



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1992

798

Pekka Ollonqvist & Miika Kajanus

METSÄNOMISTAJAN TALOUDELLISTEN TAVOITTEIDEN MERKITYS
METSÄNUUDISTAMISTAVAN VALINNASSA

Significance of private forest owner's economic goals in the forest stand
regeneration decision

FOLIA FORESTALIA

Julkaisija — *Publisher*

Metsäntutkimuslaitos
The Finnish Forest Research Institute

Toimitus — *Editors*

Päätoimittaja — <i>Editor in chief:</i>	Erkki Annila
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Seppo Oja
Toimittaja — <i>Editor:</i>	Tommi Salonen

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland
tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308

Toimituskunta — *Editorial Board*

Erkki Annila (pj. — *chairman*), Pentti Hakkila, Seppo Kaunisto, Jari Kuuluvainen, Juha Lappi, Eino Mälkönen

Tavoitteet ja tarkoitus — *Aim and Scope*

Sarjassa julkaistaan tutkimuksia, tilastoja ja kirjallisuuskatsauksia, joilla on ensisijaisesti kotimaista merkitystä. Julkaisukielenä on kotimainen kieli, mutta julkaisut sisältävät englanninkielisen selosteen tärkeimmistä tutkimustuloksista.

Folia Forestalia publishes research reports, statistics and literature reviews relevant to Finnish forestry.

Tilaukset — *Subscriptions*

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Metsäntutkimuslaitoksen kirjastolle. *Subscriptions and orders for back issues should be addressed to the Library of the Institute.*

FOLIA FORESTALIA 798

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1992

Pekka Ollonqvist & Miika Kajanus

METSÄNOMISTAJAN TALOUDELLISTEN TAVOITTEIDEN MERKITYS
METSÄNUUDISTAMISTAVAN VALINNASSA

Significance of private forest owner's economic goals in
the forest stand regeneration decision

Approved on 15.7.1992

Ollonqvist, P. & Kajanus, M. 1992. Metsänomistajan taloudellisten tavoitteiden merkitys metsänuudistamistavan valinnassa. Summary: Significance of private forest owner's economic goals in the forest stand regeneration decision. *Folia Forestalia* 798. 71 p.

Tutkimuksessa tarkastellaan metsänuudistamisvaihtoehtojen yksityistaloudellista edullisuusjärjestystä ennalta-määriteltyjen vaihtoehtojen vertailumallin avulla. Mallia sovelletaan esimerkkiaineistossa laskennallisten luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn vaihtoehtojen vertailuun. Käytetty aineisto kuvaa eteläsuomalaisen VT-männikön uudistamista.

Perusvertailu tehdään nettonykyarvomenetelmällä olettaen täydelliset pääomamarkkinat. Pitkiin kiertoaikoihin ja voimaperäisiin metsänhoitotöihin perustuvat uudistamisen vaihtoehdot ovat edullisia pienillä laskentakorkokannoilla. Esimerkkiaineistossa istutus ja pitkä kiertoaika on alle 1 % laskentakoroilla, kylvö ja pitkä kiertoaika 1,1–2,4 % laskentakoroilla sekä luontainen uudistaminen 2,5–4,0 % laskentakoroilla edullisin vaihtoehto. Yli 4 % laskentakorolla kylvö ja lyhyt kiertoaika on edullisin vaihtoehto.

Tutkimuksessa osoitetaan että metsikkökohtaisilla diskonttauslaskelmilla saadaan harhaisia tuloksia, jos metsänomistajan käytössä ei ole täydellisiä pääomamarkkinoita. Metsänomistajan kannattaa valita uudistamismenetelmäksi avohakkuu ja viljely jos sovellettava aikapreferenssi on yli 6 % (tulevien puusukupolvien hakkuutuloilla ei ole painoarvoa). Kun metsänomistajan aikapreferenssi on pienempi kuin 6 %, tulevien puusukupolvien tuoton painoarvo päätöksenteossa nousee. Alhainen aikapreferenssi parantaa luontaisen uudistamisen ja huonontaa lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehdon suhteellista edullisuutta markkinakoroista riippumatta.

Metsänomistajan aikaan sidotut tulotavoitteet ja pääomamarkkinoiden korkosuhteet muuttavat tapauskohtaisesti uudistamisvaihtoehtojen edullisuussuhteita.

Keywords: forest regeneration economics.
FDC 23:65

Authors' addresses: *Ollonqvist*: The Finnish Forest Research Institute, PB 37, SF-00381 Helsinki, Finland; *Kajanus*: Peltosalmi Agricultural Institute, PJJ 3170, SF-74100 Iisalmi, Finland.

ISBN 951-40-1257-7
ISSN 0015-5543

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

Sisällys

1	JOHDANTO	5
1.1	Metsänuudistamis päätös	5
1.2	Metsänuudistamismenetelmien käyttösuhteet	6
1.3	Sisältö	7
2	TUTKIMUKSEN RAJAUS JA TAVOITTEET	7
2.1	Tutkimustehtävän rajaus	7
2.2	Tutkimuksen tavoitteet	9
3	METSÄNUUDISTAMISEN TALOUDELLISEN EDULLISUUDEN LASKENTAMALLI	9
3.1	Nykyarvoihin perustuva investointivaihtoehtojen vertailu	10
3.1.1	Korkokannan kolme funktiota	10
3.1.2	Uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen määrittely nykyarvojen avulla	11
3.1.3	Nykyarvoihin perustuva laskentamalli	12
3.1.4	Erotusinvestointimenetelmä tulonkäyttömahdollisuuksien vertailussa	14
3.2	Metsänomistajan hyödyn maksimointi ja uudistamisvaihtoehdon valinta	16
3.2.1	Hyödyn maksimointi täydellisillä pääomamarkkinoilla	16
3.2.2	Epätäydellisten pääomamarkkinoiden vaikutukset uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen	19
3.2.3	Likviditeettirajoitteen vaikutukset uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen	21
4	LASKENTAMALLIN EMPIIRINEN SOVELTAMINEN	24
4.1	Empiirinen aineisto	24
4.1.1	Puolukkatyyppin männiköiden uudistaminen	24
4.1.2	Puuntuotantofunktioiden muodostaminen	25
4.1.3	Puun tuottamisen panosten ja tuotosten arvottaminen	33
4.2	Uudistamisvaihtoehdot ja niiden taloudellinen edullisuus	37
4.2.1	Vertailu nettonykyarvoilla täydellisillä pääomamarkkinoilla	37
4.2.2	Metsänomistajan tulotavoitteiden vaikutukset uudistamisvaihtoehdon valintaan	41
4.2.2.1	Metsänomistajan likviditeettirajoitteen merkitys	41
4.2.2.2	Sijoitus- ja lainakorkojen merkitys uudistamisvaihtoehtojen valinnassa	43
4.3	Tulosten yleistettävyys	45
4.3.1	Puuntuotoksen vaihtelu	47
4.3.2	Kantohinnat ja yksikkökustannukset sekä uudistamisvaihtoehtojen edullisuus	48
4.3.3	Metsänomistajan tavoitteiden ja arvostusten merkitys	52
5	YHTEENVETO	55
5.1	Uudistamisen taloudellisen edullisuuden laskentamalli	55
5.2	Uudistamisvaihtoehdot Etelä-Suomen VT-männiköissä	55
5.3	Uudistamisen yksikkötuotot ja -kustannukset	56
5.4	Uudistamisvaihtoehtojen edullisuus täydellisillä pääomamarkkinoilla	56
5.5	Uudistamisvaihtoehtojen edullisuus epätäydellisillä pääomamarkkinoilla	56
5.6	Tulosten yleistettävyys	57
	KIRJALLISUUS	58
	SUMMARY	61
	LIITE 1. Uudistamisvaihtoehtojen käsittelyintensiiteetin muuttumisen vaikutuksista taloudelliseen edullisuuteen	68
	LIITE 2. Havaintoaineiston uudistusaloittainen vertailu	68

Symboliluettelo – List of symbols

h	tuottolaji <i>income class</i>	ρ	aikapreferenssi <i>time preference</i>
k	kustannuslaji <i>cost class</i>	δ	arvokasvu <i>value growth</i>
A,B	nettotulo <i>net income</i>	σ	sisäinen korko <i>internal rate of interest</i>
a,b	jaksottain toistuva nettotulo <i>perpetual net income</i>	r_s	sijoitustuoton laskentakorko <i>yield rate on a financial investment</i>
T	nykypuuston hakkuutulo <i>cutting income of the current stand</i>	r_v	velkakustannuksen laskentakorko <i>rate of borrowing from the financial market</i>
\bar{T}	seuraajapuuston hakkuutulo <i>cutting income of the established stand</i>	C	tulonkäyttö <i>use of income</i>
O	uudistamiskustannus <i>regeneration cost</i>	U	hyöty <i>utility</i>
g	vuotuinen hallintokustannus nykypuustossa <i>annual cost of administration in the current stand</i>	η	arvostusparametri <i>valuation parameter</i>
g'	vuotuinen hallintokustannus seuraajapuustossa <i>annual cost of administration in the established stand</i>	γ	puuston arvonnalisäysparametri <i>parameter measuring the yield increment of the forest stand</i>
q	myynnin yleiskustannus <i>common cost of timber trade</i>	M	$[e^{r\tau} - 1]^{-1}$
f	leimauksen kustannus <i>cost from the marking of trade item</i>	U_{C_n}	$U/\partial C_n$
d	luovutuksen kustannus <i>delivery cost of the timber trade item</i>	R	uudistamisvaihtoehto <i>regeneration alternative</i>
s	puusukupolvi <i>generation of the timber stand</i>	K_1	uudistamisvaihtoehto, kylvö-lyhyt kiertoaika <i>regeneration alternative, seeding and short rotation</i>
τ	kiertoaika <i>rotation</i>	K_2	uudistamisvaihtoehto, kylvö-pitkä kiertoaika <i>regeneration alternative, seeding and long rotation</i>
r	laskentakorko <i>rate of interest</i>	L	uudistamisvaihtoehto, luontainen uudistaminen <i>regeneration alternative, natural regeneration</i>

Tämän tutkimuksen vertailulaskelmissa otettiin käyttöön metsänkäsittelyohjelmia identifioiva koodijärjestelmä. Koodin alkuosa osoittaa metsänkäsittelyohjelman perustyyppin ja loppuosassa on kuvattu sitä päätöksentekijän taloudellista ympäristöä, jossa uudistamispäätös oletetaan tehtävän.

Käytetty koodimerkintä on seuraavanlainen: *The identification code of the regeneration alternatives:*

$R_{n+m}(t\tau)_{t=j}[r_\rho, r_s, r_v]$	t =	nykypuuston ikä päätehakuussa (luontaisen uudistamisen yhteydessä ylimpiden poistohakkuu) <i>age of the current stand at clearcutting</i>
jossa	$\tau =$	kiertoaika (= aika hakkuusta seuraajametsikön vastaavaan hakkuuseen) <i>rotation age</i>
R =	t = j =	ilmaisee metsänomistajan rahantarpeen ajankohdan (päätöksentekohetkellä t = j; j = 0, 8, 14) <i>Time to the liquidity constraint of the owner</i>
uudistamistavan alkukirjain <i>the initial letter identifying the type of regeneration</i>	$r_\rho =$	laskentakorkokanta <i>subjective rate of interest</i>
LU = luontainen uudistaminen <i>natural regeneration</i>	$r_s =$	pääomamarkkinoiden sijoitustuotto <i>the yield rate on the investment of the financial market</i>
K = kylvöön perustuva uudistaminen <i>regeneration by seeding</i>	$r_v =$	pääomamarkkinoiden velkakorko <i>Rate of borrowing from the financial market</i>
I = istutukseen perustuva uudistaminen <i>regeneration by planting</i>		
n + m =		
kiertoaikaan sisältyvien hakkuukertojen lukumäärä <i>number of cuttings executed during a rotation period</i>		
n = kasvatushakkuiden lukumäärä <i>number of thinnings</i>		
m = uudistamishakkuiden lukumäärä <i>number of regeneration cuttings</i>		

Esimerkiksi koodilla LU₂₊₃(84,79)_{t=0}[1, 2, 3] merkitty metsänkäsittelyohjelma on luontaisen uudistamisen vaihtoehto, joka oletetaan tehtäväksi kolmella hakkuulla. Nykypuustosta poistetaan tässä vaihtoehdossa siemenpuut 84 vuoden iässä ja kiertoaika on 79 vuotta. Metsänomistajan rahantarpeen oletetaan olevan ajankohdalla t = 0 (päätöksentekohetki) ja laskentakorkona käytetään yhtä prosenttia. Pääomamarkkinoiden sijoituskoroksi oletetaan kaksi ja velkakoroksi kolme prosenttia.

1 Johdanto

1.1 Metsänuudistamispäätös

Kysymykseen, miten metsikkö on optimaalista uudistaa, on harvoin löydettävissä yksiselitteistä vastausta. Uudistaminen on metsänhoidollisesti monimutkainen ja ympäristöolosuhteista riippuva tapahtumaketju. Uudistamiseen liittyvät metsänkasvatukselliset riski- ja epävarmuustekijät saattavat johtaa oletukseen, että uudistamispäätös on ensisijaisesti metsänhoidollinen valinta-tehtävä. Valitun uudistamismenetelmän taloudellinen tulos olisi tällöin seuraus tavoitteen sijasta. Tämä tarkastelutapa on kuitenkin ristiriitainen rationaalisesti toimivan metsänomistajan näkökulmasta.

Metsänuudistamista on perusteltua tarkastella panostekijöiden kohdistamispäätöksenä. Metsää uudistettaessa korjataan yhtäältä hakkuukypsä nykypuusto taluskäyttöön. Toisaalta tehdään uuteen puusukupolveen tähtävään investoinnin edellyttämät metsänhoitotoimenpiteet. Uudistamistoimenpiteiden kustannusten sekä saatavien ja odotettujen tuottojen avulla laskettavaa taloudellista tulosta voidaan verrata muihin kyseen tuleviin pääoman sijoitusvaihtoehtoihin. Edullisimman uudistamistavan valinta metsänhoidollisesti perustelluista vaihtoehdoista on taloudellinen päätös.

Uudistamispäätös voidaan määritellä optimointitehtäväksi, jossa metsänomistaja pyrkii löytämään ensisijaisesti taloudellisista päämääristään johtamiensa tavoitteiden toteutumista parhaiten edistävän uudistamistavan ja -ajankohdan. Metsikkökuvion uudistamispäätös muodostuu a) uudistamisajankohdan ja b) käytettävän uudistamismenetelmän valinnasta (käytännöstä esim. Büzow 1981, Hannelius 1981). Uudistamisen ajankohtavalintaan vaikuttavat metsänhoidollisten tekijöiden (esim. siemenvuosien ajoittuminen) lisäksi 1) metsikön nykypuuston ja seuraajapuustojen nettotuottojen suhteet ja 2) puuntuotannon ulkoiset tekijät. Hakkuumahdollisuuksien ylläpitämiseksi on määritetty valtakunnalliset ohjekiertajat määräämällä uudistuskypsyyskriteerit (keskijäreys, ikä ja kasvu), joita aiemmin metsää ei saa uudistaa. Yksittäisessä uudistamispäätöksessä metsikön ulkopuoliset tekijät vaikuttavat ajankohtavalintaan tapauskohtaisesti. Valinnassa on kyse siitä, tuottaako vanhaan puustoon sitoutunut pääoma vaihtoehtoisessa sijoi-

tuskohteessa paremmin.

Toinen metsänuudistamispäätöksen osa on käytettävän uudistamismenetelmän valinta. Tällöin valitaan yksi vaihtoehtoisista uudistamisketjuista. Uudistamisketju alkaa vanhan puuston käsittelystä ja päättyy uuteen vakiintuneeseen taimikkoon. Vaihtoehtoisia uudistamisketjuja kartotettaessa ratkaistaan ensin tavoiteltava puulaji. Kasvupaikalle biologisesti sopivista puulajeista valitaan se, jonka odotettavissa oleva arvokasvu on suurin. Seuraavaksi valitaan niiden toimenpiteiden ketju, jolla katsotaan parhaiten päästävän tavoitellun puulajin taimikkoon kyseisen metsikön olosuhteissa. Toimenpideketjun valintaan vaikuttavat ketjun tuotot ja kustannukset sekä toteutumismvarmuus (ks. esim. Turban 1988). Uudistamispäätöksen osat vaikuttavat toisiinsa. Uudistamispäätös on kokonaisuus, jossa samalla kertaan tehdään päätös ajankohdasta sekä valittavasta uudistamisketjusta kaikkine osatekijöineen.

Uudistamispäätöksen teossa on useita rajoitteita. Tässä tutkimuksessa erotellaan a) institutionaaliset, b) puuntuotannolliset, c) omistajan tulojen käyttöön liittyvät sekä d) pääomamarkkinoilta tulevat rajoitteet. Institutionaalisiksi kutsutaan metsänkäsittelyn kokonaistaloudellisten päämäärien kautta syntyviä ehtoja (ks. esim. Metsälautakuntien ja yksityismetsälain säännökset 1978). Puuntuotannolliset rajoitteet määräytyvät kasvupaikan, olemassa olevan puuston, ilmaston sekä teknisten mahdollisuuksien kautta.

Institutionaalisesti ja metsänhoidollisesti mahdollisten uudistamisvaihtoehtojen taloudelliset erot liittyvät nettohakkuutulojen suuruuteen ja ajoitukseen. Nettohakkuutulojen diskonttauksessa edullisuusjärjestyksestä saatavat tulokset ovat riippumattomia päätöksentekijän tulotavoitteiden ajallisesta sijoittumisesta jos oletetaan että päätöksentekijän käytettävissä ovat täydelliset pääomamarkkinat. Tällöin uudistamisvaihtoehtojen vertailuun ei liity omistajan tulojen käytöstä eikä pääomamarkkinoilta tulevia rajoitteita.

Täydellisten pääomamarkkinoiden oletuksesta seuraa mahdollisuus siirtää tuloja ja menoja eri ajankohtiin vakiokorolla. Taloudellisen edullisuuden vertailu metsikkölaskelmana voidaan tehdä nykyarvoja käyttäen täydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa, vaikka toimenpiteet eri uudistamisvaihtoehdoissa sijoittuvat eri ajankohtiin. Meno- ja tulovirrat ovat täydellisten pää-

omamarkkinoiden olosuhteissa siirrettävissä nykyarvoiksi tarkasteluajankohtaan siten, että ajan-kohtaerojen vaikutukset eliminoituvat vertailusta.

Yksityisen metsänomistajan taloudessa myös yksittäisen metsikkökuvion uudistamisessa on kyse suurista markkamääräisistä nettotuloista. Uudistamis päätös on siten kiinteä osa metsänomistajan tulojen käyttösuunnitelmia sekä olemassa olevia rahoitus- ja pääoman sijoitusmahdollisuuksia (tarkemmin esim. Hänninen & Karppinen 1989, Kuuluvainen 1989, Tikkanen & Vehkamäki 1987, Järveläinen 1988, Karppinen & Hänninen 1990, Hahtola 1973 sekä Lönnstedt 1989). Metsänomistajien tulotavoitteiden huomioimattomuus uudistamisen edullisuuslaskelmissa on perusteltua silloin, kun oletus täydellisistä pääomamarkkinoista ei toteudu.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarkastella ajallisten ja määrällisten tulotavoitteiden erillisvaikutuksia metsikön uudistamisen edullisuuteen. Omistajan tulotavoitteet voidaan liittää laskelmiin joko omistajan talouden suunnittelumallia käyttäen (Jörgensen 1969 tai Hämäläinen 1973a) tai määrittelemällä metsänomistajan aikapreferenssi sekä pääomamarkkinoiden sijoitus- ja velkakorko erikseen toisistaan riippumatta. Kyseisissä laskentatavoissa optimaaliseen uudistamistapaan vaikuttavat sekä metsänomistajan tulotavoitteet että pääomamarkkinoiden tuomat rajoitteet.

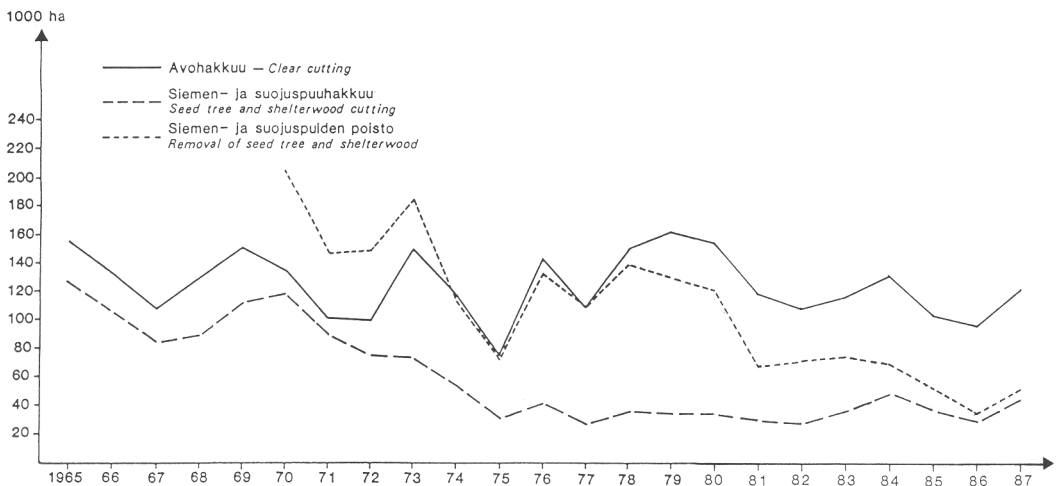
Tässä tutkimuksessa metsänomistajan uudistamis päätöksentekoon liittämien yksityistaloudel-

listen tavoitteiden merkitystä tarkastellaan vain periaatteelliselta kannalta. Tarkastelu rajoitetaan vain likviditeettirajoitteen muotoiseen tavoitteeseen. Epätäydellisten pääomamarkkinoiden erillisvaikutusta tarkastellaan vain olettamalla sijoitus- ja velkakorko erisuuriksi. Vaikka tutkimuksen laskelmissa rajoitetaan sekä uudistamiskohteen että omistajan tavoitteiden ja pääomamarkkinoiden suhteen erikoistapauksiin menettely ei periaatteessa rajoita tulosten yleistettävyyttä päätöksentekijän talouden suunnittelutehtävässä.

1.2 Metsänuudistamisvaihtoehtojen käyttösuhteet

Suomessa tehdään noin 150 000 uudistamis päätöstä vuosittain, joista noin 60 % tehdään yksityismetsissä. Uudistamistapojen käyttösuhteita voidaan tarkastella kuvan 1 mukaisesti. Kuvassa on yhteenlaskettuna eri hakkuutavoin käsitellyt pinta-alat kaikilla metsänomistajaluokilla vuosina 1965–1987. Kuvasta 1 voidaan havaita avohakkuiden pinta- alan pysyneen samalla tasolla (100 000– 150 000 ha/v) vuosittaisia heilahteluja lukuunottamatta koko tarkastelujakson. Luontaiseen uudistamiseen tähtäävien hakkuiden (siemen- ja suojustruppuhakuut) pinta-ala on vähentynyt tasaisesti aina vuoteen 1975, jonka jälkeen ne ovat vakiintuneet noin 30 000–40 000 ha vuositasolle.

Siemen- ja suojustrupuiden poistohakkuiden pinta-aloja on tilastoitu vuodesta 1970 alkaen. Ti-



Kuva 1. Eri hakkuutavoin käsitellyt metsämaan kokonaispinta-alat Suomessa v. 1965–1987 laskettuna kaikilla metsänomistajilla yhteensä. (Metsätilastollinen vuosikirja v. 1967–1988).

Figure 1. Aggregate areas of cutting treatment types in Finland during 1965–1987, for all forest ownership groups (source: Yearbook of Forest Statistics from years 1967–1988).

lastoitu pinta-ala osoittaa luontaisesti syntyneiden taimikkojen vapauttavien hakkuiden pinta-aloja. Siemen- ja suojuspuiden poistohakkuita on tehty vuosittain enemmän kuin siemen- ja suojuspuuhakkuita 1980-luvun puoliväliin saakka. Taimikkoja on siis syntynyt luontaisesti myös ilman siihen tähtääviä toimenpiteitä (passiivinen luontainen uudistaminen). Luontaisen uudistamisen kokonaisala on ollut avohakkuita ja metsänviljelyä suurempi 1970-luvulla. Passiivisena luontaisen uudistamisen osuus on pienentynyt, ja siemen- ja suojuspuuhakkuiden sekä niiden poistohakkuiden pinta-alat ovat olleet noin puolet avohakkuun ja metsänviljelyn kokonaisalasta 1980-luvun loppupuolella. Uusimpien käytävissä olevien tietojen mukaan luontaisen uudistamisen osuus on lisääntynyt suhteessa metsänviljelyyn.

Metsänviljelyn päämenetelmänä on ollut kylvö 1960-luvulle saakka. Istutuksen osuus metsänviljelyalasta kasvoi 1960-luvulla nopeasti ja on vakiintunut noin 80 %:iin metsänviljelyn kokonaisalasta jo 1970-luvulla (Metsätilastolliset vuosikirjat 1967–1988).

1.3 Sisältö

Tutkimuksen johdannossa tarkastellaan uudistamisvaihtoehtojen valintaa taloudellisena optimointitehtävänä sekä metsänuudistamismenetelmien käyttösuhteita. Luvussa 2 esitellään tutkimuksen tavoitteet ja rajataan tutkimustehtävä. Luvussa 3 analysoidaan uudistamispäätökseen vaikuttavia taloudellisia tekijöitä ja rakennetaan uudistamistavan valintaa selittävä taloudellisen päätöksenteon malli. Ensin tarkastellaan nykyarvolaskentaa täydellisillä pääomamarkkinoilla. Sen jälkeen mallia laajennetaan ottamaan huomioon päätöksentekijän ajalliset tulotavoitteet

sekä epätäydellisten pääomamarkkinoiden tuotto- ja kustannusvaikutukset.

Uudistamismenetelmien vertailumallia sovelletaan eteläsuomalaista puolukkatyyppin männiköä kuvaavaan esimerkkiaineistoon luvussa 4. Aluksi esitellään havaintoaineistoa sekä taloudellisen arvottamisen perustana käytettyjä tunnuslukuja. Seuraavaksi esitellään muodostettuja vaihtoehtoja ja niiden keskinäisestä edullisuusjärjestyksestä saatuja tuloksia. Luvun 4 lopuksi arvioidaan tulosten luotettavuutta ja yleistämiskelpoisuutta. Luvussa 5 esitetään tutkimuksen tiivistelmä.

Kirjoittajista Pekka Ollonqvist on laatinut tutkimuksen teoreettisen perusanalyysin (luku 3) sekä ohjannut laskelmien viitekehysten muodostamista. Miika Kajanus on kerännyt empiirisen aineiston, muokannut uudistamisen laskentakotit (luku 4.1) sekä tehnyt edullisuuslaskelmat. Päätöstilanteen mallittaminen, tulosten tulkinta sekä johdopäätökset (luvut 1, 2, 4.2, 4.3 ja 5) on tehty yhteistyönä.

Tutkimusraportissa esitetään tuotto- ja kustannusperusteiden osalta laajennetut uudistamisen edullisuudesta lasketut tulokset metsikkölaskelmien osalta. Tulokset muodostavat osan laajahkosta tutkimuskokonaisuudesta Kirjoittajien lisäksi MH Leena Oksanen-Peltola on osallistunut tutkimustyöhön. Hän on julkaissut oman työskentelynsä tulokset julkaisussa (Oksanen-Peltola 1989). Tutkimusprosessin kuluessa olemme saaneet konkreettista apua ja neuvoja sekä kommentteja useilta.

Tutkimusraportin versioita ovat kommentoineet Jouko Hämäläinen, Kullervo Kuusela, Ville Ovaskainen, Yrjö Sevola sekä Lauri Valsta sekä ennakkotarkastajina toimineet Matti Keltikangas ja Jari Kuuluvainen. Käsikirjoituksen tekoon ovat kärsivällisesti osallistuneet Jaana Aranko ja Maija Kuusijärvi. Englanninkielisen yhteenvedon on tarkastanut Ashley Selby. Esitämme kiitoksemme heille samoin kuin kaikille pitkäkestoiseen työprosessiin osallistuneille henkilöille.

2 Tutkimuksen rajaus ja tavoitteet

2.1 Tutkimustehtävän rajaus

Tässä tutkimuksessa analysoidaan erilaisten metsänuudistamistapojen taloudellista edullisuutta olettaen, että *maan käyttömuoto ei muutu uudistamispäätöksen yhteydessä*. Sekä maankäytön edullisuuteen että paljaan maan metsittämiseen liittyvät päätöstekijät rajautuvat tutkimuksen ulkopuolelle (vrt. esim. Metsänviljelykustannusten...1971).

Uudistamistavan valintamallit voidaan ryhmitellä metsikkömalleiksi ja toisaalta metsälö- tai suuraluemalleiksi. Metsikkömalleissa uudistamista koskeva päätöksenteko rajoittuu uudistettavan kuvion vaihtoehtojen käsittelytapojen vertailuun. Taloudellisen edullisuuden laskenta perustuu tällöin metsikkökuvion välittömiin tuotto- ja kustannuseriin. Metsälö- ja suuraluemalleista esimerkkityyppinä voidaan mainita suuralueita palvelevat laskelmat, joissa päätöksentekijän olete-

taan organisoivan sekä puunkorjuun että metsänhoitotoimenpiteet (Keltikangas M. 1976 tai Dowdle 1962). Suuraluemallien struktuuri on omistajaryhmäkohtainen. Metsänuudistamista tarkastellaan yksittäisen metsikkökuvion päätöstehtävänä. Metsikkökuvion välittömien kustannusten ja tuottojen lisäksi vertailuun otetaan mukaan metsikkökuvion kohdistettavissa olevat metsälön yhteiskustannukset. Yhteiskustannukset jaetaan uudistettavalle metsikkökuvion tavalla, joka toteutuisi metsikkökuvion ollessa osana ko. tyyppiä edustavaa normaalimetsää.

Metsänuudistamista tarkastellaan tässä tutkimuksessa yksityisen metsänomistajan näkökulmasta. Uudistamis päätösten tavoitteiden analysoinnissa keskitytään taloudellisiin, puuntuotannon asetettuihin tavoitteisiin. Uudistamiseen liittyvät maisema- ym. mieluisuus- ja arvostustekijät rajataan tutkimuksen ulkopuolelle.

Tämän tutkimuksen edullisuuslaskelmissa selvitetään luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn keskinäistä edullisuutta. Keskeisiä ongelmia ovat tällöin uudistamistapoihin liittyvien metsänhoidon kustannusten enustamiseen sekä uudistamisaikaan ja kehittyvään taimikkoon liittyvät kysymykset (Keltikangas M. 1976, sekä Lappi 1983b ja Oksanen-Peltola 1989). Edullisuusjärjestyksen kannalta keskeisiä tekijöitä ovat myös erot nykypuuston hakkuiden kantorahatuloissa. Metsikkölaskelmissa myös yhteiskustannusten jakoperusteet vaikuttavat edullisuusjärjestykseen. Laskelmien kannalta mielekkäiden tuotto- ja kustannustekijöiden määrittely riippuu siitä, minkälaiset tavoitteet päätöksentekijällä on ko. laskentatilanteessa. Metsikkölaskelmat perustuvat uudistamiskohteen välittömien tuottojen ja kustannusten arvotukseen sekä yhteiskustannusten jakoon (Nadeau 1970 sekä Metsänviljelykustannusten... 1971). Laskentatavan määrittely on jakoperusteiden tehokkaan soveltamisen keskeisenä ongelmatekijänä (Hämäläinen 1973a ja b).

Metsänuudistamis päätös muotoillaan valinnaksi ennaltamääritelyjen vaihtoehtojen välillä. Vaihtoehdot ovat toimenpideketjuja, joilla on ennaltamääritellyt aloitusajankohdat sekä toimenpiteet tuottoineen ja kustannuksineen. Näistä toimenpideketjuista metsänomistaja valitsee omat tavoitteensa parhaiten täyttävän vaihtoehdon kussakin päätöstilanteessa. Vaihtoehtoihin sisältyvä epävarmuutta niin hintojen kehityksessä kuin puuntuotoksessakin tutkitaan herkkyyksanalyysillä. Ne mittaavat optimiratkaisun pysyvyyttä lähtötietojen muuttuessa. Riski- ja epävarmuustekijöiden käsittely rajataan siis päätöksentekomallin ulkopuolelle. Päätöksentekomallia voidaan

soveltaa niissä uudistamiskohteissa, joissa uudistamistulos voidaan ennustaa suhteellisen luotettavasti. Tällaisia kohteita ovat puolukkatyyppin ja sitä karumpien maiden männiköt.

Uudistamisvaihtoehtoja kuvataan esimerkkiaineiston perusteella. Tutkimuksen päätavoite on analysoida uudistamis päätöksen taloudellisia tekijöitä periaatteelliselta kannalta. Empiiriset tulokset koskevat aineiston esimerkkitapauksia ja niitä voidaan soveltaa nykyisin käytössä oleviin uudistamismenetelmiin vain suuntaa-antavasti.

Seuraavassa kuvataan sovellettu päätöksentekotilanne. Päätöksentekijäksi oletetaan yksityinen metsänomistaja, jolla on uudistuskypsä metsikkö odottamassa uudistamis päätöstä. Metsänomistajan oletaan selvittäneen kyseeseen tulevat uudistamisvaihtoehdot sillä tarkkuudella, että jokaiselle vaihtoehdolle on voitu ennustaa tulot ja menot ajankohtineen ikuisuuteen saakka. Näitä ennaltamääriteltäviä uudistamisvaihtoehtoja verrataan tässä tutkimuksessa rakennettavalla mallilla. Uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen määrää niiden tuottama nettonykyarvo päätösajankohtaan laskettuna.

Metsikön uudistamiseksi on seuraavat vaihtoehdot:

1. Luontainen uudistaminen heti (= päätöksentekohetkellä) tehtävän suojuspuuhakkuun kautta
2. Avohakkuu heti ja sen jälkeinen metsänviljely (kylvö tai istutus)
3. Avohakkuu myöhemmin ja sen jälkeinen metsänviljely.

Perustapauksessa metsänomistajan taloudellisenä tavoitteena on metsiköstä saatavan nettonykyarvon maksimointi päätöksentekohetkellä. Vaihtoehtojen vertailu edellyttää oletusta täydellisistä pääomamarkkinoista.

Jatkotarkasteluissa rajoitetaan täydellisten pääomamarkkinoiden oletusta. Ensimmäisessä vaiheessa metsänomistajalla oletetaan olevan käytettävissä nykypuuston osalta sijoitusmahdollisuus nettohakkuutuloille sijoituskorolla r_s ja velanottomahdollisuus nettohakkuutuloa vastaan velkakorolla r_v .

Metsänomistajalla on taloudessaan rahantarve, jonka hän aikoo rahoittaa uudistettavan puuston hakkuutuloilla. Metsänomistajan tavoitteena on rahantarpeen ajankohdalla käytettävissä olevan rahamäärän maksimointi. Käytettävissä oleva rahamäärä saadaan metsikön nykypuuston hakkuista osallistumalla pääomamarkkinoille. Lisäksi metsänomistaja ottaa huomioon seuraajametsiköiden tuottoarvon aikapreferenssinsä

mukaisella laskentakorkokannalla.

Ensimmäisissä vertailuissa metsänomistajan rahantarve (likviditeettirajoite) oletetaan olevan päätöksentekohetkellä (hetkellä $t=0$). Tällöin heti tehtävän avohakkuun ja viljelyn vaihtoehdossa käytettävissä oleva rahamäärä on nettohakkuutulon suuruinen. Vertailulukuun lasketaan lisäksi mukaan seuraajapuustojen tuottoarvo ikuisuuteen saakka aikapreferenssin mukaisella laskentakorolla (=maan arvo). Myöhemmin toteuttavan avohakkuun ja viljelyn vaihtoehdon valitsevan metsänomistajan on rahoitettava meno lainalla vaihtoehdon nettohakkuutuloa vastaan velkakorolla r_v . Velan suuruinen summa on tällöin metsänomistajan käytössä hetkellä $t=0$. Lisäksi vertailulukuun lasketaan vastaavasti maan arvo aikapreferenssin mukaisella laskentakorkokannalla. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdossa metsänomistajan oletetaan ottavan velkaa velkakorolla molempia myöhempiä nettohakkuutuloja vastaan. Myös tällöin vertailulukuun lisätään vastaava maan arvo.

Toisessa vertailussa metsänomistajan rahantarpeen ajankohdan annetaan vaihdella. Tällöin metsänomistajan oletetaan sijoittavan ennen rahantarpeen ajankohtaa olevat nykypuuston nettohakkuutulot tarvittavaksi ajaksi ja vastaavasti ottavan velkaa rahantarpeen ajankohdan jälkeen toteutuvia nykypuuston nettohakkuutuloja vastaan. Lisäksi metsänomistaja laskee vertailulukuun maanarvot kuten edellä.

2.2 Tutkimuksen tavoitteet

Vertailtavina uudistamistapoina ovat luontainen uudistaminen, kylvä sekä istutus. Tehtävää varten *rakennetaan uudistamistavan valintaa selittävä taloudellisen päätöksenteon malli*. Mallin rakentamista varten analysoidaan yksityisen metsänomistajan metsänuudistamis päätöstilannetta ja tutkitaan uudistamismenetelmien edullisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa keskitytään

3 Metsänuudistamisen taloudellisen edullisuuden laskentamalli

Tässä luvussa rakennetaan uudistamisvaihtoehtojen taloudellisen edullisuuden laskentamalli ja arvioidaan mallin avulla edullisuuteen vaikuttavien tekijöiden merkitystä. Edullisuusvertailu perustuu metsikkökohtaisiin nettonykyarvoihin. Perustapauksessa oletetaan täydelliset pääomamarkkinat, jolloin vältytään ajankohtaan sidottujen tulotavoitteiden aiheuttamista rajoituksista

erityisesti epätäydellisten pääomamarkkinoiden sekä metsänomistajan ajallisesti sidottujen tulotavoitteiden vaikutusten tarkasteluun.

Tutkimuksen toisessa osassa *mallia sovelletaan empiiriseen esimerkkiaineistoon*. Aineisto perustuu eteläsuomalaisista VT-männiköistä kerättyyn näytteeseen. Näytteen perusteella muodostettiin uudistamisvaihtoehtoja, joissa

- nykypuusto on luontaisen uudistamisen aloittamisen suhteen optimaalisissa kehitysvaiheissa
- istutusvaihtoehdot muodostettiin laskennallisesti kylvävaihtoehtojen perusteella
- kutakin uudistamisvaihtoehtoa edustaa tarkoituksenmukaisin toimenpideohjelma
- viljelyvaihtoehdoissa on vaihtoehtoisia uudistamisen aloitusajankohtia.

Päätöksentekomallin empiirisessä soveltamisessa selvitetään esimerkkiaineiston uudistamisvaihtoehtojen taloudellinen edullisuusjärjestys. Tavoitteena on etsiä niitä edullisuusjärjestykseen vaikuttavia tekijöitä, joihin metsänomistajan olisi uudistamis päätöstä tehdessään syytä kiinnittää huomiota. Uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestystä tarkastellaan:

1. Täydellisillä pääomamarkkinoilla laskentakorkokannan funktiona laskettuina nykyarvoina metsänomistajalle, jonka taloudessa ei ole likviditeettirajoitteita.
2. Epätäydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa (erisuuruinen sijoitus- ja velkakorko, ei pääomamarkkinoille osallistumisen määrärajoitetta) metsänomistajalle, jolla on ajankohtaan sidottu likviditeettirajoite.

Tämän lisäksi:

3. Vertaillaan täydellisten ja epätäydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa laskettuja tuloksia pääomamarkkinoiden rakenteen vaikutusten arvioimiseksi.
4. Tarkastellaan edullisuusjärjestyksen pysyvyyttä herkkyysanalyysillä
 - uudistamisen yksikkötuottojen ja -kustannusten muutuksessa
 - uudistamisen puuntuotannollisen tuloksen muuttuessa.

eikä tulonkäytön siirtämisessä ole määrällisiä rajoitteita. Nykyarvojen laskentaperusteita sekä koron määrittelyä täydellisillä pääomamarkkinoilla tarkastellaan luvussa 3.1. Siinä tarkastellaan myös tulonkäyttömahdollisuuksien rajoitteita erotusinvestointianalyysiä käyttäen.

Nykyarvolaskelmaan sisältyy oletus metsänomistajan soveltamasta nettohakkuutulojen yli-

ajallisesta arvostussuhteesta, jos laskelma tehdään olettaen, ettei nettotulojen yliajallinen siirtäminen pääomamarkkinoita käyttäen ole mahdollista. Menetelmä sisältää tällöin oletuksen vakiosuuruisesta tulonkäytön yliajallisesta arvostussuhteesta. Luvussa 3.2 tarkastellaan metsänomistajan hyötyfunktion määrittelyä ja optimointia. Uudistamisvaihtoehdon määrittelyä omistajan taloudellisena optimointitehtävänä analysoidaan erikseen sekä ajankohtaan sidottua tulotavoitetta (= likviditeettirajoite) soveltaen että ilman sitä. Luvussa 3.2 tarkastellaan pääomamarkkinoiden epätäydellisyyden vaikutuksia vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen, kun metsänomistajalla on hakkuutuloista maksettava likviditeettirajoite. Tarkastelutapa on yksinkertaisin menettely analysoida päätöksentekijän tavoitteiden vaikutuksia epätäydellisillä pääomamarkkinoilla.

3.1 Nykyarvoihin perustuva investointivaihtoehtojen vertailu

Laskentakorkokannalla on nykyarvolaskelmissa kolme erillistä käyttötarkoitusta (Fisher 1931, Lindahl 1939 tai Arvidson 1955). Korkokanta kertoo tulonkäytön siirtämisestä pääomamarkkinoilta aiheutuvan tuoton tai kustannuksen, mitataan eri ajankohtien tulonkäytön arvostuksia sekä optimoi kulutuksen ja investointien allokaation. Seuraavassa tarkastellaan ensin näitä tulkintoja.

3.1.1 Korkokannan kolme funktiota

Korolla on investointien edullisuuslaskelmissa kolme funktiota. Seuraavassa tarkastelussa sovelletaan rajahyötyyn perustuvan pääomateorian mukaista esitystä (korkomäärittelyjen perusteista Böhm-Bawerk 1889 tai Fisher 1931).

Ensiksi korko kertoo tulonkäytön siirtämisestä aiheutuvan tuoton tai kustannuksen. Pääomamarkkinoiden korkokanta kertoo tulonkäytön aikaistamisesta aiheutuvan kustannuksen ja tulonkäytön säästämisestä myöhemmäksi saatavan tuoton. Toisin määriteltynä on kyse tuottovaatimuksesta tai hyväksyttävästä vaihtoehtoiskustannuksesta, jolla tulonkäyttöajankohtaa siirretään (koron ensimmäinen määrittely, ks. Fisher 1931, kpl 5).

Tämän tutkimuksen esityksessä sovelletaan jatkuvaa diskonttaustekijää. Tulonkäytön siirron vaikutusta ajankohdasta toiseen merkitään tuottovaatimuksella e^r , kun oletetaan täydelliset pää-

omamarkkinat. Täydellisille pääomamarkkinoille on ominaista velan saanti ja rahan sijoitus markkinakorolla ilman määrärajoitteita. Pääomamarkkinoiden ollessa epätäydelliset sijoitustuotoa merkitään e^{r_s} ja velkakustannusta e^{r_v} . Velkakorko oletetaan sijoituskorkoa suuremmaksi $r_v > r_s$, ellei toisin mainita. Markkinoiden epätäydellisyyteen voi liittyä lisäksi määrällisiä rajoitteita. Tällöin sijoitus- ja velkakorko riippuvat lainattavan summan suuruudesta.

