

METSÄNLANNOITUKSEN EDULLISUUDEN VAIHTELU

MATTI KELTIKANGAS ja KUSTAA SEPPÄLÄ

SUMMARY:

VARIATIONS IN THE PROFITABILITY OF FOREST FETILIZATION

Saapunut toimitukselle 23. 7. 1973

Kirjoituksessa tarkastellaan tekijöiden suorittamien laskelmien perusteella, miten metsänlannoituksen edullisuus vaihtelee tapauksesta toiseen kasvupaikan, puuston ja maantieteellisen sijainnin muuttuessa. Edullisuuden kriteerinä on käytetty hyötykerrointa eli lannoituksista koituviksi odotettujen tuotonlisäysten nykyarvon ja investointikustannusten suhdetta. Tuottojen lisäysten mittana on käytetty kantohintaa. Kohteiden edullisuutta tarkastellaan kansantalouden, ei yksityisen metsänomistajan kannalta.

Lannoituksen aiheuttamia kasvunlisäyksiä koskevat laskelmat perustuvat kivennäismaiden metsien osalta »operaatio metsänlannoituksen» alkuperäismateriaaliin, turvemaiden osalta v. 1970 kerättyyn omaan aineistoon. Näiden pohjalta laaditaan aluksi menetelmä, missä metsikön lannoituksen jälkeinen kasvu määritetään metsikön puumäärän ja lannoitusta edeltäneen kasvun perusteella.

Tätä menetelmää sovelletaan sitten tavoitepuustosarjojen mukaisiin eli säännöllisesti hoidettuihin ja likimain täysipuustoisiin männiköihin. Aluksi lasketaan lannoituksen aiheuttama kasvun lisäyksen kokonaismäärä eri tapauksille olettaen, että lannoituksen kesto-aika on kivennäismaiden metsiköissä kuusi ja turvemaiden viisitoista vuotta. Diskontattuja puusatoja eli hintasuhteiden avulla yhdeksi puutavaralajiksi muunnettuja ja diskonttaamalla nykyhetken siirrettyjä hakkuupoistumien lisäyksiä laskettaessa käytetään sekä kiertoajan lyhenemiseen että hakkuiden lisääntymiseen perustuvia menetelmiä. Diskonttausprosenttina käytetään sekä kolmea että viittä. Hinnoittamalla diskonttatut puusadon lisät alueittaisilla reaalihinnoilla ja jakamalla investointikustannuksilla päädytään edullisuuden kriteereinä käytettyihin hyötykerrointiin.

Tuloksista päätellään, että lannoituksen edullisuus nousee metsikön varttuessa ja kasvupaikan viljavuuden muuttuessa karusta keskinkertaiseksi. Sen sijaan edullisuus heikkenee jyrkästi etelästä pohjoiseen siirryttäessä, osittain ilmasto-olojen, osittain kantohintojen vaikutuksesta. Laskelmissa käytetty korkoprosentti vaikuttaa hyötykerrointen absoluuttiseen tasoon jonkin verran, mutta eri tapauksien keskinäinen paremmuusjärjestys näyttää säilyvän jokseenkin muuttumattomana laskentakorkoa vaihdeltaessa.

1. JOHDANTO

Metsien lannoitus on uusin ja viime vuosina nopeimmin kasvanut metsänparannuksen muoto. Varsinaisesti käytännön metsänlannoitusten voidaan katsoa alkaneen vuonna 1961, jolloin lähinnä valtion mailla lannoitettiin yhteensä pari tuhatta hehtaaria. Vähäisen alun jälkeen toiminta laajeni nopeasti sekä metsäteollisuuden että metsähallituksen mailla. Yksityismaiden metsänlannoitukset käynnistyivät mainittavassa mitassa saman vuosikymmenen lopussa, kun uusi metsänparannuslaki mahdollisti — tosin aluksi kovin monimutkaisin muodoin — valtion tuen suuntaamisen myös lannoitustoimintaan. 1970-luvulle tultaessa vuotuiset lannoitusalat nousivat jo 200 000 hehtaariin ja tämän päivän näköalojen mukaan trendi on edelleen kohoava.

Lannoitusta koskeva tutkimustoiminta on sen sijaan huomattavasti vanhempaa. Ensimmäiset, tosin varsin satunnaiset suometsien lannoituskokeet perustettiin meidänkin maassamme jo 1920-luvun lopulla ja ensimmäiset kivennäismaiden metsiin perustetut kokeet muutamaa vuotta myöhemmin. Systemaattinen lannoituskoetointi alkoi 1950-luvun puolivälissä ja on tällä hetkellä laajuutensa puolesta eräs keskeisimmistä metsätutkimuksen aloista. Tämän tutkimustoiminnan ansiosta meillä nyt on käytössä runsaasti tietoja monista metsänlannoituksen eri aspekteista. Tässä yhteydessä ei ole tarkoitus esittää niistä synteesiä, vaan ainoastaan luetella eräitä osaluoteita, joita metsänlannoitusta koskevassa kirjallisuudessa on käsitelty: maa- ja neulasanalyysit maan viljavuuden ja lannoitustarpeen osoittajina (esim. AALTONEN 1950, VIRO 1961, 1965 b, PUUSTJÄRVI 1965, PAARLAHTI ym. 1971), lannoituksen vaikutus maan mikrobistoon (esim. HUIKARI 1953, SCHALIN 1967), vaikutus pintakasvillisuuteen (esim. PÄIVÄNEN 1970, HEIKURAINEN ja VEIJOLA 1971), ravinteiden huuhtoutumiseen lannoitusalueilta (esim. KARSISTO 1970, SÄRKKÄ 1970, KARSISTO ja RAVELA 1971), lannoitelajikysymykset (esim. PAARLAHTI ja KARSISTO 1968, KARSISTO 1968, PAAVILAINEN 1971), taimistojen lannoitusreaktiot (esim. HEIKURAINEN ym. 1966, HUIKARI ja PAARLAHTI 1966, VIRO 1966 a, MANNERKOSKI ja SEPPÄLÄ 1970, PAAVILAINEN 1971, SEPPÄLÄ 1971), varttuneemien puiden ja metsien lannoitusreaktiot (esim. VIRO 1965 a, 1967, PAAVILAINEN 1968, Operaatio . . . 1969) sekä lannoitusajankohtaa koskevat kysymykset (esim. PAAVILAINEN 1969, VIRO 1970).

Muissa pohjoismaissa yksittäiset metsänlannoitusta koskevat kokeilut aloitettiin vielä aikaisemmin kuin meillä. Nämä koetulokset (esim. MALMSTRÖM 1952, TAMM 1956, THURMANN-MOE 1956, ROBAK ja NEDKVITNE 1957) ovat osaltaan olleet pohjana meilläkin laadittaessa ensimmäisiä arvioita erilaisten maiden lannoitustarpeesta, lannoitusvaikutuksen kestosta jne. Myöhempinä vuosina koetointi on laajentunut ja systematisoitunut ja monia perusteellisia selvityksiä sen tuloksista on julkaistu sekä Ruotsissa

(esim. TAMM 1965, HOLMEN 1971, MÖLLER 1971, 1972) että Norjassa (esim. BRANTSEG 1962, MESHECHOK 1968, BRANTSEG ym. 1970).

Lannoituksen biologisten ja teknisten edellytysten ja vaikutusten selvityksen rinnalla on pyritty tutkimaan myös toiminnan taloudellisuutta. Pohdinnan kohteena ovat olleet mm. edullisin lannoitemäärä ja lannoitteiden levitystapa. Keskeisimmin on mielenkiinto kuitenkin kohdistunut kysymykseen lannoituksen kannattavuudesta ja eri lannoituskohteiden keskinäisestä edullisuusjärjestyksestä (esim. CARBONNIER 1962, SVENSRUD 1969, FAHLROTH 1970, HEIBERG 1971).

Metsänlannoitus onkin yhteiskunnan kannalta ehkä tyypillisimmin se metsänparannuksen muoto, missä tarvitaan vaihtoehtoisten kohteiden keskinäistä edullisuusvertailua. Periaatteessa voidaan näet katsoa, että kaikki metsät, jopa joutomaatkin, ovat potentiaalisia lannoituksen kohteita. Kun kertalannoituksen vaikutusaika vielä on suhteellisen lyhytaikainen ja jo ennen lannoitetut kohteet näin tulevat pian uudelleen mahdollisten kohteiden joukkoon, vaihtoehtoisia alueita on jatkuvasti erittäin paljon enemmän kuin mitä käytössä olevin resurssein kyetään lannoittamaan. Toiminnan tulokellisuuden kannalta on tärkeää, että käytössä olevat varat kulloinkin suunnataan vaihtoehtoista kohteista edullisimpiin. Tätä varten tarvitaan tietoa metsänlannoituksen edullisuuden vaihteluista metsiköittäin, kasvupaikoittain ja alueittain.

Suomessa on metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston Etelä- ja Keski-Suomen kangasmetsiin perustaman koeala-aineiston pohjalta julkaistu useita selvityksiä, joissa metsänlannoituksen kannattavuutta tai edullisuutta on tarkasteltu lähinnä yksityisen maanomistajan kannalta (esim. VIRO 1966 a ja b, 1967, KEIPI ja KEKKONEN 1970). Laskentamenetelmänä on käytetty joko hakkuuarvon lisäystä yksinään tai sen rinnalla kiertoajan lyhenemiseen perustuvaa menetelmää. Nämä tutkimukset ovat osoittaneet, että edullisimpia lannoituskohteita ovat täysipuustoiset, päätehakkuuikää lähentelevät ja vähiten edullisia taimistovaiheessa olevat metsiköt. Vaikka laskelmien pohjana oleva aineisto rajoittuukin Etelä- ja Keski-Suomeen, tuloksia voitaneen soveltaa yksityisen metsälön puitteissa vaihtoehtoisten kohteiden valintaan likimain koko maassa. Yhteiskunnan kannalta tilanne on toinen. Lannoitus-toimintaan käytössä olevien varojen taloudellisesti optimaaliseen ohjaamiseen tarvitaan tietoa myös edullisuuden alueittaisesta vaihtelusta.

Tämän kirjoittajat laativat — lähinnä laskentamenetelmien kokeilemiseksi — muutamia vuosia sitten kalkyyleja turvemaiden metsien lannoittamisen edullisuudesta ja sen vaihtelusta metsiköiden eri kehitysvaiheissa ja alueittain (KELTIKANGAS ja SEPPÄLÄ 1968). Empiirisen lannoitusaineiston puuttuessa testattiin eräitä vaihtoehtoisia, loogisia olettamuksia metsäojituksen edullisuuslaskennassa perustana olleiden puustotietojen (HEIKURAINEN 1961, HEIKURAINEN ja SEPPÄLÄ 1965, KELTIKANGAS ja SEPPÄLÄ 1966) pohjalta. Tulok-

sista voidaan päätellä, että suometsien lannoituksen edullisuus heikkenee voimakkaasti maan eteläosista pohjoiseen päin sekä siirryttäessä varttuneista puustoista nuorempiin.

Nyt esitettävän tutkimuksen tarkoituksena on — kangasmetsien osalta ns. operaatio metsänlannoituksen aineistoon ja suometsien osalta sopimus-tutkimuksen yhteydessä kerättyyn omaan aineistoon nojaten — selvittää, miten metsänlannoituksen edullisuus muuttuu kasvupaikan laadun, metsikön kehitysvaiheen ja alueellisen sijainnin muuttuessa. Tätä varten on jouduttu mm.

- valitsemaan vertailussa käytettävä menetelmä
- hankkimaan tarvittavat aineistot ja rakentamaan niiden avulla lannoituksen aiheuttamaa kasvunlisäystä ennustava laskentamalli
- muuntamaan mallin avulla määritetyt kasvunlisäykset taloudelliseksi tuotonlisäyksiksi käyttäen välivaiheena ns. diskontattuja puusadonlisiä
- selvittämään investointikustannukset sekä
- suorittamaan varsinaiset vertailut edullisuusjärjestyksen löytämiseksi.

Lopulliset edullisuuslaskelmat on — lähinnä aineistojen ja käytettävissä olleiden puustosarjojen puutteellisuuden vuoksi — rajoitettu koskemaan täysipuustoisia, säännöllisin harvennushakkuuin käsiteltyjä männiköitä, joiden lannoitus oletetaan suoritettavaksi tiettyjä vakiolannoitemääriä ja -kombinaatioita käyttäen. Turvemaiden osalta tulosten voidaan katsoa koskevan suometsiä, joissa puuston kasvu on jo ojituksen vaikutuksesta elpynyt. Uudisojitusalueiden lannoitukset eivät siis ole laskelmissa mukana.

Tutkimus kuuluu osana metsänparannusten sisäistä ja keskinäistä edullisuutta käsitellessen, Suomen Akatemian tutkimussopimuksen perusteella rahoittamaan projektiin, joka suoritettiin professoreiden VALTER KELTIKANGAS, LEO HEIKURAINEN ja PAAVO YLIVAKKURI johdolla vuosina 1967—1971 Helsingin yliopiston metsätalouden liiketieteen, metsänhoitotieteen ja suometsätieteen laitoksissa. Turvemaiden metsien lannoitusta koskevan osan maastotyöt rahoitti Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö ja eräät tarkistuslaskelmat SITRA.

Kivennäismaiden koeala-aineisto saatiin käyttöön Kemira Oy:ltä. MH SAKARI SALMINEN antoi apuaan tämän aineiston alkuperäiseen käsittelyyn perehdyttäessä. Lannoituksen aiheuttamien kasvunlisäysten laskentaan ovat osallistuneet mm. MML PENTTI K. RÄSÄNEN, MMK TAPANI HÄNNINEN, MH SAULI AHOPELTO ja MH MARTTI ROMPPAINEN.

Esitämme vilpittömät kiitoksemme kaikille edellä mainituille.

2. VERTAILUMENETELMÄN VALINTA

Metsänlannoituksen edullisuuden laskentaan on tähänastisissa tutkimuksissa käytetty tai suositeltu käytettäväksi useita eri menetelmiä. Jos tässä yhteydessä rajoitumme tarkastelemaan pelkästään metsikkökohtaisia edullisuusvertailuja, voimme kuitenkin todeta moninaisuuden johtuvan enemmän

laskentateknisistä syistä ja käytössä olleiden tietojen laadusta kuin varsinaisista laskentaperiaatteita koskevista erilaisista näkemyksistä. Viimemainitussa suhteessa voidaan itse asiassa löytää vain yksi merkittävämpi kiistakysymys. Tämä koskee lannoituksen tuotannollista tarkoitusta ja siten tuotosten määrittämistä. Lannoituksella luonnollisesti ensikädessä lisätään metsikön kasvua, mutta taloudenharjoittamisen kannalta kasvun parantaminen on vain keino vaikuttaa tuleviin tuottoihin, ei päämäärä sinänsä. Tapa, jolla lannoitus tuottoihin vaikuttaa, ei puolestaan ole yksiselitteinen.

Kaksi pääasiallista näkemystä ovat vallitsevia. Toinen ja yleisemmin omaksuttu näistä olettaa, että lannoituksella pyritään lisäämään metsiköstä hakattavaa kokonaispuumäärää ja siten kokonaishakkuutuloa; toinen, vastakkainen näkemys perustuu olettamukseen, että metsikössä kasvatettava puumäärä on vakio, mutta suurenevan kasvun ansiosta tämä puumäärä kertyy ja saatetaan hakata aikaisemmin, ts. hakkuutuloja joudutaan odottamaan vähemmän aikaa kuin lannoittamattomassa metsikössä. Edellisen näkemyksen mukaan lannoituksen tuotot ovat siten lisäkuutiometrejä ja lisämarkkoja, jälkimmäisen mukaan odotusajan lyhenemistä vastaavia korkosäästöjä (vrt. KEIPI ja KEKKONEN 1970, KEIPI 1972). Seuraavassa näistä perusratkaisuista käytetään nimityksiä »hakkuiden lisääntymismenetelmät» ja »hakkuiden ajoittumismenetelmät».

Hakkuiden lisääntymismenetelmissä on siis yhteisenä piirteenä (ainakin implisiittisesti) olettamus, että lannoituksella ei ole vaikutusta metsikön kiertoaikaan eikä harvennushakkuiden ajoittumiseen. Metsikkö hakataan tiettyinä ajankohtana, olipa se lannoitettu tai ei, ja jos siinä tällöin on lannoituksen ansiosta enemmän kuutiometrejä ja puut järeämpiä, hakkuutulot ovat vastaavasti suuremmat. Erojen tämän ryhmän menetelmissä voidaan katsoa olevan käytännön ratkaisuissa, ts. hakkuutulojen lisäyksen tai sen nykyarvon määrittämistavassa.

Yksinkertaisemmissa ratkaisuissa lasketaan lannoituksesta sen vaikutusaikana kaikkiaan kertyvien lisäkuutiometriä määrää ja hinnoitetaan nämä sopivaksi katsotulla kuutiometrihinnalla (esim. HEIBERG 1974), hienovaraisemmissa pyritään laskemaan myös koko puustolle järeytyemisestä koituva arvonlisäys (esim. ERKÉN 1969, KEIPI ja KEKKONEN 1970) samoin kuin korjuukustannusten alenemisesta syntyvät tulonlisäykset (esim. FAHLROTH 1970, WESLIEN 1972), vieläpä mahdollisesta puuaineen laadun heikkenemisestä aiheutuvat jalostusarvon menetykset. Mitä varsinaiseen käytännön laskentaan tulee, se voidaan suorittaa joko puustosarjoihin perustuen (esim. KEIPI ja KEKKONEN mt.) tai VIRON (1966, 1967) käyttämään tapaan määrittämällä suoraan koealoilta metsiköissä lannoitusjakson aikana tapahtunut hakkuuarvon muutos erikseen lannoitetussa ja lannoittamattomassa metsikön osassa, jolloin erotus osoittaa lannoituksen vaikutuksen. Puustosarjoihin nojautuessa ongelmia aiheuttaa puuston järeytyminen täsmällinen mitoittaminen,

koealakohtaisissa laskelmissa erotusten määrittämiseen väistämättä liittyvän satunnaisvaihtelun suuruus.

Mainittuja menetelmiä käyttäneet tutkijat korostavat lähes poikkeuksetta, että hakkuuarvon lisäys on tulonlisäystä tarkasti ottaen vain siinä tapauksessa, että metsikkö todella päätehakataan lannoitusvaikutuksen päättyessä. Jos metsikön kasvatusta tuolloin vielä jatketaan, arvonlisäyksen realisointi siirtyy kauemmaksi tai jakaantuu useamman hakkuun osalle ja siten pitemmälle aikavälille. Menetelmä siis toisin sanoen yliarvioi lannoitustoimenpiteen edullisuutta, mikäli metsikkö on päätehakkuuikäistä nuorempi mutta jo harvennusharjoituksen sivuuttanut. Toisaalta aivan nuorissa metsiköissä, taimistoissa, menetelmä aliarvioi tuloksen syystä, että metsiköllä ei vielä tuolloin ole lainkaan hakkuuarvoa (vrt. KEIPI ja KEKKONEN mt.).

