



■ Anssi Ahtikoski

Anssi Ahtikoski

Siemenviljelyssiemenen käytön kannattavuus männyn kylvössä

Ahtikoski, A. 1997. Siemenviljelyssiemenen käytön kannattavuus männyn kylvössä. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 2/1997: 239–252.

Tutkimuksessa selvitettiin siemenviljelyssiemenen käytön kannattavuutta männyn kylvössä. Siemenviljelyssiemenellä kylvetyssä metsikössä hakkuutulojen nykyarvo on suurempi kuin tavallisella metsikkökeräyssiemenellä kylvetyssä metsikössä. Toisaalta siemenviljelyssiemenen hehtaarikohtaiset kylvökustannukset ovat kalliimmat kuin käytettäessä tavallista siementä. Tässä vertailtiin siemenviljelyssiemenellä kylvetyn metsikön hakkuutulojen nykyarvoa siemenviljelyssiemenen kylvökustannuksiin. Vertailussa käytettiin kolmea laskentakorkokantaa: 3, 5 ja 8 prosenttia.

Jalostushyödyt laskettiin MELA-simuloinnilla siten, että vuotuisen kasvun tasokerrointa muutettiin 3, 7 ja 10 prosenttia. Nämä prosentit indikoivat jalostushyödyille oletettuja vaihtoehtoisia tasoja. Vuotuisen kasvukertoimen muuttaminen aiheutti sen, että tavallisella siemenellä kasvatettuun metsikköön verrattuna muuttuivat sekä harvennusajankohdat että hakkuukertymät. Samalla vaikutettiin metsikön rakenteeseen. Laskelmat tehtiin puolukka-tyypin mäntymetsille ja neljälle Metsähallituksen alueelle.

Jokaisella neljällä alueella todettiin siemenviljelyssiemenen käyttö puolukka-tyypin metsikössä kannattavaksi, kunhan jalostushyöty on vähintään 3 prosenttia ja laskentakorko 3 prosenttia. Oletuksena tällöin on, että siemenviljelyssiemenen kylvökustannukset ovat noin 150–250 markkaa kalliimmat hehtaarilla. Hämeenlinnan ja Jyväskylän alueilla siemenviljelyssiemenen käyttö männyn kylvössä oli kannattavaa jopa 5 prosentin laskentakorolla, jalostushyödyn ollessa 3 prosenttia.

Asiasanat: jalostushyöty, kannattavuus, kylvö, nykyarvo, siemenviljelyssiemen

Kirjoittajan yhteystiedot: Metsähallitus, PL 36, 40101 Jyväskylä. Faksi (014) 654 152, sähköposti ahtikos@mail.jyu.fi
Hyväksytty 24.4.1997

1 Johdanto

Metsänviljely yleisty maassamme uudistamismenetelmänä 1960-luvun puolivälissä (Metsänviljelyaineistotyöryhmän... 1994). Erityisesti vajaatuottoisilla alueilla suosittiin metsänviljelyä luontaisen uudistamisen sijasta. Metsänviljelyn kasvu johtui osittain luontaisen uudistamisen vaihtelevista tuloksista ja toisaalta viljelymenetelmien kehittymisestä. Vuotuiset viljelymäärät 1960-luvun puolivälissä aina 1980-luvun alkuun saakka vaihtelivat 120 000 ja 150 000 hehtaarin välillä (Metsänviljelyaineistotyöryhmän... 1994). Tällä vuosikymmenellä metsänviljelypinta-alat (istutus+kylvö) ovat selvästi laskeneet noista luvuista (Metsätilastollinen... 1994), ja lievää laskua on edelleen odotettavissa. Lasku johtunee pääasiallisesti eri suojeluohjelmista ja luontaisen metsänuudistamisen suosimisesta.

