

00.00 99



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1989

729

Leena Oksanen-Peltola

ETELÄSUOMALAISEN VT-MÄNNIKÖN UUDISTAMIS-
VAIHTOEHTOJEN YKSITYISTALOUDELLINEN
EDULLISUUSVERTAILU

Profitability comparisons of some regeneration alternatives of
Vaccinium type pine stands in private forests of southern Finland

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Kiljasto

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

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

<i>Ylijohtaja:</i> <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
<i>Julkaisujen jakelu:</i> <i>Distribution of</i> <i>publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
<i>Julkaisujen toimitus:</i> <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

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

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

FOLIA FORESTALIA 729

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1989

Leena Oksanen-Peltola

ETELÄSUOMALAISEN VT-MÄNNIKÖN UUDISTAMIS- VAIHTOEHTOJEN YKSITYISTALOUEDELLINEN EDULLISUUS- VERTAILU

Profitability comparisons of some regeneration alternatives of *Vaccinium* type
pine stands in private forests of southern Finland

Approved on 10.3.1989

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
11. Metsänuudistaminen liiketaloudellisena ongelmana	3
12. Aihepiirin aiempia tutkimuksia	4
13. Tutkimustehtävä	5
2. UUDISTAMISVAIHTOEHTOJEN MÄÄRITTÄMINEN	6
21. Tuotossarjat ja niiden käsittely	6
211. Luontainen uudistaminen	6
212. Viljely	9
22. Vertailtavat vaihtoehdot	10
3. KANTOHINNAT JA KUSTANNUKSET	14
31. Kantohintasarjat ja tuotosten hinnoitteluperusteet	14
32. Kustannussarjat ja puunkasvatuksen kustannusten määrittäminen	16
4. EDULLISUUDEN LASKENTAPERUSTEET	20
5. TULOKSET	22
51. Edullisuus perustilanteessa	22
52. Herkkyysanalyysit	24
521. Puutavaralajien hintasuhteiden ja kustannustason vaikutus	24
522. Laskentajakson vaikutus	26
523. Uudistumisajan vaikutus	27
524. Puuntuotoksen tason vaikutus	27
6. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	28
KIRJALLISUUS — REFERENCES	30
SUMMARY	32
LIITTEET — APPENDICES	34

OKSANEN-PELTOLA, L. 1989. Eteläsuomalaisen VT-männikön uudistamisvaihtoehtojen yksityistaloudellinen edullisuusvertailu. Summary: Profitability comparisons of some regeneration alternatives of *Vaccinium* type pine stands in private forests of southern Finland. *Folia Forestalia* 729. 40 p.

Tutkimuksessa verrataan metsiköittäin 11 erilaisen uudistamis- ja metsänkäsitelyohjelman keskinäistä edullisuutta. Edullisuuden vertailumenetelmänä käytetään suhteellisia nykyarvoja korkokannan funktiona. Lisäksi selvitetään vaihtoehtojen keskinäiseen edullisuusjärjestykseen keskeisimmän vaikuttavien tekijöitä herkkyyksianalyysien.

Tulosten perusteella alle 1,8 %:n laskentakorkokannoilla pitkän kiertoajan kylvövaihtoehto oli edullisin. Siinä kiertoaikaan (91 vuotta) sisältyy kolme harvennushakkuuta ja päätehakkuu. Luontaisen uudistamisen vaihtoehtoissa metsikköä harvennetaan kaksi kertaa ja luontaiseen uudistamiseen pyritään kolmella tai kahdella uudistamishakkuulla. Korkokannoilla 1,8—2,8 % edullisimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui luontaisen uudistamisen vaihtoehto, ja tätä suuremmilla korkokannoilla lyhyen kiertoajan (76 vuotta) kylvövaihtoehto oli edullisin. Siinä metsikköä harvennetaan kaksi kertaa. Istutusvaihtoehdot olivat kaikilla käytetyillä laskentakorkokannoilla kylvövaihtoehtoja huonompia.

Kantohintojen ja uudistamiskustannusten realistisissa rajoissa tapahtuvat muutokset eivät juuri vaikuttaneet edullisuussuhteisiin. Sen sijaan laskentajakson, uudistumisaikojen ja puuntuotoksen tason muutoksille tulokset olivat suhteellisen herkkiä. Edullisuusjärjestys vaihtuu korkokannan noustessa ensisijaisesti siksi, että metsää luontaisesti uudistettaessa nykypuustoon sitoutunutta pääomaa saadaan realisoiduksi aikaisemmin kuin pitkän kiertoajan vaihtoehtoissa. Luontaisen uudistamisen hakkuissa ei kuitenkaan menetetä koko nykypuuston jäljellä olevaa kasvua kuten lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehtoissa.

Keywords: regeneration decision, price and cost forecasts, net present value, sensitivity analysis
ODC 651.72+923+174.7 *Pinus sylvestris*

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Economics, PL 37, SF-00381 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1045-0
ISSN 0015-5543

Helsinki 1989. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

11. Metsänuudistaminen liiketaloudellisena ongelmana

Metsikön tarkoituksenmukaisimman uudistamistavan valinta on metsänhoidon ja samalla koko metsätalouden vaikeimpia ja kauaskantoisimpia päätöksiä. Metsätalouden harjoittamisen perusedellytykset ja kannattavuus luodaan valitsemalla talouden harjoittamisen tavoitteisiin nähden oikeat metsiköiden uudistamis- ja hoitotoimenpiteet, harvennusmenetelmät ja kiertoajat. Niiden valintaan vaikuttavat biologiset, taloudelliset ja tekniset tekijät.

Uudistaminen on metsänhoidollisesti monimutkainen ja ympäristötekijöistä riippuva tapahtumaketju. Se sisältää sarjan toisiaan seuraavia toimenpiteitä, jotka yhdessä muodostavat kokonaisuuden. Hakkuilla aikaansaavat tuotot sekä metsänuudistamiskustannukset ja toisaalta metsänuudistamistulos määräytyvät lopullisesti kullekin uudistamisketjulle ominaisena yhdistelmänä. Keskeisiä valintatilanteita metsänuudistamisessa ovat uudistamisajankohdan, hakkuutavan ja puulajin valinta. Koska metsälöön ja yksittäiseen metsikköönkin kohdistuvat taloudelliset tavoitteet vaihtelevat huomattavasti metsänomistajien kesken, yhtä yleispätevää taloudellista perustetta edullisimman metsänuudistamistavan valitsemiseksi ei voida esittää.

Uudistamistavan valinnassa metsänomistaja joutuu vaikean taloudellisen päätöksen eteen päätehakkuuikää lähenevien metsiköiden osalta. Metsiköiden käsittelyä suunniteltaessa olisi syytä harkita, kannattaisiko metsikkö yksityistaloudellisesti uudistaa jo ennen nykyisen käytännön mukaista uudistamiskypsyyttä (Metsänviljelykustannusten... 1971, s. 53, Hämäläinen 1973, s. 107—109 ja Keltikangas 1976, s. 352). Päätehakkuuikää lähenevän männikön voimakkailla väljennyshakkuilla on todettu olevan uudistumistulosta parantava vaikutus (esim. Hänninen ym. 1972, s. 49—59).

Keskusmetsälautakunta Tapion voimassa olevien metsänhoito-ohjeiden mukaan luontaista uudistamista edistävään voimakkaaseen väljennykseen niin siemen- kuin suojus-

puuhakkuussa saadaan ryhtyä vasta metsikön täytettyä päätehakkuun ja sitä seuraavan keinollisen uudistamisen edellyttämät ikä- ja/tai järeyskriteerit (Etelä-Suomen metsien... 1981). Nämä kokonaistaloudelliset tavoitteet johtavat luontaisesti uudistettavan metsikön kiertoajan vastaavaan pidentymiseen metsänviljelyllä uudistettavaan metsikköön verrattuna. Samalla luontaisen uudistamisen vaihtoehdon yksityistaloudellinen edullisuus heikkenee, sitä enemmän mitä korkeampi metsänomistajan korkovaatimus on. Paljaasihakkuu ja viljely onkin yli-ikäisissä metsiköissä yleensä luontaista uudistamista kannattavampi ratkaisu. (Esim. Hämäläinen 1982, s. 33)

Uudistamistapojen suhteita tarkasteltaessa voidaan havaita, että luontaisen uudistamisen osuus metsänuudistamisen kokonaismäärästä on 1950-luvun jälkeen vähentynyt. Metsänviljelyn laajuus saavutti nykyisen tasonsa jo 20 vuotta sitten. Yksityismetsien kokonaistuotusta lähes puolet uudistuu luontaisesti ja loput uudistetaan viljellen. Luontaisesti uudistuvasta alasta noin puolet on aktiivisen luontaisen uudistamisen tulosta. Viljelypinta-alasta kylvön osuus on 20 %. Vuonna 1985 uudistamisleimuksista — 110 000 hehtaaria — kolmannes tehtiin luontaista uudistamista ja kaksi kolmasosaa avohakkuuta varten (Keskusmetsälautakunta Tapion vuosikirja 1985, s. 32). Metsänviljelyssä kohdatut ongelmat ja tavoitteisiin nähden alhainen taloudellinen tulos ovat 1980-luvulla lisänneet luontaisen uudistamisen suosiota.

Vaikka metsänuudistamisvaihtoehtojen vertailu koettiin tärkeäksi käytännön ongelmaksi jo 1960-luvun alkupuolella, ei metsänuudistamista käsitteleviä yksityistaloudellisia, uudistamista kokonaisuutena tarkastelevia edullisuuslaskelmia ole tehty riittävästi. Yksityistaloudellisissa puun kasvatuksen edullisuuslaskelmissa otetaan yleensä huomioon vain rahassa mitaten saavutettavat tai saavutettavissa olevat tuotokset suhteessa uhrattuihin panoksiin. Uudistamisvaihtoehtojen muotoilu, tuotto- ja kustannustekijöiden sekä laskentakoron määrittely ovat taloudellis-

ten edullisuuslaskelmien edellytys.

Metsänuudistaminen on katsottava taloudelliseksi toiminnaksi ja näin ollen tehtävien toimenpiteiden tulee perustua kannattavuuslaskelmiin. Kyseessä on pääoman oikea säätely: puusukupolven vaihtamisen oikean ajankohdan valinta sekä metsämaan tehokas käyttö. Metsänuudistamista on perusteltua tarkastella voimavarojen kohdentamispäätöksenä ja uudistamispäätös on silloin taloudellisessa mielessä tuottojen ja kustannusten optimaalista ajoittamista.

12. Aihepiirin aiempia tutkimuksia

Tässä luvussa esitetään pääasiassa metsänuudistamistavan valintaa ja edullisuusvertailujen perusteita selvittäviä tutkimuksia. Lisäksi mainitaan tutkimuksia, joissa käsitellään metsänuudistamisen edullisuusvertailuisa ratkaistavaksi tulevia erityiskysymyksiä. Kirjallisuus on pääasiassa kotimaista. Esitetyt ulkomaiset tutkimukset täydentävät kotimaista tutkimusperinnettä. Monissa ulkomaisissa tutkimuksissa vaihtoehtoja vertaillaan kotimaisista tutkimuksista poikkeavalla tavalla: uudistamistapojen keskinäistä edullisuutta verrataan samanaikaisesti eri päätöksentekokriteereillä, useilla korkokannoilla sekä koko kiertoaikaa koskevin tarkasteluin.

Uudistamistavan valintaa koskevia tutkimuksia ovat Keltikankaan ja Seppälän (1966) männyn kylvön ja istutuksen taloudellista edullisuusjärjestystä ojitetuilla soilla käsittelevä tutkimus sekä Keltikankaan ja Tiirilän (1968) koivun ja kuusen istutuksen keskinäistä edullisuusjärjestystä käenkaali-mustikkatyyppin metsämailla selvittävä edullisuusvertailu. Sivonen (1970) ja Keltikangas (1976) ovat esittäneet katsaukset taloudellisista ongelmista paljaan maan metsityksessä ja metsänuudistamisessa. Kardell (1986) on vertailut uudistamistavan valintaa empiirisenä tutkimuksena, jossa 23-vuotiaiden eri tavoin uudistettujen männiköiden biologisten, tuotoksellisten ja laatutekijöiden lisäksi esitetään uudistamisvaihtoehtojen keskinäinen edullisuusjärjestys.

Metsänuudistamisen taloudellista edullisuutta, lähinnä metsänviljelyyn siirtymisen kannattavuutta on tutkittu Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietinnössä vuodelta 1971. Siinä esitetään sisäiset korkokannat

männyn ja kuusen metsänviljelylle maan eri osissa. Tutkimus sisältää myös kustannukset ja edullisuusvertailut luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn välillä. Hämäläinen (1973) on selvittänyt puunkasvatuksen edullisuusvertailujen malliperusteita ja soveltanut eräitä sopiviksi havaitsemiaan malleja laskentatilanteisiin, joissa puunkasvatus on ainakin osa yrityksen taloutta.

Metsänuudistamisen edullisuusvertailuihin liittyviä osa-alueita on tutkimuksissa tarkasteltu seuraavasti. Hahtola (1971, 1973) on selvittellyt maatilametsätaloutta sosioekonomisesta näkökulmasta metsänomistajan päätöksentekoa käsittelevissä tutkimuksissaan. Beuter ja Handy (1974) ovat tutkineet metsänuudistamisen ekonomiaa erilaisten metsänomistajien keskuudessa eri päätöstilanteissa.

Metsätalouden investointien pitkää aikavälittävyyttä (aikatekijä) ovat tarkastelleet Saari (1967), Metsänviljelykustannusten toimikunta mietinnössä (1971, s. 90—93), Keltikangas (1971, 1973) ja Hämäläinen (1973, s. 85—92). Laskentakorkokantaa koskevia kysymyksiä on tutkimuksissa käsitelty vain sivuavasti uudistamisen edullisuusvertailujen sekä aihepiirin muiden tutkimusten yhteydessä (esim. Einola 1964, s. 14—18, Saari 1968, Keltikangas ja Tiirilä 1968, s. 15—17, Ahonen 1970, s. 61—65 ja Hämäläinen 1973, s. 92—99).

Einola (1964) on yksityismetsätalouden vaihtoehtolaskelmia käsittelevässä tutkimuksessaan selvittänyt erityisesti kustannus- ja tuottotekijöiden määrittämistä liiketaloudellisen edullisuusvertailun näkökulmasta. Metsätalouden kustannusten ja tuottavuuden kehitys, puunkasvatuksen kustannuskehityksen analyysi ja kustannuskehitykseen johtaneet syyt sekä ennustevaihtoehdot ovat olleet Anderssonin ja Ericsonin (1978) tutkimuksen kohteina. Samantapaista tutkimusta on uusilla aineistoilla ja kehittyneemmällä menetelmällä jatkanut Rådström (1980). Lohmander (1984a, 1984b) on tutkinut hintariskien vaikutusta harvennusajankohdan valintaan ja investointeihin sekä (1984c) optimaaliseen puulajivalintaan istutuksessa.

Erilaisia päätöksenteko- ja laskentamalleja uudistamisvaihtoehtojen vertailuun päätöksenteon helpottamiseksi ovat kehittäneet Teeguarden ja Sperber (1968), Teeguarden (1969), Nadeau (1970), Buongiorno ja Teeguarden (1973), Lundgren (1973), Tunner (1981) ja Haight (1987). Päätöksenteon apu-

välineeksi käytännön metsänuudistamiseen on kehitetty myös tietokoneohjelmia, joissa biologinen ja metsänhoidollinen tieto yhdistetään uudistamisvaiheen kustannuksiin ja tulevaan puuntuotoskykyyn ja -arvoon (esim. Chappelle 1969, Lundgren ja Schweitzer 1971, Payandeh 1977, Eriksson 1981, Parviainen ym. 1985, Hämäläinen ym. 1985 sekä Payandeh 1988).

Lisäksi uudistamisen onnistumista ja tuoksellisuutta on selvitetty monissa käytännön metsänuudistamisalojen inventoinneissa eri osissa maattamme. Uudistamisen biologista ja metsänhoidollista tietoa on koottu yhteen oppikirjoiksi ja oppaiksi. Nämä yhteenvedot tarjoavat perustietoa uudistamismenetelmien valintaan ja edullisuusvertailuihin lähinnä metsänhoidolliselta kannalta (esim. Karjula ym. 1982).

13. Tutkimustehtävä

Tämän tutkimuksen tavoitteena on määrittää luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn mukaisten vaihtoehtojen keskinäinen yksityistaloudellinen edullisuus metsikkökohdattaisen tarkastelun rajoittuen. Vertailussa vaihtoehtoisten uudistamistapojen tuotosten hinnoitteluperusteet ja kustannukset perustuvat hakkuiden kantorahatulojen ja metsänuudistamistöiden kustannusten ennusteisiin. Edullisuuskriteerinä käytetään eri korkokannoilla laskettuja nykyarvoja.

Tässä tutkimuksessa edullisimman uudistamistavan valinta metsänhoidollisesti perustelluista vaihtoehdoista käsitetään taloudelliseksi päätökseksi, jolla edellisessä kiertoajassa varttunut nykypuusto korjataan talouskäyttöön ja toisaalta tehdään uuteen puusukupolven tähtävään investoinnin edellyttämät metsänhoitotoimenpiteet. Uudistamis päätöksessä on siis taloudellisessa mielessä kyse tuottojen ja kustannusten ajoituksesta ja siten talouden niukkojen voimavarojen kohdentamisesta.

Luontaiseen uudistamiseen tähtävät hakkuut oletetaan aloitettaviksi ennen kuin viljelyyn tähtävässä uudistamisessa tehtävän päätehakkuun vähimmäisikä on saavutettu. Päätökset oletetaan tehtäviksi yksityismetsänomistajan talouteen kuuluvassa eteläsuomalaisessa VT-männikössä, kun uudistettavaksi harkittu metsikkö on päätöksenteko-

hetkellä 70-vuotias. Korostettakoon, että tämän ikäisen metsikön uudistaminen on risti-riidassa voimassa olevan yksityismetsälain tulkinnan kanssa. Tämän metsätyypin männiköissä sekä luontainen että istutukseen tai kylvöön perustuva uudistaminen ovat metsänhoidollisesti soveliaita vaihtoehtoja. Tutkimus pyrkii myös antamaan vastauksen kysymykseen, olisiko luontainen uudistaminen liiketaloudellisesti perusteltua aloittaa viljellä tapahtuvaa uudistamista aikaisemmin.

Metsänomistajan tavoitteeksi oletetaan yksinomaan rahatulojen saanti puunmyynneistä ja jatkuva maan hallussapito. Uudistamisen kustannustekijöistä ovat laskelmissa mukana metsänhoitotöiden kustannukset, puunmyynnin kustannukset sekä puunkorjuun kustannusten erot yksikkökantohintojen korjausten muodossa.

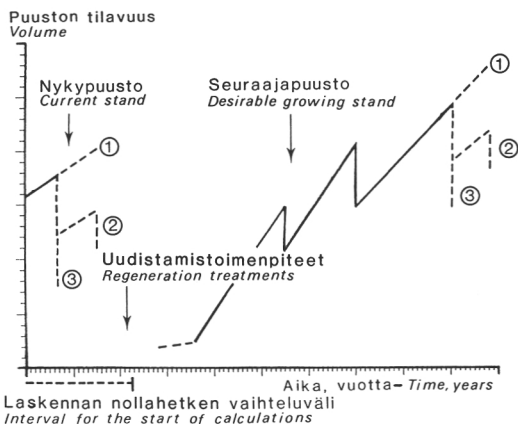
Edelleen tarkoituksena on selvittää, miten nykypuuston uudistamisajankohta vaikuttaa edullisuusjärjestykseen sekä miten luontaisen uudistamisen tulokset ovat edullisuuden suhteen sovellettavissa nykyisen käytännön mukaiseen luontaiseen uudistamiseen. Lisäksi tuloksista näkyy kiertoajan ja laskentakorkokannan vaikutus edullisuusjärjestykseen. Perusvertailussa laskelmien ajallista ulottuvuutta ei ole rajattu. Laskelmien yleistettyä vyyttä sekä riskitekijöihin liittyvien mahdollisten tuottojen menetysten ja lisäkustannusten vaikutuksia selvitetään herkkyysoanalyysin. Testattavina ovat kantohintasuhteiden ja metsänuudistamistöiden yksikkökustannusten muutokset, laskentajakso, uudistumisaika sekä puuntuotoksen taso.

Kuvassa 1 esitetään malli uudistamisvaihtoehtojen edullisuuden vertailuun. Tässä käytettävän mallin perusratkaisu on sama jota Pekka Ollonqvist ja Miika Kajanus ovat käyttäneet Metsäntutkimuslaitoksen liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla tekemässään tutkimuksessa. Mallissa *nykypuusto* tarkoittaa vertailtavien metsänkäsittelyohjelmien lähtökohdana olevaa metsikköä. Lähtöpuusto on sama kaikille vertailtaville vaihtoehdoille. Metsänomistajan vaihtoehtoina on nykypuuston edelleenkasvatus ja uudistaminen määrävuosien kuluttua viljellen (1), luontainen uudistaminen (2) tai päätehakkuu ja viljely (3). *Seuraajametsikkö* (tavoitepuusto) on nykypuuston uudistamisessa syntyvä puusukupolvi. *Metsänkäsittelyohjelma* on puuston uudistamishakkuista alkava toimenpideketju, joka perustuu määrättyyn uudistamistapaan. Uudistamisessa

syntyvien seuraajametsiköiden kiertoaikojen toimenpiteineen oletetaan toistuvan samantyyppisiksi. *Uudistamisvaihe* koostuu mallissa nykypuuston hakkuusta ja uuden puusukupolven aikaansaamiseksi tehtävistä metsänhoitotoimenpiteistä.

Kiertoaika tarkoittaa tässä tutkimuksessa aikaa nykypuuston hakkuusta seuraajametsikön vastaavaan hakkuuseen. *Laskentajakso* on laskennan ajallinen ulottuvuus. *Laskennan nollassaika* on luontaisen uudistamisen aloitamisajankohta, joka voidaan valita tutkimuskohtaisesti sopivimmaksi katsottavalla tavalla.

Tämä tutkimus on laadittu Metsäntutkimuslaitoksen metsäekonomian tutkimusosaston liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla. Tutkimus kuuluu osana tutkimussuunnalla metsänuudistamistapojen edullisuusvertailuja koskeviin tutkimuksiin mm. Pekka Ollonqvistin ja Miika Kajanuksen tekemän toistaiseksi julkaisemattoman tutkimuksen ”Metsänomistajan tavoitteet ja metsänuudistamistavan valinta” ohella. Tämä tutkimus on keskeisiltä osin suunniteltu selvittämään, missä määrin Ollonqvistin ja Kajanuksen tutkimuksen tuloksia voidaan yleistää. Tutkimusta tarvittiin metsänuudistamisen kustannusten ja tulojen menneestä kehityksestä sekä niiden ennustamismahdollisuuksista. Mahdolliset ennusteet tuli sisällyttää laskelmiin. Olen raportoinut tämän tutkimuksen myös pro gradu -työn täyttävässä muodossa Helsingin yliopiston metsätalouden liiketieteen laitokselle.



Kuva 1. Malli uudistamisvaihtoehtojen edullisuuden vertailuun.

Figure 1. The model for comparing profitability of forest regeneration alternatives.

Kuvien piirtämisessä minua auttoi Maija Kuusijärvi. Jukka Aarnio, Jouko Hämäläinen, Mikko Tervo ja Lauri Valsta esittivät arvokkaita käsikirjoitusta koskevia huomautuksia. Ashley Selby tarkasti englanninkieliset tekstit. Matti Keltikangas ja Pekka Ollonqvist tarkastivat käsikirjoituksen painatuskelpoisuuden virallisesti ja tekivät varteen otettuja parannusehdotuksia. Esitän kiitokseni kaikille edellä mainituille sekä muille tutkimuksen eri vaiheisiin osallistuneille henkilöille.

2. UUDISTAMISVAIHTOEHTOJEN MÄÄRITTÄMINEN

2.1. Tuotossarjat ja niiden käsittely

2.1.1. Luontainen uudistaminen

Perusaineistona sekä luontaisessa uudistamisessa että viljelyvaihtoehdoissa käytettiin ns. luontaisen uudistamisen inventoinnissa (LUI) vuosina 1969 ja 1976 mitattujen uudistusalojen tietoja (Hänninen ym. 1972, s. 6–19). Tutkimusaineiston perusjoukko oli Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon ja Keski-Suomen silloisten piirimetsälautakuntien alueiden valtakunnan metsien viidennen inventoinnin ne metsikkökuviot, joilla tehdystä toimenpiteistä päätellen oli pyritty luontaiseen uudistamiseen. Perusaineisto käsitti 81 uudistus-alaa, joilta oli mitattu 118 ryvästä (ympyräkoelajoukko). Kasvupaikkatyypeistä perusjoukossa ovat mukana lehtomaiset kankaat (OMT), tuoret kankaat (MT) ja kuivahkot kankaat (VT).

LUI-aineistosta valittiin VT-männiköt, joissa luontaiseen uudistamiseen oli pyritty 3 hakkuulla eli paljastavalla ja 2 vapauttavalla hakkuulla. Tämä uudistamismenetelmä osoittautui eniten käytetyksi. Valituille uudistusaloille asetetut ehdot ja siten valitut alat olivat

samoja kuin Ollonqvistin ja Kajanuksen tutkimuksessa. Aineistosta valittujen 12 uudistusalan sijoittuminen piirimetsälautakuntien alueille esitetään liitteessä 1.

Perusaineistosta valituissa männiköissä piti olla luontaiseen uudistamiseen ryhdyttäessä riittävästi siemenniskykyistä puustoa (yli 100 m³/ha) ja oleellisen osan uudistamiseen vaikuttavasta emopuustosta tuli olla mäntyä; erityisesti männyn uudistamista haittaavaa kuusisekoitusta ei sallittu. Valinnassa ei kiinnitetty huomiota syntyneen taimikon laatuun. Aineiston valinnassa käytettyjen kriteerien vuoksi luontainen uudistaminen oli tähän tutkimukseen valitussa aineistossa onnistunut paremmin kuin perusaineistossa. Tulosten voidaan siten olettaa olevan voimassa vain nämä kriteerit täyttävissä luontaisen uudistamisen olosuhteissa.