Lannoituksen jälkeisessä harvennushakkuussa voitaisiin ehkä useinkin hakata — lakia loukkaamatta — sen verran enemmän puuta, että poistumasta saatava hakkuutulo suurenisi juuri ko. arvonlisäyksen verran. Kun kuitenkin hakkuu metsikössä aina kohdistuu puihin eikä kuutiometreihin, tällaisen harvennuksen jälkeen jäljellä oleva metsikkö ei enää olisi runkoluvultaan eikä muultakaan rakenteeltaan lannoittamatonta vertailumetsikköä vastaava, eikä sen jatkokehityskään ilmeisesti olisi sama. Vain jos metsänomistajan aikahorisontin voitaisiin katsoa olevan lannoitusvaikutuksen päättymishetkessä (po. harvennuksessa), jolloin häntä eivät lainkaan liikuttaisi myöhemmissä hakkuissa syntyvät tulonmuutokset, ei tällä seikalla olisi oleellista merkitystä.

Hakkuiden ajoittumismenetelmiä on käytössä vain yksi, alunperin CHARBONNIERIN (1962) esittämä ns. kiertoajan lyhenemiseen perustuva menetelmä. Siinä lannoituksen aiheuttama kasvun kokonaislisäys muunnetaan kiertoajan lyhenemistä ilmaiseksi vuosimääräksi jakamalla se metsikön lannoituksen jälkeisellä vuotuisella kasvulla. Tuotot saadaan tällöin laskemalla, kuinka paljon metsikön diskonttoarvo suurenee, kun sitä prolongoidaan mainitun vuosimäärän verran (CARBONNIER mt., KEIPI ja KEKKONEN mt.). Menetelmässä siis oletetaan, että lannoitus vain nopeuttaa metsikön kehitystä ja että metsikkö toisaalta lannoitusvaikutuksen päättymisen jälkeen jatkaa kehitystään täysin samalla tavalla kuin saman kuutiomäärän omaava lannoittamaton metsikkö. Tällöin kaikki kiertoajan jäljellä olevat hakkuut siirtyvät saman vuosimäärän verran lähemmäksi lannoitushetkeä.

Hakkuita saatetaan kuitenkin tietyissä rajoissa siirtää aikaisemmaksi tai myöhemmäksi aivan lannoituksesta riippumatta. Jos esimerkiksi metsikön kiertoaika laskennan pohjana olevassa puustosarjassa vastaa rajakannattavuusprosenttia 2.5 ja diskonttoarvon laskemisessa käytetään 3 %:n korkokantaa, pelkkä kiertoajan lyhentäminen — siihen liittyvine hakkuumäärän pienentymisineen — jo suurentaisi ko. diskonttoarvoa. Jos taas mainittu rajakannattavuusprosentti on kolmea suurempi, sama kiertoajan lyhentämi-

nen johtaisi diskonttoarvon pienentymiseen. Vastaavansuuntaiset diskonttoarvon muutokset saataisiin aikaan myös harvennushakkuiden voimakkuutta ja ajoitusta muuttamalla, mikäli puustosarjaa ei ole alunperin koostettu niin, että sen sisältämä metsikön käsittely kaikissa vaiheissaan on sopusoinnussa ko. diskonttoprosentin kanssa (vrt. KEIPI 1972).

Kiertoajan lyhenemiseen perustuvaa menetelmää noudatettaessa saattaa näin ollen »puhtaaseen» lannoituksen tuottovaikutukseen sekoittua mainittua »ansiotonta arvonnousua tai -laskua», ellei laskelmassa käytettävää diskonttoprosenttia valita puustosarjan sisäisen prosentin mukaan tai päinvastoin. Syntyvä virhe — yliarviointi tai aliarviointi — on sitä suurempi, mitä enemmän mainitut kaksi prosenttia poikkeavat toisistaan. Samoin virhe on varttuneissa metsiköissä suurempi kuin nuorissa.

Toisaalta »puhtaankin» lannoitusvaikutuksen arvo on tätä menetelmää käytettäessä varsin herkkä korkoprosentin muutoksille. Niinpä jos diskonttoprosentti olisi 0, ts. jos olisi samantekevää, milloin hakkuutulot saadaan, menetelmä antaisi lannoitusvaikutuksen arvoksi nollan. Korkoprosentin valinnassa ei siten voitane kovin paljon poiketa »oikeasta», so. päätöksentekijän reaalisesta aika-arvostuksesta ilman että tulokseen syntyy oleellista harhaa. Puustosarjojen sisäisten prosenttien ja metsänomistajan subjektiivisten korkovaatimusten yhteensovittaminen ei kuitenkaan ole helppo tehtävä, etenkin kun metsänomistajat saattavat perustellusti asettaa metsänlannoitusinvestoinnille eri korkovaatimuksen kuin sen, jota soveltavat metsänkäsittelyssä.

Sen paremmin hakkuiden lisääntymis- kuin hakkuiden ajoittumisenäkemyksenkään mukaan kehitetyjä menetelmiä ei siis voitane pitää täydellisinä tai itsestään oikeutettuina. Kummankin ryhmän menetelmät ovat harhattomia vain tietyissä tapauksissa. Useimmat käytännön lannoitusvaihtoehdot lienevät sellaisia, että ne edellyttäisivät molempien näkemysten samanaikaista soveltamista: lannoituksella pyritään tai se ainakin johtaa sekä hakkuiden uudelleen ajoittumiseen että hakkuumäärien kasvuun.

Edellä sanottu oli taustana, kun tutkimuksessa lähdettiin etsimään soveliasta vertailumenetelmää. Valinnassa jouduttiin erityisesti ottamaan huomioon asetettu tutkimustehtävä ja käytössä olevien tietojen laatu. Yhdenmukaisuuden aikaansaamiseksi nimenomaan alueellisen vertailuihin laskelmat oli voitava sitoa samoihin puustosarjoihin, jotka ovat olleet perustana sopimustutkimuksen muilla osasektoreilla, metsäojituksen ja metsänviljelyn edullisuuslaskelmissa. Mainittujen puustosarjojen mukaisissa metsiköissä taas käsittelyvoimakkuus ja etenkin kiertoaika eivät ole määräytyneet saman sisäisen prosentin mukaan.

Harkinnan ja suoritettujen kokeilujen jälkeen päädyttiin seuraavaan yhdistettyyn menettelyyn:

Kiertoajan alkupään osalta lannoituksen tuottovaikutus lasketaan em. kiertoajan lyhenemiseen perustuvaa menetelmää käyttäen. Varttuneissa metsiköissä sen sijaan lasketaan ns. poistuman lisäys olettaen, että lannoituksella aikaansaadut lisäkuutiometrit poistetaan metsiköstä heti lannoitusvaikutuksen päätyttyä suoritettavassa ylimääräisessä harvennuksessa, että tällöin poistettavan puumäärän puutavaralajijakauma on sama kuin lannoittamattomassa metsikössä neljä (turvemailla viisi) vuotta myöhemmin tapahtuvassa normaaliharvennuksessa ja että metsikön muut poistumat säilyvät sekä puumäärältään että rakenteeltaan muuttumattomina. Turvemailla, missä vaikutusaika on pitempi, puumäärä oletetaan poistettavaksi kahdessa erässä, joista toinen 5 ja toinen 15 vuoden kuluttua lannoituksesta. Kiertoajan alkua ja loppupäähän näin määritetyistä arvoista tasoitetaan yhtenäinen, lannoitusvaikutusta metsikön iän funktiona osoittava käyrä.

Omaksuttu menettely epäilemättä edelleen aiheuttaa jonkin verran virhettä metsikön eri kehitysvaiheiden välisiin suhteisiin, mutta kirjoittajien käsityksen mukaan nämä virheet jäävät pienemmiksi kuin edellä selostettuja muita menetelmiä sellaisenaan käytettäessä. On mahdollista, että myös lannoitusvaikutuksen taso on lievästi virheellinen. Toisaalta eri kasvupaikkojen ja ennenkaikkea eri alueiden väliset erot saadaan esiin todennäköisesti harhattomammin, ja näitä näkökohtia on pidetty tämän tutkimuksen kannalta tärkeimpinä.

Lopuksi oli vielä ratkaistava, millä tavalla tiedot lannoituksen kustannuksista ja tuotoista tiivistetään vertailutunnukseksi eli mitä kriteeriä käyttäen vertailut suoritetaan. Tältä osin tullaan tässä tutkimuksessa soveltamaan samaa ns. hyötykerroin-tunnusta kuin sopimustutkimuksen muissakin osaselvityksissä (KELTIKANGAS ja SEPPÄLÄ 1966, KELTIKANGAS 1974). Hyötykerroin tarkoittaa tässä lannoitusinvestoinnin tuottojen nykyarvon (diskonttoarvon) suhdetta investointikustannukseen. Tavanomaisiin investoinnin edullisuustunnuksiin — nykyarvoon ja investoinnin sisäiseen korkokantaan — verrattuna hyötykertomella on etunaan, että se päinvastoin kuin pelkkä nettonykyarvo ottaa huomioon eri kohteiden vaatimien investointien erisuuruuden ja samanaikaisesti reagoi myös tuotantoperiodien erilaiseen pituuteen, mitä sisäinen korkokanta puolestaan ei tee.

3. TUTKIMUSAINEISTOT JA NIIDEN KÄSITTELY

31. TURVEMAIDEN METSÄT

311. Aineisto; sen keruu ja koealakohtainen käsittely

Metsänparannusten edullisuusjärjestystä koskevaa tutkimusta aloitettaessa suometsien lannoituksen edullisuuslaskelmat oli tarkoitus perustaa jo ole-

massa oleviin tutkimusaineistoihin. Työn kuluessa kävi kuitenkin ilmi, että näitä aineistoja ei ollut mahdollisuus saada työryhmän käyttöön, minkä vuoksi oli suunniteltava tarkoitukseen sopivan aineiston keruu ja käsittely niiden resurssien puitteissa, joita työryhmällä oli käytössä.

Eri vaihtoehtoja harkittaessa havaittiin, että pääosa vanhemmasta suometsiin kohdistuneesta lannoituskoetoinnasta keskittyi aivan kehityksensä alussa ja usein viljavuudeltaan kaikkein karuimmilla soilla oleviin suometsiin. Varttuneisiin metsiköihin myöhemmin perustetut systemaattiset lannoituskoeket olivat puolestaan pääosaltaan liian nuoria, jotta niistä voitaisiin päätellä lannoituksen aiheuttaman kuutiokasvun lisäyksen suuruutta eri tapauksissa. Tämän vuoksi päädyttiin valitsemaan maastotutkimuksen kohteet käytännön toimintana lannoitetuista suometsiista.

Tutkimusalueiksi valittiin Metsähallituksen Keski-Suomessa ja Lounais-Lapissa vuosina 1961–1965 lannoittamat suometsiat. Ensin mainittuun ryhmään sisällytettiin Jämsän, Korkeakosken, Kurun, Kihniön, Virtain, Karsulan, Keuruun ja Heinolan hoitoalueet, jälkimmäiseen Pudasjärven, Kemin, Simon, Kuivaniemen, Turtolan, Pellon, Ranuan, Raudanjoen ja Rovaniemen hoitoalueet. Ennakkoehdoksi asetettiin, että alueen tuli olla PK-lannoitettu. P_2O_5 :n määrä sai vaihdella rajoissa 75–150 kg/ha ja K_2O :n rajoissa 60–120. Lisäksi alueen ojituksen tuli olla vähintään 30 vuotta vanha, jotta ojituksen aiheuttamat puiden elpymisreaktiot eivät sotkisi lannoituksen aiheuttamien kasvun muutosten tulkintaa.

Arkistotietojen perusteella valittiin kevättalvella 1970 mainitut ehdot täyttävät lannoitusalueet ja tarkistettiin niiden sijainti karttamateriaalin avulla. Alueen koosta riippuen merkittiin kartoille kahdesta neljään mahdollista koealan kohtaa, jotka tutkittiin maastossa touko–kesäkuussa 1970. Mitattaviksi hyväksyttiin tällöin kohteet, jotka täyttivät seuraavat ehdot:

- Kohteen tuli alkuperäiseltä suotyypiltään kuulua isovarpuisiin rämeisiin, tupasvillarämeisiin, varsinaisiin sararämeisiin tai mainittujen välimuotoihin.
- Metsikön tuli olla mäntyvaltainen sekä tiheydeltään ja metsänhoidolliselta tilaltaan Keskusmetsälautakunta Tapion laatimien normien mukaan kasvatuskelpoinen (esim. Suometsiat . . . 1974). Lannoituksen jälkeen harvennettuja metsiköitä ei aineistoon hyväksytty.
- Metsikön keskipituuden tuli mittaushetkellä olla vähintään kymmenen metriä.

Keski-Suomesta kertyi koealoiksi kelpuutettuja metsiköitä kaikkiaan 72 kappaletta. Niistä läntisimmät sijaitsevat Jalasjärven, pohjoisimmat Pylkönmäen, itäisimmät Leivonmäen ja eteläisimmät Juupajoen kunnassa eli suhteellisen suppealla ja ilmastollisesti varsin yhtenäisellä alueella maan

keskiosissa. Pohjois-Suomen alueelta saatiin kokoon vain vajaat kaksikymmentä mittauskelpoiseksi katsottua koealametsikköä. Hylkäämisen syynä olivat lähinnä puustojen alle minimivaatimuksen jäänyt koko sekä metsiköiden vajaapuustoisuus. Koealamäärän vähäisyyden vuoksi tämä osa-aineisto jätettiin kokonaan mittaamatta.

Koealamittaukset suoritettiin elo–syyskuussa 1970. Tällöin koealat rajoitettiin suorakaiteen muotoisiksi siten, että niiden toinen pitkä sivu kulki keskellä koealan viereistä ojaa. Koealan pituudeksi pyrittiin saamaan 50 metriä, vaikka eräissä poikkeustapauksissa, esim. kasvupaikan laadun muuttuessa, jouduttiin tyytymään 40 metriin. Koealan leveys oli säännöllisesti 30 metriä. Koealojen sijainti ojiin nähden on siis sama kuin metsäojituksen edullisuutta koskevan selvityksen metsikkökoaloilla (esim. SEPPÄLÄ 1972). Mitattujen koealojen keskikoko on 14.5 aaria.

Koealoilta luettiin puulajeittain rinnankorkeudelta pystypuut sekä mahdolliset lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden aikaiset kannot kahden sentin tasaavaa luokitusta käyttäen. Koepuiksi otettiin joka n:s puu arvioitua keskiläpimittaa suuremmista ja joka 2n:s puu tätä pienemmistä puista, sekä lisäksi viisi koealan kookkainta puuta. Koepuiden määrä vaihtelee koealoittain rajoissa 15–25 keskiarvon ollessa noin 20 puuta.

Koepuut pyrittiin mittaamaan siten, että mittaustulosten perusteella voitaisiin määrittää koealametsiköiden tärkeimmät tunnuksot sekä lannoitus-hetkelle, että sitä edeltävälle ja sen jälkeiselle viisivuotiskaudelle. Tätä varten koepuista mitattiin sentin tarkkuudella läpimitat kannon korkeudelta, rinnankorkeudelta sekä kuuden metrin korkeudelta ja kahdelta viime-mainitulta korkeudelta millimetrin tarkkuudella kuoren kaksinkertaiset paksuudet, kaikki nämä kahdesta toisiaan vastaan kohtisuoraan olevasta suunnasta. Puun pituus mitattiin hypsometrillä puolen metrin tarkkuudella. Lisäksi havupuista mitattiin lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden vuotuinen pituuskasvu puolen desimetrin tarkkuudella. Samalla tarkkuudella mitattiin myös lannoituksen jälkeisen kauden vuotuinen pituuskasvu siten, että kahden lannoitusta seuranneen kasvukauden pituuskasvut jätettiin huomioon ottamatta.

Kustakin koepuusta kairattiin vähintään 15 vuosilustoa sisältävät kairanlastut sekä rinnankorkeudelta että kuuden metrin korkeudelta. Lastut talletettiin ja vuosilustojen leveydet mitattiin sisätyönä lustonmittauskojeella. Lisäksi apteerattiin kaikki sahapuun mitat täyttävät koepuut.

Koealojen puustot kuutioitiin samoin menetelmin kuin tutkimusprojektin muissakin osatutkimuksissa (esim. SEPPÄLÄ 1968) eli ILVESHALON kuutioimistauluja (1947) soveltaen. Vuotuiset juoksevat kuutiokasvut laskettiin lannoitusta edeltäneelle ja sen jälkeiselle viisivuotiskaudelle. (Lisäksi kasvut laskettiin ensimmäistä lannoituksen viisivuotiskautta myöhemmille vuosille, jos lannoitus oli suoritettu ennen vuotta 1965. Näitä tuloksia ei kuitenkaan

ole käytetty seuraavissa kalkyyleissa.) Kasvunlaskennassa käytettiin ensisijaisesti erotusmenetelmää, jossa yksikkökuutiot ja niiden muutokset saatiin muuttamalla graafisesti ILVESSALON taulujen kuutiomäärät kapenemisen puolesta liukuviksi. Pintakasvu ja kapenemisen muutokset selvitettiin kairaustulosten perusteella. Kuoren paksuuden muutokset arvioitiin SEPPÄLÄN aikaisempien selvitysten (1969) perusteella. Lannoitusta seuraavien kahden kasvukauden pituuskasvu oletettiin mitattujen jaksojen pituuskasvun keskiarvon suuruiseksi. Saadut kuorelliset kasvuluvut muunnettiin kuorettomiksi ILVESSALON (1965) puulajiin, läpimitaan ja kapenemiseen perustuvia lukuja käyttäen.

Lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden mahdolliset kannot kuutiotiin lannoitushetken muototunnuksia käyttäen NYYSÖSEN (1955) esittämien periaatteiden mukaan. Hakkuupoistuman kasvun edellytettiin olevan suhteellisina lukuina samaa tasoa kuin jäävänkin puuston kasvun.

Erotusmenetelmällä saatuja kasvulukuja tarkistettiin osittain prosentti-menotelmää käyttäen. Tarkistusten ei katsottu antavan aihetta mihinkään systemaattisiin korjauksiin.