Suomessa metsänomistajalla on juridinen velvoite uudistaa metsä päätehakkuun jälkeen (yksityismetsälaki 1992, metsänhoitolaki 1996). Metsänomistajalla on kuitenkin valinnanvapaus uudistusmenetelmän suhteen, eli hän voi valita luontaisen uudistamisen, kylvön, istutuksen tai näiden yhdistelmän. Metsänomistajien kustannustietous on lisääntynyt viimeisinä vuosina selvästi (Metsänviljelyaineistotyöryhmän... 1994). Kustannussäästöihin on pyritty esimerkiksi vähentämällä kalliimpien metsänuudistamismenetelmien käyttöä. Luontaisen taimiaineksen käyttö metsänuudistamisessa on lisääntynyt mm. siten, että uudistusalan reunaan jätetään aiempaa leveämmät kaistaleet viljelemättä odottaen, että nämä kaistaleet taimettuisivat luontaisesti. Lisäksi entistä pienipiirteisempi uudistusalojen rajaaminen ja metsien monimuotoisuuden säilyttämisen tarve ovat johtaneet siihen, että istutusten osuus on vähentynyt (Metsänviljelyaineistotyöryhmän... 1994).

Kaikki tämä on vähentänyt männyn siemenen ja varsinkin siemenviljelyssiemenen kysyntää. Jalostetun siemenen, siemenviljelyssiemenen, kysyntää lieventävät jossain määrin alentaneet myös ennakkoluulot, lähinnä käsitys, että siemenviljelyssiemenen käyttö johtaisi syntyvien metsien perinnöllisen muuntelun vähenemiseen (Metsänviljelysaineistotyöryhmän... 1994). Geenitutkimuksissa on kuitenkin todettu, että metsänjalostus saattaa jopa moni-

puolistaa geenipohjaa paikallisella tasolla (Savolainen ja Kärkkäinen 1992).

Jalostetun siemenen tuottamisella ja käytöllä on kuitenkin pyritty lisäämään metsittävien alojen tulevaa tuottoa. Tavoitteena siemenviljelyssiementä käytettäessä on jalostushyödyn hyväksikäyttö. Jalostushyödyllä tarkoitetaan siemenviljelyssiemenellä perustetun metsikön nopeampaa kasvua tavallisella siemenellä perustettuun metsikköön verrattuna. Nopeampi kasvu realisoituu suurempana hakkuutulojen nykyarvona.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella männyn siemenviljelyssiemenen käytön kannattavuutta kylvösiemenenä. Toistaiseksi männyn siemenviljelyssiemenen käyttöä kylvöön Etelä-Suomessa on osaltaan estänyt siemenviljelyssiemenen metsikkökeräyssiementä kalliimpi hinta (mm. Metsänviljelyaineistotyöryhmän... 1994). Toisaalta jalostushyödyn voidaan odottaa realisoituvan suurempina hakkuutuloina kuin mitä jalostamattomalla siemenellä kylvetystä metsästä (Hahl 1991, Venäläinen ym. 1994). Jalostetulla materiaalilla kylvetyt metsikön mahdollisesti parempi elävyys (lukuarvo, joka kuvaa elossa olevien taimien suhteellista osuutta viljellystä kokonaismäärästä; Ackzell 1994, Venäläinen ym. 1994) saattaa myös johtaa pienempiin tarvittaviin kylvömääriin hehtaarilla ja siten säästöihin kylvökustannuksissa. Täten metsänomistajan olisi rationaalisesti käyttäytyessään punnittava päätöksentekohetken uudistamiskustannuksia ja tulevaisuudessa saatavia hakkuutuloja, jotta päätös johtaisi hyvään lopputulokseen.

Tutkimuksessa tarkastellaan MELA-simuloinnin ja eri laskentakorkokantojen avulla jalostushyödyn vaikutusta metsikön hakkuukertymien nykyarvoon kiertoajan kuluessa. Siemenviljelyssiemenellä kylvetyssä metsikössä hakkuutulojen nykyarvo on suurempi kuin metsikkökeräyssiemenellä kylvetyssä metsikössä. Erotuksen suuruus riippuu jalostushyödyn suuruudesta ja laskentakorkokannasta. Tätä erotusta verrataan siemenviljelyssiemenen kalliimpaan hintaan. Jalostushyöty mitataan tässä jalostushyötyprosentilla: geneettisesti paremmasta siemenestä syntyneen metsikön oletetaan kasvavan jalostushyötyprosentin verran paremmin kuin tavallisella siemenellä perustettu metsikkö. Käytettävät jalostushyötyprosentit on arvioitu viimeaikaisista jälkeläiskoetuloksista (Venäläinen ym. 1994).

