerta-annoksiin on suhtaudutta-va varauksella.

65. Lannoitelaji

Tutkimuksessa käytettiin lannoitteena ureaa ja oulunsalpietaria. Lannoitelaji vaihteli lan-noituskerrasta riippumatta siten, että kaikki mahdolliset lannoitusketjujen kombinaatiot sisältyivät simulointeihin. Taulukossa 3 on esitetty urealannoitusten prosentiosuudet eri lannoituskerroilla ikäluokittain niissä vaihto-ehdoissa, joissa saavutettiin korkein sisäisen koron odotusarvo. Taulukon mukaan tulisi toistuvissa lannoituksissa yleensä käyttää ureaa. Oulunsalpietaria tulisi suosia vain ker-talannoituksissa sekä kaksi kertaa lannoitet-taessa ja tällöinkin vain jälkimmäisenä lan-noitteena. Tämä aiheutuu siitä, että levitet-täessä sama määrä puhdasta tyypeä hehtaa-rille, on lannoituskustannus ureaa käytet-täessä pienempi. Se, että kaksi kertaa lannoit-taessa toisella lannoituskerralla tulisi käyt-tää mieluummin oulunsalpietaria aiheutuu siitä, että 12 vuoden kuluttua on tuon ensi-lannoituksen vaikutus jo kokonaan päättynyt

Keskimääräinen typpimäärä, kg/ha
Average amount of nitrogen, kg/ha



Kuva 10. Ureana annetun typen suhteellisen osuuden kokonaistypymäärästä lannoituskertaa kohden ja levitetyn keskimääräisen typpimäärän välinen riippuvuus vaihtoehdoista, joissa saavutettu korkein reaalin sisäinen korko.

Figure 10. The correlation between the relative share of nitrogen given in each fertilization in those alternatives where the highest real internal interest was obtained.

ja puusto reagoi nopeammin oulunsalpietariin kuin ureaan. Samasta syystä myös kerta-lannoituksissa tulisi suosia oulunsalpietaria. Yleensä kasvureaktiot suhtautuvat siten, että oulunsalpietarin aiheuttama suurempi mutta lyhytaikaisempi vaikutus kasvureaktioon ei pysty kompensoimaan oulunsalpietarin suurempia lannoituskustannuksia. Näin on nimenomaan silloin, kun suoritetaan useita peräkkäisiä lannoituksia.

Taulukossa 3 ei ole otettu huomioon puhtaan typen keskimääräisen kerta-annoksen (kg/ha) vaikutusta lannoitelajien valintaan. Tämä on esitetty kuvassa 10. Sen mukaan urean osuus kasvaa keskimääräisen kerta-annoksen kasvaessa siten, että kun kerta-annokset ovat suuria, käytetään lähes pelkästään ureaa. Keskimääräisen kerta-annoksen ollessa 110 kg N/ha tai sitä pienempi on hieman todennäköisempää, että käytettäessä lannoitteena oulunsalpietaria, saadaan parempi kannattavuus kuin käytettäessä ureaa. Yhdistettäessä esimerkinomaisesti tässä luvussa esitetyt tulokset tässä tutkimuksessa esitettyihin tuloksiin, olisi suositeltava lannoitusohjelma esimerkiksi 70-vuotiaassa Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männikössä seuraavanlainen:

1. lannoitus: 435 kg ureaa/ha (ensilannoitus)
2. lannoitus: 540 kg " (6 vuoden kuluttua ensilannoituksesta)
3. lannoitus: 220 kg oulunsalpietaria/ha (12 vuoden kuluttua ensilannoituksesta).

Taulukko 3. Urealannoitusten prosentiosuudet eri lannoituskertoilla ikäluokittain vaihtoehdoissa, joissa saavutettiin korkein reaalin sisäinen korko.

Table 3. The percentage of urea fertilization of different age of stand in those alternatives where the highest real internal interest was obtained.