312. Aineiston jatkokäsittely lannoituksen jälkeisen kasvun laskentamallin laatimiseksi

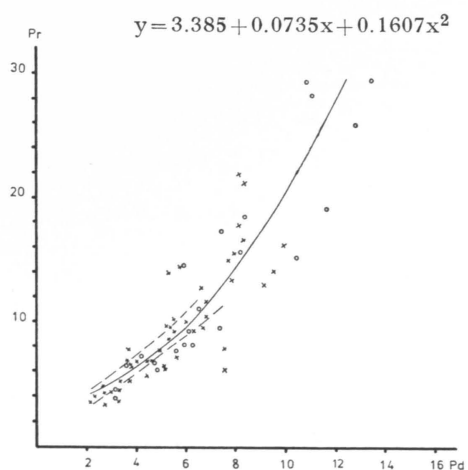
Koealoittaisten selvitysten jälkeen kustakin lannoitusmetsiköstä oli siis käytössä seuraavat tiedot: kasvupaikan laatu (arvioitu alkuperäinen suotyyppi), metsikön kuutiomäärä kuorineen ja kuoretta mittaushetkellä, lannoitushetkellä sekä viisi kasvukautta lannoituksen jälkeen, samoin lannoitusta edeltäneen ja sen jälkeisen viisivuotiskauden vuotuiset kuutiokasvut.

Koska lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen laskennassa käytetyn menetelmän kehittäjä on selostettu jo aikaisemmin tämän aineiston osalta (SEPPÄLÄ 1972), käsitellään asiaa seuraavassa vain pääkohdiltaan.

Suoritettavat laskelmat osoittivat, että keskimäärin sekä kasvupaikan laatu että kasvatettavan puuston määrä selvästi vaikuttavat lannoituksella aikaansaadun kasvunlisäyksen suuruuteen (kuva 1). PK-lannoitusta käytettäessä kasvunlisäys näyttää olevan keskinkertaisilla kasvupaikoilla suurempi kuin karuilla, ainakin ensimmäisellä lannoituksen jälkeisellä viisivuotiskaudella. Siirryttäessä niukkapuustoisista metsiköistä runsaspuustoisempiin kasvunlisäys tutkitussa aineistossa nousee varsin jyrkästi keskimäärin 60–70 k-m³/ha saakka säilyen sen jälkeen jokseenkin tasaisena.

Koealoittaisten kasvu- ja kuutiomäärälukujen (kuva 2) tarkastelu osoittaa kuitenkin, että kasvupaikkatyyppi ja metsikön puuston kuutiomäärä selittävät yhdessäkin suhteellisen heikosti sekä lannoitettujen että lannoittamattomien puustojen kasvun samoin kuin lannoituksella aikaansaadun kasvunlisäyksen suuruutta. Esim. HEIKURAISEN tutkimukset (1959) osoittivat,

Kuva 1.
Fig. 1.



Kuva 1. Lannoitettujen ja lannoittamattomien metsiköiden keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvu metsikön puumäärän funktiona koeala-aineistossa.

- 1 — Ojitettu isovarpuinen ja tupasvillaräme lannoittamattomana
- 2 — Ojitettu isovarpuinen ja tupasvillaräme lannoitettuna
- 3 — Ojitettu varsinainen sararäme lannoittamattomana
- 4 — Ojitettu varsinainen sararäme lannoitettuna

Fig. 1. The average annual volume increment of fertilized and unfertilized stands in the study material as a function of the growing stock volume.

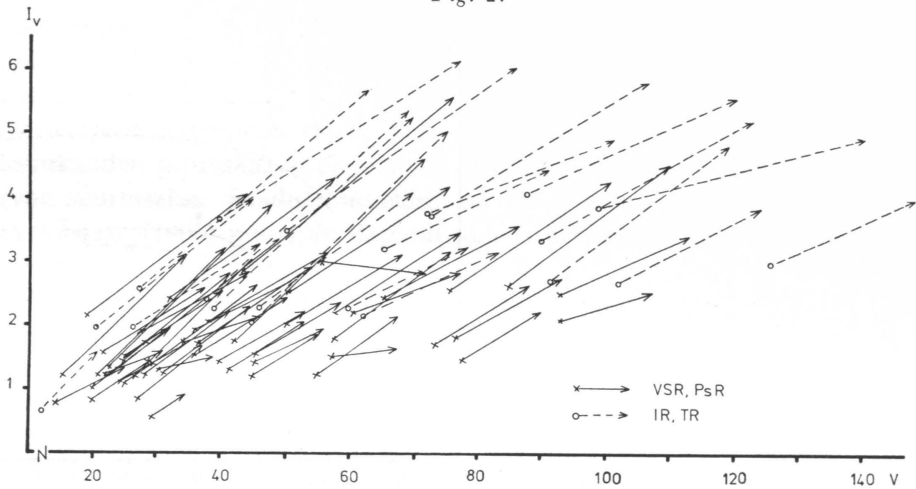
- 1 — Drained and unfertilized dwarf-shrub pine swamp and cotton-grass pine swamp
- 2 — Drained and fertilized dwarf-shrub pine swamp and cotton-grass pine swamp
- 3 — Drained and unfertilized ordinary sedge pine swamp
- 4 — Drained and fertilized ordinary sedge pine swamp

Kuva 3. Lannoituksen jälkeisen viisivuotiskauden keskimääräisen kuutiokasvusadanneksen riippuvuus lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden keskimääräisestä kasvusadanneksesta ojitettujen turvemaiden metsiköissä.

Fig. 3. Dependence of the average volume increment percentage of the five-year period immediately following fertilization on the average increment percentage during the five-year period immediately preceding application in forests growing on peat.

että noin 20-vuotiailla ojitusalueilla kasvun ja mainittujen tunnusten vuoro-suhteet ovat varsin kiinteitä. Vanhemmilla ojitusalueilla monet muut tekijät, ennen muuta metsiköiden erilainen käsittely, heikentävät kasvupaikan ja metsikön puumäärän selitysvoimaa. Toisaalta on ilmeistä, että koealametsiköiden kasvun muutokset lannoituksen vaikutuksesta ovat systemaattisesti sangen samanlaisia. Tärkeimpänä vaihtelua aiheuttavana tekijänä näyt-

Kuva 2.
Fig. 2.



Kuva 2. Koealametsiköiden kuutiomäärän ja juoksevan vuotuisen kuutiokasvun muuttuminen lannoituksen jälkeisen viisivuotiskauden aikana.

Fig. 2. Development during the five-year period immediately following fertilizer application of the volume of the growing stock and the annual current increment in the stands covered by the study

tää olevan metsiköiden kasvun taso ennen lannoitusta siten, että mitä paremmin metsikkö lannoitushetkellä on kasvanut muihin puumäärältään samanveroisiin metsiköihin verrattuna, sitä enemmän se myös lisää kasvuun lannoituksen ansiosta.

Edellä tehtyjen havaintojen perusteella kokeiltiin vuoron perään useita lannoitusta edeltäneen kauden kasvun tunnuslukuja, joilla yhdessä muiden tekijöiden, kuten kasvupaikkatyypin ja metsikön puumäärän kanssa yritettiin selittää lannoituksen jälkeisen kasvun suuruutta. Lopulta päädyttiin regressiolaskelmaan (kuva 3), jossa tärkeimpänä selittävänä muuttujana käytettiin lannoitusta edeltäneen kauden kuutiokasvuprosenttia ja selitettävänä lannoituksen jälkeisen kauden kuutiokasvuprosenttia. Molemmat kasvuprosentit on laskettu lannoitushetken puumäärän mukaan, joten ensiksi mainittu on diskontto- ja jälkimmäinen rabattoprosentti.

Toisen asteen yhtälöä käyttäen saatiin lannoitusta edeltäneen kauden kasvuprosentti selittämään yksinään noin 78 % lannoituksen jälkeisen kauden kasvuprosentista. Kasvupaikkatyypin tai metsikön kuutiomäärän ottaminen mukaan yhtälöön kohotti selitysastetta vajaan prosentin eli varsin vähän. Ilmeistä kuitenkin on, että myös lannoitushetken puumäärä on tosiasiallisesti varsin vaikuttava tekijä, vaikka sen merkitys näin suoritetuissa laskelmissa ei tullutkaan näkyviin. Tätä osoittavat kuvaan 3 katkoviivoin

hahmotellut käyrät. Näistä ylempi edustaa metsiköitä, joissa lannoitushetken kuoreton puumäärä on alle 35 k-m³/ha ja alempi metsiköitä, joiden puumäärä on yli mainitun arvon.

Edellä referoiduista laskelmista saatujen kokemusten perusteella päätettiin lannoituksen aiheuttamien kasvunlisäysten selvittämisessä kokeilla menetelmää, jossa lannoituksen jälkeinen puuston kasvu määritetään lannoitusta edeltäneen kauden kuutiokasvuprosentin ja metsikön lannoitushetken puumäärän perusteella.

32. KIVENNÄISMAIDEN METSÄT

Tutkimusryhmä sai käyttöönsä kivennäismaiden metsien lannoituslaskelmia varten kaksi erillistä ja huomattavan laajaa koeala-aineistoa. Näistä toisen luovutti Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosasto ja toisen Kemira Oy. Laskelmia laadittaessa katsottiin tarkoituksenmukaiseksi pitäytyä vain toiseen näistä aineistoista ja valinnassa päädyttiin lopulta käyttämään Kemira Oy:ltä saatua ns. »Operaatio metsänlannoituksen» alkuperäismateriaalia, lähinnä sen suuremman alueellisen peittävyuden vuoksi. Toisena valinnan perusteena oli, että mainittu aineisto kysymyksenasettelultaan on kyllin yksinkertainen sellaiseen kaavamaisten lannoitustoimenpiteiden vertailuun, mikä tämän hetken tietojen pohjalta katsottiin mahdolliseksi suorittaa likimain luotettavasti.

Operaatio metsänlannoituksen aineisto koostuu runsaasta tuhannesta eri puolilla maata sijaitsevasta koealaparista. Kuhunkin tutkimuskohteeseen oli näet sijoitettu kaksi erillistä koealaa, joista toinen oli lannoitettu — joko vuonna 1962 tai 1963 — käyttäen lannoitteena 800 kg/ha metsän Y-lannosta koville maille (12—8—4) toisen jäädessä lannoittamattomaksi vertailualaksi. Koealamittaukset suoritettiin viisi vuotta lannoituksen jälkeen. Tällöin relaskoopilla määritetyistä koepuista mitattiin läpimitta sekä lannoitusta edeltäneen ja sen jälkeisen viisivuotiskauden sädekasvut ja vallitsevan latvuskerroksen puuston ikä. Puuston kuutiomäärä selvitettiin useimmissa tapauksissa jo koetta perustettaessa; tällöin mittaamatta jääneiden koealojen puumäärä selvitettiin relaskoopimittauksin viisi vuotta myöhemmin. Yksityiskohtaisemmat tiedot aineistosta ja sen mittauksesta on julkaistu jo aikaisemmin (Operaatio ... 1969).

Koeala-aineistosta karsittiin aluksi kasvualustaltaan kanerva- ja käenkaali-mustikkatyypeiksi luokitetut kohteet, samoin soistuneiksi merkityt sekä koivuvaltaiset koealat. Karsinnan jälkeen aineistoon jäi yhteensä 922 koealaparina. Tämän jälkeen koealat jaoteltiin HEIKURAISEN (1959) esittämän ilmastovyöhykejaon sekä ikäluokan ja metsätyyppin mukaisiin ryhmiin.

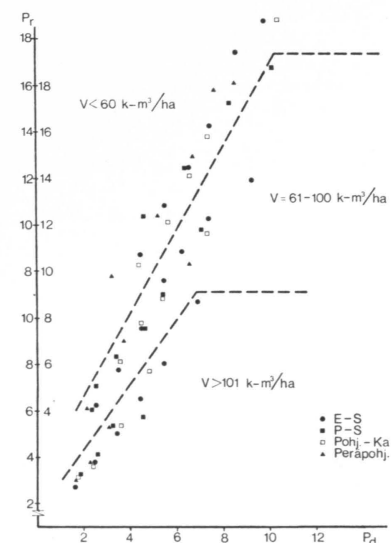
Alunperin koealatuloksista oli laskettu koealoittain keskimääräisiä kuoren paksuuksia käyttäen kuoreton pohjapinta-ala ja pohjapinta-alan kasvusadannekset sekä lannoitusta edeltäneelle että lannoituksen jälkeiselle kaudelle. Nämä koealoittaiset kasvusadannekset (diskonttoprosentteina) ovat olleet lähtökohtana nyt suoritetuille laskelmille. Näistä luvuista laskettiin puulajeittain, ikäluokittain, kasvupaikoittain ja ilmastovyöhykkeittäin keskimääräiset pintakasvusadannekset. Kertomalla ne ILVESSALON (1947) taulukoiden muotokorkeuden kasvuprosentteihin perustuvilla, puulajin ja ikäluokan mukaan muuttuvilla kertoimilla, jotka »operaatio metsänlannoituksen» laskelmat suorittanut tutkimusryhmä oli laatinut, saatiin keskimääräiset ryhmittäiset kuutiokasvusadannekset. Vähentämällä keskimääräisestä kuutiokasvusadanneksesta keskimääräinen pintakasvusadannes saatiin lasketuksi kunkin ryhmän keskimääräinen muotokorkeuden kasvusadannes.

Lisäämällä näin ryhmittäin vakioitu muotokorkeuden kasvusadannes kunkin koealametsikön pintakasvusadannekseen saatiin koealoittaiset vuotuiset kuutiokasvusadannekset sekä lannoitusta edeltäneelle että sen jälkeiselle viisivuotiskaudelle. Esitetty menettely poikkeaa Operaatio metsänlannoituksessa (1969) alunperin käytetystä. Syynä kuutiokasvuprosentin laskennan muuttamiseen on, että alkuperäisen laskentamenetelmän, missä koealan kuutiokasvuprosentti saatiin suoraan kertomalla metsikön pohjapinta-alan kasvuprosentti puulajin ja ikäluokan perusteella määräytyneellä kertoimella, todettiin useissa ryhmissä johtavan niukkapuustoisten metsiköiden kuutiokasvun selvään yliarviointiin. Nyt suoritettu muunnos korjaa jossakin määrin ryhmien sisäisiä, koealoittaisia kasvusuhteita, mutta ryhmien välistä, mahdollista systemaattista harhaa se ei poista.

Kaikille koealametsiköille konstruointiin lannoitushetken kuoreton puumäärä käyttäen keskimääräisiä kuoriprosentteja. Tapauksissa, joissa metsikön puumäärä oli maastossa selvitetty vasta viisi vuotta lannoituksen jälkeen, käytettiin lisäksi apuna edellä kuvatulla tavalla saatuja kuutiokasvuprosentteja. Tämän jälkeen tarkasteltiin lannoituksella aikaan saatua kasvunlisäystä käyttäen selittäjinä ilmastovyöhykettä, kasvupaikkaa, puulajia, metsikön ikää sekä puumäärää ja todettiin hajonta huomattavan suureksi. Käytetyt kriteerit selittivät toisin sanoen suhteellisen heikosti lannoituksen aiheuttaman kasvunlisäyksen suuruutta. Tämän vuoksi päätettiin kokeilla suometsistä kootussa aineistossa jo sovellettua menetelmää eli tarkastella lannoituksen jälkeistä kuutiokasvuprosenttia (rabattoprosentteina) lannoitusta edeltäneen kauden kuutiokasvuprosentin (diskonttoprosentteina) ja metsikön puumäärän funktiona.

Tätä varten otettiin tarkastelun kohteeksi koealapareista vain niiden lannoitetut jäsenet. Kunkin koealametsikön lannoituksen jälkeisen kauden kuutiokasvun diskonttoprosentti muunnettiin rabattoprosentiksi ja aineisto ryhmiteltiin uudelleen käyttäen tällä kertaa perusteina metsätyyppejä, ilmasto-

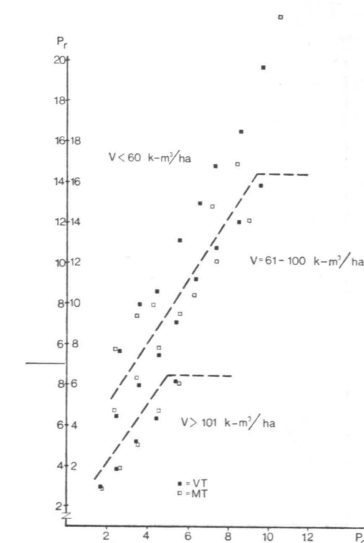
Kuva 4.
Fig. 4.



Kuva 4. Lannoituksen jälkeisen viisivuotiskauden keskimääräisen kuutiokasvusadanneksen riippuvuus lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden keskimääräisestä kuutiokasvusadanneksesta kivennäismaametsiköissä kuutiomääräluokittain ja alueittain tarkasteltuna.

Fig. 4. Dependence, by volume and region, of the average volume increment percentage of the five-year period immediately following fertilization on the average volume increment percentage during the five-year period immediately preceding application in forests growing on mineral soil.

Kuva 5.
Fig. 5.



Kuva 5. Lannoituksen jälkeisen viisivuotiskauden keskimääräisen kuutiokasvusadanneksen riippuvuus lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden keskimääräisestä kuutiokasvusadanneksesta kivennäismaametsiköissä kuutiomäärä- ja kasvupaikkaluokittain.

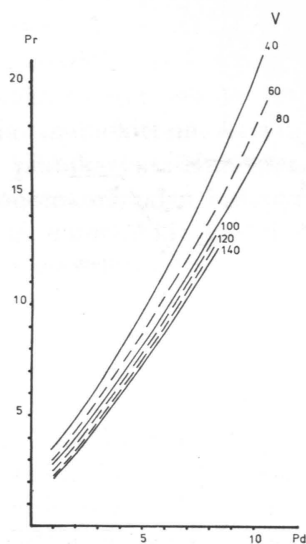
Fig. 5. Dependence, by volume and site, of the average volume increment percentage of the five-year period immediately following fertilization on the average volume increment percentage during the five-year period immediately preceding application in forests growing on mineral soil.

vyöhykettä sekä metsikön lannoitushetken kuoretonta puumäärää. Viimeksi mainitun osalta käytettiin seuraavan asetelman osoittamaa luokkaväliä.

| Kuutiomääräluokka | Kuutiomääräluokan keskiarvo koko aineistossa |
|---------------------------|--|
| ≤ 60 k-m ³ /ha | 37 k-m ³ /ha |
| 61-100 » | 78 » |
| >100 » | 137 » |

Esitellyn ryhmittelyn puitteissa lannoituksen jälkeisen kauden kuutiokasvun rabattoprosentteja tarkasteltiin lannoitusta edeltäneen viisivuotis-

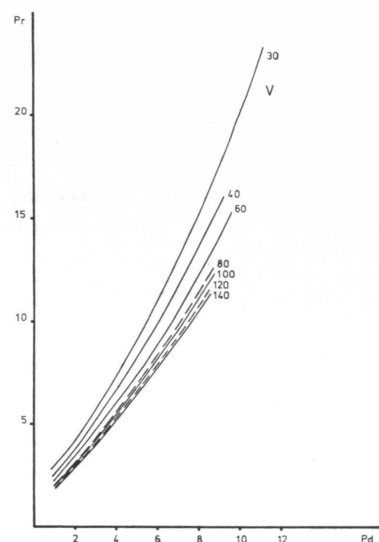
Kuva 6.
Fig. 6.