Koska siemenviljelyssiemenellä perustettuja kylvömänniköitä ei vielä ole, joudutaan tarkastelu tekemään teoreettisesti: valitaan sopivia kylvömänniköitä, joiden kehitystä simuloidaan sellaisena kuin ne nyt ovat ja toisaalta olettaen, että ne olisi perustettu siemenviljelyssiementä käyttäen.

2 Tutkimusaineisto

Tutkimuksen aineisto koostui Metsähallituksen Jyväskylän, Karstulan, Nurmeksen ja Hämeenlinnan yksiköiden (liite 1) alueilla mitatuista kuviotiedoista (PATI-ohje 1994). Kunkin yksikön alueella metsikkökuviot valittiin tietyin kriteerein. Näitä kriteereitä olivat mm: puusto oli kehitysluokaltaan taimikkoa, maapohja kuivahkoa kangasta (ojittamattomia VT-kivennäismaita), metsikkökuvioilla ei ollut veroluokitusta alentavia tekijöitä (esim. kivi-syys), pääpuulajina oli mänty (yli 80 % kuvion pinta-alasta), kuvio sijaitsi talousmetsäalueella, puuston metsänhoidollinen tila oli kuvattu hyväksi ja maalajina oli karkea-ainesmoreeni (PATI-ohje 1994). Lisäkriteereiksi muodostuivat ikä (< 20 vuotta) ja kuvion pinta-ala (< 27 ha). Valitut kriteerit täyttäviä metsikkökuvioita etsittiin kuvioirekisteristä siten, että kunkin yksikön alueelle muodostui lähes sama määrä kuvioita (28–47 kpl). Kuvioilta oli mitattu mm. seuraavia tunnuksia: läpimitta, pohjapinta-ala tai runkoluku, pituus ja ikä (PATI-ohje 1994).

Maastossa mitatuista kuvioista muodostettiin kunkin yksikön alueella yksi homogeeninen suurkuvio yhdistämällä mitatut metsikkökuviot, ja suurkuvioiden puustotunnukset laskettiin mitattujen metsikkökuvioiden puustotunnusten aritmeettisina keskiarvoina. Suurkuvioiden pinta-alat vaihtelivat 103 hehtaaria 200 hehtaariin. Suurkuvioita muodostettiin kaikkiaan 4 kappaletta, yksi kuhunkin yksikköön.

Aineiston valintaan vaikuttivat muutamat seikat, joita on tässä syytä tarkastella lähemmin. Varsinainen MELA-simulaatio suoritettiin Metsähallituksen laitteistolla, joten oli teknisesti joustavaa käyttää MELAn syöttötietoaineistona Metsähallituksen inventoituja kuviotietoja, koska tietotekniset proseduurit kuviotietolappujen ja MELAn syöttötie-

doston välillä olivat jo olemassa. Valtakunnan metsien inventoinnin yksityismetsien taimikoita koskevien koelatulosten käyttö olisi muutoinkin lisännyt tutkimuksen kustannuksia merkittävästi. Toisaalta Metsähallituksen koelajien ja VMI:n taimikkokoelajien keskimääräisten hehtaarikohtaisten tilavuuksien ja pohjapinta-alojen välillä ei havaittu merkitseviä eroja (Salminen 1993)