Lannoitusten lukumäärä Number of fertilizations	Metsikön ikä, vuotta Age of stand, years			
	30	50	70	90
1 1. lannoitus fertilization	57	43	29	57
2 1. lannoitus 2. fertilization	87 42	87 50	75 50	50 0
3 1. lannoitus 2. fertilization 3.	65 100 87	83 100 83	83 85 100	83 83 87
4 1. 2. lannoitus 3. fertilization 4.	72 89 89 100	54 83 83 83	72 89 100 100	72 89 89 100
5 1. 2. lannoitus 3. fertilization 4. 5.	93 93 93 93 93	60 93 100 77 93	77 100 93 93 79	77 93 93 93 93

7. YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitettiin kokonaan omalla rahoituksella suoritetun kuivahkon kankaan männikön toistuvan lannoituksen kannattavuutta Etelä-Suomessa. Tutkimus perustuu lähinnä Kukkolan ja Saramäen (1983) kasvu- ja kasvunlisäysmalleihin, liitteessä 1 esitettyihin puuston järeytymistä ja puutavaralajiosuuksien kehitystä kuvaaviin malleihin, Vuokilan ja Väliahon (1980) viljeltyjä havumetsiä koskevassa tutkimuksessa esitettyihin puuston kehitystä kuvaaviin tietoihin ja harvennussmalleihin sekä pitkän aikavälin kantohintasarjoihin ja vuoden 1988 lannoitteiden hintatasoon ja metsätöiden palkkatasoon.

Mallien avulla ensilannoitushetkellä 30-, 50-, 70- ja 90-vuotiaita sekä lannoitettuja että lannoittamattomia metsiköitä kasvatettiin taulukossa 1 esitetyistä lähtötilanteista vuosi kerrallaan rinnakkain. Harvennukset suoritettiin kummassakin metsikössä samanaikaisesti lannoitetun metsikön pohjapinta-alan saavuttaessa harvennussmallien leimausrajan. Kumpikin metsikkö harvennettiin tuolloin samalle, pohjapinta-alan alarajan mukaiselle tasolle. Lannoituksia suoritettiin 1—5 kpl tasisin välein siten, että viimeinen lannoitus suoritettiin aina 12 vuoden kuluttua ensilannoituksesta kertalannoitustapauksia lukuunottamatta. Lannoitteina käytettiin ureaa ja oulunsalpietaria siten, että kaikki mahdolliset lannoitusketjut käytiin läpi. Kullakin lannoituskerralla lannoitemäärä vaihteli 60—240 kg N/ha keskimääräisen typpimäärän ollessa noin 150 kg/ha. Laskennan yksityiskohtainen suoritustapa on esitetty liitteissä 1 ja 2.

Lannoitusmenoina otettiin huomioon suunnittelu- ja työnohtokustannukset sekä lannoittelajista ja määrästä riippuvat lannoite-, levitys- ja kuljetuskustannukset. Tavallaan lannoitusinvestoinnin menoina tai oikeastaan tulonvähennyksinä käsiteltiin myös lannoittamattoman metsikön harvennustulot sekä loppupuuston hakkuuarvo. Tulopuolelle kirjattiin lannoitetun metsikön harvennustulot ja loppupuuston hakkuuarvo.

Tutkittavia asioita kuvaavien muuttujien eli metsikön iän, lannoitusten lukumäärän, lannoitemäärän ja -lajin vaihdellessa edellä esitettyjen rajojen puitteissa muodostui kullekin kombinaatiolle tällä tavoin määritely

oma tulo-menosarja, jonka sisäinen korko laskettiin. Tutkimuksessa oletettiin sekä kantohintojen että lannoituskustannusten pysyvän vakioina koko 18 vuoden pituisen tarkastelujakson ajan. Tarkastelujaksoksi valittiin juuri 18 vuotta, koska tällöin saatiin keskimäärin ottaen paras reaalin sisäinen korko. Erilaisia vaihtoehtoja tutkimuksessa simuloitiin kaikkiaan noin 100 000 kpl.