Kuva 6. Lannoitusmetsikön kuutiokasvuprosentti lannoitusta edeltäneen kuutiokasvuprosentin ja lannoitushetken kuutiomäärän funktiona. Kivennäismaat.

Fig. 6. The volume increment percentage of fertilized stands as a function of the pre-application volume increment percentage and the stand volume at the time of application. Mineral soils.

Kuva 7.
Fig. 7.



Kuva 7. Lannoitusmetsikön kuutiokasvuprosentti lannoitusta edeltäneen kuutiokasvuprosentin ja lannoitushetken kuutiomäärän funktiona. Ojitetut turvemaat.

Fig. 7. The volume increment percentage of fertilized stands as a function of the pre-application volume increment percentage and the stand volume at the time of application. Drained peatlands.

kauden kuutiokasvun diskonttoprosenttien funktiona. Siirrettäessä kasvupaikoittain yhdistellyt, kuutiomääräluokittaiset osakeskiarvot samaan akselistoon (kuva 4) voitiin todeta, että kuutiomääräluokittain tarkastellen lannoitusta edeltäneen ja sen jälkeisen kauden kasvuprosenttien keskinäisessä vuorosuhteessa ei ole eri ilmastovyöhykkeiden välillä systemaattisia eroja. Toisin sanoen: saman puumäärän ja kasvun omaavat metsiköt reagoivat lannoitukseen samanasteisesti jokseenkin riippumatta siitä, missä osissa maata ne sijaitsevat. Kasvuprosenttien välinen vuorosuhde näyttää säilyvän jokseenkin samana myös kasvupaikkaluokan muuttuessa (kuva 5). Tämä toteamus merkitsee samalla käytännöllisesti katsoen myös sitä, että kotimaisten havupuiden välillä ei tässä suhteessa ole olennaisia eroja, koska puolukka- ja mustikkatyypin raja tutkimusaineistossa edustaa pääosassa koealoja myös mänty- ja kuusivaltaisten metsiköiden rajaa (vrt. Operaatio ... 1969).

Koska siis sen enempää ilmastovyöhykkeellä kuin kasvupaikallakaan ei näyttänyt olevan vaikutusta tarkasteltujen kasvuprosenttien välisiin suhteisiin, oli mahdollista laatia koko maata ja molempia kasvupaikkoja (VT — MT) sekä puolajeja (ku — mä) koskeva laskentamalli, jossa lannoituksen jälkeisen kuutiokasvun suuruus määritetään metsikön lannoitushetken puumäärän ja lannoitusta edeltäneen kauden kuutiokasvun perusteella. Kuvassa 6 yhtenäisin viivoin piirretyt käyrät ovat edellä selostettujen kuutiomääräluokkien puitteissa laskettuihin osakeskiarvoihin nojaavia alkuperäiskuvaajia, katkoviivoin merkityt on saatu interpoloimalla.

Kehitetty malli merkitsi varsin selkeätä ja samalla yksinkertaista lähtökohtaa lannoituksen aiheuttamien kasvunlisäysten laskennalle. Seuraavassa esitettävät jatkolaskelmat perustuvatkin yksinomaan tällä menetelmällä saatuihin tuloksiin. On tärkeätä huomata, että käytetty aineisto ei ulotu puolukka- ja mustikkatyypin viljavammille tai karummille kasvupaikoille eikä puustoltaan poikkeuksellisiin tapauksiin (esim. juuri vapautetut alikasvokset, kasvupaikalle »väärät» puolajit jne.), mikä vastaavasti rajoittaa mallin sovellutusala.

4. LANNOITUSVAIKUTUSTEN LASKENTA TAVOITEPUUSTOSARJOJEN MUKAISIIIN METSIKÖIHIN

41. VUOTUISET KASVUNLISÄYKSET

Lannoituksen eri tapauksissa aiheuttamien kasvunlisäysten laskenta on perustunut edellisessä luvussa esiteltyyn menetelmään eli lannoituksen jälkeisen kuutiokasvun suuruus on määritetty lannoitusta edeltäneen kauden kuutiokasvun diskonttosadanneksen ja lannoitushetken kuorettoman puumäärän avulla. Verrattaessa keskenään kuvissa 3 ja 6 esitettyjä, turvemaiden ja kivennäismaiden metsiköille laskettuja lannoitusta edeltäneen ja sen jälkeisen kauden kasvuprosenttien vuorosuhdekuvaajia, todettiin, että ne poikkesivat sekä tasoltaan että suunnaltaan jossakin määrin toisistaan. Lannoitusta edeltäneen kasvun ja puumäärän ollessa samoja jäi lannoituksen aiheuttama vuotuinen kasvunlisäys turvemaiden metsiköissä pienemmäksi kuin kivennäismaiden metsiköissä. Erot olivat suhteessa sitä suurempia, mitä alempi oli lannoitusta edeltäneen kauden diskonttokasvuprosentti. Tämän vuoksi turvemaiden metsiköille on laadittu oma käyrästönsä lannoituksen jälkeisen kasvun suuruuden määrittämiseksi käyttäen peruskäyrinä suopuustoille alunperin laskettuja kuvaajia ja ekstrapoloimalla muita kuutiomääriä edustavat käyrät kangasmetsien kuutiomääräkäyrien avulla (kuva 7).

Koska tavoitteena oli lannoituksen edullisuuden vertailu niin metsikön eri kehitysvaiheiden ja kasvupaikkojen kuin ilmastoalueidenkin välillä, kas-

vunlisäyksiä koskevien laskelmien perustaksi on jouduttu valitsemaan puustosarjat, jotka rakenteeltaan ja puustonkäsittelyn periaatteiltaan ovat kaikilta osin mahdollisimman vertailukelpoiset. Alunperin ns. HKLN-suunnitteessa (HEIKURAINEN ym. 1960) esitetyt tavoitepuustosarjat katsottiin tässä suhteessa parhaiksi ja tuotoksen tasoltaan realistisiksi lähtökohdiksi. Nämä sarjathan perustuvat NYYSÖSEN (1954) ja VUOKILAN (1956) toistuvien harvennuksien käsittelyihin metsiköihin sekä KOIVISTON (1959) valtakunnan metsien III inventoinnin aineiston hyvistä ja tyydyttävistä metsiköistä rakentamisiin sarjoihin.

Kuivahkojen kankaiden männiköitä lukuunottamatta mainitut sarjat koskevat vain Etelä-Suomea. Niitä oli tämän vuoksi täydennettävä jo metsäojituksen edullisuutta kuvaavia laskelmia (KELTIKANGAS ja SEPPÄLÄ, julkaisematon käsikirjoitus) varten. Kirjoittajat konstruoivat tällöin käenkaali-mustikkatyypin ja mustikkatyypin kuusikoille sekä mustikkatyypin ja kanervatyypin männiköille puumäärien, kuutiokasvujen ja kokonaispoistumien sarjat niin Pohjanmaan—Kainuun kuin Peräpohjolan alueille. Koska sarjojen laadinta esitellään yksityiskohtaisesti mainitussa, kohdakkoin ilmestyvässä työssä, todetaan tässä vain, että alueittaiset sarjat koostettiin seuraavien suuntaviivojen mukaan: Metsiköiden kokonaiskasvun ja -poistuman sekä kiertoajan alueittaiset muutokset edellytettiin molemmilla puulajeilla ja kaikilla kasvupaikoilla suhteellisina lukuina samansuuruisiksi kuin puolukkatyypin männiköissä. Kirjoittajien KOIVISTON (1959) julkaisun ja ARON (1935) taulukoiden perusteella aikaisemmin Etelä-Suomeen hahmottelemat hakkuupoistuman rakennesarjat (HEIKURAINEN ym. 1963) oli muutettu nykyisiä minimikatkaisuläpimittoja vastaaviksi ja sarjojen alkupäätä oli ensimmäisten harvennushakkuupoistumien osalta tarkistettu NYYSÖSEN ja ALALAMMIN (1969) tutkijaryhmälle laatiman selvityksen perusteella. Nyt edellytettiin, että hakkuupoistuman rakenne on kaikilla alueilla sama ensimmäisessä harvennuksessa ja toisaalta päätehakkuussa. Välihakkuissa rakenne muuttuu sitä hitaammin mitä useampia näitä hakkuuta on eli mitä pitempi on kiertoaika.

Sekä alkuperäisissä tavoitepuustosarjoissa että niiden perusteella konstruoiduissa alueittaisissa sarjoissa edellytetään, että varttuneiden metsien käsittelyssä tähdätään luontaiseen uudistamiseen; päätehakkuuta edeltävät hakkuut ovat toisin sanoen voimakkaita uudistushakkuuta, joiden jälkeen metsiköt kasvatusmielessä ovat selvästi vajaapuustoisia. Lannoituslaskelmia varten katsottiin järkeväksi muuntaa sarjat avohakkuihin päättyviksi, jolloin metsiköitä edellytetään kasvatettavan jokseenkin täysipuustoisina päätehakkukseen saakka. Muuntamisessa on käytetty apuna NYYSÖSEN ja VUOKILAN (em. teokset) alkuperäisiä kasvatusharvennuksiin perustuvia sarjoja.

Näin muunnetuille tavoitepuustosarjoille hahmoteltiin sen jälkeen graafisesti vuotuisen juoksevan kuutiokasvun kuvaajat, joiden perusteella lasket-

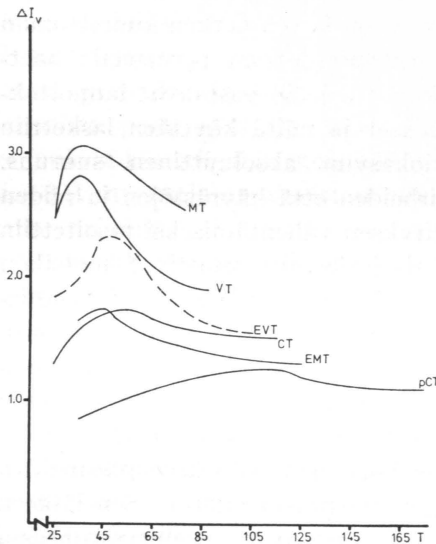
tiin viisivuotiskausten keskiarvot. Kuhunkin viiteen päättyvällä luvulla ilmaistavaan iänkohtaan laskettiin diskonttokasvuprosentti edellisen viisivuotiskauden juoksevan kuutiokasvun keskiarvon ja sen hetken kuorettoman kuutiomäärän perusteella. Saatujen diskonttoprosenttien perusteella haettiin aikaisemmin esitetyiltä käyrästöiltä (kuvat 6 ja 7) vastaavat lannoituksen jälkeisen kuutiokasvun rabattosadannekset ja näitä käyttäen laskettiin puolestaan lannoituksen jälkeisen kuutiokasvun absoluuttinen suuruus.

Sekä sarjojen aiheuttamien pyörästysvirheiden että käyrästöjen ja niiden lukemisessa tapahtuneiden virheiden merkityksen vähentämiseksi tasoitettiin saadut kasvulukema graafisesti kuvaajiksi, jotka siis osoittivat metsikön kuutiokasvun suuruutta ensimmäisenä lannoituksen jälkeisenä viisivuotiskautena eri ikävaiheissa. Vähentämällä lannoitusmetsiköille hahmotetun kasvukäyrän osoittamista arvoista vastaavan iänkohdan lannoittamattoman tavoitepuuston kasvukäyrän osoittama arvo saatiin lasketuksi lannoituksen aiheuttama tasoitettu kasvunlisäys.

Lannoituksen täysimääräiseksi vaikutusajaksi oletettiin kivennäismaiden metsiköissä kuusi ja turvemaiden metsiköissä viisitoista vuotta. Sen jälkeen metsiköiden edellytettiin jatkavan kasvuaan vastaavassa kehitysvaiheessa olevien lannoittamattomien metsiköiden tapaan. Jotta metsikössä lannoitushetkellä olevaa puustoa ei vaikutusaikana tarvitsisi käsitellä (kivennäismaat) tai käsittely ajoittuisi mahdollisimman pitkän ajan päähän lannoituksesta (turvemaidet), lannoitustoimet tavoitepuustosarjojen mukaisissa metsiköissä ajateltiin suoritettavan välittömästi kymmenvuotiskaustaisen hakkuun jälkeen. Tällöin edellä selostetulla tavalla saatu tasoituskäyriltä määritetty (keskimääräinen) kasvunlisäys on kasvunlisäyksen todellista arvoa suurempi. Sitä laskettaessa ei näet ole otettu huomioon hakkuun aiheuttamaa puuston kasvun pienentymistä ensimmäisellä hakkuun jälkeisellä viisivuotiskaudella (eikä sen suurenemista seuraavaa hakkuuta edeltävällä viisivuotiskaudella). Hakkuuden vaikutuksen huomioonottamiseksi kokeiltiin lukuisia eri laskentatapoja ja päädyttiin pitämään niistä parhaana seuraavien olettamusten mukaista menettelyä.

Kasvun pienentymisen määrä riippuu tietysti hakkuun voimakkuudesta eli poistuman määrästä suhteessa puuston kokonaisuuteen. Nuorten metsien normaalivahvaisissa harvennuksissa puusto ilmeisesti kykenee suhteellisen nopeasti käyttämään uudelleen hyväkseen koko kasvutilan ja kasvun pienentyminen jää näin määrältään vähäiseksi. Sen sijaan metsikön ikääntyessä puiden reaktiokyky heikkenee ja hakkuuden kasvua pienentävä vaikutus voimistuu. Edellisen perusteella on hakkuun vaikutus sen jälkeisen viisivuotiskauden kuutiokasvuun otettu männiköiden osalta tässä työssä huomioon siten, että kullekin männiköiden puustosarjalle on laskettu eri iänkohdille tietyt korjauskertoimet, joiden osoittamassa suhteessa kasvun on edellytetty pienentyvän hakkuun jälkeen. Korjauskerroin on saatu kaavalla

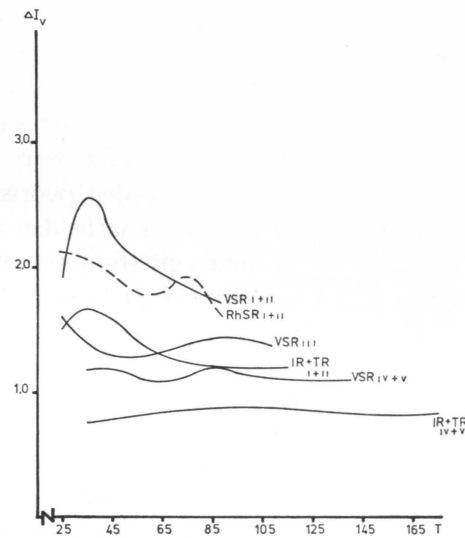
Kuva 8.
Fig. 8.



Kuva 8. Lannoituksesta aiheutuva vuotuisen kuutiokasvun lisäys lannoitettaessa tavoitepuustosarjan mukaisia kivennäismaan männiköitä.

Fig. 8. The increase in the annual volume increment caused by fertilization in the case of pine stands on mineral soil meeting the requirements of the desired-stock series.

Kuva 9.
Fig. 9.



Kuva 9. Lannoituksesta aiheutuva vuotuisen kuutiokasvun lisäys lannoitettaessa tavoitepuustosarjan mukaisia ojitetun turvemaan männiköitä.

Fig. 9. The increase in the annual volume increment caused by fertilization in the case of pine stands on drained peatland meeting the requirements of the desired-stock series.

$$\frac{V-ap}{V}, \text{ missä}$$

V on metsikön puumäärä ennen hakkuuta, p poistuman määrä ja a metsikön iän mukana suureneva sadannes, jonka arvoksi ensimmäisessä tuloa tuottavassa harvennuksessa on arvioitu 0.50 ja päätehakkuuta edeltävässä 1.00 ja joka näiden välillä muuttuu suoraviivaisesti.

On ilmeistä, että kuusi ja mänty kasvurytmiltään varsin erilaisina poikkeavat toisistaan myös hakkuiden jälkeisissä reaktioissaan. Saman korjausmenettelyn käyttö johtaisi sen vuoksi todennäköisesti systemaattisiin virheisiin kuusikoiden ja männiköiden lannoituksen edullisuutta toisiinsa vertailtaessa. Toisaalta ei pidetty tarkoituksenmukaisena tehdä kuusikoiden hakkun jälkeisistä reaktioista omia oletuksia, koska tietojen puutteessa

puulajien välinen vertailtavuus jäisi joka tapauksessa kyseenalaiseksi. Jatkossa esitettävät laskelmat koskevat sen vuoksi yksinomaan mäntyä.

Saatujen korjauskertoimien katsottiin pätevän niin lannoitettuihin kuin lannoittamattomiinkin metsiin. Kertomalla aikaisemmin selostetulla tavalla käyriltä määritetyt kasvunlisäykset näillä korjauskertoimilla on saatu kivennäismaamänniköiden lannoituksesta koituvat vuotuiset kasvunlisäykset tavoitepuustosarjojen mukaisissa metsiköissä (kuva 8). Vastaavasti on »oikaistu» myös seuraavan viisivuotiskauden kasvuluvut siten, että lannoittamattomissa metsiköissä ao. kymmenvuotiskauden kokonaiskasvu on säilynyt tavoitepuustosarjan edellyttämän suuruisena.

Turvemaiden männiköillä lannoituksesta aiheutuvat kasvunlisäykset on laskettu muutoin edellä kuvatulla tavalla, paitsi että vaikutusajan viimeisen eli kolmannen viisivuotiskauden kasvunlisäyksen määrä oletettiin samaksi kuin kymmentä vuotta myöhemmin suoritetun lannoituksen ensimmäisen viisivuotiskauden kasvunlisäys. Näin lasketut turvemaamänniköiden vuotuiset kasvunlisäykset nähdään kuvasta 9. Kasvunlisäyskäyrien loiva, epälooginen aaltoilu osoittaa, ettei kuvassa 7 suoritettu kasvuprosenttikäyrien ekstrapolointi ole täysin onnistunut.