Edullisuuslaskelmia varten luontaisen uudistamisen osalta käytettiin seuraavia tietoja:

- uudistamiseen tähtävien hakkuiden ajoitus ja vo-
- uudistamiseen liittyvät metsänhoitotyöt.
- aika ensimmäisestä uudistamiseen tähtävästä hakkuusta taimikon syntymään eli uudistumisaika,
- taimikkoa sekä sen kehitystä luonnehtivat tiedot ja
- uudistamiseen liittyvät metsänhoitotyöt.

Taulukko 1. Valituilta luontaisen uudistamisen koaloilta laskettuja keskiarvokokouluja hakkuiden rakenteesta.

Table 1. Average values of the cutting structure of the regeneration areas for the empirical study.

Nykypuuston kehitysvaihe <i>Stage of development of present growing stand</i>	Ikä, vuotta <i>Age, years</i>	Tilavuus, m ³ /ha <i>Volume, m³/ha</i>	Runkoluku, kpl/ha <i>Stem number per hectare</i>	Rungon keskikoko, m ³ /ha <i>Mean size of stems, m³/ha</i>
Lähtöpuusto — <i>Initial growing stand</i>	70	164	620	0,265
Poistuma paljastavassa hakkuussa — <i>Outturn of first regeneration cutting</i>	70	82	295	0,278
Puusto paljastavan hakkuun jälkeen — <i>Growing stand after first regeneration cutting</i>	70	82	325	0,252
Puusto ennen ensimmäistä vapauttavaa hakkuuta — <i>Growing stand before second regeneration cutting</i>	78	110	325	0,338
Poistuma ensimmäisessä vapauttavassa hakkuussa — <i>Outturn in second regeneration cutting</i>	78	76	221	0,344
Puusto ensimmäisen vapauttavan hakkuun jälkeen — <i>Growing stand after second regeneration cutting</i>	78	34	104	0,327
Puusto ja poistuma toisessa vapauttavassa hakkuussa — <i>Growing stand and outturn in third regeneration cutting (cutting of standards)</i>	84	43	104	0,413

Taulukosta 1 voidaan havaita, että uudistaminen oli tähän tutkimukseen valituilla uudistusaloilla aloitettu puuston ollessa 70-vuotiasta. Uudistusaloille jätettyjen siemenpuiden lukumäärien keskiarvot aineistossa olivat ensimmäisen vaiheen osalta 325 kpl/ha ja toisen vaiheen 104 kpl/ha. Toinen uudistamiseen tähtäävä hakkuu oli tehty keskimäärin 8 vuotta ensimmäisen hakkuun jälkeen ja kolmas 6 vuotta toisen hakkuun jälkeen. Poistuma paljastavassa hakkuussa oli ollut 50 % lähtöpuuston tilavuudesta ja ensimmäisessä vapauttavassa hakkuussa 69 % puustosta ennen hakkuuta.

Koska rungon keskikoko ennen paljastavaa hakkuuta on 4,9 % suurempi ja ennen ensimmäistä vapauttavaa hakkuuta 3,3 % suurempi kuin hakkuiden jälkeen, on joko mittauksissa virheitä tai luontaiseen uudistamiseen tähtäävissä hakkuissa poistettu keskikokoa suurempia runkoja (taulukko 1). Metsien nykyisten käsittelyohjeiden ja käytännön mukaan (Etelä-Suomen metsien... 1981, s. 4) siemenpuiksi tulee jättää 50–150 valtapuuta hehtaarille. Tämän vuoksi on syytä olettaa, että uudistaminen olisi onnistunut paremmin, jos uudistamiseen tähtäävät hakkuut olisi tehty metsien nykyisten käsittelyohjeiden mukaan.

Kunkin käsittelyohjelman metsänhoitotoimenpiteet (raivaus, maanpinnankäsittely, kylvö/istutus, täydennysviljely ja taimikonhoito) määriteltiin aineistosta vertailukelpoisuuden vuoksi samoja periaatteita noudattaen. Tavoitteena oli lisäksi, että laskelmien metsänhoidon taso vastaa kulloinkin tarkasteltavan käsittelyohjelman puuntuotostasoa. Myös metsien nykyisten käsittelyohjeiden mukainen käytäntö pyrittiin ottamaan huomioon.

Luontaisen uudistamisen käsittelyohjelmassa raivaus oletetaan suoritettavaksi paljastavan hakkuun yhteydessä. Käytetyn aineiston uudistusaloista 33 %:lla jätepuusto oli raivattu taimikon ollessa keskimäärin 3 vuoden ikäistä (taulukko 2). Metsien nykyisten käsittelyohjeiden (Etelä-Suomen metsien... 1981, s. 16) mukaan raivaus kuuluu luontaiseen uudistamiseen välttämättömänä osana ja se edellytetään tehtäväksi ensimmäisen uudistamiseen tähtäävän hakkuun yhteydessä. Luontaista uudistamista käsittelevissä tutkimuksissa on todettu raivauksen laiminlyönnin aiheuttaneen uudistamisen epäonnistumista (esim. Hänninen ym. 1972, s. 51).

Käytetyn aineiston ehkä suurin ero nykyiseen käytäntöön verrattaessa on maanpinnankäsittelyn täydellisen puuttuminen sekä toteutetuista inventoinneista ehdotetuista toimenpiteistä (mahdollisissa vaihtoehdoissa se kyllä oli ollut mukana). Metsien nykyisissä käsittelyohjeissa männyn luontainen uudistaminen suositellaan tehtäväksi kahteen hakkuuseen ja maanpinnankäsittelyyn perustuvalla uudistamismenetelmällä. Tässä tutkimuksessa ei luontaisen uudistamisen perusvaihtoehdossa ole mukana maanpinnankäsittelyä, koska käsittelyohjelman puuntuotostaso perustuu ilman maanpinnankäsittelyä toteutettuun luontaiseen uudistamiseen. Maanpinnankäsittely sisältyy kuitenkin laskennallisiin kahteen uudistamishakkuuseen perustuviin vaihtoehtoihin.

Myös siemenpuiden poiston ”viivyttäminen” on aineiston ero nykyiseen käytäntöön. Etelä-Suomessa siemenpuut suositellaan poistettaviksi viiden vuoden kuluttua siemenpuuhakkuusta (vrt. Metsänhoito-ohjei-

Taulukko 2. Valituilla luontaisen uudistamisen uudistusaloilla tehdyt uudistamistoimenpiteet.

Table 2. The silvicultural activities performed and proposed on the regeneration areas for the empirical study.

Toimenpide Silvicultural measure	Taimikon ikä, vuotta Age of seedling, years	Toimenpide tehty %:lla uudistusaloista Proportion of regener- eration areas where silvicultural measures have been performed	Toimenpidettä ehdotettu %:lle uudistusaloista*) Proportion of regeneration areas where silvicultural measures have been proposed*)
Raivaus — Clearing of the cutting area	3	33	—
Laikutus — Light soil preparation	—	—	—
Täydennysviljely — Supplementary planting	11	8	25
Perkaus — Clearing of the sapling stand	13	33	17
Perkausharvennus — Sapling stand management	16	50	25

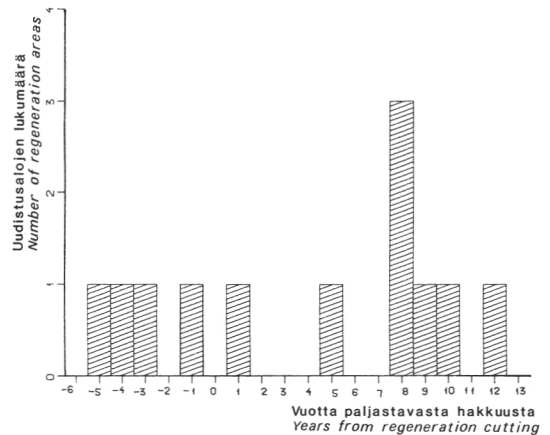
*) Toimenpidettä ei kuitenkaan ole toteutettu — Silvicultural measures have not been performed

den... 1988, s. 28). Näin taimikoista tulee tasaisia ja korjuuvauriot jäävät vähäisiksi. Luontaisen uudistamisen inventointi on tehty aikana, jolloin luontaiselle uudistamiselle ei tarvittu uudistamissuunnitelmaa. Se on vaadittu vuodesta 1980 alkaen.

Taulukon 2 mukaan luontaisen uudistamisen uudistusaloista 8 % oli täydennysviljely, kun taimikko oli keskimäärin 11 vuoden ikäistä. Lisäksi täydennystä oli ehdotettu 25 %:lle uudistusaloista — näillä sitä ei kuitenkaan ollut toteutettu. Laskelmissa täydennysviljely oletettiin tehtäväksi aineiston mukaisesti taimikon ollessa 11 vuoden ikäistä. Sen pinta-alaosuudeksi saatiin 33 %, sillä aineiston mukaisesti tehtyyn täydennysviljelyn osuuteen lisättiin ehdotetun täydennyksen osuus. Inventoinneissa ei ollut määritetty täydennysmäärää uudistusaloilta, joten täydennettävien uudistusalojen osuutta käytettiin käsittelyvaihtoehtojen täydennistarpeena.

Uudistusaloista yhteensä 83 %:lla taimikko oli käsitelty perkauksella taimikon ollessa 13 vuoden ikäistä tai perkausharvennuksella taimikon ollessa keskimäärin 16 vuoden ikäistä. Inventoinnissa käytetyn luokituksen mukaan perkausten tai perkausharvennuksen poistuma oli ollut 1 000—3 000 kpl/ha ja keskimäärin uudistusaloilla poistuma oli ollut 1 300 kpl/ha, jolloin taimikon runkoluku oli toimenpiteen jälkeen ollut 1 800 kpl/ha. Ennen perkausharvennusta taimikon runkoluku oli ollut noin 3 100 kehittäväksi kelpaavaa tainta/ha. Taimikonhoidon kustannusten perusteena käytettiin oletusta yhdestä perkausharvennuksesta taimikon ollessa 15 vuoden ikäistä. Yhden käsittelykerran oletettiin riittävän, koska raivaus oletettiin tehtäväksi kaikissa vaihtoehtoisissa. Perkausharvennus oletettiin tehtäväksi raivaussahalla, sillä aineistossa 75 % perkausharvennuksista oli tehty raivaussahalla.

Luontaisesti syntyneen puuston kehitystä ennustettaessa lähtökohdana käytetty empirinen aineisto esitetään liitteissä 2 ja 3. Kuvassa 2 esitetään uudistusajan jakauma eli se, miten taimikot olivat syntyneet suhteessa ensimmäiseen uudistamiseen tähtäävään hakkuuseen. Taimikko oli syntynyt keskimäärin 4 vuotta ensimmäisen luontaisen uudistamiseen tähtäävän hakkuun jälkeen ja vaihteluväli on 18 vuotta. Uudistusajan suuren hajonnan takia käytettiin herkkyysanalyysissä



Kuva 2. Taimikoiden syntymisen ajoittuminen suhteessa ensimmäiseen uudistamiseen tähtäävään hakkuuseen tutkimusaineistoon kuuluvilla 12 luontaisen uudistamisen alalla.

Figure 2. The time at which regeneration areas become stocked with seedlings in relation to first regeneration cutting of 12 natural regeneration study areas.

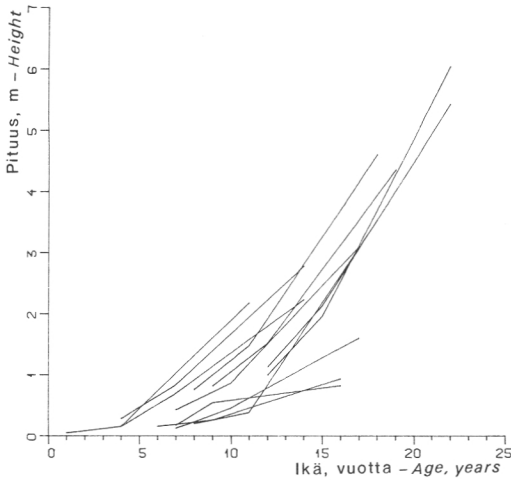
uudistamisaikana myös 8 vuotta; tällä luokalla on aineistossa suurin frekvenssi.

Seuraajametsiköiden myöhemmän kehityksen ennustamiseksi tutkittiin taimikoiden keskipituuden kehitystä, joka on ensimmäisen kymmenen vuoden aikana ollut havaintoaineistossa suhteellisen hidasta (kuva 3). Taimikon vapautuksen ja hoidon jälkeen sen pituuskasvu on yleensä elpynyt hyvin. Taimikoiden keskipituuden kehitys laskettiin kunkin iänkohdan havaintojen keskiarvojen graafisena tasoituksena. Keskipituudeksi 20 vuoden iällä saatiin 5,0 m.

Taimikoiden valtipituuden määrittämiseksi laskettiin vuoden 1976 inventoinnissa 18—22 vuoden iän saavuttaneiden taimikoiden taimien pituuden vaihteluväli.

Taulukko 3. Edullisuuslaskelmissa mukana olevien metsänuudistamistapojen nykypuustojen seuraajapuustojen tunnusluvut 20 vuoden ikäisinä.
Table 3. The initial stands used in forecasts concerning the desired stands of calculated regeneration alternatives.

Tunnus Parameter	Istutus Planting	Kylvö Seeding	Luontainen uudistaminen Natural regeneration
Ikä, vuotta — Age, years	20	20	20
Runkoluku, kpl/ha — Stem number per ha	1 800	1 800	1 800
Valtapiuus, m — Dominant height, m	5,6	5,6	5,4
Pohjapinta-ala, m ² /ha — Basal area, m ² /ha	6,3	6,3	5,4
Tilavuus, m ³ /ha — Volume, m ³ /ha	19,0	19,0	15,0



Kuva 3. Luontaisesti syntyneiden taimikoiden keskipituuden kehitys.

Figure 3. Development of the mean height of naturally regenerated seedlings.

Valtapiisuuden oletettiin olevan keskipituutta edustavan taimen ja pisimmän taimen keskiarvo. Tällä menetelmällä taimikoiden keskimääräiseksi valtapiuudeksi saatiin 20 vuoden ikäisinä 5,4 m. Tämä arvio vastaa myös aikaisempaa tulosta (Gustavsen 1980, s. 18), jossa luontaisesti syntyneen pituusboniteettiluokan $H_{100} = 24$ männikön valtapiuus on 20 vuoden ikäisenä 5—6 m.

Aineiston mukaiseksi keskimääräiseksi luontaisesti syntyneen taimikon pohjapinta-alaksi saatiin 20 vuoden ikäisenä 5,4 m²/ha, tilavuudeksi 15 m³/ha ja pohjapinta-alalla painotetuksi keskiläpimitaksi 7 cm.

Edellä on selvitetty, miten LUI:sta valitun aineiston perusteella arvioitiin keskimääräisen luontaisesti syntyneen taimikon tila 20 vuoden ikäisenä. Tätä taulukossa 3 esitettävää keskimääräistä taimikkoa käytettiin lähtöpuustona luontaiseen uudistamiseen perustuvien käsittelyohjelmien seuraajametsiköiden kehitystä ennustettaessa.

212. Viljely

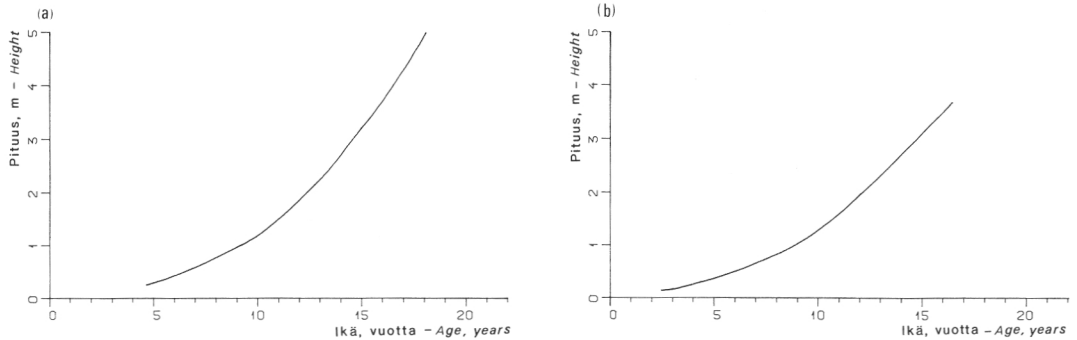
Viljelyvaihtoehtojen uudistamistoimenpiteiden määrittämiseksi käytettiin Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon ja Keski-Suomen silloisten piirimetsälautakuntien alueille vuosina 1959—1962 perustettujen viljelytaimikoiden inventointitietoja (metsänviljelyn inventointi, MVI). Taimikot on inventoitu ensimmäisen kerran vuosina 1967—1968, 6—8 vuotta viljelyn jälkeen ja toisen kerran vuosina 1975—1976, 14—16 vuotta viljelyn jälkeen. Molemmissa inventoinneissa tutkittuja viljelyaloja oli 199 kpl. Kasvupaikat olivat samat kuin LUI-aineistossa. (Esim. Yli-Vakkuri ym. 1969, Leikola ym. 1977 ja Rautiainen ja Räsänen 1980)

Metsänhoitotoimenpiteet määriteltiin aineiston perusteella samoilla laskentamenetelmillä kuin luontaisen uudistamisen metsänkäsittelyohjelmissä, jotta viljelyyn perustuvat käsittelyohjelmat olisivat vertailukelpoisia metsänhoitotoimenpiteiden osalta luontaiseen uudistamiseen perustuvien käsittelyohjelmien kanssa. Kylvö- ja istutusvaihtoehtojen taimikoiden kehitystä ja metsänhoitotoimenpiteitä määritettäessä käytettiin hyväksi kaikkien MVI:ssä VT:llä inventoitujen uudistusalojen tietoja.

Istutustaimikot jakaantuivat piirimetsälautakuntien alueille seuraavasti:

Piirimetsälautakunta	kpl	%
Lounais-Suomi	8	22
Itä-Häme	9	25
Itä-Savo	9	25
Keski-Suomi	10	28
Yhteensä	36	100

Taimikot oli istutettu käyttäen pääasiassa 2-vuotiaita koulimattomia taimia. Ensimmäisessä inventoinnissa taimikot olivat olleet 8—10-vuotiaita ja toisessa inventoinnissa 16—18-vuotiaita. Istutusaloille oli alunperin istutettu keskimäärin 2 750 tainta hehtaarille. Ensimmäisessä inventoinnissa niistä oli luokiteltu kehityskelpoisiksi vain 56 %. Kuolleita taimia oli 40 %, mitä ainakin osaksi selittää koulimattomien taimien runsas käyttö. Lisäksi luontaisesti syntyneet taimet olivat usein vieneet elinmahdollisuudet alkuperäisiltä istutustaimilta. Istutusmäärä oli keskimäärin melko lähellä Keskusmetsälautakunta Tapion silloin käytettäväksi suosittelemaa määrää 2 500 kpl/ha, joskin eri uudistusalojen kesken vaihtelu oli huomattavaa. (Yli-Vakkuri ym. 1969)



Kuva 4. Istutus- (a) ja kylvöalojen (b) taimien pituuskehitys taimikon perustamisesta toiseen inventointiin.
 Figure 4. Development of the height of seedlings from planting (a) and from seeding (b) to second inventory.

Ensimmäisen inventoinnin taimista (2319 kpl/ha) kehityskelpoisia istutustaimia oli 72 %, täydennystaimia 3 % ja kasvatettavaksi hyväksyttäviä luontaisia taimia 25 %. Luontaisista taimista 50 % oli männyntaimia. Sekä istutus- että kylvöaloilla taimien kokonaismäärä väheni toiseen inventointiin mennessä. Samalla luontaisen taimien suhteelliset osuudet vähenivät, koska taimikonhoidossa oli pyritty säästämään viljelytaimia. Kuvassa 4 esitetään istutusalojen taimien pituuskehitys.

Pintakasvillisuus eli vesottuminen ja heinittyminen olivat aiheuttaneet taimikoihin suurimmat aukot, myös hirvituhojen merkitys oli suuri. Kehityskelvottomuutta aiheuttaneet syyt olivat olleet sopimaton puulaji, kooltaan sopimaton täydennystaimi, kasvutilan puute sekä huonokuntoisuus. Rypäiden ympyräkoaloista 32 % oli inventoinneissa luokiteltu tyhjiksi. Kehityskelpoisten viljelytaimien ja luontaisesti syntyneiden taimien pituuksien ja läpimittojen erot eivät olleet suuria muutamaa poikkeusta lukuunottamatta.

Kylvötaimikot jakaantuivat piirimetsälautakuntien alueille seuraavasti:

Piirimetsälautakunta	kpl	%
Lounais-Suomi	13	31
Itä-Häme	10	24
Itä-Savo	9	21
Keski-Suomi	10	24
Yhteensä	42	100

Taimikoiden ikä ensimmäisessä inventoinnissa oli 6–8 vuotta ja toisessa inventoinnissa 14–16 vuotta. Käytetty kylvökohtien määrä taimikoita perustettaessa oli noin 2 600 kpl/ha. Käytetty viljelytiheys vaihteli huomattavasti, ja monessa tapauksessa oli kylvöaika- ja tehty 2 000 tai tätä vähemmän hehtaarille. Ensimmäisessä inventoinnissa kehityskelpoisiksi taimiksi oli hyväksytty 48 % alkuperäisestä määrästä. Kuolleiden taimien osuus oli 49 %. Kylvö olisi ilman luontaisen taimien täydennystä johtanut useimmissa tapauksissa aukkoisiin ja vajaatuottoisiin taimikoihin. Runsas luontaisen taimien määräkään ei aina takaa kyllin tasaista tulosta, sillä luontaiset taimet ovat usein ryhmittäin ja siten rypään tyhjien ympyräkoalojen osuus saattaa inventoinneissa nousta huomattavan korkeaksi.

Ensimmäisen inventoinnin kehityskelpoisista taimista (1 950 kpl/ha) 64 % oli kylvötaimia, 2 % täydennystaimia ja 34 % hyväksytyjä luontaisia taimia. Luontaisista taimista 76 % oli männyntaimia. Sekä istutus- että kylvöaloilla oli luontaisesti syntyneillä taimilla ollut tärkeä

merkitys taimikon täydentäjänä. Rypäiden ympyräkoaloista 39 % oli inventoinneissa luokiteltu tyhjiksi. Kuvassa 4 esitetään kylvöalojen taimien pituuskehitys.

Inventointitietojen ja aiemmin julkaistujen yhteenveotien perusteella sekä kylvö- että istutusvaihtoehdoissa raivaus oletetaan tehtäväksi päätehakkuu yhteydessä, samoin maanpinnankäsittely; viljely tehdään vuosi päätehakkuuun jälkeen, täydennysviljely taimikon ollessa 6-vuotiasta ja perkausharvennus taimikon ollessa 12-vuotiasta. Nykyisen uudistamiskäytännön mukaista koneellista maanpinnankäsittelyä ei viljelyaloilla ollut tehty, muutamalla kylvöalalla sitä oli kuitenkin ehdotettu. Istutusaloista 15 % oli laikutettu ennen viljelyä ja kylvöaloista 72 %. Myös kulutusta oli käytetty maanpinnankäsittelymenetelmänä.

Istutusaloilla täydennysviljelyn tarve, 28 %, saatiin lisäämällä tehtyyn täydennykseen, 18 %, ehdotetun täydennyksen osuus, 10 %. Vastaavasti kylvötaimikoiden täydennyksen tarpeeksi saatiin 39 % (9 + 30). Täydennysistutusta oli tehty varsin vähän, vaikka sen tarvetta olisi ollut runsaasti. Lisäksi toimenpide oli jäänyt usein tuloksiltaan riittämättömäksi; taimia oli saatettu käyttää liian säästeliäästi, ne olivat alkuperäisten taimien tapaan tuhoutuneet puutteellisen hoidon vuoksi tai täydennykseen oli ryhdytty liian myöhään ja liian pienin taimin, jolloin taimet olivat alusta alkaen joutuneet alistettuun asemaan.

Metsänviljelymenetelmät ovat sittemmin kehittyneet merkittävästi niin maanpinnankäsittelyn, taimimateriaalin kasvatuksen, käsittelyn, kuljetuksen, varastoinnin kuin istutusmenetelmienkin osalta. Menetelmät eivät kuitenkaan vähennä viljelyalojen hoidon tarvetta mitenkään ratkaisevasti. Esim. suuret viljelytiheydet eivät ilman muuta takaa hyviä tuloksia, kuten edellä havaittiin, vaan taimien alkukehityksestä on huolehdittava 2–3 ensimmäisen vuoden aikana varsinkin voimakkaasti heinittyvillä ja/tai vesottuvilla aloilla.

22. Vertailtavat vaihtoehdot

Laskelmissa mukana olevien kaikkien metsänkäsitteilyvaihtoehtojen lähtökohtana on eteläsuomalainen 70-vuotias VT-männikkö, jossa puuston tilavuus on 164 m³/ha ja runkoluku 620 kpl/ha. Vertailtavien uudistamisvaihtoehtojen käsittelyohjelmat koostuvat nykypuuston uudistamisvaiheesta sekä seuraajametsiköistä, joiden kiertoaikojen oletetaan toistuvan samanlaisina tulevaisuuden puusukupolvissa. Laskelmien päätöksentekoti-

Taulukko 4. Tilavuuskasvuprosenttia selittävän yhtälön käyttäytyminen aineistossa.

Table 4. Behaviour of the volume increment percentage equation in natural regeneration data.