Tuloksina esitetään eri tavoin ryhmiteltyjä sisäisten korkojen keskiarvoja ja keskihajontoja. Keskiarvot ovat toistuvilla lannoituksilla aikaansaattavia reaalin sisäisen koron odotusarvoja ja keskihajonnat kuvaavat toistuviin lannoituksiin liittyvää riskiä. Mitä suurempi hajonta sen suurempi on riski ja päinvastoin, mitä pienempi hajonta sen pienempi riski. Tulokset on yksityiskohtaisesti esitetty kuvissa 1—10 ja taulukoissa 2 ja 3. Yhteenvetona näistä voidaan todeta Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männiköiden toistuvan lannoituksen kannattavuudesta luettelonomaisesti seuraava:

- toistuvilla lannoituksilla saatiin keskimäärin noin 13 % reaalin sisäinen korko
- otettaessa huomioon sekä reaalin sisäisen koron odotusarvo että keskihajonta paras tulos saatiin yleensä kolme kertaa lannoitettaessa (kuva 1)
- parhaita lannoituskohteita olivat ensilannoitushetkellä 50-vuotiaat metsiköt, joissa päästiin parhaimmillaan 17,6 % reaaliiseen sisäiseen korkoon. Lähes yhtä hyviä olivat 70-vuotiaat metsiköt, joissa sisäinen korko oli parhaimmillaan 15,7 %. Keskenään lähes samanarvoisia olivat 30- ja 90-vuotiaat metsiköt, joissa päästiin vastaavasti 11,5 % ja 11,0 % reaaliisiin sisäisiin korkoihin (kuvat 2 ja 3)
- parhaisiin tuloksiin ottaen huomioon sekä reaalin sisäisen koron odotusarvo että hajonta päästiin keskimääräisen kerralla annettavan typpimäärän ollessa 170—190 kg/ha. Alarajaa voidaan soveltaa kun lannoitetaan usein ja ylärajaa kun lannoitetaan harvoin (kuvat 4—9)
- mitä suurempi on keskimääräinen kerta-annoksen sisältävä typpimäärä sitä todennäköisemmin urealla saadaan parempi tulos kuin oulunsalpietarilla (kuva 10). Oulunsalpietaria tulisi suosia kerta-annoksen ollessa pieni, alle 110 kg N/ha, kertalannoituksissa ja kaksi kertaa lannoitettaessa jälkimmäisenä lannoitteena (taulukko 2 ja kuva 10)
- ensimmäisellä kerralla on syytä antaa keskimäärin hieman vähemmän lannoitteita kuin seuraavilla kerralla paitsi viimeisellä lannoituskerralla, jolloin on syytä antaa pienin kerta-annos. Poikkeuksen tähän tekee kahden lannoituksen tapaukset, joissa ensimmäisellä kerralla on syytä antaa suurin osa kokonaistyppimäärästä (ja tietenkin kertalannoitukset).

Kaikenkaikkiaan toistuva lannoitus Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männiköissä on suhteellisen kannattava investointi ja yleensä kertalannoitusta edullisempi vaihtoehto (poislukien jo päätehakkuikäiset metsiköt, jos lannoitus ja päätehakkuu ajoitetaan optima-

lisesti sisäisen koron kannalta) asiaa reaalisien sisäisen koron kannalta tarkasteltaessa. Näin asia on tämän tutkimuksen perusteella, kun puustoon ja maaperään sitoutuvaa pääomaa ei oteta huomioon vaan tarkastellaan vain tuon investoinnin erilliskannattavuutta.