Kuvista nähdään, että kiintokuutiometreinä suurimmat vuotuiset kasvunlisäykset saavutetaan tavoitepuustosarjojen mukaisissa metsiköissä yleensä jo varsin varhaisessa metsikön kehitysvaiheessa. Etelä-Suomen tuoreilla ja kuivahkoilla kankailla vuotuiset kasvunlisäykset nousevat tällöin kolmen kiintokuutiometrin tienoille hehtaaria kohti. Pohjoiseen päin mentäessä ja kasvupaikan muuttuessa karummaksi kasvunlisäyksen määrä pienenee ja sen maksimin saavuttamisen ajankohta siirtyy vanhempien ikäluokkien kohdalle. Maksimin jälkeen kasvunlisäys pienenee metsikön vanhentuessa tasaisesti mutta suhteellisen loivasti, päätehakkuuta edeltävään lannoitukseen mennessä puolen kiintokuutiometrin verran maksimitasoon verrattuna. Käsitteilyltään vastaavanlaisissa turvemaiden männiköissä vuotuiset kasvunlisäykset jäävät jossakin määrin pienemmiksi kuin kangasmaamänniköissä, keskimääräinen tasoero on 10–20 prosentin suuruusluokkaa.

Sekä alkuperäiset aineistot että käytetyt laskentamenetelmät ovat saattaneet aiheuttaa tasovirheitä esitettyihin kasvunlisäyksiin. Mahdolliset tasovirheet eivät kuitenkaan vakavasti heikentäne tulosten käyttökelpoisuutta tämän työn tarkoituksiin, koska yhtenäinen käsittelytapa taannee virheiden yhdensuuntaisuuden ja siten ainakin osittaisen eliminoitumisen vertailtavissa sarjoissa. Tietyn sarjan sisällä edellä kuvatut, hakkuiden vaikutuksen huomioon ottamiseksi laaditut korjauskertoimet ovat sen sijaan voineet aiheuttaa virhettä, joka heikentää eri kehitysvaiheissa olevissa metsiköissä saavutettujen kasvunlisäysten vertailun luotettavuutta. Voitaneen päätellä, että mahdollisesti syntyneet virheet ovat mieluummin sen suuntaisia, että ne aliarvioivat päätehakkuuikää lähenevien metsiköiden lannoitusreaktioita nuorempiin puustoihin verrattuna.

Edellisessä luvussa kuvaillun laskennan tuloksena oli siis jatkoa varten käytössä tiedot lannoituksella aikaansaataavista vuotuisista kasvunlisistä kuorettomina kiintokuutiometreinä hehtaaria kohti sekä alueittain että kasvupaikoittain. Nämä luvut ovat olleet pohjana lannoituksella aikaansaatuja diskontattuja puusadon lisiä laskettaessa.

Kuten jo aikaisemmin todettiin, lannoitusvaikutuksen edellytettiin kestävä täysimääräisenä kivennäismaiden metsiköissä kuusi ja turvemaiden metsiköissä viisitoista vuotta. Täysimääräisyydellä tarkoitetaan tässä sitä, että lannoituksen aiheuttama kasvureaktio on voimakkuudeltaan koko kestoajan samansuuruinen kuin ensimmäisenä lannoituksen jälkeisenä viisivuotiskaute-
na. Valitut kestoajat ovat tietynlaisia kompromisseja niistä monista varsin ristiriitaisistakin tiedoista ja arvioista, joita alan kotimaisessa kirjallisuudessa on asiasta esitetty (esim. VIRO 1965, 1970, Metsän lannoitusopas 1967, HUKARI ja PAAVILAINEN 1968, ERVASTI ym. 1970).

Diskontatut puusadon lisät on laskettu erikseen sekä kiertoajan lyhenemis- että poistuman lisääntymismenetelmää käyttäen (vrt. luku 2).

Kiertoajan lyhenemismenetelmää käytettäessä oli aluksi määritettävä hakkuuvälien lyheneminen. Tässä meneteltiin seuraavasti. Kivennäismaiden männiköiden osalta kerrottiin kuvan 8 osoittama lannoituksesta aiheutuva vuotuinen kasvunlisäys ($\Delta I_{V(I)}$) kuudella, jolloin saatiin lannoituksesta aiheutuva kasvun kokonaislisäys. Jakamalla tämä lannoittamattoman metsikön 10-vuotisjakson jälkipuoliskon (ilmaistaan jäljempänä alaindeksillä $_{II}$) keskimääräisellä vuotuisella, hakkuiden vaikutuksen huomioon ottamiseksi korjatulla kuutiokasvulla ($I_{V(II)}$) saadaan osamäärä (Δt), joka ilmaisee hakkuiden siirtymisen eli kiertoajan lyhenemisen vuosina siinä tapauksessa, että tämä osamäärä ei nouse neljää vuotta suuremmaksi.

Jos osamäärä on neljää suurempi, tavoitepuustosarjan mukainen seuraava hakkuu on suoritettava jo ennen lannoitusvaikutuksen päättymistä. Tässä tapauksessa kymmenvuotiskauden lannoittamaton kokonaiskasvu jaettiin ΔI_V :n ja I_V :n summalla, jolloin saatu osamäärä ilmaisi vuosimäärän, jonka aikana lannoitusmetsikössä saavutetaan lannoittamattoman metsikön kymmenvuotiskauden kasvun suuruinen kasvun määrä. Tämä osamäärä vähennettiin kymmenestä, jolloin erotus osoitti ensimmäisen lannoituksen jälkeisen hakkuukierron lyhenemisen ($\Delta t'$). Seuraavan hakkuukierron lyheneminen ($\Delta t''$) laskettiin edellisessä kappaleessa selostetulla tavalla käyttäen kuitenkin kuuden sijasta kertoimena termiä $\Delta t' - 4$.

Kun hakkuuvälien lyhenemiset eli hakkuiden nopeutuminen oli täten selvitetty, muunnettiin tulos diskontatun puusadon lisäykseksi. Tarkastelun yksinkertaistamiseksi meneteltiin nyt samalla tavalla kuin metsäojituksen edullisuuslaskelmissa eli tavoitepuustojen eri puutavaralajeissa ilmaistut hak-

Taulukko 1. Eri puutavaralajien reaaliset, vuoden 1970 lokakuun rahassa ilmaistut kantohinnat hakkuuvuosien 1965/66—1970/71 laskenta-alueittaisina keskiarvoina.

Table 1. The real stumpage prices of various timber assortments during the cutting seasons 1965/66—1970/71 expressed at the price level of October 1970 as means for the calculation areas.

| Puutavaralaji Assortment | Laskenta-alue — Calculation area | | |
|---|--|--------------------------|--|
| | Etelä-Suomi South-Finland | P-Pohjanmaa ja Kainuu | Peräpohjola South-Lapland |
| | mk/j ³ mk/f ³ | tai or | mk/p-m ³ mk/m ³ , piled measure |
| Havusahapuu, j ³ Coniferous sawtimber, f ³ | 1.70 | 1.28 | 1.01 |
| Kuusikuitupuu, 2-m kuorellinen Spruce pulpwood, 2-m, incl.bark | 15.90 | 11.10 | 8.36 |
| Mäntykuitupuu, 2-m kuorellinen Pine pulpwood, 2-m, incl.bark | 12.66 | 8.26 | 4.74 |

kuupoistumat muunnettiin ensin puutavaralajien hintasuhteiden avulla vastaamaan yhden ainoan puutavaralajin, kuorellisen kuusikuitupuun pinokuutiometrejä. Muuntamisessa käytetyt hintasuhteet oli määritetty laskenta-alueittain (Etelä-Suomi—Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu—Peräpohjola) hakkuuvuosien 1965/66—1970/71 reaalisten keskikantohintojen perusteella (taulukko 1). Kun muunnos oli tehty, tavoitepuustoille laskettiin kuhunkin hakkuuäntökohtaan kiertoajan vielä jäljellä olevien hakkuiden nyky- eli diskonttoarvo (W_0), joka siis näin on ilmaistu kuorellista kuusikuitupuun pinokuutiometriä vastaavissa arvoyksiköissä. Lannoituksen vaikutus laskettiin tämän jälkeen muutoksena, joka W_0 :ssa tapahtuu, kun sen muodostavien hakkuuerien diskonttausajat lyhenevät hakkuuvälien lyhetessä.

Tapauksissa, joissa ensimmäinen lannoituksen jälkeinen hakkuuväli lyhenee vähemmän kuin neljä vuotta (ja myöhemmät säilyvät entisen pituisina), W_0 :aa prolongoitiin Δt :n osoittamalla vuosimäärällä, jolloin tulokseksi saatiin lannoitusmetsikön nykyhetken diskontattu puusato (W_1). Jos taas Δt nousi neljää suuremmaksi, ensimmäisen kymmenvuotiskauden harvennuspöistuman diskonttoarvoa prolongoitiin $\Delta t'$:n ja seuraavien $\Delta t'$:n ja $\Delta t''$:n summan osoittamalla vuosimäärällä, jolloin W_1 saatiin summaamalla puusatojen prolongoidut arvot. W_1 :n ja W_0 :n erotus on lannoituksen aiheuttama diskontatun puusadon lisä.

Turvemaiden männiköissä laskettiin lannoituksen kiertoaika lyhentävä vaikutus periaatteessa samalla tavoin kuin kivennäismaidenkin metsiköissä. Kun lannoituksen kesto aika turvemaidella oletettiin huomattavasti pitemmäksi,

laskenta muotoutui kuitenkin yksityiskohdiltaan monimutkaisemmaksi kuin kivennäismailla. Useissa tapauksissa lannoitus lyhensi vielä kolmattakin lannoituksen jälkeistä hakkuuväliä, minkä vuoksi sekä lannoitettujen että lannoittamattomien turvemaametsiköiden iän (kehitysvaiheen) mukana tapahtuvat kasvun muutokset vaikuttavat huomattavasti suuremmalla painolla kuin kivennäismaametsiköiden kohdalla. Laskenta suoritettiin vaiheittain siten, että ensiksi määritettiin lannoittamattoman metsikön kymmenvuotiskauden kokonaiskasvun ja lannoitusmetsikön kahden lannoitusta seuraavan viisivuotiskauden vuotuskasvujen perusteella, paljonko ensimmäinen hakkuuväli eli -kierto lyhenee lannoituksen vaikutuksesta ($\Delta t'$) ja montako vuotta vaikutusaikaa on tämän hakkuun perästä jäljellä. Sen jälkeen laskettiin lannoittamattoman metsikön seuraavan kymmenvuotiskauden kokonaiskasvun ja lannoitetun metsikön vastaavien viisivuotiskausien vuotuskasvujen avulla toisen lannoituksen jälkeisen hakkuukierron lyheneminen ($\Delta t''$) ja vielä mahdollisesti jäljellä oleva lannoituksen vaikutusaika. Mikäli vaikutusaika ei ulottunut kolmanteen hakkuukiertoon, toisen hakkuukierron lyheneminen tarkistettiin vastaavanlaisella menettelyllä, jota kivennäismailla sovellettiin Δt :n laskemiseen. Vastakkaisessa tapauksessa tämä rinnakkaislaskelma suoritettiin kolmannen hakkuukierron lyhenemistä ($\Delta t'''$) koskevana. Neljänteen hakkuukiertoon lannoituksen vaikutus ei yltänyt yhdessäkään tapauksessa.

Edellä luonnehditut rinnakkaiset laskelmat, joilla pyrittiin määrittämään viimeisen lannoitusvaikutuksen alaisen hakkuukierron pituus, eivät yleensä johtaneet täsmälleen samaan tulokseen. Erot johtuvat siitä, että käytettäessä tietyn viisivuotisjakson kaikkien vuosien kasvuna jakson keskiarvoista vuotuista kasvua, jaksojen välille syntyy kasvun tasoon kynnyksiä, jotka vaikuttavat eri painoilla eri menetelmissä. Lopullisena arvona käytettiin molemmilla menetelmillä saatujen Δt -arvojen keskiarvoa.

Diskontattujen puusadon lisien laskenta suoritettiin turvemaiden männiköiden osalta täsmälleen samoin kuin kivennäismaiden metsiköidenkin.

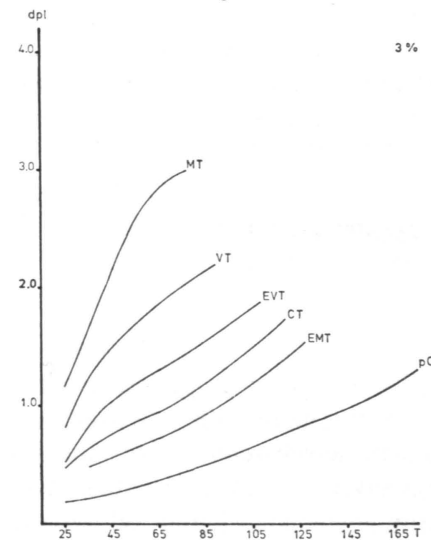
Poistuman lisääntymismenetelmää käytettäessä oletettiin, että lannoituksella sen vaikutusaikana kivennäismaan männikköön kaikkiaan aikaan saatu puumäärän lisäys poistetaan ylimääräisessä hakkuussa heti lannoitusvaikutuksen päätyttyä eli kuusi vuotta lannoituksen jälkeen. Turvemaiden sijaan lannoituksesta aiheutuva puumäärän lisäys edellytettiin poistettavaksi kahdessa ylimääräisessä hakkuussa, joista ensimmäinen suoritetaan viisi ja toinen viisitoista vuotta lannoituksen jälkeen.

Käytössä ei ollut kiistatonta tietoa siitä, miten lannoitus tällöin vaikuttaa hakkuupoistuman rakenteeseen. Tämän vuoksi jouduttiin lisäksi oletamaan, että poistuman rakenne näissä ylimääräisissä hakkuissa on sama kuin lannoittamattoman metsikön rakenne seuraavassa säännöllisessä hakkuussa (vrt. luku 2).

Saadut hakkuupoistumat muunnettiin edellä selostettuja alueittaisia hintasuhteita käyttäen kuorelliseksi kuusikuitupuuksi ja diskontattiin nyky- eli lannoitushetkeen. Nämä lisäpoistumien nykyarvot ovat poistuman lisääntymismenetelmällä laskettuja lannoituksen aiheuttamia diskontattuja puusadon lisä.

Kaikki mainitut diskonttaus- ja prolongauslaskelmat on suoritettu sekä kolmen että viiden prosentin korkokantaa käyttäen. Edullisuustunnukseksi valitun hyötykertoimen kannalta ei korkoprosentilla tosin ole kovin alenaista vaikutusta metsänlannoituskohteita keskinäiseen järjestykseen asetettaessa. Kertoimien numeerinen taso sen sijaan muuttuu prosentin mukana. Lisäksi korkoprosentilla on luvussa 2 kuvattu merkityksensä kiertoajan lyhenemiseen perustuvaa laskentamenetelmää käytettäessä; mitä korkeampaa korkoprosenttia sovelletaan, sitä voimakkaammin menetelmä yleensä »liioittelee» lannoituksen vaikutusta nimenomaan kiertoajan lopulla.

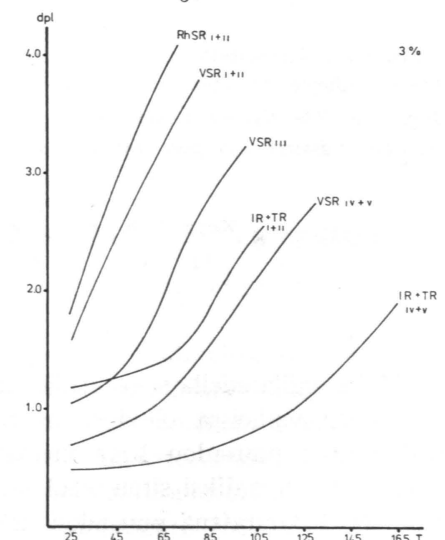
Kuva 10 a.
Fig. 10 a.



Kuva 10 a. Lannoituksesta koitua diskontatun puusadon lisä metsikön iän (kehitysvaiheen) funktiona eri kasvupaikkojen tavoitepuustomännikköissä, kun diskonttoprosenttina on 3. Kivennäismaat.

Fig. 10 a. The discounted increase in yield caused by fertilization as a function of the stand age (stage of stand development) in the case of desired-stock pine stands on different sites when the rate of discount is 3%. Mineral soils.

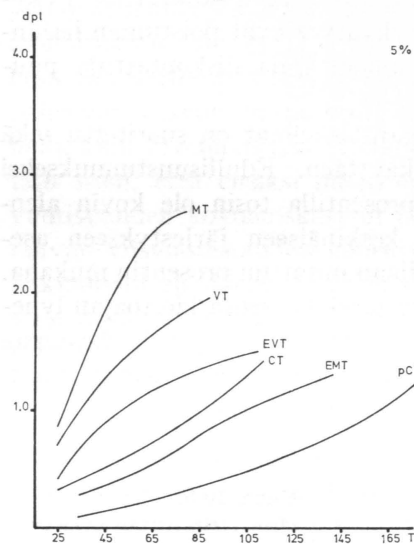
Kuva 10 b.
Fig. 10 b.



Kuva 10 b. Kuten kuva 10 a. Ojitetut turvemaaat.

Fig. 10 b. As Fig. 10 a. Drained peatlands

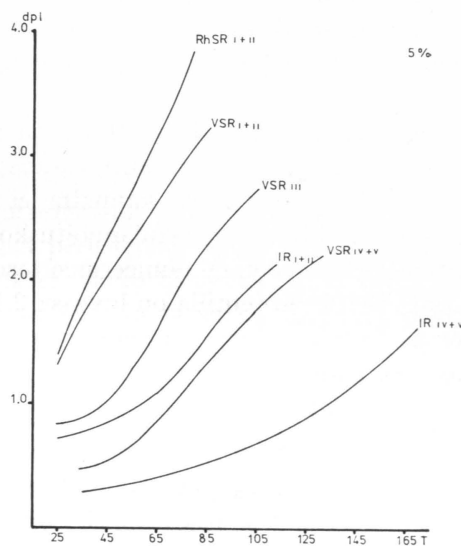
Kuva 11 a.
Fig. 11 a.



Kuva 11 a. Lannoituksesta koitua diskontatun puusadon lisä metsikön iän funktiona eri kasvupaikkojen tavoitepuustomänniköissä, kun diskonttoprosenttina on 5. Kivennäismaat.
Fig. 11 a. The discounted increase in yield caused by fertilization as a function of stand age in the case of desired-stock pine stands on different sites when the rate of discount is 5%. Mineral soils.

Kuva 11 b. Kuten kuva 11 a. Ojitetut turvemaat.
Fig. 11 b. As Fig. 11 a. Drained peatlands.

Kuva 11 b.
Fig. 11 b.