Jakso — Period	Jakson pituus, vuotta Length of period, years	Puuston ikä, vuotta*) Age of stand, years*)	Puuston tilavuus, m ³ /ha*) Volume, m ³ /ha*)		
			Aineisto Data	Yhtälö Equation	Ero Difference, %
Paljastavasta hakkuusta 1. vapauttavaan hakkuuseen — From first to second regeneration cutting	8	78	110	108	-1,8
1. vapauttavasta hakkuusta 2. vapauttavaan hakkuuseen — From second to third regeneration cutting	6	84	43	44	+2,3

*) Jakson lopussa — End of period

lanne valittiin siten, että metsänomistajan voitiin olettaa päättävän noudatettavasta käsittelyohjelmasta myös seuraavien puusukupolvien käsittelyn osalta valitessaan nykypuuston uudistamistapaa. Vertailtavat käsittelyohjelmat poikkeavat toisistaan sekä uudistamistavan että -ajankohdan suhteen. Tässä tutkimuksessa käytetyt vertailtavat uudistamisvaihtoehdot ovat samat kuin Olonqvistin ja Kajanuksen tutkimuksessa.

Tutkimuksessa uudistamisen tarkastelu aloitettiin luontaisen uudistamisen aloitusajankohdasta. Edullisuuslaskelmien viljelyvaihtoehtoja varten tarvittiin ennusteet nykypuuston edelleenkehitykselle: miten lähtöpuusto kehittyisi, jos sitä kasvatettaisiin edelleen ja aikanaan uudistettaisiin avohakkuulla ja viljelyllä. Gustavsenin (1977, s. 8) kasvuyhtälöitä käyttäen saatiin selville metsikön kehittyminen viljelyä edeltävään avohakkuuseen saakka. Näistä yhtälöistä tähän tutkimukseen valittiin tilavuuskasvuyhtälö n:o 4.

$$P_{v5} = \exp(2,95091 + 1,05986(5,69 - \ln T)^{0,90} - 0,07100(\ln(VH_{\text{dom}}))^{1,50}),$$

jossa P_{v5} = metsikön tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvu-% kuorineen

T = metsikön ikä, vuotta,

H_{dom} = metsikön valtapituus, hehtaaria kohden 100 paksuimman puun keskipituus, metriä ja

V = puuston tilavuus kuorineen, m³/ha.

Yhtälöä käytettäessä lähtöpuuston ikä ja tilavuus saatiin aineistosta. Valtapituus laskettiin aineiston keskipituushavainnoista Hännisen (1974, s. 7) esittämien metsikön valta- ja keskipituuden välistä yhteyttä selittävien laskentakaavojen perusteella. Näin saadut valtapituudet vastaavat kyseisen iänkohdan talousmänniköiden valtapituutta $H_{100} = 24$ (Gustavsen 1980, s. 18 ja 30). $H_{100} = 24$ vastaa kasvupaikkana talousmänniköissä hyvää VT:tä. Edellisen johdosta laskelmissa käytettiin aina vastaavan iänkohdan talousmänniköiden valtapituuskäyrän $H_{100} = 24$ mukaisia arvoja.

Kontrollin vuoksi tarkasteltiin, miten käytetty kasvuprosenttia selittävä yhtälö kuvaa aineiston mukaista keskimääräisesti toteutunutta tilavuuden kehitystä luontaiseen uudistamiseen tähtäävien hakkuiden välillä. Kummankin jakson hakkuiden välisen ajan lähtöpuustoa kasvatettiin yhtälön antaman kasvuprosentin mukaisesti. Kyseisen yhtälön voidaan katsoa kuvaavan

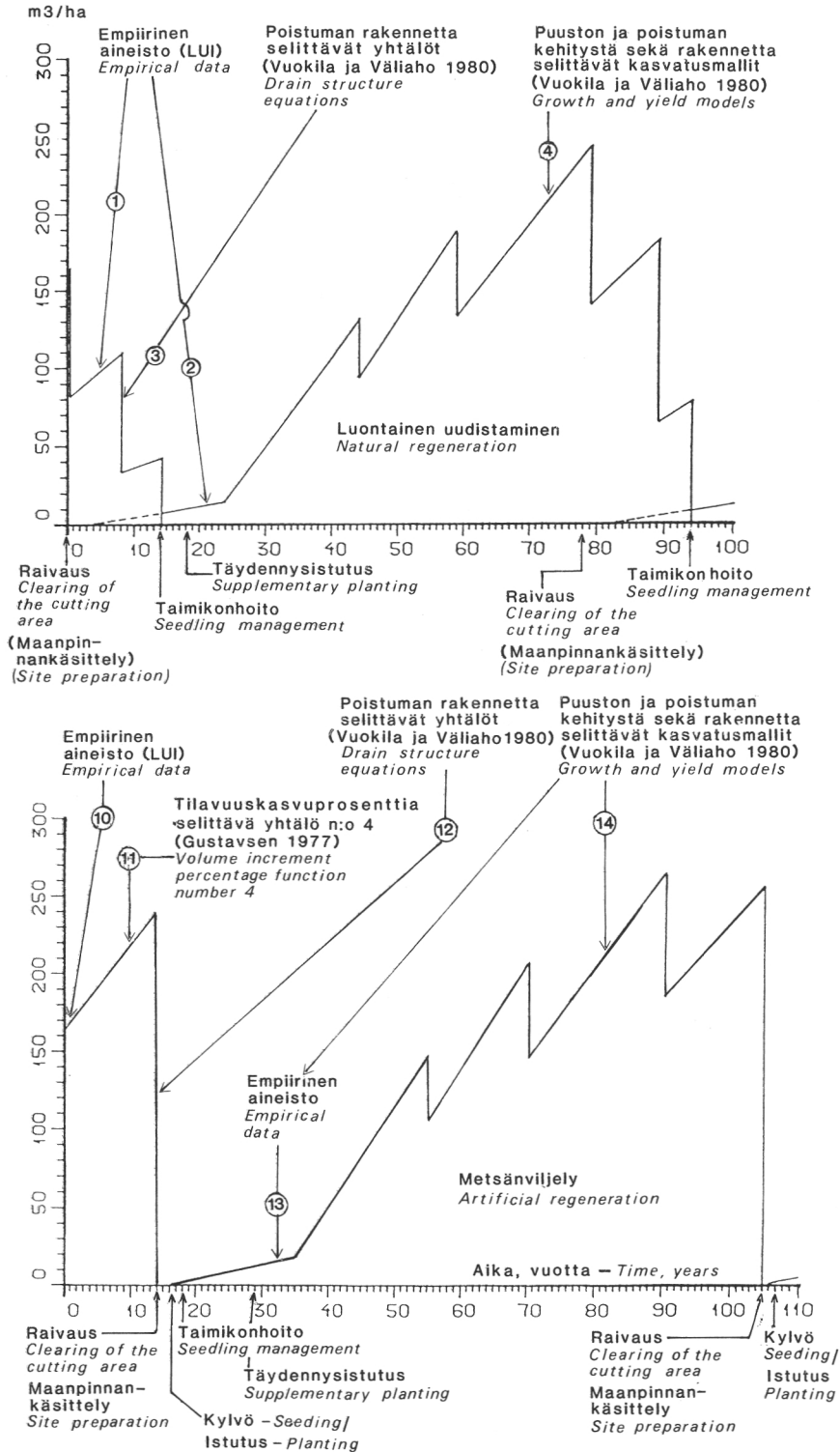
riittävän tarkasti todellisuudessa tapahtunutta puuston kehitystä (taulukko 4).

Nykypuuston hakkuupoistumien rakenteen selvittämiseen käytettiin Vuokilan ja Väliähon (1980, s. 19—20) tutkimuksen apuyhtälöitä. Näiden yhtälöiden selittävänä muuttujina ovat metsikön tukki-, kuitu- ja hukkapuuprosentit. Selittäjinä ovat metsikön biologinen ikä ja metsikön puiden keskikoko, jotka saatiin laskelmia varten suoraan aineistosta. Tukkirunkojen keskijäreiden ja kuiturunkojen keskiläpimitan selvittämiseksi tarvittiin lisäksi latvakuidun määrän ilmoittavat yhtälöt ja kuitupuiden tilavuustaulukot.

Viljelyyn perustuvissa käsittelyohjelmissa seuraajametsiköiden lähtöpuustona käytettiin viljeltyjen männiköiden $H_{100} = 24$ arvoja 20 vuoden ikäisinä (Vuokila ja Väliäho 1980, s. 222), koska inventointituloksista laskettavissa olevien tunnusten arvojen perusteella niiden oletettiin saavuttavan 20 vuoden ikäisinä ko. kasvatusmallien lähtöarvot (ks. liite 4). Kylvöön ja istutukseen perustuvissa käsittelyohjelmissa käytettiin samaa seuraajametsikön lähtöpuustoa, koska erot männyn kylvö- ja istutustaimikoiden kyseisissä tunnuksissa olivat niin pienet, ettei niillä katsottu olevan merkitystä tämän tutkimuksen laskelmissa (taulukko 3). Hägglundin tutkimusten mukaan männikön syntytavalla ei ole yleensä suurta vaikutusta puuston kehitykseen (ks. Vuokila ja Väliäho 1980, s. 11), etenkin kun molemmat taimikot oletetaan harvennettaviksi samaan kasvatustiheyteen jo varhaisessa vaiheessa.

Tutkimuksessa käytettyjen Vuokilan ja Väliähon (1980) kasvatusmallien perustana olevan aineiston männiköistä valtaosa on ollut kylvettyjä. Niiden katsottiin kuitenkin kuvaavan riittävän tarkasti sekä luontaisesti uudistettujen että istutettujen metsiköiden lähtöpuustojen kehitystä, sillä lähtöpuustojen arvot sopivat mallien perustana olleen aineiston lähtöpuustojen arvojen vaihteluvälin sisäpuolelle (vrt. Vuokila ja Väliäho 1980, s. 27). Mallien metsikköaineistot peittävät koko maan.

Käytetyt mallit ovat tulevan kehityksen ennustamisessa sitä luotettavampia, mitä suuremmasta metsiköiden joukosta on kysymys. Kasvatusmallien tuotostiedot antavat perusteita vaihtoehtoisten metsänkäsittelyohjelmien keskinäiseen edullisuusvertailuun. Kasvatusmallien aineistossa olleet metsiköt ovat joka tapauksessa olleet täystiheitä ja lähes aukottomia. Ne ovat syntyneet onnistuneesta metsänviljelystä. Jos tutkimuksen kasvu-



Kuva 5. Edullisuuslaskelmissa käytettyjen metsänkäsittelyohjelmien rakenne luontaisessa uudistamisessa ja viljelyssä nykypuuston ja seuraajapuuston osalta.
 Figure 5. The structure of the regeneration treatment programmes used in profitability calculations. Current and desirable stands by natural and artificial regeneration.

Taulukko 5. Vertailtavien metsänkäsittelyohjelmien hakkuu-ikä, kiertoajat ja metsänhoitotoimenpiteet.
Table 5. Cutting ages, rotations and silvicultural treatments of compared stand growing programmes.

Käsittelyohjelman koodi Code of the stand growing programmes	Uudistamistapa Regeneration method	Nykypuuston ikä uudistus-hakkuissa Age of the current stand at regeneration cutting			Tavoitepuuston ikä Age of the desirable growing stand			Kierto- aika Rotation	Metsänhoitotoimen- piteet Silvicultural treatments		
					Kasvatus- hakkuissa At thinning		Uudistus- hakkuissa At regener- ation cutting				
LU ₂₊₃ (84, 79)	Luontainen uudistaminen	70	78	84	40	55	75	85	90	79	R, T, TH
LU ₂₊₂ (78, 79) min	Natural regeneration	70	78		40	55	75	85		79	R, M, T, TH
LU ₂₊₂ (78, 79) max		70	78		40	55	75	85		79	R, M, T, TH
K ₂₊₁ (70, 76)	Kylvö — Seeding	70			40	55	75			76	R, M, K, T, TH
K ₃₊₁ (78, 86)		78			40	55	75	85		86	R, M, K, T, TH
K ₃₊₁ (84, 91)		84			40	55	75	90		91	R, M, K, T, TH
K ₃₊₁ (75, 81)		75			40	55	75	80		81	R, M, K, T, TH
I ₂₊₁ (70, 74)	Istutus — Planting	70			40	55	75			74	R, M, I, T, TH
I ₃₊₁ (78, 84)		78			40	55	75	85		84	R, M, I, T, TH
I ₃₊₁ (84, 89)		84			40	55	75	90		89	R, M, I, T, TH
I ₃₊₁ (75, 79)		75			40	55	75	80		79	R, M, I, T, TH

Selitys: R = raivaus, M = maanpinnankäsittely, K = kylvö, I = istutus, T = täydennysistutus ja TH = taimikhoito
Explanation: R = clearing of the cutting area, M = site preparation, K = seeding, I = planting, T = supplementary planting, TH = seedling management

Metsänkäsittelyohjelman koodi — Code of the stand growing programmes

T_{n+m}(h, u), jossa — where
T = uudistamistavan alkurajain — the initial letter
of regeneration method
LU = luontainen uudistaminen — natural regeneration
K = kylvö — seeding
I = istutus — planting
n, m = kiertoaikaan sisältyvien hakkuukertojen lukumäärä — number of cuttings during rotation
n = kasvatushakkuut — thinnings
m = uudistushakkuut — regeneration cuttings
h = nykypuuston ikä päätehakkuussa (luontaisen uudistamisen yhteydessä ylispuiden poistohakkuussa) — age of the current stand at clearcutting
u = kiertoaika (= aika hakkuusta seuraajametsikön vastaavaan hakkuuseen) — rotation age

yhtälöitä tai kasvatusmalleja käytetään aukkoisten ja repaleisten viljelymetsiköiden kehityksen arviointiin, virhettä syntyy ennen muuta tuotoksen rakenteessa. Hehtaarikohtaisen tilavuuskasvun arvio on tätä selvästi luotettavampi. Yhtälöt soveltuvat muotonsa puolesta tällaistenkin metsiköiden kehityksen ennustamiseen, mutta ennuste on ekstrapolointia ja sellaisena ainakin yksittäistapauksissa epäluotettava. Kasvatusmalleissa ei ole edellytetty tapahtuvan luonnonpoistumaa. Satunnaisia tuhoja lukuunottamatta riittävin toistuvien harvennuksin käsittelyissä metsiköissä luonnonpoistumaa tuskin esiintyykään. (Vuokila ja Väliaho 1980, s. 40—42)

Kuvassa 5 esitetään puustosarjojen tunnusten määrittely luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn osalta. Alla oleva numerointi vastaa kuvassa olevaa numerointia. Liitteessä 5 esitetään kaikki edullisuusvertailuissa mukana olleet metsänkäsittelyohjelmat yksityiskohtaisesti.

Luontaisen uudistamisen metsänkäsittelyohjelmassa:

- (1) Nykypuuston lähtöpuusto, nykypuuston tilavuuden kehitys, poistumien ajankohta ja määrä nykypuustossa sekä
- (2) uudistumisaika, taimikon kehitys, seuraajametsiköiden lähtöpuusto perustuvat luontaisen uudistamisen inventoinnin (LUI) aineistoon.
- (3) Nykypuuston poistumien puutavaralajirakenne sekä
- (4) seuraajametsikön puuston kehitys, poistumien ajankohta, määrä ja puutavaralajirakenne seuraajametsikössä perustuvat Vuokilan ja Väliahon (1980) kasvatusmalleihin.

Metsänviljelyn metsänkäsittelyohjelmassa:

- (10) Nykypuuston lähtöpuusto perustuu LUI-aineistoon.

- (11) Nykypuuston tilavuuden kehitys perustuu Gustavsenin (1977) tilavuuskasvuprosenttia selittävään yhtälöön.
- (12) Nykypuuston poistuman puutavaralajirakenne ja
- (13) seuraajametsikön lähtöpuusto sekä
- (14) seuraajametsikön puuston kehitys, poistumien ajankohta, määrä ja puutavaralajirakenne seuraajametsikössä perustuvat Vuokilan ja Väliahon (1980) kasvatusmalleihin.

Taulukossa 5 esitetään metsänkäsittelyohjelmien (11 kpl) hakkuu-ikä ja kiertoajat uudistamistavoitain. Luontaiseen uudistamiseen perustuvia käsittelyohjelmia ovat aineistonmukainen LU₂₊₃ (84,79) sekä laskennalliset LU₂₊₂ (78,79) min, jossa maanpinnankäsittelyllä ei oletettu olevan vaikutusta syntyvään taimikkoon ja LU₂₊₂ (78,79) max, jossa maanpinnankäsittelyllä oletettiin saatavaksi tuotokseltaan viljelytaimikoita vastaava taimikko.

Myös kylvö- ja istutusvaihtoehdot on tässä luokiteltava laskennallisiksi vaihtoehtoiksi. Laskelmissa käytettiin etukäteen määritettyjä kiertoaikoja. Yhdessä viljelyvaihtoehdossa kiertoaika on sama kuin luontaisessa uudistamisessa ja muiden kiertoajat vastaavat luontaisen uudistamisen paljastavan tai vapauttavien hakkuiden ajankohtia.

Kylvöön perustuvat metsänkäsittelyohjelmat poikkeavat toisistaan päätehakkuuajankohtien suhteen. Lisäksi vertailussa oli mukana neljä eri päätehakkuuajankohtaan perustuvaa istutusvaihtoehtoa. Ne poikkeavat vastaavista kylvövaihtoehdoista viljelykustannusten, käsittelyajankohtien sekä kiertoaikojen osalta. Lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehdoissa päätehakkuu oletettiin tehtäväksi samanikäisessä puustossa kuin ensimmäinen luontaiseen uudistamiseen tähtäävä hakkuu. Toisaalta

pitkän kiertoajan viljelyvaihtoehdoissa päätehakkua-
ajankohta oletettiin samaksi kuin luontaisen uudistami-
sen siemenpuiden poistoajankohta.

Metsänomistajalla oletettiin siis päätöksentekohet-
kellä olevan vaihtoehtoina joko aloittaa metsikön
uudistaminen heti tai koko puuston edelleenkasvatus ja
uudistaminen määrävuosien kuluttua viljelemällä. Aloit-
taessaan metsikön uudistamisen heti hän voi valita
luontaisen uudistamisen joko kolmella tai kahdella
hakkulla tai avohakkuun ja viljelyyn.

Kaikissa käsittelyohjelmissä seuraajametsikkö har-
vennettiin 40 ja 55 vuoden ikäisenä. Tällöin poistettiin
30 % puuston tilavuudesta. Harvennustavan ja harven-
nusten voimakkuuden täytyy tällaisessa pelkästään
uudistamistavan valintaa koskevassa investointilaskel-
massa olla kaikissa uudistamisvaihtoehdoissa sama, jotta
saataisiin selville puhtaasti uudistamistavan vaikutus
nettonykyarvoihin. Viljelyyn perustuvissa käsittelyoh-

jelmissä tehtiin vielä 75 vuoden iällä 30 % harvennus.
Seuraajametsikön luontaiseen uudistamiseen pyrittiin
kolmella hakkulla seuraavasti:

- 75 vuoden ikäisenä 43 % tilavuudesta, jää 289 run-
koa/ha,
- 85 vuoden ikäisenä 65 % tilavuudesta, jää 69 run-
koa/ha tai ylispuiden poisto (kahden uudistamis-
hakuun vaihtoehdot) ja
- 90 vuoden ikäisenä ylispuiden poisto (kolmen uudis-
tamishakuun vaihtoehto).

Näissä uudistamishakkuissa käytettiin lähes samoja
poistoprosentteja kuin vastaavissa nykypuuston uudis-
tamishakkuissa. Viljelyyn perustuvissa käsittelyohjel-
missä päätehakkua tehtiin vaihtoehtoisia kiertoaikoja
noudattaen: lyhimmissä puusto oli 75-vuotiaasta ja pi-
simässä 90-vuotiaasta.

3. KANTOHINNAT JA KUSTANNUKSET

31. Kantohintasarjat ja tuotosten hinnoitteluperusteet

Kantorahatulojen määrittämiseen tarvitiin
tiedot Etelä-Suomen yksityismetsien maksetuista keskimääräisistä kantohinnoista.
Hinta-aineistona käytettiin havutukkipuun ja
mäntykuitupuun hakkuuvuosittaista nimel-
lishintasarjaa Etelä-Suomen osalta. Hintasarja
laskettiin 15 eteläisimmän metsälautakun-
nan (liite 1) alueelle hakkuuvuosille 1949/50
—1985/86 Metsäntutkimuslaitoksen liiketa-
loudellisen metsäekonomian tutkimussuun-
nan kantohintaohjelmalla. Ohjelma laskee
kantohinnat hakkuumäärillä painotettuina
keskiarvoina ja lisäksi siitä saadaan tukku-
hintaindeksillä hakkuuvuoden 1985/86 hin-
tatasoon muunnettu reaalin hintasarja sekä
pienimmän neliosumman (PNS) mukaiset
lineaariset trendit ja niiden yhtälöt.

Laskentajaksoon sisältyy kolme kokonais-
ta suhdanneaaltoa. Tässä tarkasteltavaa jak-
soa aiemminkin ne ovat olleet noin 10 vuo-
den pituisia (Hämäläinen 1973, s. 139). Aika-
sarja valittiin tarkoituksella pidemmäksi kuin
käytettävissä olleet kustannussarjat olivat,
sillä näin voitiin tehdä ARIMA-malleilla pa-
remmat ennustemallit.

Tässä tarkasteltavilla puutavaralajeilla, ha-
vutukki- ja mäntykuitupuulla, reaalihintojen
kehitys on tarkastelujakson alussa, hakkuu-
vuosina 1949/50—1960/61 ollut aleneva. Tä-
män jälkeen reaaliset kantohinnat ovat nous-
seet aina hakkuuvuoteen 1974/75 asti, jonka

jälkeen kehityssuunta on ollut taas aleneva
(kuvat 6 ja 7). Reaalihintojen muutokset ovat
olleet suhteellisen vähäisiä 1970-luvun jäl-
keen. Koko tarkastelujaksolla trendi on lie-
västi nouseva. Kahdelle viimeiselle suhdan-
nehuipulle on ominaista tukkipuun hinnan
suhteessa suurempi muutos verrattuna kui-
tupuun hintaan. Tukki- ja kuitupuulla hinta-
erot ovat pienentyneet 1970-luvun jälkipuo-
liskolla ja 1980-luvun alussa.

Tulevan kehityksen epävarmuustekijöiden
vuoksi on edullisuusvertailuissa kantohinto-
jen ja puunkasvatuksen kustannusten ennus-
taminen koettu yleensä niin ongelmalliseksi
tehtäväksi, ettei siihen useinkaan ole ryhdyt-
ty. Päävaihtoehtoina ovat olettamus hintojen
muuttumattomuudesta, jolloin tuotosten ja
panosten välisten hintasuhteiden oletetaan
siis pysyvän samoina tulevaisuudessa, tilas-
toihin perustuvien valmiiden ennusteiden
käyttö (Rådström 1980) tai omien kehitys-
ennusteiden teko. Usein käytetään myös monia
vaihtoehtoisia ennusteita vertailulaskel-
mien pohjana, mutta tällöin lisätään laskel-
mia hyväksikäyttävien valinnan vaikeutta
(esim. Hämäläinen 1973, Payandeh 1977,
Keipi ja Laakkonen 1980).

Kantorahatulojen määrittäminen on tut-
kimuksissa yleensä tehty huolellisemmin kuin
kustannusten selvitys. Viimeaikaisissa metsä-
ekonomisissa tutkimuksissa on tavallisimmin
määritetty usean vuoden havaintojen perus-
teella trendiyhtälöt, joiden avulla on saatu
suhdanne- ja epäsäännöllisestä vaihtelusta

vapaat arvot halutuille vuosille (esim. Metsänviljelykustannusten... 1971, Hämäläinen 1973 ja Keipi ja Laakkonen 1980). Toisaalta voidaan keskittyä eri puutavaralajien kantohintasuhteiden määrittämiseen kantohintatason selvittämisen sijasta (esim. Keltikangas ja Tiililä 1968, s. 38—40).

Tässä tutkimuksessa käytettiin kantorahatulojen määrittämisessä tarvittavan kantohintatason estimoinnissa autoprojektiivisia malleja (ARIMA-mallit), joiden rakentaminen voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: vähäparametrisen mallin identifiointi, identifioidun mallin parametrien estimointi ja estimoidun mallin tarkistukset (Box ja Jenkins 1976, s. 18—19).

Pelkistetysti sanottuna autoprojektiivinen ennustaminen merkitsee ennustettavan aikasarjan ekstrapolointia tulevaisuuteen. Autoprojektiiviset ennustamismenetelmät eivät ota huomioon muuta informaatiota kuin aikasarjaan itseensä sisältyvän. Näin sulkeutuvat pois sekä ennusteeseen vaikuttavien muiden aikasarjojen että ongelma-alueen teorian hyväksikäyttö. Toisaalta autoprojektiiviset ennusteet täyttävät useissa tapauksissa välttämättömät edellytykset; menetelmät ovat yleensä halpoja, nopeita ja yksinkertaisia.

Oleellista ARIMA-mallien rakentamisessa on prosessin tarkastelu kokonaisuutena pyrkimättä jakamaan kokonaisvaihtelua erillisiin komponentteihin. Aikasarjan sisäisen informaation perusteella pyritään kokoamaan riittävä, vähäparametrinen malliesitys tulkittavalle prosessille. Tärkein etu ARIMA-mallien rakentamistekniikassa on kuitenkin se, että siinä poistetaan mallin rakentamiseen ja malleilla ennustamiseen yleensä liittyvä kaksijakoisuus: riittäväksi todettua mallia voidaan sellaisenaan käyttää prosessin tulevien arvojen ennustamiseen. (Leskinen 1977, s. 90)

Autokorrelaatioanalyysissä mallin asteiden identifioinnin jälkeen voidaan estimoituja autokorrelaatioita käyttää hyväksi laskettaessa mallin parametrien alustavia estimaatteja. Niillä onkin käyttöä lähinnä lähtöarvoina identifioidun mallin parametrien epälineaarissa estimoinnissa, joka on mallin rakentamisen seuraava vaihe. (Leskinen 1977, s. 94)

Ilmiön todennäköinen kehitys tulevaisuudessa on sen odotusarvo, jonka lisäksi ennusteen tulisi sisältää todennäköisyysarvio ennusteen odotetusta luotettavuudesta. Ennusteen todennäköisimmän arvon lisäksi olisi

ilmoitettava siis ylä- ja alarajat, joiden välissä toteutuvat arvot pysyvät jollakin todennäköisyydellä. Käytännössä ennusteen luottamusvälit lasketaan sen tiedon perusteella, mitä on saatavilla ennustettavan aikasarjan ja sen komponenttien menneisyyden käyttäytymisestä. (Box ja Jenkins 1976, s. 2 ja 135—138)

Mäntytukkipuun kantohinnan ARIMA-ennuste laskettiin havutukkipuun kantohintasarjan perusteella, koska mäntytukkipuun hinnat on tilastoitu erikseen vasta hakkuuvuodesta 1978/79, eikä luotettavaa menetelmää mäntytukkipuun hinnan erottamiseksi havutukkipuun hintasarjasta löydetty.