KIRJALLISUUS

- Hämäläinen, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: underlying models and empirical applications. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 90(3). 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.
- , Laakkonen, O. & Kukkola, M. 1989. Toistuvan lannoituksen kannattavuus kangasmailla. Summary: Profitability of repeated fertilization on mineral soils. *Folia Forestalia* 740.
- Keipi, K. & Laakkonen, O. 1980. Päätehakkuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja. Summary: Profitability comparisons of urea fertilization in old stands. *Folia Forestalia* 420. 35 s.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1973. Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu. Summary: Variations in the profitability of forest fertilization. *Silva Fennica* 7(3): 192—235.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Seloste: Toistuvilla lannoituksilla saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 114. 55 s.
- Kuusela, K. 1961. Volume and increment calculation of a sample plot determined with the relascope. *Selostus: Kuution ja kasvun laskenta relaskoopilla määritetyllä koealalla. Acta Forestalia Fennica* 71(6). 18 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. 21 s.
- Laasasenaho, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuu-
tioimisytälöt. Helsingin yliopiston metsänarvio-
mistieteen laitos. 89 s.
- Laiho, O. 1988. Lannoituksen vaikutus myrsky- ja lu-
mituhoihin. Keskusmetsälautakunta Tapio.
- Metsähallituksen ohjeet keskusmetsälautakunnille met-
sänparannuslainsäädännön mukaisesta lannoituk-
sesta. 1988. Helsinki.
- Metsä- ja uittoalan työehtosopimus ja sen mukaiset m-
perusteiset metsätyöpalkkojen taulukot 1.3.1988—
28.2.1989. Palkkausalue 4. 114 s.
- Möller, G. 1986. Stendortsanpassad gödsling ökar lön-
samheten. Föreningen skogsträdsförädling, Insti-
tutet för skogsförbättring, årsbok 1986: 59—81.
- Pettersson, F. 1986/87. Förlängt gödslingsomdrev
minskar kubikmeterkostnaden. Institutet för skogs-
förbättring. Skogsträdsförädlingsinformation 1986/
87 Nr 3.
- Puun hintasuositussopimus 1.7.1988—30.6.1989.
- Puro, T. 1977. Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia
uusintalannoituksesta. Summary: Results of the
second fertilization with nitrogen. *Folia Forestalia*
304. 15 s.
- Tuimala, A. 1988. Lannoituksen vaikutus puun laa-
tuun. Keskusmetsälautakunta Tapio.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsi-
köiden kasvatustallit. Summary: Growth and yield
models for conifer cultures in Finland. *Communica-
tiones Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s.
- 1983. Viljelymetsiköiden harvennustallit. Samman-
fattning: Gallringsmallar för odlade bestend i Fin-
land. Summary: Thinning models for forest cultures
in Finland. *Folia Forestalia* 556. 15 s.

Total of 19 references

SUMMARY

The profitability of repetitive fertilization in pine stands on dryish mineral soils in southern Finland

In this study the profitability of a repetitive fertilization of dryish pine stands (site index=21, see Vuokila and Väliaho 1980), on mineral soils in southern parts of Finland was examined. This study is mainly based on the growth models developed by Kukkola and Saramäki (1983), on the models describing the average volume growth of separate trees and the changes in proportional parts of sawtimber and pulpwood due to the repetitive fertilization (see Appendix 1 and 2), on the study of growth and yield of conifer cultures (Vuokila and Väliaho 1980) in Finland and the thinning models presented in that study and on the long term stumpage price time series and on the cost level of fertilizers and labor during 1988.

The growth of the stands which were 30, 50, 70 and 90 years old at the first fertilization was estimated with the above mentioned models year by year. The values of the basic stand characteristics at the first fertilization are shown in Table 1. The thinnings were carried out in the fertilized and in the unfertilized stands always at the same time when the basal area of the corresponding fertilized stand reached the upper level of the thinning model. Both stands where thinned so that the basal area in both stands were adjusted to the same lower level of the thinning model. The calculations are described step by step in Appendices 1 and 2. The number of fertilizations varied from 1 to 5 so that the time between fertilizations was always the same in each group and the last fertilization was always carried out 12 years after the first fertilization (excluding the cases where the stand was fertilized only once). The fertilizers used in this study were ammonium nitrate with lime (27,5 % N) and urea (46,5 % N) so that all possible fertilization chains were examined. The amount of nitrogen in each fertilization varied from 60 to 240 kg N/ha and the average amount of nitrogen in one dose was approximately 150 kg/ha.