Molemmilla edellä selostetuilla menetelmillä tietyn alueen ja kasvupaikan eri kehitysvaiheissa oleville männiköille lasketut lannoituksesta koituvat diskontatut puusadon lisät merkittiin samaan akselistoon ja tasoitettiin graafisesti kuvaajiksi siten, että kussakin tapauksessa numeroarvoltaan pienempää diskontattua puusadon lisää pidettiin »oikeana». Kuten odotettua, poistuman lisäykseen perustuva laskentamenetelmä oli yleensä johtanut korkeampiin diskontatun puusadon arvoihin nuorehkoissa metsiköissä. Vastavasti oli hakkuukäähä lähenevissä metsiköissä saatu korkein diskontatun puusadon lisäys kiertoajan lyhenemismenetelmällä. Vaihtuminen tapahtui 5 %:n mukaisissa luvuissa sitä myöhemmällä iänkohdalla, mitä karummasta ja pohjoisemmasta kasvupaikasta on kysymys. Käytettäessä 3 %:n laskelmia säännönmukaisuus ei ollut yhtä selvä.

Näin saadut yhdistetyt alueittaiset ja kasvupaikoittaiset, lannoituksesta koituvia diskontattuja puusadon lisä kuvaavat käyrät esitetään kuvissa

10a—b ja 11a—b, erikseen 3 %:n ja 5 %:n mukaisina. Kuvissa esitetyt tulokset antavat aiheen seuraaviin päätelmiin:

- lannoituksesta koitua diskontatun puusadon lisäys on eteläisillä ja viljavilla kasvupaikoilla selvästi suurempi kuin pohjoisilla ja karuilla,
- lisäys suurenee metsikön varttuessa ja nousu jatkuu päätehakkuihin asti,
- Viimemainittu muutos on sitä jyrkempi mitä viljavampi on kasvupaikka ja mitä eteläisempi kohteen sijainti.

Laskelmien perustana olleista kuutiomääräisistä kasvunlisäyksistä todettiin edellä (luvussa 41), että niihin saattaa sisältyä tasovirheitä, että virheet kuitenkin ovat ainakin osittain samansuuntaisia ja että sarjojen sisäiset virheet pikemmin ali- kuin yliarvioivat päätehakkuihin lähenevien metsiköiden lannoitusreaktioita nuorempiin puustoihin verrattuna. Samat varaukset pätevät tässäkin mutta lisäksi on huomattava, että laskelmissa on uutena epävarmuustekijänä lannoitusvaikutuksen kesto aika. Siitä käytettävissä oleva tieto on vielä toistaiseksi varsin puutteellista ja osin ristiriitaista. Voitanee kuitenkin olettaa, että sen osalta mahdollisesti syntyvät virheet vaikuttavat nekin enemmän diskontatun puusadon lisäysten yleiseen tasoon kuin niiden keskinäisiin suhteisiin.

5. LANNOITUSVAIKUTUSTEN MUUNTAMINEN HYÖTYKERTOIMIKSI

51. KANTOHINNAT JA LANNOITUSKUSTANNUKSET

Diskontatun puusadon lisät ovat jo sellaisenaan eräänlaisia toimenpiteiden tuloksellisuuden mittoja. Näin on nimenomaan tapauksissa, joissa sekä puukuutiometrin hinnan että investointikustannuksen voidaan olettaa olevan samoja. Varsinaista taloudellista edullisuutta määritettäessä on kuitenkin otettava huomioon myös kuusikuitupuun pinokuutiometrin arvon (kantohinnan) ja toisaalta lannoituskustannuksen mahdollinen erilaisuus vertailtavissa kohteissa. Näistä etenkin kantohinnalla on tässä tapauksessa huomattava vaikutus eri alueilla sijaitsevien kohteiden edullisuusjärjestykseen.

Kuorellisen kaksimetrisen kuusikuitupuun pinokuutiometrit on jäljempänä hinnoitettu käyttäen kuusivuotisjakson 1965/66—1970/71 keskimääräisistä piirimetsälautakunnittaisista reaalikantohinnoista laskettuja pääalueittaisia keskiarvoja:

| | |
|-----------------------------------|----------|
| Etelä-Suomi | 15.90 mk |
| Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu | 11.10 » |
| Koillis-Suomi ja Lappi | 8.36 » |

Reaalihinnoilla tarkoitetaan tässä vuoden 1970 lokakuun rahanarvoon kotimarkkinatavarain yleisindeksillä muunnettuja hintoja. Piirimetsälautakunnittaiset keskimääräiset nimellishinnat on saatu metsäntutkimuslaitoksen koostamista vuotuisista tilastoista (Metsätilastollinen ... 1968, 1969, 1970, 1971) ja mainitun vuosijakson voitaneen katsoa edustavan yhtä suhdanneaaltoa.

Käytetty menettely merkitsee erityisesti pohjoisempien alueiden kohdalla hintojen varsin voimakasta keskimääräistämistä, sillä alueiden sisäinen kanto-hintojen vaihtelu on laajaa jo prosentuaalisestikin. Tämä seikka on syytä pitää mielessä myöhemmin esitettäviä tuloksia tulkittaessa.

Lannoituksen vaatimien kustannusten selvittämisessä ei voitu samassa määrin tukeutua valmiisiin tilastolukuihin. Lannoituskustannusten suuruuteen vaikuttavat näet varsin oleellisesti sekä lannoitelaji että käyttömäärä, ja molemmat nämä vaihtelevat käytännön hankkeissa. Lisäksi kustannuseroja syntyy myös maasto-olosuhteiden, lannoitusajankohdan, kohteen niin teihin kuin lannoitetehtäisiin lasketun etäisyyden ym. seikkojen vaihdellessa. Lukumäärältään vielä verraten vähäisten hankkeiden tilastoituja tietoja apuna käyttäen oli yritettävä laskea, paljonko tuotosselvitysten koealoilla käytettyjä lannoitelaji/määräyhdistelmiä vastaavien toimenpiteiden suorittaminen olisi maksanut lokakuun 1970 hintatason mukaan. Tässä meneteltiin seuraavasti.

Kahdeksalta keskusmetsälautakunta Tapion metsänparannuspiiriltä saatujen vuonna 1969 toteutettuja hankkeita koskevien hankekohtaisten kustannus- ym. tietojen perusteella laskettiin lannoituksen muiden kuin materiaalikustannusten keskimääräinen suuruus levitettyä painoysikköä kohti piireittäin. Tulos vaihteli Suometsien PK-lannoksen osalta rajoissa 7.05—11.45 mk/100 kg. Kaikissa selvityksessä mukana olleissa metsänparannuspiireissä keskimäärin oli kustannus 9.70 mk/100 kg. Tätä lukua katsottiin voitavan soveltaa myös muihin lannoitelajeihin nähden.

Kivennäismaiden tutkimusaineistossa käytetty ravinnemäärä vastaa nykyisen käytännön mukaisina lajikkeina 400 kg Oulun salpietaria. Vastaavasti turvemaiden aineisto edellyttäisi nykyisin 550 kg Suometsien PK-lannosta. Kertomalla nämä ohjehinnastojen mukaisilla yksikköhinnoilla (27.50 ja 26.15 mk/100 kg), lisäämällä edellä mainitut keskimääräiset työkustannukset ja muuntamalla luvut rahanarvon muutosta vastaten lokakuun 1970 rahanarvoon päästiin kokonaiskustannuksiin:

| | |
|-----------------------|--------------|
| kivennäismailla | 155.05 mk/ha |
| turvemailla | 149.85 » |

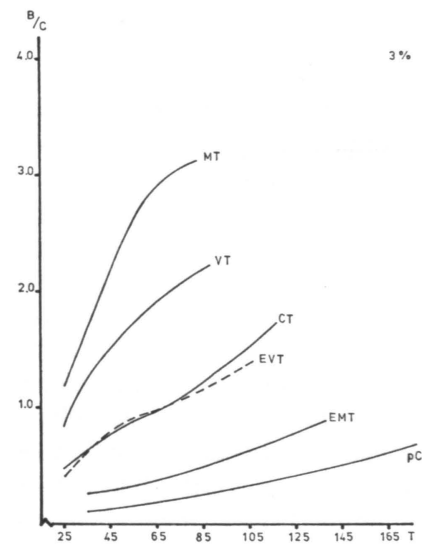
Koska kuitenkin on oletettavaa, että ainakin lannoitteiden paikallekuljetuksesta aiheutuva kustannuserä vaihtelee alueittain, ei näitä valtakunnallisia keskiarvoja haluttu käyttää sellaisenaan. Sen sijaan laskettiin keskus-

metsälautakunta Tapion tilastojen piireittäisistä vuosien 1970 ja 1971 keskimääräisistä PK-lannoituksen hehtaarikustannuksista relatiiviset arvot kullekin kolmelle pääalueelle. Näitä relatiivisia lukuja (koko maan keskiarvo = 100) käyttäen porrastettiin edellä mainitut lannoituksen kokonaiskustannusluvut alueittain seuraavasti:

| | Kivennäismaat | Turvemaat |
|-----------------------------------|---------------|-------------|
| Etelä-Suomi | 156,— | 150,— mk/ha |
| Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu | 147,— | 142,— » |
| Koillis-Suomi ja Lappi | 160,— | 154,— » |

Muita kustannuseriä kuin tässä esitellyt lannoituskustannukset ei lannoitusinvestointiin sisällytetä.

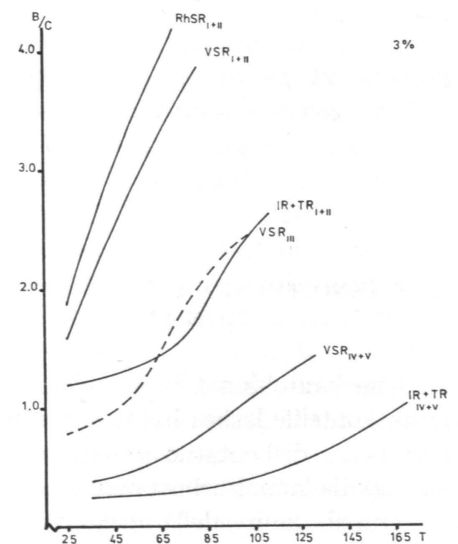
Kuva 12 a.
Fig. 12 a.



Kuva 12 a. Lannoituksen hyötykerroin eri kasvupaikkojen eri ikäisissä (eri kehitysvaiheen) männiköissä, kun diskonttoprosenttina on 3. Kivennäismaat.

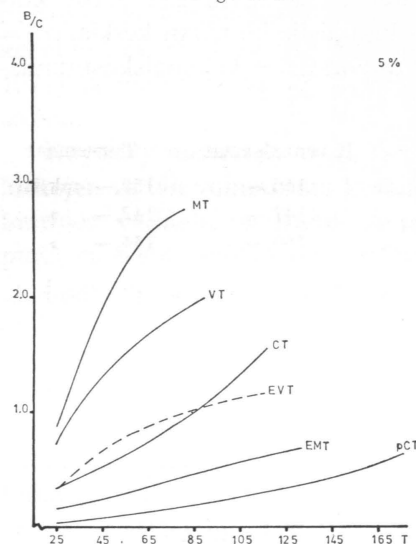
Fig. 12 a. The profitability coefficient of fertilization in the case of pine stands of different age (stage of stand development) growing on different sites when the rate of discount is 3%. Mineral soils.

Kuva 12 b.
Fig. 12 b.



Kuva 12 b. Kuten kuva 12 a. Ojitetut turvemaat.
Fig. 12 b. As Fig. 12 a. Drained peatlands.

Kuva 13 a.
Fig. 13 a.

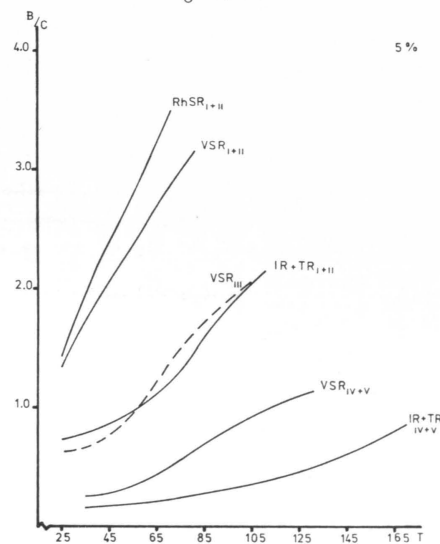


Kuva 13 a. Lannoituksen hyötykerroin eri kasvupaikkojen eri ikäisissä (eri kehitysvaiheen) männiköissä, kun diskonttoprosenttina on 5. Kivennäismaat.

Fig. 13 a. The profitability coefficient of fertilization in the case of pine stands of different age growing on different sites when the rate of discount is 5%. Mineral soils.

Kuva 13 b. Kuten kuva 13 a. Ojitetut turvemaat.
Fig. 13 b. As Fig. 13 a. Drained peatlands.

Kuva 13 b.
Fig. 13 b.



52. LANNOITUKSEN HYÖTYKERTOIMET KASVUPAIKOITTAIN JA ALUEITTAIN PUUSTON ERI KEHITYSVAIHEISSA

Kun kantohinnat ja lannoituskustannukset oli selvitetty, voitiin eri lannoituskohteille laskea hyötykertoimet. Ne saatiin, kuten edellä jo on todettu, kertomalla diskontatun puusadon lisät ao. kantohinnoilla ja jakamalla tulot vastaavilla lannoituskustannuksilla. Tulos esitetään kuvissa 12a—b ja 13a—b.

Samoin kuin edellä diskontattuja puusadon lisä vertailtaessa voidaan nytkin nähdä selvinä eräät päälinjat:

- lannoituksen hyötykerroin on viljavilla kasvupaikoilla selvästi suurempi kuin karuilla ja vastaavasti etelässä suurempi kuin pohjoisessa,
- metsikön varttuessa hyötykerroin jatkuvasti suurenee (ja siis lannoituksen suhteellinen edullisuus paranee) aina päätehakkuuikään asti,
- ero hyötykertoimien välillä nuoren ja vanhan metsikön lannoituksessa on sitä suurempi, mitä viljavammasta ja eteläisemmästä kasvupaikasta on kyse,

— laskelmissa käytetty korkoprosentti vaikuttaa jonkin verran hyötykertoimien numeeriseen suuruuteen mutta ei olennaisesti muuta eri kohteiden keskinäistä järjestystä.

Jos verrataan hyötykertoimien mukaista kuvaa lannoituksen edullisuudesta siihen kuvaan, joka edellä saatiin diskontattujen puusadon lisien perusteella, voidaan todeta kuvien olevan pääpiirteissään hyvin samankaltaiset. Ainoa selvä ero on eteläisten ja pohjoisten kasvupaikkojen välisten erojen jyrkentyminen, mikä lähinnä johtuu kantohintatason erilaisuudesta.

6. TULOSTEN TARKASTELU

TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

611. Lannoituksella aikaansaatuun kasvunlisäysten laskenta

Kuten edellä on kerrottu, lannoituksen aiheuttamien kasvunlisäysten laskenta on tässä selvityksessä perustunut kahteen erilliseen osa-aineistoon. Näistä kangasmaita koskeva, ns. »operaatio metsänlannoituksen» koeala-aineisto on määrältään varsin runsas ja koko maan talousmetsäalueen likimain kattava. Sen keruu on kuitenkin tapahtunut ekstensiivisin menetelmin; vain muutamia metsikkötunnuksia on mitattu ja niistäkin puumääriä koskevat tiedot osalta koealoja koetta perustettaessa, osalta lannoitusvaikutuksen suuruutta mitattaessa. Tästä syystä yksityisiä koealametsiköitä koskevat tiedot ovat huomattavan epävarmoja, jopa paitsi käytetty kasvunlaskentamenetelmä saattaa aiheuttaa erilaisten tapausten välille systemaattista vääristymää. Viime mainittua on tässä työssä yritetty korjata aikaisemmin selostetulla tavalla (s. 00), mutta korjauksella on voitu vaikuttaa vain ryhmien sisäisiin vääristymiin, ei niiden välisiin mahdollisiin virheisiin. Kovin suurta merkitystä aineiston mainituilla heikkouksilla tuskin on, koska käytetty menetelmä on tarjonnut mahdollisuuden käsitellä kaikki kasvupaikat, ilmastolliset alueet ja molemmat puulajit yhtenä ainoana ryhmänä.

Ojitetuista ja lannoitetuista suometsistä peräisin olevassa osa-aineistossa metsiköiden mittaukset ovat suhteellisen tarkkoja ja yksityiskohtaisia, mutta tutkittuja metsiköitä on varsin vähän ja ne kaikki keskittyvät suppealle alueelle Sisä-Suomeen.

Molempia osa-aineistoja toistensa tukena käyttäen rakennettiin menetelmä, jossa metsiköiden lannoituksen jälkeinen vuotuinen kuutiokasvu arvioidaan lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden kuutiokasvuprosentin ja metsikön lannoitushetken puumäärän perusteella. Menetelmää laadittaessa suoritettavat kokeilut (kuvat 3, 4 ja 5) näyttävät osoittavan, ettei menetelmään ainakaan tutkituissa aineistoissa sisälly systemaattista harhaa, vaan sen avulla

voidaan ennustaa lannoitusreaktioiden voimakkuus puulajista, kasvupaikasta ja ilmastollisesta sijainnista riippumatta. Menetelmää voidaan tietysti soveltaa vain rajoitettuun osaan kasvupaikkavaihtelua; ainakin viljavimmat kankaat ja suot, vedenpuutteen vaivaamat kangasmetsät ja typpilannoituksen tarpeessa olevat suometsät sekä kaikki uudisojitusalueiden metsät on automaattisesti jätettävä tarkastelun ulkopuolelle. Menetelmän käyttöä ei voitane myöskään suositella mihinkään metsänhoidollisiin erikoistapauksiin, koska perustana olevat kasvuprosenttien ja puumäärän vuorosuhteet tuskin sellaisinaan pätevät esimerkiksi kuivien kankaiden kuusikoihin tai entisiin alikasvosmetsiköihin. Menetelmän sovellutusala on kuitenkin laaja tapauksissa, joissa vaihtoehtoisesti lannoitettavat metsiköt pyritään maastossa asettamaan keskinäiseen paremmuusjärjestykseen niiden lannoitusvaikutuksen arvioidun suuruuden perusteella.

Edullisuusvertailuja varten laskettiin menetelmää käyttäen lannoituksen aiheuttamat kasvunlisäykset tavoitepuustosarjojen mukaisiin metsiköihin. Laskelmien tuloksissa saattaa olla tasovirhettä, koska arviot metsiköiden hakkuun jälkeisten reaktioiden nopeudesta ja suuruudesta perustuvat pelkkiin oletamuksiin. Tämä virhe ei kuitenkaan oleellisesti heikentäne eri kasvupaikkoja ja alueita edustavien kohteiden vertailun luotettavuutta, jos lähtökohtina olevat sarjat ovat hakkuittensa puolesta keskenään loogisia, ja näinhän lienee asianlaita. Sen sijaan saman kasvupaikan eri kehitysvaiheissa olevien metsiköiden vertailuun oletamuksen mahdolliset virheet vaikuttavat, kaiken todennäköisyyden mukaan siihen suuntaan, että päätehakkua lähenevien metsiköiden kasvunlisäyksiä aliarvioidaan nuorempien metsiköiden kasvunlisäyksiin verrattuina.