3 Laskentamenetelmät

3.1 MELA-malli

Tutkimuksessa metsikön hakkuukäsittelyennusteet laadittiin MELA-simuloinnin avulla. Tästä syystä on tarpeellista käsitellä aluksi MELAn yleisiä piirteitä. Metsälaskelma eli MELA on metsikkösimulaattorin ja lineaarisen optimointiosan käsittävää ohjelmisto (Siitonen 1983). Metsikkösimulaattorin avulla luodaan ensin kullekin metsikölle joukko käsittelyvaihtoehtoja. Sen jälkeen lineaarisessa optimointiosassa haetaan koko metsätaloudelle määritettävät tavoitteet, joiden mukaan metsänkäsittelyt optimoidaan. Tässä tutkimuksessa käytetään hyväksi vain mainittua metsikkösimulaattoria (jäljempänä MELA-malli/ MELA-simulointi) tarkemmin kuvatulla tavalla muutettuna. MELAssa on metsän kehitystä kuvaavia osamalleja (mm. puun pohjapinta-alan kasvumalli, puun pituuskasvumalli, luonnonpoistumamalli, puiden luontaisen synty-misen malli), jotka on pääosin laadittu VMI 7:n aineiston perusteella (esim. Ojansuu ym. 1991). Laskennan kohteena olevan koelan tai metsikön kasvua kuvataan maantieteellisellä sijainnilla sekä maaperä- ja ilmastomuuttujilla (Ojansuu ym. 1991). Mallissa on mukana kasvua selittävinä tunnuksina myös metsikön puustoa (tiheys, kehitysvaihe) sekä yksittäisen puun tilaa (koko, asema metsikössä) kuvaavia tunnuksia (esim. Ojansuu ym. 1991). Maaperää kuvaavia muuttujia ovat metsätyyppi, veroluokka ja ojitustilanne. Ilmastotekijänä käytetään keskimääräistä lämpösummaa (d.d).

Tutkimuksen MELA-simuloinnissa aineistosta muodostettiin JAKAUMA-aliohjelman avulla läpimittaluokittaiset runkolukujakaumat. JAKAUMA-

alihjelman syöttötiedoiksi annettiin metsikköta-son kuviotiedot (liite 2). Näistä kuviotiedoista alihjelma muodosti Weibull-jakaumaa noudattavat runkolukujakaumat. Tämän jälkeen jakaumasta poimittiin MELAan metsikköä edustavat kuvauspuut (8 kpl), joiden kehitystä simuloitiin. Lisäksi tässä tutkimuksessa muutettiin muutamia MELAn parametritiedoston arvoja siten, että ne paremmin vastasivat alueellisia metsänkäsittelyeroja, varsinkin ensiharvennuksen suhteen. Simuloidut harvennukset olivat kaikki alaharvennustyyppisiä.

Tärkeimmiksi muutettaviksi parametreiksi muodostuivat ensiharvennuksen minimikertymä (runkoa/ha tai m²/ha) ja ensiharvennuksen pienin keskiläpimitta (cm) ennen harvennusta. Jos näitä parametrejä ei olisi muutettu alueittain, niin esimerkiksi Nurmeksen alueella ensiharvennus olisi siirtynyt jopa yli 50 vuoden. Ensiharvennuksen minimikertymä vaihteli välillä 550 ja 650 (runkoa/ha). Ensiharvennuksen pienin keskiläpimitta vaihteli 10 cm:n ja 12 cm:n välillä. Lisäksi parametritiedostossa muutettiin iän ja keskiläpimitan ylärajaa suhteessa uudistusrajaan. Näillä toimenpiteillä ehkäistiin harvennushakkuiden viivästyminen, joka tuli esille metsäkeskus Tapion suosituksia muuttamatta toteutetussa koesimuloinnissa.