Toiseksi korko mittaa sitä, miten päätöksentekijä arvostaa eri ajankohtien tulonkäyttöä (kärsimättömyysindeksin käsitelmäärittelystä ks. Fisher 1931). Tässä muodossa korko mittaa päätöksentekijän yliajallista arvostusta tulonkäytölle ts. aikapreferenssiä eli subjektiivista diskonttauskorkoa. Rationaalisen päätöksentekijän oletetaan yleensä arvostavan nykyistä tulonkäyttöä myöhempää tulonkäyttöä enemmän. Laskentakorkokanta mittaa tulonkäytön rajahyötyjen suhdetta yli ajan. Täydellisillä pääomamarkkinoilla aikapreferenssi ei vaikuta vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen. Epätäydellisillä pääomamarkkinoilla sensijaan aikapreferenssi vaikuttaa vaihtoehtojen valintaan (Layard & Walters 1978).

Tässä tutkimuksessa aikapreferenssiä merkitään e^{ρ} , ja se voi olla joko pääomamarkkinoiden koron suuruinen tai siitä poikkeava. Ensimmäisellä korkomäärittelyllä laskettu nykyarvo mitataan sekä tulojen yliajallista arvostusta että tulonsiirron varjohintaa. Aikapreferenssillä laskettu nykyarvo osoittaa metsänomistajan subjektiivisen arvostuksen mukaisen nettotuoton ja markkinakorolla laskettu nykyarvo osoittaa pääomamarkkinoita hyväksikäyttäen saavutettavissa olevan nettotuoton (aikapreferenssistä metsäninvestoinneissa Keltikangas M. 1969, 1971).

Kolmanneksi korkoa käytetään päätettäessä siitä, mikä osa tuotannosta sidotaan pääomanmuodostukseen ja mikä kulutetaan. Tulonkäyttömahdollisuudesta luovutaan pääomanmuodostuksen hyväksi vain, mikäli investoinnilla aikaansaatuva pääomantuotto ylittää asetetun tuottovaatimuksen. Korkotekijällä e^{δ} mitataan tässä tapauksessa keskimääräistä uutta arvonmuodostusta.

Metsänuudistamisen päätöksenteossa korkoa käytetään kolmannessa käyttötarkoituksessaan optimaalisen kiertoajan valinnassa. Kiertoaikatarkaisu tehdään nykypuuston puustopääomalle ja metsämaalle vaadittavan korkokannan funktiona. Ohjeellisissa kiertoaikatarkaisuissa tehokkuusvaatimus johdetaan keskimääräisistä arvokasvatavoitteista (Kilki 1985, s. 75, Kuusela 1964, Kuusela & Nyssönen 1962 ja Nyssönen

1958, Nyyssönen & Mielikäinen 1978, Nyyssönen & Ojansuu 1982). Nykypuuston osalta päätetään, jatketaanko investointia (edelleenkasvatus) vai realisoidaanko jo kumuloitunut tuotto (uudistaminen).

Nykarvoon perustuvissa investointivaihtoehtojen vertailuissa laskentakorkokannalla on kolme toisistaan poikkeavaa käyttötarkoitusta. Laskentamenetelmien oikea soveltaminen ja tulosten tulkinta edellyttävät, että korkotekijää käytetään laskelmissa päätöksentekotilanteen ja päätöksentekijän tavoitteiden mukaisesti.

3.1.2 Uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen määrittely nykyarvojen avulla

Edellisessä luvussa tarkasteltiin laskentakoron eri käyttötarkoituksia päätöksenteonä. Tässä luvussa vaihtoehtojen vertailu perustuu nykyarvoihin, jotka saadaan diskonttaamalla tulot ja menot nykyhetkeen laskentakorkokannalla. Ennaltamääritettyjen uudistamisvaihtoehtojen taloudellista edullisuutta verrataan täydelliseksi oletetuilla pääomamarkkinoilla. Edullisuuskriteerinä käytetään netto nykyarvon maksimointia (korkokannan valintaperusteista ks. Ollonqvist & Oksanen 1988).

Jos vertailtavia uudistamisvaihtoehtoja kuvataan nettotulovirroilla, voidaan uudistamisvaihtoehtoilla A ja B kirjoittaa:

$$(3.1.1) \quad \begin{aligned} A &= A_0, A_n, A_m, A_{0+\tau}, A_{n+\tau}, A_{m+\tau}, \dots \\ B &= B_m, B_{m+\tau}, B_{m+2\tau}, \dots \end{aligned}$$

jossa

A_t, B_t = nettotulo (tulot – menot periodilla t)

τ = kiertoaika

Nettotulot sijoittuvat eri ajankohtiin ja ne voidaan tehdä vertailukelpoisiksi nykyarvolaskelmilla a) kunkin vaihtoehdon sisällä ja b) tietyn tarkasteluajanjakson sisällä. Mikäli nettotulovirrat kirjoitetaan nykyarvoina saadaan

$$(3.1.2) \quad \begin{aligned} A &= a_0, a_n e^{-rn}, a_m e^{-rm}, a_{0+\tau} e^{-r\tau}, a_{n+\tau} e^{-r(n+\tau)}, \\ & a_{m+\tau} e^{-r(m+\tau)}, \dots \\ B &= b_m e^{-rm}, b_{m+\tau} e^{-r(m+\tau)}, b_{m+2\tau} e^{-r(m+2\tau)}, \dots \end{aligned}$$

jossa

$a_{0+s\tau}, a_{n+s\tau}, a_{m+s\tau}$
= ajankohtien 0, n ja m nettotuloja vaihtoehdossa A kullekin puusukupolvelle $s + 0, 1, 2, \dots$

$b_{m+s\tau}$ = ajankohdan m nettotulo vaihtoehdossa B kullekin puusukupolvelle $s + 0, 1, 2, \dots$

r = laskentakorkokanta

Vaihtoehtoissa oletetaan, että seuraajametsiköi-

den kiertoajaksi on ennalta valittu τ ja uudistaminen vaihtoehdossa A toteutetaan kahdella suojuvuuhakkuulla ja suojuvuuden poistohakkuulla ajankohdissa 0, n ja m sekä vaihtoehdoissa B avohakkuulla ajankohdassa m . Lisäksi oletetaan, että uudistamisesta aiheutuvat kustannukset toteutuvat tuloajankohtina, jolloin kaikki nettotulot ovat positiivisia. Uudistamisvaihtoehdon j ($j = A, B$) nykyarvo voidaan kirjoittaa kaavalla:

$$(3.1.3) \quad \Pi_j = j_0 + j_n e^{-rn} + j_m e^{-rm} + j_{0+\tau} e^{-r\tau} + j_{n+\tau} e^{-r(n+\tau)} + \dots$$

Tällöin vertailtavien uudistamisvaihtoehtojen A ja B nykyarvot ovat

$$(3.1.4) \quad \Pi_A = \sum_{k=0}^N a_0 e^{r\tau} [e^{r\tau} - 1]^{-1} + \sum_{k=0}^N a_n e^{r(n+\tau)} [e^{r(n+\tau)} - 1]^{-1} + \sum_{k=0}^N a_m e^{r(m+\tau)} [e^{r(m+\tau)} - 1]^{-1}$$

$$(3.1.4') \quad \Pi_B = \sum_{k=0}^N b_0 e^{r(m+\tau)} [e^{r(m+\tau)} - 1]^{-1}$$

Edellä oletetaan, että pääomamarkkinoiden korkokanta (joka on laskelmien laskentakorko) pysyy koko laskenta-ajanjakson vakiona.

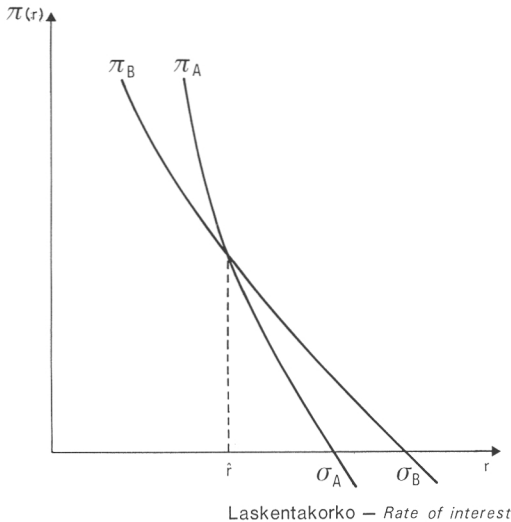
Nykyarvon maksimikriteerillä metsänomistaja valitsee vaihtoehdon, jonka nykyarvo on suurin eli jolle on voimassa

$$(3.1.5) \quad \Pi_{opt} > \Pi_j \quad \forall j$$

Vaihtoehtoissa, joiden nettotulot ajoittuvat eri tavoin, edullisuusjärjestys vaihtuu korkokannan funktiona. Edullisuusjärjestyksen riippuvuutta korosta on esimerkin muotoisesti esitetty kuvassa 2.

Investoinnin kannattavuutta voidaan mitata sen tuottaman sisäisen koron σ_j perusteella. Investointi (j) määritellään kannattavaksi, jos $\sigma_j > r$. Kahden investointivaihtoehdon keskinäisen edullisuuden vertailu sisäisten korkojen avulla on mahdollista vain tapauksissa, joissa hankkeiden tulo- ja menosarjat ovat ajallisesti yhdenmukaiset (Hirshleifer 1970 tai Alchian 1955, sekä väitely sisäisen koron käytöstä metsäinvestointien vertailukriteerinä, Riihinen 1978, Kilkki 1978, Riihinen, 1979, Lappi 1982a, Riihinen 1983a ja b ja Lappi 1983a). Sisäisen koron ja nykyarvon ero voidaan osoittaa kuvan 2 esimerkin avulla. Oletetaan uudistamisvaihtoehtojen sisäisiksi korkoiksi σ_A ja σ_B . Tällöin edullisuusjärjestys on sisäisen koron maksimointikriteerillä $B > A$. Tulos on johdonmukainen nykyarvokriteerin edul-

Nykyarvo
Net present value



Laskentakorko – Rate of interest

Kuva 2. Uudistamisvaihtoehtojen A ja B nykyarvot (π_A ja π_B) markkinakoron r funktiona sekä sisäiset korkokannat (σ_A ja σ_B).

Figure 2. The net values π_A and π_B and the internal rates of return (σ_A ja σ_B) of the regeneration investment alternatives (A and B).

lisuusjärjestyksen kanssa (eli $\Pi_B > \Pi_A$) niille laskentakoroille, joille on voimassa $r \geq \hat{r}$. Laskentakoron arvoilla $r < \hat{r}$ edullisuusjärjestys nykyarvoilla mitattuna vaihtuu ($\Pi_A > \Pi_B$) ja on siis toinen kuin sisäisen koron antama järjestys (Johansson & Löfgren 1985).

3.1.3 Nykyarvoihin perustuva laskentamalli

Metsänuudistamisinvestoinneille on ominaista, että kiinteän panostekijän, maan, tuottavuus muuttuu jos puuston kiertoaikaa muutetaan. Tämä metsälle ominainen tuotantotapa otetaan huomioon uudistamisinvestoinnin optimointitehtävän ratkaisussa (yhteenvetoja kiertoajan vääristä ja oikeista laskentaperiaatteista Gaffney 1975 tai Samuelson 1976). Maan tuottoarvon optimointiin käytettyä ns. König-Faustmannin kaavaa ei metsäekonomisessa perinteessä kuitenkaan ole nähty yksikäsitteisesti metsäinvestointien edullisuuslaskelmien malliksi (käsityksiä esityksissä Saari 1942, Einola 1964 tai Keltikangas V. 1965). König-Faustmannin kaava on ensisijaisesti laskentaperiaate, jota sovelletaan maankoron maksimointitehtävässä eikä valmis laskentaprosessi (Berck 1976).

Edellisessä aluvuussa vaihtoehtojen edullisuusvertailu on määritelty samanlaisina toisiaan seuraavien nettotulojonojen avulla. Tässä tutkimuksessa oletetaan kuitenkin, että uudistettavalle metsikkökuviolle perustettavan puuston tuotanto-ohjelma voi poiketa nykypuuston ohjelmasta. Tehtävänä on nykypuuston hakkuiden sekä uuteen puusukupolveen tähtäävän investoinnin yhtäaikainen optimointi. Maankoron maksimi puuntuotannolle saavutetaan nykypuuston hakkuiden ja tulevien puusukupolvien kiertoajan optimissa. Sekä nykypuuston käsittely että perustettavan puusukupolven toimenpiteet muodostavat ennaltamääritellyn toimenpidetketjun.

Tarkastellaan aluksi uudistamisvaihtoehtojen nykyarvojen määrittystä. Uudistamisvaihtoehdon i nykyarvo päätöksentekohetkellä $t=0$ voidaan kirjoittaa nykypuuston ja tulevien puustojen tulojen nykyarvojen summana:

$$(3.1.6) \quad PV_R(0) = \sum_{t=0}^m T_t^R e^{-rt} - \sum_{t=0}^m O_t^R e^{-rt}$$

$$g_R \left[\frac{e^{rm} - 1}{e^{rm} (e^{r-1})} \right] + PV_R(m) e^{-rm} - \hat{g}_R \frac{1}{e^{rm} (e^r - 1)}$$

jossa

$PV_R(t)$ = puuston nykyarvo hetkellä t vaihtoehdossa R

T_t^R = nykypuuston hakkuutulo hetkellä t vaihtoehdossa R

O_t^R = uudistamiskustannus hetkellä t vaihtoehdossa R

g_R = vuotuiset hallintokustannukset uudistamisvaihtoehdossa R nykypuustolle

\hat{g} = vuotuiset hallintokustannukset uudistamisvaihtoehdossa R seuraajapuustolle

Edellä olevassa laskentakaavassa vuotuiset hallintokustannukset oletetaan ko. kuviolle kohdistetuksi osuudeksi metsälön yhteiskustannuksista. Yhteiskustannusten kohdistamisperusteet muuttuvat, kun nykypuustoista siirrytään seuraajapuustoihin. Nykyarvon laskentakaavan (3.1.6) ensimmäinen tekijä on summa nykypuuston hakkuiden nettotulojen nykyarvoista. Toinen tekijä on niiden uudistamiskustannusten nykyarvojen summa, jotka toteutetaan ennen ajankohtaa m . Kolmas tekijä on nykypuuston vuotuisten hallintokustannusten nykyarvo. Neljäs ja viides tekijä yhdessä ovat hetkestä m diskontattuja maanarvoja.

Laskentakaavassa 3.1.6 maan nykyarvo diskontataan ajankohdasta m , jolloin nykypuuston kiertoaika päättyy. Uudistamisinvestointi on tällä menettelyllä ymmärrettävissä nykypuuston hakkuista erillisenä. Luontaisen uudistamisen

vaihtoehtoon sisältyvä kiertoaikojen sisäkkäisyys otetaan huomioon seuraajapuuston maanarvossa vastaavalla muutoksella laskentahetkessä. Menettely tuottaa periaatteellisesti samanlaisen kiertoaikaratkaisun eikä sitä tässä yhteydessä tarkastella erikseen. Maanarvo hetkellä m voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$(3.1.7) \quad PV_{R(m)} = \frac{\sum_{t=0}^{\tau} \bar{T}_t^R e^{-rt} - \sum_{t=0}^{\tau} \bar{O}_t^R e^{-rt}}{1 - e^{-r\tau}}$$

$$= \frac{\sum_{t=0}^{\tau} \bar{T}_t^R e^{r(\tau-t)} - \sum_{t=0}^{\tau} \bar{O}_t^R e^{r(\tau-t)}}{e^{r\tau} - 1}$$

Uudistamisvaihtoehdon nykyarvon laskentakaavaan voidaan tehdä yksinkertaistus olettamalla vuotuinen hallintokustannus vakioksi ($g_R = \hat{g}_R$) sekä nykypuustolle että seuraajametsikölle. Tällöin nykyarvolle voidaan kirjoittaa:

$$(3.1.8) \quad PV_{R(0)} = \sum_{t=0}^m \bar{T}_t^R e^{-rt} - \sum_{t=0}^m \bar{O}_t^R e^{-rt} +$$

$$PV_{R(m)} e^{-rm} - \frac{g_R}{(e^r - 1)}$$

Myyntin yleiskustannukset (q_t) sekä leimauksen (f_t) ja luovutuksen (d_t) kustannukset on tässä tutkimuksessa sisällytetty laskennallisiksi vuotuisiksi kustannuksiksi muunnettuna vuotuisten hallintokustannusten tekijään. Nykyarvojen laskennassa nykypuuston (netto)-hakkuutuloja ja uudistamistoimenpiteiden kustannuksia käsitellään maanarvosta erillisinä. Menettelyä voidaan perustella siten, että uudistamisen nettotulojen vaikutukset omistajan talouteen rajoittuvat ko. periodille. Seuraajapuuston (netto)-hakkuutulot sekä niitä seuraavat tuotto- ja kustannustapahtumat liitetään maanarvoon. Vuotuisilla hallintokustannuksilla on edullisuusvertailussa merkitystä vain absoluuttiseen tasoeroon. Uudistamisvaihtoehdon tulojen ryhmittelyllä ei ole vaikutusta vaihtoehtojen keskinäiseen edullisuusjärjestykseen mikäli sovellettava laskentakorko on vakio.

Taloudellisen edullisuuden laskentamallia (kaava 3.1.8) sovelletaan seuraavassa uudistamiskohteeseen, jossa vaihtoehdoille on määritelty kiinteät toteutusohjelmat. Vertailtavista uudistamisvaihtoehdoista oletetaan, että nykypuuston uudistamishakkuut toteutetaan joko yhdellä (viljelyvaihtoehdot) tai usealla hakkuulla (luontaisen uudistamisen vaihtoehto). Uudistamistoimenpiteiden oletetaan ajoittuvan kussakin vaihtoehdossa toimenpiteen metsänhoidollisesti edulli-

simpaan toteutusajankohtaan. Seuraavassa esitetään kullekin vaihtoehtoiselle käsittelyohjelmalle erikseen nykyarvojen laskentakaava. Kussakin laskentakaavassa on otettu käyttöön tämän tutkimuksen empiirisessä osassa (luku 4) vertailtavien vaihtoehtojen ajallinen rakenne.

Nykyarvo viljelyvaihtoehdossa (K_1), jossa on avohakkuu ajankohtana $t = 0$ ja uudistamisesta aiheutuvia kustannuksia merkitään $\sum O^{K_1}$, voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$(3.1.9) \quad PV_{K_1}(0) = T_0 - \sum_{t=0}^{14} O_t^{K_1} e^{-rt} + PV_{K_1}(14) e^{-r14} - g_{K_1} (e^r - 1)^{-1}$$

Vastaavasti vaihtoehdon K_2 osalta, jossa nykypuuston avohakkuu oletetaan toteutettavan ajan-kohtana $t = 14$ saadaan:

$$(3.1.10) \quad PV_{K_2}(0) = T_{14} e^{-r14} - \sum_{t=0}^{14} O_t^{K_2} e^{-rt} +$$

$$PV_{K_2}(14) e^{-r14} - g_{K_2} (e^r - 1)^{-1}$$

Kolmeen uudistamishakkuuseen perustuvan luontaisen uudistamisen vaihtoehdon nykyarvo voidaan kirjoittaa:

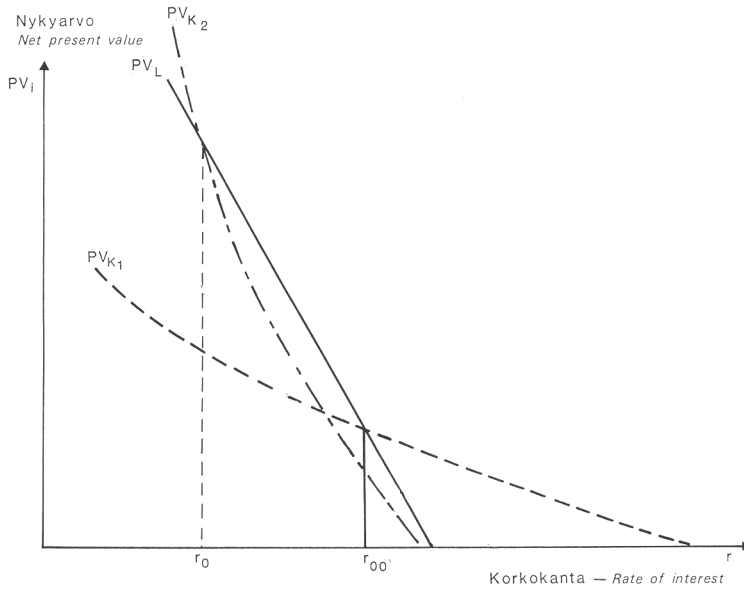
$$(3.1.11) \quad PV_L(0) = T_0 + T_8 e^{-r8} + T_{14} e^{-r14} -$$

$$\sum_{t=0}^{14} O_t^L e^{-rt} + PV_L(14) e^{-r14} - g_L (e^r - 1)^{-1}$$

Kuvassa 3 on esitetty kolmen uudistamisvaihtoehdon nykyarvot korkokannan funktiona.

Kuvasta 3 voidaan nykyarvojen perusteella todeta, että vaihtoehtojen edullisuusjärjestys vaihtuu korkokannoilla r_0 ja r_{00} . Koroilla $r < r_0$ vaihtoehto K_2 ja koroilla $r > r_{00}$ vaihtoehto K_1 on optimaalinen. Koroilla $r_0 < r < r_{00}$ vaihtoehto L on optimaalinen. Täydellisillä pääomamarkkinoilla edullisuusjärjestys on seurausta kolmen tekijän yhteisvaikutuksesta: 1) seuraajapuuston keskituotto, 2) nykypuuston edelleenkasvatuksen arvokasvu ja 3) pääomamarkkinoiden korko.

Esimerkissä alhaisilla markkinakoroilla koko nykypuuston edelleenkasvatus on edullinen sijoitusvaihtoehto. Tulevien puusukupolvien hakkuutulojen myöhentymisen vaikutus on alhaisilla markkinakoron arvoilla vähäinen. Toisaalta, jos markkinakorko on korkea, hakkuutulojen sijoitus pääomamarkkinoille on edullinen vaihtoehto. Seuraajapuustojen tulojen aikaisuus vaikuttaa lyhyen kiertoajan vaihtoehtojen edullisuutta parantavasti korkealla korkokannalla. Vm. syystä vaihtoehto K_1 , jossa koko nykypuuston



Kuva 3. Uudistamisvaihtoehtojen K_1 , K_2 ja L nykyarvot (PV_{K_1} , PV_{K_2} , PV_L) laskentakoron (r) funktiona.

Figure 3. The net present values (PV_{K_1} , PV_{K_2} , PV_L) of the regeneration alternatives (K_1 , K_2 , L), respectively, as a function of the rate of interest (r).

hakuutulo saadaan ajankohdassa $t = 0$ on edullisin korkokannoilla $r > r_{00}$.

Esimerkki on määritelty siten, että vaihtoehdossa L puuston keskimääräinen arvokasvu e^{δ_L} on vaihtoehdossa K_2 täystiheänä kasvatettavan puuston keskituottoa $e^{\delta_{K_2}}$ alhaisempi. Korkokannoilla $r_0 < r < r_{00}$ nykypuuston hakkuun ajoittuminen usealle periodille tekee luontaisen uudistamisen vaihtoehdon L nykyarvon korkeimmaksi. Suojuspuuhakuutulojen sijoituksella saatava tuotto pääomamarkkinoilta kompensoi vaihtoehdossa K_2 nykypuustolle saatavan korkeamman arvokasvun vaikutuksen. Pääomamarkkinoiden tuotto korkokannoilla $r > r_{00}$ tekee nykypuuston osan edelleenkasvatuksen taloudellisesti pääomamarkkinasijoitusta epäedullisemmäksi, jolloin vaihtoehto K_1 on optimaalinen.

3.1.4 Erotusinvestointimenetelmä tulonkäyttömahdollisuuksien vertailussa

Uudistamishakkuiden biologis-taksatorisesti oikea ajoittaminen on kussakin uudistamisvaihtoehdossa sille ominainen. Hakkuumahdollisuuksien

liittyvien tulonkäyttömahdollisuuksien vertailu edellyttää niiden saattamista samanaikaisiksi. Tässä luvussa tarkastellaan erotusinvestointimenetelmää tulonkäyttömahdollisuuksien samanaikaistamisen menetelmänä. Laskentakoron muuttuessa investoinnin pitoaikana laskelmia voidaan yksinkertaistaa käyttämällä erotusinvestointimenetelmää.

Metsänuudistamisen kussakin vaihtoehdossa tuloilla ja menoilla oletetaan olevan ennaltamäärätty toteutumisaikajankohta. Mikäli päätöksentekijän suunnittelema tulojenkäytön ajoitus poikkeaa tuloajankohdista, tulojen ajallinen siirto saattaa aiheuttaa joko kustannuksia tai tuloja. Tässä luvussa tarkastellaan uudistamisvaihtoehtoihin liittyviä tulonkäyttömahdollisuuksia esimerkin avulla.

Jos vertailtavana on kaksi uudistamisvaihtoehtoa (A ja B), niiden edullisuutta voidaan verrata erotusinvestoinnin avulla. Tällöin tarkastellaan nykyarvojen sijasta nettotulojen erotuksen nykyarvoa:

$$(3.1.12) \quad \Pi_{\text{diff}} = \sum_{i=0}^{\infty} (a_i - b_i) \left[e^{\sum_{j=0}^i r_j} \right]_{-1}$$

$$\text{jossa } e^{\sum_{j=0}^i r_j} = e^{r_0} * e^{r_1} * e^{r_2} * \dots * e^{r_i}$$

mikäli $\Pi_{\text{diff}} > 0$ investointi A on investointia B edullisempi ($\Pi_A > \Pi_B$). (Erotusmenetelmän käytöstä investointien edullisuuskriteerinä Puu 1967 tai Johansson & Löfgren 1985). Erotusinvestointimenetelmä on nykyarvojen vertailua parempi vaihtoehto, jos pääomamarkkinat ovat epätäydelliset tai jos korkokanta muuttuu laskenta-ajanjakson kuluessa. Erotusinvestointimenetelmän laskennallinen etu kuitenkin vähenee, jos vertailtavia vaihtoehtoja on useita, koska vaihtoehtoja vertaillaan aina pareittain.

Päätöksentekijä vertaa nykyarvoja soveltaessaan keskimääräistä arvokasvua (nykypuustoista ja seuraajapuustoista) pääomamarkkinoiden tuottoon: Minkälaisesta pääomamarkkinoiden tuotosta luovutaan siirryttäessä aiemmin aloitettava uudistamisvaihtoehdosta myöhemmin aloitettavaan? Edelleenkasvatusvaihtoehdossa tuotto- ja kustannuselementit voidaan erottaa seuraavasti: a) nykypuuston keskimääräinen arvonlisäys sekä b) seuraajapuustojen kasvatuksen myöhentymisestä aiheutuva kustannus (maankorko).

Seuraavassa yksinkertaistetussa esimerkissä tarkastellaan erotusinvestointia hyväksikäyttäen kahden laskennallisen uudistamisvaihtoehdon A ja B keskinäistä edullisuusjärjestystä. Vaihtoehtoissa muiden tuottojen ja kustannusten kuin ensimmäisten hakkuutulojen oletetaan olevan yhtäsuuria. Esimerkissä oletetaan, että ko. ajankohdat ovat vaihtoehtojen uudistamisen aloitusajankohdat (A:lle $t = 0$ ja B:lle $t = 1$). Yksinkertaistukset eivät vaikuta tulosten yleistettävyyteen.

Uudistamisen ensimmäinen hakkuu oletetaan toteutettavaksi vaihtoehdossa A ajankohdassa $t = 0$, jolloin nettotulot muodostuvat tuon ajankohdan hakkuutulojen nettoarvon ja seuraajametsiköiden osalta tulojonon oletetaan toteutuvan kiertoajan pituisin aikavälein. Vaihtoehdon nykyarvo laskentahetkellä $t = 0$ voidaan kirjoittaa:

$$(3.1.13) \quad \Pi_A = a_0 + a_0[e^r \tau - 1]^{-1}$$

jossa

τ = seuraajametsikön kiertoaika
 a_0 = hakkuutulo päteihakkuaajankohdassa

Vaihtoehdossa B oletetaan nykypuuston hakkuuajankohdaksi $t = 1$. Muilta osin käsittelyohjelma oletetaan A:n kaltaiseksi (seuraajametsiköiden päteihakkuut siirtyvät samaksi oletetusta kiertoajasta johtuen yhdellä vuodella).

Nykyarvo laskentahetkellä $t = 1$ on tässä vaihtoehdossa:

$$(3.1.14) \quad \Pi_B = b_1 + a_0[e^r \tau - 1]^{-1}$$

Uudistamisohjelmien nettotulojen ero hetkellä $t = 0$ koostuu a) nykypuuston nettohakkuutulojen (nykyarvo) erosta $a_0 - \frac{b_1}{e^r}$ sekä b) tulevien puustojen nettohakkuutulojen eriaikaisuudesta syntyvästä korkotulosta, joka voidaan kirjoittaa:

$$(3.1.15) \quad a_0\{[e^r \tau - 1]^{-1} - \frac{1}{e^r} [e^r \tau - 1]^{-1}\} = \frac{a_0(e^r - 1)}{e^r(e^{r\tau} - 1)}$$

eli tuotto erotusinvestoinnista perustuu oletukselle pääomamarkkinoilla tehtävästä nettosijoituksesta (tai vastaavasta nettorahoituksesta). Etu nykyarvolaskentaan on selkeä verrattaessa investointivaihtoehtoja vaihtuvien korkojen olosuhteissa. Erotusinvestointi on nolla vertailtavissa hankkeissa samanlaisina toteutuvien erien osalta. Lisäksi vaihtoehtoinen tuotto (kustannus) lasketaan vain siltä erotusajanjaksolta, jolta sitä kertyy.

Edellä tarkasteltiin kahteen ajankohtaan $t = 0$ ja $t = 1$ sijoittuvien hakkuutulojen tulonkäyttömahdollisuuksia. Seuraavaksi hakkuumahdollisuudet määritellään samalle metsikölle, jolloin voidaan tarkastella tulonkäyttömahdollisuuksien riippuvuutta keskimääräisestä arvokasvusta δ ja korkokannasta r . Esimerkilaskelmassa tuottojen suhde on $\delta > r$. Suhteesta seuraa, että tulonkäyttömahdollisuudelle ovat voimassa ehdot:

Taulukko 1. Investointivaihtoehtojen nykyarvot ja arvot laskentahetkellä $t=1$ sekä erotusinvestointimahdollisuudet täydellisillä pääomamarkkinoilla (korkokannalla r).

Table 1. The net present values of the investment alternatives A and B at $t=0$ and $t=1$ respectively, and the difference with respect to investment opportunities in a competitive financial market.

Vaihtoehto Investment alternative	Ajankohta Timepoint	
	0	1
A	$a_0[1 + M]$	$a_0e^r[1 + M]$
B	$\frac{1}{e^r} [b_1 + a_0M]$	$b_1 + a_0M$
Erotus	$a_0 - \frac{b_1}{e^r} + a_0M[1 - e^{-r}]$	$= D_0a_0e^r - b_1 + a_0M[e^r - 1] = D$

jossa - where: $M = [e^{r\tau} - 1]^{-1}$

$$(3.1.16) \quad C_0^B > C_0^A, \forall C_0 \\ C_1^B > C_1^A, \forall C_1$$

Yhtälöstä 3.1.16 nähdään, että vaihtoehto A, jossa hakkuu suoritetaan heti valitaan jos,

$$(3.1.17) \quad a_0 > \frac{a_0}{e^r} e^\delta$$

tai kun seuraajapuuston vaikutus otetaan huomioon,

$$(3.1.17') \quad a_0(1+M) > \frac{a_0}{e^r}(e^\delta + M)$$

$$\text{jossa } M = [e^r - 1]^{-1}$$

Epäyhtälö 3.1.17 voidaan kirjoittaa yksinkertaisemmin seuraavasti:

$$(3.1.18) \quad e^{\delta-r} < 1$$

ja epäyhtälö 3.1.17' yksinkertaistuu muotoon:

$$(3.1.18') \quad e^\delta - e^r < \frac{e^r - 1}{e^{r\tau} - 1}$$

Edelleenkasvatusvaihtoehto antaa suuremman kokonaisuhyödyn mikäli epäyhtälö 3.1.18 on voimassa eli silloin, kun arvokasvu on pääomamarkkinoilta saatua tuottoa suurempi. Edellä epäyhtälössä 3.1.18' oikea puoli saa arvoja

$$0 < \frac{e^r - 1}{e^{r\tau} - 1} < 1$$

Mikäli ehto 3.1.18' on vastakkainen ($r > \delta$) hakkuun suorittaminen heti ($t = 0$) ja varojen sijoitus vaihtoehtoiseen kohteeseen antaa korkeamman kokonaistuoton kuin edelleenkasvatus.

Vaihtoehdon B voidaan ehdon 3.1.16 avulla helposti osoittaa olevan vaihtoehtoa A parempi metsänomistajille, joille kulutuksen rajahyöty on ei-vähenevä eli, joille

$$\frac{\partial U}{\partial C} \geq 0$$

3.2 Metsänomistajan hyödyn maksimointi ja uudistamisvaihtoehdon valinta

Edellä tarkasteltiin uudistamisvaihtoehtojen vertailua nykyarvomenetelmällä täydellisillä pääomamarkkinoilla. Tässä luvussa tarkastelua laajennetaan epätäydellisille pääomamarkkinoille. Luvussa 3.2.1 tarkastellaan aikapreferenssiä eli sitä, miten metsänomistaja arvostaa kulutusta (tulonkäyttöä) eri ajankohtina. Luvussa 3.2.2 analysoidaan epätäydellisiksi oletettujen pääomamarkkinoiden vaikutusta uudistamispäätöksiin.

Epätäydellisten pääomamarkkinoiden vaikutukset otetaan huomioon kahdella eri tavalla. Toisaalta oletetaan sijoitus- ja velkakorko keskenään erisuuriksi ja toisaalta oletetaan, että metsänomistajalla on likviditeettirajoitteen muotoinen, kiinteään ajankohtaan sidottu meno. Jälkimmäinen tarkastelu esitetään luvussa 3.2.3.

3.2.1 Hyödyn maksimointi täydellisillä pääomamarkkinoilla

Tässä tutkimuksessa metsänomistajan oletetaan käyttävän metsätuloja muiden tulojen kaltaisesti. Kulutuksen arvostus suhteessa vaihtoehtoihin käyttömuotoihin oletetaan tulolähteestä riippumattomaksi. Metsänomistajan hyötyfunktion määrittely vaikuttaa uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen, mikäli eri ajankohtiin sijoituvia tuloja ei voida siirtää kustannuksetta ajankohdasta toiseen.

Eri ajankohdissa saatavien tulojen arvottamiseksi hyötyfunktio on määriteltävä siten, että siinä tulee otetuksi huomioon sekä a) tulonkäytön rajahyöty että b) eri ajankohtiin sijoittuvien tulojen arvostus.

Määritellään hyöty funktioksi eri ajankohtina (kulutukseen) käytettävistä (reaali)tuloista eli

$$(3.2.1) \quad U = U(C_1, C_2, C_3, \dots, C_N)$$

jossa

C_n = tulonkäyttö ajankohtana h

$h = 1, 2, 3, \dots, N$

Hyöty on kulutuksen aidosti kasvava, ajankohtien tulonkäytön suhteen separoituva funktio eli

$$(3.2.2) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial C_n \partial C_m} = 0 \forall n, m \text{ kun } n \neq m$$

$$(3.2.3) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial C_n^2} \leq 0, \forall n$$

Tämän tutkimuksen edullisuusvertailuissa hyötyfunktio oletetaan lineaariseksi summafunktioksi eri ajankohtien tulonkäytöstä (hyötyfunktion määrittelyperusteista ks. Deaton & Muellbauer 1980). Tällöin kunkin kauden tulonkäytölle sovellettavana painokertoimena on ko. kauden diskonttaustekijä (ks. tarkemmin analyysiä kuvassa 8).

Seuraavaksi tehdään eräitä lisäoletuksia uudistamisvaihtoehtojen nykypuuston hakkuumahdollisuuksista. Tulonkäyttömahdollisuuksia on edellä tarkasteltu siten, että käytettävissä oleva hak-

kuutulo oletetaan saatavan vain yhdeltä ajankohdalta eli $t = 1$. Tässä periaatteellista analyysiä yleistetään siten, että nykypuuston hakkuut oletetaan uudistamisen yhteydessä voitavan jakaa molemmille periodeille, kuten luontaisen uudistamisen siemen- ja suojustuuhakkuussa sekä ylispuisten poistohakkuussa tapahtuu.

Puuston harventaminen vaikuttaa jäljellejäävän puuston kasvuun. Vaikutus voidaan osittaa a) harvennusvoimakkuuden ja b) puuston iän komponenteiksi. Harvennusvoimakkuuden ja jäljellejäävän puuston kasvun välillä on monimutkainen riippuvuus alkutiheydestä, jäljellejäävän puuston tiheydestä, puuston valtapituudesta jne. (Gustavsen 1977 ja Eriksson 1976). Harvennettavan puuston ikä voidaan olettaa separoituvaksi muuttujaksi kasvufunktiossa. Tässä esityksessä tehdään voimakkaita yksinkertaistavia oletuksia siitä, miten jäljellejäävän puuston lähtötiheys vaikuttaa kasvuun.

Tarkastellaan yksinkertaista riippuvuutta lähöpuuston ja hakkuupoistuman välillä. Määritellään lähöpuuston kasvu funktiolla

$$(3.2.4) \quad e^{\delta(V_1)} = e^{\delta(V_0 - T_0)}$$

jossa $v_1 = V_0 - T_0$
= täystiheän puuston V_0 ja hakkuupoistuman T_0 ero

ja

$$(3.2.5) \quad \delta = \delta(V_1) = \text{kasvua kuvaava parametri, joka kuvaa lähtötilaa } V_1 \text{ vastaavaa kasvuoehjelmaa}$$

jossa

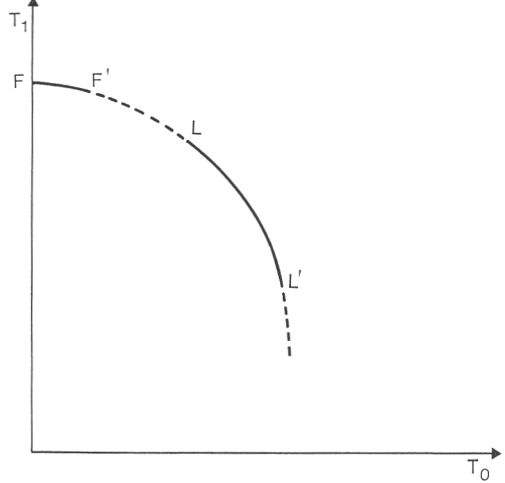
$$\delta > 0 \quad \forall V_1 > 0$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial V_1} \geq 0$$

Päätöksentekijällä on valittavanaan vaihtoehtoisia hakkuuyhdistelmiä. Hakkuuvaihtoehtoisia muodostuu joukko, jota tässä nimitetään hakkuutransformaatioyhdistelmäksi (kuva 4a). Tarkastellaan tapausta, jossa nykypuuston hakkuut ajoittuvat kahteen ajankohtaan $t = 0$ ja $t = 1$. Hakkuuta siirtämällä ajankohtien välillä (= muuttamalla hakkuupoistumaa T_0) vaikutetaan ajankohdan $t = 1$ loppupuustoon. Nettovaikutus (hakkuutransformaation muutos) on lähöpuuston (= kasvupotentiaali) ja kasvufunktion muuttamisen yhteisvaikutusta. Muutossuhdetta oletetaan tässä voitavan kuvata riippuvuudella:

$$(3.2.6) \quad \frac{dV_1}{dV_0} = - \left[e^{\delta(V_1)} + e^{\delta(V_1)} * \delta'(V_1) * V_1 \right]$$

Hakkuut
Cuttings
(t=1)



Hakkuut — Cuttings (t=0)

Kuva 4a. Hakkuutransformaatioyhdistelmän Kuvaaja sekä metsänhoidollisesti toteutettavissa olevat hakkuuyhdistelmät FF' viljelyllä uudistettaessa sekä LL' luontaisesti uudistettaessa.

Figure 4a. The cutting transformation curve and the valid cutting combinations FF' for artificial regeneration and LL' for natural regeneration respectively.

Tekijä $[e^{\delta(V_1)} * \delta'(V_1) * V_1]$ on se hakkuumahdollisuuden lisäys ajankohdassa $t = 1$, joka voidaan saavuttaa kasvufunktion muutoksen kautta vähentämällä hakkuuta ajankohtana $t = 0$ määrällä dV_0 . Seuraavassa hakkuutransformaatiota kuvataan jatkuvalla riippuvuudella:

$$(3.2.7) \quad dV_1 = -e^{\delta} dV_0$$

jossa on mukana kasvuefekti tilassa V_1 .

Funktio 3.2.4 oletetaan hakkuupoistumilla $T_0 \geq \hat{T}_0$ aidosti väheneväksi funktioksi lähöpuustosta. Ajankohdan $t = 0$ hakkuuden nostaminen tasolta $T_0 = \hat{T}_0$ pienentää puuston kasvua. Toisaalta harventamisen vaikutus täystiheässä puustossa on kasvua lisäävä. Tässä oletetaan kasvun lisääntyvän tasolle $T_0 = \hat{T}_0$ muuttujan T_0 kasvaessa. Eri periodeille tulevien hakkuumahdollisuuksien yhdistelmän kuvaaja on analoginen taloustieteen usklassisessa mikroteoriassa käytetyn tuotantomahdollisuuksien kuvaajan kanssa. Hakkuumahdollisuudet ajankohtina $t = 0$ ja $t = 1$ ovat:

ajankohta 0 1
timepoint

hakkuu-
mahdollisuudet $T_0 \leq V_0$ $T_1 = V_1 e^{\delta(V_1)} \geq V_0 - T_0$
cutting possibilities

Edellä määritelty hakkuuden rajatransformaatio voidaan tässä tapauksessa kirjoittaa ehdolle

$$T_0 = V_0, T_1 = V_1 e^{\delta(V_1)}$$

$$(3.2.8) \quad \frac{dT_1}{dT_0} = -e^{\delta(V_1)}$$

Kuvassa 4a esitetään hakkuumahdollisuuksien kuvaaja olettaen rajatransformaation pienenevän ajankohtaan $t = 1$ siirtyvän lähtöpuuston pienenemässä (eli ajankohdan $t = 0$ hakkuuden suurentuessa)

Oletetaan, että hakkuumahdollisuuksien yhdistelmistä tulevat kyseeseen viljelyvaihtoehdossa välin FF' ja luontaisessa vaihtoehdossa välin LL' hakkuuyhdistelmät. Viljelyvaihtoehdossa voidaan tällöin tehdä lievä kasvatushakkuu kaudella $t = 0$. Luontaisen vaihtoehdon osalta oletetaan että intensiteetti hakkuuyhdistelmä pisteessä L' on suurin nykypuustolle hyväksytty.