Vertailtaessa keskenään ojitettujen soiden ja kangasmaiden metsien lannoituksesta koituvia kasvunlisäyksiä törmätään useihin epävarmoihin ratkaisuihin. Ensimmäisenä todettakoon jo tuloksia esiteltäessä mainittu seikka, ettei turvemaiden metsiköiden kasvuprosenttikäyriä kivennäismaametsiköiden perusteella ekstrapoloitaessa ilmeisesti täysin onnistuttu, kuten kuvan 9 kasvunlisäyskuvaajien epäsäännöllinen aaltoilu osoittaa. Suurta merkitystä ei tällä vaihtelulla ole; onhan se vain kymmenesosakuutiometrin luokkaa. Vakavimmat epävarmuutta aiheuttavat tekijät ovat lannoitusvaikutuksen kestoa koskevat arviot. Tällä hetkellä ei vielä ole käytössä yksityiskohtaista tietoa, kuinka paljon kestoaika vaihtelee kasvupaikoittain ja alueittain sekä metsikön kehitysvaiheen mukana. Tästä syystä laskelmat on jouduttu rakentamaan siten, että lannoitusvaikutuksen keston perusteella on erotettu vain kaksi ryhmää, kivennäis- ja turvemaiden metsiköt, vaikka ryhmien sisällä saattaa esiintyä huomattavaakin vaihtelua.

Lannoitusvaikutuksen suuruus on lisäksi mitattu ensimmäisen lannoituksen jälkeisen viisivuotiskauden kasvun perusteella, mikä tekee arviot kasvunlisäyksen kokonaismäärästä epävarmoiksi, erityisesti turvemaiden metsiköi-

den osalta. On mahdollista, että kasvunlisäysten suhteet eri kasvupaikkojen jne. välillä myöhemmin vuosina muuttuvat ja että tässä työssä esitetyt kasvuprosenttikäyrät täten osoittautuvat virheellisiksi.

Edellä sanottu osoittaa, ettei käytössä olleiden aineistojen pohjalta laskettuja kasvunlisäyksiä voida pitää ehdottomasti oikeina. Toisaalta sekä kasvupaikkojen että alueiden väliset erot ovat ääritapauksissa niin suuria, että niiden keskinäinen järjestys säilyisi pääosiltaan samana, vaikka nyt käytetyt oletukset korvattaisiin uusilla ja näistä olennaisestikin poikkeavilla. Kasvunlisäysten laskentaan käyttämäänsä menetelmää kirjoittajat pitävät varsin kelvollisena, ja sen yksityiskohtia voidaan toivottavasti tarkentaa sitä mukaa, kuin uutta tietoa metsänlannoituksen eri aspekteista kertyy.

612. Diskontattujen puusadon lisien ja hyötykertoimien laskenta

Kuten vertailumenetelmää koskevassa luvussa todettiin, kasvunlisäysten muuntaminen diskontatun puusadon lisäyksiksi voidaan suorittaa eri tavoin riippuen siitä, oletetaanko lannoituksen avulla tavoiteltavan kokonaistuotoksen lisäystä vai kiertoajan lyhenemistä eli hakkuutulojen saannin nopeutumista. Metsikön eri ikävaiheissa näiden kahden menetelmän keskinäinen realtisuus näyttäisi vaihtelevan. Lähinnä tästä syystä kasvunlisäysten muuntamisessa diskontatun puusadon lisäksi turvauduttiin eräänlaiseen yhdistettyyn menetelmään, jossa mainittu lisäys laskettiin erikseen sekä kiertoajan lyhenemismenetelmää että poistuman lisääntymismenetelmää käyttäen ja lopullinen tulos tasoitettiin metsikön kullekin ikävaiheelle saatujen pienempien arvojen mukaan.

Saatuja dpl-lukuja tarkasteltaessa on siten huomattava, että niiden taso on sikäli sovinainen, että toisentapaiset lannoitetun metsikön hakkuukäsittelyä koskevat oletukset voisivat antaa korkeampia jos kohta pienempiäkin numeroarvoja. Saatavien dpl-lukujen suuruuteen vaikuttaa näin ratkaisevasti se, mitä oletamusta pidetään realistisena, mitä vähemmän realistisena. Kirjoittajien käsitys kuitenkin on, että nyt käytetyllä menetelmällä eri kasvupaikkojen, eri alueiden ja metsikön eri kehitysvaiheiden keskinäinen edullisuusjärjestys on mahdollista saada esiin verraten harhattomasti ja joka tapauksessa harhattomammin kuin kummallakaan perusmenetelmällä yksinään.

Menetelmään itseensä sisältyvän virhemahdollisuuden lisäksi on otettava huomioon myös sitä sovellettaessa käytettyjen tietojen luotettavuus. Näitä ovat paitsi edellisessä luvussa jo arvioidut kasvunlisäykset myös tavoitepuustojen eri viisivuotiskausien kasvut, jotka on tutkimuksessa osittain oletamukseen nojautuen muunnettu vastaamaan toistuvien harvennushakkuiden

aiheuttamaa »sahanterämäistä» vaihtelua. Kumpienkin osalta on pyritty varmistamaan, että eri kohteiden keskinäiset suhteet ovat mahdollisimman loogiset ja oikeat. Käytettyjen lukujen taso on sen sijaan huomattavasti epävarmempi.

Muunnettaessa alunperin puutavaralajeittain ilmaistut poistumat kuorelliseksi kuusikuitupuun pinokuutiometreiksi käytettiin muuntokertoimina puutavaralajien välisiä laskenta-alueittain määritettyjä keskimääräisiä hintasuhteita. Näistäkin aiheutuu laskelmiin tiettyä epävarmuutta. Hintasuhteet ovat ajallisesti muuttuvia ja vaikka tässä käytetyt luvut on laskettu suhdanneaallon keskihinnosta, ei niiden pitkäjänteinen pysyvyys ole mitenkään varmaa. Suoritetut kokeilut osoittivat kuitenkin, että hintasuhteiden vaihtelulla on verraten vähäinen vaikutus kohteiden keskinäisiin edullisuussuhteisiin.

Oma vaikutuksensa on niinkään laskelmissa käytetyllä korkoprosentilla, kuten huomataan jos vertaillaan kuvapareja 10a—b ja 11a—b. Jälleen kuitenkin erot ovat ensisijaisesti käyrien tasossa, ei niinkään niiden keskinäisissä suhteissa. Korkoprosentin suurentaminen 3:sta 5:een pienentää dpl-lukuja kivennäismailla 10—15 % ja turvamailla 15—20 %.

Kuvissa 10 ja 11 esitettyihin diskontatun puusadon lisiin liittyy siis useita edellä sanotun perusteella merkittäviä virhemahdollisuuksia, joiden kaikkien suuruusluokkaa on vaikea kvantitatiivisesti osoittaa. Niistä seuraava epävarmuus ei kuitenkaan kirjoittajien käsityksen mukaan kohdistu samassa määrin eri lannoituskohteiden keskinäisiin suhteisiin kuin dpl-lukujen tasoon.

Laskelmien lopullisten tulosten eli hyötykertoimien luotettavuutta arvioitaessa on otettava huomioon, että ne on saatu kertomalla em. dpl-luvut kuusikuitupuun keskimääräisellä kantohinnalla ja jakamalla näin saatu tulo lannoituskustannuksella, joka sekin on määritetty laskenta-alueittain keskimääräiskustannuksena. Kuvien 12a—b ja 13a—b käyrät ovat siten eräänlaisia keskimääräistapausten käyriä nimenomaan alueittaista vertailua ajatellen. Sen paremmin kantohinta kuin kustannuskaan eivät muutu portaanomaisesti laskenta-alueiden välisellä rajalla, vaan muuttuminen on vähittäisempää. Toisaalta kantohinnan vaihtelu on alueiden sisällä lähes samaa luokkaa kuin alueiden kesken. Lannoituskustannuksen osalta on lisäksi mahdollista, että kohteen laatu vaikuttaa kustannuksen suuruuteen jopa enemmän kuin maantieteellinen sijainti. Vuonna 1969 metsänparannuspiirien hankekohtaisten kustannuslukujen variaatiokertoimet vaihtelivat Rovaniemen 8,4 %:sta Porin 22,7 %:iin. Hyötykertoimiin tästä aiheutuu vastaava suuruusluokkaa oleva variaatio joka ehkä parhaiten voitaisiin ilmaista piirtämällä kuviin 12 ja 13 käyrien sijasta eräänlaiset vaihteluvyöhykkeet.

62. LANNOITUSKOHTEIDEN VALINNASSA HUOMIOON OTETTAVAT NÄKÖKOHDAT

Edellä suoritettu tarkastelu on ollut kansantaloudellinen siinä mielessä, että sen paremmin metsänparannusten kuin verotuksenkaan vaikutuksia toimenpiteiden edullisuuteen ei ole otettu huomioon. Tulokset osoittavat siten lähinnä sen, missä järjestyksessä lannoituskohteet tulisi valita silloin, kun toimintaa harkitaan yhteiskunnan kannalta ja käyttöön osoitetut resurssit eivät salli kaikkien mahdollisten kohteiden samanaikaista lannoittamista. Tällainen on tilanne esimerkiksi laadittaessa valtakunnallista metsänparannusohjelmaa, jossa hahmotellaan tietyn aikajakson kuluessa metsissä toteutettavat työtavoitteet. Samoin mainittua ohjelmaa toimeenpantaessa, kun on ratkaistava, mitkä ehdotetuista lannoitushankkeista kulloinkin ovat yhteiskunnan kannalta ensisijaisia ja siinä mielessä ansaitsevat tulla metsänparannusvaroin toteutetuiksi.

Yksityisen metsänomistajan kannalta saattavat edullisuussuhteet näyttää jossain määrin toisilta. Kun metsänparannustukea vallitsevan käytännön mukaan annetaan runsaammin ns. peruslannoitukseen eli huonokasvuisen ja niukkapuustaisen metsikön lannoittamiseen kuin varttuneempien puustojen kasvatuslannoitukseen, on tämä menettely omiaan loiventamaan »huonojen» ja »hyvien» lannoituskohteiden välisiä edullisuuseroja. Toisaalta verotus on pinta-alan perustuvana neutraali eikä siten nykyisellään vaikuta toimenpiteiden edullisuutta pienentävästi. Metsänparannusviranomaisen ja metsänomistajan käsitykset voivatkin erota toisistaan lannoituskohteita valittaessa ilman että kumpikaan on »väärässä». Tämän tutkimuksen tavoitteisiin ei kuitenkaan kuulu pohtia, miten nämä ristiriidat olisi tarkoituksenmukaisesti ratkottava.

Suoritettu tarkastelu on niinkään rajoittunut yksittäisten metsiköiden lannoittamisen edullisuusjärjestykseen. On varsin ilmeistä, että laajempialaisten useita metsiköitä käsittävien kokonaisuuksien samanaikaisessa käsittelyssä saavutetaan kustannussäästöjä, etenkin lentolannoituksessa. Ja vastaavasti hyvin pienten metsikkökuvioiden erillinen käsittely voi olla tässä oletettua kalliimpaa. Lannoitustoiminnan ohjauksessa on syytä kiinnittää huomiota myös tähän seikkaan, vaikka edellä esitettyjen tulosten perusteella voidaankin päätellä, että kyseinen pinta-alavaikutus on eri lannoituskohteiden välisten erojen jyrkkyyden vuoksi vähempimerkityksinen kuin vastaava näkökohta suunniteltaessa metsäojitushankkeita.

Kohteen maantieteellisen sijainnin vaikutus on tutkimuksessa selvitetty suhteellisen karkeasti; vertailuhan perustuu vain kolmen sinänsä varsin laajan osa-alueen keskiarvoihin. Tuloksia on tältä osin pidettävä lähinnä suuntaa osoittavina. Niiden yleistämistä koskemaan kutakin osa-aluetta kokonaisuudessaan on vältettävä. Nimenomaan ovat Pohjanmaan—Kainuun mutta

myös Lapin alueet kantohintatason suhteen sangen heterogeenisia. Jos tuloksia halutaan käyttää esimerkiksi metsänparannuspiireittäiseen toiminnan kohdentamiseen, on alueellinen tarkastelu suoritettava tässä käytettyä aluejakoa yksityiskohtaisemmin. Kirjoittajat ovat toisessa yhteydessä (KELTIKANGAS ja SEPPÄLÄ 1973) selostaneet tätä varten laadittuja laskelmia.

Edellä esitetyin varauksin näyttäisi kuitenkin jo tämän tutkimuksen tulosten perusteella ilmeiseltä ja verraten varmalta, että lannoitukseen käytettäville resursseille saadaan kansantaloudellisesti edullisin ja suurin kate kohdistamalla lannoitustoiminta tässä vaiheessa ensisijaisesti jo ennestään hyväkasvuisiin, runsaspuustoisiin ja lähes hakkuukypsiin metsiköihin ja painotamalla toimintaa suhteellisesti voimakkaammin maan eteläisiin ja läntisiin osiin.

Vaikka esitetyt laskelmat on edellä rajoitettu männiköihin, ei liene mitään aihetta olettaa, että nämä edullisuussuhteet olisivat kuusikoissa olennaisesti toiset. Sen sijaan tutkimus ei anna kvantitatiivista pohjaa vastata kysymykseen, kumpi mainituista puulajeista on samalla kasvupaikalla ja samassa kehitysvaiheessa edullisempi kohde.

7. KIRJALLISUUTTA

- AALTONEN, V. T. 1950. Die Blattanalyse als Bonitierungsgrundlage des Waldbodens. Selostus: Lehtianalyysi metsämaan hyvyysluokituksen perusteena. Comm. Inst. For. Fenn. 37,8.
- ARO, P. 1935. Tutkimuksia rinnankorkeus- ja katkaisuläpimitan vaikutuksesta käyttöpuun ja hakkuutähteiden määrään. Referat: Untersuchungen über den Einfluss des Brusthöhen- und Minimaldurchmessers auf die Menge des Gebrauchsholzes und der Hiebsreste. Comm. Inst. For. Fenn. 20,4.
- BRANTSEG, A. 1962. Et gjødslingsforsøk i furuskog. A Fertilizing Experiment in Scots Pine Forest. Medd. norske Skogfors. Ves. Bind 17, 238—288.
- » — , BREKKA, A. og BRAASTAD, H. 1970. Gjødslingsforsøk i gran- og furuskog. Fertilizer Experiments in Stands of *Picea abies* and *Pinus silvestris*. Medd. norske Skogfors Ves. Bind 27, 537—607.
- CARBONNIER, CH. 1962. Några resultat av gödslingsförsök i rena tall- och granbestånd. Sveriges Skogsv Förb. Tidskr. 3,
- ERKÉN, T. 1969. Några teoretiska beräkningar av skogsgödslingens ekonomiska effekt. Fören. Skogsförädl., Inst. för skogsförbättr. Årsbok 1968. Uppsala.
- ERVASTI, S., L. HEIKINHEIMO, K. KUUSELA ja V. O. MÄKINEN 1970. Forestry and Forest Industry Production Alternatives in Finland, 1970—2015. Folia For. 88.
- FAHLROTH, S. 1970. Skogsgödslingens ekonomi. Nordiskt skogsbruk av i dag. Helsinki.
- HEIBERG, H., 1971. Skogsgjødslingens ekonomi. Norsk Skogsbruk 1971, 7—8, 76—78.
- HEIKURAINEN, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Über waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. Acta Forest. Fenn. 69, 1.
- » — 1961. Metsäojituksen vaikutuksesta puuston kasvuun ja poistumaan. Hakkuupoistuman laskemista varten. Summary: The Influence of Forest Drainage on Growth and Removal in Finland. For Estimation of Allowable Cut. Acta Forest. Fenn. 71, 8.

- » — , KELTIKANGAS, M. ja SEPPÄLÄ, K. 1963. Kustannusten jakaminen yhteisissä metsäojitushankkeissa. Summary: Allocation of Costs in Joint Forest Undertakings. Silva Fenn. 115,1.
- » — , K. KUUSELA, O. LINNAMIES ja A. NYSSÖNEN 1960. Metsiemme hakkuumahdollisuudet. Pitkän ajan tarkastelua. Summary: Cutting Possibilities of the Forests of Finland. A Longterm Analysis. Silva Fenn. 110.
- » — , PÄIVÄNEN, J. ja SEPPÄLÄ, K. 1966. Koetuloksia männyn kylvöstä ja istutuksesta ojitetuilla soilla. Silva Fenn. 119.
- » — ja SEPPÄLÄ, K. 1965. Regionality in Stand Increment and its Dependence on the Temperature Factor on Drained Swamps. Acta For. Fenn. 78,4.
- » — ja VEIJOLA, P. 1971. Lannoituksen ja sarkaleveyden vaikutus rämeen uudistumiseen ja taimien kasvuun. Summary: Effect of Fertilization and Ditch Spacing on Regeneration and Seedling Growth in Pine Swamps. Acta For. Fenn., Vol. 114.
- HOLMEN, H. 1971. Skogsgödsling i Sverige. Summary: Forest Fertilization in Sweden. Särtryck ur Skogs- o. Lantbr.-akad. Tidskr. 110 (1971).
- HUIKARI, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Summary: Studies on the Effect of Drainage and Ash Fertilization upon the Microbes of Some Swamps. Comm. Inst. For. Fenn. 42,2.
- » — ja PAARLAHTI, K. 1966. Kivisuon metsänlannoituskokeet. Kenttäopas. Helsinki.
- » — ja PAAVILAINEN, E. 1968. Metsänlannoitus. Helsinki.
- ILVESSALO, Y. 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. Helsinki.
- » — 1965. Metsänarvioiminen. Helsinki.
- KARSISTO, K. 1968. Eri fosforilannoitelajien soveltuvuus suometsien lannoitukseen. Summary: Using Various Phosphatic Fertilizers in Peatland Forests. Suo 6, 104—111.
- » — 1970. Lannoituksessa annettujen ravinteiden huuhtoutumisesta turvemailta. Summary: On the Washing of Fertilizers from Peaty Soils. Suo 1—4, 60—66.
- » — ja RAVELA, H. 1971. Eri ajankohtina annettujen fosfori- ja kalilannoitteiden huuhtoutumisesta metsäojitusalueilta. Summary: Washing away of Phosphorus and Potassium from Areas Drained for Forestry and Topdressed at Different Times of the Year. Suo 3—4, 39—46.
- KEIPI, K. 1972. Lannoituskustannukset ja tuottojen käsittely metsän lannoituksen kannattavuuslaskelmissa Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa. Summary: The Concept of Forest Fertilization Returns in Norway, Sweden and Finland. Folia For. 152.
- » — ja KEKKONEN, O. 1970. Calculations Concerning the Profitability of Forest Fertilization. Selostus: Laskelmia metsänlannoituksen edullisuudesta. Folia For. 84.
- KELTIKANGAS, M. 1971. Sarkaleveyden vaikutus ojitusinvestoinnin taloudelliseen tulokseen. Summary: Effects of Drain Spacing on the Economic Results of Forest Drainage Investments. Acta For. Fenn. Vol. 123.
- » — ja SEPPÄLÄ, K. 1966. Laskelmia metsäojituksen alueellisesta edullisuudesta. A Comparison of the Economic Results of Forest Drainage Undertakings in Different Parts of Finland. Suo 1,9—21.
- » — 1968. Arvioita turvemaiden lannoituksen taloudellisesta edullisuudesta. Summary: Estimates on the Profitability of Fertilizing Drained Peatlands. Suo 1, 1—11.
- » — 1973. Metsäojituksen, metsänlannoituksen ja metsityksen edullisuuden alueittainen vaihtelu. Regional Variations in Forest Drainage, Forest Fertilization and Afforestation. Helsingin Yliopiston metsätalouden liiketieteen laitoksen julkaisuja N:o 11.
- KOIVISTO, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and Yield Tables. Comm. Inst. For. Fenn. 51,8.
- MALMSTRÖM, C. 1952. Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogväxt på torvmark. Comm. Inst. For. Fenn. 40,17.