Kasvun taso on MELAssa asetettu VMI 7:n tuloksien pohjalta. Kasvua ei ole tässä päivitetty vastaamaan vuoden 1990 alkuvuoden tilannetta (Siitonen 1990), koska vuoden 1990 päivitys olisi kasvun osalta johtanut *kiertoajan aikana* ylisuuriin hakkuupoistumiin (jotka koesimuloinnissa tulivat esille). Redukointikertoimien avulla muodostettiin kullekin alueelle keskimääräinen efektiivinen lämpösomma, joka tarvittiin simuloinnin kasvufunktioita varten (PATI-ohje 1994). Lisäksi jalostuksen vaikutus puuston varhaiskehityksessä (alle 1,3 m:n taimet) otettiin huomioon siten, että jalostetulla materiaalilla kylvetyn taimikon rinnankorkeusikää alennettiin 1–2 vuodella, riippuen taimikon maantieteellisestä sijainnista. Toimenpiteellä pyrittiin indikoimaan jalostetulla materiaalilla kylvetyn taimikon mahdollisesti nopeampaa alkukehitystä (Ackzell 1994, Venäläinen ym. 1994). Rinnankorkeuden saavuttamisiän muuttaminen aiheutti lisäksi pienen muutoksen suurten puiden pituuskasvumalliin, mutta koesimuloinneissa ilmeni, että ko. muutos ei vaikuttanut valitulla harvennuskriteerillä (Tapion metsänhoito-

suositukset 1989) hakkuiden rakenteeseen merkittävästi. Alkuperäiset rinnankorkeuden saavuttamisiät saatiin Tapion taskukirjasta (1994). Jokaisen yksikön (Jyväskylä, Hämeenlinna, Nurmnes, Karstula) alueelta tallennettiin kuviotietolappu tietokantaan ja MELAn parametritiedoston alkuasetuksia muutettiin, kuten edellä mainittiin (liite 2).

Tutkimuksen MELA-simuloinnin tuottamat hakkuukertymät ja -ajankohdat on esitetty taulukossa 1. Taulukossa on MELA-simuloinnin hakkuiden rakenne, kun jalostushyötyä ei ole vielä lisätty simulointiin, toisin sanoen taulukosta nähdään MELA-simuloinnin ”perushakkuut” eri alueilla VT-tyyppin männiköissä. Pesosen ja Hirvelän (1992) mallin ja Vuokilan ja Väliahon (1980) mallin hakkuiden rakenteet on esitetty liitteessä 3. Näiden mallien ja MELA-mallin hakkuiden rakenteet poikkeavat toisistaan niin merkittävästi, että erojen syitä on tarkasteltava lähemmin.

Tutkimuksessa käytetyn MELA-mallin ja Pesosen ja Hirvelän (1992) ns. 3 %:n mallin (joka on myös simuloitu MELAlla) hakkuurakenteiden ero johtuu pääosin kahdesta eri tekijästä. Ensinnäkin Pesosen ja Hirvelän (1992) tutkimuksessa aineisto on päivitetty kasvun ja hakkuiden osalta vastaamaan alkuvuoden 1990 tilannetta, tämän tutkimuksen MELA-simuloinnissa taas on käytetty pelkästään VMI 7:n kasvun tasoja. Kasvuntasokerroin on Pesosen ja Hirvelän (1992) mallissa selvästi suurempi kuin nyt käytetyssä MELA-simulointimallissa. Toiseksi, Pesosen ja Hirvelän (1992) mallissa simuloituista harvennusvaihtoehdoista valittiin se, joka 3 %:n reaalikorolla maksimoitua tuottoarvon, kun taas tämän tutkimuksen MELA-simuloinnissa ei ollut laskentakorkokannan suhteen optimointia, vaan harvennusvaihtoehdoista valittiin se, jossa harvennusten ajankohdat olivat aikaisimmat. Menettelyllä pyrittiin kuvaamaan mahdollisesta jalostushyödyistä aiheutuvaa puuston järeytymisen aikaistumista ja tämän aikaistumisen vaikutusta hakkuukäyttöön.

Vuokilan ja Väliahon (1980) mallissa ovat tukkipuiksi luettavan puun minimivaatimukset toiset kuin MELA-simuloinnissa asetetut minimitasot. Suurin ero MELA-simuloinnin ja Vuokilan ja Väliahon (1980) mallin toteutuksen välillä on harvennusten voimakkuus: MELAssa harvennusten voimakkuus vaihtelee kiertoaikana, kun taas Vuokilan

Taulukko 1. Taulukossa on esitetty MELA-simuloinnin neljän alueen hakkuiden rakenne, kun jalostushyötyä ei ole simuloitu (ts. perushakkuut). Tukkipuun kertymä on esitetty suluissa – esimerkiksi Hämeenlinnan alueella toisen harvennuksen hakkuuajankohta on 49 vuotta ja kokonaiskertymä 75,6 m³, josta tukkipuuta 13,3 m³.