Aikasarjat todettiin stationaariksi, joten niitä ei differensoitu ja ennusteet tehtiin tällöin alkuperäisille sarjoille. Havutukkipuun kohdalla oli kyseessä puhdas AR(p,0)-prosessi, sillä autokorrelaatiofunktio vaimeni ja osittaisautokorrelaatiofunktiossa esiintyi katkoksia viiveellä 3 ja lisäksi osittaisautokorrelaatiofunktion kertoimet olivat nollassa eroavia (vrt. Leskinen 1977, s. 91—92). Vakion mukaanotto tarkasteluun aikaansai stationaarisuuden korjauksen. Osittaisautokorrelaatiofunktio ei vaimennut ja siten kyseessä ei ollut stationaarinen ARMA(p,q)-sekaprosessi.

Iteraatioiden jälkeen *havutukkipuun* kantohinnan (mk/m^3) ennusteyhtälöksi saatiin (suluissa parametrien keskivirheet):

$$x_t = 0,68x_{t-1} - 0,36x_{t-2} + 0,24x_{t-3} + 76,74, R^2 = 0,97$$

(0,16) (0,19) (0,16) (32,26)

Mäntykuitupuun aikasarjan ennuste tehtiin puhtaana MA(0,q)-prosessina, sillä autokorrelaatiofunktiossa oli katkoksia viiveellä 1, sen kertoimet olivat nollassa eroavia ja osittaisautokorrelaatiofunktio vaimeni.

Iteraatioiden jälkeen *mäntykuitupuun* kantohinnan (mk/m^3) ennusteyhtälöksi saatiin:

$$x_t = 0,38e_{t-1} + 84,58, R^2 = 0,93, \text{ jossa}$$

(0,16) (5,37)

e_{t-1} = edellisen vuoden havainnon ja ennusteen erotus.

Mäntykuitupuun kantohintana käytettiin edellä mainitun kantohintasarjan ennuste-arvoja (kuva 6). Havutukkipuun ennuste-arvoihin sisältyi tietty tasovirhe, ja siksi ennustearvoja korjattiin paremmin mäntytukin kantohintaa vastaavaksi (kuva 7). Korjaus tehtiin laskemalla mäntytukkipuun ja havutukkipuun hintojen suhde tilastoiduilta hakkuuvuosilta 1978/79—1985/86. Laskettujen kertoimien keskiarvolla 1,11 muunnettiin ha-

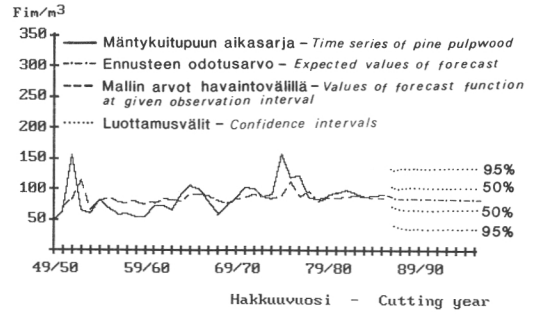
vutukkipuun ennustearvot ja luottamusrajat mäntytukkipuun ennustearvoiksi ja luottamusrajoiksi. Ennusteiden yksityiskohtainen määrittäminen on esitetty pro gradu -työssäni (Oksanen 1988, s. 48—54).

Vertailtavien metsänuudistamismenetelmien yksikkötuotot laskettiin pystykaupoista saatavien kantohintojen perusteella. Keskimääräisistä kantohintojen ennusteista johdettiin erikseen metsikön kutakin käsittelykerta vastaavat yksilölliset kantohinnat. Oletuksena oli tällöin, että laskettua keskimääräistä mäntytukkipuun ja -kuitupuun kantohintaa voidaan verrata hintasuositussopimuksen mukaiseen perusleimikon hintaan. Tällöin jouduttiin myös olettamaan, että perusleimikon yksikköhinnan korjaustekijät säilyvät suhteessa kantohintaan hakkuuvuoden 1985/86 korjaustekijöiden mukaisina (Puun hintasuositukset... 1985).

Käytetyt yksikköhinnan korjaustekijät perustuvat puunkorjuun kustannuseroihin luontaiseen uudistamiseen ja viljelyyn tähtäävien hakkuiden välillä. Eroihin vaikuttavat keskeisimmin runkojen järeys, leimikon tiheys ja leimikon koko (Kajanus 1981, s. 33—34). Vuokilan ja Väliahon (1980) tutkimuksen apuyhtälöillä laskettiin tukkirunkojen keski-järeudet kunakin hakkuukertana jokaiselle vaihtoehdolle ja tehtiin hintasuositussopimuksen mukaiset yksikköhinnan korjaukset. Vastaavasti laskettiin kuitupuurunkojen keskijäreudet, jotka muunnettiin kuitupuun tilavuustaulukoilla kuitupuurunkolajien keskimääräisiksi rinnankorkeusläpimitoiksi. Tämän perusteella tehtiin järeyskorjaukset. Lisäksi tehtiin leimikon koon ja tiheyden mukaiset korjaukset (Puun hintasuositukset... 1985).

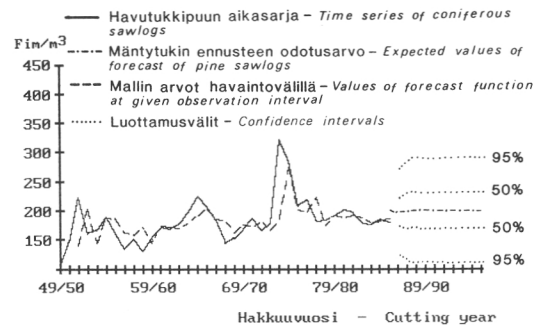
32. Kustannussarjat ja puunkasvatuksen kustannusten määrittäminen

Metsänuudistamistyöläjien yksikkökustannusten kehityksen analysoinnissa ja ennustamisessa perustana olivat Metsätilastollisista vuosikirjoista kerätyt metsänhoitotöiden toteutuneet keskimääräiset yksikkökustannukset (mk/ha) omistajaryhmän yksityiset ym. osalta tilastoiduilta kalenterivuosilta 1964—1985. Tiedot sisältävät työ-, työnjohto-, sosiaali- ja mahdolliset materiaalikustannukset. Kunkin työläjän (raivaus, maanpinnankäsitte-



Kuva 6. Mäntykuitupuun reaalisen kantohinnan kehitys 1949/50—1985/86 ja ennusteen odotusarvo sekä luottamusvälit.

Figure 6. Development of real prices of pine pulpwood 1949/50—1985/86, expected values of forecast, and confidence intervals.



Kuva 7. Havutukkipuun reaalisen kantohinnan kehitys 1949/50—1985/86 ja sen perusteella tehty mäntytukkipuun kantohinnan ennusteen odotusarvo sekä luottamusvälit.

Figure 7. Development of real prices of coniferous sawlogs 1949/50—1985/86, expected values of forecast of pine sawlogs made by time serie of coniferous sawlogs, and confidence intervals.

ly, kylvö, istutus ja taimikonhoito) keskimääräiset yksikkökustannukset on Metsätilastollisissa vuosikirjassa määritelty jakamalla työmenetelmäryhmien toteutuneet kokonaiskustannukset vastaavilla työmäärillä. Nämä toteutuneet keskimääräiset kustannukset antavat kuvan tutkittavien metsänuudistamistyöläjien kustannuskehityksestä koko maassa.

Rahanarvon muutoksen aiheuttaman vaihtelun poistamiseksi muunnettiin kaikki yksittäiset nimelliset kustannusluvut vuoden 1985 hintatasoa vastaaviksi reaalisiksi luvuiksi tukkuhintojen kokonaisindeksillä (1949 = 100). Näistä reaalisiksi muunnetuista luvuista koottiin tässä tutkimuksessa käytetyt kustannus-aikasarjat.

Metsätilastollisen vuosikirjan aineistoa täydentävänä aineistona käytettiin Keskusmetsälautakunta Tapiosta saatuja hakkuu- ja hoitotöiden atk-tilastontia varten kerättyjä tietoja (HH-systeemi). Tilasto ilmaisee koko maassa yksityismetsissä palkkatyövoimalla teetettyjen metsänuudistamis- ja metsänhoitotöiden toteutuneet keskimääräiset yksikkökustannukset (mk/ha). Tämänkin aikasarjan luvut ovat vastaavilla toteutuneilla pintaaloilla painotettuja keskiarvoja. Nämä kustannukset sisältävät työ-, sosiaali- ja mahdollisesti muut yksikkökustannuksiin normaalisti kuuluvat erät sekä raivaussahakorvauksen osuuden. Raivauksen osalta tilasto on ajanjaksolta 1970—1985, äestyksen, kylvön, istutuksen, männyn istutuksen ja taimikonhoidon osalta vuodesta 1977 ja täydennysistutuksen osalta vuodesta 1980.

Taimien ja siementen hintoina käytettiin metsähallituksen vuosille 1970—1985 metsäpuiden taimien ja siementen tuottajille antamia enimmäisperushintoja (p/taimi ja mk/kg). Männyn paljasjuuritaimen (2A + 1A) ja pienen paakkutaimen yksikköhinta kerrottiin oletetulla istutustiheydellä 2000 tainta/ha. Männyn siementen kilohinnat kerättiin metsikkökeräyssiemenen hintasarjaksi siten, että kunkin vuoden siemenet vastasivat keräysajankohdaltaan toisiaan. Kylvössä käytetään siementä keskimäärin 0,4 kg/ha, jolloin vaadittava itävyysprosentti on 80—90. Näitä tietoja käyttäen laskettiin siementen hehtaarikustannus.

Maataloustuottajain Keskusliitosta saatiin tarvittavat puukaupasta metsänomistajalle aiheutuvat yksikkökustannukset. Mukaan otettiin leimauksen, kaupan avustamisen ja luovutusmittauksen yksikkökustannukset (mk/m³). Viimeinen saatavissa ollut koko maata koskeva tilasto oli vuodelta 1984. Nämäkin luvut muunnettiin tukkuhintaindeksillä vuoden 1985 hintatasoa vastaaviksi. Ennusteissa puunmyyntikustannukset muuttuvat kantohintojen suhteessa.

Metsänhoitotöiden reaaliset kustannukset ovat nousseet tarkastelujaksolla eniten vuosina 1970—1976, ja ajanjaksolla 1980—1985 kustannusten yleinen suunta on ollut reaalisesti aleneva (kuvat 8 ja 9). Näyttää siis siltä, että yleisenä huolenaiheena ollut metsänuudistamisen kustannusten nousu on ainakin yksityismetsänomistajien hankkeissa pysähtynyt ja tavoiteltu metsänuudistamistöiden rationalisointi on ainakin osittain onnistunut. Jokaisessa työläjissä käänne on tapahtunut

ajanjaksolla 1977—1980. Kehitys on seurausta kustannusten syntyyn vaikuttavien tekijöiden muutoksista. Erityisesti uudistushakkuu-alojen määrän ja etenkin laadun muutokset vaikuttavat vuotuisten uudistusalojen määrään ja työvaikeustekijöihin ja siten yksikkökustannuksiin.

Kustannustason määrittämisessä on eri tutkimuksissa tehtävän asettelusta riippuen käytetty huomattavastikin toisistaan poikkeavia ratkaisuja, mutta yleensä oletuksena on ollut kustannusten muuttumattomuus tai muutaman menneen vuoden keskiarvoon perustuva reaalisesti muunnettu hinta-arvio.

Tässä tutkimuksessa kustannukset määritettiin yksinkertaisilla ns. naiiveilla ennustusmenetelmillä (PNS-trendien avulla). Niihin sopivat seuraavat tunnusmerkit: menetelmät käyttävät ennusteen laadintaan vain aikasarjan sisäistä informaatiota, lisäksi aikasarjan tilastollisia ominaisuuksia koskevia hypoteeseja ei tehdä tai tehdään hyvin vähän ja ne ovat rakenteeltaan yksinkertaisia tai laskennallisesti helposti toteutettavissa. Eräs yleisesti käytetty ja hyväksi havaittu naiivi ennustusmenetelmä on lineaarisen trendin sovittaminen aikasarjaan, joko laskennallisena PNS-trendinä tai sitten yksinkertaisesti silmämääräisenä graafisena tasoituksena. (Törnqvist 1974, s. 62—63)

Metsänuudistamiskustannukset ovat suurin metsänhoidon kustannuserä: noin puolet hoitokustannuksista. Toisaalta työntekijän palkkakustannukset ovat metsänuudistamisen suurin kustannuserä. Työntekijän palkat sosiaalikulunnuksineen ovat raivauksessa ja taimikonhoidossa yli 80 %, kylvössä ja istutuksessa yli 50 % kokonaisyksikkökustannuksista. Maanpinnan käsittelyssä urakoitsijalle maksettava korvaus on yli 90 % työläjän kokonaisyksikkökustannuksista. Työnjohtokustannusten osuus on noin 15 % keskimääräisistä yksikkökustannuksista, joskin vaihtelua esiintyy työläjeittain.

Kun Metsätilastollisen vuosikirjan keskimääräisiä yksikkökustannuksia verrattiin Keskusmetsälautakunta Tapion HH-systeemin palkkakustannuksiin, havaittiin selvä yhteys palkkakustannusten ja kokonaisyksikkökustannusten kehityksen välillä. Kokonaiskustannusten muutoksiin vaikuttaa palkkojen lisäksi sosiaalikulunnusten, konekustannusten (raivaussahaosuus yleensä mukana työntekijän palkassa), työnjohtokustannusten, siementen ja taimien hintojen sekä työläjikohtaisten tarvikkeiden hintojen kehitys.

Tämän tutkimuksen kustannusennusteita tehtäessä lähtökohtana oli ensinnäkin kysymys siitä, mihin vuoteen asti taaksepäin voidaan mennä kunkin työläjän kohdalla siten, että työmenetelmät ovat säilyneet likimain samanlaisina. Toisaalta niiden tulisi voida olettaa tulevaisuudessakin säilyvän oleellisilta osin mennyttä ajanjaksoa vastaavina. Maanpinnankäsittelyn, kylvön ja taimikonhoidon osalta halutut ajanjaksot löytyivät, mutta istutukseen ja uudistusalan raivaukseen ei yksiselitteistä ajanjaksoa löytynyt. Lisäksi kunkin työläjän kokonaisyksikkökustannusten sarjoissa esiintyvät hajonnat aiheuttavat hankaluuksia PNS-trendisuorien laskentaan. Näiden hankaluuksien ilmettyä ei PNS-trendejä ja niiden mukaisia ennusteen odotusarvoja voitu laskea kokonaisyksikkökustannusten perusteella.

Työntekijöiden palkkakustannuksia kuvaavissa sarjoissa voitiin havaita valittuna ajanjaksona seuraavanlainen kehitys: vuodet 1975—1981 ovat olleet useimpien työläjien kohdalla nykyisin käytössä olevien työmenetelmien ”oppimiskautta” ja 1981—1985 kuvaavat ”vakaata” kautta. Kehityksen oletetaan jatkuvan vakaana myös tulevaisuudessa, sillä mitään kustannuksiin oleellisesti vaikuttavia muutoksia ei ole tiedossa. Ennustetta laskettaessa päädyttiin siihen, että kaikkien työläjien osalta valittiin sama ajanjakso PNS-trendin laskemista varten. Tänä ajanjaksona käytettiin vuosien 1981—1985 havaintoja. Näin trendin kulmakertoimesta nähdään suoraan, millainen muutosnopeus on eri työläjien välillä ko. ajanjaksona. Ennusteiden yksityiskohtainen määrittäminen on esitetty pro gradu -työssäni (Oksanen 1988, s. 25—47).

Ennusteet tehtiin kustannussarjojen osatekijöiden perusteella. Kaikkien työläjien kokonaisyksikkökustannusten osalta PNS-trendi laskettiin työntekijän palkkakustannussarjasta (HH-systeemi, sisältää sosiaalikulmakset). Istutuksen trendiä laskettaessa mukana olivat myös taimien hinnat ja kylvön osalta siementen hinnat. Näin ennustetrendit laskettiin niiden kustannusten perusteella, jotka selittävät jokaisen työläjän kohdalla suurimman osan kokonaisyksikkökustannuksista ja näin ollen vaikuttavat ennusteen odotusarvoon myös eniten.

Laskettuihin trendeihin tehtiin tasokorjaus siirtämällä ne kulkemaan aina kunkin työläjien kokonaisyksikkökustannussarjan viimeisen havaintopisteen eli ennustejakson alkupisteen kautta. Ennusteen luottamusväli (y ±

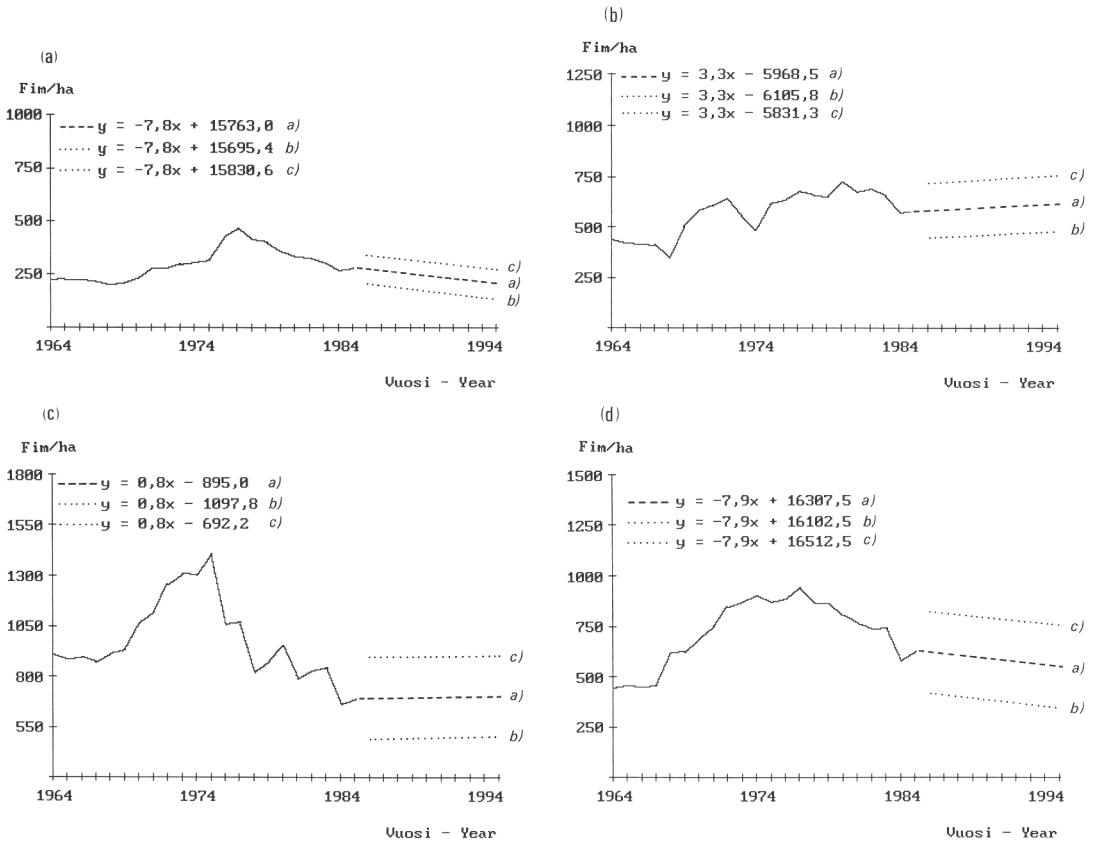
$t_{0,05s_y}$) laskettiin tasokorjatun PNS-ennustetrendin havaintovälillä 1981—1985 saaman keskiarvopisteen ja kokonaisyksikkökustannussarjan havaintopisteiden välisen keskijonnan (s_y) perusteella. Tällöin kokonaisyksikkökustannussarjan havainnot esittävät populaatiota tasokorjatun trendin keskiarvopisteen suhteen. Epäsäännöllinen vaihtelu näkyy näin luottamusvälissä.

Raivauksen osalta käytettiin trendin antamaa odotusarvoa kaikille metsänuudistamismenetelmille, sillä raivausta luontaista uudistamista ja viljelyä varten voidaan pitää samoina (kuva 8). Periaatteena oli oletus, että jos aiemmista tutkimustuloksista ei selviä, että hehtaarikustannus olisi uudistamistavoittain erilainen, niin se katsotaan niissä samaksi. Raivauksessa kustannuksiin vaikuttaa oleellisesti se, kuinka suuri osa uudistusala täytyy raivata. Tässä työssä oletetaan, että koko uudistusala raivataan kaikissa vaihtoehdoissa.

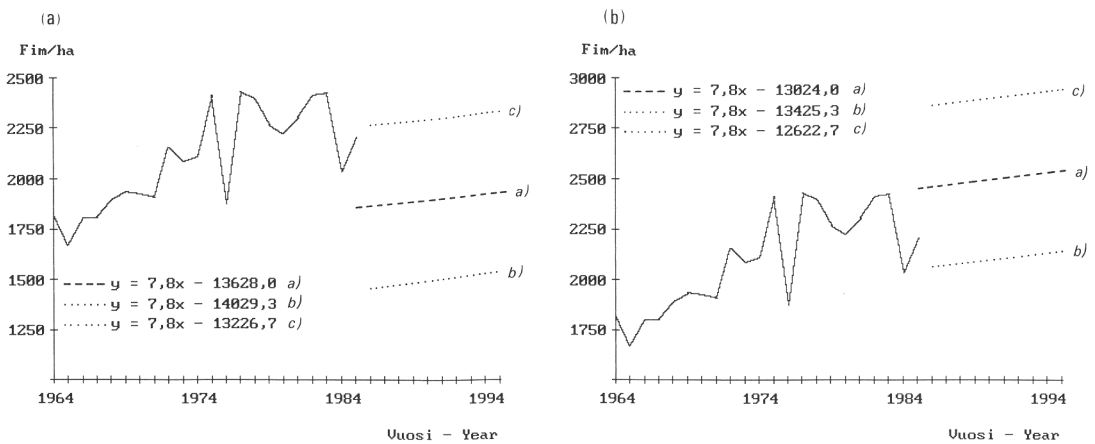
Myös maanpinnankäsittelyn kustannus katsottiin kaikissa vaihtoehdoissa samaksi (kuva 8), vaikka siemenpuita ensimmäisessä paljastavassa hakkuussa jääkin melko runsaasti jäljelle. Siemenpuiden oletetaan sijoituvan tasaisesti uudistusosalalle, eikä niiden oleteta hidastavan työskentelyä eikä siis aiheuttavan lisäkustannuksia verrattuna viljelyvaihtoehtojen maanpinnankäsittelyyn.

Kylvön kustannuksena käytettiin männyn kylvön trendiennusteen odotusarvoa (kuva 8), istutuksen kustannuksena männyn paakutaimen istutuksen trendiennusteen odotusarvoa ja täydennysistutuksen kustannuksena paljasjuurisien männynntaimien istutuksen trendiennusteen odotusarvoa (kuva 9). Täydennysistutuksessa eroja syntyy täydennysosueiden perusteella. Täydennysistutuksen ennusteen odotusarvona käytettiin kulmakertomeltaan istutuksen kanssa samanlaista suoraa, joka tasokorjattiin täydennysistutuksen laskennalliseen vuoden 1985 pisteeseen. Piste saatiin laskemalla yhteen paljasjuurisien männynntaimien hinta ja männyn istutustyön kustannukset, summaan lisättiin istutustyön ja taimien sekä istutuksen kokonaisyksikkökustannusten välinen erotus. Luottamusväli oli sama kuin istutuksessa. Tarkempaa ennustetta ei käytettävissä olevien tietojen perusteella voitu tehdä.

Taimikonhoitoa pidettiin tässä uudistamistavasta riippumattomana työläjinä (kuva 8). Hakkuuvuoden 1985/86 urakkapalkkasuosituksen mukaan eroa kustannuksiin ei



Kuva 8. Raivauksen (a), maanpinnankäsittelyn (b), kylvön (c) ja taimikonhoidon (d) reaaliset yksikkökustannukset 1964—1985, ennusteiden odotusarvot ja 95 %:n luottamusvälit.
 Figure 8. Ordinary time series (1964–1985) of clearing of the cutting area (a), site preparation (b), seeding (c), seedling management (d), expected values of forecasts, and 95 % confidence intervals.



Kuva 9. Istutuksen reaaliset yksikkökustannukset 1964—1985, männyn paakuttaimen (a) ja täydennysistutuksen (b) ennusteiden odotusarvot ja 95 %:n luottamusvälit.
 Figure 9. Ordinary time series of planting (1964–1985), expected values of planting of pine balled seedlings (a), supplementary planting (b), and 95 % confidence intervals.

tule taimikon syntyvän mukaan. Siten taimikonhoidon kustannus on sama, jos vain poistuman tiheys ja poistettavien puiden keskimääräinen kantoläpimitta ovat vertailtavissa vaihtoehdoissa samaan luokkaan kuuluvia, niin kuin tämän tutkimuksen uudistamisvaihtoehdoissa on. Taimikonhoidossa kustannuksiin vaikuttaa se, kuinka monta kertaa työ joudutaan tekemään. Tässä tutkimuksessa taimikonhoito oletetaan tehtäväksi vain kerran, sillä inventointitiedoista ei käy ilmi, miten suurelle alalle tai kuinka monta kertaa taimikonhoito on uudistusaloilla tehty.