- MANNERKOSKI, H. ja SEPPÄLÄ, K. 1970. Lannoituksen vaikutus istutustaimiston alkukehitykseen lyhytkortisella nevala. Summary: On the Influence of Fertilization on the Initial Development of Plantations in Open Low-Sedge Bogs. *Suo* 1, 12–17.
- MESHECHOK, B. 1968. Om startgjødsling ved skogskultur på myr. Summary: Initial Fertilization when Afforesting Open Swamps. *Medd. Norske Skogforsøksv. Bind 21,1*—140.
- Metsänlannoitusopas 1967. Rikkihappo Oy. Helsinki.
- Metsätalastollinen vuosikirja 1968, 1969, 1970, 1971. Yearbook of Forest Statistics. *Folia For.* 70, 96, 130, and 165.
- MÖLLER, G. 1971. Skogsgjødsling. Hittills vunna erfarenheter. *Skogen* 11, 360–367.
- NYSSÖNEN, A. 1954. Haukkauksilla käsiteltujen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the Structure and Development of Finnish Pine Stands Treated with Different Cuttings. *Acta For. Fenn.* 60.4.
- » — 1955. Hakkuumäärän arvioiminen kannoista. Summary: Estimation of the Cut from Stumps. *Comm. Inst. For. Fenn.* 45.5.
- » — ja ALALAMMI, E. 1968. Käyttöpuun tuotoksesta ensimmäisillä harvennushakkuilla käsitellyissä metsiköissä. Konekirjoite.
- Operaatio metsälannoitus 1969. Vuosina 1967–68 suoritettujen mittausten tuloksia. Helsinki.
- PAARLAHTI, K. ja KARSISTO, K. 1968. Koetuloksia kaliummetafosfaatin, raakafosfaatin, hienofosfaatin ja superfosfaatin käyttökelpoisuudesta suometsien lannoituksessa. Summary: On the Usability of Potassium Metaphosphate, Raw Phosphate, Rock Phosphate and Superphosphate in Fertilizing Peatland Forests. *Folia For.* 55.
- » —, REINIKAINEN, A., ja VEIJALAINEN, H. 1971. Nutritional Diagnosis of Scots Pine Stands by Needle and Peat Analysis. *Comm. Inst. For. Fenn.* 74.5.
- PAAVILAINEN, E. 1968. Vanhojen rämemäntyjen kasvun elpyminen lannoituksen vaikutuksesta. Summary: On the Response to Fertilization of Old Pine Trees Growing on Pine Swamps. *Folia For.* 43.
- » — 1969. Tutkimuksia levitysjankohdan vaikutuksesta nopealiukoisten lannoitteiden aiheuttamiin kasvureaktioihin suometsissä. Summary: Influence of the Time of Application of Fast-Dissolving Fertilizers on the Response of Trees Growing on Peat. *Folia For.* 75.
- » — 1971. The Effect of Various Nitrogen Fertilizers on the Leader Growth of Pine on Peatlands. *Acta Agr. Fenn.* 123, 197–205.
- » — 1972. Reaction of Scots Pine on Various Nitrogen Fertilizers on Drained Peatlands. Seloste: Tyypilannoitelajien vaikutus männyn kasvuun metsäojitetuilla soilla. *Comm. Inst. For. Fenn.* 77.3.
- PUUSTJÄRVI, V. 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Summary: The Analysis of Needles as an Exponent for the Need of Fertilization of Scotch Pine. *Metsätal. Aikakausi.* 1,26–28.
- PÄIVÄNEN, J. 1970. Hajalannoituksen vaikutus lyhytkortisen nevan pintakasvillisuuden kenttäkerrokseen. Summary: On the Influence of Broadcast Fertilization on the Field Layer of the Vegetation of Open Low-Sedge Bog. *Suo* 2.
- ROBAK, H. ja NEDKVITNE, K. 1957. Et 25 år gammelt forsøk med gjødsling av gran på røssløyngmark. *Medd. Norske Skogforsøksv. Bind 14*, 401–411.
- SCHALIN, I. 1967. On the Effect of Nitrogen Fertilization on the Bacteria, and Microfungi in Humus Layer. Seloste: Tyypilannoituksen vaikutuksesta humuskerroksen bakteereihin ja homesieniin. *Silva Fenn.* 3, 1–12.
- SEPPÄLÄ, K. 1968. Ennakkotuloksia suometsiköiden ojituksen jälkeisestä kehityksestä ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Summary: Preliminary Results of Peatland Stand Post-Drainage Development. *Silva Fenn.* 3, 166–182.
- » — 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemilla. Summary: Post-

- Drainage Growth Rate of Norway Spruce and Scots Pine on Peat. *Acta For. Fenn.* Vol. 93.
- » — 1971. Metsityslannoituksessa käytetyn lannoitemäärän ja levitystavan merkitys istutustaimiston alkukehitykselle ojitetuilla avosoilla. Summary: On the Quantity of Fertilizer and Application Methods Used in Afforestation of Open Bogs. *Silva Fenn.* 2, 61–69.
- » — 1972. Estimation of the Effect of Fertilizer Application on Peatlands Drained for Forestry. Proc. 4th Intern. Peat Congr. Otaniemi/Finland 1972. Vol. III, 489–500.
- Suometsät ja niiden hoito 1971. Kml. Tapio. Helsinki.
- SVENSRUD, A. 1969. Economics of Fertilization in Forestry. IUFRO 3rd Intern. Conf. on Forest Yield. Prague 1969, 69–79.
- SÄRKKÄ, M. 1970. Metsänlannoituksen vaikutus vesistöissä. On the Influence of Forest Fertilization on Watercourses. *Suo* 3–4, 67–74.
- TAMM, C. O. 1956. Studier över skogens näringsförhållanden. IV. Effekten av kalium- och fosfortillförsel till ett oväxligt bestånd på dikad myr. Summary: The Effects of Supply of Potassium and Phosphorus to a Poor Stand on Drained Peat. *Medd. Stat. Skogforsk. inst.* 46.7.
- » — 1965. Some Experiences from Forest Fertilization Trials in Sweden. *Silva Fenn.* 117.3.
- THURMANN-MOE, P. 1956. Eldre og nyere skogskultur og gjødslingsforsøk på Åsmyra. *Norsk Skogbruk* 8, 269–281; 9, 309–316.
- VIRO, P. J. 1961. Evaluation of site fertility. *Unasylva* 15.2.
- » — 1965 a. Estimation of the Effect of Forest Fertilization. Selostus: Metsän lannoituksen vaikutuksen arvioiminen. *Comm. Inst. For. Fenn.* 59.3.
- » — 1965 b. Metsämaan viljavuuden määrittämisestä. Summary: On the Estimation of Forest Soil Fertility. *Comm. Inst. For. Fenn.* 60.3.
- » — 1966 a. Kangasmaan taimiston lannoitus. Summary: Manuring of young plantations. *Comm. Inst. For. Fenn.* 61.4.
- » — 1966 b. Profitability of Forest Fertilization. Kansallis-Osake-Pankki. Taloudellinen Katsaus.
- » — 1967. Forest Manuring on Mineral Soils. *Medd. norske Skogforsøksv. Bind 23*, 11–136.
- » — 1970. Time and Effect of Forest Fertilization. *Comm. Inst. For. Fenn.* 70.5.
- VUOKILA, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusiköiden kehityksestä. Summary: On the Development of Managed Spruce Stands in Southern Finland. *Comm. Inst. For. Fenn.* 48.1.
- WESLIEN, J. 1972. Ett gödslingsprogram i praktisk tillämpning. Gjødsling i skogen. Saertrykk av *Tidskr. for Skogbruk* 2/72, 231–244.

LYHENNELUETTELO — ABBREVIATIONS

- B/C = Hyötykerroin — *Benefit/cost ratio*
- dpl = Diskontattu puusadon lisä — *Increase in the discounted timber yield*
- I_v = Metsikön juokseva vuotuinen kuutiokasvu, k-m³/ha kuoretta — *Current annual underbark increment of stands, m³/ha*
- ΔI_v = Metsikön juoksevan vuotuisen kuutiokasvun lisäys, k-m³/ha kuoretta — *Change in the current annual underbark increment of stands, m³/ha*
- P_d = Lannoitusta edeltäneen viisivuotiskauden keskimääräinen kuutiokasvusadannes laskettuna lannoitushetken puumäärän perusteella — *Average volume increment percentage during the five-year period immediately preceding fertilization as determined on the basis of the volume of the growing stock at the time of application.*

- P_1 = Lannoituksen jälkeisen viisivuotiskauden keskimääräinen kuutiokasvusadannes laskettuna lannoitushetken puumäärän perusteella. — *Average volume increment percentage during the five-year period immediately following fertilization as determined on the basis of the volume of the growing stock at the time of application.*
- T = Metsikön keski-ikä, v — *Mean stand age, years.*
- V = Metsikön kuorellinen kuutiomäärä, $k\text{-m}^3/\text{ha}$ — *Overbark stand volume, m^3/ha .*
- W = Metsikön jäljellä olevien hakkuiden nettotulojen diskonttoarvo — *Discounted value of the future cuttings in a stand.*
- CT = Kanervatyyppe — *Calluna site type.*
- pCT = Peräpohjolan kanervatyyppe — *Calluna site type in Lapland.*
- EMT = Variksenmarja-mustikkatyyppe — *Empetrum Myrtilus site type.*
- EVT = Variksenmarja-puolukkatyyppe — *Empetrum Vaccinium site type.*
- MT = Mustikkatyyppe — *Myrtilus site type.*
- VT = Puolukkatyyppe — *Vaccinium site type.*
- IR = Isovarpuinen räme — *Dwarf-shrub pine swamp*
- PsR = Pallosararäme — *Globularis pine swamp*
- RhSR = Ruohoinen sararäme — *Herb-rich sedge-pine swamp.*
- TR = Tupasvillaräme — *Cotton-grass pine swamp*
- VSR = Varsinainen sararäme — *Ordinary sedge-pine swamp*
- I+II = Ilmastovyöhykkeet I ja II — *Climate zones I and II.*
- III = Ilmastovyöhyke III — *Climate zone III*
- IV+V = Ilmastovyöhykkeet IV ja V — *Climate zones IV and V*

SUMMARY:

VARIATIONS IN THE PROFITABILITY OF FOREST FERTILIZATION

A substantial part of the money which is used for forest improvement in present-day Finland is spent on forest fertilization. The total area annually treated with fertilizer is already as much as a quarter of a million hectare. As, from a social viewpoint, the potential possibilities for fertilization are practically unlimited in comparison with our present possibilities to carry out forest fertilization there, is a great demand for information concerning the profitability of fertilizer application in forests of different kinds and located in different parts of the country.

The goal of the present study was to find out, by means of calculations, how the profitability of forest fertilization varies with variations in the stage of development of tree crops, the quality of the site and its geographical location. The study is a part of a larger project concerning the order of profitability of different forest improvement measures under different conditions. The project was carried out during the period 1967—71 by a team of research workers under the leadership of Prof. V. Keltikangas, and it was financed by the Finnish Academy.

The problems dealt with in the study were approached from the viewpoint of national economy. Thus, it was possible in the calculations to disregard

certain factors which are of essential importance in the forest owner's decision-making, for example, the subsidies granted by the State for forest improvement and the changes in taxation caused by the forest improvement measures carried out.

The calculations were concerned with forest fertilization both on mineral soils and on drained peat soils. The following restrictions were made, however: in the case of mineral soils only such sites were studied which require pure nitrogen application, and in the case of peat soils, only such sites which require PK application. The increase in increment following fertilization was drawn, in the case of mineral soils, from the original data collected in connection with the so-called »Operation Forest Fertilization», and in the case of peat soils, from material specifically collected for this study. The collection of the data used as well as its magnitude and properties have been described previously (Operaatio . . . 1969, SEPPÄLÄ 1972).

The material provided by the »Operation Forest Fertilization» consisted of somewhat more than 900 sample plots located in different parts of Finland. All sample plots situated on paludified forest land and those dominated by hardwoods were disregarded. The data concerning peatland forests was collected from slightly more than 70 sample plots from a relatively small area in Central Finland.

As a criterion for the profitability of the fertilizer applications carried out we used the benefit/cost ratio, i.e., the ratio between the present value of the increase in the timber yield and the investment costs. The increase in the timber yield was expressed in terms of the stumpage price, the absolute monetary values of which was obtained by converting the average nominal prices presented in the annual statistics of the Finnish Forest Research Institute (Metsätalastolinen . . . 1968—1971) so as to correspond to the price level in October 1970. This conversion was performed on the basis of the whole sale price index. The costs of fertilizer application were estimated from data collected in the period 1960—1971 from fertilization operations in the forest improvement districts of the Central Forestry Board Tapio. The values thus obtained were then converted so as to correspond to standard doses of fertilizer (in the case of mineral soils, 400 kg/ha of calcium-ammonium nitrate; in the case of peat soils, 550 kg/ha of PK fertilizer [0—24—15]).

In the first phase of the calculations, it was attempted to work out a method which would allow determination of the increase in growth due to fertilization in a uniform way in the case of different tree crops. After several trials a method was arrived at according to which the post-fertilization volume increment is determined as a function of the underbark volume of the growing stock at the time of application and the annual volume growth during the five-year period immediately preceding application (Figs. 6 and 7). In this way both of the two categories of data collected could be examined separately as a single group

because the interrelationship between the volume of the growing stock and the growth percentage seems to remain unchanged irrespective of the geographical location of the site, and to some extent, of its fertility (e.g., Figs. 4 and 5). This method of calculation can be applied, without corrections, for determination of the effect of fertilizer application in coniferous forests of relatively low or medium fertility which have been treated with intermediate cuttings, but in which thinnings have not been performed during the five-year period immediately preceding fertilizer application and will not be performed during the period of the fertilization effect.

The next step was to find a set of stand development series which, with regard to the stand treatment, would be as logical as possible in comparison with each other. This was required in order to make it possible to assess the variation in the increase in growth caused by the fertilizer with the variations in the quality of the site, its geographical location and the stage of development of the tree crop. The best series found for this purpose were the so-called desired-stock series presented by HEIKURAINEN *et al.* (1960), which are based on data collected from yield studies by NYSSÖNEN (1954), VUOKILA (1957) and KOIVISTO (1959), and the complementary series compiled by the present authors on the basis of the aforementioned series. This study was restricted so as to concern only pine stands because, due to the ten-year cutting cycle presupposed by the series, the response of the tree stands to cuttings had to be estimated, and there is reason to believe that it is different in the case of different tree species. Figs. 8 and 9 show the annual growth increases due to fertilization in the tree stands corresponding to the desired-stock series as calculated according to the method presented in the foregoing.

In the following phase of the calculations, the discounted increase in yield was determined, i.e., the increase in the planned cut caused by fertilization as divided by assortments. The increase in the planned cut, determined on the basis of measurements, was converted, in relation to the regional variation in prices, so as to correspond to one assortment (in the present connection, 2-m spruce pulpwood), and discounted to the time of fertilizer application. The discounted increase in the yield was calculated in two different ways: by shortening the rotation and by increasing the allowable cut. In the former case it was assumed that the cuttings still to be performed during the rotation were similar in the case both of fertilized and of unfertilized stands, but that, in the case of the fertilized stands, the cuttings were performed so much nearer the time of fertilization as allowed by the response to fertilization. In the latter case it was assumed that the increase in the volume of the growing stock following fertilization is collected in a cutting immediately after the effect of fertilization has ceased, or, if it exceeds the length of the cutting cycle, in two cuttings. The former method was considered as being superior in the case of young tree crops, and the latter, in the case of stands near maturity. To maintain the right proportions in the

calculations concerning all phases of stand development, both methods should be used.

The calculations involved with the study were performed using an interest rate both of three and of five per cent. The effect of nitrogen application was assumed to last unchanged for six years, and that of PK application, for a period of fifteen years. The discounted increases in the yield obtained by the use of both methods of calculation were plotted in the same coordinate system, in which the horizontal axis indicated the stand age. Levelling was carried out by considering the lower numerical value of the discounted increase in yield as being correct in each separate case. Figs. 10 a-b and 11 a-b show the results obtained.

Appraising the discounted increases in yield using real regional stumpage prices and dividing the present values of the returns from fertilization thus obtained by the fertilization costs, gives the profitability coefficients (benefit-cost ratios), which have been used as the final characteristics of the profitability of fertilization. The coefficients are presented in Figs. 12 a-b and 13 a-b. The following conclusions have been drawn from the results:

- fertilization is more profitable in the case of sites of medium fertility than in the case of poor sites
- the profitability of fertilization declines rather fast from south to north and with decreasing wood prices
- the profitability of fertilization increases with increasing stand age up to maturity for cutting
- the difference in the profitability of fertilization between young and old stands is greater, the higher the soil fertility and the more southerly the location of the site
- the interest rate used affects the numerical values of the profitability coefficient to some extent, but this does not seem to change the order of profitability of fertilization in the case of different sites.

As many of the aspects to be taken into consideration in forest fertilization are still insufficiently known, inaccurate data and assumptions which were held for probable had to be used in the calculations. For this reason the numerical values presented may change even to a considerable extent as more accurate knowledge is obtained. The differences in the profitability between different situations seem to be so great, however, that the main results of the calculations, or the order of profitability in fertilizing different sites, can be considered as being correct.