MELA-simuloinnin alue (kaikki VT-metsätyypillä)	1. harvennus Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)	2. harvennus Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)	3. harvennus Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)	Päätihakkuu Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)
Hämeenlinna	24 vuotta 22,4 m ³ (0 m ³)	49 vuotta 75,6 m ³ (13,3 m ³)	59 vuotta 71,1 m ³ (33,1 m ³)	79 vuotta 210,1 m ³ (158,3 m ³)
Jyväskylä	36 vuotta 48,3 m ³ (2,5 m ³)	51 vuotta 62,1 m ³ (9,9 m ³)	61 vuotta 59,7 m ³ (21,1 m ³)	86 vuotta 202,2 m ³ (151,9 m ³)
Karstula	37 vuotta 36,1 m ³ (2,1 m ³)	52 vuotta 56,9 m ³ (9,7 m ³)	62 vuotta 51,3 m ³ (14,1 m ³)	92 vuotta 202,8 m ³ (144,3 m ³)
Nurmes	49 vuotta 72,8 m ³ (13,2 m ³)	64 vuotta 64,6 m ³ (23,6 m ³)	-	89 vuotta 206,1 m ³ (147,5 m ³)

ja Väliahon (1980) taulukoissa valittu harvennusten poistoprosentti (voimakkuus) pysyy samana kaikissa harvennuksissa.

3.2 Jalostushyöty

Viimeaikaiset jälkeläiskoetulokset (Venäläinen ym. 1994) noin 10–25 vuotta vanhoilta kokeilta ovat osoittaneet pluspuujälkeläisten pituusetumatkaksi 3,4 % verrattuna metsikköeriin. Pituussummaeroksi muodostui 7,2 % ja aineiston parhaimpien pluspuujälkeläisten pituussummaero metsikköeriin oli noin 10 %. Pituussumman katsotaan ennakoivan kokonaistuotosta paremmin kuin pelkän pituuden, koska siihen vaikuttaa myös koe-erän elävyys (Marklund 1981). On syytä korostaa, että edellä mainitut tulokset pohjautuvat varsin nuoriin kokeisiin, joista vanhimmat olivat vain 25-vuotiaita (Venäläinen ym. 1994). Näiden tulosten perusteella päätettiin kuitenkin tehdä vaihtoehtoiset oletukset 3 %, 7 % ja 10 %:n jalostushyödystä. MELA-simuloinnissa muutettiin siten parametritiedoston kasvun tasokerrointa edellä mainittuja prosentteja vastaavasti 3, 7 ja 10 %:lla. Jalostushyötyjen (rekonstruoidut kasvun tasokertoimet) oletettiin jatkuvan samansuuruisina koko kiertoajan. Täten jalostetun ja jalostamattoman metsikön välinen vuotuisen kasvutason suhteellinen erotus pysyi samana (3, 7 tai 10 %) koko kiertoajan.

MELAssa kasvu simuloidaan yleensä viiden vuoden aika-askelissa (riippumatta tehdyistä käsitteilyistä; esim. harvennuksista) siten, että luonnonprosessit kuvataan kahden ajankohdan välillä tapahtuvina metsän tilan muutoksina. Tilamuuttujien (esim. runkoluku, puun pituus) ja muiden puumuuttujien (jotka ennustetaan puutunnusmalleilla kasvupaikkamuuttujien ja tilamuuttujien funktiona) päivityksillä saadaan metsän uusi tila ajanjakson lopussa (Ojansuu ym. 1991). Harvennusten vaikutus kuvautuu puuston kasvuun lähinnä metsikön tiheyden muutoksen kautta. Harvennukset eivät aiheuta muutoksia mallin varsinaisiin kasvufunktioihin (esim. pituuskasvufunktio tai pohjapinta-alan kasvufunktio), vaan ne aiheuttavat muutoksia ennustettuihin kasvuihin. Tutkimuksessa jalostushyöty lisättiin malleihin kasvattamalla kasvun tasokerrointa (puun pohjapinta-alan kasvu ja pituuskasvu) valitulla jalostushyötyprosentilla. Simuloinnissa jalostushyöty realisoitui nopeampana vuotuisena kasvuna, ja näin ollen myös harvennusten rakenne (harvennusajankohdat ja harvennuskertymät yhdessä) muuttui oleellisesti.