The fertilization costs were calculated by adding up the costs of planning and supervising, the costs of fertilizers, spreading and transportation. The thinning incomes of the unfertilized stand were also treated as costs due to the fertilization as well as the stumpage price value of the unfertilized stand at the end of the investigated period. The incomes of the fertilization investment were the thinning incomes of the fertilized stand and the stumpage price value of the fertilized stand at the end of the investigated period.

While the age of the stand, the amount of nitrogen, the time between fertilizations and the fertilizer varied according to the way described earlier over 100 000 different cost-income series were built-up and the corresponding real internal interests were solved. In this study it was assumed that the stumpage prices and the fertilization costs remain at the same level during the whole 18 years long period of investment. The period was chosen to be 18 years because the highest real internal interest in average were obtained in that way.

The profitability of the repetitive fertilization is in this study described both by the mean values of the real internal interest and by the standard deviations of the real internal interest in different groups. The mean value is the expected value of the real internal interest and the standard deviation describes the variation of the real internal interest in the corresponding group. The results are shown Figures 1—10 and in Tables 2 and 3. We can summarize the results as follows:

- on average we obtained 13 % real internal interest
- considering both the mean values and the standard deviations of the real internal interests the best results on average were obtained when the number of fertilizations was 3 (see Figure 1).
- the highest real internal interests were obtained in the age groups 50 (17,6 %) and 70 (15,7 %). The lowest real internal interests were obtained correspondingly in the age groups 30 (11,5 %) and 90 (11,0 %) (see Figures 2 and 3).
- considering both the mean values and the standard deviations of the real internal interests, the best results were obtained when the average amount of nitrogen given in each fertilization was 170—190 kg/ha. The average amount of nitrogen increases when the number of fertilizations decreases (see Figures 4—9).
- with larger average amounts of nitrogen better results can be gained by using urea than ammonium nitrate with lime. We can recommend ammonium nitrate with lime only when the amount of nitrogen dose does not exceed 110 kg/ha or when the number of fertilizations is only one or two and even in that case it should be used only in the later fertilization (see Table 2 and Figure 10).
- in the first fertilization lower quantities should be used than in the following fertilizations except in the last fertilization when very low quantities are recommended. This does not apply of course in the cases of only one fertilization and also in the cases of two fertilizations almost 70 % of all nitrogen should be given in the first fertilization.

The repetitive fertilization of pine stands, where $H_{100}=21$ m on mineral soils in southern parts of Finland is relatively profitable investment and in most cases more profitable than one fertilization (excluding the cases when an old stand is fertilized and harvested by the optimal way about 8 years after fertilization) at least when the profitability is measured by the real internal interest of the investment. The results of this study are valid only when the fertilization investment is considered as a partial point of view which means that we do not take to the considerations neither the value of the land nor the value of the timber growing in the stand.

Liite 1. Hakkuuarvojen laskennassa käytetyt mallit.
Appendix 1. Models used in timber value calculations.