Oletetaan hyötyfunktio määriteltyksi ehtojen 3.2.2–3.2.4 mukaisesti. Uudistamis päätöksen optimointi toteutetaan siten, että käytetään optimiuudistamis tapaa sekä siinä mahdollisista ohjelmista sellaista hakkuuohjelmaa, joka ko. uudistamistavassa tuottaa taloudellisen optimin. Optimointi oletetaan seuraavassa toteutettavan täydellisillä pääomamarkkinoilla. Hakkuumahdollisuuksien käytön siirtäminen on mahdollista toteuttaa pääomamarkkinoita hyväksikäyttäen. Määritellään yksinkertaisuuden vuoksi, että kokonaishakkuutulolle $M_i = p_i T_i$ on voimassa

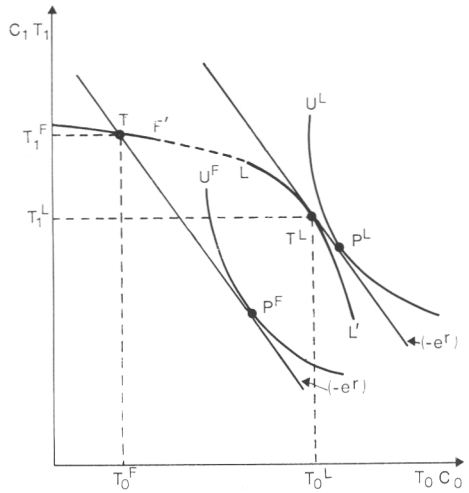
$$M_i = T_i \text{ (eli } p_i = 1 \forall p_i).$$

Optimointitehtävä voidaan kirjoittaa:

$$(3.2.9) \quad \max U = U(C_0, C_1) \\ \text{s.t. } C_0 e^r + C_1 \leq T_0 e^r + T_1$$

Rajoiteyhtälön osalta oletetaan, että sekä tulonkäyttöä että käytettävissä olevia tuloja tarkastellaan prolognoituina hetkeen $t = 1$. Analoginen ratkaisu olisi tarkastella nykyarvoja hetkellä $t = 0$. Jos pääomamarkkinoiden korkokanta on r , hakkuuden optimiyhdistelmät ovat (T_0^L, T_1^L)

Hakkuut, Tulonkäyttö
Cuttings, Consumption
 $(t=1)$



Hakkuut, Tulonkäyttö – *Cuttings, Consumption* ($t=0$)

Kuva 4b. Nykypuuston hakkuuohjelman määrittäminen hyötyfunktion optimointina hyväksyttävien hakkuuyhdistelmien avulla täydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa (markkinakorko = r).

Figure 4b. The determination of the optimal cutting program from the valid cutting combinations as an utility maximization problem in the competitive financial market (market rate of interest = r).

luontaiselle sekä (T_0^F, T_1^F) viljelyvaihtoehdolle kuvan 4b esityksessä. Hyötyfunktio on valittu tässä esimerkissä siten, että yhdistelmällä $T^L = (T_0^L, T_1^L)$ pääomamarkkinoiden käyttö on optimaalista, koska pisteessä on voimassa ehto:

$$(3.2.10) \quad e^{\delta(V_1)} = e^r, \text{ jossa } V_1 = v_0 - T_0^L$$

Sen sijaan yhdistelmällä $T^F(T_0^F, T_1^F)$ pääomamarkkinoille osallistuminen sijoittajana on edullista, muttei lainanottajana, koska

$$(3.2.11) \quad e^{\delta(V_1)} < e^r, \text{ jossa } V_1 = V_0 - T_0^F$$

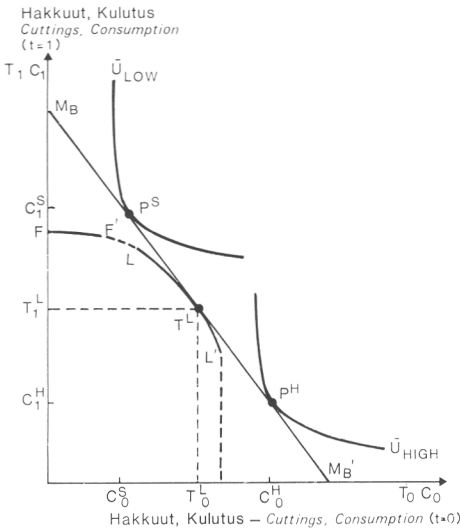
Oletetaan, että hyötyfunktion samahyötykäyrät ovat kuvassa 4b esitettyjen U^F ja U^L mukaisia. Optimaalisille tulonkäyttöyhdistelmille pisteissä P^L ja P^F kokonaishyödyille on voimassa $U^L > U^F$. Esimerkissä luontaisen vaihtoehdon hakkuilla voidaan saavuttaa korkeampi kokonaishyöty kuin viljelyvaihtoehdossa. Metsänomistajan hyötyfunktion tyyppin poikkeaminen edellä esitetystä ei muuta optimihakkuuyhdistelmää, vaikka opti-

maalinen tulonkäyttöyhdistelmä muuttuu. On helppo osoittaa, että on olemassa yksi ja vain yksi kokonaishyödyn optimi, mikäli hyötyfunktio on aidosti konkaavi ja pääomamarkkinoiden rajoite on kvasikonkaavi (ks. Intriligator 1971).

Täydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa metsänomistaja voi valita tulonkäyttöyhdistelmän, joka maksimoi hänen hyötytasonsa (P^L kuvassa 4b). Tällä tavalla kokonaishyötyä voidaan lisätä verrattuna hakkuuyhdistelmän mukaiseen kulutusyhdistelmään (T^L kuvassa 4b). Täydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa ylijälliselta arvostukseltaan erilaisten metsänomistajien kulutusyhdistelmät poikkeavat toisistaan. Sen sijaan optimaalinen hakkuuyhdistelmä T^L on sama.

Tulonkäytön ylijällisten arvostuserojen vaikutusta hakkuutulojen käyttöön tarkastellaan kuvassa 5. Analyysi perustuu kahden aikapreferenssiltään erilaisen omistajan hyötyfunktioihin U_{HIGH} ja U_{LOW} .

Kuvan 5 hyötyfunktioihin liittyvät optimikulutusyhdistelmät poikkeavat toisistaan. Korkean aikapreferenssin metsänomistajan kulutus ajankohdassa $t = 0$ on suurempi kuin alhaisen aikapreferenssin omistajan ($C_0^H > C_0^S$) ja ajankohdan $t = 1$ osalta kulutussuhteet ovat päinvastaiset



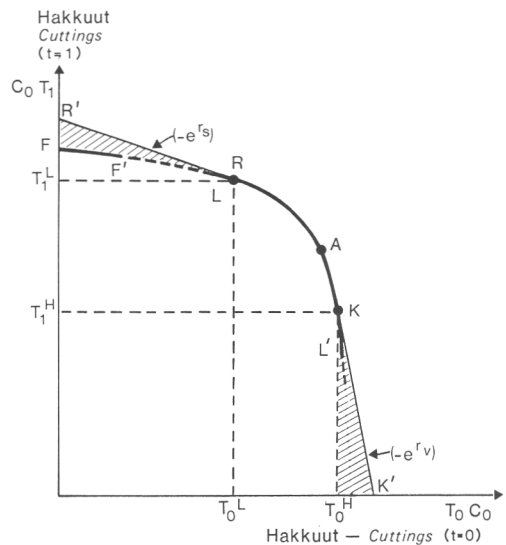
Kuva 5. Optimaaliset tulonkäyttöyhdistelmät korkean (U_{high}) ja alhaisen (U_{low}) aikapreferenssin metsänomistajille (P^H ja P^S) täydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa hakkuista (T_0^L, T_1^L).

Figure 5. The optimal consumption patterns (P^H and P^S respectively) from the cutting pair (T_0^L, T_1^L) for the forest owners with high (U_{high}) and low (U_{low}) time preference in the competitive financial market.

($C_1^H > C_1^S$). Kuitenkin optimaalinen hakkuuohjelma (T_0^L, T_1^L) on molemmille omistajatyypeille sama. Pääomamarkkinoille osallistumalla hakuiden ajoittumisen ja aikapreferenssin yhteys häviää. Täydellisille pääomamarkkinoille osallistumalla metsänomistaja voi saavuttaa optimihakkuuyhdistelmän (T_0^L, T_1^L) avulla mitkä tahansa tulonkäyttömahdollisuudet suoralla $M_B M_B'$.

3.2.2 Epätäydellisten pääomamarkkinoiden vaikutus uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen

Edellisessä luvussa käsiteltiin uudistamisen päätöksentekoa täydellisillä pääomamarkkinoilla. Tarkastelu osoitti täydellisten pääomamarkkinoiden tekevän mahdolliseksi sen, että päätöksentekijän aikapreferenssillä tai yleisemmin ajallisel- la rajahyödyllä ei ole vaikutusta vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen. Tässä luvussa tarkastellaan päätöksentekoa epätäydellisillä pääomamarkkinoilla. Pääomamarkkinoiden velkakorko (r_v) oletetaan suuremmaksi kuin sijoituskorko (r_s). Toisin kuin täydellisillä pääomamarkkinoilla, epätäydellisillä pääomamarkkinoilla nykypuuston käsittelyohjelman optimointi perustuu korkosuhteiden lisäksi metsänomistajan hyötyfunktioon. Optimihakuiden määrätymisalue voidaan jakaa kolmeen osaan (Hirshleifer 1970). Kuvassa 6a tarkastellaan tehokkaiden tulonkäyttöyhdistelmien joukkoa RK.



Kuva 6a. Hakkuumahdollisuudet ja epätäydellisille pääomamarkkinoille osallistuminen.

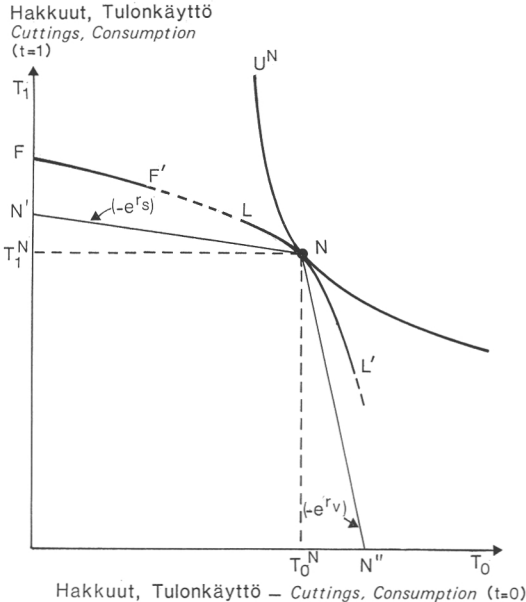
Figure 6a. The cutting opportunities and the use of the imperfect financial market services.

Välillä RK pääomamarkkinoille osallistuminen ei ole optimaalista. Toisaalta tulonkäyttöyhdistelmien, joita kuvataan suoralla KK', yhteydessä on rationaalista osallistua pääomamarkkinoille sijoittajana. Analogisesti yhdistelmät RR' tekevät osallistumisen pääomamarkkinoille lainantottajana rationaaliseksi.

Mikäli kulutusoptimi sijoittuu suoralle RR' on optimaalista valita hakkuuyhdistelmä (T_0^L, T_1^L) (piste R) ja osallistua pääomamarkkinoille.

Seuraavaksi tarkastellaan aikapreferenssin vaikutusta. Korkean aikapreferenssin metsänomistaja voi parantaa kokonaishyötyään lisäämällä kulutusta lainanotolla yli optimihakkuuyhdistelmän (T_0^H, T_1^H) (piste K'). Sen sijaan sellaisille metsänomistajille, joille hyödyn maksimoinnin ratkaisu vastaava hakuiden optimiyhdistelmä on välillä RK, pääomamarkkinoille osallistumisella ei ole mahdollista parantaa kokonaishyötyä korkokannoilla $r_s > r > r_v$. Vm. tapauksessa hakuiden ajoittamisen optimi määräytyy ehdon $e^{\rho} = e^{\delta}$ mukaan tangenttipisteessä.

Kuvassa 6b tarkastellaan esimerkkiä, jossa metsänomistajan hyötyfunktio on edelläkäytettyä, vähenevän rajahyödyn tyyppiä. Kuvassa hyö-



Kuva 6b. Epätäydellisten pääomamarkkinoiden käytön tehottomuus tulonkäyttömahdollisuuksien siirtoon hakkuuyhdistelmällä (T_0^N, T_1^N) .

Figure 6b. The inefficiency in the use of imperfect financial market in the optimization of consumption from the cutting pair (T_0^N, T_1^N) .

tyfunktion samahyötykäyrä U^N on piirretty si-
vuamaan hakkuumahdollisuuksien kuvaajaa. Li-
säksi kuvassa on esitetty pääomamarkkinoiden
transformaatioisuhteita kuvaavat NN' sekä NN''.

Maksimaalinen kokonaishyöty saadaan hak-
kuuyhdistelmällä (T_0^N, T_1^N) osallistumatta pää-
omamarkkinoille. Laina- tai sijoitusmahdolli-
suuksien avulla ei ole saatavissa kokonaishyö-
tyä, joka olisi hyötytasoa U^N suurempi.

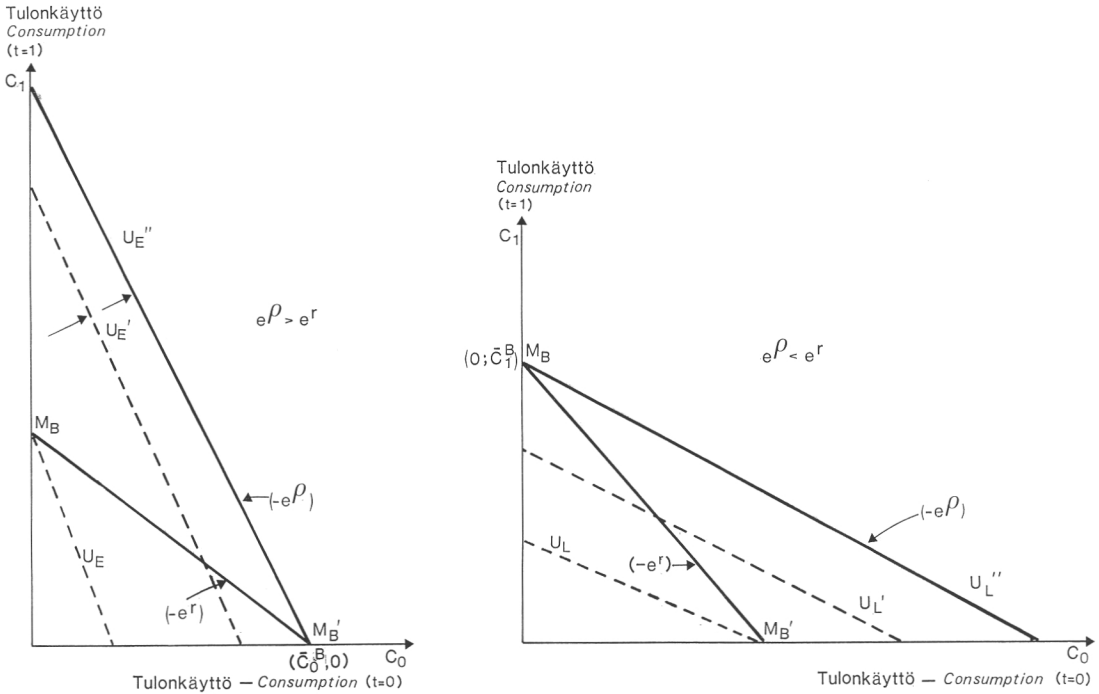
Edelläesitettyissä optimiratkaisuissa on olet-
tu tietyn ajankohdan tulonkäytön rajahyöty vä-
heneväksi ajankohdan tulojen määrän kasvaessa.
Hyötyfunktioista määritellyt samahyötykuvaajat
ovat vm. funktiityypissä konvekseja funktioita
origon suhteen (kuten kuvaajat \bar{U}_{LOW} , \bar{U}_{HIGH}
edellä kuvassa 5). Ajankohdan tulonkäytön li-
sääminen kasvattaa tulonkäytön ylijällistä raja-
korvaussuhdetta sitä vähemmän, mitä suurem-
man tulonkäytön ajankohdasta on kyse.

Edellisestä poiketen nykyarvolaskentaan sisäl-
tyy implisiittisenä oletuksena ylijällisen tulon-
käytön rajakorvaussuhteen vakioisuus. Nykyar-
voja laskettaessa oletetaan, että tulonkäytön siir-
ttäminen ajankohdasta toiseen ei muuta tulonkäy-
töstä saatavaa hyötyä, mikäli tulo myöhempään
ajankohtaan siirtyessään kasvaa laskentakoron
osoittamalla muutosvauhdilla.

Nykyarvon maksimointia vastaavan tavoite-
funktion samahyötykuvaaja on suora, jonka kul-
makerroin on ylijällistä aikapreferenssiä mit-
taava tuottotekijä e^{ρ} . Kuvassa 7 on esitetty kak-
si vaihtoehtoista nykyarvon maksimointitehtä-
vää täydellisillä pääomamarkkinoilla. Kuvassa
7a aikapreferenssi on oletettu pääomamarkkinoi-
den tuottotekijää suuremmaksi ($e^{\rho} > e^r$). Vastaa-
vasti kuvassa 7b aikapreferenssi on oletettu pää-
omamarkkinoiden tuottotekijää pienemmäksi
($e^{\rho} < e^r$).

Nykyarvon maksimointi täydellisillä pääoma-
markkinoilla on tulonkäytön ylijällisen jakau-
tuminen suhteen nurkkaratkaisu kummassakin
em. tapauksessa. Korkean aikapreferenssin met-
sänomistajan hakkuutulosten nykyarvo maksimoi-
tuu koko hakkuutulosten nykyarvon (\bar{C}_0^B) käy-
töllä ajankohdassa $t = 0$. Maksimissa hakkuutu-
lojen nykyarvo lasketaan pääomamarkkinoiden
korkokantaa soveltaen.

Edellisen kanssa johdonmukaisesti alhaisen
aikapreferenssin metsänomistajan hakkuutulosten
nykyarvo (\bar{C}_0^B) saadaan prolongoimalla ajankoh-
dan $t = 0$ hakkuutulot pääomamarkkinoiden kor-
kokannalla ajankohtaan $t = 1$ (\bar{C}_1^B) ja diskont-
taamalla kokonaistulo aikapreferenssin korkokan-
taa soveltaen ajankohtaan $t = 0$ (kuva 7b).



Kuva 7. Metsänomistajan hyödyn maksimointi täydellisen kilpailun pääomamarkkinoiden olosuhteissa (korko + r) tuloikäydyhdistelmistä $M_B M_B'$, kun aikapreferenssi on erisuuri kuin markkinakorko. Hyötymekanismissa edustavat kokonaisyötykuvaajat korkean aikapreferenssin metsänomistajalle (U_E, U_E', U_E'') (kuva a) ja alaisen aikapreferenssin metsänomistajalle (U_L, U_L', U_L'') (kuva b) ovat suoria nykyarvon maksimointitehtävissä.

Figure 7. A forest owner's utility maximization from the income opportunities $M_B M_B'$, with a high time rate of interest (ρ) (total utilities U_E, U_E', U_E'') (Figure a) and a low time rate of interest (total utilities U_L, U_L', U_L'') (Figure b) in a perfectly competitive financial market (market rate of interest = r) and $\sigma > r$ (in Figure (a) and $\sigma > r$ in Figure (b)).

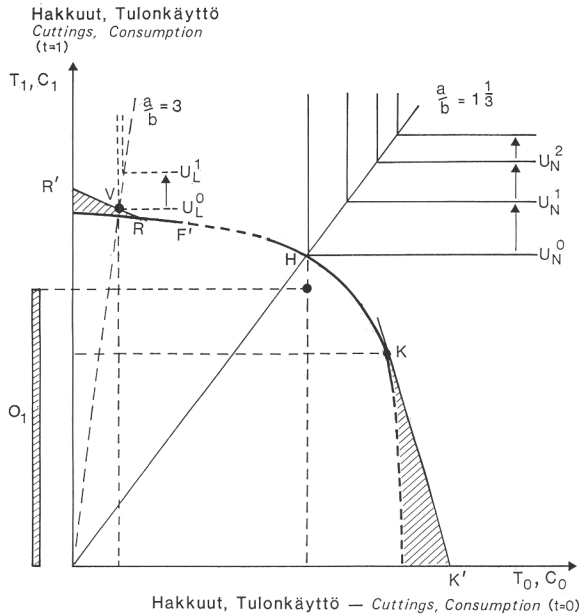
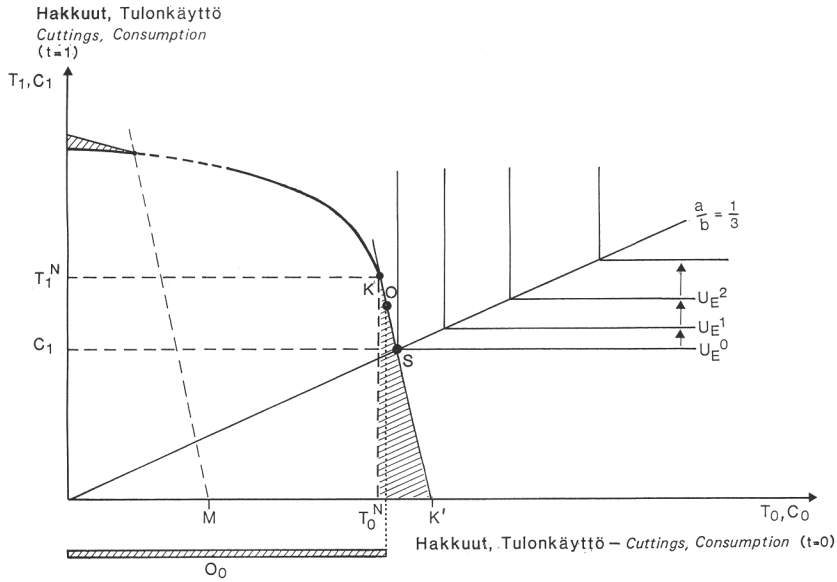
3.2.3 Likviditeettirajoitteen vaikutukset uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen

Edellisen luvun analyysissä oletettiin, että metsänomistajan taloudessa ei ole rajoitteita tulokäytön ajalliselle jakamiselle. Tässä luvussa tarkastelua laajennetaan käsittämään ko. rajoite yksinkertaisen likviditeettirajoitteen muodossa. Metsänomistajan oman talouden likviditeettirajoitteet, esimerkiksi hakkuupäätöstä tehtäessä tiedossa oleva suuri kertaluontoinen meno (tulotavoite) rajoittavat hakkuu- ja/tai uudistamis päätöksiä. Likviditeettirajoitteen vaikutusta uudistamis päätökseen tarkastellaan ensin periaatteellisella tasolla ja sen jälkeen sovellettuna olosuhteisiin, joita käytetään empiirisissä laskelmissa.

Likviditeettirajoitteen metsänomistajan uudistamistavan valintaa tarkastellaan kuvassa 8. Edellisissä luvuissa tehtyjen yksinkertaistusten

mukaisesti oletetaan, että a) pääomamarkkinoilla on lainattavissa vakiokorolla r_v ja sinne on sijoitettavissa vakiokorolla r_s ilman määrällisiä rajoitteita, b) nykypuuston uudistamishakkuut sekä likviditeettirajoitteen mukainen rahantarve rajoittuvat kahteen ajankohtaan (tässä $t = 0$ ja $t = 1$) sekä c) seuraajapuustojen nykyarvo on sama PV kaikissa vaihtoehdoissa ja se on vain laskentakorkokannan r funktio.

Tarkastellaan esimerkiksi, jossa pääomamarkkinoiden korkokannat r_v ja r_s on valittu siten, että kuvassa pääomamarkkinoille osallistumista edustavat tangenttipisteet ovat uudistamisvaihtoehtojen hakkuuyhdistelmien päätepisteet. Nämä pisteet ovat optimaalisia hakkuuyhdistelmiä pääomamarkkinoille osallistuttaessa. Tällöin hakkuuyhdistelmä velkarahoitusvaihtoehdossa (korko = r_v) on pisteessä O (kuva 8a) ja vastaavasti sijoitusvaihtoehdossa (korko = r_s) pisteessä K (kuva 8b) Likviditeettirajoitteen oletetaan tarkastelta-



Kuva 8. Nykypuuston hakkuiden ja tulonkäytön jakautuminen uudistamisessa epätäydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa kun metsänomistaja on likviditeettirajoitteinen (rajoite $C_0 + \bar{C}_0$ Kuvassa a ja rajoite $C_1 + \bar{C}_1$ Kuvassa b).

Figure 8. The timing of the cuttings and the consumption of cutting incomes from the current stand in the regeneration decision making of the liquidity constrained forest owner faced with an imperfect financial market $C_0 = \bar{C}_0 =$ the liquidity constraint of the forest owner (constrained at $t=0$) $C_1 = \bar{C}_1 =$ the liquidity constraint of the forest owner (constrained at $t=1$) (the utility function of the forest owner, the zero intertemporal consumption elasticity of substitution is assumed, two alternative valuation ratios for incomes are applied here: $\frac{T_0}{T_1} = 3$ in Figure a and $\frac{T_0}{T_1} = \frac{1}{3}$ in Figure b).

vissa esimerkkitapauksissa olevan joko ajankohdassa $t = 0$ tai $t = 1$. Kuvissa tarkastellaan likviditeettirajoitteita a) periodilla $t = 0$ rajoitesuoran $C_0 = K_0$ sekä b) periodilla $t = 1$ rajoitesuoran $C_1 = K_1$ mukaisina.

Tarkastellaan ensin ajankohdassa $t = 0$ likviditeettirajoitteisen metsänomistajan optimiratkaisua hakkuille sekä tuloikätyölle. Kuvasta 8a voidaan havaita, ettei ko. menon O_0 rahoitus ole mahdollinen ilman lainanottoa. Menon rahoitus ei ole mahdollinen viljelyyn perustuvan uudistamisvaihtoehdon nykypuuston hakkuutulojen nykyarvon avulla (viljely ei ole rationaalinen korkean pääomamarkkinoiden kustannusten takia), (maksimiarvo viljelyvaihtoehdon nykypuuston hakkuutuloille on piste M). Luontaisen vaihtoehdon hakkuuden optimi on pisteessä $K = (T_0^N, T_1^N)$, jolloin hakkuutulon ja luotonoton avulla menon K_0 rahoituksen lisäksi metsänomistajan käytettävissä ovat kulutusyhdistelmät suoralla KK' .

Se tuloikätyön jakautuminen, joka toteutetaan likviditeettirajoitteen yli jäävillä tuloilla, määräytyy tuloikätyön ylijällisen arvostussuhteen perusteella. Kuvan esimerkissä metsänomistajan hyötyfunktion ylijällinen tuloikätyön korvausjousto 0 ja periodin tulojen suhteellinen arvostussuhde $T_0/T_1 = 1/3$.

Tällöin optimiratkaisu kulutukselle on pisteessä S.

Toisessa esimerkissä tarkastellaan ajankohdan $t = 1$ likviditeettirajoitteisen metsänomistajan (rajoite 0) optimiratkaisua. Tässä tapauksessa uudistamisen vaihtoehtoihin siirtyvät optimihakkuuyhdistelmät edellyttävät vähintään rajoitteen suuruisia käytettävissä olevia tuloja ajankohdassa $t = 1$. Esimerkkitapaukset kuvassa 8b on määritelty siten, että metsänomistajalle 1, jonka samahyötykuvaajat ovat (U_N^0, U_N^1, U_N^2) , ei ole optimaalista osallistua pääomamarkkinoille. Likviditeettirajoitteen yli käytettävissä olevien hakkuutulojen käyttösuhte valitaan ylijällisen tuloikätyön arvostussuhteen mukaan ($a/6 = 1 \ 1/3$) (hakkuuohjelma pisteessä H). Toisaalta alhaisen aikapreferenssin metsänomistajalle 2 ($a/6 = 3$) likviditeettirajoitteen O_1 rahoittaminen on optimaalista. Valitun hakkuuohjelman (piste R) tuloista ajankohdan $t = 0$ hakkuutulojen se osa, joka ei kuulu optimituloikätyöhjelmaan (piste V) sijoitetaan pääomamarkkinoille ja likviditeettirajoitteen yli jäävät tulot ajankohdassa $t = 1$ käytetään ajankohdassa $t = 1$ optimikäyttöyhdistelmässä määrättyllä tavalla.

Likviditeettirajoitteen vaikutusta uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen selvitetään

tässä tutkimuksessa empiirisesti ilman eksplisiittistä hyötyfunktioäärittelyä ja siihen perustuvaa optimointia. Epätäydellisten pääomamarkkinoiden ja tulotavoitteen vaikutuksia edullisuuteen tutkitaan nykyarvoihin perustuen. Tämä menettely mahdollistaa metsikkökohtaiset edullisuuslaskelmat. Toisaalta edullisuusjärjestystä ja ko. tekijöiden vaikutusta siihen voidaan verrata täydellisen kilpailun pääomamarkkinoiden oltuksella saatuihin edullisuusjärjestyksiin.

Tapauksessa, jossa likviditeettirajoite on ajankohdassa $t = 0$ vaihtoehtojen nykyarvot voidaan kirjoittaa yhtälöillä:

(3.2.12)

$$PV_L(0) = \left[T_0^L - \frac{O(e^{r_1} - 1)}{e^{r_1^8} - 1} \right] + \left[T_8^L - \frac{O(e^{r_1} - 1)}{e^{r_1^6} - 1} \right] e^{-r_b^8} + \left[T_{14}^L - C_L \right] e^{-r_b^{14}} + PV_2(14)e^{-r^{14}}$$

(3.2.14)

$$PV_{K_2}(0) = \left[T_{14}^{K_2} - \frac{O(e^{r_b} - 1)}{e^{r_b^{14}} - 1} \right] - C_K e^{-r_b^{14}} + PV_{K_2}(14)e^{-r^{14}}$$

Käytettyjen merkintätapojen osalta viitataan yhtälöiden 3.1.5–3.1.11 merkintöihin.

Vuotuiset yleis- ja hallintomenot oletetaan rahoitettavan nykypuuston hakkuutuloilla uudistamisajanjaksolta. Metsänomistajalle, jolla on likviditeettirajoite ajankohtana $t = 8$, uudistamisvaihtoehtojen tuottojen arvot likviditeettirajoitteen ajankohdassa voidaan kirjoittaa seuraavasti:

(3.2.15)

$$PV_K(8) = \left[T_0^L - \frac{O(e^{r_1} - 1)}{e^{r_1^{14}} - 1} \right] e^{r_1^8} + \left[T_8^L - \frac{O(e^{r_1} - 1)}{e^{r_1^6} - 1} \right] \left[T_{14}^L - C_L \right] e^{-r_b^6} + PV_L(14)e^{-r^6}$$

(3.2.16)

$$PV_{K_1}(8) = \left[T_0^{K_1} - \frac{O(e^{r_b} - 1)}{e^{r_b^{14}} - 1} \right] e^{r_1^8} - C_K e^{-r_b^6} + PV_{K_1}(14)e^{r^6}$$

(3.2.17)

$$PV_{K_2}(8) = \left[T_{14}^{K_2} - \frac{O(e^{r_b} - 1)}{e^{r_b^{14}} - 1} \right] e^{r_1^8} - C_K e^{-r_b^6} + PV_{K_2}(14)e^{-r^6}$$

Jos likviditeettirajoite on ajankohdassa $t = 14$, ehdot voidaan kirjoittaa muodossa:

(3.2.18)

$$PV_L(14) = \left[T_0^L - \frac{O(e^{r_1} - 1)}{e^{r_1 \cdot 8} - 1} \right] e^{r_1 \cdot 14} + \left[T_8^L - \frac{O(e^{r_1} - 1)}{e^{r_1 \cdot 6} - 1} \right] e^{r_1 \cdot 6} \left[T_{14}^L - C_L \right] + PV_L(14)$$

(3.2.19)

$$PV_{K_1}(14) = \left[T_0^{K_1} - \frac{O(e^{r_1} - 1)}{e^{r_1 \cdot 14} - 1} \right] e^{r_1 \cdot 14} - C_K + PV_{K_1}(14)$$

(3.2.20)

$$PV_{K_2}(14) = T_0^{K_2} - \frac{O(e^{r_b} - 1)}{e^{r_b \cdot 14} - 1} - C_K + PV_{K_2}(14)$$

Tässä esimerkissä esitetään yksinkertaistetussa muodossa tulotavoitteen ja epätäydellisten pääomamarkkinoiden vaikutuksia edullisuusjärjestykseen. Vertailu vaihtoehtojen välillä voidaan tehdä kunkin ajankohdan osalta nykyarvokriteerillä eri metsänomistajan aikapreferenssille ρ_k eli

$$(3.2.21) \quad \max_i PV_i(1) \Big|_{r = \rho_k} \quad 1 + 0, 8, 14 \text{ ja } \forall \rho_k$$

Vertaamalla edullisuusjärjestystä nykyarvojen avulla kriteerillä 3.1.9–11 saatuihin nykyarvoihin on mahdollista laskea rajoitteen ja pääomamarkkinoiden rakenteen erillisvaikutus. Korkokannat r_v ja r_s ovat tällöin muuttujia.

4 Laskentamallin empiirinen soveltaminen

Tässä luvussa sovelletaan edellä laadittua metsänuudistamisen taloudellisen edullisuuden laskentamallia empiiriseen aineistoon. Empiirinen aineisto on esimerkki eteläsuomalaisen puolukkatyyppin männikön uudistamisesta. Luvussa 4.1 selostetaan, miten vertailtavat uudistamisvaihtoehdot muodostettiin. Edullisuusvertailuun otettiin mukaan kohteelle metsänhoidollisesti perusteltuja uudistamisvaihtoehtoja: 3 luontaisen uudistamiseen, 5 kylvöön ja 2 istutukseen perustuva vaihtoehto. Luvussa 4.2 esitellään laskelmien tulokset ensin täydellisillä pääomamarkkinoilla ja sitten epätäydellisillä pääomamarkkinoilla. Luvussa 4.3 arvioidaan tulosten luotettavuutta.

4.1 Empiirinen aineisto

Tämän luvun aluksi esitellään puolukkatyyppin männiköiden uudistamisen metsänhoidollisia perusteita. Sen jälkeen esitellään uudistamisvaihtoehtojen muodostamisessa käytetyt inventointitiedot ja puuston kasvun ennustamisessa käytetyt kasvumallit sekä vertailtavaksi muodostetut uudistamisvaihtoehdot. Lopuksi käsitellään tuoto- ja kustannustekijöiden muodostumisperusteet.

4.1.1 Puolukkatyyppin männiköiden uudistaminen

Metsän uudistaminen muodostuu sarjasta toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on saada vanhan puuston tilalle uusi, kehityskelpoinen puusuku-

polvi. Toimenpideketjun osia ovat vanhan puuston korjuu (uudistushakkuut), uudistusalan valmistaminen (raivaus, muokkaus), kehityskelpoisten taimien hankkiminen uudistusosalalle (luontaisen siementymisen tai viljelyn avulla) sekä taimien jatkokehityksen turvaaminen (pintakasvillisuuden torjunta ja täydennysviljely).

Uudistamishakkuissa nykypuusto poistetaan yhdessä tai useassa vaiheessa. Luontaisessa uudistamisessa uudistusosalalle jäävän emopuuston tarkoituksena on uudistusalan siementäminen ja/tai kehittyvien taimien suojaaminen pintakasvillisuuden rehevöitymiseltä, hallalta tai kuivattavilta tuulilta. Yleisimmät männyn luontaisen uudistamisen hakkuutavat ovat siemen- ja suojuspuuhakkuu, mutta myös kaistalahakkuuta on käytetty (Vuokila 1980, s. 146). Viljelyyn perustuva uudistaminen toteutetaan useimmiten avohakkuun kautta.

Uudistamishakkuisiin liittyy korjuuteknisiä vaikutuksia. Siemen- tai suojuspuuhakkuissa hehtaarikohtaiset hakkuukertymät korjuuta kohden ovat pienemmät kuin avohakkuussa ja korjuuseen liittyy lisäksi metsään jäävän puuston vaurioitumisvaara. Ylispuiden poistaminen metsänhoidollisesti oikeaan aikaan saattaa olla puunkorjuun suunnittelun kannalta vaikeasti toteutettavissa. Siemen- tai suojuspuunasento on arka myrskytuhoille. Avohakkuussa puunkorjuu on toteutettavissa tehokkailla menetelmillä.

Luontaisessa uudistamisessa uudistusalan taimettuminen voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: siementymiseen, taimiaineksen syntymiseen sekä taimiaineksen vahvistumiseen varsinaiseksi taimikoksi (Sarvas 1956). Siementymisen edelly-

tyksenä on riittävä määrä siemennuskelpoista puustoa (Sarvas 1956) sekä puiden siementuotannolle riittävän edulliset ilmasto-olot. Männylä hyvät siemenvuodet toistuvat noin 4–5 vuoden välein, mutta myös huonojen vuosien siementuotanto voi olla riittävä, mikäli olosuhteet taimettumiselle muuten ovat edulliset. Männyn luontaisessa uudistamisessa siementyminen on vain harvoin minimitekijänä (Heikinheimo 1931).

Runsasravinteisilla kasvupaikoilla pintakasvillisuus rehevöityy valon määrän lisääntyessä ja estää usein luontaisen taimiaineksen syntymisen. Männyn luontaisen uudistamisen kohteina tulevat kyseeseen ensisijaisesti ohutkunttaiset, lajittuneet somerikkokankaat. Tällöin on perusteltua käyttää siemenpuun menetelmää. Puolukkatyypin hienorakenteisilla moreenimailla männyn luontainen uudistaminen on myös mahdollista, mutta tällöin tarvitaan suojuspuustoa pintakasvillisuuden rehevöitymisen ja vesottumisen ehkäisemiseksi. Koska suojuspuusto muuttuu jo taimikon varhaisessa kehitysvaiheessa haitaksi, sitä pyritään vähentämään heti, kun uudistusala on taimettunut (Sarvas 1956). Puolukkatyyppejä viljavammilla mailla männyn luontaisen uudistamisen vaihtoehto on vain harvoin käyttökelpoinen (Vuokila 1980).

Uudistusalan valmistustoimenpiteiden avulla (raivaus ja maanpinnan käsittely) pyritään parantamaan taimikon synty- ja kehitysedellytyksiä. Raivauksessa uudistusalalta poistetaan jätepuusto. Maanpinnan käsittelyssä kivennäismaa paljastetaan ja kuntakerros sekoitetaan kivennäismaahan. Tällöin pintakasvillisuuden kilpailu vähenee, maaperän vesi- ja lämpötila paranevat sekä kasvien käytettävissä olevien ravinteiden määrän lisääntyä. Maanpinnan käsittelyllä helpotetaan myös viljelytyötä (Karjula ym. 1982).

Uudistamisketjuun sisältyy taimikon jatkokehityksen turvaaminen ja -hoito. Jos taimettuminen jää puutteelliseksi, uudistusala joudutaan täydentämään viljelemällä. Heinien, ruohojen sekä vesakon haittavaikutus joudutaan estämään joko mekaanisin tai kemiallisin menetelmin. Luontaisesti syntynyt tai kylvetty taimikko joudutaan usein harventamaan (Karjula ym. 1982). Puolukkatyypin uudistusaloilla on tarpeen heinäntorjunta sekä vähintään kerran suoritettava taimikon perkausharvennus.

Viljelyyn perustuvissa uudistamisvaihtoehdoissa uuden taimiaineksen syntyä ja kehitystä voidaan säädellä paremmin kuin luontaisessa vaihtoehdossa. Viljelemällä saadaan riittävä ja oikeaa puulajia oleva siemen- tai taimimäärä. Ne voidaan lisäksi sijoittaa jatkokehitystä ajatellen

oikeisiin maastokohtiin. Tällöin täydennysviljelyn tarve pienenee. Istutetut taimet saavat kylvöön ja luontaiseen uudistamiseen verrattuna etumatkaa kilpailevaa pintakasvillisuutta vastaan. Valtapuulajin vaihtaminen ja jalostetun materiaalin käyttäminen on metsänviljelyssä mahdollista (Vuokila 1982, s. 19–21).

Kysymykseen tulevat uudistusmenetelmät vaihtelevat puuston ja kasvupaikan mukaan. Usein on mahdollista käyttää vaihtoehtoisia menetelmiä (Parviainen & Lappi 1983). Keskusmetsälautakunnat ovat antaneet yksityiskohtaiset ohjeet sovellettavista uudistamistoimenpiteistä. Näissä ohjeissa (Metsänhoidon suositukset 1989) esitetään luontaista uudistamista käytettäväksi aina, kun on olemassa riittävät edellytykset sekä maaperän että puuston puolesta saada pätehtäkuun ja korjuun jälkeen uudistusalalle sille soveltuvan puulajin tai -lajien muodostama täysituottainen puusukupolvi kohtuullisessa ajassa. Ohjeiden mukaan männyn luontaista uudistamista voidaan käyttää kuivahkolla kankailla (puolukkatyyppejä) ja sitä karummilla kasvupaikoilla, kun metsikössä on riittävästi (50–150 kpl/ha) siementäviksi puiksi kelpollisia valtapuita. Avohakkuuta ja metsänviljelyä taas esitetään käytettäväksi alueilla, joilla ei ole riittäviä edellytyksiä luontaiseen uudistamiseen tai joilla metsänomistaja haluaa käyttää metsänviljelyä.

4.1.2 Puuntuotantofunktioiden muodostaminen

Tämän tutkimuksen vertailulaskelmat perustuvat empiiristen aineistojen avulla muodostettuihin uudistamisvaihtoehtoihin. Uudistamisinventointien perusteella muodostettiin uudistamisketjut, jotka täydennettiin puuntuotantofunktioiksi kasvumallien avulla. Muodostettujen uudistamisvaihtoehtojen yleistämiskelpoisuuden lisäämiseksi niitä verrattiin käytännön uudistamistoiminnan tuloksiin valtakunnan metsien arvioinnin tietojen pohjalta.

Nykypuuston kehityksen ennustaminen ja metsänhoidolliset toimenpiteet

Tutkimusaineistona käytettiin luontaisen uudistamisen osalta ”luontaisen uudistamisen inventoinnissa” 1969 ja 1976 mitattujen uudistusalojen tietoja. Tutkimusaineiston perusjoukko muodostuu valtakunnan metsien viidennen arvioinnin niistä metsikkökuvioista, joilla suoritetuista

toimenpiteistä päätellen oli pyritty luontaiseen uudistamiseen. Otosaineisto on Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon ja Keski-Suomen piirimetsälautakuntien alueelta. Tässä tutkimuksessa aineistoksi valittiin omistajaryhmän yksityiset uudistusalat (Metsätilastollinen... 1980). Inventoinnin suoritti Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosasto (''luontaisen uudistamisen inventoinnin'' (LUI) aineistosta Hänninen ym. 1972).

'Luontaisen uudistamisen inventoinnin' aineistosta poimittiin tiedot niistä puolukkatyyppien uudistusaloista, joilla oli inventointitietojen mukaan pyritty luontaiseen uudistamiseen kolmella hakkuulla. Tätä uudistamismenetelmää oli sovellettu aineistossa eniten.

Vertailtavien metsän käsittelyvaihtoehtojen muodostamisessa pyrittiin siihen, että vaihtoehdot täyttävät metsänhoidollisesti oikean suoritustavan ehdot. Ne luontaisen uudistamisen inventointitiedoissa olleet uudistusalat, joissa nämä ehdot eivät toteutuneet, hylättiin. Aineistosta hylätyt uudistusalat koostuivat aiemmin epämääräisesti käsitellyistä metsiköistä, joissa ei ollut riittävästi siemennyskelpoista puustoa tai puolukkatyyppien kankailla kuusen sekaisiin metsiköihin perustettuja uudistusaloja (Hänninen ym. 1972, s. 8 ja 78). Tämän tutkimuksen aineistoon valituille uudistusaloille asetettiin seuraavat ehdot:

- Luontaiseen uudistamiseen ryhdyttäessä alueella tuli olla riittävästi (vrt. Metsänhoitosuosituksen 1989) siemennyskykyistä puustoa.
- Oleellinen osa uudistamiseen vaikuttavasta emopuustosta tuli olla mäntyä. Erityisesti männyn uudistumista haittaavaa kuusisekoitusta ei emopuustossa sallittu.

Kaikkiaan luontaisen uudistamisen aineistoksi hyväksyttiin 12 uudistusalaa, joilta oli mitattu yhteensä 325 koelaa.

Kasvupaikan maalajin mukaan uudistusalat jakautuivat seuraavasti:

Maalaji	kpl	%
Hietamoreeni	6	50
Hiekkamoreeni	1	8
Hiekka	3	25
Tuntematon	2	17
Yhteensä	12	100

Luontainen uudistaminen oli aineiston valinnassa käytettyjen kriteerien vuoksi onnistunut perusjoukkoa (LUI:n aineisto) paremmin. Näin ollen tämän tutkimuksen tuloksien voidaan olettaa

olevan voimassa vain ko. kriteerit täyttävissä uudistamisolosuhteissa.