Kun oli saatu simuloitua eri jalostushyötyprosentteilla uudet metsikön tuotosennusteet, seuraavaksi laskettiin jalostushyötyprosenttien mukaiset markkamääräiset nettonykyarvot hehtaaria kohden. Toimenpide edellytti kantohintojen määrittämistä. Tässä kantohinnat määritettiin elokuun 1994 luvuista (Puun... 1994) siten, että Hämeenlinnan alueella

käytettiin Lounais-Suomen metsälautakunnan kantohintoja, Jyväskylän alueella käytettiin Keski-Suomen metsälautakunnan kantohintoja, Karstulan alueella käytettiin Etelä-Pohjanmaan metsälautakunnan kantohintoja ja Nurmeksen alueella käytet-

tiin Pohjois-Savon metsälautakunnan kantohintoja.

Laskentamalli oli peruseriaatteiltaan tuottoarvon (esim. Kilkki 1987) määrittämisessä käytetyn menettelyn mukainen. Laskenta noudatti seuraavaa kaavaa:

$$NNA = \sum \left(\frac{JH_{t1}}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{t1}} - \frac{TH_{n1}}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{n1}} + \dots + \frac{JH_{tt}}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{tt}} - \frac{TH_{nn}}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^{nn}} \right)$$

missä

NNA = nettonykyarvo, mk/ha

JH_{t1} = ensimmäisen harvennuksen markkamääräinen hakkuukertymä, kun jalostushyöty on 3 %, 7 % tai 10 %

TH_{n1} = ensimmäisen harvennuksen markkamääräinen hakkuukertymä ilman jalostushyötyä

p = laskentakorkokanta, 3 %, 5 % tai 8 %

JH_{tt} = päätehakkuun markkamääräinen hakkuukertymä, kun jalostushyöty on 3 %, 7 % tai 10 %

TH_{nn} = päätehakkuun markkamääräinen hakkuukertymä, ilman jalostushyötyä

$t1$ = ensimmäisen harvennuksen ajankohta, kun metsikkö on kylvetty jalostetulla materiaalilla

$n1$ = ensimmäisen harvennuksen ajankohta, kun metsikkö on kylvetty normaalilla metsikkösiemenellä

tt = päätehakkuun ajankohta, kun metsikkö on kylvetty jalostetulla materiaalilla

nn = päätehakkuun ajankohta, kun metsikkö on kylvetty normaalilla metsikkösiemenellä

Eri jalostushyötyprosentteista seuraavat vuotuis kasvun muutokset aiheuttivat metsikön rakenteessa muutoksen, ja sen seurauksena mm. ensiharvennus tehtiin jalostetussa metsikössä eri aikana kuin jalostamattomassa, toisin sanoen $t1$ sai eri arvon kuin $n1$. Vuotuis kasvun kertoimen muuttamisella saatiin aikaan muutos tilavuuskasvussa, joka koostuu pohjapinta-alan kasvusta, pituuskasvusta ja runkomuodon kehityksestä (esim. Assman 1970, Gertner 1984). Näin jalostushyötyprosentit vaikuttivat yksittäisen puun tilavuuskasvun lisäksi myös metsikön rakenteeseen.