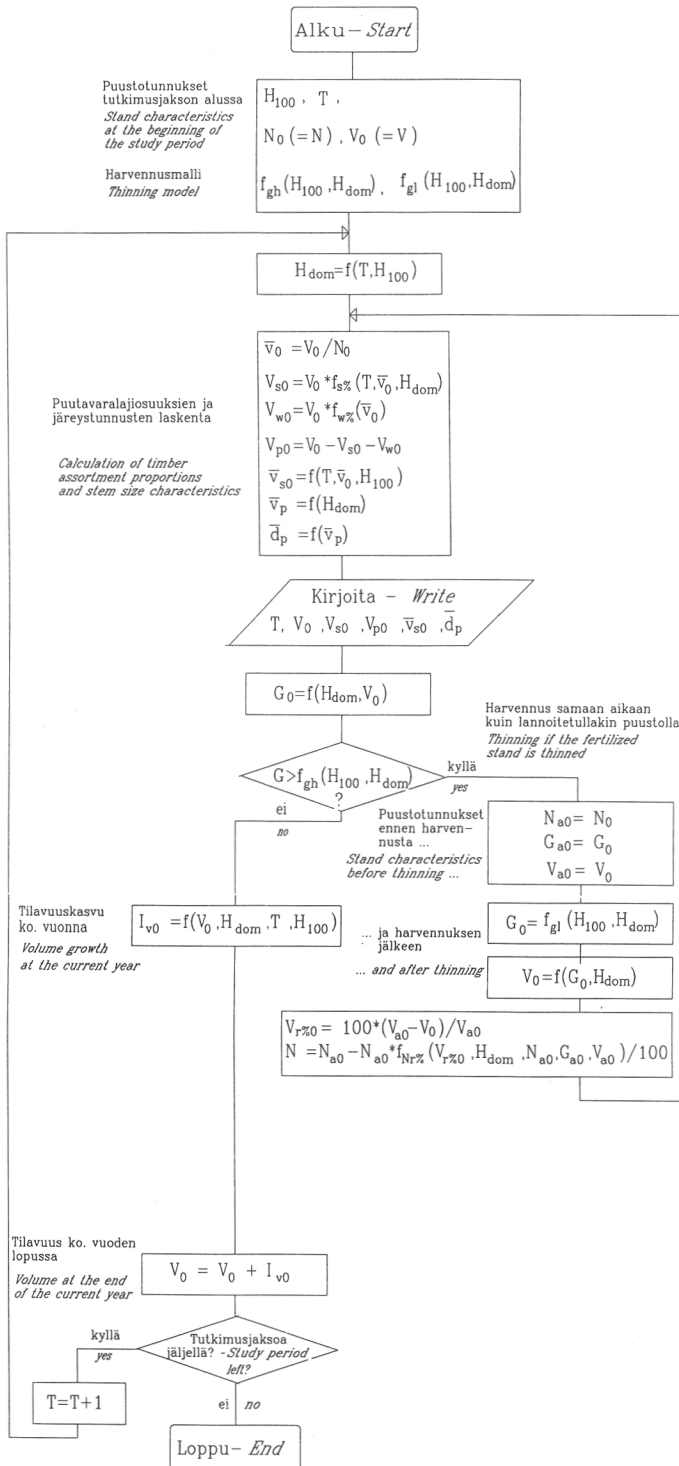
Selitettävä muuttuja <i>Dependent variable</i>	Selittävä muuttuja <i>Independent variable</i>	Kerroin <i>Coefficient</i>	t-arvo <i>t-value</i>
ln(1-S%/96), havaintoja 2129, R ² = 0,975 <i>observations</i>			
	Vakio — <i>constant</i>	0,502460	60,00
	\bar{v}	-5,23056	-167,68
	T	-0,00451611	-26,60
100W%, havaintoja 2803, R ² = 0,979 <i>observations</i>			
	$\bar{v} (540\bar{v})^{-1,2}$	99,6588	2938,21
ln \bar{v}_s , havaintoja 2129, R ² = 0,945 <i>observations</i>			
	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
\bar{v}_p , havaintoja 2654, R ² = 0,877 <i>observations</i>			
	c ^{-c}	424,638	295,14
	$c = 0,1241\sqrt{H_{dom}}$		
Esimerkiksi tukkipuun osuus tilavuudesta (%) saadaan ratkaisemalla S% yhtälöstä. For example, the percentage of sawtimber is obtained by solving S% from the equation.			
$\ln(1-S\%/96) = 0,502460 - 5,23056\bar{v} - 0,00451611T$			