LUI:n uudistusaloilla olevien koalojen tiedoista laskettiin luontaisesti uudistettavaa puusukupolvea ja sen käsittelyä koskien tunnuslukuja uudistusaloittaisina keskiarvoina. Taulukosta 2 voidaan havaita, että uudistaminen aloitettiin puuston ollessa keskimäärin 70-vuotiaista. Aineiston uudistusaloille jätettiin suojuspuita ensimmäisessä vaiheessa keskimäärin 325 kpl/ha ja toisessa vaiheessa 104 kpl/ha. Toinen uudistamiseen tähtäävä hakkuu tehtiin keskimäärin 8 vuotta ensimmäisen hakkuun jälkeen ja kolmas 6 vuotta toisen hakkuun jälkeen.

Taulukosta 2 voidaan edelleen havaita, että runkojen keskikoko ennen paljastavaa hakkuuta oli noin 5 % suurempi ja ennen ensimmäistä vapauttavaa hakkuuta noin 3 % suurempi kuin ko. hakkuun jälkeen. Luontaiseen uudistamiseen tähtävissä hakkuissa oli poistettu keskikokoa suurempia runkoja. Metsänhoidon ohjeistojen (Metsänhoidon suositukset 1989) mukaan siementävään puustoon tulee jättää parhaat pää- ja lisävaltapuut. On perusteltua olettaa, että tämän aineiston koaloilla uudistaminen olisi onnistunut keskimäärin paremmin, jos näin olisi menetetty koaloja uudistettaessa (Sarvas 1956, s. 533–534).

Aineiston lähtöpuustolle on konstruoitu kehitysura myös niille tapauksille, joissa sitä kasvatettaisiin edelleen viljelyä edeltävään avohakkuuseen saakka. Lähtöpuuston kasvun ennustamisessa käytettiin Gustavsenin 1977 tutkimuksessaan esittämää tilavuuskasvuyhtälöä $n:o 4$.

Uudistamisen edullisuusvertailussa on lisäksi laskennallinen luontaiseen uudistamiseen perustuva käsittelyohjelma, jossa uudistaminen on toteutettu kahdella hakkuulla. Ensimmäinen hakkuu tehdään kuten edellä selostetuissa kolmeen hakkuuseen perustuvissa vaihtoehdoissa, kun taas toisessa hakkuussa emopuusto hakataan kokonaan pois.

Nykypuuston uudistamisvaiheen hakkuupoistumien rakenteen ennustamiseen käytettiin Vuokilan & Väliahon (1980) männikön $H_{100} = 24$ ennusteyhtälöitä.¹

Luontaisen uudistamisen käsittelyohjelmien metsänhoitotoimenpiteet perustuvat edellä mainittuun luontaisen uudistamisen havaintoaineistoon. Taulukossa 3 esitetään aineiston uudistusaloilla tehdyt ja inventoinnissa tehtäväksi ehdo-

¹Ennusteyhtälöt perustuvat kylvömänniköihin (Vuokila & Väliaho 1980 s. 11). Siksi niiden katsottiin soveltuvan myös luontaisesti syntyneiden männiköiden hakkuupoistumien rakenteen ennustamiseen.

Taulukko 2. Nykypuusto ja sen käsittely luontaisessa uudistamisessa. Puulajina mänty.
 Table 2. Current stands and natural regeneration alternatives in Scots pine forests.

Nykypuuston kehitysvaihe <i>Stage of development of present growing stock</i>	Ikä <i>Age</i>	Tilavuus <i>Volume</i> m ³ /ha	Runkoluku <i>Number of stems</i> kpl/ha	Rungon keskikoko <i>Mean size of stems</i> m ³ /runko m ³ /stem
Lähtöpuusto <i>Initial growing stock</i>	70	164	620	0.265
Poistuma paljastavassa hakkuussa <i>Outturn in the first regeneration cutting</i>	"	82	295	0.278
Puusto em. hakkuun jälkeen <i>Growing stock after first cutting</i>	"	82	325	0.257
Puusto ennen 1. vapauttavaa hakkuuta <i>Growing stock before the second regeneration cutting</i>	78	110	325	0.338
Poistuma em. hakkuussa <i>Outturn from second cutting</i>	"	76	221	0.344
Puusto em. hakkuun jälkeen <i>Growing stock after b.m. cutting</i>	"	34	104	0.327
Puusto ja poistuma 2. vapauttavassa hakkuussa (ylispuiden poisto) <i>Growing stock and outturn in the third regeneration cutting (cutting of standards)</i>	84	43	104	0.413

Taulukko 3. Luontaisen uudistamisen aineistoon kuuluvilla uudistusaloilla tehdyt ja tehtäväksi ehdotetut metsänhoito-
 toimenpiteet.
 Table 3. Silvicultural activities achieved and proposed to the regeneration areas in the empirical data.

Toimenpide <i>Stand growing measure</i>	Taimiston ikä <i>Seedling age</i>	Toimenpide on tehty prosentilla uudistusaloista <i>The proportion of the regeneration areas where the stand growing measure has been performed</i>	Toimenpidettä oli ehdotettu prosentille uudistusaloja <i>The proportion of the regeneration areas where the stand growing measure has been suggested</i>
Raivaus <i>Clearing of the cutting area</i>	3,2	36	36
Laikutus <i>Light soil preparation</i>	–	0	55
Täydennysviljely <i>Supplementary planting</i>	11,0	9	9
Perkaus <i>Cleaning of sapling stand</i>	14,3	27	9
Perkausharvennus <i>Sapling stand management</i>	15,0	36	27

tetut metsänhoitotoimenpiteet. Näiden tietojen perusteella muodostettiin luontaisen uudistamisen käsittelyohjelmien metsänhoitotoimenpiteet.

Luontaisen uudistamisen käsittelyohjelmissa raivaus oletettiin suoritettavaksi ensimmäisen uudistamiseen tähtäävän hakkuun yhteydessä. Luontaisen uudistamisen perusvaihtoehtoon ei liitetty maanpinnan käsittelyä, koska aineiston uudistusalajoilla maanpintaa ei oltu käsitelty. Laskennallisesti muodostettuun kahteen uudistamishakkuuseen perustuvaan luontaisen uudistamisen vaihtoehtoon maanmuokkaus sen sijaan kuuluu. Tämän tutkimuksen laskelmissa täydennysviljely oletettiin tehtäväksi aineiston mukaisesti taimiston ollessa 11 vuoden iässä. Täydennysviljelyn osuus valittiin siten, että aineiston mukaisesti toteutetun täydennysviljelyn osuuteen lisättiin ehdotetun täydennyksen osuus, jolloin täydennysviljelyn osuus oli yhteensä 18 %. Taimikonhoito oletettiin tehtäväksi yhtenä perkausharvennuksena taimikon ollessa 15 vuoden iässä. Tällöin runkoluvun oletettiin harvenevan 2700 kpl/ha:sta 1800 kpl/ha:iin.

Viljelyyn perustuvien metsänkäsittelyohjelmien metsänhoitotoimenpiteet määriteltiin aineis-

ton perusteella vastaavasti luontaisen uudistamisen määrittelyn kanssa. Tämä aineisto perustui metsänviljelyn inventoinnissa (MVI) mitattujen uudistusalojen tietoihin. (Metsänviljelyn inventointitiedot ovat vuosilta 1967–69 ja 1975–76, Yli-Vakkuri ym. 1969). Aineisto muodostui puolukkatyyppin kylvöaloista, jotka sijaitsivat Lounais-Suomen (13 kpl), Itä-Hämeen (10 kpl), Itä-Savon (9 kpl) ja Keski-Suomen piirimetsälautakuntien alueella. Kultakin uudistusosalta oli mitattu noin 75 koealaa.

Kylvövaihtoehdon lisäksi laadittiin istutukseen perustuva laskennallinen käsittelyohjelma, jonka metsänhoitotoimenpiteet raivauksen ja täydennysviljelyn osalta määritettiin kylvötaimistoihin perustuva aineistoa käyttäen. Istutusketjun istutus- ja taimikonhoitotöiden kustannukset perustuvat metsänhoitotöiden työmenekkitutkimukseen (Heino ym. 1978). Laskelmien määrittelyperusteiden vuoksi istutusketjun metsänhoitotoimenpiteiden kustannusten yleistämisessä on rajoituksia.

Metsänviljelyyn perustuvissa käsittelyohjelmissä uudistusala oletettiin raivattavaksi avohakkuun yhteydessä. Samana kesänä uudistusalan maan-

Taulukko 4. Viljelyn ja luontaisen uudistamisen toimenpideketjuihin sisältyvät metsänhoitotoimenpiteet suoritusajankohtineen.

Table 4. The silvicultural activities and their timing in the calculated regeneration alternatives.

Metsänhoitotoimenpide <i>Silvicultural activity</i>	Ajankohta jolloin toimenpide suoritetaan <i>Timing of the silvicultural activity</i>	
	Viljelyketjussa <i>In the artificial reforestation chain</i>	Luontaisen uudistamisen ketjussa <i>In the natural reforestation chain</i>
Raivaus <i>Clearing of the cutting area</i>	Päätehakkuu <i>Final cutting</i>	Ensimmäinen uudistamiseen tähtäävä hakkuu <i>First generation cutting</i>
Muokkaus <i>Soil preparation</i>	–”–	1)
Viljely <i>Cultivation</i>	Vuoden kuluttua päätehakkuusta <i>One year after final cutting</i>	–
Täydennysviljely <i>Supplementary planting</i>	Taimiston ikä 6 vuotta <i>6 year old young growth</i>	Taimiston ikä 11 vuotta <i>11 year old young growth</i>
Perkausharvennus <i>Sapling stand management</i>	Taimiston ikä 12 vuotta <i>12 year old young growth</i>	Taimiston ikä 15 vuotta <i>15 year old young growth</i>

1) Niissä luontaisen uudistamisen ketjuissa, joissa maa muokataan, se tehdään ensimmäisen uudistamiseen tähtäävän hakkuun jälkeen
In those lines of natural reforestation where soil preparation is performed, it is done after the first regeneration cutting.

pinta oletettiin käsiteltäväksi ns. kevytmuokkauksella, esimerkiksi lautasauralla (määrittelystä ks. Metsätalastollinen vuosikirja 1979). Routavaurioiden välttämiseksi muokattu uudistusala oletettiin viljeltäväksi vasta seuraavana keväänä. Viljelyketjun täydennysviljelyn perusteet määritettiin vastaavasti kuin luontaisen uudistamisen yhteydessä. Täydennyksen osuudeksi saatiin tällä menetelyllä 4 %. Täydennystarve on tässä alhaisempi kuin Suomessa keskimäärin (ks. tuloksia Oksanen-Peltola 1989). Tämän tutkimuksen peruslaskelmissa pidättäydettiin kuitenkin havaintoaineistoon valittujen uudistusalojen osoittamassa täydennyksen osuudessa laskelmien vertailukelpoisuuden vuoksi. Täydennyksen ajankohdassa taimikon ikä on aineiston mukaisesti 6 vuotta. Taimikonhoito toteutettiin viljelyyn perustuvissa käsittelyohjelmissa aineiston mukaisesti taimikon ollessa 12 vuotias. Taimikonhoidossa työvaikeustekijöistä johtuen kustannuserusteet vaihtelivat perustamistavoittain aikatutkimusten mukaisesti (Heino ym. 1978). Taulukossa 4 esitetään tutkimuksen käsittelyohjelmissa käytetyt metsänhoitotoimenpiteet.

Seuraajametsiköiden kehityksen ennustaminen

Seuraajametsikön kehityksen ennustamiseen tarvittiin tiedot lähtöpuustoista sekä niistä kasvumalleista, joiden mukaisesti lähtöpuustojen oletetaan kehittyvän. Tässä tutkimuksessa luontaisen uudistamisen seuraajametsiköiden lähtöpuustot perustuvat edellä esiteltyyn luontaisen uudistamisen havaintoaineistoon. Metsänviljelyn käsittelyohjelmien lähtöpuustot perustuvat Vuokilan & Väliahon (1980) viljeltyjen havumetsien kasvumalleihin. Ko. kasvumalleja käytettiin sekä luontaisen uudistamisen lähtöpuustojen että metsänviljelyn lähtöpuustojen kehityksen ennustamisessa. Samoien kasvumallien katsottiin soveltuvan sekä luontaisesti syntyneiden että kylvetyjen männiköiden kehityksen ennustamiseen, koska kasvumallit perustuvat kylvömänniköihin (Vuokila & Väliaho 1980). Seuraavassa esitellään tarkemmin sekä laskelmissa käytettyjä lähtöpuustoja että niiden kehittymistä kuvaavia kasvumalleja.

Seuraajametsiköiden tiedot perustuvat puolukatyyppin ($H_{100} = 24$) männiköihin. Lisäksi selvitettiin tiedot lähtöpuustojen iästä, runkoluvusta, pohjapinta-alasta, valtapituudesta sekä puuston tilavuudesta.

Kuvassa 9 esitetään havaintoaineiston uudistumisajan jakauma eli se, miten taimikot ovat syntyneet suhteessa ensimmäiseen uudistamiseen tähtäävään hakkuuseen. Kuvasta 9 voidaan havaita, että taimikot ovat syntyneet keskimäärin 4 vuotta ensimmäisen luontaiseen uudistamiseen tähtäävän hakkuun jälkeen. Taimikkojen syntymisen vaatiman ajan vaihteluväli oli 17 vuotta. Aineiston uudistumisajan suuren hajonnan takia vertailulaskelmissa uudistumisajalle käytettiin keskiarvon 4 vuotta lisäksi vaihtoehtoina 8, 12, ja 16 vuotta (luku 4.3.1).

Taimikkojen keskipituuskien kehitys on esitetty kuvassa 10. Pituuskehitys on ensimmäisen kymmenen vuoden aikana ollut havaintoaineistossa suhteellisen hidasta. Taimikon vapautuksen ja hoidon jälkeen sen pituuskasvu on yleensä elpynyt hyvin. Taimikkojen keskipituuskasvu laskettiin neljän vuoden ikäjaksoittain ja 20 vuoden iän keskipituudeksi saatiin 5,0 metriä sekä valtapituudeksi 5,4 m pituushajonnan mukaisesti. Lähtöpuuston pohjapinta-ala arvioitiin taimikkojen keskimääräisen runkolukusarjan perusteella.

Taulukossa 5 esitellään luontaisen uudistamisen, kylvön ja istutuksen käsittelyohjelmien seuraajametsiköiden lähtöpuustojen arvot. Viljelyyn perustuvissa käsittelyohjelmissa seuraajametsikön lähtöpuustona käytettiin viljeltyjen männiköiden $H_{100}=24$ arvoja 20 vuoden iällä (Vuokila & Väliaho 1980). Kylvöön ja istutukseen perustuvissa käsittelyohjelmissa käytettiin samaa seuraajametsikön lähtöpuustoa. Taimikot oletettiin harvennettavan samaan kasvatustiheyteen jo varhaisessa vaiheessa.

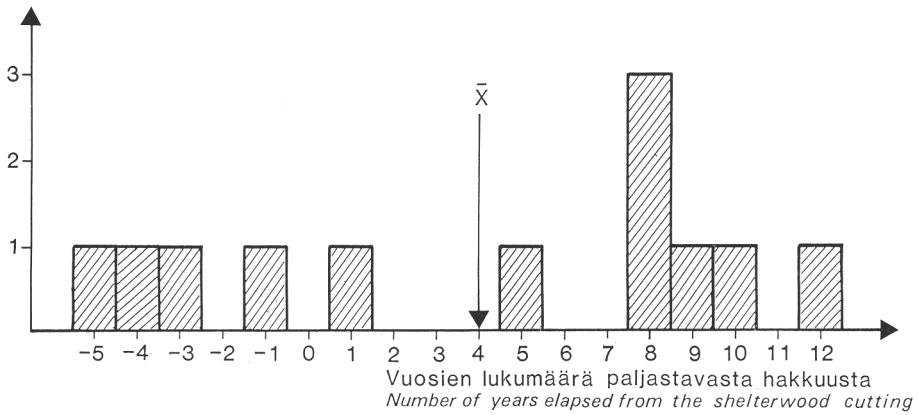
Seuraajametsiköiden taimikkovaiheen jälkeisen kehityksen ennustaminen on tässä tutkimuksessa toteutettu viljelymetsien kasvumalleilla (Vuokila & Väliaho 1980). Taimikkovaiheen jälkeisen kehityksen ei oleteta poikkeavan eri vaihtoehdoissa toisistaan.

Kaikissa edullisuuslaskelmien käsittelyohjelmissa seuraajametsikkö oletettiin harvennettavan 40 ja 55 vuoden iällä. Tällöin puuston kuutiomäärästä poistuu 30 %. Viljelyyn perustuvissa käsittelyohjelmissa oletettiin tehtävän vielä 75 vuoden iällä 30 %:n harvennus.

Luontaisen vaihtoehdon seuraajametsiköiden kolme uudistamishakkuuta oletettiin tehtävän seuraavasti:

- 75 vuoden iällä poistetaan 43 % kuutiomäärästä, jää 289 runkoa/ha
- 85 vuoden iällä poistetaan 69 % kuutiomäärästä, jolloin jää 69 runkoa/ha ja
- 90 vuoden iällä poistetaan ylispuut.

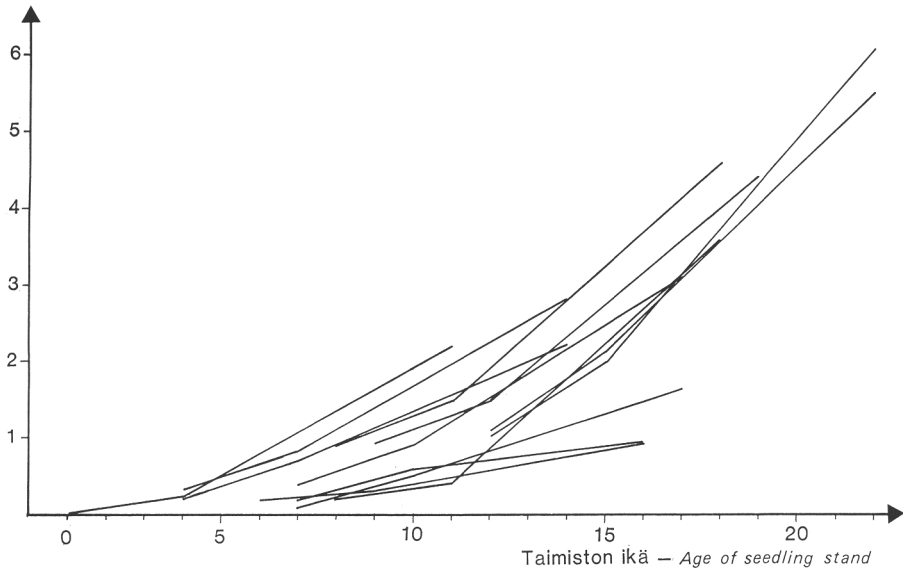
Uudistusalojen lukumäärä
Number of regeneration sample plots



Kuva 9. Taimikkojen vuosittaiset syntymisfrekvenssit ensimmäisen uudistamishakuun jälkeen havaintoaineiston uudistusaloilla.

Figure 9. The annual frequencies of the acceptable seedlings in the treatment areas of the sample (counted with respect to the number of years elapsed from the shelterwood cutting).

Keskipituus
Mean height
metriä – meters



Kuva 10. Luontaisesti syntyneiden taimikkojen keskipituudet havaintokoaloilla taimiston iän suhteen.

Figure 10. The mean heights of the naturally regenerated seedlings in the treatment areas of the sample (counted as a function of the age of the seedling stand).

Taulukko 5. Seuraajametsiköiden kehitystä ennustettaessa käytetyt lähtöpuustot.
 Table 5. The initial stands used for forecasting the desired stocks of the calculated reforestation alternatives.

Lähtöpuustoa kuvaava tunnus <i>Parameter of the initial</i>	Tunnuksen arvo <i>Value of the parameter</i>		
	Istutukseen <i>planting</i>	Kylvöön <i>seeding</i>	Luontaiseen uudistamiseen <i>natural reforestation</i>
	perustuvassa käsittelyohjelmassa <i>basic stand growing program</i>		
Ikä <i>Age</i>	20 v	20 v	20 v
Runkoluku <i>Number of stems</i>	1800 kpl/ha	1800 kpl/ha	1800 kpl/ha
Valtapiuus <i>Dominant height</i>	5,6 m	5,6 m	5,4 m
Pohjapinta-ala <i>Basal area</i>	6,3 m ² /ha	6,3 m ²	5,4 m ² /ha
Tilavuus <i>Cubic volume</i>	19,0 m ³ /h	19,0 m ³ /ha	15,0 m ³ /ha

Viljelyyn perustuvissa käsittelyohjelmissä käytettiin vaihtoehtoisia kiertoaikoja. Niistä lyhimässä päätehakkuu suoritettiin 75 vuoden iällä ja pisimmässä 90 vuoden iällä.

Kuvassa 11 esitetään tiivistelmä puustosarjoihin liittyvistä tunnuksista luontaisen uudistamisen sekä metsänviljelyn osalta. Alla oleva numerointi viittaa kuvassa 11 käytettyyn numerointiin.

Luontaiseen uudistamiseen perustuvissa metsänkäsittelyohjelmissä

- 1) nykypuuston lähtöpuusto, nykypuuston kokonaiskuutiomäärän kehitys, poistumien ajankohta sekä määrä nykypuustossa sekä
- 2) uudistamisaika, taimikon kehitys, seuraajametsiköiden lähtöpuusto

perustuvat luontaisen uudistamisen inventoinnin (LUI) havaintoaineistoon.

- 3) Nykypuuston poistumien puutavaralajirakenne sekä
- 4) seuraajametsikön puuston kehitys, poistumien ajankohta, määrä sekä puutavaralajirakenne seuraajametsiköissä

perustuvat Vuokila & Väliähon (1980) kasvumalleihin.

Metsänviljelyyn perustuvissa metsänkäsittelyohjelmissä

10) nykypuuston lähtöpuusto

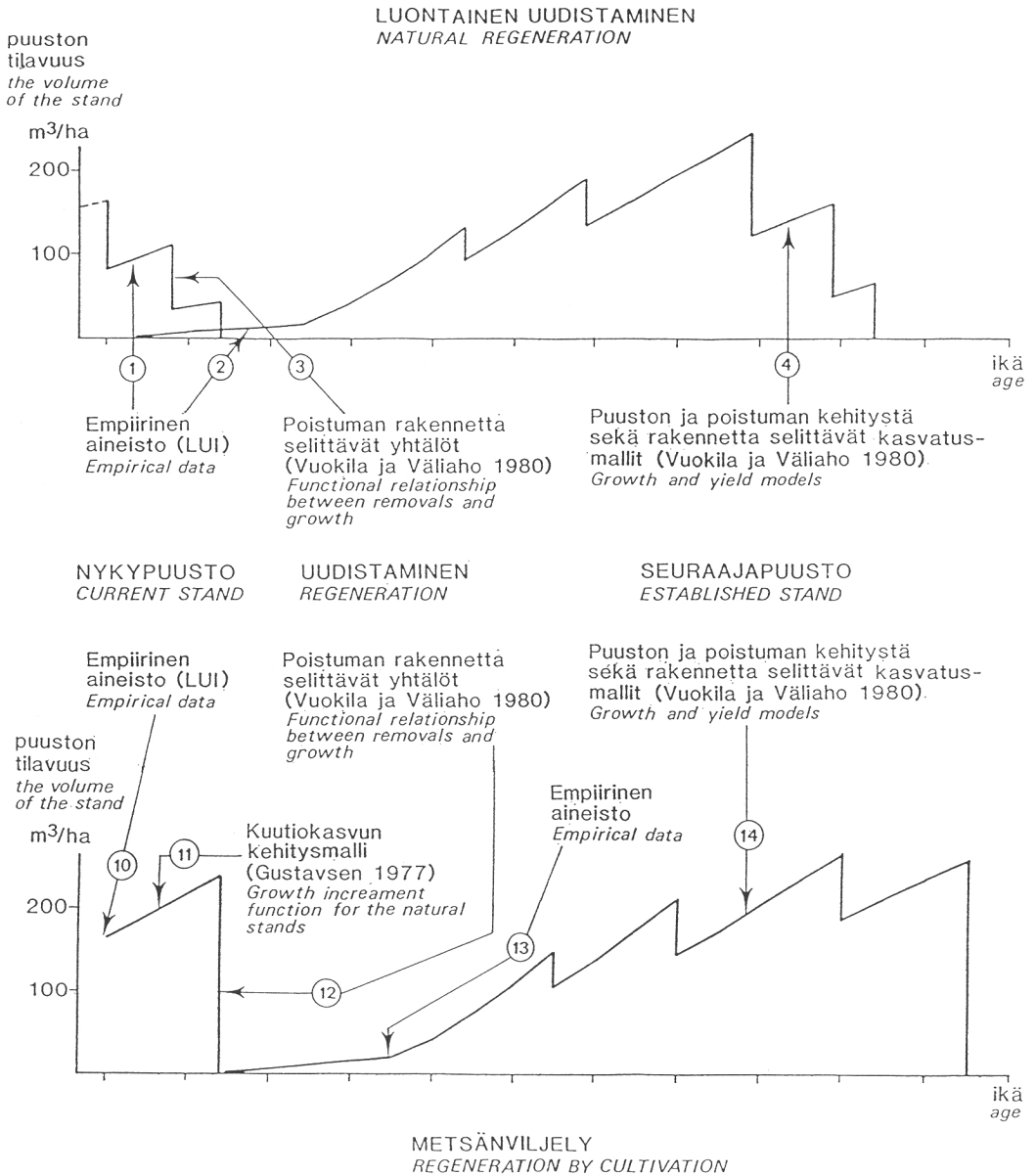
perustuu luontaisen uudistamisen inventoinnin (LUI) aineistoon.

- 11) Nykypuuston kokonaiskuutiomäärän kehitys perustuu Gustavsenin (1977) kuutiokasvuprosentteja selittävään yhtälöön.
- 12) Nykypuuston poistuman puutavaralajirakenne ja
- 13) seuraajametsikön lähtöpuusto sekä
- 14) seuraajametsikön puuston kehitys, poistumien ajankohta, määrä sekä puutavaralajirakenne seuraajametsiköissä

perustuvat Vuokila & Väliähon (1980) kasvumalleihin.

Muodostettujen uudistamisvaihtoehtojen edustavuus

Edellä muodostettujen uudistamisvaihtoehtojen edustavuutta tutkittiin vertaamalla niitä käytännön uudistamistoiminnan tuloksiin. Aineistona käytettiin 7:n valtakunnan metsien inventoinnin kolmen ensimmäisen kesän mittaustietoja. Tavoitteena oli selvittää, miten männiköitä on uudistettu, miten eri tavoin perustetut taimikot eroavat toisistaan ja millainen metsänhoitotöiden tarve niissä on. Lisäksi tavoitteena oli selvittää



Kuva 11. Uudistamisvaihtoehtojen muodostamisessa sovelletut aineistot ja teoreettiset mallit.
Figure 11. The principal structure and major models applied in the specification of the regeneration alternatives and the empirical data sources used in the study.

tää myrskytuhojen yleisyyttä metsänuudistamistavoitain.

Tutkimusaineisto käsittää valtakunnan metsien 7. inventoinnin tiedot 9 eteläisimmän piiri-metsälautakunnan alueilta sekä osasta Pohjois-Karjalan pml:n aluetta. Tutkimusyksikkönä käy-

tettiin koealakuviota, jolla inventoinnissa mitattu koeala sijaitsee. Kaikkiaan käytettävissä oli 52 902 koealakuvioiden tiedot. Näistä valittiin tutkimuksen kohteeksi metsämaalla olevat kangasmaan männiköt, joita oli 15 364 koealakuviota (VMI kenttätöyön ohjeet 1977).

Selvityksen perusteella kaikista männyn kangasmaiden taimikoista 55 % oli perustettu viljellen ja 45 % oli syntynyt luontaisesti. Viljelyä oli yleisemmin käytetty luontaista uudistamista rehevämmillä kasvupaikoilla. Puolukkatyyppin kaikaiden taimikoista noin puolet oli perustettu viljellen ja noin puolet luontaisesti.

Viljelytaimikot osoittautuivat luontaisesti syntyneitä taimikkoja paremmiksi. Kaikki sekä viljely- että luontaisesti syntyneet taimikot oli luokiteltu kehityskelpoisiksi (ei vajaatuottoisiksi). Hyviksi tai tyydyttäväksi oli luokiteltu viljelytaimikoista 91 % ja luontaisesti syntyneistä taimikoista 79 %. Hyviksi luokiteltujen taimikkojen osuus oli viljelytaimikoissa 63 % ja luontaisesti syntyneissä taimikoissa 30 %. Hoitotoimenpiteen viivästyminen vuoksi taimikon laatu oli kärsinyt luontaisesti syntyneissä taimikoissa 8 %:lla. Vastaava osuus viljelytaimikoissa oli vain 2 %.

Metsänhoitotoimenpiteiden tarve osoittautui samansuuntaiseksi sekä viljelyyn perustuvissa että luontaisesti syntyneissä taimikoissa. Molemmissa yhtä neljäsosaa oli ehdotettu jätettäväksi lepoon. Ensisijaisesti täydennystä vaativien taimikkojen osuus oli viljellyissä taimikoissa 4 % ja luontaisesti syntyneissä taimikoissa 5 %. Luontaisesti syntyneissä taimikoissa taimikonhoidon tarve oli arvioitu viljeltyjen taimikkojen tarvetta kiireellisemmäksi.

Luontaiseen uudistamiseen oli männiköissä pyritty pääasiassa suojuspuuasennon kautta. Suojuspuustoja oli 85 % siemen- ja suojuspuustojen kokonaismäärästä. Kolme neljäsosaa siemen- ja suojuspuustoista oli inventoinnissa luokiteltu kehityskelpoiseksi ja loput vajaatuottoisiksi. Jälkimmäiseen ryhmään oli luettu uudistusalat, joissa taimikon syntyminen oli arvioitu epätodennäköiseksi 4 vuoden kuluessa ensimmäisestä uudistamiseen tähtäävästä hakkuusta. Raivauksen tarpeessa olevien siemen- ja suojuspuustojen osuus oli n. 20 % ja maanmuokkauksen tarpeessa olevien osuus n. 10 % kaikista siemen- ja suojuspuustoista. Viljeltäviksi ehdotettujen suojuspuustojen osuus oli 30 % ja siemenpuustojen vastaava osuus 40 %.

Lieviä myrskytuhoja sisältyi aineistoon 1,5 %:lla kaikista metsämaan männiköistä. Myrskytuhojen osudet inventoinnissa olivat siemenpuustoissa 6,6 %, suojuspuustoissa 3,9 % ja uudistuskypsissä metsissä 2,1 %. Aineisto ei antanut mahdollisuutta tutkia avohakkuualojen reunametsien myrskytuhojen yleisyyttä.

Tässä tutkimuksessa muodostettujen uudistamisvaihtoehtojen voidaan vertailuaineiston mukaan päätellä kuvaavan käytännön uudistamis-

toiminnan tuloksia. Luontaisen uudistamisen menetelmänä käytetty suojuspuumenetelmä oli vertailuaineistossa yleisin männyn luontaisen uudistamisen menetelmä. Muodostettujen uudistamisketjujen metsänhoitotoimenpiteet vastaavat vertailuaineistoa. Täydennysviljelyn tarve vastaa tässä tutkimuksessa käytettyjä täydennysosuuksia. Taimikkojen puustotunnuksia voitiin verrata vertailuaineiston laatuoluokituksen perusteella: VMI:n kenttätöohjeiden (1977) mukaisesti luokassa 'hyvä' nuoren metsikön pohjapinta-ala on vähintään 95 % ohjeavosta ja luokassa 'tyydyttävä' vähintään 80 % ohjeavosta. Vertailuaineistossa oleva luontaisesti syntyneiden ja viljeltyjen taimikkojen ero (vastaa noin 10 % ero pohjapinta-alassa) vastaa tässä tutkimuksessa käytettyjen seuraajametsiköiden lähtöpuustoissa olevaa eroa (ks. taulukko 5).

4.1.3 Puun tuottamisen panosten ja tuotosten arvottaminen

Metsänuudistamisketjussa tarvitaan hinta- ja kustannusennusteita. Hinta- ja kustannustason ennusteiden luotettavuusväli muodostuu laajaksi jo yhden puusukupolven pituisena ajanjaksona. Kantohinnat ja puuntuottamisen kustannukset ovat aiemmin kehittyneet toisistaan poikkeavaa kehitysuraa. Hinta- ja kustannustason muutoksilla on merkitystä myös vertailtavien vaihtoehtojen edullisuussuhteisiin. Metsänviljelykustannusten yleistä hinta- ja kustannuskehitystä nopeampi nousu muuttaa metsänviljelyn ja luontaisen uudistamisen edullisuussuhteita. Samoin myös tukki- ja kuitupuun hintasuhteiden muutoksilla voidaan olettaa olevan vaikutusta edullisuussuhteisiin.

Tämän tutkimuksen laskelmissa on sovellettu kahta vaihtoehtoista ennustemenetelmää. Ensimmäisessä hintojen ja kustannusten oletetaan pysyvän tulevaisuudessa reaalisesti päätöksentekohetken tasolla. Toisessa vaihtoehdossa niiden oletetaan kehittyvän samalla uralla kuin ennen päätöksentekohetkeä (tuottavuuden kehityksestä metsänuudistamisessa ks. Oksanen-Peltola 1989). Koska tuottavuuden kehitystä on vaikea ennustaa, kustannusennusteille on valittu yksinkertaisuuden vuoksi oletus hintojen muuttumattomuudesta. Puuntuottamisen panosten ja tuotosten hintasuhteiden oletetaan pysyvän muuttumattomina tulevaisuudessa. Tällöin voidaan käyttää joko valmiita tilastoihin perustuvia kehitysennusteita (Rådström 1980) tai muodostaa omat kehitysennusteet.

Taulukko 6. Tässä tutkimuksessa käytetyt metsänhoitotöiden kustannukset, mk/ha Etelä-Suomessa vuoden 1987 rahanarvossa.

Table 6. Unit costs of silvicultural treatments used in this study, mk/ha in southern Finland deflated in 1987 prices.

	1987(1) toteutunut Cost realized in year 1987	Vakio(2) 1987 arvossa Trend value forecast deflated in year 1987	Ei-vakio(3) (hakkuuvuoden 1985/1986 arvossa) Autoprojective value forecast: deflated in cutting year 1985/86				
			LU ₂₊₃ (84,79)	K ₃₊₁ (84,91)	K ₂₊₁ (70,76)	I ₃₊₁ (84,89)	I ₂₊₁ (70,74)
Raivaus Clearing of the cutting area	320	392	272 (269)	163 (161)	272 (269)	163 (161)	272 (269)
Maanpinnan käsitteleminen Soil preparation	607	658	–	632 (625)	585 (579)	632 (625)	585 (579)
Kylvö Seeding	1007	985	–	706 (699)	695 (688)	–	–
Istutus Planting	2250	2083	–	–	–	1980 (1960)	1871 (1852)
Täydennys Supplementary		409(LU) 98(K)	803 (755)	1026 (1016)	983 (973)	732 (725)	702 (695)
Taimikonhoito Sapling stand management	696	1001(LU) 797(K)	468 (463)	405 (401)	505 (500)	421 (417)	531 (526)

Kantohinnat on metsäekonomisissa tutkimuksissa usein määritetty trendiyhtälöiden avulla, jolloin on saatu suhdanne- ja epäsäännöllisestä vaihtelusta vapaat arvot ennustevuosille (esim. Metsänviljelykustannusten ... 1971, Hämäläinen 1973a). Eräissä tapauksissa on perusteltua käyttää puutavaralajien hintasuhteiden määrittämistä kantohintatason selvittämisen sijasta (esim. Keltikangas & Tiililä 1968) tai vaihtoehtoisia kehitysennusteita vertailulaskelmien pohjana (esim. Hämäläinen 1973b, Payandeh 1977).

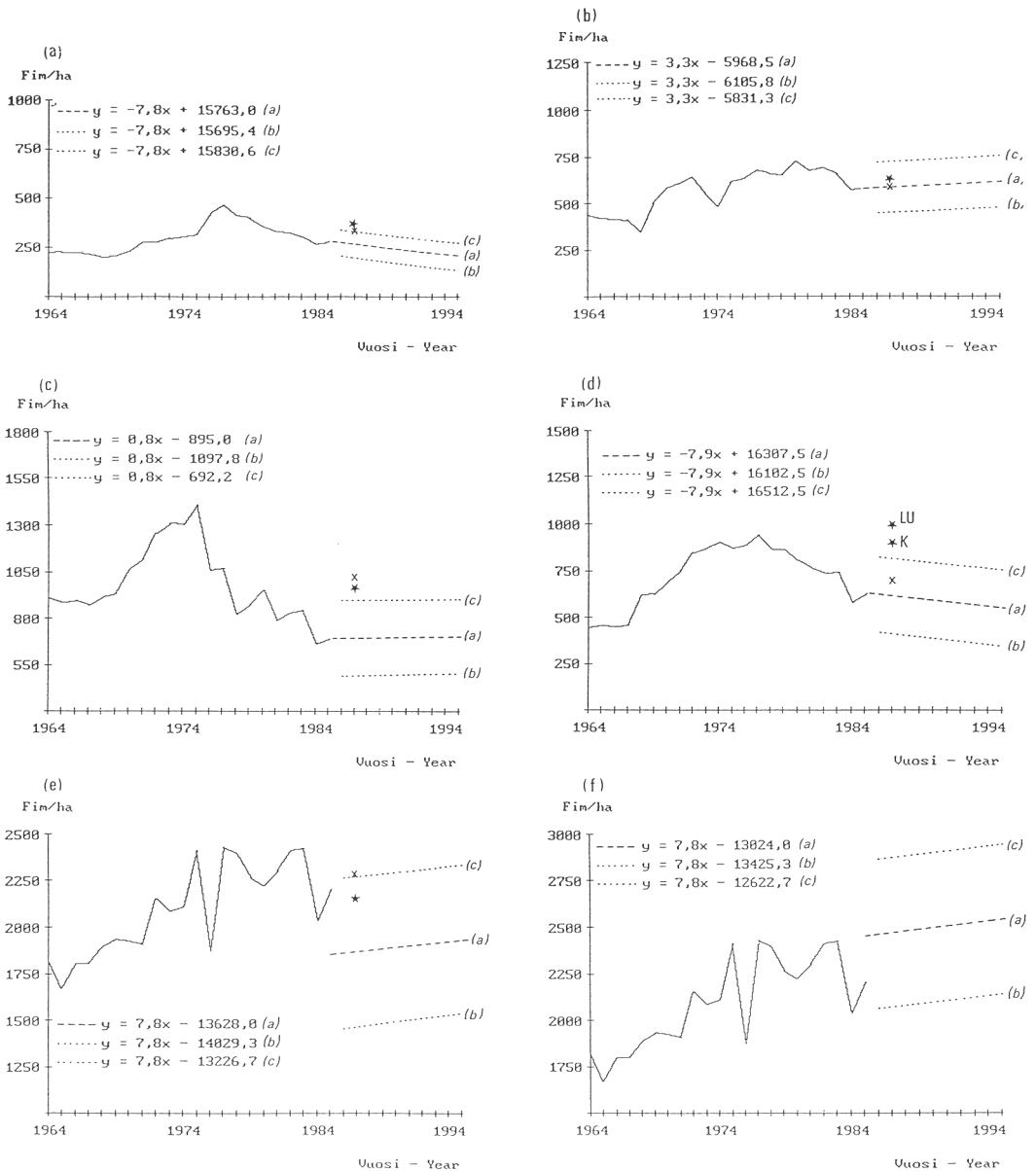
Puutavaralajeittaisten kantohintojen ja puuntuotamisen kustannusten autoprojektiivinen ennustaminen

Tässä tutkimuksessa kantohintojen ennustamisessa käytettyjä autoprojektiivisiä malleja (Arima-mallit) ja malleista laskettuja aikasarjaennusteita sekä niiden laskentaperusteita on esitelty aikaisemmin (ks. Oksanen-Peltola 1989). Mallien hinta-aineistona on käytetty havutukkipuun ja mäntykuitupuun hakkuuvuosittaisia nimellishintasarjoja Etelä-Suomen osalta hakkuuvuosilta 1949/50– 1985/86. Sarjat on deflatoitu tukku-

hintojen kokonaisindeksillä. Ennusteyhtälöiden antamia ennustearvoja verrattiin toteutuneeseen hintakehitykseen sekä mäntytukkipuun että mäntykuitupuun osalta vuoteen 1987 saakka. Ennusteyhtälöt noudattivat toteutunutta hintakehitystä hyvin.

Ennusteyhtälön antamia arvoja käytettiin mäntykuitupuun kantohintaennusteena tämän tutkimuksen muuttuvien kantohintojen ennustelaskelmissa. Mäntytukkipuun kantohintaennuste saatiin havusahapuun ennusteyhtälöstä tasokorjauksella. Keskimääräisistä kantohintojen ennusteista laskettiin kutakin metsikön käsittelykertaa vastaavat yksittäiset ennustearvot. Käytetyt yksikköhinnan korjaukset perustuvat puunkorjuun kustannuseroihin luontaiseen uudistamiseen ja metsänviljelyyn tähtäävissä hakkuissa. Eroihin vaikuttavat keskeisimmin runkojen järeys, leimikon tiheys, ja leimikon koko (Kajanus 1981, s. 33–34).

Puuntuotamisen kustannuksista otettiin mukaan metsänhoitotöiden kustannukset, puunmyynnin kustannukset sekä puunkorjuunkustannusten erot yksikkökantohintojen korjaustekijöiden muodossa. Ei-vakiona pysyvien kustannusten kehityksen ennustamiseen käytettiin kanto-



Kuva 12. Raivauksen (a) maanpinnankäsittelyn (b) kylvön (c) taimikonhoidon (d) männyn paakkutaimen istutuksen (e) ja täydennysistutuksen (f) reaaliset yksikkökustannusten aikasarjat v. 1964–1985 sekä ennusteiden odotusarvot ja 95 % luotettavuusvälit (lähde: Oksanen-Peltola 1989). Kuvaan on merkitty toteutuneet yksikkökustannukset 1987 (merkitty ristillä (x)), lähde: Metsätalastollinen vuosikirja 1989) sekä laskelmissa käytetyt vakiohinnat perustuen trendikehityksen ekstrapolointiin (merkitty tähdellä (*)). Täydennysviljelyn osalta 1987 toteutunut yksikkökustannus sekä laskelmissa käytetty yksikkökustannus puuttuvat, koska määrittelyperusteet eivät olleet yhteismitalliset (ks. teksti). Huomaa: Laskelmissa käytettiin eri taimikonhoidon yksikkökustannusta luontaisen uudistamisen (LU) ja kylvön (K) käsittelyohjelmissä.

Figure 12. Time series of real unit cost of clearing the cutting area (a), site preparation (b), seeding (c) clearing the sampling stands (d), planting balled pine seedlings (e) and supplementary planting (f) covering years 1964–1985, as well as the forecasted values and their 95 % confidence intervals (Oksanen-Peltola 1989). The unit cost values realized in 1987 are marked with a cross (x) and the forecasts of type II with an asterisk (*) (the actual values are reported in Statistical Forestry Yearbook 1989 and the forecasts of type II are explained in detail in the English Summary of this report). (The unit cost values of supplementary planting 1987 are missing due to the change in the basis of the calculation.) Note: The unit cost of clearing of sampling stand are different for natural regeneration and regeneration based on seeding.

hintoja ekstrapoloivia ennusteyhtälöitä. Ennustesarjat ja niiden perusteet on raportoitu aiemmin (ks. Oksanen-Peltola 1989). Ennusteiden laskennassa perustana käytetyt kustannusaikasarjat on muodostettu Metsätalastollisen vuosikirjan metsänhoitotöiden toteutuneiden keskimääräisten yksikkökustannusten (mk/ha) avulla omistajaryhmästä yksityiset ym. kalenterivuosilta 1964–1985. Kustannusaikasarja on deflatoitu tukkuhintojen kokonaisindeksillä. Työlajin yksikkökustannusten sekä taimien yksikköhintojen kehitys v. 1964–1985 sekä niiden autoprojektiiviset ennusteet ja ennusteiden luotettavuusväli on esitetty kuvassa 12.