Ennustetrendien luotettavuutta tarkasteltiin laskennallisesti vertaamalla trendejä aikasarjoista havaittavaan muutosnopeuteen kunkin työläjin osalta. Nyky- ja seuraajapuuston metsänhoitotöiden trendiarvot todettiin käyttökelpoisiksi aina vuodesta 1985 vuoteen 2013 asti; tällöin tehdään pitkän kiertoajan kylvövaihtoehdossa taimikonhoito. Toisaalta korkeammilla korkoprosenteilla diskontattaessa ei näin kaukaisilla metsänhoitotöiden menoilla ole suurtakaan merkitystä nykyarvoon.

Metsänhoitotöiden kustannukset ensimmäisen seuraajapuuston ja luontaisessa uudistamisessa osittain jo nykypuuston osalta ovat ennustetrendien mukaisia. Seuraavissa puusukupolvissa kustannukset toistuvat käsittelyvaihtoehtokohtaisesti samoina kuin ennustetrendien antamat arvot nyky- ja seuraajapuustoissa. Näin metsänhoitotöiden kustannustason ja -kehityksen oletettiin ensimmäisen ennustejakson jälkeen toistuvan vuoden 1985 hintatasoa vastaavien reaalisten kustannusten mukaisena.

Puunmyynnistä oletetaan, että metsänhoitoyhdistyksen toimihenkilö leimaa ja on mukana luovutusmittauksessa. Lisäksi metsänhoitoyhdistys avustaa muuten puukaupassa (esim. kaupanteko, pystymittaus, hakkuun

valvonta) tai jos metsänomistaja huolehtii itse mainituista tehtävistä, hänelle aiheutuu kaupanteosta samat kustannukset (esim. puhelin, matkat, menetetty työaika) kuin jos metsänhoitoyhdistys olisi kaupan avustajana. Tässä tehty oletus kaupan tapahtumisesta on ennustejaksoa ajatellen riittävän realistinen, sillä jo nykyään metsänhoitoyhdistykset leimaavat pääosan yksityismetsistä myytävästä puusta ja usein avustavat metsänomistajia muutenkin puukaupassa.

Puunmyynnin kustannusten oletetaan olevan suorassa suhteessa kantohintatasoon. Todellisuudessa ne eivät kuitenkaan määräydy kantohintojen mukaan, vaan metsänhoitoyhdistykset hintasuositussopimusneuvottelujen suositusten pohjalta päättävät oman alueensa yksikkökustannukset. Tehdyn ennusteen mukaan kantohinnat laskivat. Tämän vuoksi ei ole tehty oletusta puunmyyntikustannusten säilymisestä vuoden 1985 mukaisina, koska silloin niiden ennustettaisiin nousevan kantohintoihin nähden.

Metsätalouden harjoittamisen yleiskustannuksia (esim. metsäteiden kunnossapito, metsänhoitomaksu, metsäverot, lainat, vakuutukset, metsätaloussuunnitelmat) ei otettu laskelmissa huomioon. Metsänuudistamisavalla ei katsottu olevan vaikutusta vuotuisiin yleiskustannuksiin, ja niiden oletettiin toistuvan vuosittain reaalisesti samoina kaikissa vaihtoehdoissa. Näin ollen ne aiheuttaisivat vain tietyn tason laskun nykyarvoissa. Metsänparannuslainoilla ja verotuksessa taimikoiden vapaavuosilla on vaihtoehtojen kesken eroja. Erot aiheutuvat siitä, että tapahtumat sijoittuvat vaihtoehdoissa eri ajankohtiin ja diskonttauksessa ne vaikuttavat nykyarvojen suuruuteen. Alustavien laskelmien mukaan vapaavuosien aiheuttama ero ei kuitenkaan ole niin suuri, että se voisi muuttaa edullisuusjärjestystä.

4. EDULLISUUDEN LASKENTAPERUSTEET

Tässä tutkimuksessa metsänuudistamisvaihtoehtojen keskinäinen edullisuusjärjestys määritettiin nykyarvomenetelmällä. Investoinnin edullisuutta kuvaavista malleista katsottiin klassinen nykyarvoihin perustuva pariaalimalli käyttökelpoisimmaksi eri korko-

kannoilla tehtävään edullisuuden määrittämiseen. Vertailu tehtiin metsikkökohtaisesti olettaen, että uudistusalan koko on kaksi hehtaaria. Tutkimuksen tarkoituksena on nimenomaan selvittää uudistamistapojen metsälön muiden metsiköiden käsittelystä tai

metsänomistajan muun talouden vaikutuksista riippumaton edullisuus. Toisaalta metsälötarkastelu ei käytettävissä olleiden aineistojen perusteella olisi ollut mahdollista. Klasisien partiaalimallien käyttöä edullisuuslaskelmissa on selostanut Hämäläinen (1973, s. 48—58 ja 69).

Taloudellisten vertailujen perustana ovat yleensä tulo- ja menosarjat. Nykyarvomenetelmässä eriaikaiset tulot ja menot siirretään — diskontataan tai prolongoidaan — mahdollisesti vaihtoehtoisilla laskentakoroilla samaan ajankohtaan. Tällöin taloudenharjoittajan käytettävissä oletetaan olevan täydellisen kilpailun rahamarkkinoiden otto- ja antolainausmahdollisuudet kullakin laskennassa käytettävällä korkokannalla. Vertailuajankohta on yleensä tarkastelujakson alku ja se on tavallisesti sama kuin päätöksentekohetki. Näin saadaan kustannukset ja tuotot keskenään vertailukelpoisiksi. Yleisimmin diskontauskaavojen mukaan tapahtumien oletetaan toteutuvan kunkin vuoden lopussa. Positiivisen nykyarvon saavat vaihtoehdot ovat tietty edellytyksin kannattavia ja vaihtoehdoista on paras se, jonka nykyarvo käytetyllä laskentakorkokannalla on suurin. (Honko 1979, s. 80)

Nykyarvomenetelmässä vaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen vaikuttavat keskeisimmin juoksevasti syntyvät menot ja tulot, tapahtumien ajoittuminen laskentajakson, laskentajakson pituus, laskentakorkokanta sekä epävarmuustekijät. Kun nämä tekijät selvitetään, saadaan lähtökohta eri vaihtoehtojen edullisuuden tutkimiselle.

Yleensä edullisuuslaskelmissa halutaan mitata suunnitellun investoinnin absoluuttista kannattavuutta. Jos laskelmiin liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä, on tyydyttävä määrittämään vain vaihtoehtoisten investointien keskinäinen suhteellinen kannattavuus. Periaatteessa vaihtoehtojen vertailussa nykyarvomenetelmällä ovat merkitseviä vain erot niiden välillä. Jos jotkin erät voidaan olettaa eri vaihtoehtoisissa absoluuttisesti samoiksi, ne voidaan jättää vertailun ulkopuolelle. Yleensä pyritään kuitenkin selvittämään kaikki ne tuotto- ja kustannuserät, jotka kukin vaihtoehto erikseen tarkasteltuna aiheuttaa (Einola 1964, s. 68—69 ja Honko 1979, s. 42—43).

Tässä tutkimuksessa nykyarvolaskelmien avulla pyrittiin aluksi selvittämään uudistamisen aloitusajankohdan vaikutusta edullisuuteen. Nykyarvolaskelmien avulla tutkit-

tiin luontaiseen uudistamiseen, kylvöön ja istutukseen perustuvien metsänuudistamistapojen keskinäistä edullisuusjärjestystä ja sen riippuvuutta käytetystä laskentakorosta. Tu-loksena saatiin uudistamistapojen keskinäinen edullisuusjärjestys ja siihen keskeisimmin vaikuttavan uudistamishakkuutavan, erityisesti nykypuuston hakkuuajankohtien, merkitys edullisuusjärjestykseen.

Nykyarvojen laskennassa käytettiin osittain apuna SISNA-laskentaohjelmaa, joka on kehitetty Metsäntutkimuslaitoksen liiketaloudellisen metsäekonomian tutkimussuunnalla. Sen avulla laskettiin tehdyistä tuotto- ja hintatiedostoista laskelmassa käytetyt tulot ajankohdittain ja kustannustiedostosta vastaavat menot. Tämän jälkeen ohjelman avulla yhdistettiin tulot ja menot käsittelyohjelmakohtaisiksi tulo-meno -sarjoiksi, joiden perusteella nykyarvot lopullisesti laskettiin.

Laskenta perustettiin erilliseen nykypuuston ja ensimmäisen seuraajapuuston tulo-meno -komponenttiin (A) sekä niiden jälkeisten seuraajapuustojen yhdistettyyn tulo-meno -komponenttiin (B). Ensin laskettiin jokaiselle käsittelyohjelmalle kiertoajan mittaiset netto nykyarvot (B') 3 %:n korolla kiertoajan loppuun prolongoituna. Tämän jälkeen saatu nykyarvo (B') kerrottiin päättymättömän jaksottaiserän pääomistustekijällä $((1 + p)^n - 1)^{-1}$. Jaksottaiserällä tarkoitetaan tässä sellaista tulo- tai menoerää, joka uusiutuu säännöllisin yhtä pitkin väliajoin samansuuruisena. Seuraajapuustojen kiertoajan mittaiset nykyarvot ovat juuri tällainen erä. Näin saatiin ensimmäisen seuraajapuuston jälkeisten kiertoaikojen netto nykyarvot (B) selville ensimmäisen seuraajapuuston päätehakkuuajankohdassa, joka luontaisessa uudistamisessa on ylispuiden poistoajankohta. Näitä netto nykyarvoja nimitetään tässä "maan arvoiksi". Niiden laskennassa käytettiin vain yhtä korkokantaa ja siksi valittiin "metsällinen" 3 %. Tämän jälkeen diskontattiin nykypuuston ja ensimmäisen seuraajapuuston tulo-meno -sarja ja niiden jälkeisten seuraajapuustojen netto nykyarvot (B) ohjelmaa apuna käyttäen nykyhetken korkokannoilla 0—10 % ja saatiin vaihtoehtokohtaiset nykyarvot (C).

Nykyarvojen laskennassa esiintyvät käsitteet:

Nykypuusto ja ensimmäinen seuraajapuusto:

$$A = \sum_i (T_i (1 + p_1)^{-k_i}) - \sum_j (M_j (1 + p_1)^{-k_j}), \text{ jossa}$$

- T_i = hakkuutulo
 M_j = metsänhoito- tai puunmyyntikustannus
 p_1 = laskentakorkokanta sadasosina nykypuustolle ja ensimmäiselle seuraajapuustolle (0–10 %)
 k_i, k_j = tapahtuma-ajankohdan ja laskennan nollassa hetken erotus edellä mainituille puustoille

Nykypuuston ja ensimmäisen seuraajapuuston jälkeiset puusukupolvet:

$$B' = \sum_i (T_i (1 + p_2)^{n_i}) - \sum_j (M_j (1 + p_2)^{n_j}), \text{ jossa}$$

- p_2 = laskentakorkokanta sadasosina nykypuuston ja ensimmäisen seuraajapuuston jälkeisille puusukupolville (tässä $p_2 = 0,03$)
 n_i, n_j = tapahtuma-ajankohdan ja nollassa hetken (= päätehakkuuajankohta) erotus edellä mainituille puusukupolville

$$B = B' ((1 + p_2)^m - 1)^{-1}, \text{ jossa}$$

m = kiertoaika

Lopullinen nettonykyarvo:

$$C = B (1 + p_1)^{-k} + A, \text{ jossa}$$

k = nettonykyarvon B tapahtuma-ajankohdan ja laskennan nollassa hetken erotus

Tällä laskentamenettelyllä saatiin selville myös ns. nollakorkovaihtoehto eli summa kunkin ajankohdan arvoista ilman diskonttausta nyky- ja ensimmäisen seuraajapuuston osalta. Toisaalta laskentajaksoa ei myöskään tarvinnut väkijäisesti katkaista jostain tulevaisuudessa riittävän kaukana olevasta vuodesta. Käytettyyn menettelyyn päädyttiin, jotta saataisiin laskelmiin mukaan kaikki seuraajapuuston jälkeiset kiertoajat ja ns. nollakorkovaihtoehto. ”Maan arvot” siis asetettiin tuottovaatimuksen pohjaksi seuraajapuuston päätehakkuuajankohdasta eteenpäin. Näin ollen lopullisessa nykyarvon laskennassa diskontattiin nykyhetken (1985) nykypuuston ja seuraajapuuston nettotulojen lisäksi ”maan arvo” seuraajapuuston päätehakkuuajankohdasta.

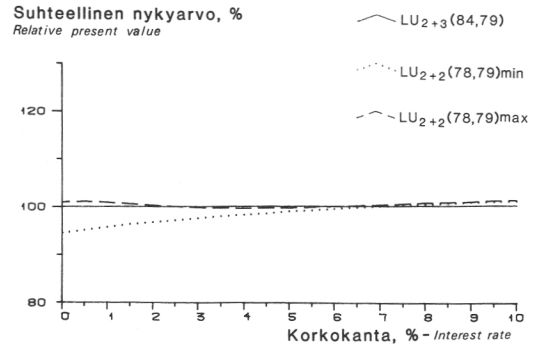
Laskennan tulokset esitetään suhteellisinä nykyarvoina luontaisen uudistamisen perusvaihtoehtoon nähden. Luontaisen uudistamisen vaihtoehto saa arvokseen 100 kullakin korkokannalla. Vaihtoehtojen nykyarvot on tulostettu liitteessä 6.

5. TULOKSET

5.1. Edullisuus perustilanteessa

Luontaisen uudistamisen vaihtoehdot

Luontaisen uudistamisen vaihtoehdot ovat yhtä edullisia noin 6,5 %:n korolla. Sitä suuremmilla koroilla kahden uudistamishakkuun vaihtoehdot ovat hieman edullisempia, koska niissä nykypuustoon sitoutunut pääoma realisoidaan nopeammin kuin kolmen uudistamishakkuun vaihtoehdossa. Jos maanpinnankäsittelyllä ei ole vaikutusta syntyvän taimikon puuntuotokseen, kahden uudistamishakkuun vaihtoehdon suhteellinen edullisuus laskee korkokannan pienentyessä ($r < 5\%$). Välillä 5–6,5 % erot luontaisen uudistamisen vaihtoehtojen välillä ovat merkityksettömät. Perusvaihtoehdolla ja LU_{2+2} (78,79) max vaihtoehdolla ei ole keskinäisessä edullisuudessa oleellisia eroja millään käytetyllä korkokannalla (kuva 10). Tuloksia voidaan siten suuntaa antavasti soveltaa myös nykyisten ohjeistojen mukaiseen luon-



Kuva 10. Luontaisen uudistamisen vaihtoehtojen keskinäinen suhteellinen edullisuus korkokannan funktiona.

Figure 10. The relative profitability of natural regeneration alternatives, as a function of interest rate.

taisen uudistamiseen, sillä maanpinnankäsittelyn avulla voidaan pienentää luontaisen uudistamisen epäonnistumisriskiä.

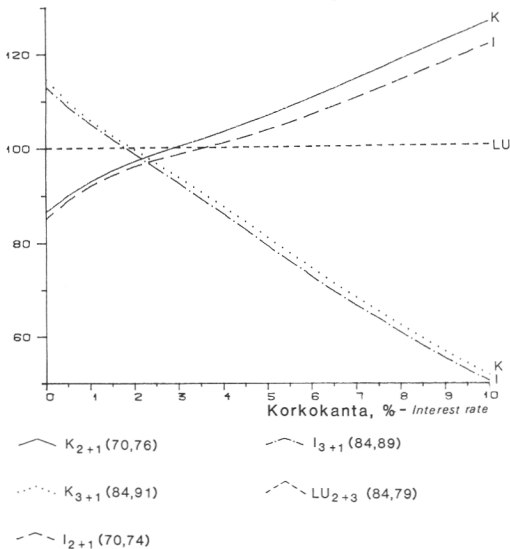
Viljelyvaihtoehdot

Istutusvaihtoehdot jäävät kylvövaihtoehdo- ja huonommiksi kaikilla korkokannoilla (ks. kuvat 11 ja 12). Lyhyen kiertoajan vaihtoehdoissa ero on suurempi, koska kustannusten osuus on suhteessa suurempi kuin pitkän kiertoajan vaihtoehdoissa. Kylvö on siis aina edullisempaa kuin istutus, jos puuntuotoksen taso on sama, vaikka täydennys-istutuskustannukset ovat kylvössä suuremmat, kiertoaika on istutusvaihtoehdoissa lyhyempi ja hakkuutulot realisoituvat siten seuraajapuustoissa aikaisemmin. Näyttää siis siltä, ettei kiertoajan lyheneminen 2 vuodella pysty kompensoimaan suurempia viljelykustannuksia.

Uudistamistapojen keskinäinen vertailu

Viljelyvaihtoehdoja on seuraavassa vertailtu niiden kiertoaikojen pituuden vaihteluiden suhteen ja saatujen tulosten perusteella osa vaihtoehdoista on jätetty pois jatkotarkasteluista. Kuvasta 11 voidaan havaita, että pienillä laskentakoroilla pitkän kiertoajan vilje-

Suhteellinen nykyarvo, %
Relative present value



Kuva 11. Pitkän ja lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehdojen sekä luontaisen uudistamisen perusvaihtoehdon keskinäinen suhteellinen edullisuus korkokannan funktiona.

Figure 11. The relative profitability of artificially regeneration long and short rotation alternatives, compared to the natural regeneration alternative, as a function of interest rate.

lyvaihtoehdojen ja suurilla laskentakoroilla lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehdojen suhteellinen edullisuus paranee luontaisen uudistamisen perusvaihtoehtoon nähden. Pienillä laskentakoroilla (0—1,8 %) käsitellyistä vaihtoehdoista pitkän kiertoajan (KML Tapion ohjeiden mukaiset) viljelyvaihtoehdot ovat nykyarvoilla verrattaessa parhaita. Tähän vaikuttaa kiertoajan kuluessa saatava puuntuotoksen kokonaismäärä ja suuri tukkipuusuus. Puun yksikköarvo on siten korkea ja toisaalta laskentakoron vaikutus on pienimmillään. Pitkän kiertoajan vaihtoehdojen tuottama puumäärä kiertoajan vuotta kohti on kuitenkin pienempi kuin muissa vaihtoehdoissa.

Kun korko on välillä 1,8—2,8 %, luontaisen uudistamisen vaihtoehto on paras. Koron merkitys voimistuu laskennassa ja vaihtoehto, jossa puustoa realisoidaan useassa vaiheessa on edullisin. Tätä suuremmilla koroilla lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehdot ovat parhaita, sillä välittömästi saatavien hakkuutulosten merkitys voimistuu. Vaihtoehdot, joissa on suuri keskituotto kiertoajan vuotta kohti ovat siis optimaalisia.

Noin 2,3 %:n korolla nykyarvojen erot eri käsittelyohjelmien välillä ovat pienimmillään. Vaihtoehdojen nykyarvojen yhtäsuuruus voidaan tulkita nykypuuston arvokasvusta johtuvaksi, sillä tämältyypisissä laskelmissa nykypuuston hakkuutulot ovat lopputulosta dominoivia ja lisäksi tässä tutkimuksessa lähöpuusto on kaikille vaihtoehdoille yhteinen. Nykypuustojen osalta ero pelkistyy edelleenkasvatuksen ja vaihtoehtoistuoton vertailuksi. Nykyarvojen yhtäsuuruus merkitsee sitä, että suhteellinen rajatuotto on edelleenkasvatusjakson vuotta kohti yhtäsuuri kuin käytetty laskentakorko eli rahamarkkinoiden oletettu vaihtoehtoistuotto.

Jos viljelyvaihtoehdon kiertoaika tutkimuksen oletuksilla on pidempi kuin luontaisen uudistamisen vaihtoehdon, laskee sen suhteellinen edullisuus laskentakoron kasvaessa nykypuuston edelleenkasvatuksen takia. Edellä saatu edullisuusjärjestys osoittaa luontaisen uudistamisen tutkimusoletusten ajankohdassa aloitettuna olevan viljelyä edullisempi yli 2 % aikapreferenssin metsänomistajille, mikäli metsänomistaja ei valitse lyhyen kiertoajan vaihtoehtoja.

Vaihtoehdot (K_{3+1} (75, 81) ja I_{3+1} (75, 79)), joissa päätehakkuu tehdään siinä iässä, jolloin vertailtavassa luontaisessa uudistamisessa on saatu taimikko aikaan, ovat kaikilla

korkokannoilla nykyarvoiltaan huonompia kuin luontaisen uudistamisen vaihtoehdot (kuva 12). Näissä vaihtoehdoissa kiertoaika on siis sama kuin luontaisessa uudistamisessa. Vaihtoehtojen määrittelyn yhtenäisyyden vuoksi viisi vuotta ennen päätehakkuuta tehtävä viimeinen harvennushakkuu on laskennassa mukana, vaikkei se taloudellisesti eikä puuntuotannollisesti olekaan järkevä.

Koron suureneminen heikentää vaihtoehtojen K_{3+1} (78, 86) ja I_{3+1} (78, 84) suhteellista edullisuutta, koska ne ovat vain alle 1 %:n korkokannoilla luontaisen uudistamisen perusvaihtoehtoa edullisempia (kuva 12). Jatkotarkasteluista ne jätetään pois, sillä korko on oleellinen laskennan osatekijä.

Jatkotarkasteluun on perusvertailussa mukana olleista vaihtoehdoista valittu vain kolme lähinnä tulosten tulkinnan selkeyttämiseksi. Nämä vaihtoehdot ovat luontaisen uudistamisen perusvaihtoehto, LU_{2+3} (84, 79), ja sekä lyhyen kiertoaajan, K_{2+1} (70, 76), että pitkän kiertoaajan, K_{3+1} (84, 91), kylvövaihtoehdot. Istutusvaihtoehto olivat näillä laskentaoletuksilla kaikilla korkokannoilla kylvövaihtoehtoja huonompia. Pois jätettyjen vaihtoehtojen edullisuus sijoittuu näiden ääri vaihtoehtojen välille. Ne eivät siis herkkyyksilyysissä tehtävillä muutoksilla tule käytetyillä laskentakoroilla tarkasteluun valittuja vaihtoehtoja edullisemmiksi eikä niiden keskinäinen järjestys muutu.

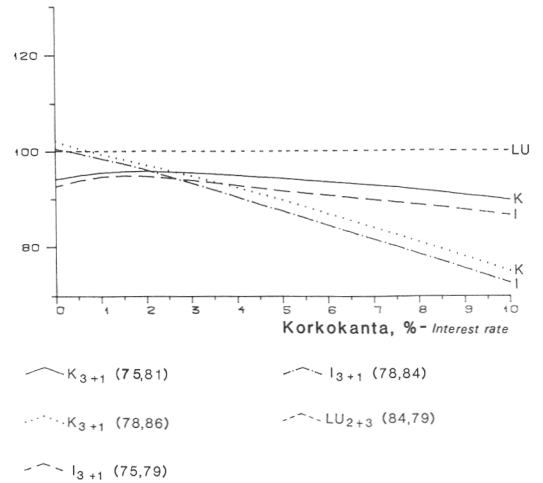
Kiertoaajan merkitys on selvitetty viljelyvaihtoehtojen osalta perusvertailussa eri korkokannoilla. Koska luontaisen uudistamisen aineisto ei anna perusteita kiertoaajan pidentämiseen luontaisen uudistamisen vaihtoehdoissa, ei kiertoaikatarkastelu ole saatavilla olleen empiirisen aineiston huomioon ottaen herkkyyksilyysinä mahdollinen.

52. Herkkyyksilyysit

521. Puutavaralajien hintasuhteiden ja kustannustason vaikutus

Tutkimuksessa tehdyn kantohintaennusteen antama mäntykuitupuun ja -tukkipuun hintasuhte (0,43) on likimain sama kuin hakkuuvuosien 1978/79—1986/85 arvoista laskettu hintasuhteiden keskiarvo (0,42). Tässä tutkimuksessa puutavaralajien hintasuhteiden vaikutusta tarkasteltiin muuttamalla

Suhteellinen nykyarvo, %
Relative present value



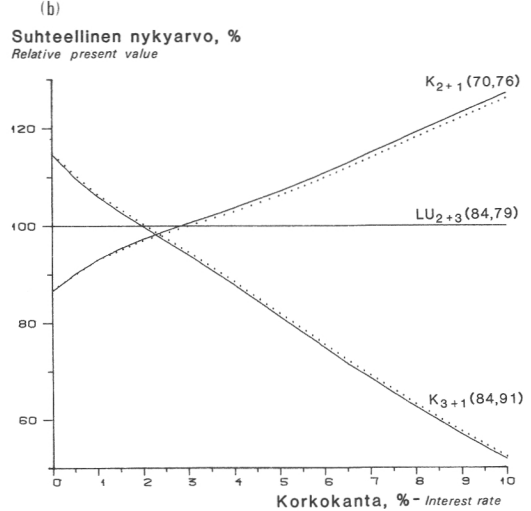
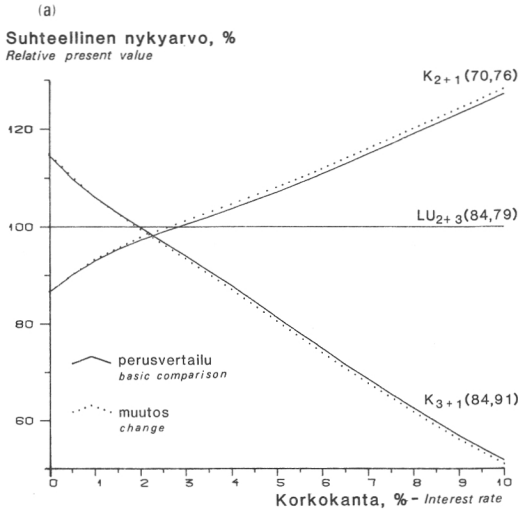
Kuva 12. Jatkotarkasteluista pois jäävien vaihtoehtojen ja luontaisen uudistamisen perusvaihtoehdon keskinäinen suhteellinen edullisuus korkokannan funktiona.