Merkinnät liitteissä 1 ja 2 — *Symbols in Appendix 1 and 2*

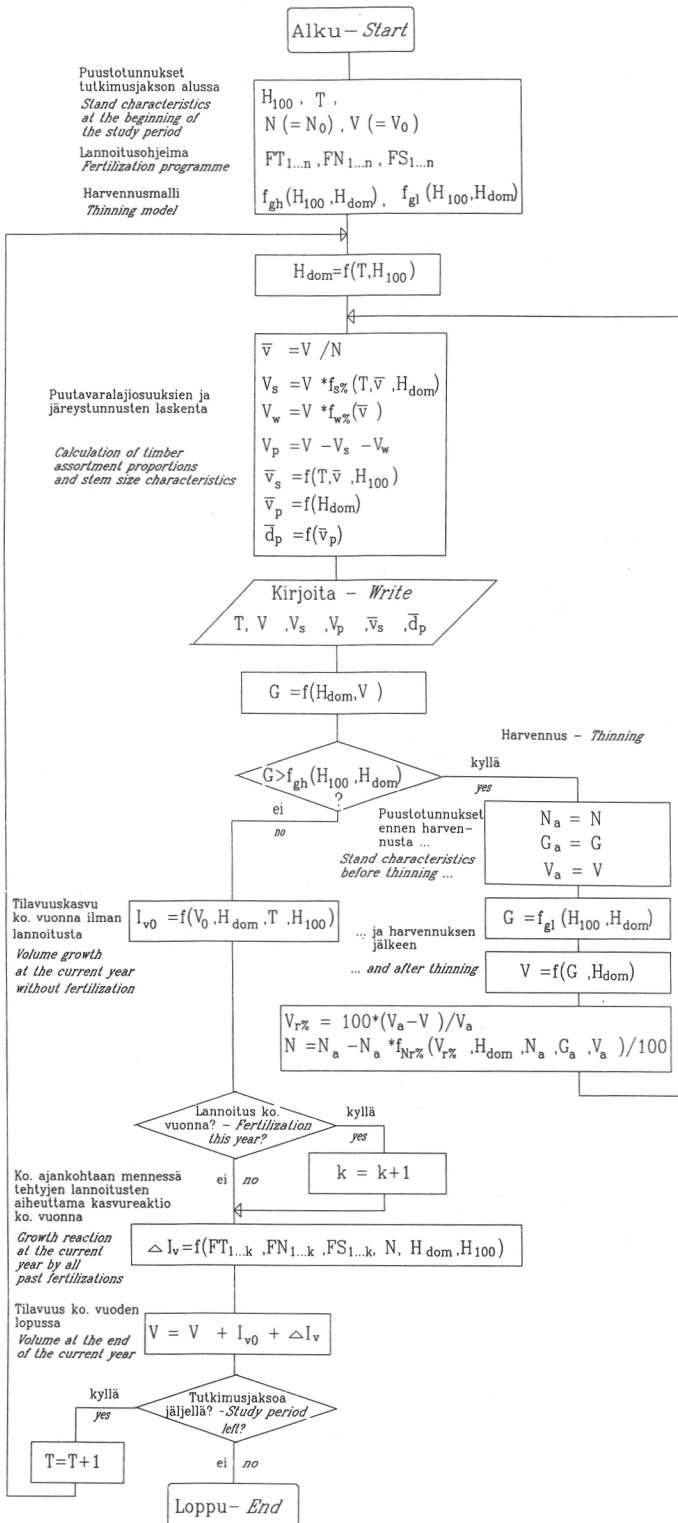
T metsikön ikä, a
age of the stand, a
N runkoluku, kpl/ha
number of stems, no/ha
N_r harvennuksessa poistuva runkoluku, kpl/ha
number of stems removed at thinning, no/ha
N_{r%} poistumaprosentti runkoluvusta
percentage of number of trees removed
G kuorellinen pohjapinta-ala, m²/ha
basal area incl. bark, m²/ha
G_h harvennusmallin mukainen kuorellinen minimi-pohjapinta-ala ennen harvennusta, m²/ha
minimum basal area incl. bark before thinning according to thinning model, m²/ha
G_l harvennusmallin mukainen kuorellinen minimi-pohjapinta-ala harvennuksen jälkeen, m²/ha
minimum basal area incl. bark after thinning according to thinning model, m²/ha
H_{dom} valtapituus; hehtaaria kohti 100 paksuimman puun keskipituus, m
dominant height; the mean height of the 100 thickest trees per hectare, m
H₁₀₀ pituusboniteetti, valtapituus 100 vuoden iällä, m
site index, dominant height at the age of 100 years, m
V kuorellinen tilavuus, m³/ha
stem volume incl. bark, m³/ha
 \bar{v} metsikön puiden keskitilavuus, m³
mean volume of all trees, m³
V_{r%} poistumaprosentti tilavuudesta
percentage of volume removed
V_s tukkipuun kuorellinen tilavuus, m³/ha
volume of saw timber incl. bark, m³/ha
S% tukkipuun osuus tilavuudesta, %
sawtimber, per cent of cubic volume