Metsänhoitotöiden reaaliset kustannukset ovat tarkastelujaksolla nousseet selvimmin vuosina 1970–1976. Ajanjaksolla 1980–1985 kustannusten yleinen suunta on ollut aleneva. Metsänuudistamiskustannukset muodostavat noin puolet metsänhoitokustannuksista. Työntekijöiden palkkakustannukset ovat selvästi metsänuudistamistöiden suurin kustannuserä. Työntekijöiden palkkakustannuksia kuvaavissa sarjoissa on havaittavissa "oppimiskausi" 1977–1985 ja "vakaa" kausi 1981–1985. Muodostetuissa ennusteyhtälöissä on oletettu kehityksen jatkuvan "vakaan" jakson mukaisena myös tulevaisuudessa (Oksanen-Peltola 1989). Verrattaessa vuosien 1986 ja 1987 ennustearvoja toteutuneisiin kustannuksiin voitiin havaita toteutuneiden kustannusten olleen systemaattisesti ennustearvoja suurempia. Raivauksen, kevytmuokkauksen ja taimikonhoidon osalta toteutuneet kustannukset pysyvät ennusteen 95 % luotettavuusvälillä, mutta kylvön ja istutuksen kustannukset ovat olleet yli ennusteen 95 % luotettavuusvälin. Metsänhoitotöiden yksikkökustannusten 1980-luvun alun aleneva suunta näyttää kääntyneen nousuun (ks. kuva 12). Puukaupasta metsänomistajalle aiheutuvien yksikkökustannusten ennusteet perustuivat Maataloustuottajien Keskusliitosta saatuihin tietoihin (perusteista ks. Oksanen-Peltola 1989, s. 16–20).

Tämän tutkimuksen ei-vakiona pysyvien kustannusten laskelmissa käytettiin raivauksen osalta em. ennusteyhtälön odotusarvoa kaikille metsänuudistamismenetelmille. Myös maanpinnan käsittelyn kustannus oletettiin samansuuruiseksi kaikissa vaihtoehdoissa. Kylvön kustannuksina käytettiin ennusteen odotusarvoa, istutuksen kustannuksena männyn paakkutaimien istutuksen ennusteen odotusarvoa sekä täydennysistutuksen kustannuksena paljasjuuristen männyntaimien istutuksen ennusteen odotusarvoa uudistusketjun täydennysosuudella korjattuna. Taimikonhoidon kustannuksena käytettiin samoin ennusteen odo-

tusarvoa kaikissa uudistamisketjuissa.

Metsänhoitotöiden kustannuksina käytettiin ko. ennustearvoja nyky- ja ensimmäisen seuraajapuuston osalla. Seuraavissa puusukupolvissa kustannusten oletettiin toistuvan käsittelyvaihtoehtokohtaisesti samanlaisena kuin em. puusukupolvissa. Menettelyyn päädyttiin laskelmien vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi vaikka kustannusten kehityksen kaikissa em. puusukupolvia myöhemmissä puusukupolvissa voidaan olettaa olevan riippuvainen käsittelyvaihtoehdosta eikä ajasta. Samalle kalenterivuodelle sattuvissa lyhyen ja pitkän kiertoajan kylvövaihtoehdoissa ovat kylvön hehtaarikustannukset erisuuret. Menettelytavan merkitys on periaatteellinen, koska kaukaisen tulevaisuuden tapahtumien merkitys nykyarvolaskelmissa on vähäinen nollasta poikkeavilla laskentakorkokannoilla (vrt. Ollonqvist & Oksanen 1988, s. 102).

Vakiosuhteisten kantohintojen ja puuntuottamisen kustannusten ennusteet

Autoprojektiivisilla malleilla lasketut puuntuottamisen kustannusten ennusteiden tulokset sekä vakio-oletuksella suoritettujen laskelmien tulokset esitetään taulukossa 5 reaalisina vuoden 1987 rahanarvoon tukkuhintojen kokonaisindeksillä muutettuna. Lisäksi taulukossa esitetään vuonna 1987 toteutuneet metsänhoitotöiden yksikkökustannukset yksityismetsissä Etelä-Suomen alueella (vrt. Metsätalastollinen vuosikirja 1988). Verrattaessa ennusteita vuoden 1987 toteutuneisiin metsänhoitotöiden kustannuksiin havaitaan, että raivauksen, maanmuokkauksen ja taimikonhoitotöiden kustannukset ovat laskeneet. Kylvön ja istutuksen kustannukset ovat nousseet 1980-luvulla. Mäntykin reaalin yksikkökantohinta on pysynyt vakiotasolla, mutta mäntykuitupuun yksikkökantohinta on laskenut.

Täydennysviljelyn toteutuneiden yksikkökustannusten on oletettu noudattaneen istutuksen yksikkökustannusten kehitystä. Vakiosuhteisten ennusteiden laskelmissa käytetyt täydennysosuudet on määritetty eri perustein (ks. luku 3.3.1). Kustannukset voidaan tulkita siten, että vakiooletuksen laskelmissa täydennyksen hehtaarikustannus on saatu kertomalla yksikkökustannus täydennystarpeen todennäköisyydellä käsittelyohjelmassa. Tässä oletetaan, että käsittelyohjelman uudistusaloille kohdistuu keskimäärin kyseinen hehtaarikustannus. Kuten taulukosta 6 havaitaan ovat luontaisen uudistamisen täydennyskustannukset havaintoaineiston mukaan nelinkertaiset

kylvövaihtoehtoon nähden. Autoprojektiivisissä ennusteissa käytetyt täydennyksen hehtaarikustannukset on tulkittu siten, että täydennyksen kustannukset ovat edellä esitetyn mukaiset, jos uudistusala joudutaan täydentämään.

Tämän tutkimuksen edullisuusvertailujen peruslaskelmissa käytettiin vakio-oletuksen mukaisia yksikköhintojen ja -kustannusten ennusteita. Tällöin verrataan mukanaolevien uudistamismenetelmien edullisuussuhteita nykyarvomenetelmällä sekä täydellisten että epätäydellisten rahamarkkinoiden oletuksella. Peruslaskelmien edullisuussuhteiden pysyvyyttä tutkitaan herkkyyssanalyysin lähtöoletusten muuttuessa. Puuntuotossennusteiden muutosten vaikutusten lisäksi testataan hinta- ja kustannussennusteiden muutosten vaikutusta uudistamismenetelmien edullisuussuhteisiin. Herkkyyssanalyysissä tutkitaan kunkin hinta- ja kustannustekijän vaikutusta erikseen sekä kaikkien em. tekijöiden muutosten yhteisvaikutusta.

4.2 Uudistamisvaihtoehdot ja niiden taloudellinen edullisuus

Empiiriseen edullisuusvertailuun otettiin mukaan kolme luontaiseen uudistamiseen, viisi kylvöön ja kaksi istutukseen perustuvaa uudistamisvaihtoehtoa. Taulukossa 7 on esitetty eri metsänkäsitelyohjelmien hakkuuajat ja kiertoajat uudistamistavoitain.

Mukana olevien metsänkäsitelyohjelmien lähtökohta on eteläsuomalainen 70-vuotias puolukkatyyppin männikkö, jossa puuston tilavuus on 164 m³/ha ja runkoluku 620 kpl/ha (ks. luku 3). Vertailtavien uudistamisvaihtoehtojen käsittelyohjelmat koostuvat nykypuuston uudistamisvaiheesta sekä seuraajametsiköistä, joiden kiertoaikojen oletetaan toistuvan samanlaisina tulevissa puusukupolvissa. Vertailulaskelmissa käytetään metsänkäsitelyohjelmia idendifioivaa koodijärjestelmää. Koodijärjestelmä esitellään symboli-luettelon yhteydessä sivulla 4.

Luontaiseen uudistamisen metsänkäsitelyohjelmiksi muodostettiin empiirisiin aineistoihin perustuva LU₃₊₂(84,79) sekä laskennalliset vaihtoehdot LU₂₊₂(78,79)_{min} ja LU₂₊₂(78,79)_{max}. Jälkimmäisten avulla on kuvattu samaa metsänkäsitelyohjelmaa siten, että ensimmäisessä vaihtoehdossa (min) maanmuokkauksella ei oletettu olevan vaikutusta syntyvään taimistoon ja toisessa vaihtoehdossa (max) maanmuokkauksen avulla oletettiin saatavan kylvötaimikkoa vas-

taava taimikko. Luontaisen uudistamisen vaihtoehtojen keskinäistä edullisuusjärjestystä on tarkasteltu liitteessä 1.

Kylvöön perustuvat viisi metsänkäsitelyohjelmaa määriteltiin havaintoaineistosta ja ne poikkeavat toisistaan päätehakkuaajankohtien suhteen. Vertailuun muodostettiin edellisten lisäksi kaksi päätehakkuaajankohdan suhteen erilaista istutusvaihtoehtoa. Ne ovat laskennallisia ja poikkeavat vastaavista kylvövaihtoehtoista sekä viljely- ja taimistonhoitokustannusten että kiertoaikojen suhteen kuten luvussa 4.1.2 on esitetty. Istutusvaihtoehtojen taloudellista edullisuutta on tarkasteltu liitteessä 1.

Luontaiseen uudistamiseen ja kylvöön perustuvien viljelyvaihtoehtojen edullisuusjärjestystä analysoidaan ensin täydellisillä ja sen jälkeen epätäydellisillä pääomamarkkinoilla.

4.2.1 Vertailu nettohyötyarvoilla täydellisillä pääomamarkkinoilla

Uudistamisen ensimmäinen taloudellinen tapahtuma on usein hakkuutulo. Nykyarvomenetelmään perustuvissa laskelmissa nykypuustoon sitoutuneen pääoman realisoituaikajankohdalla on edullisuuteen sitä suurempi vaikutus mitä korkeampi laskentakorko on. Pieni laskentakorkokanta suosii voimaperäisiin metsänhoitotöihin ja pitkiin kiertoaikoihin perustuvia vaihtoehtoja, kun taas korkea korkokanta parantaa alhaisen kustannustason sekä lyhyiden kiertoaikojen vaihtoehtojen edullisuutta (Metsänviljely kustannusten... 1971).

Ensimmäisen vertailun tavoitteena on selvittää kylvöön ja luontaiseen uudistamiseen perustuvien vaihtoehtojen edullisuusjärjestystä sekä kylvövaihtoehdon kiertoajan muutoksen vaikutusta edullisuuteen. Kuvassa 13 esitetään luontaisen uudistamisen ja eri kylvövaihtoehtojen suhteelliset nykyarvot korkokannan funktiona. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdon nettohyötyarvoa merkitään arvolla 100 kullakin korkokannalla.

Lyhyimpään kiertoaikaan perustuvassa kylvövaihtoehdossa K₂₊₁(70,76) päätehakkua oletetaan suoritettavaksi nykypuustossa samaan aikaan luontaiseen uudistamiseen perustuvan käsittelyohjelman ensimmäisen uudistamiseen tähtäävän hakkuun kanssa eli puuston ollessa 70-vuotiaista. Vastaavasti pisimpään kiertoaikaan perustuvassa kylvövaihtoehdossa K₃₊₁(84,91) päätehakkua oletetaan tapahtuvaksi nykypuustossa samaan aikaan kuin siemenpuiden poisto luontaisen uu-

distamisen vaihtoehdossa $L_{2+3}(84,79)$ eli puuston ollessa 84-vuotiasta.

Kuvasta 13 havaitaan, että pienenevillä laskentakorkokannoilla pitkän kiertoajan viljelyvaihtoehtojen ja suurenevilla laskentakorkokannoilla lyhyiden kiertoaikojen viljelyvaihtoehtojen suhteellinen edullisuus paranee. Erot eri käsittelyohjelmien välillä ovat pienimmillään noin 3 % laskentakorkokannalla. Vaihtoehtojen nykyarvojen yhtäsuuruutta ko. korkokannalla voidaan tulkita puustojen arvokasvusuhteisiin perustuen. Nykypuustossa ero on pelkistettävissä puuston edelleenkasvatuksen tuoton ja hakkuutulon vaihtoehtoistuonon edullisuusvertailuksi. Seuraajapuustojen osalta kyse on eri vaihtoehtojen keskimääräisen arvokasvun ja hakkuutulojen eriaikaisuuden nettovaikutuksista. Korkeilla laskentakoroilla vaihtoehtojen nykyarvojen yhtäsuuruus merkitsee likimääräisesti sitä, että nykypuuston arvokasvu on yhtäsuuri kuin ko. laskentakorko eli pääomamarkkinoiden oletettu vaihtoehtoistuotto.

Tässä vertailussa mukana olevista vaihtoehdoista koko puuston edelleenkasvatukseen ja kylvöön perustuva vaihtoehto $K_{3+1}(84,91)$ on edullisin alle 2,5 % laskentakorkokannoilla. Metsi-

kön nykypuuston arvokasvu on suurimmillaan tämän vaihtoehdon nykypuustossa. Kun laskentakorkokanta pienenee alle 1 %:in, lisääntyy maanarvon osuus vaihtoehtojen nettonykyarvoissa ja luontaisen uudistamisen vaihtoehdon suhteellinen edullisuus paranee. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdossa alhaiset uudistamisen kustannukset kompensoivat täyshiheänä kasvatettava puustossa saatavaa korkeampaa keskituottoa vaihtoehdossa $K_{3+1}(84,91)$.

Laskentakorkokannan arvoilla välillä 2,5–4,0 % luontaiseen uudistamiseen perustuva käsittelyohjelma $LU_{2+3}(84,79)$ on edullisin. Vaihtoehtojen suhteellinen edullisuusjärjestys vaihtuu korkokannan noustessa, koska metsää luontaisesti uudistettaessa nykypuustoa hakataan aikaisemmin ja kustannukset ovat alhaisemmat kuin myöhäisen päätehakkuun kylvövaihtoehdossa $K_{3+1}(84,91)$. Hakkuilla ei kuitenkaan poisteta koko nykypuuston jäljellä olevaa arvokasvun mahdollisuutta, kuten varhaisen päätehakkuun kylvövaihtoehdossa $K_{2+1}(70,76)$. Uudistamisen kustannuseroilla on vain vähän vaikutusta vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen.

Mikäli laskentakorkokannan arvoa suurennetaan yli 4,0 % tulee varhaisen päätehakkuun kylvö-

Taulukko 7. Laskelmissa mukana olevat metsänkäsittelyohjelmat.

Table 7. The regeneration alternatives of the profitability calculations.

Käsittelyohjelman koodi <i>Code of the stand growing program</i>	Uudistamistapa <i>Type of reforestation</i>	Nykypuuston ikä uudistushakkuussa <i>Age of the present growing stock in regeneration fellings</i>	Tavoitepuuston ikä kasvatushakkuissa <i>Age of the desirable growing stock in intermediate felling</i>			Uudistushakkuissa <i>Age of the desirable growing stock in regeneration</i>	Kiertoaika <i>Rotation</i>	Metsänhoitotimenpiteet <i>Stand growing measures</i>
$LU_{2+3}(84,79)$	Luontainen	70 78 84	40 55	75 85 90	79	79	R,T,PH	
* $LU_{2+2}(78,79)_{\min}^1$	uudistaminen	70 78	40 55	75 85	79	79	R,M,T,PH	
* $LU_{2+2}(78,79)_{\max}^2$	<i>Natural reforestation</i>							
$K_{2+1}(70,76)$	Kylvö	70	40 55	75	76	76	R,M,K,T,PH	
$K_{3+1}(75,81)$	<i>Seeding</i>	75	40 55 75	80	81	81	"	
$K_{3+1}(78,86)$		78	40 55 75	85	86	86	"	
$K_{3+1}(80,88)$		80	40 55 75	87	88	88	"	
$K_{3+1}(84,91)$		84	40 55 75	90	91	91	"	
* $I_{2+1}(70,74)$	Istutus		40 55	75	74	74	R,M,I,T,PH	
* $I_{3+1}(84,89)$	<i>Planting</i>		40 55 75	90	89	89	"	

Selitys: R = Raivaus, M = Maanmuokkaus, K = Kylvö, I = Istutus, T = Täydennysviljely, PH = Perkausharvennus

Explanation: R = Clearing of the cutting area, M = Soil preparation, K = Seeding, I = Planting, T = Supplementary planting, PH = Sapling stand management

1) Kuten ohjelma $LU_{2+3}(84,79)$ paitsi että sama tavoitepuuston lähtöpuusto kuin edellisessä käsittelyohjelmassa olettaen, että maanmuokkauksella ei ole vaikutusta syntyvään taimeistoon

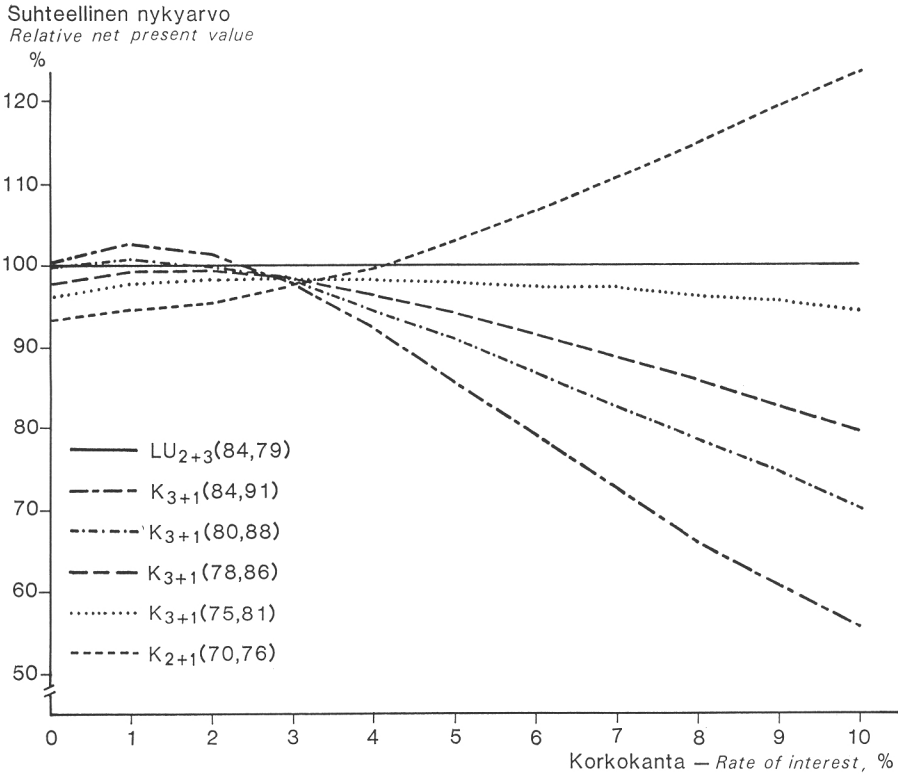
1) Parallel program with $LU_{2+3}(84,79)$ except the assumed deviation in the output due to the inefficiency of site preparation

2) Kuten ohjelmassa $LU_{2+3}(84,79)$ paitsi että tavoitepuuston lähtöpuusto on oletettu samanlaisiksi kuin kylvön käsittelyohjelmissa

2) Parallel program with $LU_{2+3}(84,79)$ except the assumption concerning the initial growing stock. The latter is assumed to be similar with the initial stand growing program of seeding

* Käsittelyohjelma on laskennallinen

* The stand growing program is calculated



Kuva 13. Kylvön ja luontaisen uudistamisen käsittelyohjelmien (saa arvon 100) suhteelliset nykyarvot laskentakorkokannan funktiona.

Figure 13. The relative net present values of the regeneration alternatives LU₂₊₃(84,79) (natural regeneration), K₃₊₁(.....) (long rotation and seeding) and K₂₊₁(70,76) (short rotation and seeding). The net present values are expressed by the relative net present values as a function of the rate of interest. (Index values with natural regeneration alternative LU₂₊₃(84,79) as a norm (= 100)).

vövaihtoehto K₂₊₁(70,76) edullisimmaksi. Koko nykypuustoon sitoutuneen pääoman realisointi välittömästi on korkeilla laskentakoron arvoilla optimaalista. Tässä tapauksessa vaihtoehtoisen sijoituskohteen tuotto (= laskentakorkokanta) ylittää nykypuuston tai sen osan edelleenkasvatuksesta saadun tuoton. Korkeilla laskentakorkokannan arvoilla vaihtoehtojen netto nykyarvo muodostuu miltei kokonaan nykypuuston nykyarvosta (ks. taulukko 8). Seuraajametsiköillä (= maanarvo) ei ole vaikutusta vaihtoehtojen netto nykyarvoon yli 5 % laskentakorkokannoilla (ks. kuva 14).

Jos varhaisia avohakkuita rajoitetaan institutionaalisisista syistä, kylvövaihtoehtojen suhteellinen edullisuus ei nouse laskentakorkokannan kasvaessa yli 4 %. Edullisuusjärjestys osoittaa

luontaisen uudistamisen optimaalisessa ajankohdassa aloitettuna olevan kylvöä edullisempi yli 2,5 % laskentakorkokannoilla, mikäli oletetaan, ettei metsänomistaja valitse puuntuotukseltaan alhaista vaihtoehtoa K₂₊₁(70,76).

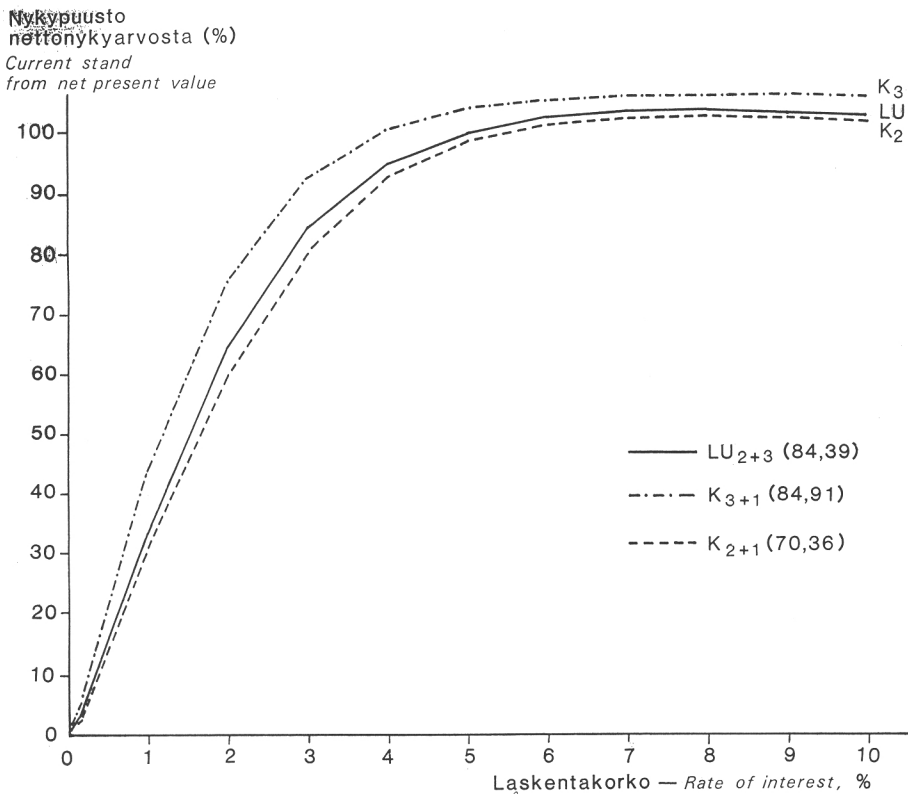
Edellisessä esityksessä viitattiin uudistamisvaihtoehtojen nykypuustosta ja seuraajapuustoista saatavien nettotulojen suuruussuhteisiin. Taulukossa 8 ja kuvassa 14 esitetään nettotulojen komponenttien osuuksia korkokannan funktiona kolmelle perusvaihtoehdolle LU₂₊₃(84,79), K₃₊₁(84,91) ja K₂₊₁(70,76).

Taulukossa 8 on esitetty sarakkeilla 1–3 nykypuuston nettohakkuutulojen nykyarvojen %-osuudet vaihtoehtojen nykyarvoista. Sarakkeilla 4–6 ovat indeksilukuina nykypuuston suhteelliset nettohakkuutulot (kussakin luontaisen uudistami-

Taulukko 8. Uudistamisvaihtoehtojen nykypuuston hakkuutulosten prosentiosuudet sekä suhteelliset suuruudet (luontainen vaihtoehto = 100).

Table 8. Percentage shares of current stand cutting incomes and relative magnitudes (natural regeneration = 100).

Korko Rate of interest	Nykypuusto netto nykyarvosta (%) Value of current stand from total net present value			Nykypuuston nettohakkuutulosten suhteelliset suuruudet (kussakin luontaisen nykypuuston nykyarvo = 100) Relative shares of current stand from total net present value (index with alternative LU as base = 100)		
	Vaihtoehto Alternative LU ₂₊₃ (84,79)	K ₃₊₁	K ₂₊₁ (70,76)	LU	K ₃₊₁ (84,91)	K ₂₊₁ (70,76)
0,01	0,3	0,5	0,3	–	–	–
0,1	3,5	4,7	2,9	100	133,4	77,0
1	33,3	44,1	31,0	100	123,0	81,6
2	64,7	75,7	60,0	100	113,2	86,5
3	84,3	92,8	80,7	100	104,0	92,4
4	95,0	100,7	92,8	100	95,4	99,5
5	100,1	104,0	98,8	100	87,3	105,9
6	102,4	105,3	101,3	100	79,8	110,7
7	103,2	105,8	102,3	100	72,9	115,8
8	103,6	105,8	102,5	100	66,5	120,7
9	103,2	105,9	102,4	100	60,5	125,6
10	102,9	105,8	102,2	100	55,0	130,6



Kuva 14. Nykypuuston hakkuutulosten osuus kokonaisnettonykyarvosta uudistamisvaihtoehtoissa LU₂₊₃(84,79), K₂₊₁(70,76) ja K₃₊₁(84,91) (osuus %).

Figure 14. The percentage shares of the current stand value from the total net present values of the regeneration alternatives LU₂₊₃(84,79), K₂₊₁(70,76) and K₃₊₁(84,91).

sen nykyarvoa on merkitty arvolla 100). Nykypuuston osuus on systemaattisesti suurin pitkän kiertoajan kylvövaihtoehdossa (kuva 14).

Erot nykypuuston osuoksissa ovat suurimmillaan 2–4 prosentin laskentakoroilla. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdon suhteellinen paremmuus on seurausta siitä, että luontaisen uudistamisen vaihtoehdossa maanarvo on niin paljon pitkän kiertoajan viljelyvaihtoehdon maanarvoa suurempi, että ero ylittää nykypuuston nykyarvojen vastakkaisuuntaisen eron.

Edellä olevissa vertailuissa eräissä uudistamisvaihtoehdoissa uudistaminen aloitetaan nykyisiä Kml Tapion vahvistamia ohjeita nuoremmassa puustossa (Metsänhoidon suositukses 1989). Ohjeiden mukaisen uudistuskypsyuden täyttävissä metsiköissä nykypuuston arvokasvu on hitaampaa kuin tässä tutkimuksessa käytetyllä päätöksentekohetkellä. Viljelyvaihtoehto on ohjekierroajoilla edullisempi suhteessa samaan aikaan aloitettuun luontaiseen uudistamiseen, koska tällöin puuston paras arvokasvuvaihe on jo ohitettu eikä puustoa tai sen osaa edelleen kasvattamalla saavuteta vastaavaa puuntuotannon lisäystä.

Liitteessä 1 tarkastellaan uudistamisvaihtoehtojen käsittelyintensiteetin vaikutusta uudistamisvaihtoehtojen edullisuuteen. Tarkastelut perustuvat laskennallisiin vaihtoehtoihin. Vertailtavina vaihtoehtoina ovat perusvertailua voimaperäisempi luontaisen uudistamisen vaihtoehto sekä kylvöä voimaperäisempi istutusvaihtoehto. Laskelmiin sisältyvien oletusten mukaisin varauksin voidaan todeta, että istutus on kylvöä edullisempi vaihtoehto alle 1 % laskentakoroilla.

Uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestys laskentakorkokannan funktiona täydellisillä pääomamarkkinoilla voidaan tiivistää seuraavasti:

- Alle 1,0 %:n laskentakorolla nykypuuston edelleenkasvatukseen (tarkasteluhetkestä $t=0$ eteenpäin), avohakkuuseen ja istutukseen perustuva vaihtoehto, $I_{3+1}(84,89)$, on edullisin käsittelyohjelma.
- Koroilla 1,1–2,4 % puuston edelleenkasvatukseen, avohakkuuseen ja kylvöön perustuva vaihtoehto $K_{3+1}(84,91)$ on edullisin.
- Koroilla 2,5–4,0 % luontaisen uudistamisen vaihtoehto, $LU_{2+3}(84,79)$ on edullisin
- Koron ylittäessä 4 % varhaisen päätehakkuun kylvövaihtoehto $K_{2+1}(70,76)$ on edullisin.

4.2.2 Metsänomistajan tulotavoitteiden vaikutukset uudistamisvaihtoehdon valintaan

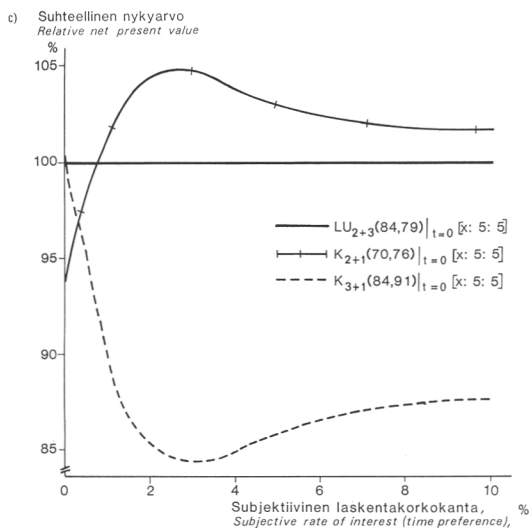
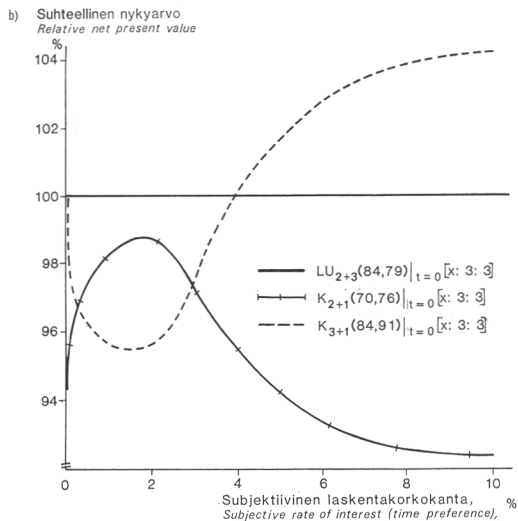
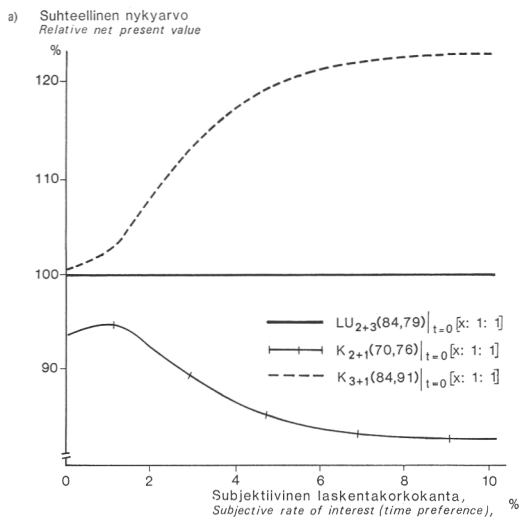
Tässä tehdään yksinkertaistavia oletuksia metsänomistajan taloudellisista tavoitteista, mutta ne eivät rajoita tulosten periaatteellisia yleistämismahdollisuuksia. Tarkoituksena on selvittää ajankohtaan sidotun rahantarpeen vaikutusta uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen epätäydellisillä pääomamarkkinoilla.

Metsänomistajalla oletetaan olevan rahankäyttösuunnitelma, jonka menojen rahoittamiseen nykypuuston hakkuutulon nykyarvo käytetään. Ensimmäisessä vaihtoehdossa metsänomistajan oletetaan lainaavan pääomamarkkinoilta koko nykypuuston tulevien hakkuutulojen nykyarvon (hetkellä $t=0$) ellei hän toteuta nykypuuston päätehakkua välittömästi. Toisissa vaihtoehdoissa metsänomistajalla ei ole rahoitettavia menokohteita uudistettavan metsikön hakkuutuloille ennen ajankohtaa $t=8$ tai $t=14$. Tällöin metsänomistaja käyttää kaikkia hakkuutuloja sijoitustuotteen hankkimiseen menoajankohtaan saakka. Pääomamarkkinvaikutukset ovat mukana vain nykypuuston osalta. Seuraajapuustojen suhteen metsänomistajalla on aikapreferenssin osoittamalla vauhdilla alenevia nettotulovastuuksia.

Vertailtavina uudistamisvaihtoehtoina käytetään luontaisen uudistamisen vaihtoehtoa $LU_{2+3}(84,79)$, myöhäisen päätehakkuun kylvövaihtoehtoa $K_{3+1}(84,91)$ ja varhaisen päätehakkuun kylvövaihtoehtoa $K_{2+1}(70,76)$. Luvussa 4.2.2.1 analysoidaan pääomamarkkinoille osallistumisen vaikutusta uudistamistapojen edullisuusjärjestykseen, kun likviditeettirajoite on päätöksentekohetkellä ($t=0$). Vaihtoehtojen edullisuusjärjestystä tarkastellaan erikseen 1 %, 3 % ja 5 % markkinakoron tasoilla. Samassa luvussa esitetään uudistamismenetelmien keskinäisen edullisuuden muuttuminen metsänomistajan likviditeettirajoitteen ajankohdan muuttuessa. Luvussa 4.2.2.2 optimaalisen uudistamistavan valintaan lisätään oletus epätäydellisistä pääomamarkkinoista.

4.2.2.1 Metsänomistajan likviditeettirajoitteen merkitys

Tämän luvun tarkasteluissa sijoitus- ja velkakerot oletetaan yhtäsuuriksi ja nykypuuston tulot kertymisajanjaksolta vakioiksi. Metsänomistajan oletetaan ensimmäisessä tapauksessa käyttävän nykypuuston koko hakkuutulon nykyarvon pää-



tösajankohtana $t=0$. Aluksi tutkitaan uudistamistapojen suhteellisen edullisuuden muutoksia, kun pääomamarkkinoiden korkotaso muuttuu.

Ensimmäisenä tarkastellaan edullisuusjärjestystä aikapreferenssin funktiona, kun pääomamarkkinoiden korkoksi oletetaan 1 % (ks. kuva 15a). Tällöin metsänomistajan kannalta käsittelyohjelma $K_{3+1}(84,91)_{t=0}[i,1,1]$ (aikapreferenssi i muuttujana) antaa parhaan nettotuloksen kaikilla aikapreferenssin arvoilla. Kun pääomamarkkinoiden korko on alhainen suhteessa puuston arvokasvuun, täystiheän puuston edelleenkasvatus ja uudistaminen myöhemmin avohakkuun ja viljelyn kautta maksimoi nettohakuutulojen nykyarvon. Kuvasta 15a voidaan havaita, että käsittelyohjelman $K_{3+1}(84,91)_{t=0}[i,1,1]$ suhteellinen edullisuus nousee aikapreferenssin kasvaessa 0:sta 10:een prosenttiin. Mitä pienempi aikapreferenssi on, sitä suurempi osuus maanarvolla on päätöksessä. Alhaisilla aikapreferensseillä edullisuus on miltei pelkästään maanarvon funktio.

Kun markkinakoron oletetaan olevan 3 %, uudistamisvaihtoehtojen suhteelliset edullisuudet muuttuvat edellisestä esimerkistä. Tällöin käsittelyohjelma $LU_{2+3}(84,79)_{t=0}[i,3,3]$ on edullisin aikapreferenssin ollessa alle 4 % ja vaihtoehto $K_{3+1}(84,91)_{t=0}[i,3,3]$ kun aikapreferenssi ylittää 4 % (ks. kuva 15b). Aikapreferenssin ollessa yli 4 % (päätöksenteon pääpaino nykypuustossa) metsänomistajan on korkosuhteen takia edullista ottaa laina 3 % markkinakorolla pääomamarkkinoilta ja antaa puuston kasvaa täystiheänä eli käsittelyohjelman $K_{3+1}(84,91)_{t=0}[i,3,3]$ mukai-

Kuva 15. Likviditeettirajoitteisen pääomamarkkinoille osallistuvan metsänomistajan uudistamistapojen suhteelliset nykyarvot ja taloudellinen edullisuusjärjestys laskentakoron funktiona. Markkinakorko kuvassa a 1 % (sekä sijoitus- että velkakorko), kuvassa b 3 % ja kuvassa c 5 %.

Figure 15. The relative net present values of the regeneration alternatives for the forest owner with a liquidity constraint. The market rate of interest applied $r = 1\%$ in figure a (both for lending and borrowing), 3% in figure b and 5% in figure c.

sesti. Jos aikapreferenssi on alle 4 % (päätökseen vaikuttaa myös maanarvo), 3 % markkinakorko on liian suuri, jotta koko nykypuustoa kannattaisi kasvattaa edelleen täystiheänä. Siksi metsän-

omistajan optimivaihtoehdoksi tulee luontainen uudistaminen $LU_{2+3}(84,79)_{t=0} [i,3,3]$. Kuvasta voidaan edelleen havaita että 3 % markkinakorolla käsittelyohjelman $K_{3+1}(84,79)_{t=0} [i,3,3]$ suhteellinen edullisuus laskee voimakkaasti 2 % aikapreferenssiin saakka. Samalla nousee käsittelyohjelman $K_{2+1}(70,76)_{t=0} [i,3,3]$ suhteellinen edullisuus. Kun aikapreferenssi kasvaa 2 %:sta, käsittelyohjelman $K_{3+1}(84,91)_{t=0} [i,3,3]$ suhteellinen edullisuus nousee. Jos pääomamarkkinoiden korko nousee yli puuston arvokasvun (tässä esimerkkilaskelmassa 5 %:iin), käsittelyohjelman $K_{3+1}(84,91)_{t=0} [i,5,5]$ suhteellinen edullisuus laskee ja käsittelyohjelman $K_{2+1}(70,76)_{t=0} [i,5,5]$ suhteellinen edullisuus nousee voimakkaasti noin 3 %:n aikapreferenssiin saakka (ks. kuva 15c). Alle 1 %:n aikapreferenssillä luontainen käsittelyohjelma $LU_{2+3}(84,79)_{t=0} [i,5,5]$ on edullisin ja yli 1 % aikapreferenssillä kylvövaihtoehto $K_{2+1}(70,76)_{t=0} [i,5,5]$ muodostuu edullisimmaksi. Pääomamarkkinoiden korkea korkokanta aiheuttaa sen, ettei metsänomistajan kannata jatkaa nykypuuston kasvustusta.

Vaihtoehtojen edullisuusjärjestys muuttuu vastakkaiseksi markkinakoron muuttuessa yhdestä prosentista viiteen prosenttiin. Muutos tapahtuu lähes kaikilla aikapreferenssin arvoilla. Vaihtoehtojen edullisuusjärjestykset ko. markkinakorkojen tasolla ovat samoja kuin edellä täydellisillä pääomamarkkinoilla saadut tulokset. Edullisuusjärjestys on johdonmukainen nykyarvoilla saatuaan järjestykseen nähden 3 % markkinakorolla vain 4 % aikapreferenssiin saakka. Alhaisilla pääomamarkkinoiden lainakoron arvoilla lainanoton edullisuus nykypuuston hakkuutuloja vastaan paranee, jolloin rahantarve on perusteltua rahoittaa lainalla. Aikapreferenssin noustessa korkean lainakoron olosuhteissa lyhyen kiertojen välittömästi toteutettavaksi oletettujen hakuiden edullisuus alenee (ks. kuva 15).

Kuvassa 16 on koottu yhteen edullisimmat käsittelyohjelmat täydellisillä pääomamarkkinoilla ensin siten, että markkinakorko=aikapreferenssi ja toisaalta siten, että pääomamarkkinoiden korko poikkeaa metsänomistajan aikapreferenssistä. Kuvasta voidaan havaita nykypuuston hakkuutulojen suhteellisen merkityksen suurentuminen pääomamarkkinoiden korkokannan kasvassa.

Kun sijoitus- ja velkakorko ovat samansuuruiset, likviditeettirajoitteen ajankohta ei vaikuta vaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen. Kuvassa 17 tarkastellussa tapauksessa (markkinakorko = 1 %) edullisuusjärjestyksen voidaan havaita pysyvän muuttumattomana ja ajankohdalla on mer-

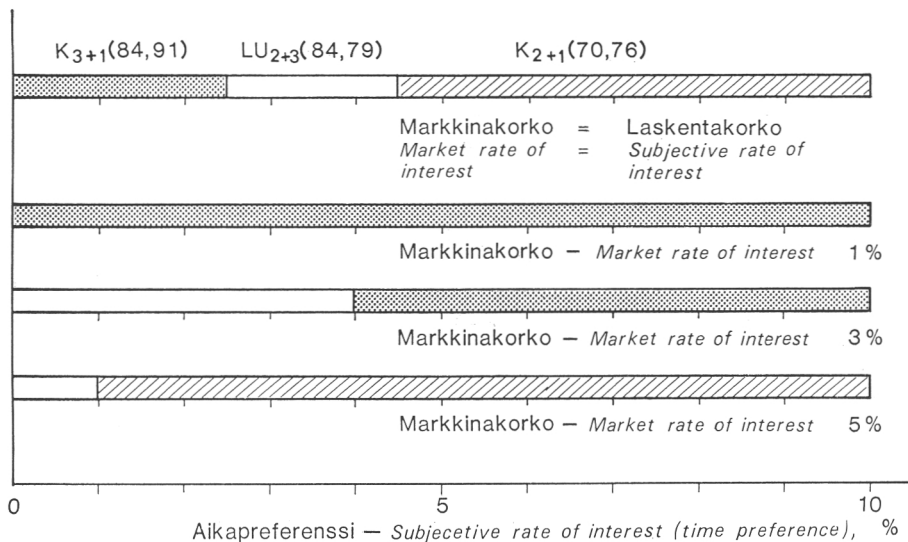
kitystä vain erojen suuruussuhteisiin. Mitä kauempana likviditeettirajoite on tulevaisuudessa, sitä pienemmiksi tulevat käsittelyohjelmien edullisuuden suhteelliset erot. Edullisuusjärjestys pysyy muuttumattomana, koska likviditeettirajoitteen ajankohdan nettotulojen nykyarvot laskeetaan aikapreferenssillä diskontattuina. Skaalatekijä mittaa lisäkustannusta ja/tai tuottoa, joka syntyy pääomamarkkinoille osallistumisen kautta.

4.2.2.2 Sijoitus- ja lainakorkojen merkitys uudistamisvaihtoehtojen valinnassa

Likviditeettirajoitteen ajankohdalla on vaikutusta edullisuuslaskelmiin siten, että hetkeen $t=0$ ajoittuvan rajoitteen osalta vain pääomamarkkinoiden velkakorolla (r_v) on vaikutusta edullisuusjärjestykseen. Pääomamarkkinoiden sijoituskorolla ei ole merkitystä, koska koko hakkuutulojen nykyarvo käytetään menon $t=0$ rahoitukseen. Kun likviditeettirajoitteen ajankohta on myöhäisin nykypuuston hakkuuajankohta ($t=14$), vastaavasti vain sijoituskorolla (r_s) on merkitystä. Kun likviditeettirajoite sijoittuu välille 0–14, sekä sijoitus- että velkakorko voivat vaikuttaa edullisuusjärjestykseen.