Figure 12. The relative profitability of alternatives which are excluded from sensitivity analyses compared to the natural regeneration alternative, as a function of interest rate.

sekä hintataso että hintasuhte heti ennustejaksos alussa. Hinnat pyrittiin kuitenkin pitämään realistisina. Laskennassa käytettiin ennusteiden odotusarvoille saatuja 50 %:n luottamusrajoja. Saaduilla luottamusrajoilla tukkipuun hinnanmuutos on $\pm 16\%$ ja kuitupuun $\pm 20\%$ perusvertailun tasoon nähden.

Jos kuitupuun hinta laskee 20 %, saadaan kuitu- ja tukkipuun hintasuhteeksi 0,34 ja hinnan noustessa 20 % on hintasuhte 0,51. Sama hintasuhte (0,51) saadaan kun tukkipuun hintaa lasketaan 16 %. Nostamalla tukkipuun hintaa 16 % hintasuhte on edellisten välissä eli 0,37. Näiden tulosten perusteella päädyttiin herkkyyttä testaamaan mäntykuitupuun hinnanmuutoksilla. Kantohintasuhteiden muutoksilla ei oleteta olevan merkitystä puunmyyntikustannuksiin; ne ovat siis samat kuin perusvertailussa.

Oletetaan, että kuitupuun hinta alenee 20 %, kaikkien vaihtoehtojen edellä määritellyt ”maan arvot” pienenevät 6—7 % ja ero nykyarvossa on kaikissa vaihtoehdoissa suurimmillaan 3 % perustilanteeseen nähden. Pienillä laskentakoroilla erot lopputuloksessa ovat merkityksettömiä, sillä seuraajapuustojen tapahtumilla on oma vaikutuksensa lop-



Kuva 13. Herkkyysanalyysin tulos kun mäntykuitupuun hinta on 20 % alempi (a) ja 20 % korkeampi (b) kuin perusvertailussa.

Figure 13. The result of sensitivity analysis when the price of pine pulpwood is 20 % lower (a) and 20 % higher (b) than in the basic comparison.

putulokseen ja erot tukki-kuitupuun -määräsuhteissa ovat pieniä vaihtoehtojen välillä. Suurilla laskentakoroillakaan ei edullisuuteen saada merkittäviä eroja (kuva 13).

Kuitupuun hinnan noustessa 20 % tilanne on pääpiirteissään samanlainen: ero ”maan arvoissa” on 4,5–6,5 % ja lopullisissa tuloksissa suurimmillaan vajaat 3 % perustilanteeseen verrattuna. Yhteenvetona voidaan todeta, ettei tässä kokeiluilla puutavaralajien hintasuhteiden muutoksilla ole merkitystä vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen. Toki vaikutusta on kuitenkin vaihtoehtojen absoluuttisiin nykyarvoihin (kuva 13).

Edellä esitetyissä laskelmissa hintasuhte muuttui heti ennustejakson alussa. Toinen mahdollinen tarkastelutapa on muuttaa tukki- ja kuitupuun hintaa trendinomaisesti ennusteen odotusarvon ja 50 %:n luottamusrajan välillä. Tällöin hintasuhte muuttuu vähitellen edellä esitettyjen laskelmien ääriarvoiksi. On myös mahdollista muuttaa hintoja trendinomaisesti säilyttäen hintasuhte ennustejaksolla vakiona. Alustavien tarkastelujen mukaan ei laskentatavan muutoksella ole oleellista vaikutusta herkkyysanalyysin tulokseen. Toisaalta tulee ongelmaksi muutoksen nopeuden — trendin kulmakertoimen — selvittäminen.

Metsänuudistamiskustannusten vaikutusten alustavassa analyysissä todettiin ettei eroja perusvertailuun nähden synny kuin suuril-

la korkokannoilla. Tällöin nykypuuston hakkuutulojen ja uudistamiskustannusten vaikutus nykyarvoon korostuu. Nykypuuston hakkuutuloilla ja niiden realisoimisajankohdalla on luonnollisesti suurempi vaikutus lopputulokseen kuin metsänhoitotöiden kustannuksilla, jotka ovat luontaisessa uudistamisessa 5 %, kylvössä 11 % ja istutuksessa 14 % nykypuuston hakkuutuloista. Puunmyyntikustannukset ovat nykypuuston hakkuissa 2 % ja muissa hakkuissa 2–6 % hakkuutuloista.

Koska osa uudistamistöistä (raivaus, maanpinnankäsittely, täydennysistutus, taimikonhoito) oletetaan tehtäviksi kaikissa vaihtoehdoissa, niin kustannusten tason muutos muuttaa kaikkien vaihtoehtojen nykyarvoa, mutta ei suhteellista edullisuusjärjestystä. Kylvön ja istutuksen kustannusten vaikutusta voitaisiin perustellusti analysoida, mutta tässä tutkimuksessa tehdyt oletukset eivät anna mahdollisuutta viljelyvaihtoehtojen keskinäiseen vertailuun. Metsänuudistamiskustannukset ovat myös markkamääriltään niin pieniä verrattuina hakkuutuloihin ja niiden muutoksiin, ettei kustannusten realistisilla muutoksilla ole merkittävää vaikutusta edullisuusjärjestykseen. On kuitenkin muistettava, että esim. taimien hinnan (noin 1 000 mk/ha) muutoksella on oleellinen vaikutus vaihtoehdon sisäistä kannattavuutta laskettaessa.

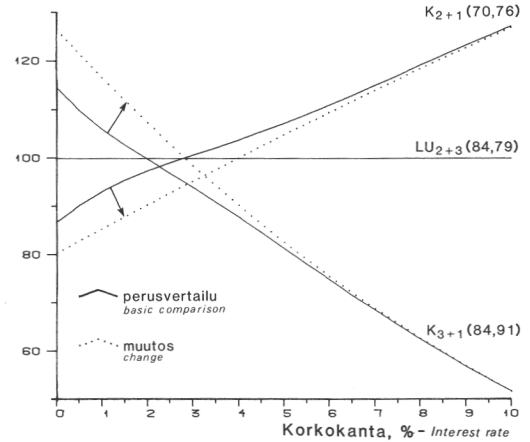
Metsänomistajan kannalta on usein hyödyllistä tarkastella kannattavuutta myös lyhyellä aikavälillä: harvoinhan hän omistaa metsälöään kymmeniä vuosia. Kun laskentajakson pituus oletetaan päätöksentekijän aikahorisontin pituiseksi, ei tämän ajanjakson jälkeisiä tapahtumia oteta huomioon vaihtoehtojen vertailussa. Käytettävän laskentajakson pituudella on oletettavasti merkitystä vaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen (esim. Keltikangas ja Tiililä 1968, s. 15—17, Keltikangas 1971, s. 54—55 ja 1973, s. 21—22 tai Kardell 1986, s. 12—13).

Empiiristen tutkimustulosten vähyyden vuoksi ei tämän tutkimuksen herkkyyden analyysin laskentajakson pituudeksi voitu valita metsänomistajan keskimäärin käyttämiä eripituisia aikahorisontteja. Laskentajaksosta päätettäessä ensisijaisena kriteerinä oli vaihtoehtojen vertailukelpoisuuden säilyttäminen. Herkkyyden analyysissä laskentajakso lyhennettiin ikuisuuteen ulottuvasta tarkastelusta 30 vuoteen, sillä näin saadaan vertailtavissa vaihtoehtoissa mukaan nykypuuston hakkuutapahtumat sekä uudistamistoimenpiteet mukaanlukien täydennysistutus ja taimikonhoito. Missään vaihtoehdossa ei kuitenkaan saada vielä hakkuutulosta seuraajapuustosta. Jos laskentajaksoa pidennettäisiin esim. 40 vuoteen, ei uusia tapahtumia tule mukaan ja edullisuusjärjestys pysyy samana. Kun laskentajaksoa pidennetään vielä 10 vuotta, tulee luontaisen uudistamisen ja lyhyen kiertojen viljelyvaihtoehtoissa seuraajapuuston ensimmäinen harvennus mukaan. Näin ollen pitkän kiertojen vaihtoehdon suhteellinen edullisuus huononee, etenkin pienillä laskentakoroilla (vrt. liite 5).

Laskentajakson lyhentäminen 20 vuoteen puolestaan parantaa pitkän kiertojen vaihtoehdon suhteellista edullisuutta, sillä täydennysistutus ja taimikonhoito jäävät toimenpiteinä pois. Tätä lyhyempää laskentajaksoa ei ole syytä kokeilla, sillä pitkän kiertojen viljelyvaihtoehdosta jäävät uudistamistoimenpiteet pois ja luontaisen uudistamisen vaihtoehdosta siemenpuiden poisto. Laskelmat eivät tällöin olisi vertailukelpoisia perusvertailun tulosten kanssa.

Kun laskentajaksoa lyhennetään ikuisuuteen ulottuvasta tarkastelusta 30 vuoteen, vaihtoehtojen keskinäinen edullisuus muuttuu melkoisesti (kuva 14). Perustilanteeseen verrattuna erot ovat suurimmillaan pienillä

Suhteellinen nykyarvo, %
Relative present value



Kuva 14. Herkkyyden analyysin tulos kun laskentajakso on 30 vuotta.

Figure 14. The result of sensitivity analysis when the calculation period is 30 years.

laskentakoroilla. Tämä johtuu uudistamisajanjaksoa seuraavien tapahtumien poisjättämisestä. Kun korko on yli 5 %, niin erot nykyarvoissa tasoittuvat ja suurilla laskentakoroilla tulos on sama kuin perusvertailussa (vrt. puuntuotostason muuttuminen, kuva 16).

Laskentajakson lyhetessä lyhyen kiertojen viljelyvaihtoehdon suhteellinen edullisuus huononee luontaiseen uudistamiseen nähden, pitkän kiertojen vaihtoehdon taas paranee. Huomattavaa on, että korkoväli, jolla luontainen uudistaminen on viljelyvaihtoehtoja edullisempaa on nyt kokonaan toinen: se alkaa 2,8 %:sta ja loppuu 4,1 %:iin. Lyhyen kiertojen viljelyvaihtoehdon suhteellinen edullisuus muuttuu suurimmillaan 7 % ja pitkän kiertojen 10 % perustilanteeseen verrattuna.

Pienillä laskentakorkokannoilla seuraajapuustojen tapahtumien sisällyttämisellä laskelmiin tai niiden poisjättämisellä on oleellinen merkitys nykyarvoihin. Pitkän kiertojen viljelyvaihtoehdon suhteellinen edullisuus luontaisen uudistamisen perusvaihtoehtoon nähden paranee lyhyen kiertojen viljelyvaihtoehtoon verrattuna. Syynä on se, että laskentajakson puitteissa realisoitavan puuston määrä on pitkän kiertojen vaihtoehdossa suhteessa luontaisen uudistamisen vaihtoehtoon suurempi kuin lyhyen kiertojen vaihtoehdon. Lisäksi pitkän kiertojen

vaihtoehdossa tapahtumat ajoittuvat laskentajakson loppupuolelle. Siten myös koron kasvaessa muutoksen ja perusvertailun ero pienenee nopeammin kuin lyhyen kiertojakson vaihtoehdon.

Kun laskentajakso on 20 vuotta, niin pitkän kiertojakson vaihtoehdon suhteellinen edullisuus paranee vähän muihin vaihtoehtoihin nähden, sillä täydennysistutus ja taimikonhoito jäävät siinä toimenpiteinä pois. Tulos on oleellisilta osiltaan sama kuin tilanteessa, jossa laskentajakso on 30 vuotta.

523. Uudistumisajan vaikutus

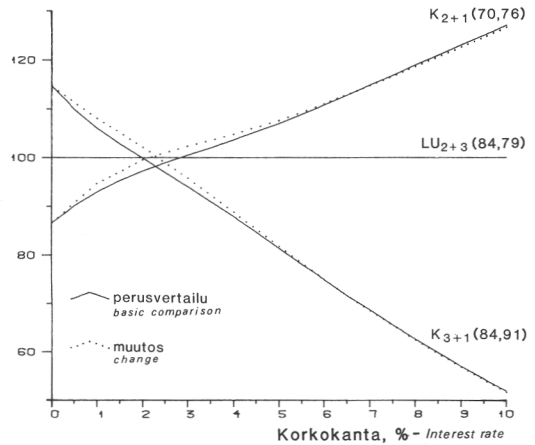
Kun luontaisen uudistamisen vaihtoehdossa uudistumisaikaa pidennetään vielä 4 vuodelle perusvertailuun nähden, saadaan taimikon syntymähetkeksi keskimäärin 8 vuotta ensimmäisen uudistamiseen tähtävään hakkuun jälkeen. Tällä luokalla on valitussa aineistossa myös suurin frekvenssi (kuva 2). Viljelyvaihtoehtojen lähtötiedot pysyvät tässä vertailussa entisellään.

Uudistumisajan kasvaessa luontaisessa uudistamisessa tapahtumien ajoittuminen ja kiertojakat seuraajapuustoissa muuttuvat. Nykypuuston hakkuuajankohdat pidettiin samoina, koska jo perustilanteessa siemenpuiden poistoa oli ”viivytelty” ja toisaalta ainoastaan tulevan 5 vuoden kasvun laskentaan kehitetty tilavuuskasvuprosenttia selittävä yhtälö (Gustavsen 1977) ei anna enää luotettavia tuloksia näin pitkällä ajanjaksolla.

Tulos on oleellisesti muista herkkyyssanalyyseistä poikkeava, sillä eroja tulee nyt vain yhtä suuremmilla ja viittä pienemmillä laskentakorkokannoilla (kuva 15). Alle 1 %:n koroilla eroja ei synny, koska tapahtumien ajoittumisen muutoksilla ei ole merkitystä. Toisaalta yli 5 %:n koroilla lähinnä nykypuuston tapahtumilla on lopputuloksen kannalta suuri merkitys, mutta nykypuuston käsittelyhän ei muutettu.

Merkittävintä on, että luontaisen uudistamisen vaihtoehto ei 8 vuoden uudistumisajalla ole millään korkokannalla viljelyvaihtoehtoa edullisempi. Perusvertailuun nähden ero on suurimmillaan kun korkokanta on 2,5 %. Kun korko on välillä 1–5 %, luontaisen uudistamisen vaihtoehdon suhteellinen edullisuus huononee viljelyvaihtoehtoihin nähden. Näillä korkokannoilla seuraajapuusto-

Suhteellinen nykyarvo, %
Relative present value



Kuva 15. Herkkyyssanalyysin tulos kun luontaisen uudistamisen vaihtoehdon uudistumisaika on 8 vuotta.

Figure 15. The result of sensitivity analysis when the regeneration time in natural regeneration is extended by 4 years.

jen tapahtumat vaikuttavat merkittävästi nykyarvoihin ja tässä muutoksessa oleellisinta on hakkuiden siirtyminen myöhäisemmäksi ja siten nettotulojen pieneneminen luontaisen uudistamisen perusvaihtoehdossa.

524. Puuntuotoksen tason vaikutus

Luontaisessa uudistamisessa puuntuotoksen tason muutos on periaatteessa selvitetty jo perusvertailussa, eikä sen muuttaminen ole seuraajapuuston osalta perusteltua (vrt. inventointitiedot). Viljelyvaihtoehtojen puuntuotoksen taso perusvertailussa on suurelta osin oletusten varassa. Ainoastaan muutama inventointitunnuksiin perustuen niiden oletetaan saavuttavan tässä käytetyn Vuokilan ja Väliähon (1980) kehityssarjan puuntuotostason. Tämän vuoksi on herkkyyssanalyyssillä haluttu testata tilannetta, jossa viljelyssä saavutetaan tämän tutkimuksen laskelmissa käytetty luontaisen uudistamisen puuntuotosta vastaava taso.

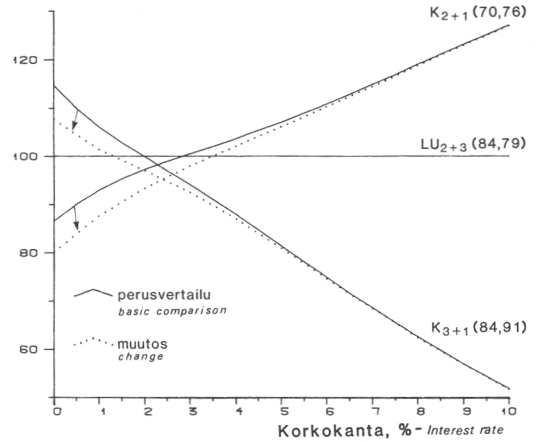
Luontaisen uudistamisen lähtöarvot pysyvät tässä vertailussa entisellään. Lyhyen kiertojakson viljelyvaihtoehdossa tuotosten oletetaan nykypuuston osalta pysyvän samoina kuin perusvertailussa, seuraajapuustossa har-

vennushakkuutiedot ovat samat kuin luontaisessa uudistamisessa ja samoin seuraajapuuston päätehakkuutiedot ja siten ”maan arvo” muuttuvat perusvertailuun nähden. Pitkän kiertoajan vaihtoehdossa nykypuuston tuotokset ovat perusvertailun mukaiset, seuraajapuuston kaksi ensimmäistä harvennusta ovat luontaisen uudistamisen mukaiset ja kolmas harvennus, päätehakkuutiedot ja siten ”maan arvo” muuttuvat perusvertailuun nähden.

Kuvan 16 mukaan molemmat viljelyvaihtoehdot huononevat suhteessa luontaisen uudistamisen vaihtoehtoon ja korkokantaväli, jolla luontainen uudistaminen on edullisinta laajenee 1,3—3,5 %:ksi (ennen 1,8—2,8 %, vrt. kuva 11). Keskimäärin viljelyvaihtoehtojen puuntuotos on nyt 8 % pienempi kuin perusvertailussa. Tällä muutoksella on seuraavia vaikutuksia: harvennushakkuukertymä pienenee vajaat 10 %, puunmyyntikustannukset alenevat oletuksista johtuen samassa suhteessa kuin kertymäkin, hakkuukerroitain puumäärän arvo pienenee 8—16 %, toisessa harvennuksessa eniten ja ”maan arvo” pienenee noin 13,5 %. Lopputuloksessa nykyarvojen muutos on suurimmillaan 6—7 % ja suhteellisissa nykyarvoissa ero on suurimmillaan samaa suuruusluokkaa perustilanteeseen verrattuna.

Erot ovat suurimmillaan pienillä laskentakorkokannoilla, sillä seuraajapuustojen tuo-

Suhteellinen nykyarvo, %
Relative present value



Kuva 16. Herkkyysoanalyysin tulos kun viljelyvaihtoehdon puuntuotoksen taso laskee.

Figure 16. The result of sensitivity analysis when the level of timber production decreases in the artificial regeneration alternatives.

toksella on silloin suhteellisesti suurin merkitys. Kun korko on suurempi kuin 5 % nykyarvojen erot alkavat supistua seuraajapuustojen merkityksen pienetessä. Korkokannan noustessa edullisuusjärjestykseen vaikuttavat oleellisesti nykypuuston hakkuut ja lähitulevaisuuden tapahtumat yleensäkin.

6. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tulosten mukaan eri laskentakorkokannoilla lasketusta edullisuusjärjestyksestä voidaan havaita, ettei mikään vaihtoehto ole kaikilla korkokannoilla dominoiva. Tulos on pääasiassa seurausta itse tapahtumien ajoittumisesta tarkastelujakson puitteissa, mutta toisaalta asetettu tuottovaatimus eli korko antaa eri ajankohtina oleville tapahtumille erilaiset painoarvot. Alle 1,8 %:n laskentakorkokannalla saatiin muuttujien perusarvoilla tarkasteltuna nykyarvoitaan edullisimmaksi vaihtoehdoksi pitkän kiertoajan kylvövaihtoehto K_{3+1} (84, 91). Korkokannoilla 1,8—2,8 % vaihtoehdoista edullisin oli luontainen uudistaminen ja tätä suuremmilla korkokannoilla lyhyen kiertoajan kylvövaihtoehto K_{2+1} (70, 76).

Istutusvaihtoehdot olivat kaikilla käytetyillä korkokannoilla nykyarvoiltaan kylvövaihtoehtoja huonompia. Istutusvaihtoehtojen kylvövaihtoehtoja lyhyempi kiertoaika ja siten aikaisemmat hakkuutulot seuraajapuustoissa eivät siis kompensoineet suurempia uudistamiskustannuksia tämän edullisuusvertailun oletuksilla. Kiertoajalla ja päätehakkuun tukkipuusuudella on suuri merkitys nykyarvoihin ja siten suhteelliseen edullisuusjärjestykseen niin vertailtavien uudistamistapojen sisällä kuin myös niiden kesken. Luontaisessa uudistamisessa maanpinnankäsittelyn kustannukset, puuntuotoksen kasvu tai siirtyminen kahteen uudistamishakkuuseen eivät muuta vaihtoehtojen keskinäistä edullisuutta mitenkään oleellisesti. Puuntuotoksen

määrä kiertoajan vuotta kohti on suurimmillaan LU_{2+2} (78, 79) max vaihtoehdossa.

Jos uudistamistapaan liittyy heti tarkaste-luajankohtana tai välittömästi sen jälkeen hakkuutulo, nettohyötyarvomenetelmään perustuvissa laskelmissa tällä tulojen aikaisuudella on edullisuuteen sitä suurempi suhteellinen vaikutus mitä korkeampi laskentakorko on. Näin ollen uudistamisessa nykypuuston hakkuiden aloittamisajankohdalla on keskeinen vaikutus vaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen, sillä diskonttaustekijä pienenee kun korko ja/tai diskonttausajanjakso suurenevät. Tällöin luontaisen uudistamisen aloittamisajankohta suhteessa viljelyvaihtoehdon avohakkuuseen vaikuttaa ratkaisevasti vaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen. Järjestys vaihtuu korkokannan noustessa ensisijaisesti siksi, että metsää luontaisesti uudistettaessa nykypuustoon sitoutunutta pääomaa saadaan realisoiduksi aikaisemmin kuin myöhäisen päätehakkuun viljelyvaihtoehdoissa. Hakkuissa ei kuitenkaan menetetä koko nykypuuston jäljellä olevaa kasvua kuten varhaisen päätehakkuun viljelyvaihtoehdoissa. Vaihtoehtojen eroilla uudistamisketjujen kustannuksissa osoittautui olevan varsin vähän vaikutusta edullisuussuhteisiin.

Keskusmetsälautakunta Tapion metsien käsittelyohjeiden mukaisissa uudistamiskypsyyden täyttävissä metsiköissä nykypuuston arvokasvu on pienempi kuin tässä tutkimuksessa käytetyllä päätöksentekohetkellä. Tapion ohjekiertajoilla viljelyvaihtoehto on edullisempi suhteessa samaan aikaan aloitettuun luontaiseen uudistamiseen kuin tämän tutkimuksen laskelmissa. Tällöin puuston paras arvokasvuvaihe on jo ohitettu, eikä puustoa tai sen osaa edelleen kasvattamalla saavuteta vastaavaa puuston arvonlisäystä kuin tämän tutkimuksen vertailussa. Edellä esitetyt edullisuuslaskelmat osoittivat, että luontainen uudistaminen olisi tietyin edellytyksin yksityistaloudellisesti perusteltua aloittaa VT-männikössä ennen nykyisten ohjeiden mukaista uudistamiskypsyyttä (puuston ikä 90 vuotta). Uudistaminen on mahdollista toteuttaa ilman puustotappioita, mikäli puustopääoma säilytetään riittävänä (vrt. inventointitietoja nykyisiin uudistamisohjeisiin). Luontaisen uudistamisen hakkuutulosten painotuminen pitkän kiertoajan viljelyvaihtoehdon päätehakkuutulosta aikaisemmaksi tekee vaihtoehdon edulliseksi metsänomistajalle, joka arvostaa nykytulosta suhteessa tuleviin tuloihin (kuva 11).

Tässä tutkimuksessa käytetyillä mäntykuitu- ja -tukkipuun hintasuhteiden muutoksilla ei herkkyyksianalyyseissä todettu olevan merkittävää vaikutusta edullisuusjärjestykseen, sillä tukki- ja kuitupuun tuotoksen suhteissa ei ole suuria eroja vaihtoehtojen välillä. Samoin metsänhoitotöiden kustannusten realistisissa rajoissa tapahtuvalla vaihtelulla ei voi olla merkittävää vaikutusta edullisuussuhteisiin, koska kustannukset ovat markkamääriltään pieniä ja metsänhoitotoimenpiteet tehdään kaikissa vaihtoehdoissa.

Laskentajakson lyhentäminen ikuisuuteen ulottuvasta tarkastelusta 20 ja 30 vuoteen vaikuttaa merkittävästi tuloksiin (vrt. kuva 14). Tällöin pitkän kiertoajan viljelyvaihtoehdon suhteellinen edullisuus paranee ja lyhyen kiertoajan vaihtoehdon huononee luontaisen uudistamisen vaihtoehtoon nähden etenkin matalilla korkokannoilla. Samalla korkokantaväli, jolla luontainen uudistaminen on edullisinta muuttuu. Tulokseen vaikuttaa merkittävimmin seuraajapuustojen tapahtumien poisjättäminen; siten nykypuuston hakkuut ja metsänhoitotyöt ja niiden ajoittuminen saavat aikaan havaitun muutoksen.

Jos luontaisen uudistamisen vaihtoehdon uudistumisaika on perusvertailussa edellytety 4 vuoden sijasta 8 vuotta, sen suhteellinen edullisuus pienenee viljelyvaihtoehtoihin nähden, etenkin korkokannan ollessa välillä 1—5 %. Näillä laskentakorkokannoilla diskontattaessa on seuraajapuustojen tapahtumilla vaikutuksensa nykyarvoihin ja siten tapahtumien ajoittuminen myöhemmäksi pienentää luontaisen uudistamisen vaihtoehdon nettohyötyarvoja.