\bar{v}_s tukkirunkojen käyttöosan (tukkiosa + kuituosa) keskitilavuus, m³
mean commercial volume (sawtimber + pulpwood) of sawtimber stems, m³
V_p kuitupuun kuorellinen tilavuus, m³/ha
volume of pulpwood incl. bark, m³/ha
 \bar{v}_p kuiturunkojen käyttöosan keskitilavuus, m³
mean commercial volume of pulpwood stems, m³
 \bar{d}_p tilavuudella painotettu kuiturunkojen keskiläpimitta rinnankorkeudella, cm
mean diameter of pulpwood stems at breastheight; weighted with stem volume, cm
V_w hukkapuun kuorellinen tilavuus, m³/ha
volume of waste incl. bark, m³/ha
W% hukkapuun osuus tilavuudesta, %
waste, per cent of cubic volume
I_v vuotuinen kuorellinen tilavuuskasvu, m³/ha/a
annual volume increment incl. bark, m³/ha/a
 ΔI_v lannoituksen aiheuttama vuotuinen kasvureaktio, m³/ha/a
annual growth response to fertilization incl. bark, m³/ha/a
IND lustoindeksi, normaalivuoden sädekasvun taso = 100
radial growth index, the normal level = 100
FT puuston ikä lannoitettaessa, a
age at which stand is fertilized, a
FN typpimäärä, kg N/ha
nitrogen dose, kg N/ha
FS typpilannoitelaji (ammoniumsulfaatti/urea/oulun-salpietari)
nitrogen fertilizer type (ammonium sulphate/urea/ ammonium nitrate with lime)

Liite 2a. Lannoittamattoman puuston kehityksen laskenta.
Appendix 2a. Calculation of the development of unfertilized tree stand.



Liite 2b. Lannoitetun puuston kehityksen laskenta.
Appendix 2b. Calculation of the development of fertilized tree stand.



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 Metsätilastollinen 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: Metsätutkimuslaitoksen 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 skogsbruksheter på basen av registeruppgifter.
Development of the number of private forest holdings in Finland.
- No 740 Hämäläinen, Jouko, Laakkonen, Olavi & Kukkola, Mikko: Toistuvan lannoituksen kannattavuus kangasmailla.
Profitability of repeated fertilization on mineral soils.
- No 741 Laakkonen, Olavi: Toistuvan lannoituksen kannattavuus Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männiköissä.
The profitability of repetitive fertilization in pine stands on dryish mineral soils in southern Finland.