Epätäydellisillä pääomamarkkinoilla vaihtoehtojen edullisuusjärjestys muuttuu, kun rahantarveajankohta muuttuu. Kuvassa 18 on esitetty luontaisen uudistamisvaihtoehdon ja kylvöön perustuvien vaihtoehtojen keskinäisten edullisuuksien muuttumista likviditeettirajoitteen ajankohdan muuttuessa, kun pääomamarkkinoiden sijoituskoroksi oletetaan 1 % ja velkakoroksi 5 %. Pitkään kiertoaikaan perustuvan kylvövaihtoehdon suhteellinen edullisuus nousee likviditeettirajoitteen siirtyessä ajankohdasta $t=0$ eteenpäin (kuva 18a). Esimerkkitapauksessa likviditeettirajoitteen edellyttämä lainarahoituksen aikaansaama lisäkustannus tekee kylvövaihtoehdon $K_{3+1}(84,91)_{t=0} [i,1,5]$ luontaisen uudistamisen vaihtoehtoa epäedullisemmaksi. Jos likviditeettirajoitteen ajankohta siirtyy myöhäisemmäksi, arvokasvun nettovaikutus muuttaa vaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen päinvastaiseksi luontaisen vaihtoehdon hakkuutuloille pääomamarkkinoilta saatavissa olevan pienen korkotuoton vuoksi.

Luontaisen uudistamisen ja lyhyen kiertojen vaihtoehtojen keskinäinen suhteellinen edullisuus muuttuu edelliseen nähden päinvastaiseksi likviditeettirajoitteen siirtyessä ajassa myöhäisemmäksi (kuva 18b). Vaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen kannalta pääomamarkkinoiden alhainen si-



Kuva 16. Edullisimmat käsittelyohjelmat laskentakorkokannan funktiona eri markkinakoron arvoilla. Ylimmässä vaihtoehdossa laskentakorko oletetaan yhtäsuureksi pääomamarkkinoiden korkokannan kanssa. Muissa vaihtoehdoissa pääomamarkkinoiden korkokanta oletetaan kiinteäksi ja edullisin käsittelyohjelma määrätään subjektiivisen laskentakoron funktiona.

Figure 16. The optimal regeneration alternatives as functions of the subjective rate of interest. The subjective rate and market rate of interest are assumed to be equal in the first evaluation. The remaining evaluations are made by keeping the rate of interest constant in a perfectly competitive financial market. The preference order is a function of the subjective rate of interest.

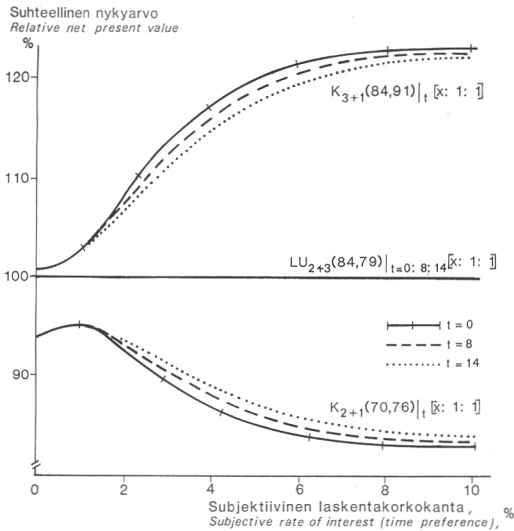
joitustuotto pienentää nykypuuston välittömien hakkuutulojen tuottoarvoa suhteessa luontaisessa vaihtoehdossa saatavaan puuston arvokasvuun sitä enemmän, mitä kauemmas likviditeettirajoite ajallisesti sijoittuu.

Seuraavaksi tarkastellaan luontaisen vaihtoehdon $L_{2+3}(84,79)$ suhteellista edullisuutta viljelyvaihtoehtoihin $K_{3+1}(84,91)$ ja $K_{2+1}(70,76)$ kun sijoitusten tuotoksi (rs) on oletettu 1 % ja pääomamarkkinoiden velkakoroksi (rv) 5 %. Edullisuusvertailu on laadittu erikseen metsänomistajille, joiden likviditeettirajoitteen mukaisen menokohteen oletetaan olevan vaihtoehdoisesti erikseen ajankohdissa $t=0$, $t=8$ ja $t=14$. Rahantarpeen sijoituksessa ajankohtaan $t=0$ lyhyen kiertojan vaihtoehto $K_{2+1}(70,76)_{t=0} [i,1,5]$ on optimaalinen aikapreferenssillä $\rho > 1$ %. Pääomamarkkinoiden korkea korkokustannus tulevia hakkuutuottoja vastaan otetuille lainoille kompensoi vaihtoehdon $K_{2+1}(70,76)_{t=0} [i,1,5]$ arvokasvutapion muihin vaihtoehtoihin nähden. Edullisuusjärjestyksen riippuvuutta aikapreferenssistä voidaan tarkastella kuvan 18b avulla, koska ajankohdassa $t=0$ vain pääomamarkkinoiden velkakorolla on vaikutusta edullisuusjärjestykseen.

Mikäli likviditeettirajoite sijoittuu ajankohtaan

$t=14$ pääomamarkkinoiden alhainen sijoitustuotto yhdessä arvokasvumenetyksen kanssa muuttaa vaihtoehdon $K_{2+1}(70,76)_{t=0} [i,1,5]$ epäedullisimmaksi (kuva 18). Alhainen sijoitustuotto uudistamishakkuiden tuloille heikentää luontaisen vaihtoehdon edullisuutta suhteessa pitkän kiertojan viljelyvaihtoehtoon $K_{3+1}(84,91)$. Viimeksi mainittu on optimivaihtoehto kaikilla aikapreferenssin arvoilla (kuva 18a). Pääomamarkkinoille osallistuminen heikentää metsänkäsittelyohjelman edullisuutta. Sijoitustuotto jää puuston edelleenkasvatusvaihtoehdon tuottoa heikommaksi. Puuston sitoutunut pääoma on edullista realisoida vasta rahan tarpeen mukaisesti. Mitä suuremmalla summalla ja mitä pidemmäksi aikaa metsänomistaja joutuu sijoittamaan pääomamarkkinoille tasatakseen aikaeroa hakkuutulojen saannin ja rahantarpeen välillä, sitä epäedullisemmaksi käsittelyohjelma käy.

Likviditeettirajoitteen sijoituksessa ajankohtaan $t=8$ pääomamarkkinoille osallistumisen epäedullisuus voidaan havaita helpommin. Luontaisen uudistamisen vaihtoehto $LU_{2+3}(84,79)_{t=0} [i,1,5]$ on edullisin aikapreferenssin arvoilla < 6 %. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdossa hakkuutulot sijoittuvat edullisimmin suhteessa likvidi-



Kuva 17. Uudistamistapojen suhteelliset nykyarvot ja edullisuus likviditeettirajoitteiselle metsänomistajalle, kun pääomamarkkinoiden säästämisen- ja lainakorko ovat samoja. Rahantarpeen ajankohdalle ovat vaihtoehtoina $t=0, 8, 14$ ja markkinakorko on 1 % (sekä velka- että sijoituskorko).

Figure 17. The relative net present values of the regeneration alternatives when the time point of the liquidity constraint is changing ($t=0, 8, 14$). The market rate of interest $r=1$ % (both lending and borrowing).

teettirajoitteeseen ajankohdassa $t=8$ (kuva 19).

Pääomamarkkinoiden korkosuhteiden ollessa päinvastaiset edelliseen esimerkkiin verrattuna (sijoituskorko $r_s = 5$ % ja velkakorko $r_v = 1$), sijoitetulle rahalle saadaan lainan kustannusta suurempi tuotto. Niiden käsittelyohjelmien, joissa lainanotto pääomamarkkinoilta on rationaalista, suhteellinen edullisuus paranee. Uudistamisvaihtoehtojen edullisuutta on tarkasteltu myös tässä vaihtoehdossa olettaen likviditeettirajoitteen sijoittuvan ajankohdallaan $t=8$. Tällöin viljelyvaihtoehtojen suhteellinen edullisuus nousee (kuva 20). Tämä on seurausta siitä, että viljelyvaihtoehtoissa on näillä korkosuhteilla suhteellisesti edullisempaa osallistua pääomamarkkinoille kuin luontaisessa vaihtoehdossa.

Likviditeettirajoitteen vaikutuksista uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen voidaan yhteenvedonä tehdä seuraavat päätelmät:

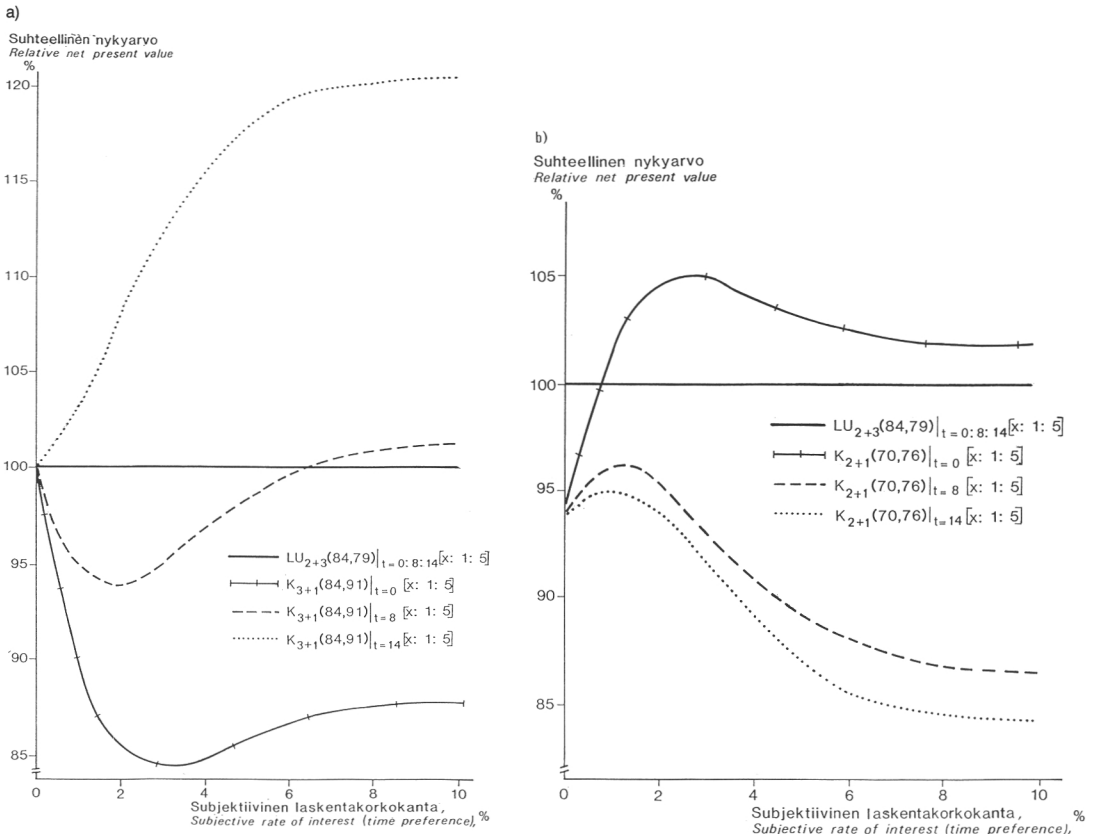
- 1) Metsänomistajan aikapreferenssin ollessa suuri (yli 6 %) päätökseen vaikuttavat ensisijaisesti nykypuuston ja pääomamarkkinoiden yhteisvaikutus maanarvon ollessa vailla merkitystä. Metsänomistajan kannattaa valita uudistamismenetelmäksi avohakkuu ja metsänvil-

jely. Avohakkuun ajankohta määräytyy likviditeettirajoitteen, puuston arvokasvuprosentin ja pääomamarkkinoiden korkosuhteiden mukaan tapauskohtaisesti. Jos sijoitukselle saatava tuotto on pieni suhteessa puuston arvokasvuun ja velan kustannus on korkea, metsänomistajan kannattaa tehdä avohakkuu likviditeettirajoitteen ajankohdassa ja rahoittaa se hakkuutulolla. Jos puuston arvokasvu on pieni suhteessa sijoitukselle saatavaan tuottoon, metsänomistajan on edullista tehdä avohakkuu ennen likviditeettirajoitetta ja sijoittaa hakkuutulo likviditeettirajoitteen ajankohdallaan saakka. Jos taas velan kustannus on pieni ja puuston arvokasvu suuri, metsänomistajan kannattaa ottaa velkaa likviditeettirajoitteen maksamiseksi ja maksaa velka tulevalla hakkuutulolla.

- 2) Metsänomistajan aikapreferenssin ollessa pieni (alle 1 %), päätöksen kannalta seuraavien puusukupolvien tuotosta riippuva maanarvo on ratkaiseva. Nykypuuston, pääomamarkkinoiden korkosuhteiden ja likviditeettirajoitteen merkitys on tässä tapauksessa vähäinen. Edellä esitettyjen laskelmien mukaan luontaisen uudistamisen vaihtoehto on edullisin miltei kaikissa tutkituissa tilanteissa. Pitkän kiertoajan viljelyvaihtoehto on edullisin tapauksissa, joissa pääomamarkkinoiden korkosuhteet puoltavat puuston edelleenkasvatusta. Lyhyen kiertoajan viljelyvaihto ei ole edullisin millään markkinakorkojen suhteella.
- 3) Metsänomistajan aikapreferenssin ollessa 1–6 % nykypuuston osuus vaihtoehtojen nettonykyarvomoduksuksesta on 30 %:sta 100 %:iin (kuva 14). Tutkituissa tapauksissa tällä aikapreferenssin välillä mikään uudistamisvaihtoehto ei osoittautunut yksiselitteisesti muita edullisemmaksi. Lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehto oli edullisin tapauksissa, joissa pääomamarkkinoiden korkosuhteet ja likviditeettirajoitteen ajankohdasta puolsivat heti tehtyä avohakkuuta. Pitkän kiertoajan viljelyvaihtoehto oli edullisin tapauksissa, joissa em. tekijät puolsivat puuston edelleenkasvatusta. Luontainen uudistaminen oli edullisinta tapauksissa, joissa em. tekijät eivät puoltaneet selvästi kumpaakaan viljelyvaihtoehtoa.

4.3 Tulosten yleistettävyys

Metsän uudistamisinvestoinnin kesto-aika on pitkä. Uudistamisen päätöksenteon tueksi tehtäviin laskelmiin sisältyy siksi aina sekä puutteellisesta informaatiosta että laskentamenetelmistä johtuvia epävarmuus- ja riskitekijöitä. Tässä tutkimuksessa kantohinnat ovat samoja eri uudistamismenetelmissä lukuunottamatta poistuman määrän perusteella tehtävää kantohinnan korjausta. Epävarmuus hintatiedoissa aiheuttaa virhettä vain edullisuustunnusten absoluuttisiin ar-



Kuva 18. Luontaisen uudistamisen $LU_{2+3}(84, 79)$ sekä ensin myöhäisen päätehakkuun kylvövaihtoehdon $K_{3+1}(84, 91)$ kuva a) ja toisena varhaisen kylvövaihtoehdon $K_{2+1}(70, 76)$ kuva b) keskinäiset edullisuusjärjestykset metsänomistajalle, jonka rahantarpeen ajankohta on vaihtoehtoisesti hetkillä $t = 0$, $t = 8$ tai $t = 14$. Epätäydellisten pääomamarkkinoiden luottokorko on $r_v = 5\%$ ja sijoituksen tuoton korko on $r_s = 1\%$.

Figure 18. The net present values of the natural regeneration alternative $LU_{2+3}(84, 79)$ and the seeding alternative $K_{3+1}(84, 91)$ in figure a) and the seeding alternative $K_{2+1}(70, 76)$ in figure b), when the time point of the liquidity constraint faced by the forest owner is at $t = 0$, $t = 8$ or $t = 13$ respectively. The market rates of interest are $r_v = 5\%$ (borrowing) and $r_s = 1\%$ (lending).

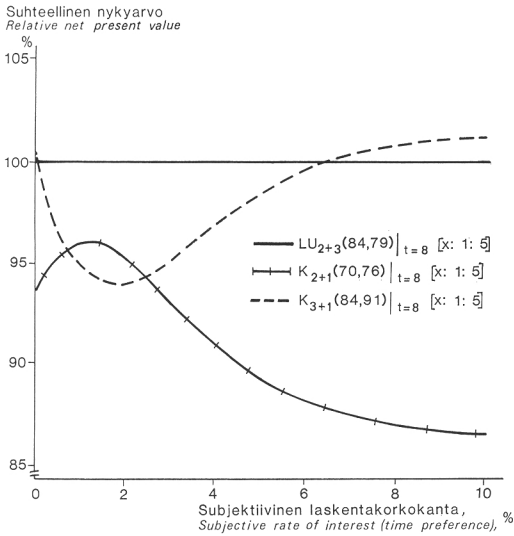
voihin muuttamatta eri uudistamistapojen keskinäistä edullisuusjärjestystä. Puuston tuotostietoihin ja niiden kehityssennusteisiin sisältyvä epävarmuus sekä uudistamistoimenpiteiden kustannussennusteiden epävarmuus muodostavat keskeisimmät virhelähteet.

Uudistamismenetelmien edullisuusjärjestyksen riippuvuutta tuotto- ja kustannustekijöiden pysyvyydestä tutkittiin erikseen kunkin komponentin osalta. Luvussa 4.3.1 esitetään tuloksia puuntuotostekijöiden vaikutuksista. Ensin analysoidaan luontaisen uudistamisen taimettumisvaiheen keston vaikutuksia edullisuusjärjestykseen. Seuraajapuustojen kehityksen ennustamiseen liittyviä epävarmuustekijöitä sekä niiden vaikutuksia vaihtoehtojen tuottoihin esitetään seuraavaksi. Luvussa 4.3.2 tarkastellaan vaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen pysyvyyttä kantohintojen sekä yksikkökustannusten muuttuessa. Luvussa 4.3.3 tarkas-

tellaan metsänomistajan tavoitteiden ja arvostusten merkitystä edullisuusjärjestyksen kannalta.

Ennen tulosten esittelyä on aihetta todeta, että luontaisen uudistamisen tuotostietojen perustana olevan aineiston suppeuden takia empiiriset tulokset koskevat vain esimerkkiaineiston mukaisia uudistamisvaihtoehtoja. Esimerkkiaineiston valintakriteerit olivat: 1) metsikkö on kasvupaikaltaan puolukkatyyppiä 2) uudistusosalalla on riittävästi siemennyskelpoista puustoa sekä 3) männyin uudistamista haittaavaa kuusialikasvosta ei ole.

Esimerkkiaineisto sijaitsi Etelä-Suomen alueella. Kahteen uudistamishakkuuseen perustuva luontaisen uudistamisen vaihtoehto sekä istutusvaihtoehto muodostettiin tässä tutkimuksessa las-kennallisesti. Niitä koskevat tulokset on yleistettävissä vain muodostamisoletusten mukaisin varauksin.



Kuva 19. Uudistamismenetelmien suhteelliset nykyarvot ja edullisuusjärjestys kun omistajan likviditeettirajoite on ajankohdalla $t = 8$. Epätäydellisten pääomamarkkinoiden luottokorko on $r_v = 5\%$ ja sijoituksen tuoton korko on $r_s = 1\%$. Merkinnät ovat samat kuin kuvassa 24.

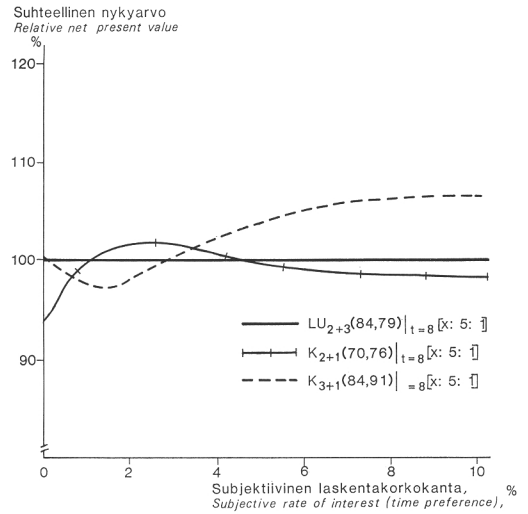
Figure 19. The relative net present values of the regeneration alternatives with the liquidity constraint faced by the owner at $t = 8$. The market rate of interest are $r_v = 5\%$ (borrowing) and $r_s = 1\%$ (lending). Symbols from figure 24 are used.

Tässä tutkimuksessa rakennettiin uudistamisvaihtoehtojen taloudellisen edullisuuden laskentamalli. Malli rakennettiin ennaltamääriteltyjen vaihtoehtojen vertailuun. Siksi mallia voidaan soveltaa pelkästään uudistamiskohteisiin, joissa uudistamisketjun tulos on ennustettavissa suhteellisen varmasti. Tällaisia kohteita ovat metsänhoidollisesti helpoimmat kohteet, kuten puolukka-tyypin ja sitä karumpien kasvupaikkojen männiköt. Tässä mallia sovellettiin esimerkkiaineiston mukaisesti keskimääräisiin uudistamisvaihtoehtoihin. Liitteessä 2 tarkastellaan aineistoon sisältyvien uudistusalojen välisen vaihtelun merkitystä.

4.3.1 Puuntuotoksen vaihtelu

Uudistamisajan kesto ja vaihtoehtojen edullisuus

Luontaisen uudistamisen onnistumisen kannalta edullisten luonnonolosuhteiden, kuten hyvien siemenvuosien tai hyvien itämisolosuhteiden ennustaminen on vaikeaa. Luontaisen uudistamisen ajoittaminen metsänhoidollisesti edulliseen ajankohtaan on osin sattumanvaraista. Luontai-



Kuva 20. Uudistamismenetelmien suhteelliset nykyarvot ja edullisuusjärjestys kun omistajan likviditeettirajoite on ajankohdalla $t = 8$. Epätäydellisten pääomamarkkinoiden luottokorko on $r_v = 1\%$ ja sijoituksen tuoton korko on $r_s = 5\%$. Merkinnät ovat samat kuin kuvassa 24.

Figure 20. The relative net present values of the regeneration alternatives with the liquidity constraint at $t = 8$. The market rate of interest are $r_v = 1\%$ (borrowing) and $r_s = 5\%$ (lending). Symbols from figure 24 are used.

seen uudistamiseen liittyy riski uudistamisajan piteneemisestä. Seuraavassa selvitetään uudistamisajan jatkumisen vaikutuksia luontaisen vaihtoehdon nykyarvoon. Aineistossa uudistamisaika (=aika ensimmäisestä uudistamisesta tähtävästä hakkuusta pysyvän taimikon kehittymiseen) on ollut keskimäärin 4 vuotta. Aineiston avulla saadun perusvaihtoehdon lisäksi on muodostettu luontaiset käsittelyvaihtoehdot, joissa uudistamisajoiksi oletetaan vaihtoehtoisesti 8, 12 ja 16 vuotta. Kiertajoissa oletetaan toteutuvan vastaava pidennys.

Kuvassa 21 on esitetty edellä mainittujen luontaisen uudistamisen vaihtoehtojen sekä pitkän kiertoajan kylvövaihtoehdon K_{3+1} (84,91) suhteelliset nettonykyarvot. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdon koodin perään on kussakin tapauksessa merkitty kyseisen vaihtoehdon uudistamisajan pituus vuosina.

Uudistamisajan jatkumisen aiheuttama kiertoajan piteneminen aiheuttaa emopuustoista saatavien kantorahatulosten viivästymisen. Uudistamisajan jatkumisesta aiheutuvien puuntuotostappioiden suuruus riippuu emopuuston kasvukun-

nosta. Jos uudistaminen aloitetaan nuorehkossa metsässä ja uudistettavan puuston väljennysaste on vähäinen, emopuiden kasvu jatkuu vielä uudistamisvaiheessa. Tällöin uudistamisajan jatkuminen ei pienillä laskentakorkokannoilla heikennä käsittelyohjelman edullisuutta. Kun laskentakorkokantaa suurennetaan, uudistushakkuista saatavien kantorahatulosten viivästyminen merkitys kasvaa ja uudistumisajan jatkuminen heikentää käsittelyohjelman edullisuutta voimakkaammin kuin pienillä laskentakorkokannoilla.

Pitkän kiertoajan kylvövaihtoehto K_{3+1} (84,91) on yhtä edullinen noin 2,5 % laskentakorkokannalla kuin sellainen luontaisen uudistamisen vaihtoehto, jolla uudistamisaika on 4 vuotta (LU_{2+3} (84,79)). Vastaava laskentakorkokanta on 3 % mikäli uudistumisaika jatkuu kahdeksaan vuoteen, 4 %, jos aika on 12 vuotta ja 5 % uudistumisajan jatkuessa 16 vuoteen.

Puuntuotostaso ja vaihtoehtojen edullisuus

Seuraavassa vertailussa luontaiseen uudistamiseen perustuvasta käsittelyohjelmasta LU_{2+3} (84,79) ja kylvöön perustuvasta käsittelyohjelmasta K_{3+1} (84,91) on tehty perusvertailun lisäksi kolme lisävertailuparia. Niiden avulla analysoidaan puuntuotoksen ennustamiseen liittyvien epävarmuustekijöiden vaikutusta kyseisten käsittelyohjelmien taloudellista edullisuutta mittaviin laskelmiin. Epävarmuutta sisältyy sekä nykypuuston että seuraajametsikön kehitysennusteisiin. Viljelyvaihtoehtojen nykypuuston kehityksen ennustamiseen on tämän tutkimuksen laskelmissa käytetty kasvumallia (ks. Gustavsen 1977, kuutiokasvuyhtälö 4). Kasvua kuvaavassa yhtälössä kuutiokasvun standardipoikkeama on noin 8 % ehdollisesta keskiarvosta. Seuraajametsikön (= tavoitepuusto) kehityksen ennustamisessa käytetyissä viljeltyjen havumetsien kasvumalleissa metsikön puuntuotoskyky riippuu voimakkaasti lähtöpuuston valtapituudesta ja iästä. Luontaisesti syntyneen puuston kehityksen ennustamiseen liittyvien epävarmuustekijöiden vaikutusten selvittämiseksi perusteita muutettiin taulukon 9 mukaisesti verrattuna edullisuuslaskelmien kehitysennusteisiin.

Kussakin vertailuparissa muutettiin kylvövaihtoehtojen nykypuuston kehityksen perusteita siten, että nykypuuston kasvun ennustamiseen käytettyä tilavuuskasvuprosenttia korjattiin taulukon 9 mukaisella tarkasteltavan erhetason kertoimella. Toisaalta luontaisen uudistamisen osalta seuraajametsikön kehitysennustetta muutettiin siten,

että taimistojen oletettiin kehittyneen joko hitaammin tai nopeammin. Vaikutukset nykypuustossa ja seuraajametsiköissä oletettiin samansuuntaisiksi.

Taulukossa 10 esitetään muutosten suuruudet puuntuotoksella mitattuna. Puuntuotos muuttuu asteittain siten, että kolmannessa lisävertailussa kylvövaihtoehtojen nykypuuston puuntuotos poikkeaa 11 % perusvertailun vastaavasta. Luontaisen uudistamisen vaihtoehtojen seuraajametsikön puuntuotos taas on kolmannessa lisävertailussa 17 % perusvertailun vastaavaa pienempi tai suurempi.

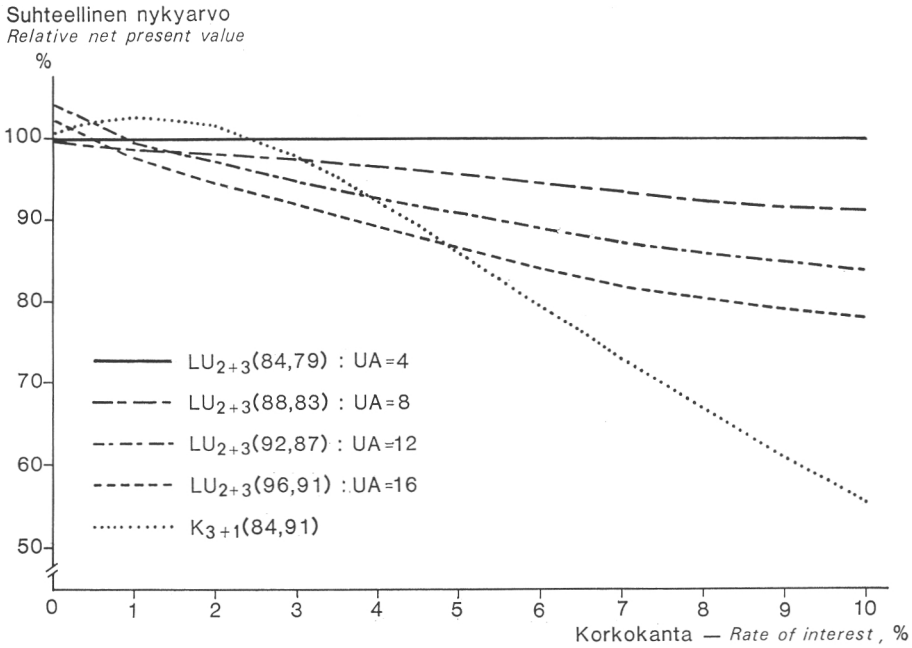
Kuvassa 22 esitetään perusvertailun ja kolmen lisävertailun kylvövaihtoehtojen tuottamat suhteelliset nettonykyarvot. Tällöin voidaan havaita, että puuntuotostason merkitys nettonykyarvossa on suurimmillaan pienillä laskentakorkokannoilla. Muutettaessa puuntuotoksia kylvölle edulliseen suuntaan nettonykyarvo on jopa 30 % suurempi kuin luontaisen uudistamisen perusvaihtoehtossa sovellettaessa 0 % laskentakorkokantaa. Laskentakorkokanta, jolla luontainen uudistaminen ja kylvö ovat yhtä edullisia, on noin kaksi prosenttiyksikköä suurempi kuin perusvertailussa. Jos puuston kehityksen ennustamisessa käytettyjä perusteita muutetaan luontaiselle uudistamiselle edulliseen suuntaan, vm. vaihtoehtojen tuottama nettonykyarvo on kaikilla laskentakorkokannoilla 0–10 % suurempi kuin se, joka voidaan saada kylvövaihtoehtolla.

4.3.2 Kantohinnat ja yksikkökustannukset sekä uudistamisvaihtoehtojen edullisuus

Metsänhoidon kustannukset ja vaihtoehtojen edullisuus

Luontaisesti syntyneen taimikon laatua voidaan parantaa erilaisilla täydennysviljely- ja taimikonhoitotoimenpiteillä. Näiden toimenpiteiden kustannusvaikutukset vähentävät saatavaa nettotuotosta. Tässä esitettävillä laskelmilla pyritään selvittämään luontaisesti syntyneen taimikon laadun yhteyttä uudistamismenetelmien taloudelliseen edullisuuteen. Tuotto- ja kustannustekijöiden nettovaikutuksia analysoidaan siten, että luontaisen uudistamiseen perustuvan käsittelyohjelman LU_{2+3} (84,79) metsänhoidon kustannusten oletetaan lisääntyvän asteittain.

Tavoitteena oli selvittää, miten luontaisesti syntyneen taimiston kunnostamisesta ja hoidosta aiheutuneet lisäkustannukset suhteessa aineistosta laskettuihin tuotoksen arvoihin vaikuttavat uu-



Kuva 21. Kylvön ja luontaisen uudistamisen suhteelliset nykyarvot ja edullisuusjärjestys koron funktiona, kun luontaisen uudistamisen uudistumisaika jatkuu. (Aineiston mukaista luontaisen uudistamisen käsittelyohjelma on perusvaihtoehto (= 100). Kuvassa uudistamisaikojen pituus on merkitty käsittelyohjelman koodin perään.

Figure 21. The effect of seeding delay on the net present value of the natural regeneration alternative as a function of the interest rate.

Taulukko 9. Ennustetun puuntuotoksen vaihtelun vaikutusten analyysin laskentaperusteet.
Table 9. calculation basis of the yield changes.

Vaihtoehtojen vertailu The comparison of alternatives	Kylvövaihtoehdon nykypuuston kehityksen ennustaminen The calculation of the present growing stocks yield in seeding alternative		Luontaisen uudistamisen vaihtoehdon seuraajametsikön puustosaavutusta aineiston mukaisen valtapituuden iän ollessa The age of the future generation the natural reforestation, when the dominant height reach the value in the material
	Luotettavuusvyö Confidence interval	Gustavsenin (1977) mallin kuutiokasvun kasvuprosentin korjaus (%) The correction of the volume increment of percentage of Gustavsen (1977)	
Perusvertailu The basic comparison			20 vuotta years
1. lisävertailu extra comparison	$\mu \pm \delta$	$\pm 8\%$	19 tai or 21 vuotta years
2. lisävertailu extra comparison	$\mu \pm 2\delta$	$\pm 20\%$	18 tai or 22 vuotta years
3. lisävertailu extra comparison	$\mu \pm \delta$	$\pm 30\%$	17 tai or 23 vuotta years

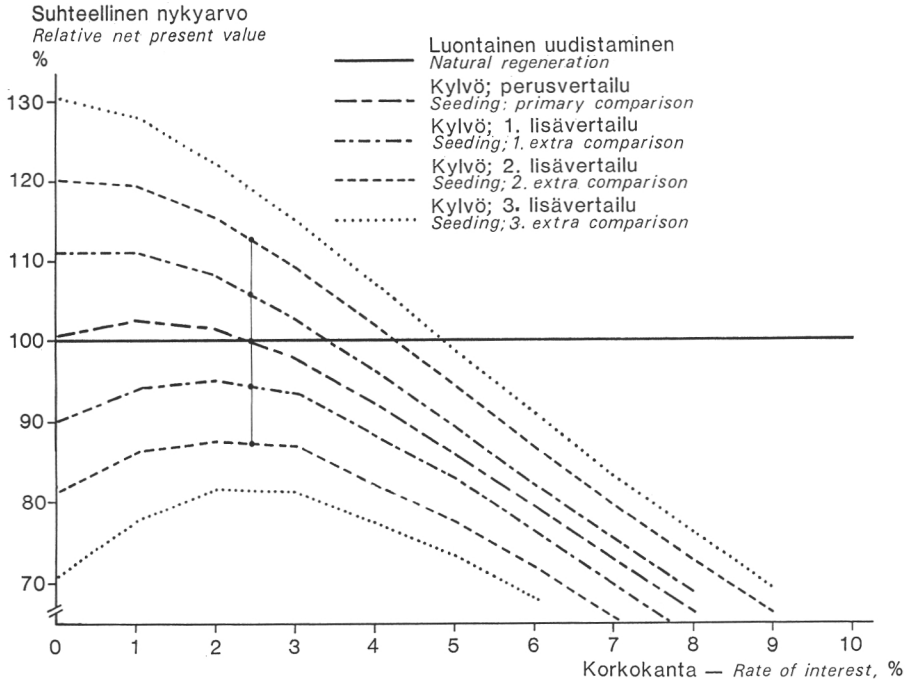
Taulukko 10. Kylvön ja luontaisen uudistamisen käsittelyohjelmien puuntuotos eri vertailuissa.
 Table 10. The volume yields in the regeneration alternatives based on natural regeneration and seeding.

Vertailu Comparison	Puustosarja Growing stock	Puuston kokonaistuotos Total yield – volume	
		m ³ /ha	Suhteellisenä perusvertailun suhteen Relative to primary comparison
Perusvertailu Primary comparison	Kylvön käsittelyohjelman nykypuusto	238,2	0 %
1. lisävertailu extra comparison	Present growing stock of the stand growing program of seeding	tai 245,2 231,1	3 %
2. lisävertailu extra comparison		tai 256,2 219,1	8 %
3. lisävertailu extra comparison		tai 265,3 212,0	11 %
Perusvertailu Primary comparison	Luontaisen uudistamisen käsittelyohjelman tavoitepuusto	400,9	0 %
1. lisävertailu extra comparison	Desirable growing stock of the stand growing program of natural reforestation	tai 376,8 425,0	6 %
2. lisävertailu extra comparison		tai 352,8 449,0	12 %
3. lisävertailu extra comparison		tai 331,5 469,1	17 %

Taulukko 11. Investointivaihtoehtojen nykyarvot ja arvot laskentahetkellä t=1 sekä erotusinvestointimahdollisuudet täydellisillä pääomamarkkinoilla (korkokannalla r).

Table 11. The influence of interest rates on the profitability of seeding and natural regeneration, when the expenditures for silviculture in natural regeneration are increasing.

Käsittelyohjelma Stand growing program	Korkokanta Rate of interest, %											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Kylvö K ₃₊₁ (84,91) Seeding	100,6	102,7	101,6	107,7	92,2	85,8	79,3	72,8	66,6	60,8	55,4	
Luontainen uudistuminen LU ₂₊₃ (84,79) Natural reforestation	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Kustannusvaihtoehto 1 Cost alternative 1	100,0	99,7	99,6	99,5	99,5	99,6	99,6	99,7	99,7	99,8	99,8	
Kustannusvaihtoehto 2 Cost alternative 2	98,6	98,7	98,8	98,9	99,0	99,1	99,2	99,3	99,4	99,5	99,6	
Kustannusvaihtoehto 3 Cost alternative 3	98,6	98,3	98,2	98,3	98,4	98,6	98,7	98,9	99,0	99,1	99,3	



Kuva 22. Luontaisen uudistamisen ja laskennallisten kylvön suhteelliset nykyarvot ja edullisuus, kun käsittelyohjelmien puuntuotoksen oletetaan muuttuvan taulukon 9 mukaisesti. Kussakin vertailu-parissa luontainen uudistaminen on perusarvona (indeksi = 100).

Figure 22. The net present values of the regeneration alternatives when there are yield differentials in the seeding regeneration alternative presented as a function of the interest rate. (Yield differentials are taken from Table 9). (Index numbers, natural alternative $LU_{2+3}(84,79)$ as a norm (= 100).

distamismenetelmien taloudelliseen edullisuuteen.

Käsittelyohjelman $LU_{2+3}(84,79)$ täydennysviljelyn ja taimistonhoidon kustannusten oletettiin kasvavan asteittain siten, että suurimmillaan täydennysviljelyn kustannukset vastaavat uudistusalan istutuskustannuksia ja taimistonhoidon kustannukset ovat kaksinkertaiset aineistojen perusteella arvioituihin verrattuna. Täydennysviljelyn kustannukset nousevat perusvertailun 313 markasta 1. vaihtoehdon 741 markkaan ja 2. vaihtoehdon 1 168 markkaan ja 3. vaihtoehdon 1 569 markkaan. Taimikonhoidon kustannukset nousevat vastaavasti perusvertailun 767 markasta 1. vaihtoehdon 997 markkaan ja 2. vaihtoehdon 1 277 markkaan ja 3. vaihtoehdon 1 539 markkaan.

Taulukossa 11 on esitetty kylvöön perustuvan käsittelyohjelman $K_{3+1}(84,91)$ sekä luontaiseen uudistamiseen perustuvan käsittelyohjelman $LU_{2+3}(84,79)$ eri metsänhoidon kustannusvaihtoehdoilla tuottamat suhteelliset nettonykyarvot.

Siitä voidaan havaita, että suurimmillaan metsänhoidon kustannusten merkitys käsittelyohjelman tuottamaan nettonykyarvoon on 1–4 % laskentakorkokannoilla. Pienimmillään luontaisen uudistamisen kustannusvaihtoehdon 3 tuottama nettonykyarvo on noin 2 % pienempi kuin luontaiseen uudistamiseen perustuvassa käsittelyohjelmassa $LU_{2+3}(84,91)$.

Metsänhoidon kustannusten vaikutus uudistamistapojen suhteelliseen edullisuuteen on pieni suhteessa puuntuotosten erojen vaikutuksiin. Luontaisesti syntyneen taimikon hoitokustannusten nousu ei oleellisesti laske luontaisen uudistamisen taloudellista edullisuutta.

Kantohinnat ja vaihtohtojen edullisuus

Laskelmissa käytettyihin puutavaran yksikkökantohintoihin ja niiden ennustamiseen liittyviä epävarmuustekijöitä ovat mm. inflaatiovahti, tukki- ja kuitupuun hintasuhteet sekä yksittäisten

puuerien hinnoittelu. Ne vähentävät tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä. Luontaiseen uudistamiseen perustuvan käsittelyohjelman LU₂₊₃(84,79) ja kylvöön perustuvan käsittelyohjelman K₃₊₁(84,91) edullisuussuhteiden pysyvyyttä kantohinnoissa ja puuntuotannon kustannuksissa tapahtuvien muutosten suhteen tutkitaan muuttamalla ensin keskikantohintatasoa suhteessa kustannuksiin. Muutos on tehty kertomalla puutavaralajeittaiset keskikantohinnat vaihtoehtoisesti luvulla 0,75 ja luvulla 1,25. Puutavaralajeittain keskimääräisen yksikkökantohinnan järeys- ja tiheyskorjaukset pysyvät absoluuttisesti samoina, koska ne kuvaavat osaltaan puunkorjuun kustannuksissa olevia eroja. Kun kantohintataso laskee suhteessa kustannuksiin, eri vaihtoehtojen erot puunkorjuun kustannuksissa tulevat merkittäviksi. Muutos parantaa kylvövaihtoehdon edullisuutta (ks. kuva 23a). Vastaavasti kantohintatason nousu suhteessa kustannuksiin parantaa luontaisen uudistamisen edullisuutta.

Peruslaskelmissa kiutu- ja tukkipuun hintasuhte oli 0,47. Hintasuhteen nostaminen kasvattaa kylvövaihtoehdon tuottamaa suhteellista nettonykyarvoa (ks. kuva 23b) ja vastaavasti alentaminen on kylvövaihtoehdolle epäedullinen. Jos ko. hintasuhte on yli 0,8 on luontainen uudistaminen laskentakorkokannoilla 0–5 % kylvää edullisempaa. Hinta- ja kustannustekijöiden ennusteiden virheellisyyksien osalta voidaan todeta niiden vaikuttavan vähän luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn väliseen edullisuuteen.

Puutavaran laatua ei ole otettu huomioon hinnoiteltaessa puueriä mittausten puuttuessa tutkimusaineistosta.

Kuvassa 24 on esitetty hintojen ja kustannusten ennustamisessa käytettyjen oletusten vaikutusta uudistamismenetelmien edullisuussuhteisiin. Luontaisen uudistamisen ja kylvön keskinäistä edullisuutta verrataan nykyarvomenetelmällä, kun hinnat ja kustannukset on ennustettu joko autoprojektiivisesti tai vakiosuhdeoletuksella. Autoprojektiivisissa ennusteissa kantohintojen ja metsänhoitotöiden yksikkökustannusten on oletettu tulevaisuudessa kehittyvän laadittujen ennusteyhtälöiden mukaisesti (ks. luku 4.2.3). Kantohinnat ja metsänhoitotöiden yksikkökustannukset on vakio-oletuksen laskelmissa jäädytetty päätöksentekohetken tasolle.

Kummassakin laskentatilanteessa on käytetty samoja puuntuotantofunktioita. Täydennystarpeen määrittämisperusteet eroavat toisistaan. Täydennyksen kustannukset voidaan näissä laskelmissa tulkita siten, että autoprojektiivisissa ennusteissa ne tarkoittavat kustannusta, joka tu-

lee täydennettäessä uudistusala. Vakio-oletuksen laskelmissa käytetyt täydennyksen kustannukset tarkoittavat keskimääräistä kustannusta täydennystarpeen todennäköisyydellä kerrottua.