Viljelyvaihtoehtojen puuntuotoksen lasku seuraajapuustossa aiheuttaa luontaisen uudistamisen vaihtoehdon suhteellisen edullisuuden paranemisen perusvertailuun nähden. Pienillä korkokannoilla ero on merkittävä, sillä seuraajapuustojen tapahtumilla on suhteellisesti sitä suurempi vaikutus nykyarvoihin, mitä matalampi korkokanta on. Suurilla laskentakoroilla erot supistuvat, sillä lopputulokseen vaikuttavat oleellisesti nykypuustojen muuttumattomina pidetyt tapahtumat.

Tämän tutkimuksen herkkyyksianalyyseissä tulokset osoittavat, että metsänhoitotöiden kustannuksilla ja kantohinnoilla on vähäinen merkitys edullisuusjärjestykseen tuotosennusteiden mahdollisiin virheisiin verrattuna. Lisäksi käytettävä korkokanta, tapahtumien

ajoittuminen laskentajaksolla ja laskennan ajallinen ulottuvuus vaikuttavat keskeisesti tuloksiin. Laskentatilanne ja oletettavasti myös tulokset muuttuvat, mikäli metsänomistaja liittyy uudistamispäätökseen uudistettavaa metsikköä koskevien tavoitteiden lisäksi muita oman taloutensa tavoitteita.

Tutkimustuloksia sovellettaessa on muistettava, että tuloksiin liittyy kasvu-, tuotosta ja poistumasarjoista, kantohintojen ja metsänhoitotöiden kustannuskehityksestä sekä lukuisista tutkimusoletuksista johtuvaa epävarmuutta. Tämän tyyppisissä laskelmissa

voidaankin pyrkiä vain vähentämään epävarmuus mahdollisimman pieneksi. Lisäksi laskelmat tehtiin metsikkökohtaisesti, joten metsälökohtaisina tulokset saattavat poiketa tässä esitetystä. Ennen kuin metsänuudistamistapojen keskinäistä edullisuutta selvittävien laskelmien tuloksia hyödynnetään käytännön päätöksenteossa, on tämän tutkimuksen puutteiden ja luotettavuutta heikentävien tekijöiden poistamisen lisäksi tehtävä muita kasvupaikkoja, puulajeja ja siten uudistamisketjuja koskevia lisälaskentoja ja tutkimuksia.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Ahonen, L. 1970. Diskonttausarvo metsän hinnoitusinformaationa. Referat: Der Diskontierungswert als Information für die Preisschätzung des Waldes. Acta Forestalia Fennica 105. 81 s.
- Andersson, S. & Ericson, O. 1978. Skogsbrukets lönsamhetsutveckling 1970—1987. Summary: Profitability in forestry 1970—1987. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse 4. 28 s.
- Beuter, J. H. & Handy, J. K. 1974. Economic guidelines to reforestation for different ownerships. A case study for the coast range of western Oregon. Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University. Research paper 23. 69 s.
- Box, G. E. P. & Jenkins, G. M. 1976. Time series analysis: Forecasting and control. Holden-Day. 575 s.
- Buongiorno, J. & Teeguarden, D. E. 1973. An economic model for selecting Douglas-fir reforestation projects. Hilgardia 42(3): 35—119. California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley.
- Chappelle, D. E. 1969. A computer program for evaluating forestry opportunities under three investment criteria. U.S.D.A. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Research paper PNW-78. 64 s.
- Einola, J. 1964. Yksityistaloudelliset vaihtoehtolaskelmat. Referat: Vergleichende Rentabilitätsberechnungen in Privatforsten. Acta Forestalia Fennica 77(4). 80 s.
- Eriksson, L. 1981. En model för konsekvensberäkning och analys av skogsskötselprogram. Summary: A model for calculating consequences of silvicultural programs. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsteknik. Rapport 138. 105 s.
- Etelä-Suomen metsien käsittelyohjeet. 1981. Tapio 3. Keskusmetsälautakunta Tapio. 20 s.
- Gustavsen, H. G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Summary: Finnish volume increment functions. Folia Forestalia 331. 37 s.
- 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtipuuden avulla. Summary: Site index curves for conifer stands in Finland. Folia Forestalia 454. 31 s.
- Hahtola, K. 1971. Forest owner's decision making and theories of the firm. Seloste: Metsänomistajan päätöksenteko ja yrityksen teorit. Työtehoseuran julkaisuja 158. 25 s.
- 1973. The rationale of decision making by forest owners. Seloste: Metsänomistajien päätöksenteon perusteet. Acta Forestalia Fennica 130. 112 s.
- Haight, R. G. 1987. Evaluating the efficiency of even-aged and uneven-aged stand management. Forest Science 33(1): 116—134.
- Honko, J. 1979. Investointien suunnittelu ja tarkkailu. 5. painos. WSOY. Porvoo—Helsinki—Juva. 263 s.
- Hämäläinen, J. Kaila, S. & Keskinen, S. 1985. Laskentajärjestelmä metsänviljelyn menetelmien vertailuun. Metsätehon katsaus 18. 4 s.
- Hämäläinen, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: Underlying models and empirical applications. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 77(4). 178 s.
- 1982. Metsä sijoituskohteena. PTT katsaus 2. Pel-lervon taloudellinen tutkimuslaitos. s. 29—41.
- Hänninen, T., Räsänen, P. K. & Yli-Vakkuri, P. 1972. Männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen antamista tuloksista Etelä-Suomen kangasmailla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 7. 96 s.
- 1974. Harvennussuunnitelman puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa. Summary: The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the southern half of Finland. Folia Forestalia 208. 32 s.
- Kajanus, M. 1981. Puunkorjuuteknologia ja korjuukustannukset metsänviljelyyn ja luontaiseen uudistamiseen tähtäävässä hakkuissa. Metsäteknologian laudaturtyö metsätutkimusta varten. Helsingin yliopisto. 45 s.
- Kardell, L. 1986. Sådd, plantering eller självföryngring? Summary: Sowing, planting or natural regeneration? Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 1: 3—15.
- Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P. K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 56. Joensuun tutkimusasema. 103 s.
- Keipi, K. & Laakkonen, O. 1980. Päätehakkuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja. Summary: Profitability comparisons of urea

- fertilization in old stands. *Folia Forestalia* 420. 35 s.
- Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1966. Kylvön ja istutuksen taloudellinen edullisuusjärjestys ojitetuilla soilla. Summary: The relative profitability of seeding and planting on open swamps. *Suo* 2:31—38.
- & Tiililä, P. 1968. Koivun ja kuusen istutuksen keskinäinen edullisuusjärjestys käenkaali-mustikka-tyyppin metsämailla. Summary: The economic sequence of common birch (*Betula verrucosa*) and Norway spruce (*Picea abies*) when planting *Oxalis-Myrtillus* type forest land. *Acta Forestalia Fennica* 82(5). 63 s.
- 1971. Time factor and investment calculations in timber growing. Theoretical fundamentals. Seloste: Aikatekijä ja investointilaskelmat puunkasvatuksessa. Teoreettisia perusteita. *Acta Forestalia Fennica* 120. 68 s.
- 1973. Aikatekijän käsittely puunkasvatukseen liittyvissä investointilaskelmissa. Summary: Handling of time factor in investment calculations concerning timber growing. Helsingin yliopiston metsätalouden liiketieteen laitos. *Julkaisuja* 10. 35 s.
- 1976. Economic problems in reforestation and afforestation. Referat: Ökonomische Probleme der Aufforstung. IUFRO World congress, Oslo, Norway, June 20 — July 2, 1976, div. IV. s. 347—355.
- Leikola, M., Metsämuuronen, M., Räsänen, P. K. & Taimisto, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa v. 1967—1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975. *Folia Forestalia* 312. 27 s.
- Leskinen, E. 1977. Aika-alueen keinoista mallien rakentamisessa: Auto- ja ristikorrelaatioanalyyseistä. Teoksessa: Bläfield, E., Leskinen, E. & Teräsvirta, T. (toim.). Aikasarja-analyyseistä menetelmiä. Suomen Tilastoseuran julkaisuja 4: 78—119.
- Lohmander, P. 1984a. On the effect of price risk on the expected optimal harvest year. *Sveriges Landbruksuniversitet, Institutionen för Skogsekonomi. Arbetsrapport* 29. 27 s.
- 1984b. On the optimal investment intensity under the influence of price risk and successive decisions. *Sveriges Landbruksuniversitet, Institutionen för Skogsekonomi. Arbetsrapport* 29. 27 s.
- 1984c. On the optimal choice of species under the influence of price risk. *Sveriges Landbruksuniversitet, Institutionen för Skogsekonomi. Arbetsrapport* 37. 14 s.
- Lundgren, A. L. & Schweitzer, D. L. 1971. NCRETURN computer program for evaluating investments revised to provide additional information. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Research note NC-111. 4 s.
- 1973. Cost-price: a useful way to evaluate timber growing alternatives. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Research paper NC-95. 16 s.
- Metsänhoito-ohjeiden luonnos. 1988. Keskusmetsäläytakunta Tapio (27.6.1988). 67 s. Moniste.
- Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö. 1971. Komiteamietintö 1970: B 91. Summary: Report of the committee on the costs of forest planting and seeding. *Folia Forestalia* 109. 160 s.
- Nadeau, J.-P. 1970. Economics of reforestation. *The Forestry Chronicle* 46(12): 487—490.
- Oksanen, L. 1988. Eteläsuomalaisen VT-männikön uudistamisvaihtoehtojen yksityistaloudellinen edullisuusvertailu. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, metsätalouden liiketieteen laitos. 110 s.
- Parviainen, J., Sokkanen, S. & Ruotsalainen, M. 1985. Metsänuudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjelma ”VILJO”. Summary: A calculation system for the comparison of forest regeneration chains. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 179. Joensuun tutkimusasema. 93 s.
- Payandeh, B. 1977. Making most of forest managers' knowledge in choosing economically desirable regeneration systems. *The Forestry Chronicle* 53(12): 355—363.
- 1988. PLANT: A model for artificial forest regeneration in Ontario. Teoksessa: Ek, A. R., Shifley, S. R. & Burk, T. E. (toim.). Forest growth modelling and prediction. Vol. 1. Proceedings of IUFRO conference, August 23.—27. 1987. Minneapolis, Minnesota. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical. Report NC-120. s. 386—393.
- Puun hintasuositukset 1.4.1985—31.3.1986. 1985. Maan eteläpuolisko. Maataloustuottajain Keskusliiton Metsävaltuuskunta ja Teollisuuden Puuyhdistys. 36 s.
- Rautiainen, O. & Räsänen, P. K. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976. Summary: Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968—1976. *Folia Forestalia* 426. 24 s.
- Rådström, L. 1980. Skogsbrukets lönsamhetsutveckling 1970—1990. Summary: Profitability in forestry 1970—1990. *Kungl. Skogs- och Landbruksakademiens Tidskrift* 3(119): 113—142.
- Saari, E. 1967. Ajan ongelmia metsätaloudessa. Teoksessa: Suomalainen, E. (toim.). Esitelmät ja pöytäkirjat 1966, Suomalainen tiedeakatemia. s. 117—127.
- 1968. Sisäisen korkokannan käsite metsätaloudessa. Summary: Internal rate of return in forestry. *Silva Fennica* 2(4): 267—290.
- Sivonen, S. 1970. Bedömning av företagsekonomisk räntabilitet vid beskogning. *Nordiskt skogsbruk av i dag. XII Nordiska Skogskongressen* 22.—26.6.1970. s. 111—118.
- Teegarden, D. E. & von Sperber, H.-L. 1968. Scheduling Douglas-fir reforestation investments: A comparison of methods. *Forest Science* 14(4): 354—368.
- 1969. Economic criteria and calculated risk in reforestation investment decisions. *Journal of Forestry* 67(1): 25—31.
- Tunner, A. 1981. A procedure for comparing alternatives in planting tree seedlings. Teoksessa: Scarrat, J. B., Glerum, C. & Plexman, C. A. (toim.). Proceedings of the Canadian containerized tree seedling symposium. September 14—16, Toronto, Ontario. s. 407—418.
- Törnqvist, L. 1974. Aikasarjojen analyysi ja ennustaminen. Pekka Tavaija (toim.). *Oy Gaudeamus Ab.* 127 s.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(2). 271 s.
- Yli-Vakkuri, P., Räsänen, P. K. & Solin, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 2. 92 s.

Total of 55 references

Keskusmetsälautakunta Tapion arkistot — *Archives of the Central Forestry Board Tapio*
Keskusmetsälautakunta Tapion vuosikirja eri vuosilta — *Yearbooks of the Central Forestry Board Tapio*
Maataloustuottajain Keskusliiton (MTK) arkistot —

Archives of the Central Association of Agricultural Producers
Metsähallituksen arkistot — Archives of the National Board of Forestry
Metsätalostollinen vuosikirja eri vuosilta — *Yearbooks of forest statistics*
Suomen tilastollinen vuosikirja eri vuosilta. — *Statistical Yearbooks of Finland*

SUMMARY

Profitability comparisons of some regeneration alternatives of *Vaccinium* type pine stands in private forests of southern Finland

Introduction and aims

As early as in the 1960's, profitability comparisons of forest regeneration alternatives were considered to be a very important economic problem in practical forestry in Finland (Einola 1964, Keltikangas and Seppälä 1966, Keltikangas and Tiililä 1968, Metsänviljelykustannusten ... 1971 and Hämäläinen 1973). The share of natural regeneration in the total amount of forest regeneration areas in Finland has been diminishing since 1950. Artificial regeneration reached its present extent already 20 years ago. Half of Finland's forests are regenerated by natural regeneration and half by artificial regeneration. Seeded areas account for 20 % of total areas seeded and planted. In 1985, of markings made for regeneration cuttings (110 000 hectares), one third were made for natural regeneration and two thirds for clear cutting.

The basic qualities and profitability of forestry are determined by forest regeneration. The profitability of a forest holding's economy can be improved by choosing appropriate regeneration and thinning methods, silvicultural treatments and rotations. So, as an economic problem, the regeneration decision concerns optimal timing of expenditures and incomes and the allocation of the economy's scarce resources. In this study, the choice of the most profitable regeneration alternative is assumed to be an economic decision, in which the present stand is harvested for economic usage, and investments are made in silvicultural treatments and new tree generations.

Decisions are assumed to concern a privately owned forest holding of *Vaccinium* type pine stand in southern Finland. In pine stands of this site type, natural regeneration, seeding and planting are all silviculturally suitable regeneration methods. The stand to be regenerated is 70 years old. However, it is against the present official silvicultural instructions and interpretation of the Act Concerning Private Forests to regenerate forest stands at this stage of development (Etelä-Suomen metsien... 1981). This research aspires to answer the question, Is it economically justifiable to regenerate forests by natural regeneration before artificial regeneration is (institutionally) permitted?

It is not the purpose of this study to solve the absolute profitability order of the compared regeneration alternatives. The aim is to form a set of regen-

eration alternatives and clarify the order of profitability of these alternatives in different decision situations (Figure 1). On the other hand, aims directed at single stands vary considerably from one forest owner to another, so it is impossible to present only one generally accepted basis for choosing the most profitable regeneration chain.

The interpretation of the results aims to clarify how the decisions at the initial time point of the present stand regeneration influences profitability, and also, how natural regeneration could be applied to present practice. The generalization of basic calculations and risk effects are clarified by sensitivity analyses.

This study has been made at the Finnish Forest Research Institute's Section of Business Economics of Forestry and is one of a series of investigations into the economic profitability of regeneration alternatives in this section.

Materials and methods

Profitability comparisons of forest treatment alternatives are based on predicted costs of regeneration works and cutting incomes. Forecasts are made by observations which have been collected from different statistical sources and forest organizations, and then deflated (wholesale price index 1949 = 100) to time series. Forecasts are therefore based on past developments of different time series. Predictions of timber growing costs are calculated by the method of least squares (Figures 8 and 9) and predictions of stumpage prices are made by ARIMA-models (Box and Jenkins 1976) (Figures 6 and 7).

Expenditure and income data series concerning forest treatment programmes are essential for economic comparisons. Stand data and forest treatment programme data are based chiefly on the natural regeneration inventory (LUI) (Hänninen et al. 1972). For the artificial regeneration alternatives, data concerning the development of seedlings for the first 20 years, silvicultural treatments of regeneration alternatives and the timing of silvicultural treatments, are calculated from data of the artificial regeneration inventory (MVI)

(for example, Yli-Vakkuri et al. 1969, Leikola et al. 1977 and Rautiainen and Räsänen 1980). The forest treatment programmes are therefore formed partly by empirical data (LUI and MVI), volume increment percentage function (Gustavsen 1977) and growth and yield models for conifer cultures in Finland (Vuokila and Väliaho 1980, Appendix 4) (Figure 5).

Forming the regeneration alternatives, specifying production and cost factors, as well as the interest rate for the calculations are essential for economic profitability calculations. Comparisons include cost factors of regeneration costs of silvicultural treatments, costs of timber sellings and costs of timber harvestings by differences of unit costs in stumpage prices. The forest owner is assumed to obtain income only from timber sales.

All the alternatives compared are based on 70 years old *Vaccinium* type pine stand in southern part of Finland. Stand volume is 164 m³/ha and stem number per hectare is 620. The forest treatment programmes of the regeneration chains are consequent upon the regeneration stage of the present stand, and subsequent stands are assumed to be similar in all future tree generations (Table 5 and Appendix 5).

Income and expenditure series of regeneration alternatives were assumed to be allocated to individual forest owner's economic planning. The compared treatment programmes differ from each other in their regeneration method and in the time of regeneration initiation. The decision situation was chosen so that when a forest owner decides the method of present stand regeneration, he also decides on the regeneration method of all future stands at the same time.

Regeneration alternatives are identified by using a specific code for each of them (Table 5). Alternatives based on natural regeneration are LU₂₊₃ (84, 79) consistent with empirical data (LUI) and calculated alternatives LU₂₊₂ (78, 79) min, in which site preparation has no growth effects and LU₂₊₂ (78, 79) max, in which effects of site preparation on growth are similar to artificial regeneration. Cuttings in natural regeneration chains are supposed to begin earlier than clear cutting in the artificial regeneration case.

Seeding and planting alternatives are also calculated. In one artificially regenerated alternative, the rotation is as long as in the basic alternative for natural regeneration. In all the other alternatives, the rotations are the same as the regeneration cutting time points in natural regeneration. The seeding alternatives differ from each other with respect to final cutting time points. Comparisons also concern four planting alternatives for different rotations. The planting alternatives differ from corresponding seeding alternatives in their regeneration costs, treatment time points and rotations (Table 5).

The stand growing programmes were compared by using the partial investment criteria as the real net present value at all given interest rates (0–10 %). The use of net present value as the basic criterion of the profitability of the regeneration chains is not an appropriate one in all cases because of restrictions caused by the existence of the implied assumption of perfect capital markets. The business economic comparisons are based on single stands, with an assumed regeneration area of 2 hectares. The aim of the individual forest owner is to obtain income from timber sales as well as from continuous timber growing.

The income parts of the current and first desirable stand rotation and the part computed for all the subsequent desirable stand rotations, are separated in the calculations. Initially, the net present values were

calculated for each stand growing programme for one rotation period at 3 % interest rate projected to the end of the rotation. The calculated present values were then multiplied by an infinite period entry capitalization factor $((1+p)^n-1)^{-1}$. This net present value was then added to the income part of the current and first desirable growing stand, and each part was discounted by different interest rates (0–10 %) to the regeneration decision point.

Results and conclusions

In net present value comparisons, the higher the interest rate, the greater is the proportional effect of the realization time point of the current stand on net present values. At regeneration therefore, the initial moment in time has a central influence on the profitability order of the alternatives.

The results of this study have been presented as proportional net present values with regard to natural regeneration net present values (Figures 10, 11 and 12). The natural regeneration alternative obtains a value of 100 at all the interest rates used. Present values of all alternatives are presented in appendix 6.

The investigation demonstrates that none of the compared alternatives was dominant at all discount rates. The result is mainly a consequence of the timing of events. According to figure 11, at low interest rates ($r < 1.8\%$), the seeding alternative K₃₊₁ (84, 91) with long rotation turned out to be optimal. At interest rates 1.8–2.8 %, natural regeneration was the most profitable of all alternatives. The significance of the interest rate was stressed in the calculations. Thus, the optimal alternatives were those where the current stand is realized at several stages. At higher interest rates ($r > 2.8\%$), short rotation seeding alternative K₂₊₁ (70, 76) was optimal.

Planting alternatives were less profitable than seeding alternatives at all interest rates (Figures 11 and 12). The difference in short rotation alternatives were greater than in long rotation alternatives, because the share of costs is greater in short rotations. According to the assumptions made in this study, shortening the rotation and early cutting incomes do not compensate for higher regeneration costs.

The profitability order between natural and artificial regeneration alternatives changes mainly because, in the natural regeneration alternatives, capital bound to the current stand can be realized earlier than in long rotation alternatives. Consequently, the forest owner does not lose the whole growth of the current stand, as he does in the case of short rotation alternatives.

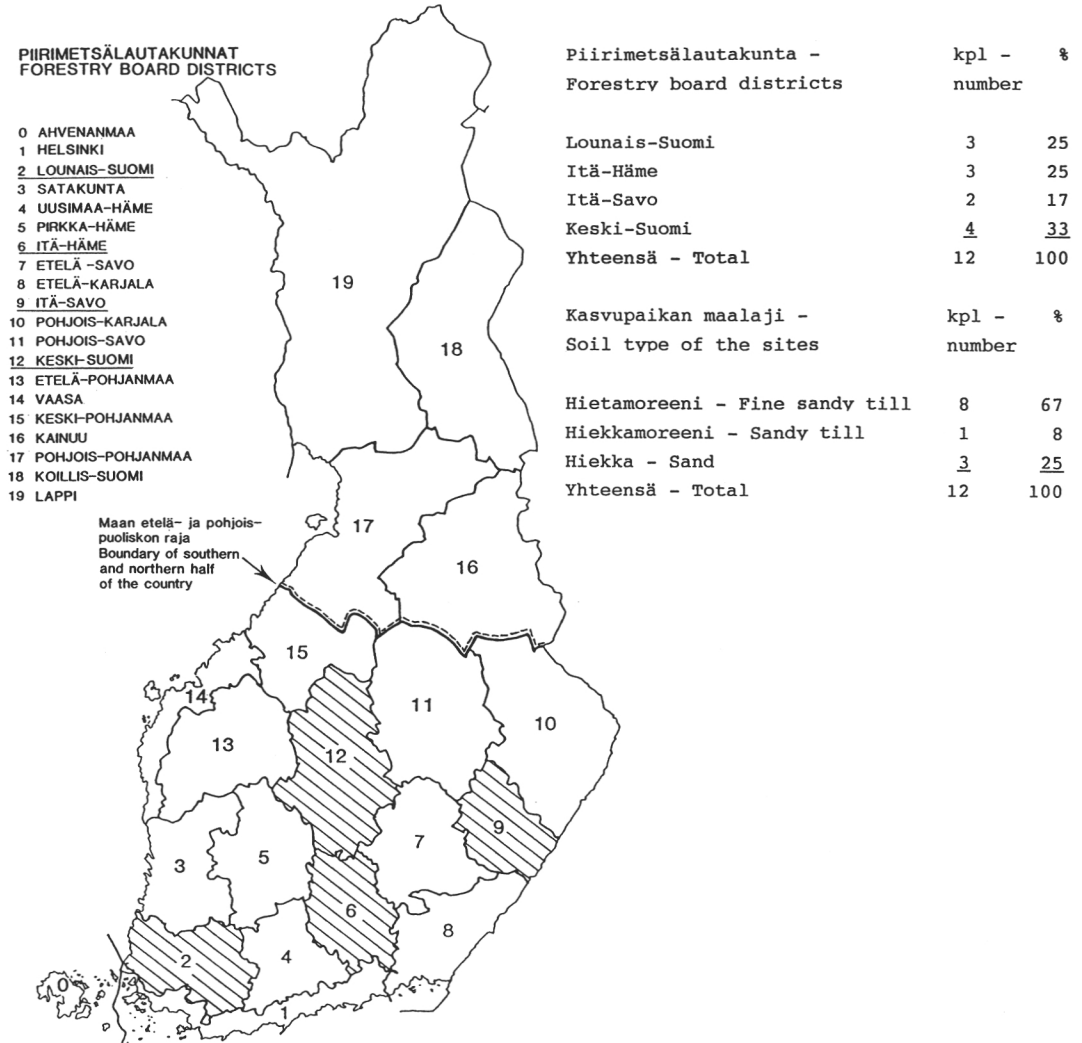
Because of the uncertainty and risk factors belonging to the investigation, sensitivity analyses have been made to test the stability of the profitability orders of the regeneration alternatives using central production and price factors. Only three alternatives from the basic comparisons have been chosen — LU₂₊₃ (84, 79), K₃₊₁ (84, 91) and K₂₊₁ (70, 76) — mainly to clarify the interpretation of results. The most important factors are stumpage prices, regeneration work costs, calculation period, delaying of regeneration and level of timber production in artificial regeneration alternatives. The effects of physical factors — rotation and share of supplementary planting — are omitted from sensitivity

analyses because there are no observations or models of their consequences.

The differences in the costs of regeneration chains in the alternatives, and movements in the realistic limits of stumpage prices, turned out to have quite minor effects on profitability relations (Figure 13). The results of this study were rather sensitive to movements in other tested factors (Figures 14, 15 and 16). Shortening the calcu-

lation period from eternity to 20 and 30 years has a notable effect on the profitability order.

When applying the results of the study, it is to be remembered that they contain much uncertainty. This is especially due to the basic growth and yield series, and to lack of knowledge concerning the development of stumpage prices and the unit costs of silvicultural measures.



Liite 1. Aineistosta (LUI) valitut 12 uudistusalaaja jakaantuivat tasaisesti tutkittujen neljän piirimetsälautakunnan alueelle.