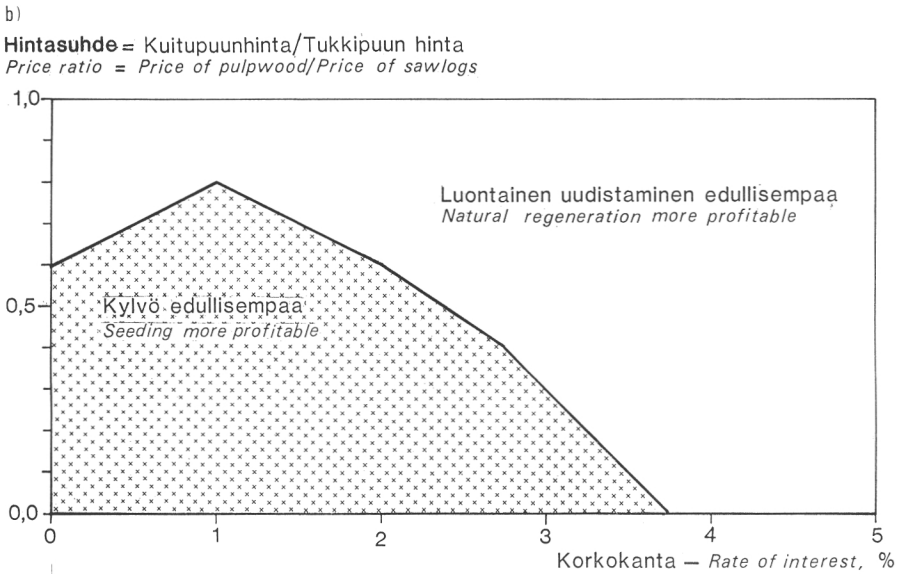
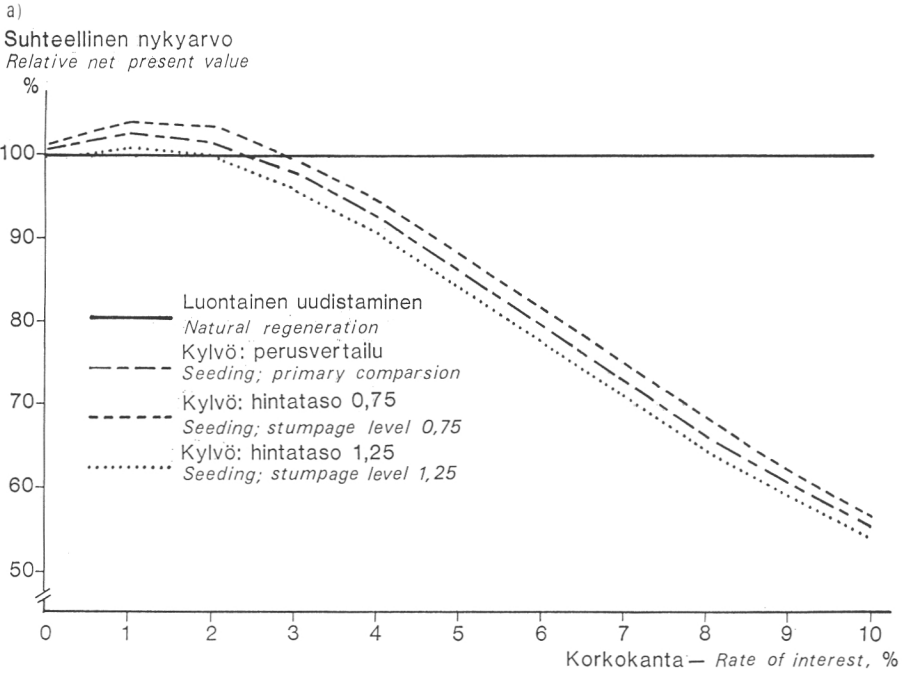
Taulukossa 5 ja kuvassa 8 on esitetty laskelmissa käytetyt yksikkökantohinnat sekä metsänhoitotöiden yksikkökustannukset. Autoprojektiivisissa ennusteissa metsänhoitotöiden yksikkökustannusten kehitysennuste on laskeva raivauksen ja taimikonhoidon osalta kun taas maanpinnan käsittelyn ja viljelytöiden kustannusennuste on nouseva. Sekä kantohintataso että metsänhoidon kustannusten taso on vakio-oletuksen laskelmissa korkeampi kuin autoprojektiivisissa laskelmissa siten että kustannustaso suhteessa kantohintatasoon on korkeampi.

Eroavuudet laskentaperusteissa ovat kuvassa 24 havaittavien erojen synnyttä. Autoprojektiivisten ennusteiden laskelmissa lyhyen kiertajan kylvövaihtoehdon suhteellinen edullisuus nousee ja pitkän kiertajan kylvövaihtoehdon suhteellinen edullisuus laskee yli 2 % laskentakorkokannoilla. Erot pitkän ja lyhyen kiertajan edullisuussuhteissa kääntyvät päinvastaisiksi edelliseen nähden alle 2 % laskentakorkokannoilla. Laskentakorkokanta-alue, jolla luontainen uudistaminen on edullisin muuttuu vakio-oletuksen laskelmien 2,5–4,0 %:sta ei-vakio-oletuksen laskelmien 1,8–2,8 %:iin.

4.3.3 Metsänomistajan tavoitteiden ja arvostusten merkitys

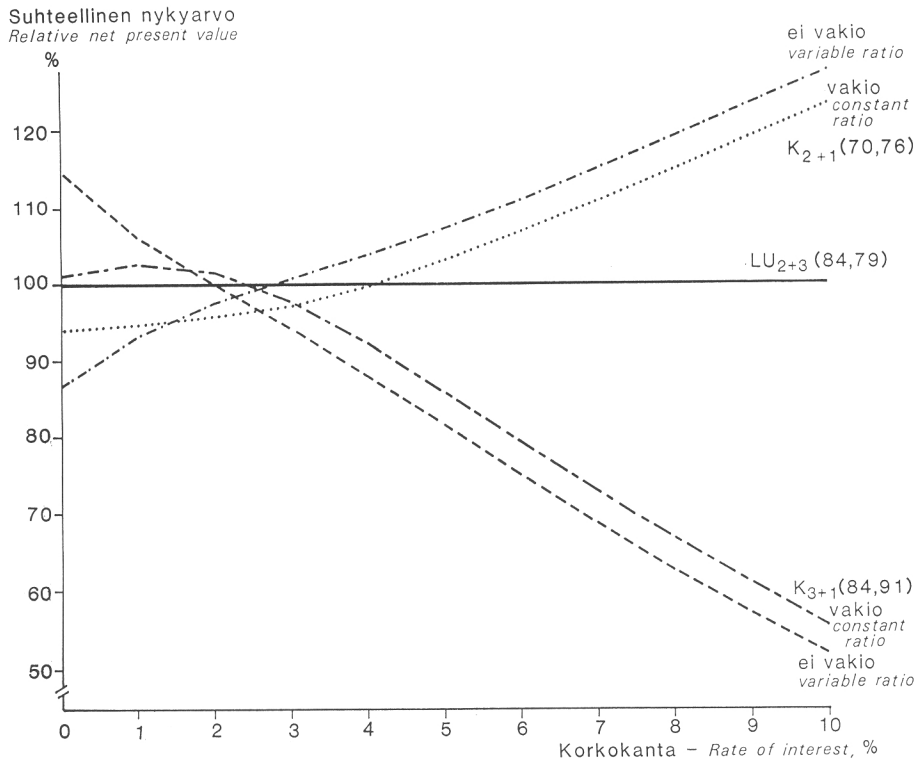
Laskelmien tulosten perusteella voidaan todeta, että sekä omistajan tulotavoitteilla ja tulojen ajallisilla arvostussuhteilla on vaikutusta uudistamisvaihtoehtojen keskinäiseen edullisuusjärjestykseen. Tulotavoitteen suhteen määriteltujen esimerkkitapausten avulla on ollut mahdollista tehdä eräitä alustaviksi katsottavia päätelmiä tulotavoitteiden ja arvostusten yhteisvaikutuksesta uudistamisvaihtoehtojen edullisuusjärjestykseen.

Alhaisen ja korkean aikapreferenssin tulonkäyttörajoitteiden tulkinta ko. metsänomistajatyypin taloudessa poikkeavat toisistaan metsänomistajien erilaisten tuloarvostusten vuoksi. Tulorajoitteita voidaan tulkita tilapäisinä (ei-säännöllisinä) menoerinä alhaisen aikapreferenssin omistajalla. Tällaisen omistajan menojen rahoituksen suunnittelua voidaan tarkastella muun talouden suunnittelusta erillisenä päätöksenä. Korkean aikapreferenssin metsänomistajan on perusteltua olettaa tekevän hakkuukypsyyden saavuttaneen nykypuuston tulomahdollisuuksien rea-



Kuva 23. Suhteelliset nykyarvot ja edullisuus kylvön ja luontaisen uudistamisen vaihtoehdoissa korkokannan funktiona, a) kun keskikantohintataso muuttuu suhteessa puun tuottamisen kustannuksiin ja b) kun tukki- ja kuitupuun hintasuhde muuttuu. (Kussakin vertailuparissa luontainen uudistaminen on perusvaihtoehto (indeksi-arvo = 100))

Figure 23. a) the effect of a permanent stumpage price ratio change on the profitability order of natural regeneration and seeding alternatives and b) the effect of changes in timber quality ratios of the current stands on the profitability order of natural regeneration and seeding alternative. (Calculation based on fixed changes of proportion. Index numbers, natural regeneration as a norm (= 100)).



Kuva 24. Suhteelliset nykyarvot ja edullisuus kylvön ja luontaisen uudistamisen vaihtoehdoissa autoprojektiiivisten- ja vakio-oletuksen hinta- ja kustannusennusteilla.

Figure 24. The profitability of seeding and natural regeneration alternatives as a function of the interest rate when two types of price- and cost forecasts are used. The forecasts: a) constant price-cost ratio and b) independent autoprojective forecasts for stumpage prices and regeneration costs.

lisointipäätöksen puuston arvokasvun alennuttua vaihtoehdoiskohteen rajatuoton tasolle. Korkean aikapreferenssin metsänomistajalle uudistamispäätös on likviditeettirajoitteen realisoitumisen ajankohdan määrittämä valintatehtävä.

Käytettyjen esimerkkitapausten korkokantavaliintoihin perustuen tarkasteltiin ensin alhaisen aikapreferenssin metsänomistajan valintapäätöstä (aikapreferenssioletus 1 %). Täydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa, kun markkinakorko ja aikapreferenssi ovat yhtäsuuret, tätä tyyppiä edustavan metsänomistajan on edullista valita pitkän kiertajan kylvövaihtoehto ja ottaa lainarahoitusta rahamarkkinoilta satunnaisen likviditeettirajoitteen rahoittamiseen. Jos pääomamarkkinoiden luottokustannus on korkea ($r = 5\%$) em. kylvövaihtoehdon arvokasvu on liian pieni suhteessa lainakustannukseen, jotta luoton ottaminen olisi taloudellisesti perusteltua. Sen sijaan sekä lyhyen kiertajan kylvövaihtoehto että luon-

taisen uudistamisen vaihtoehto tuottavat tällaiselle omistajalle saman nykyarvon. Valinta uudistamisvaihtoehtojen välillä menon rahoittamiseksi riippuu metsänomistajan halusta ottaa lainaa rahamarkkinoilta. Erityisesti tapauksissa, joissa vaihtoehdot ovat taloudellisesti samanarvoisia, metsänomistajan arvostukset maisemallisten tekijöiden, uudistamistapojen, riskitekijöiden sekä muiden ei-taloudellisten tekijöiden osalta ovat em. pääomamarkkinoille osallistumishalun lisäksi päätöksen kannalta merkityksellisiä tekijöitä. Korkean aikapreferenssin omistajatyypille (aikapreferenssi esim. 5 %) pääomamarkkinoille osallistuminen on suurempi kuin alhaisen aikapreferenssin omistajalle alhaisten luottokustannusten olosuhteissa. Samoin lainakustannusten ollessa korkeat ($r=5\%$) lyhyen kiertajan kylvövaihtoehdon välittömään nykypuuston hakuutulojen realisointiin perustuva vaihtoehto on korkean aikapreferenssin omistajalle luontaisen

uudistamisen vaihtoehtoa taloudellisesti edullisempi. Tällöin korkean aikapreferenssin metsänomistaja valitsee luontaisen uudistamisvaihtoehdon mikäli muiden, kuin nykypuuston hakkuutulojen arvostustekijöiden painoarvo on suuri.

Luontaisen uudistamisvaihtoehdon suhteellisen edullisuuden erot lyhyen ja/tai pitkän kierto-

ajan kylvövaihtoehtoihin nähden ovat pienimmillään metsänomistajille, joiden aikapreferenssi on pääomamarkkinoiden sijoitustuottoa alhaisempi. Tällaiselle metsänomistajalle nykypuuston muiden kuin tuottoarvojen voi olettaa olevan ratkaisevia päätösmuuttujia uudistamisvaihtoehdon valinnan kannalta.

5 Yhteenveto

5.1 Uudistamisen taloudellisen edullisuuden laskentamalli

Tässä työssä tutkitaan metsänuudistamisvaihtoehtojen taloudelliseen edullisuuteen vaikuttavia tekijöitä yksittäisen metsänomistajan näkökulmasta. Tarkoitusta varten rakennetaan laskentamalli, jolla vertaillaan ennaltamääritettyjä uudistamisvaihtoehtoja. Malli soveltuu sellaisten uudistamisvaihtoehtojen vertailuun, joissa lopputulos on suhteellisen varmasti ennustettavissa. Tällaisia kohteita ovat metsänhoidollisesti helpoimmat uudistamiskohteet, kuten tässä tutkimuksessa esimerkkinä sovellettu eteläsuomalainen puolukkatyyppin männikkö. Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa niitä taloudellisia tekijöitä, joihin metsänomistajan uudistamispäätöstä tehdessään tulee kiinnittää huomiota.

Tämän tutkimuksen perusvertailuissa käytetään diskonttaukseen perustuvaa netto nykyarvokriteeriä. Edullisuusvertailujen tulokset (ks. laskentamenetelmistä luku 3.1) ovat tällöin vertailukelpoisia muiden uudistamisvaihtoehtojen edullisuutta analysoivien metsikkömallien tulosten kanssa. Malliin sisältyy oletus täydellisistä pääomamarkkinoista.

Haastattelututkimusten mukaan metsänomistajat käyttävät hakkuutuloja esim. investointien rahoitukseen, kulutushyödykkeiden hankintaan tai niistä aiheutuneiden velkojen hoitoon, verojen maksuun tai säästämiseen. Rahan tarve ja pääomamarkkinoiden korkosuhteet vaikuttavat tällöin hakkuupäätöksiin. Metsikkökohtaiset diskonttaukseen ja netto nykyarvon maksimointiin perustuvat laskentamenetelmät soveltuvat huonosti em. päätöstilanteisiin, koska metsänomistajan käytössä ei ole laskelmissa oletettuja täydellisiä pääomamarkkinoita.

Tässä tutkimuksessa nykyarvomallia laajennetaan siten, että metsänomistajan rahantarpeen (ajankohtaan sidottu likviditeettirajoite) ja pääomamarkkinoiden epätäydellisyyden (sijoitus- ja

velkakorkojen erisuuruus) vaikutuksia uudistamispäätökseen voidaan analysoida (ks. luku 3.2). Mallin lopputulokseen vaikuttaa lisäksi metsänomistajan eri ajankohtien tulonkäytön subjektiivinen arvostus (aikapreferenssi). Aikapreferenssi kuvaa pääasiassa tulevan puusukupolven painoarvoa päätöksessä.

5.2 Uudistamisvaihtoehdot Etelä-Suomen VT-männiköissä

Tutkimuksen empiirisessä osassa vertailumallia sovelletaan esimerkkiaineistoon. Esimerkkiaineisto kuvaa eteläsuomalaisen puolukkatyyppin männikön uudistamisvaihtoehtoja. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdot perustuvat 'luontaisen uudistamisen inventoinnista' (LUI) saatuun havaintoaineistoon. Vastaavasti viljelyvaihtoehtojen muodostamisessa käytetään 'metsänviljelyn inventoinnin' (MVI) havaintoaineistoa. Luontaisen uudistamisen sekä viljelyn vaihtoehtojen seuraajametsiköiden kehitystä kuvataan kasvumallien avulla (Vuokila & Väliäho 1980) (lähtöpuustot ks. taulukko 3).

Tämän tutkimuksen vertailuissa käytetään kolmea luontaisen uudistamisen vaihtoehtoa, viittä kylvövaihtoehtoa sekä kahta istutusvaihtoehtoa. (Vaihtoehtojen rakennetta kuvaava koodi on symboliluettelon yhteydessä.) Kaikkien vertailussa mukana olevien käsittelyvaihtoehtojen lähtökohdalla on 70-vuotias puolukkatyyppin männikkö, jossa puuston tilavuus on 164 m³/ha ja runkoluuku 620 kpl/ha. Luontaisen uudistamisen vaihtoehdossa LU₂₊₃ (84,79) puustosta hakataan vertailuajankohdassa 50 % (taulukko 1) ja uudistamisala raivataan. Uuden puusukupolven taimikon syntymiseen kuluu neljä vuotta. Puuston ollessa 78-vuotias siitä poistetaan 69 % ja kuuden vuoden kuluttua jälkimmäisestä hakkuusta ylispuut. Taimikko täydennetään sen ollessa 11-vuoden iässä ja perataan sekä harvennetaan 15-vuo-

den iässä (taulukko 2). Seuraavien puusukupolvien uudistamishakkuut tehdään puustojen ollessa 75, 85 sekä 90 vuoden iässä. Kiertoajaksi muodostuu tällöin 79 vuotta (hakkuuikä + uudistumisaika). Toinen laskelmissa käytetty luontaisen uudistamisen vaihtoehto LU_{2+2} (78,79) on laskennallinen ja sen muodostamisessa oletettiin, että maanpinta käsitellään äkeellä raivauksen yhteydessä ja emopuusto poistetaan kokonaan toisessa uudistamiseen tähtäävässä hakkuussa (taulukko 3).

Kylvön käsittelyohjelmissa K_{2+1} (70,76) ja K_{3+1} (84,91) päätehakkuu tehdään avohakkuuna nykypuuston ollessa edellisessä 70 vuoden sekä jälkimmäisessä 84 vuoden iässä ja seuraajametsiköissä vastaavasti 75 vuoden sekä 90 vuoden iässä. Tällöin kiertoajat ovat 76 sekä 91 vuotta. Hakkuun yhteydessä uudistusala raivataan ja maanpinta käsitellään äkeellä. Uusi puusukupolvi kylvetään yhden odotusvuoden jälkeen. Taimikkoa täydennetään sen ollessa 6 vuoden iässä ja perkausharvennus suoritetaan 12 vuoden iässä.

Edullisuuslaskelmien istutusvaihtoehdot I_{2+1} (76,74) ja I_{3+1} (84,89) johdettiin kylvövaihtoehdoista. Uudistusala istutetaan kaksivuotiailla männyn taimilla. Istutusvaihtoehdoissa hakkuuajankohdat ovat samoja kuin kylvövaihtoehdoissa. Tällöin kiertoajat käsittelyohjelmille I_{2+1} (76,74) ja I_{3+1} (84,89) ovat 74 ja 89 vuotta.

5.3 Uudistamisen yksikkötuotot ja -kustannukset

Yksikkötuotot ja -kustannukset ennustettiin kahdella eri menetelmällä (taulukko 5). Ensin kantohintojen ja puuntuottamisen kustannusten ennustettiin kehittyvän laadittujen ennusteyhtälöiden mukaisesti. Toisessa ennusteessa hinnat ja kustannukset pysyvät reaalisesti vakiotasolla.

Uudistamisen hakkuutulot laskettiin pystykauppojen kantohintoihin perustuen, jolloin puunkorjuun kustannuserot sisältyvät yksikköhinnan korjaustekijöiden muodossa laskelmiin. Metsänhoitokustannusten lisäksi puunmyyntikustannukset ovat laskelmissa mukana

1980-luvun lopulla toisaalta raivauksen, maanmuokkauksen ja taimikonhoitotöiden kustannukset laskivat ja toisaalta kylvön ja istutuksen kustannukset nousivat. Kantohintojen kehityksestä havaitaan mäntykin yksikkökantohinnan pysyneen reaalisesti samana, mutta mäntykuitupuun yksikkökantohinnan laskeneen.

5.4 Uudistamisvaihtoehtojen edullisuus täydellisillä pääomamarkkinoilla

Uudistamistapoja verrattiin ensin nykyarvomenetelmällä täydellisillä pääomamarkkinoilla (uudistamistavat ks. taulukko 7). Pitkiin kiertoaikoihin ja voimaperäisiin metsänhoitotöihin perustuvat vaihtoehdot ovat edullisia pienillä laskentakorkokannoilla. Tutkimusaineistossa istutus ja pitkä kiertoaika I_{3+1} (84,89) on alle 1 % laskentakorkokannoilla edullisin vaihtoehto, kun taas 1,1–2,4 % laskentakorkokannoilla kylvö ja pitkä kiertoaika K_{3+1} (84,91) on edullisin vaihtoehto. Luontainen uudistaminen on metsänomistajalle edullisin uudistamismenetelmä laskentakorkokannan ollessa 2,5–4,0 %. Tästä laskentakorkokantaa suurennettaessa tulee kylvö ja lyhyt kiertoaika K_{2+1} (70,76) edullisimmaksi vaihtoehdoksi.

Metsätaloudessa Etelä-Suomessa sovellettavalla 3 % laskentakorkokannalla luontainen uudistaminen osoittautui edullisimmaksi uudistamismenetelmäksi tämän tutkimuksen aineistossa. Tätä pienemmillä laskentakorkokannoilla koko puuston edelleenkasvatus on edullinen sijoituskohte. Suurilla laskentakorkokannoilla lyhyen kiertoajan kylvövaihtoehdot ovat edullisimpia. Nykypuuston hakkuutulot kannattaa tällöin sijoittaa puuntuotannon ulkopuolisiin kohteisiin.

5.5 Uudistamisvaihtoehtojen edullisuus epätäydellisillä pääomamarkkinoilla

Metsänomistajan tavoitteiden ja pääomamarkkinoiden epätäydellisyyden vaikutusta uudistamisvaihtoehtojen edullisuuteen analysoitiin yksinkertaistettujen rakenneoletusten olosuhteissa. Pääomamarkkinoiden määrärajoitteet otetaan huomioon päätöksentekijän likviditeettirajoitteen muodossa ja markkinoiden hintaepätäydellisyys soveltamalla erisuuria sijoitus- ja velkakorkoja. Likviditeettirajoitteen vaikutuksia edullisuusjärjestykseen analysoitiin sekä täydellisten että epätäydellisten pääomamarkkinoiden olosuhteissa.

Likviditeettirajoite määritellään ensin kiinteäksi tulotavoitteeksi vaihtoehtoihin ajankohtiin $t=0$, 8 tai 14. Tämän tulotavoitteen rahoittaminen toteutetaan nykypuustosta saatavilla hakkuutuloilla pääomamarkkinoita hyväksikäyttäen. Uudistamisvaihtoehtojen edullisuutta pääomamarkkinoiden eri korkotasolla tutkittiin päätöksentekijän aikapreferenssin funktiona. Kun sijoitus- ja velkakorko ovat yhtäsuuret (täydelliset pääomamarkkinat), edullisuusjärjestys on pääosin sama edellä esitetyn nykyarvoilla saadun

edullisuusjärjestyksen kanssa (ks. kuva 16).

Kannattako nykypuuston hakkuita siirtää tuloarveajankohtaa $t=0$ myöhemmäksi riippuu pääomamarkkinoiden velkakorosta (lainasta maksettava kustannus) ja puuston arvokasvu-prosentista. Lividiteettirajoitteen rahoittaminen lainalla tulee epäedulliseksi velkakoron noustessa. Velkakoron nousu parantaa siten likviditeettirajoitteen ajankohdan hakkuuvaihtoehtojen suhteellista edullisuutta. Korkeaan pääomamarkkinoiden velkakustannukseen nähden puuston edelleenkasvatuksen tuotto jää pienemmäksi.

Täydellisillä pääomamarkkinoilla likviditeettirajoitteen ajankohdan muutos ei aiheuta vaihtoehtojen edullisuusjärjestyksen muuttumista (ks. kuva 17). Sen sijaan, jos metsänomistajalla on likviditeettirajoite ja sijoitus sekä velkakorko ovat erisuuret, edullisuusjärjestys riippuu sijoitus- ja velkakorkojen suhteen ja aikapreferenssin lisäksi likviditeettirajoitteen ajankohdasta. Suhteellisessa edullisuudessa ajankohtamuutoksen aikaansaamat erot ovat sitä suurempia mitä suurempi on vaihtoehtojen tuottojen ajallisen siirtymän kannalta keskeinen markkinakorko. Jos velkakorko on sijoituskorkoa suurempi, pitkän kiertoajan kylvövaihtoehdossa tarvittavan lainanoton kustannusvaikutus pienentyy (tulotavoitteen siirtymässä $t=0 > t=14$) enemmän kuin lyhyen kiertoajan kylvövaihtoehtoon liittyvän pääomamarkkinatuoton vaikutus. Komponenttien suhteellinen merkitys muuttuu likviditeettirajoitteen ajankohdan muuttuessa (ks. kuva 18).

Tämän tutkimuksen esimerkkitaloukset valittiin siten, että sijoitus- ja velkakorot ovat nykypuuston arvokasvun ylä- ja alapuolella. Vaihtoehdossa, jossa $r_s < \delta < r_v$ kasvua vähäisemmän sijoitustuoton ja toisaalta kasvua suuremman velkakustannuksen takia pääomamarkkinoille osallistuminen heikentää ko. vaihtoehdon suhteellista edullisuutta metsänomistajalle. Toisaalta jos $r_s > \delta > r_v$ pääomamarkkinoille osallistumisen vaikutus vaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen on edelliseen nähden päinvastainen. Mikäli likviditeettirajoite on ajankohdassa $t=8$ ensiksi mainituilla pääomamarkkinoiden korkosuhteilla vaihtoehto $LU_{2+3}(84,79)$ on edullisin pienimpien pääomamarkkinoilta tulevien vaikutusten kautta ja toisaalta kylvövaihtoehdot ovat luontaista vaihtoehtoa edullisempia, kun korkojen suhde on vastakkainen (ks. kuva 19).

Epätäydellisten pääomamarkkinoiden raken-

neoletuksella tehdyt laskelmat osoittavat, että tutkituissa tapauksissa metsänomistajan tavoitteet ja taloudellinen ympäristö (tässä pääomamarkkinoiden korkosuhteet) muodostuvat määrääviksi tekijöiksi uudistamismenetelmän valinnassa. Jos metsänomistajan aikapreferenssi on yli 6 % (aika-horisontti käsittää pelkästään nykypuustosta saatavat nettotulot eikä tulevilla puusukupolvilla ole vaikutusta päätökseen), metsänomistajan kannattaa valita uudistamismenetelmäksi avohakkuu ja viljely. Avohakkuun ajankohta määräytyy tuloarveajankohdan, puuston arvokasvu-prosentin sekä sijoitus- ja velkakorkojen mukaan tapauskohtaisesti. Jos sijoituskorko on arvokasvua pienempi ja velkakorko arvokasvua suurempi, kannattaa hakkuu ajoittaa likviditeettirajoitteen ajankohtaan. Kun metsänomistajan aikapreferenssi on alle 6 %, myös tulevien puusukupolvien tuotto eli maanarvo vaikuttaa päätökseen. Muutos parantaa luontaisen uudistamisen suhteellista edullisuutta ja huonontaa lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehtojen suhteellista edullisuutta markkinakoroista riippumatta.

5.6 Tulosten yleistettävyys

Tulosten luotettavuutta testattiin tutkimalla edullisuusjärjestyksen pysyvyyttä eri tekijöiden muuttuessa. Ensin testattiin uudistamisvaihtoehtojen puuntuotosperusteiden ja toiseksi. hinta- ja kustannusennusteiden muutosten vaikutusta.

Tarkastelujen perusteella voidaan todeta, että luontaisen uudistamisen taimettumisen viivästyminen heikentää vaihtoehdon taloudellista edullisuutta voimakkaasti (ks. kuva 21). Myös viljelyvaihtoehtoihin liittyvillä tuotosepävarmuuksilla on keskeinen merkitys vaihtoehtojen edullisuuteen (kuva 22). Sitä vastoin metsänhoidon kustannusten mahdollinen lisääntyminen, esim. täydennysviljelyn vaikutuksesta, vähentää luontaisen uudistamisen taloudellista edullisuutta vain vähän (taulukko 11). Kantohintojen vaihtelulla samoin kuin puuntuotantokustannusten vaihtelulla on tehtyjen laskelmien mukaan vähäinen vaikutus edullisuusjärjestykseen (ks. kuva 23).

Jatkotutkimukset olisi syytä kohdistaa uudistamiseen liittyvän tuotosepävarmuuden (taulukot 9 ja 10) ja satunnaisuuden merkityksen selvittämiseen.

Kirjallisuus – References

- Alchian, A. 1955. The rate of interest, Fisher's rate of return over cost and Keyne' internal rate of return. *American Economic Review* XLV (Dec.). s. 938–943.
- Arvidson, G. 1955. Om rëntans grunder. *Ekonomisk tidskrift* 55(1): 1–14.
- Berck, P. 1976. Natural resources in a competitive economy (unpublished Ph.D. thesis). Mass. Inst. of Tech., Cambridge, Mass.
- Brodie & Tedder. 1982. Regeneration delay: economic look and harvest loss. *Journal of Forestry* 80(1): 26–28.
- Bützow, N. 1981. Kannattaako uudistaa luontaisesti. *Tehdaspuu Oy*. 81(9). Kouvola.
- Böhm-Bawerk, E. 1889. The positive theory of capital. (English translation by W. Smart). London.
- Deaton, A. & Muellbauer, J. 1980. Economics and consumer behaviour. Cambridge.
- Dowdle, B. 1962. Investment theory and forest management planning. New Haven, Conn.
- Duerr, W., Guttenberg, S. & Teequarden, D. 1968. Decision making in forest resource management. *Journal of Forestry* 64(10): 760–763.
- Einola, J. 1964. Yksityismetsätaloudelliset vaihtoehtolaskelmat. *Acta Forestalia Fennica* 77(4).
- Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Institutionen för Skogsproduktion. Sveriges Skogshögskola, Gårpenberg.
- Fisher, I. 1931. The theory of interest. New York.
- Gaffney. 1975. Concepts of financial maturity of timber and other assets. Dept. of Agr. Ec. Information Ser. 62. University of North Carolina.
- Gustavsen, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Abstract: Finnish volume increment functions. *Folia Forestalia* 331.
- Hahtola, K. 1973. The rationale of decision-making by forest owners. Seloste: Metsänomistajien päätöksenteon perusteet. *Acta Forestalia Fennica* 130. 112 s.
- Hannelius, S. 1981. Luontainen uudistaminen viljelyä edullisempaa. *Metsäliiton viesti* 81(1).
- Heikinheimo, O. 1931. Metsien luontainen uudistaminen. *Keskusmetsäseura Tapion käsikirjasia* 22. Helsinki.
- Heino ym. 1978. Taimistonhoidon työmenekiselvitys taksojen laskentaa varten. *Metsäteho, katsaus* 78(2).
- Hirshleifer, J. 1970. Investment, interest and capital. Englewood Cliffs, N.J.
- Hämäläinen, J. 1973a. Profitability comparisons in timber growing: underlying models and empirical applications. *Communicationes Instituti Forestalis Fennicae* 77(4). Helsinki.
- 1973b. Contribution profit analysis for a fully regulated forest and its empirical application. Seloste: Normaalmetsän katetuottoanalyysi ja sen empiirinen sovellutus. *Communicationes Instituti Forestalis Fennicae* 80(1). Helsinki.
- Hänninen, T., Räsänen, P.K. & Ylivakkuri, P. 1972. Männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen antamista tuloksista Etelä-Suomen kangasmailla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos, tiedonantoja 72(7). Helsinki.
- Hänninen, H. & Karppinen, H. 1989. Yksityismetsänomistajat hakkuumahdollisuuksiensa käyttäjinä. Julkaisussa: Tervo, M. & Valta, L. (toim.). *Metsästä markkinoille. Kannattavuus, rakennemuutos ja kilpailukyky metsätaloudessa ja metsäteollisuudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 330.
- Intriligator, M. 1971. Mathematical optimization and economic theory. Englewood Cliffs, N.J.
- Johansson, P.-O. & Löfgren, K.-G. 1985. The economics of forestry and natural resources. Oxford.
- Järveläinen, V.-P. 1988. Hakkuumahdollisuuksien käyttöön vaikuttavat tilakohtaiset tekijät maan länsi- ja itäosissa. Summary: Factors affecting the use of allowable cut in western and eastern parts of Finland. *Folia Forestalia* 707. 64 s.
- Jørgensen, F. 1969. Traditional calculation for economic planning of forest management. Julkaisussa: Svendsrud, A.S. (toim.). *Readings in forest economics*. Oslo.
- Kajanus, M. 1981. Puunkorjuuteknologia ja korjuukustannukset metsänviljelyyn ja luontaiseen uudistamiseen tähtäävissä hakkuissa. Julkaisematon metsätieteologian laudaturtyö. Helsingin yliopisto.
- Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P.K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 56.
- Karppinen, H. & Hänninen, H. 1990. Yksityistilojen hakkuumahdollisuuksien käyttö Etelä-Suomessa. Summary: Actual and allowable cut in nonindustrial private woodlots in southern Finland. *Folia Forestalia* 747. 117 s.
- Keltikangas, V. 1965. Metsänkorko ja metsämaankorko rahoituskysymyksen näkökulmasta. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 65(11): 465–483.
- Keltikangas, M. & Tiililä, P. 1968. Koivun ja kuusen istutuksen keskinäinen edullisuusjärjestys käenkaalimustikkatyypin metsämailla. Summary: The economic sequence of common birch (*Betula Verrucosa*) and spruce (*Picea Abies*) when planting oxalis-myrtillus type forest land. *Acta Forestalia Fennica* 82(5).
- 1969. Time element and investment decisions in forestry. Julkaisussa: Svendsrud, A.S. (toim.). *Readings in forest economics*. Oslo.
- 1971. Time factor and investment calculations in timber growing. Theoretical fundamentals. Seloste: Aikatekijä ja investointilaskelmat puunkasvatukseksa. *Acta Forestalia Fennica* 120.
- 1976. Economic problems in reforestation and afforestation. Working pap. IUFRO World Congress, Oslo, Norway, June 20–July 2, 1976.
- Kilkki, P. 1978. Lisää metsäinvestointien ekonomiaa. *Metsä ja Puu* 78(1): 4–6.
- 1985. Timber management planning. *Silva Carelica* 5.

- , Lappi, J. & Siitonen, M. 1986. Long term timber production planning via utility maximization. *TIMS Studies in Management Sciences* 21: 285–295.
- Kuuluvainen, J. 1989. Nonindustrial private timber supply and credit rationing. Microeconomic foundations with empirical evidence from Finnish case. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Economics, Report 85.
- Kuusela, K. 1964. Metsikön kiertoajan muuttamisen vaikutus puuntuotantoon. *Suomen Puutalous* 64(3).
- 1981a. Kustannuksetoman metsänhoidon harha. *Metsäliiton viesti* 81(2).
- 1981b. Suomen metsätalous- ja teollisuus. Julkaisussa: *Suomen talous 2010*. SITRA ser. B: 66. s. 63–112.
- & Nyyssönen, A. 1962. Tavoitehakuuskalkelma. *Acta Forestalia Fennica* 74(6).
- Lappi, J. 1982a. Kansantaloudellisen metsäekonominen aritmetiikan ristiriidasta. *Metsä ja puu* 82(12): 24–25.
- 1982b. Metsikön uudistaminen ja erityisesti uudistamisen vaatima aika metsälön käsittelyn kannalta. *Esielmä* 19.11.1982. Suonenjoki.
- 1983a. Anteeksi, Päiviö Riihinen. *Metsä ja puu*. 1983(3): 42.
- 1983b. Metsänuudistamisen vaatiman ajan merkitys uudistamispäätöksissä. Summary: Evaluation of the timber factor in reforestation decisions. *Silva Fennica* 17(3):259–272.
- Layard, P. & Walters, A. 1978. *Microeconomic theory*. London.
- Leinonen, K., Leikola, M., Peltonen, A. & Räsänen, P.K. 1989. Kuusen luontainen uudistaminen Pirkka-Hämeen metsälautakunnassa. Summary: Natural regeneration of Norway spruce in Pirkka-Häme Forestry Board District, southern Finland. *Acta Forestalia Fennica* 209.
- Lehto, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistamisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Studies on the natural reproduction of Scots pine on the upland soils of Southern Finland. *Acta Forestalia Fennica* 66(2).
- Lindahl, E. 1939. *Studies in the theory of money and capital*. London.
- Lönnstedt, L. 1989. Goals and cutting decision of private small forest owners. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 259–265.
- Metsänhoidon suositukset. 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio.
- Metsälautakuntien ja yksityismetsälain säännökset. 1978. Keskusmetsälautakunta Tapio. 78(003).
- Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö. 1971. Komiteanmietintö 1970:B 91. Summary: Report of the committee on the costs of forest planting and seeding. *Folia Forestalia* 109.
- Metsätilastolliset vuosikirjat 1967–1988. *Folia Forestalia* 70, 96, 130, 165, 195, 225, 255, 295, 345, 375, 430, 460.
- Nadeau, J-P. 1970. Economics of reforestation. *The Forestry Chronicle*. s. 487–490.
- Nyyssönen, A. 1958. Kiertoaika ja sen määrittäminen. *Communications Instituti Forestalie Fenniae* 49(6).
- & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. *Acta Forestalia Fennica* 163.
- & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen arvon ja arvokasvun arviointi. *Acta Forestalia Fennica* 179.
- Oksanen-Peltola, L. 1989. Eteläsuomalaisen VT-männikön uudistamisvaihtoehtojen yksityistaloudellinen edullisuusvertailu. Summary: Probitability comparisons of some regeneration alternatives of Vaccinium type pine stands in private forests of southern Finland. *Folia Forestalia* 729.
- Ollonqvist, P. & Oksanen, L. 1988. Päätös metsikön uudistamisesta. Julkaisussa: Sevala, Y. (toim.). *Metsä, yritys, yhteiskunta*. Metsäekonominen tutkimusosasto 60 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 288: 83–106.
- Parviainen, J. & Lappi, J. 1983. Laskentamalli metsänviljelyketjujen vertailemiseksi. *Folia Forestalia* 549.
- , Sokkanen, S. & Ruotsalainen, M. 1985. Metsänuudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentaohjelma "VILJO". Summary: A calculation system for comparison of forest regeneration chains. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 179.
- Payandeh, B. 1977. Making the most of forest managers knowledge in choosing economically desirable regeneration systems. *The Forestry Chronicle*, December 1970. s. 355–363.
- Puu, T. 1967. Some reflexions on the theories of choice between alternative investment opportunities. *Weltwirtschaftliches Archiv*. 99(2): 107–125.
- Puuhintasuositukset: 1.7.1980–30.6.1981. 1980 ja 1985. Maataloustuottajien Keskusliiton metsävaltuuskunta ja Teollisuuden Puuyhdistys.
- Riihinen, P. 1978. Metsäinvestointien ekonomiaa. *Metsä ja Puu*. 78(2): 4–6.
- 1979. Vielä enemmän metsäinvestointien ekonomiaa. *Metsä ja Puu* 79(3): 52–53.
- 1983a. Juha Lapin ristiriitä. *Metsä ja Puu* 83(1): 26–27.
- 1983b. Edellisen johdosta. (Vastine J. Lapin kommenttiin). *Metsä ja Puu* 83(3): 43.
- Rådström, L. 1980. Skogsbrukets lönsamhetsutveckling 1970–1990. Summary: Profitability in forestry 1970–1990. *Kungl. Skogs-och landbruksakademiens Tidskrift* 3(119): 113–142.
- Saari, E. 1942. Metsäojitusten yksityistaloudellisen edullisuuden määrittäminen. *Acta Forestalia Fennica* 50(16).
- Samuelson, P. 1976. Economics of forestry in an evolving society. *Ec. Inquiry*. XIV (Dec.): 466–490.
- Sarvas, R. 1956. Metsänhoidon tekniikka. *Metsäkäsikirja*, osa 1 I. osa. Helsinki.
- Streyffert, T. 1965. *Handbok i skogsekonomi*. Uppsala.
- Takala, P. 1981. Unohtiko tutkija yksityismetsälain. *Metsäliiton viesti* 81(2).
- Tikkanen, I. & Vehkamäki, S. 1987. Yksityismetsien havutukien kysyntä ja tarjonta. Havutukkimarkkinoita ja metsäpolitiikkaa koskevan ekonometrisen analyysin ennakkoraportti. Summary: Demands for an supply of sawlogs from private forests in Finland: Preliminary report on econometric analysis of sawlog markets and forest policy. Helsingin yliopiston kansantaloudellisen metsäekonominen laitoksen tiedonantoja 14.
- Turban, E. 1988. Decision support and expert systems. Managerial perspectives. New York.

- Varmola, M. 1981. Kasvatustiheys määrää laadun. *Metsä ja Puu* 81(8): 10–12.
- Vesikallio, H. 1981. Metsäteollisuusyritysten puunhankinta muuttuvassa yhteiskunnassa. Summary: The Timber Procurement of Forest Industry Companies in the Changing Society. *Metsäteho, tiedotus* 371.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. Porvoo.
- & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 99(2).
- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of the technical quality of forest. *Folia Forestalia* 523.
- Yli-Vakkuri, P., Räsänen, P.K. & Solin, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piiri-metsälautakuntien alueella. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. *Tiedonantoja* 69(2).

Total of 85 references

Summary

Significance of private forest owner's economic goals in the forest stand regeneration decision

Introduction

The decision to regenerate a forest stand

Forest regeneration is a decision based on economic optimization. This decision formulates the way in which a mature timber stock will be replaced with plants for a new generation. It is one of the major economic issues faced by a forest owner in timber production. The task includes the choice of the optimal regeneration method and the timing. Regeneration therefore includes both economic and silvicultural decisions. The forest regeneration problem can normally be formulated in terms of economic optimization. This means that the choice is a decision between predetermined chains of regeneration activities. A regeneration chain is a predetermined sequence of silvicultural and technical activities. The chain is formulated *ex ante* and can be assumed to be pre-optimized at the formulation stage.

There are two basic ways to formulate the regeneration decision when the decision making is formulated as a choice between predetermined alternatives. Either the stand to be regenerated is considered as an integrated part of the synchronized timber growing plan (area planning including the single stand) or as a single independent decision unit. The latter approach is applied here. However, the stand to be regenerated is considered to be a part of the economic planning in the economy of the decision maker.

Single stand regeneration can be evaluated as an independent task if a competitive financial market is available. The consumption patterns for the harvest income do not alter the appropriate timing of the cuttings, if a competitive financial market is available. This separability means simply that the preferences of the owner do not affect the optimal choice of the regeneration alternatives. The basic comparison of the single stand regeneration alternatives is made here by using the competitive financial market assumption. The regeneration decisions in practice are made under imperfectly competitive financial markets. The evaluation under both circumstances makes possible an analysis of the specific effects due to a) the objectives and b) the restrictions in the timing of the cutting incomes. Simple solutions for the identification of the latter effects will be pursued in this research task.

The practice of forest regeneration in Finland

The average annual area of regeneration cuttings executed in Finland has been around 200 000 hectares during the period 1965–87 (all forest owners taken together)(Figure 1). The proportion of the regeneration cutting incomes in the forest sector GNP has been around 70 % throughout the 1970's and 80's. The proportion of forest sector from the GNP in Finland has been around 4 % during 1980's (Yearbooks of forest statistics).

The main feature of the regeneration practice during the 1970's and 1980's has been a constant decrease in the shares of natural regeneration and seeding in favor to planting (Figure 1). The areal proportion of natural regeneration was 30 % in 1987 compared with 65 % for natural regeneration and 35 % for artificial regeneration-ten years earlier.

Forest regeneration is an institutionally controlled forestry activity in Finland. The major objective behind the rules of institutional control concerning nonindustrial private forest lands is to secure the minimum annual yield target from each unit area of nonindustrial private forest land. A detailed program scheduling for the regeneration has been executed for this target. This includes a detailed proposal schema concerning the methods and intensities of the regeneration activities. The control is planned and carried out by The Central Forestry Boards and Regional Boards separately for Finnish and Swedish speaking region. The minimum annual yield targets are included into the proposed programs, and they can be considered the restrictions given in the program scheduling.