Appendix 1. 12 regeneration areas chosen from the empirical data (LUI) divided evenly into the studied forestry board districts.

Liite 2. Luontaisesti syntyneen puuston kehitystä kuvaavia tunnuslukuja aineistosta valituilla 12 uudistusosalalla (yleisarvostelu taimikon tilasta, uudistumisaika, puulajisuhteet, runkoluku, tyhjien koalojen osuus).

Appendix 2. Characteristics of the development of natural regeneration stands chosen from the empirical data.

Uudistus- ala Regener- ation area	Yleis- arvostelu General criticism	Uudistumisaika, vuotta Regeneration time, years	Puulajisuhteet*) Proportional distribution of tree species*)			Runkoluku, kpl/ha*) Stem number per ha*)	Tyhjiä koaloja, %*) Empty plots, %*)
			Mänty Pine	Kuusi Spruce	Muut Others		
1	Hyvä Good	-5	82	18	—	1700	56
			100	—	—	1900	44
2	Hyvä Good	+1	77	18	5	1832	43
			81	12	7	1737	40
3	Hyvä Good	-4	71	29	—	2100	52
			82	12	6	1700	56
4	Erinomainen Excellent	+10	100	—	—	1300	72
5	Erinomainen Excellent	+9	89	—	11	2800	40
			100	—	—	2300	36
6	Erinomainen Excellent	+8	96	—	4	2700	20
			100	—	—	2100	28
7	Erinomainen Excellent	+8	100	—	—	1600	64
			83	10	7	2900	32
8	Erinomainen Excellent	+5	100	—	—	2400	36
			88	6	6	1700	60
9	Erinomainen Excellent	+8	100	—	—	1700	56
			96	4	—	2400	40
10	Tyydyttävä Satisfactory	-3	90	10	—	2000	60
			94	6	—	3300	16
11	Hyvä Good	-1	97	3	—	2582	63
			93	—	7	2588	40
12	Hyvä Good	+12	96	4	—	3915	43
			100	—	—	3166	17

*) Ensimmäisellä rivillä vuoden 1969 inventoinnin mittaustiedot ja 1976 inventoinnin tiedot toisella rivillä.
The 1969 inventory is on the first line and the 1976 inventory is on the second line.

Liite 3. Luontaisesti syntyneen puuston pituuskehitys uudistusaloittain.

Appendix 3. Height development of the naturally regenerated seedlings.

Uudistusala Regener- ation area	Taimikon ikä, vuotta — Age of seedlings, years																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1							1,3	4,6/1,7								16,1/15,4						
2											11,3			21,4/9,6								54,5/18,8
3											10,0			19,7/10,6								60,6/24,4
4						1,6	2,7/1,9								9,4/6,0							
5							7,6	14,8/2,7									46,2/13,1					
6								8,2	15,2/4,7									43,7/14,4				
7				2,9	8,4/2,7									27,9/10,1								
8							4,3	8,7/5,3									31,1/7,8					
9				1,6	7,0/3,3									22,4/10,7								
10							2,1	3,9/2,7									35,5/9,8					
11	0,5	1,6/0,6						21,9/13,3														
12							1,8	5,5/2,2									8,3/5,1					

Taimikon keskipituus (dm) / keskipituuden hajonta (dm), molemmat runkoluvulla painotettuina.
Mean height of seedling (dm) / standard deviation of mean height (dm), both weighted by stem number.

Liite 4. Vuokilan ja Väliahon (1980, s. 220) kasvatusmalli, johon metsänkäsittelyvaihtoehtojen puuntuotos perustuu.

Appendix 4. Growth and yield model by Vuokila and Väliaho (1980, p. 220), on which the timber production of the stand growing programmes are based.

PUULAJI TREE SPECIES		MÄNTY-PINE		KASVUPAIKKA SITE INDEX			H ₁₀₀ = 24	KIERTOAIKA ROTATION 100			HARVENNUKSIA THINNINGS 3			POISTO-% REMOVAL% 30		
T	H	N	G	V	B %	\bar{v}	S	F	\bar{s}	Pv	Iv	Yv/T	Yg	Yv	Ys	Yf
20	5,6	1800	6,3	19,0	78,4	11				24,6		0,95	6,3	19,0		
25	7,7	1800	11,1	42,4	80,7	24		35,1		14,7	4,7	1,70	11,1	42,4		35,1
30	9,7	1800	15,6	73,6	82,1	41		67,5		9,9	6,2	2,45	15,6	73,6		67,5
35	11,4	1800	20,0	110,2	83,1	61	0,1	104,5		7,4	7,3	3,15	20,0	110,2	0,1	104,5
40	13,1	1800	24,2	150,9	84,0	84	18,3	127,0	138		8,1	3,77	24,2	150,9	18,3	127,0
40	13,1	1024	16,6	105,6	84,0	103	18,3	84,2	138	6,4	6,8	3,77	24,2	150,9	18,3	127,0
45	14,6	1024	20,2	139,5	84,6	136	46,2	90,2	165	5,0	7,0	4,11	27,8	184,8	46,2	133,0
50	15,9	1024	23,3	174,7	85,1	171	77,2	94,3	186	4,2	7,3	4,40	30,9	220,0	77,2	137,1
55	17,1	1024	26,3	211,2	85,6	206	113,4	94,7	210		7,3	4,66	33,9	256,5	113,4	137,5
55	17,1	616	18,1	147,9	85,6	240	89,3	56,7	228	4,1	6,0	4,66	33,9	256,5	113,4	137,5
60	18,2	616	20,9	178,0	86,0	289	122,5	53,7	264	3,3	5,9	4,78	36,7	286,6	146,6	134,5
65	19,2	616	23,2	207,4	86,4	337	155,8	49,8	304	2,9	6,0	4,86	39,0	316,0	179,9	130,6
70	20,1	616	25,4	237,4	86,6	385	190,0	45,6	347	2,6	6,1	4,94	41,2	346,0	214,1	126,4
75	21,0	616	27,7	267,7	86,9	434	224,4	41,6	395			5,02	43,5	376,3	248,5	122,4
75	21,0	384	19,1	187,4	86,9	487	162,5	23,8	439	2,8	5,2	5,02	43,5	376,3	248,5	122,4
80	21,7	384	21,3	213,2	87,1	554	190,9	21,2	510	2,2	4,7	5,03	45,7	402,1	276,9	119,8
85	22,4	384	23,0	236,8	87,3	616	216,3	19,4	578	2,0	4,7	5,01	47,4	425,7	302,3	118,0
90	23,0	384	24,7	260,5	87,5	678	241,4	18,0	645	1,8	4,7	4,99	49,1	449,4	327,4	116,6
95	23,5	384	26,4	284,2	87,7	739	266,1	17,1	711	1,7	4,7	4,98	50,8	473,1	352,1	115,7
100	24,0	384	28,1	307,9	87,9	801	290,4	16,6	776			4,97	52,5	496,8	376,4	115,2
HARVENNUKSET-THINNINGS																
40	13,1	776	7,6	45,3	84,0	58		42,8					7,6	45,3		42,8
55	17,1	408	8,2	63,3	85,6	155	24,1	38,0	161				15,8	108,6	24,1	80,8
75	21,0	232	8,6	80,3	86,9	346	61,9	17,8	313				24,4	188,9	86,0	98,6

- T = biologinen ikä, v — biological age, years
H = valtipituus, m — dominant height, m
N = runkoluku, kpl/ha — number of stems per ha
G = pohjapinta-ala, m²/ha kuorineen — basal area, m²/ha incl. bark
V = tilavuus, m³/ha runkopuuta kuorineen — cubic volume, m³/ha of stem wood incl. bark
B % = kuoretoman tilavuuden osuus kuorellisesta, % — volume excl. incl. bark, %
 \bar{v} = rungon keskikoko, l kuorineen — mean size of stems, litres incl. bark
S = tukkipuutilavuus (minimirinnankorkeuslääpimitä 17 cm), m³/ha kuorineen — sawtimber volume (minimum breast height diameter 17 cm), m³/ha incl. bark
F = kuitupuutilavuus (minimiläpimitä 6 cm), m³/ha kuorineen — fibrewood volume (minimum top diameter 6 cm), m³/ha incl. bark
 \bar{s} = tukkirunkojen tukkiosan keskikoko, l kuorineen — mean size of the sawtimber portion of the trees, litres incl. bark

- P_v = seuraavan 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuisen tilavuuskasvun enusteprocentti, % — mean annual volume increment percentage of the future 5-year period, %
I_v = 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuisen tilavuuskasvu, m³/ha kuorineen — mean annual volume increment of the 5-year period, m³/ha incl. bark
Y_v/T = keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu ko. iänkohtaan mennessä (kiertoajan kuluessa), m³/ha kuorineen — mean annual volume increment up to the age in question (during the rotation), m³/ha incl. bark
Y_g = pohjapinta-alan kokonaiskasvu (tai harvennuksissa kaiken kaikkiaan siihen mennessä poistettu pohjapinta-ala) ko. iänkohtaan mennessä, m²/ha kuorineen — total yield in basal area (or total removal of basal area in thinnings) up to the age in question, m²/ha incl. bark

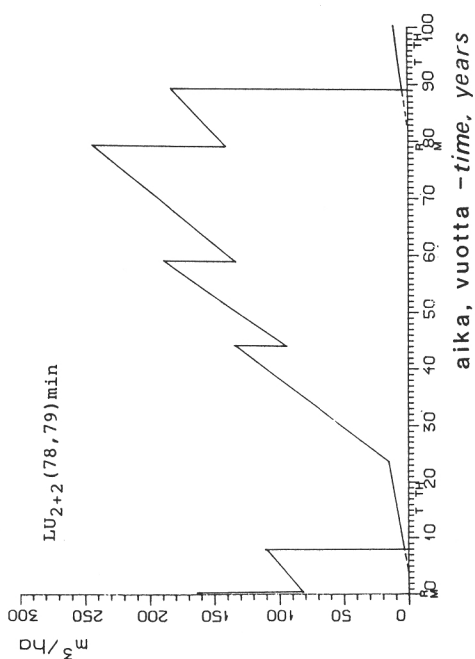
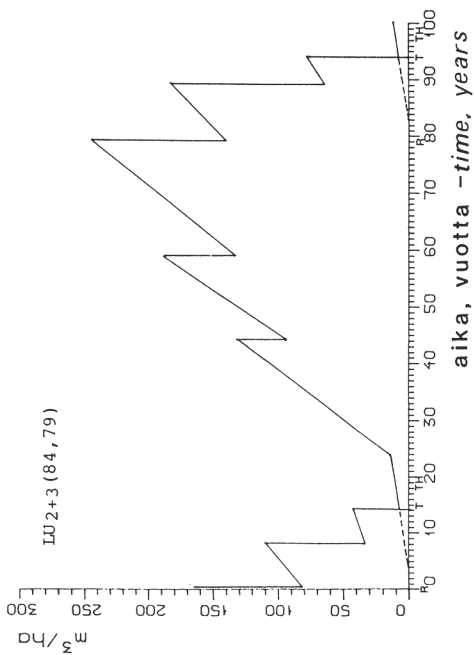
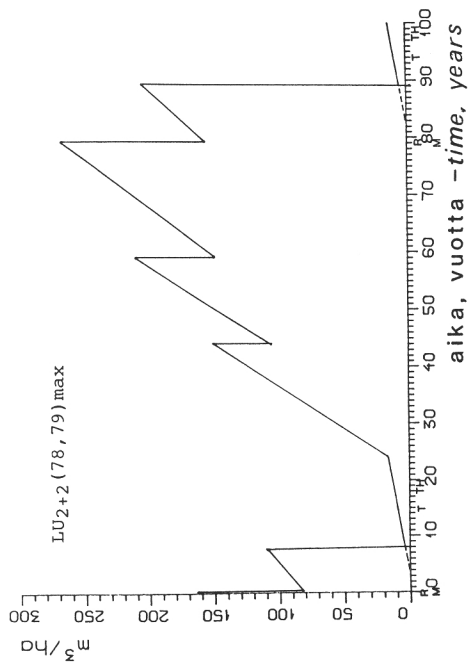
- Y_v = kokonaistilavuuskasvu (tai harvennuksissa kaiken kaikkiaan siihen mennessä poistettu runkopuun määrä) ko. iänkohtaan mennessä, m³/ha kuorineen — total yield in cubic volume (or total removal of volume in thinnings) up to the age in question, m³/ha incl. bark
Y_s = tukkipuun kokonaistuotos (tai harvennuksissa kaiken kaikkiaan siihen mennessä poistettu tukkipuun määrä) ko. iänkohtaan mennessä, m³/ha kuorineen — total yield in sawtimber (or total removal of sawtimber in thinnings) up to the age in question, m³/ha incl. bark
Y_f = kuitupuun kokonaistuotos (tai harvennuksissa kaiken kaikkiaan siihen mennessä poistettu kuitupuun määrä) ko. iänkohtaan mennessä, m³/ha kuorineen — total yield in fibrewood (or total removal of fibrewood in thinnings) up to the age in question, m³/ha incl. bark

Liite 5. Edullisuusvertailussa mukana olevien vaihtoehtojen metsänkäsittelyohjelmat.

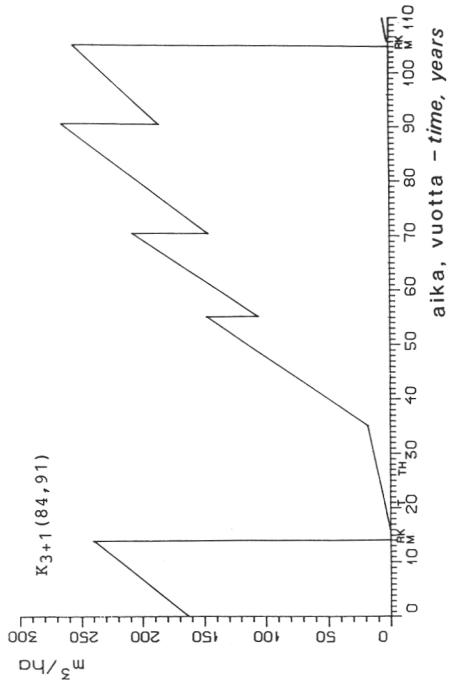
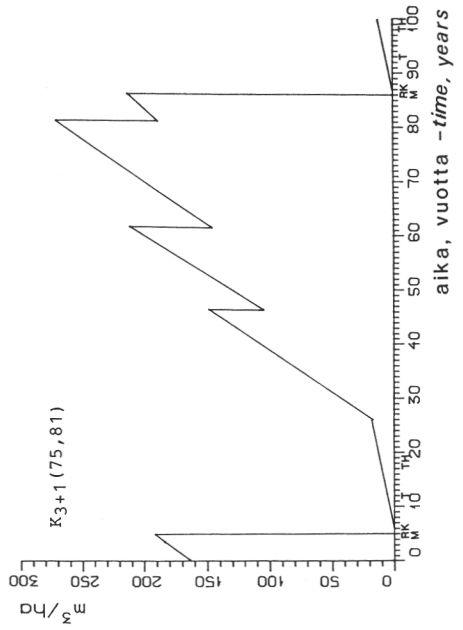
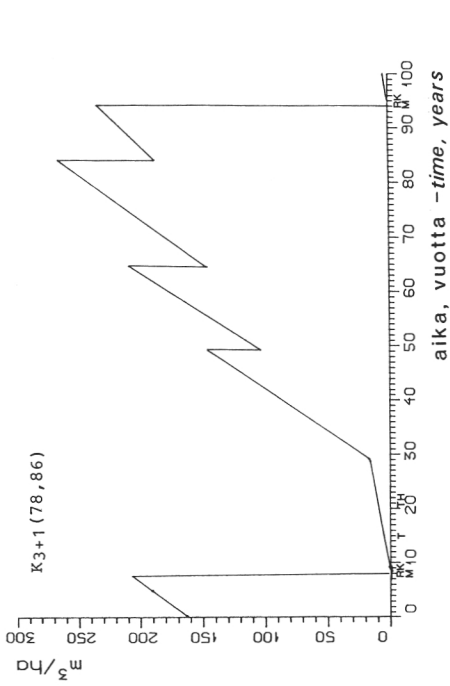
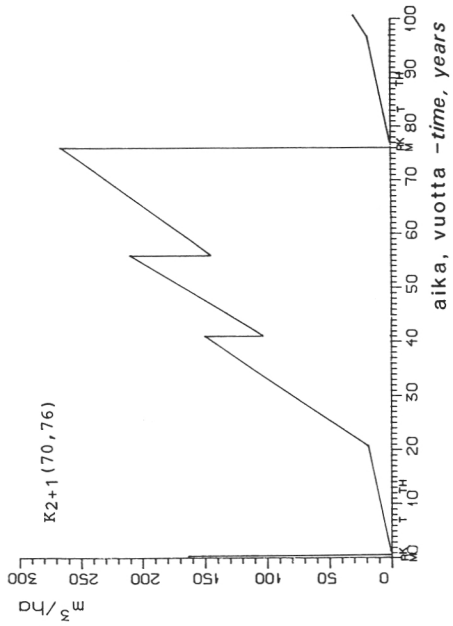
Appendix 5. Stand growing programmes of the alternatives used in the profitability calculations.

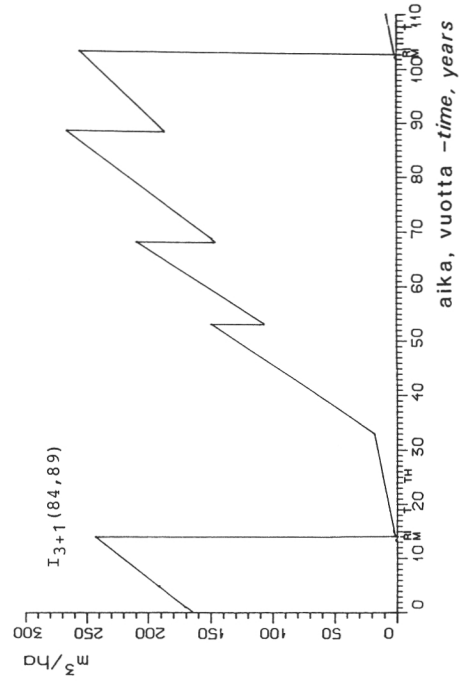
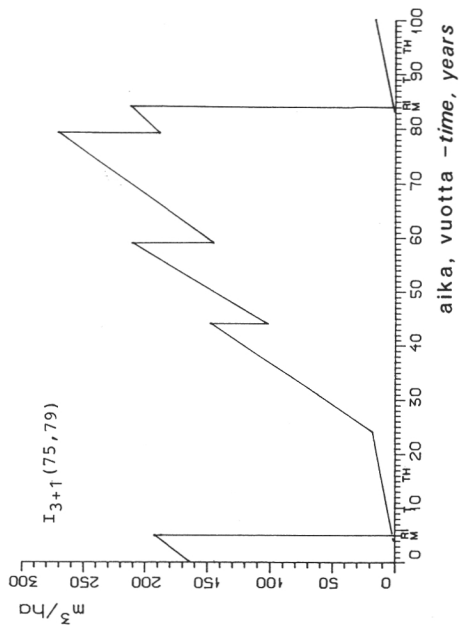
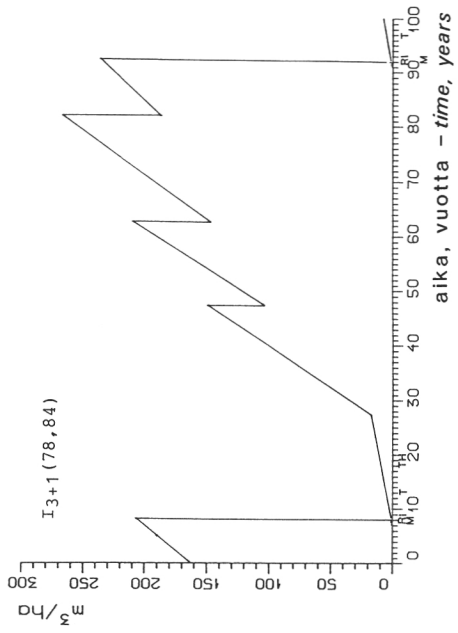
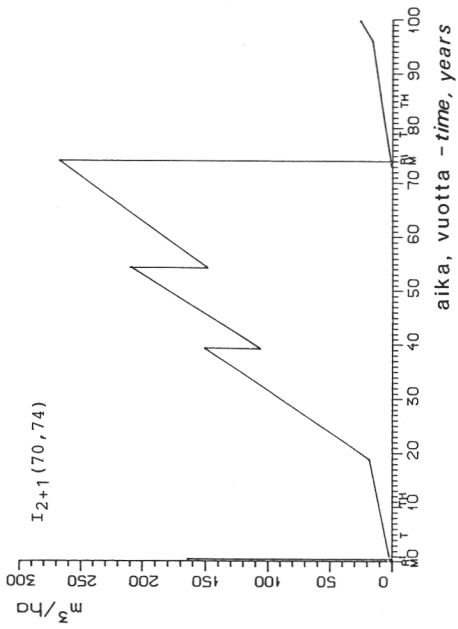
R = raivaus — clearing of the cutting area
 M = maanpinnankäsittely — site preparation
 I = istutus — planting

K = kylvö — seeding
 T = täydennysistutus — supplementary planting
 TH = taimikonhoito — seedling management



5a. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdot — natural regeneration alternatives.





5c. Istutusvaihtoehdot — planting alternatives.

Liite 6. Vaihtoehtojen nykyarvot käytetyillä laskentakorkokannoilla.
Appendix 6. *Net present values of stand growing programmes used in calculations.*

Metsänkäsittely- ohjelma Stand growing programme	Nettonykyarvo, Fim / 2 ha — Net present value										
	0*)	1	2	Laskentakorkokanta, % — Interest rate							
				3	4	5	6	7	8	9	10
LU ₂₊₃ (84, 79)	206 445	120 914	82 878	64 788	55 332	49 769	46 063	43 312	41 102	39 233	37 602
LU ₂₊₂ (78, 79) min	195 236	115 981	80 332	63 315	54 459	49 299	45 888	43 361	41 320	39 575	38 031
LU ₂₊₂ (78, 79) max	208 556	122 020	83 144	64 662	55 125	49 637	46 066	43 457	41 373	39 605	38 048
K ₂₊₁ (70, 76)	178 738	112 445	80 686	65 164	57 377	53 324	51 101	49 789	48 937	48 322	47 832
K ₃₊₁ (75, 81)	194 419	115 568	79 442	61 862	52 510	46 914	43 103	40 191	37 769	35 643	33 718
K ₃₊₁ (78, 86)	210 986	120 369	80 573	61 508	51 184	44 724	40 097	36 429	33 329	30 612	28 182
K ₃₊₁ (84, 91)	236 745	128 314	82 766	60 942	48 632	40 510	34 491	29 698	25 729	22 373	19 502
I ₂₊₁ (70, 74)	175 792	111 302	79 782	64 073	56 043	51 796	49 437	48 039	47 136	46 494	45 992
I ₃₊₁ (75, 79)	191 335	114 453	78 579	60 860	51 350	45 657	41 807	38 897	36 502	34 418	32 542
I ₃₊₁ (78, 84)	207 581	119 145	79 628	60 460	50 032	43 530	38 913	35 288	32 248	29 598	27 238
I ₃₊₁ (84, 89)	233 429	127 280	81 987	60 092	47 737	39 633	33 670	28 951	25 060	21 779	18 978

Nettonykyarvot on laskettu 2 ha:n uudistusalueelle ja nollakorkokannalla*) saatujen nettonykyarvojen laskentaperusteet on esitetty luvussa 4.
Net present values are calculated for 2 hectare regeneration area and calculation rules of net present values without discounting) are presented in chapter 4.*

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

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

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

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

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

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

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

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1511

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

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

- No 720 Hyvärinen, Vesa & Sepponen, Pentti: Kivalon alueen paksusammakkuusikoiden puulaji- ja metsäpalohistoriaa.
Tree species history and local forest fires in the Kivalo area of Northern Finland.
- No 721 Uotila, Antti: Ilmastotekijöiden vaikutus männynversosyöpätuhoihin.
The effect of climatic factors on the occurrence of Scleroderris canker.
- No 722 Mikola, Jari & Sepponen, Pentti: Rinteen suunnan ja hakkuun vaikutus Tiilikkajärven harjun kasvillisuuteen.
Effect of exposition and cuttings on the vegetation on Tiilikkajärvi esker.
- No 723 Rantonen, Harri: Lumikenkien käytön vaikutus hakkuutyön turvallisuuteen ja työasentoihin.
Snowshoes in cutting work: effects on work safety and working postures.
- 1989
- No 724 Kaunisto, Seppo: Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella.
Effect of refertilization on the development of pine stands in an old drainage area.
- No 725 Verkasalo, Erkki: Koeseulontamenetelmät metsähakkeen laadun arvioinnissa.
Test screening methods for evaluation of forest chip quality.
- No 726 Lehto, Tarja: Männyntaimien mykorrhitsat keskustaimitarhoilla.
Mycorrhizal status of Scots pine nursery stock in Finland.
- No 727 Kinnunen, Kaarlo: Taimilajin ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen.
Effect of seedling type and site preparation on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings.
- No 728 Saarsalmi, Anna & Mälkönen, Eino: Harmaalepikon biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö.
Biomass production and nutrient consumption in *Alnus incana* stands.
- No 729 Oksanen-Peltola, Leena: Eteläsuomalaisen VT-männikön uudistamisvaihtoehtojen yksityistaloudellinen edullisuusvertailu.
Profitability comparisons of some regeneration alternatives of *Vaccinium* type pine stands in private forests of southern Finland.
- No 730 Metsätilastollinen vuosikirja 1988.
Yearbook of Forest Statistics, 1988.
- No 731 Hynynen, Jari & Kukkola, Mikko: Harvennustavan ja lannoituksen vaikutus männikön ja kuusikon kasvuun.
Effect of thinning method and nitrogen fertilization on the growth of Scots pine and Norway spruce stands.