Purpose of the study

The single stand optimization by using the predetermined regeneration chains

The purpose of this study is to analyze the relative profitabilities of the regeneration chains available and to identify the factors determining the order of preference for these alternatives by an individual forest owner. The regeneration decision is a problem of choice which consists of a) the optimal timing of the regeneration and b) the choice bet-

ween the pre- optimized regeneration alternatives relevant to each case. This optimization problem is restricted by a) the forestry qualifications given by each preoptimized alternative b) the shadow prices of the cost and yield opportunities from the financial markets (when used for the timing of the costs and incomes achieved from timber production with respect to consumption) and c) the liquidity constraints faced by the owner.

The optimization procedure to be developed is based on the net present values achievable from the predetermined regeneration chains.

A case study of the regeneration of a Vaccinium type forest stand

The optimization procedure for the regeneration decision making is applied to the case of synthetically constructed regeneration chains for a 70 years old Vaccinium site type pine stand. In the regeneration of pine stands on this site type there are three valid methods, i) natural regeneration, ii) regeneration based on seeding or iii) regeneration based on planting. Each method can be applied by using varying intensities in the individual tasks.

The alternative regeneration chains in each method are preoptimized. Prior optimization means only that the forestry qualification concerning the silvicultural activities and their intensities is predetermined. The regeneration chains to be developed include the silvicultural activities together with the risk and uncertainty factors typical of these activities.

The problem specification based on the pre- optimization of the silvicultural qualification means the omission of the allocative efficiency of capital with respect to the alternatives. The formulation of the pre- optimized regeneration programs omit the economic efficiency of the regeneration. The prior formulation of the chains is currently the only solution to the optimization problem. This state of affairs is due to deficiencies in empirical research.

The specific objectives of the owner and constraints on the regeneration decision

The major task of this study is to expand the regeneration optimization by including in the task the restrictions derived from efficient capital allocation. The efficient capital allocation is included only into the choice problem and is omitted from the formulation of the alternatives. The regeneration optimization as a problem of the efficient allocation here includes:

- 1) The decision concerning the type of regeneration and its initiation at right time.
- 2) The optimization of the adequately specified objective

function.

- 3) The appropriate specification of the costs of both the capital allocation and the financial costs faced by an owner in his private economy (over those of the regeneration optimization of the stand).

The economic optimization of regeneration

The economic optimization of regeneration decision is first analyzed under the competitive financial market. This specification of the financial market is then expanded into a specific type of imperfect competition structure. This expansion means simply the inclusion of the unequal terms on the borrowing rate of the financial market (r_b) and yield rate on financial market investments (r_s). The net effects of these financial market imperfections are here analyzed for the liquidity constrained owner as a decision maker. The net effects of a liquidity constraint on regeneration optimization are also analyzed under the competitive financial market structure.

The changes in the relative profitabilities between the regeneration alternatives due to the parameter shifts

Shifts in the parameter values change of the profitability order between the regeneration alternatives. These changes are analysed with respect to the relevant parameters of the study. Tests are carried out by using simple sensitivity analysis.

Net present value as the basic criterion is not always appropriate for the consideration of regeneration alternatives. This is due to the restrictions caused by the perfect financial market assumption. However, the logical inconsistency that limits the use of the internal rate of interest, is not an obstacle to the use of net present values. The difference investment method would be a more general and consistent way for the comparisons. The superiority of the latter method is discussed before presenting the basic results of the profitability calculations. The profitability order between the regeneration alternatives is calculated by using a partial model type based on the net present values.

The budget constraints of a forest owner are used to analyse the net effects of simple economic restrictions on the preference order of the regeneration alternatives.

Empirical data and regeneration alternatives

Three sources of information are employed in the formulation of the regeneration chains in this study. These sources are 1) empirical data from the regeneration prac-

tice based on stratified random samples, 2) growth and yield models and 3) time series of stumpage prices and regeneration costs.

Empirical data from two inventories, one from natural regeneration plots and the other from cultivation plots form the basis of the modelling of the chains. The data are completed with the forecasts of growth and yield, as well as those of unit prices and costs (Figure 11).

Empirical data

Two kinds of empirical data have been used in this study.

First, primary data and the subgroup averages of a regeneration inventory concerning the natural regeneration practice in Finland. This data has been applied in the modelling of natural regeneration alternatives in this study. The data have been gathered in the natural regeneration inventory (LUI) (The Inventory of Natural Regeneration) (Hänninen et al. 1972). The sample plots used here are from the forest areas of site type (VT) (Tables 2–6). This inventory data is applied in determining the average intensity of thinnings in regeneration cuttings and in the specification of the early development of the new generation. The inventory data is also used in the specification of the plant densities and other qualifications of the new stand.

The second empirical data comes from corresponding inventory data concerning artificial regeneration practice in Finland. The data used here comes from the artificial regeneration inventory (MVI) (The Inventory of Forest Cultivation) (Yli-Vakkuri et al. 1969). The calculated averages from this data have been applied in the chains of cultivation alternatives in this study. The averages from the data were primarily calculated for the regeneration based on seeding. The regeneration alternatives based on planting were formulated by modifying the averages of seeding alternatives which concern the silvicultural activities.

The early development of the new generation is formulated in the natural and artificial regeneration chains separately. It is done using the average inventory data up to the initial ages applied in the theoretical growth models concerned.

The sample data from the regeneration areas of natural regeneration inventory are considered as a valid sample from the average conditions of VT site type regeneration decisions in Southern Finland. The averages calculated from the sample are used for the specification of the initial stand, the thinnings of the natural regeneration alternatives and the early stages of the development of the established stand, as well as the silvicultural activities at the early stages of the established stand. The field data for the natural regeneration alternatives from the (LUI)-inventory is a stratified random sample from 12 sample

areas. There are 325 sample plots in the data. The calculated averages from the data are used especially for the frequencies of plants in the early development stage of the new generation.

It should be noted, that the stand to be regenerated is the same in different regeneration chains. The development of both the current stand and the established stand is synchronized with the specification of the initial state of the stand in each regeneration chain.

Growth forecasts of the current stand

The growth and yield tables applied to the current stand are valid forecasts for the development of the current stand when the stand as a whole is further developed. In this case, the growth and yield forecasts of the current stand are based on the theoretical growth models (see the e.g. Gustavsen 1977). The growth forecast of the current stand in the cultivation chains are from the theoretical growth functions. In the artificial regeneration chains, the growth and development of the current stands, after thinnings, are forecast using the calculated averages from the inventory data. The inventory averages include information on the initial state of the stand, as well as on its development after the thinnings.

Growth forecasts of the established stand

The growth forecasts of the forest stand to be established by regeneration are forecast separately for the initial stage and the stage of actual growth. The data applied in the initial stage were different in the natural regeneration chains and artificial regeneration cultivation chains respectively.

The early stage was forecast using averages from the two inventories referred to above. The period of actual growth was forecast by using the theoretical growth models (see Vuokila & Väliaho 1980). It should be noticed that the same theoretical growth models were applied in all chains. The age of the established stand at the beginning of the growing period was not the same in all the chains mainly because of a delay in the natural regeneration chains.

The unit price and cost forecasts of regeneration

The appropriate forecasts for the incomes and costs are involved due to the calculation of the net present values. Two types of stumpage price and regeneration cost forecasts are applied in this study. Two parallel methods, the autoprojective and the trend value forecast method are applied to evaluate the adequacy of the forecasts.

a) Forecasts based on the use of the autoprojective processes utilize the information concerning the development of the individual unit cost items in the forecasts. The analyses of the unit cost time series, as well as alternative forecasts for them, are adapted from an independent research task outside this study (see Oksanen-Peltola 1989). The autoprojective forecasts are based on the deflated time series of the individual cost items from the period 1964–85. The realized costs and the autoprojective forecasts with their confidence intervals are presented in Figure 12. Forecasts for 1987 are also listed in Table 6.

b) The second type of forecasts for the stumpage prices and regeneration costs are based on the trend values of the corresponding deflated time series. The trend values are calculated from the time series covering years 1955–1980 for the deflated stumpage prices and years 1966–1980 for the deflated regeneration costs. The estimated linear trend equations are presented in Appendix 2. These forecasts are applied by assuming a constant ratio between the stumpage prices and the regeneration costs. The latter constancy is achieved by counting the trend values for the year 1987 and assuming the deflated values to remain constant through the forecast period. The trend forecasts for year 1987 are presented in Figure 12 and in Table 6.

The calculations of the regeneration optimization are accomplished by employing forecasts based on the constant price and cost ratios. The net effects due to the forecast methods applied are summarized in Figure 24. The majority of the time series of these unit values are available in the official statistics. The unit costs of regeneration have been disaggregated in this study.

The regeneration chains and their code identification

The constructed basic regeneration alternatives (two for natural regeneration, two for seedling and two of planting) are identified by a code system. The code identifies the regeneration chain by introducing the method, the rotation applied in the current and future stand respectively, the number of thinnings and the rates of interest applied (see details in the list of symbols).

The construction of the regeneration chains, as well as the basic elements used in their formulation, are presented in Figure 11. The number of cuttings, their timing and the rotation applied are presented in Table 7 for each regeneration chain in this study. The initiation of the regeneration cuttings is assumed to be considered at the age of 70 for the current stand.

In the first natural regeneration alternative LU_{2+2} (84,79), half of the total volume of the current stand is removed at the first stage, 69 % of the remaining stock in the second stage and the rest of the seedling trees in the

third cutting. In the second of the natural regeneration alternatives LU_{2+2} (78,79) the main differences with respect to the former are the ploughing of the surface after the first regeneration cutting, and the use of two regeneration cuttings (definitions given in Table 7).

In the seeding alternatives, the current stand is assumed to be removed in one clearcutting. Seeding and the preparation of land surface are assumed to be included in these alternatives.

The planting alternatives have a similar basic structure to seeding with respect to thinnings and clearcutting. Year old plants are used and the planting is executed one year after the clearcutting. The rotation applied for the current stand in the short rotation seeding and planting alternatives is the age of the first thinnings in the natural regeneration alternatives. On the other hand, the long rotation seeding and planting alternatives are specified by using the rotation age of the final cuttings of the natural regeneration.

Results and conclusions

The relative economic profitabilities between the predetermined regeneration alternatives are first calculated under the competitive financial market structure. The analysis is then enlarged by taking into account the specific effects of a liquidity constraint and an imperfect capital market. The liquidity constraint is first used in a perfectly competitive financial market structure. The effects of the liquidity constraint are thereafter analysed in an imperfect financial market structure.

The regeneration optimization in a perfectly competitive financial market structure

In the basic model a competitive financial market is assumed. Each rate of interest applied is both the time preference of the owner and the market rate of interest. The relative net present values of the alternatives are calculated and presented as a function of the interest rate.

The results of these analyses are compressed into Figure 13. They can be summarized in the following way. At low rates of interest ($r < 2.4\%$) the alternatives with long rotation and level of high silvicultural effort, the alternatives I_{3+1} (84,89) and K_{3+1} (84,91) respectively, turned out to be the optimal choices. The reciprocal order between the two alternatives is a function of the silvicultural conditions. A low rate of interest favours the future growth of standing timber. The latter makes the relative profitabilities of the alternatives I_{3+1} (84,89) and K_{3+1} (84,91) increase. The natural regeneration alternative is the optimum at rates of interest near the annual value growth rate of the standing timber. A high rate of interest increases the

relative magnitudes of the annual incomes over those of the future. This effect compensates for the value growth effect related to the alternatives $I_{3+1}(84,89)$ and $K_{3+1}(84,91)$. The yield from the financial investments, achievable by using the alternatives $LU_{2+3}(84,79)$, together with the value growth, increases the profitability of this alternative. If the interest rate is over the value growth of timber ($r > 4\%$), a short rotation with minor silvicultural efforts $K_{2+1}(70,76)$ turns out to be the optimum. High interest rates make the current cutting income the dominant component. At high rates of interest, the dominance of the alternatives $K_{2+1}(70,76)$ and $I_{2+1}(70,74)$ is mainly due to the latter effect.

At moderate interest rates, natural regeneration is the optimal choice for the site types of southern Finland examined in this study. At low rates, sustaining the whole current stock is preferable when the value growth of the standing timber is higher than the market interest rate. The opposite is true at high interest rates.

Two synthetic variants for the natural regeneration method applied above were examined. These were compared to the basic natural regeneration alternative to evaluate the profitability of the natural regeneration alternative. No identifiable differences in the profitabilities were visible. Not even the omission of the third cutting in the natural regeneration alternative significantly changed the profitabilities of the natural regeneration alternatives (see Appendix 2).

The calculated results of the profitability order above are valid in a perfectly competitive financial market structure. In this structure, the net present values used in the comparisons imply the infinite intertemporal elasticity of substitution between the income opportunities at different dates.

Liquidity constraint and regeneration optimization

The first expansion of the basic model is the introduction of a fixed point liquidity constraint of the owner in the perfectly competitive financial market structure. Three alternative constraints are applied. A single liquidity constraint is assumed to exist at one of the time points of the net cutting incomes. The latter simply means that one liquidity constraint is at point $t=0$, $t=8$ or $t=14$, one point of time in each analysed case respectively. The profitability order between the regeneration alternatives, as a function of the subjective rate of interest, are analysed separately for these alternative liquidity constraint structures.

A liquidity constraint is a simplified way of including the particular constraints faced by the individual forest owner into the optimization. The model used in this study can be considered a particular specification of the comprehensive forest regeneration optimization model for a

forest owner. The net present values of the cutting incomes are divided into two parts; those used for the financing of the liquidity constraint and those used for the maximization of the owner's utility. The specification of the financing of the liquidity constraint is carried out so that the necessary net of the cutting incomes to finance the constraint is transferred by the market rate of interest. The time preference interest rate is applied to the calculation of the net present values of the incomes over the liquidity constraint. The liquidity constraint is stated by assuming that it can be financed by using the cutting incomes from the regeneration cuttings in all alternatives, i.e. in the case where these incomes are also the lowest. The rest of the incomes from the current stand over the liquidity constraint are discounted by a subjective rate (the separate market and subjective rates of interest are assumed in imperfect financial market conditions only).

The profitability comparisons under the liquidity constraint at $t=0$ are presented separately for perfectly competitive market interest rates $r=1\%$, 3% and 5% respectively in Figure 15.

By assuming $r=1\%$, the regeneration alternative $K_{2+1}(70,76)$ is optimal at every subjective rate of interest (Figure 15a). The value increment achievable through the continuation of the rotation in the current stand is transferable to an earlier timepoint by using financial market intermediation. At $r=3\%$ the alternative $LU_{2+3}(84,79)$ is preferred at the subjective rates $\rho \leq 3.5\%$ and the alternative $K_{3+1}(84,91)$ becomes superior at the higher subjective rates (Figure 15b). The cost of financing the liquidity constraint at $t=8$ becomes higher than in the earlier case. At the low subjective rates, the timing of the cuttings in the alternative $LU_{2+3}(84,79)$ is more appropriate than that in the alternative $K_{3+1}(84,91)$. The proportions between the alternatives are reversed at high interest rates. At $r \geq 5\%$ (the market rate exceeds the rate of growth in the current stand) the profitability order between the seeding alternatives was the opposite (Figure 15c). The low market interest rate with respect to the value growth makes sustaining the whole current stand a profitable choice. A high market rate means that the immediate cutting of the current stand is preferred over the sustained growth.

The prior results of the optimal regeneration alternatives are summarized in Figure 16. The optimal alternatives are presented as a function of the time preference. In the first case, the subjective and market rate are equal. The three other comparisons are made at a fixed market rate of interest.

The analysis concerning the net effects of the liquidity constraint on the profitabilities is carried out here only for the case where the liquidity constraint is at $t=0$. The transfer in the timing of the liquidity constraint does not change the profitability order between the alternatives in perfectly competitive financial market structure. The lat-

ter result is visible in Figure 17, where the net effects of the time point of the liquidity constraint is presented. These comparisons are only for the case where $r=1\%$. A change in the market interest rate does not change the conclusions.

Regeneration optimization in an imperfectly competitive financial market structure

The previous constancy of profitability order with respect to the timing of the constraint does not hold if an imperfectly competitive financial market structure is introduced. The terms of financial market investments and those of debt financing are unequal in these structures.

The profitability order between the regeneration alternatives in an imperfectly competitive financial market structure is here analysed only in individual cases. These cases are calculated to illustrate the net effects on the profitability order, not the magnitudes of the profitability differences. The latter are achievable by comprehensive analyses. The objective of this study is only to point out the principles from the net effects of the latter.

The examples calculated here do not pay attention to the proportions of market interest rates in practice. The rates applied are only examples. The aim of the calculations is simply to evaluate the proportions of the rates of interest on lending and borrowing with respect to the yield in timber production.

The number of the alternatives in the comparisons is further restricted. Only three alternatives, $LU_{2+3}(84,79)$, $K_{3+1}(84,91)$ and $K_{2+1}(70,76)$ are compared in these evaluations.

In the first financial structure used, the lending rate ($r_s = 1\%$) is lower than that of the borrowing ($r_v = 5\%$). The results of the analyses are summarized in two ways. First, the two seeding alternatives are separately compared with the natural regeneration alternative so that the time point of the liquidity constraint is varied (Figures 18a and b respectively). Secondly, the three alternatives are compared by assuming the liquidity constraint at $t=8$ (Figure 19).

The first comparison is carried out separately for the alternatives $LU_{2+3}(84,79)$ and $K_{3+1}(84,91)$, and for $LU_{2+3}(84,79)$ and $K_{2+1}(70,76)$ respectively to evaluate the net effects of the time points of cutting incomes and the liquidity constraint.

The liquidity constraint at $t=0$ makes the alternative $LU_{2+3}(84,79)$ preferable over $K_{3+1}(84,91)$ at all subjective rates (Figure 18a).

If the time point of the liquidity constraint is moved further from $t=0$, the alternative $K_{3+1}(84,91)$ becomes more profitable with respect to $LU_{2+3}(84,79)$ at the subjective rates of interest $\rho \leq 6.5\%$. This is due to the unfavourable proportion of financial market interest rates

with respect to the income timing of the seeding alternative. If the liquidity constraint is at $t=14$, the seeding alternative becomes optimal at all subjective rates. The rate of borrowing in this example makes the loan financing for the liquidity constraint expensive. From the latter it follows that the yield on a financial investment is low. Financial investments are needed if the alternative $K_{2+1}(70,76)$ is used when the liquidity constraint is at $t=8$ or at $t=14$.

The poor yield on financial investments makes the profitability order between the alternatives in these cases (Figure 18b). The alternative $K_{2+1}(70,76)$ based on a short rotation age is optimal because loan financing is not needed to finance the budget constraint.

The profitability order between the alternatives is a function of the ratio between financial market interest rates if the financial market structure is imperfect. The cases evaluated above are valid if the yield rate r_s is lower than that of borrowing r_v . In the next comparison, the profitability order between the three alternatives is determined by reversing the ratio of the market interest rates. These comparisons are here presented only in the case of a liquidity constraint at $t=8$. The results are presented in Figure 19 and summarized next.

The natural regeneration alternative $LU_{2+3}(84,79)$ is optimal at rates $\rho \leq 7\%$ and the alternative $K_{3+1}(84,91)$ at the rates $\rho \leq 7\%$. The participation of the owner in the financial market is suboptimal if the interest rates are $r_s=1\%$, $r_v=5\%$ respectively. In this structure, the yield on financial investments is low and the cost of borrowing is high with respect to the use of the timber stand as an investment alternative. The opposite is true concerning the profitability of the participation under the financial market where $r_s=5\%$ and $r_v=1\%$. In the latter case, the profitability order between the seeding alternatives is reversed with respect to the corresponding profitabilities in the previous comparisons (Figure 20). The anomaly of the financial market structure where $r_s=1\%$ and $r_v=5\%$ can be seen by considering the suboptimality of the natural regeneration alternative.

A forest owner facing the liquidity constraint and/or the financial market imperfections must take the specific effects of liquidity constraints into consideration in his decision making. The liquidity constraint alone makes the evaluation of the financial market participation inevitable. It is rational to maintain the standing timber if the average future yield from the value growth exceeds the cost from borrowing. The current stand will be removed when the average yield remains lower than that achieved in the financial market. The consideration of the effect of financial market imperfections is analogous to the results that are achieved due to the structural changes in the liquidity constraints of the financial market.

Validity tests for profitabilities

The validity of the research result with respect to the parameter changes are tested next. The net effects of the changes in the parameters measuring the taxatory qualities are tested first. The second group of tests relate to the changes in stumpage prices and the unit costs of regeneration. These tests of validity are carried out to evaluate the net effects from the uncertainty and risk factors appropriate to regeneration. The explicit inclusion of the risk and uncertainty components into the variables is postponed to the future research task.

The first parameter to be tested is a delay in seedling (see Tables 9 and 10). The outcome of this delay is a decrease in the relative profitability of the natural regeneration alternative. The decrease is the larger the higher is the subjective interest rate (Figure 21). At low subjective rates of interest ($\rho < 4\%$), the three fold time delay structure in seedling does not decrease the relative profitability by more than 10 %.

The second parameter varied in the tests of validity is yield. It is intended to measure the effects of the yield changes occurring in the alternatives $LU_{2+3}(84,79)$ and $K_{3+1}(84,91)$. The test is conducted by increasing the yield forecast in the seeding alternative at the predetermined stages and simultaneously decreasing the corresponding yield of natural seeding by the corresponding stages (see Table 11). The effect of these test modifications is largest at low interest rates (Figure 22). The alternative growth estimates are corrected by the rate of interest, making the

net present values of the alternatives equal ($r=2.5\%$). The corrections are made by using the stages calculated from the yield variance in the empirical data. The deviations change the relative profitability of the latter by less than 15 % (notice that the change has been made in both directions in Figure 22).

The second group of validity tests is related to the unit prices and costs (see Table 11). This uncertainty is tested by two methods. The stability with respect to the unit price changes is analysed by proportional changes in the price level and in the price proportions of the timber species. The profitability order is slightly sensitive to the changes in the price level (Figure 23a). However, the dependence of the profitability order with respect to the changes in the price proportions of timber species is more complicated (Figure 23b). The effects of the unit cost changes are measured by comparing the unit cost forecasts of the two types presented earlier. Again the profitability order between the alternatives is permanent with respect to the unit cost changes (Figure 24).

The preference order between the relevant regeneration alternatives is not considered to be a function of the relative net present value by all forest owners. Multiple use values, the risk evaluation related to the to the different alternatives are, among other things, often explicitly or implicitly taken into account as rational variables by the individual owners. The relative importance of these latter factors increases when the subjective rate of interest of the owner is low.

Liitteet – Appendices

Liite 1. Uudistamisvaihtoehtojen käsittelyintensiteetin muuttamisen vaikutuksista taloudelliseen edullisuuteen

Tässä liitteessä tarkastellaan vertailuissa käytettyjen vaihtoehtojen tarkoituksenmukaisuutta edustamaan kutakin uudistamismenetelmää. Ensinnäkin arvioidaan luontaisen uudistamisen toimenpideintensiteettiä ja toisena kylvöä ja istutusta vaihtoehtoisina metsikön perustamistapoina. Tutkimuksen edullisuusvertailussa luontaisena vaihtoehtona käytetty havaintoaineiston mukainen uudistamistapa poikkeaa maanmuokkauksen sekä hakkuutavan osalta nykyisten ohjeistojen mukaisesta (ks. Metsänhoidon suositukset 1989). Poikkeaman taloudellisten vaikutusten arvioimiseksi verrattiin aineiston mukaisen luontaisen uudistamisen vaihtoehdon taloudellista tulosta ohjeistojen kaltaisten luontaisen vaihtoehtojen kanssa. Liitekuvasa 1.1 on esitetty empiirisen havaintoaineiston perustuvan kolmen uudistamishakkuun luontaisen uudistamisen vaihtoehdon $LU_{2+3}(84,79)$ sekä nykyisten ohjeistojen mukaisten kahden uudistamishakkuun ja maanmuokkauksen vaihtoehtojen $LU_{2+2}(78,79)_{min}$ ja $LU_{2+2}(78,79)_{max}$ suhteelliset nykyarvot. Vaihtoehtojen nykyarvot ovat yhtä suuria 7 %:n laskentakorkokannalla. Sitä suuremmilla laskentakorkokannoilla on kahden hakkuun vaihtoehto edullisempi, koska siinä nykypuuston sitoutunut pääoma realisoidaan nopeammin. Seuraajametsiköiden puuntuotoseroilla ei ole merkitystä edullisuuden kannalta korkeilla laskentakorkokannoilla. Laskentakorkokannan ollessa 2,5–7,0 % kolmen hakkuun vaihtoehto on kahden hakkuun vaihtoehtoja edullisempi, koska nykypuuston puuntuotos on ensisijaisesti suurempi ja uudistamiskustannukset pienemmät. Mikäli maanmuokkauksen avulla saadaan luontaisesti syntymään kylvötaimikkoa vastaava taimikko (max vaihtoehto), kahden ja kolmen hakkuun vaihtoehdot ovat yhtä edullisia noin 2,5 % laskentakorkokannalla. Sitä pienemmällä laskentakorkokannoilla kahden hakkuun vaihtoehto on edullisempi. Jos maanmuokkauksella ei ole vaikutusta taimiston syntyyn ja kehity-

seen, kahden hakkuun vaihtoehdon suhteellinen edullisuus laskee laskentakorkokannan pienentyessä.

Maanmuokkaus vaikuttaa taimiston tiheyteen ja tasakaaisuuteen sekä lyhentää uudistamisaikaa (Lehto 1956). Tämä nostaa kiertoajan vuotta kohti laskettua puuntuotosta parantaen kahden hakkuun vaihtoehdon suhteellista edullisuutta pienillä laskentakorkokannoilla. Maanmuokkauksen avulla voidaan pienentää luontaisen uudistamisen vaihtoehtojen epäonnistumisriskiä. Liitekuvan 1.1 vertailusta voidaan päätellä, että vaihtoehdon $LU_{2+3}(84,79)$ tuloksia on mahdollista soveltaa myös nykyisten ohjeistojen (Metsänhoidon suositukset 1989) mukaiseen luontaisen uudistamisen menetelmään suuntaa antavasti.

Uudistamisvaihtoehtojen edullisuusvertailussa käytetään havaintoaineistoon perustuvaa luontaisen uudistamisen vaihtoehtoa $LU_{2+3}(89,79)$, kylvövaihtoehtoja $K_{2+1}(70,76)$ ja $K_{3+1}(89,91)$ sekä istutusvaihtoehtoja $I_{2+1}(70,74)$ ja $I_{3+1}(84,89)$. Liitekuvasa 1.2 on esitetty vaihtoehtojen suhteelliset edullisuudet eri laskentakorkokannoilla. Istutukseen perustuvien metsänkäsitelyohjelmien oletettiin poikkeavan kylvövaihtoehtoista siten, että kiertoaika on taimien iän verran (2 v) lyhyempi ja uudistamisketjun kustannukset ovat suuremmat (ks. luku 3.3).

Edellä mainittujen erojen takia alle 1 % laskentakorkokannoilla istutusvaihtoehdot ovat vastaavia kylvövaihtoehtoja edullisempia. Istutusvaihtoehdon edullisuus pienillä laskentakorkokannoilla kylvöön nähden perustuu kiertoajan lyhenemiseen. Edelleen yli 1 % laskentakorkokannoilla on istutusta edullisempi pienempien uudistamiskustannustensa vuoksi. Ero lyhyen kiertoajan viljelyvaihtoehtojen välillä on suurempi, koska kustannusten suhteellinen merkitys niissä on suurempi. Käytävissä ollut aineisto ei antanut mahdollisuutta tutkia kylvö- ja istutusvaihtoehtojen kehityserojen merkitystä taloudelliseen edullisuuteen.

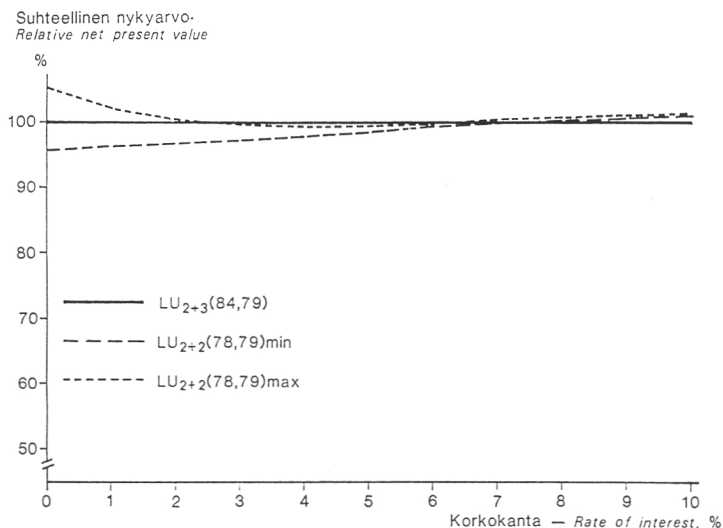
Liite 2. Havaintoaineiston koaloittainen edullisuusvertailu

Tässä tutkimuksessa rakennettu uudistamismenetelmien vertailumalli soveltuu ennaltamääritettyjen vaihtoehtojen vertailuun. Käytännön uudistamistoiminnassa uudistamistuloksen ennustaminen suhteellisen varmasti on vaikeaa myös kaikkein helpoimmalla kohteilla. Uudistettava puusto ja kasvupaikka vaikuttavat uudistamisen onnistumistodennäköisyyteen. Tekijöillä on vaikutusta erityisesti luontaisessa uudistamisessa. Luontaisen uudistamisen uudistamisaajan suuri variaatio tämän tutkimuksen havaintoi-

neistossa osoittaa epäsuorasti uudistettavassa puustossa, kasvupaikoissa ja vuosien välisessä säävaihtelussa olevien erojen merkityksen. Näiden erojen vaikutusta luontaisen uudistamisen vaihtoehtojen edullisuuteen tutkittiin muodostamalla kullekin luontaisen uudistamisen havaintoaineistoon valitulle uudistusosalalle kaksi vaihtoehtoista metsänkäsitelyohjelmaa. Luontaiseen uudistamiseen perustuva käsitelyohjelma oletettiin aineiston mukaiseksi, kun taas kylvöön perustuvassa käsitelyohjelmassa avo-

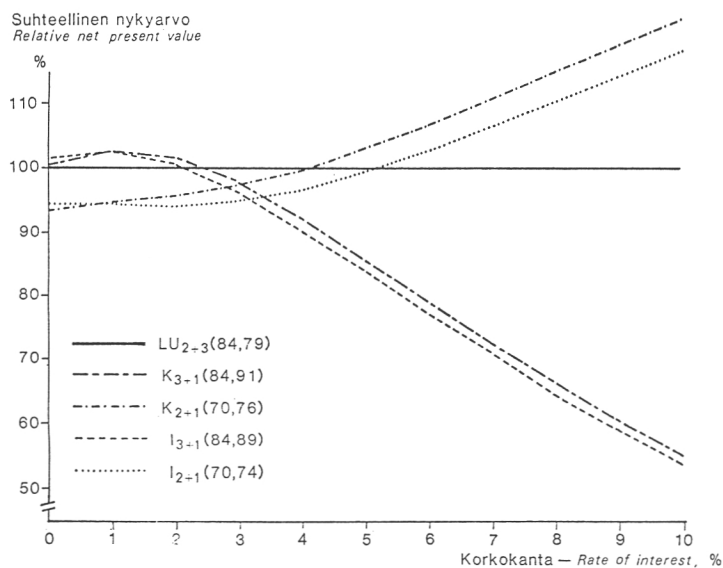
Liitekuva 1.1. Kahteen hakkuuseen ja maanmuokkaukseen perustuvien luontaisen uudistamisen laskennallisten käsittelyohjelmien sekä aineiston mukaisen kolmeen hakkuuseen perustuvan luontaisen uudistamisen käsittelyohjelman keskinäiset edullisuussuhteet laskentakoron funktiona (aineistovaihtoehdon indeksiarvo = 100).

Appendix Figure 1.1. The profitability comparison of natural reforestation programs. The theoretical alternatives with two cuttings of the current stand compared with the alternative using three cuttings (the latter from the empirical data) (Index values with the last alternative as a norm (= 100)).



Liitekuva 1.2. Istutukseen, kylvöön ja luontaiseen uudistamiseen perustuvien käsittelyohjelmien suhteelliset nykyarvot korkokannan funktiona sekä keskinäinen edullisuus.

Appendix Figure 1.2. The profitability comparison of regeneration alternatives as a function of the interest rate (r). The relative net present values of natural reforestation, seeding and planting regeneration alternatives. (Comparison of the index values (natural regeneration as a norm (= 100)).



hakkuu oletetaan tehtäväksi siemenpuiden poistohakkuun yhteydessä. Metsänhoitotöiden osalta kylvövaihtoehdot määritellään kuten keskimääräistä metsikköä koskevis-
sa laskelmissa.

Liitekuvasa 2.1 esitetään uudistusaloittaisen parivertailun käsittelyohjelmien tuottamat suhteelliset nettonykyarvot siten, että luontaisen uudistamisen vaihtoehdon tuottaa nettonykyarvoa merkitään kullakin uudistusosalalla sadalla. Suurimmillaan kylvövaihtoehdon nettotuotto on 0 % laskentakorkokannalla. Kokonaistuotto on 30 % suurempi kuin saman uudistusalan luontaisen uudistamisen vaihtoehdossa. Luontaisen uudistamiseen perustuva käsittelyohjelma osoittautui yli4 %:n laskentakorkokannoilla jokaisella uudistusosalalla edullisemmaksi kuin kylvöön perustuva käsittelyohjelma. Neljässä tapauksessa kylvöön perustuvan käsittelyohjelman tuottama nettonykyarvo jäi pienemmäksi kuin luontaisen uudistamiseen perustuvala käsittelyohjelmalla kaikilla käytetyillä laskentakorkokannoilla.

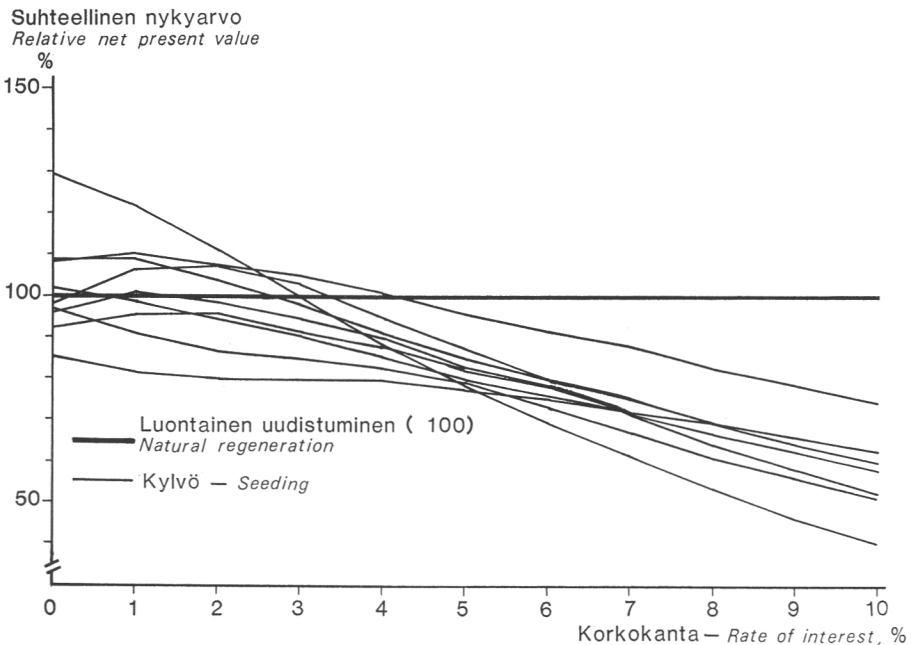
Liitetaulukossa 2.1 esitetään eräiden luontaisten taimikkojen syntymistä ja kehittymistä kuvaavia tunnuksia

0 ja 3 sekä 5 % laskentakorkokannoilla laskettuina kolmen uudistusalan keskiarvoina. Uudistusalat on ryhmitelty luontaiseen uudistamiseen ja kylvöön perustuvien käsittelyohjelmien tuottamien suhteellisten nettonykyarvojen suuruuden mukaan. Uudistamisaika on selvästi lyhyempi kullakin laskentakorkokannalla niillä kolmella uudistusosalalla, joissa luontainen uudistaminen on taloudellisesti edullisimmillaan. Tämä voidaan olettaa seuraukseksi siitä, että pienillä laskentakorkokannoilla käsittelyohjelman tuottaman nettonykyarvon suuruuteen vaikuttaa seuraajametsiköiden puuntuotos kiertoaajan vuotta kohti. Laskentakorkokannan pienentyessä luontaisesti syntyneen taimiston valtapituus ja pohjapinta-ala tulevat luontaiselle uudistamiselle edullisissa uudistusaloissa suuremmiksi kuin kylvölle edullisilla uudistusaloilla (ks. liitetaulukko 2.1).

Uudistamisalakohtaiset vertailut osoittavat uudistamistulokseen sisältyvän vaihtelua myös VT-männiköissä. Uudistamisen taloudellisen edullisuuden vertailumalleja tulisikin kehittää jatkossa siten, että onnistumistodennäköisyys ja riski sisältyisivät malliin.

Liitekuva 2.1. Uudistusaloittaiset kylvöön perustuvien uudistamisen vaihtoehdojen suhteelliset nykyarvot ja edullisuus suhteessa luontaiseen vaihtoehtoon. (Kullakin uudistusosalalla luontaisen uudistamisen vaihtoehdon nettonykyarvoa on merkitty sadalla).

Appendix Figure 2.1. The net present values and profitability order between natural regeneration and regeneration based on seeding on individual regeneration plots. (Index numbers, (natural alternative in each plot = 100)).

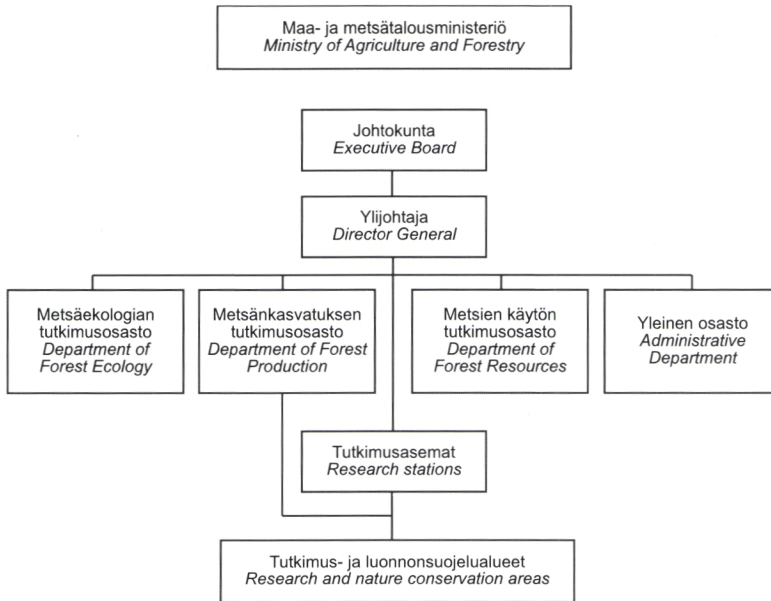


Liitetaulukko 2.1. Aineistoon kuuluvien taimikkojen kehitystä kuvaavien tunnusten merkitys luontaisen uudistamisen edullisuuteen eri korkokannoilla.

Appendix Table 2.1. Some parameters of young stands belonging to the material concerning the profitability of natural regeneration. The profitability is measured by present net value.

Laskenta- korkokanta Rate of interest	Tunnus (runkoluku, valtapituus ja pohjapinta-ala puuston ollessa 20-vuoden iässä) Parameter (number of stems, dominant height and basal area, at	Tunnuksen keskiarvo kolmelle luontaiselle uudistamiselle <i>The mean values for the key parameters in the natural regeneration alternatives counted from three sample points respectively</i>		
		edullisimmalla <i>the parameter values for most profitable alternatives</i>	edullisuudeltaan keskinkertaisella <i>the parameter values for average profitability</i>	epäedullisimmalla uudistustavalla <i>the parameter values for the weakest alternatives</i>
0 %	Uudistumisaika, v Time of regeneration	+3	+1,7	+7,7
	Runkoluku, kpl/ha Number of stems	2100	1863	2300
	Valtapituus, m Dominant height	5,1	5,2	4,3
	Pohjapinta-ala, m ² /ha Basal area	7,0	6,6	6,4
3 %	Uudistumisaika, v Time of regeneration	-2,7	+7,0	+8,0
	Runkoluku, kpl/ha Number of stems	2529	2333	2400
	Valtapituus, m Dominant height	5,1	5,1	4,3
	Pohjapinta-ala, m ² /ha Basal area	7,0	6,4	6,6
5 %	Uudistumisaika, v Time of regeneration	+1,7	+3,3	+7,3
	Runkoluku, kpl/ha Number of stems	2363	2633	2267
	Valtapituus, m Dominant height	4,7	4,7	5,1
	Pohjapinta-ala, m ² /ha Basal area	6,6	7,1	6,3

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*



Metsäntutkimuslaitos — *The Finnish Forest Research Institute*

Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland

tel. +358-0-857 051, fax +358-0-625 308, telex 121298 metla sf

Ylijohtaja — *Director General*

Eljas Pohtila

Hallintojohtaja — *Administrative Director*

Tero Oksa

Tiedotuspäällikkö — *Head of Information*

Marja Ruutu

Metsäekologian tutkimusosasto — *Department of Forest Ecology*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Eero Paavilainen

Metsänkasvatuksen tutkimusosasto — *Department of Forest Production*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Jari Parviainen

Metsien käytön tutkimusosasto — *Department of Forest Resources*

Tutkimusjohtaja — *Research Director* Risto Seppälä

Tutkimusasemat — *Research Stations*

Joensuu

Parkano

Kannus

Punkaharju

Kolari

Rovaniemi

Muhos

Suonenjoki



- No 793 Lähde, Erkki: Luontaisen kuusivaltaisen taimikon kehitys lehtomaisella kankaalla.
Development of *Picea abies*-dominated naturally established sapling stand.
- No 794 Rikala, Risto: Taimitarhalannoituksen vaikutus männyntaimien jälkikasvuun ja istutuksen jälkeiseen menestymiseen.
Effect of nursery fertilization on incidence of summer shoots and field performance of Scots pine seedlings.
- No 795 Petäjistö, Leena & Selby, J. Ashley: Piensahojen kehittämisedellytykset.
Small sawmill development possibilities.
- No 796 Gustavsen, Hans Gustav: Vähäpuustoisten männiköiden ja kuusikoiden kehitys.
Development of understocked pine and spruce stands.
- No 797 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula Teuvo: Harmaalepän ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö energiapuuviljelmällä.
Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry.
- No 798 Ollonqvist, Pekka & Kajanus, Miika: Metsänomistajan taloudellisten tavoitteiden merkitys metsänuudistamistavan valinnassa.
Significance of private forest owner's economic goals in the forest stand regeneration decision.
- No 799 Penttinen, Markku: Tulos- ja kustannuslaskentamallien soveltuvuus yhteismetsätalouteen.
Applicability of profit and cost accounting models to jointly-owned forests.
- No 800 Pesonen, Mauno & Hirvelä, Hannu: Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa.
Thinning models based on profitability calculations for southern Finland.
- No 801 Mäkinen, Harri & Uusvaara, Olli: Lannoituksen vaikutus männyn oksikuuteen ja puuaineen laatuun.
Effect of fertilization on the branchiness and the wood quality of Scots pine.
- 1993
- No 802 Pesonen, Mauno, Jämsä, Jari & Hirvelä, Hannu: Harvennushakkuiden edullisuusvertailu metsälötasolla.
Profitability comparisons of thinnings at the forest holding level.
- No 803 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Ketjukarsinta ensiharvennusmännikön korjuuratkaisuna.
Flail delimiting in the first commercial thinning of Scots pine.