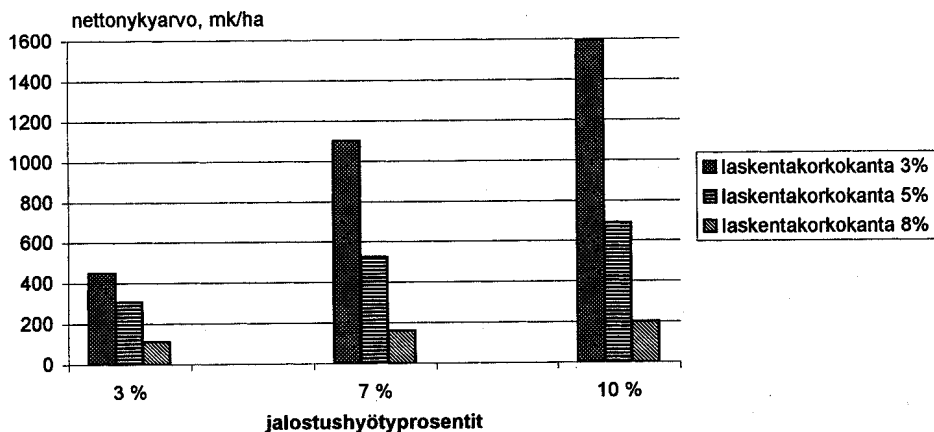
Teknisesti jalostushyödyn nykyarvon laskenta tapahtui siten, että alkuperäisellä mallilla (ei kas-

vuntasomuutosta) laskettujen hakkuutulojen nykyarvo vähennettiin jalostushyötyprosentteilla oikaistulla mallilla (muutettu kasvuntaso) laskettujen hakkuutulojen nykyarvoista. Saatu erotus kuvasi valitun jalostushyödyn markkamääräistä nykyarvoa kiertoaikana. Laskelmat kohdennettiin yhdelle hehtaarille, ja laskennassa käytettiin kolmea eri korkokantaa: 3 %, 5 % ja 8 %:ia. Jalostushyötyoletukset olivat 3 %, 7 % ja 10 %. Kasvuntasokertoimen muuttaminen näillä prosentteilla aiheutti tilavuuskasvussa muutoksen, joka ei prosentuaalisesti ollut aivan identtinen jalostushyötyprosenttien (3 %, 7 % tai 10 %) kanssa, koska MELAssa kasvuntasokertoimen muuttaminen tapahtuu ns. suhteellisena kasvunlisänä (esim. Siitonen ym. 1995) puun pohjapinta-alan kasvuun ja pituuskasvuun. Lisäksi ennustettu runkomuoto muuttui hieman, koska läpimitan ja pituuden suhde muuttui (runkomuodon kehitys ennustetaan MELAssa läpimitaan ja pituuteen perustuvalla runkokäyrällä). Yleensä kasvuntasokertoimen kasvattaminen tietyllä prosentilla (esim. 3 %) johtaa tilavuuskasvussa ko. prosenttia hieman pienempään tilavuuden suhteelliseen (prosentuaaliseen) muutokseen.

4 Tutkimustulokset

4.1 MELA-simuloinnin tulokset, Hämeenlinna

Hämeenlinnan VT-taimikon simulointituloksista (kuva 1) nähdään, että jalostushyödyn ollessa 3 % on hakkuutulojen nykyarvo hehtaarilla noin 450 markkaa suurempi kuin metsikkökeräys siemenellä



Kuva 1. Hämeenlinnan alueen VT-metsätyypin MELA-simuloinnin tulokset. Laskelmat on tehty kolmella eri korkokannalla (3 %, 5 % ja 8 %).

kylvetyn metsän hakkuutulojen nykyarvo, kun käytetään laskentaprosenttia 3, ja vielä 5 prosentin korkokannalla diskontattaessa noin 300 mk suurempi. Kun tiedetään, että siemenviljelyssiemenen hehtaariohaiset kylvökustannukset ovat noin 150–250 mk suuremmat metsikkösiemenen kylvökustannuksiin verrattuna (Hänninen 1995), niin VT-metsätyypillä näyttäisi siis kannattavan kylvää siemenviljelyssiemenellä, mikäli jalostushyöty on vähintään 3 %.

Kantohintamuutokset

Kussakin vaihtoehdossa tehtiin hintaherkkyysanalyysi siten, että ensin pidettiin tukkipuun hinta vakiona ja kuitupuun hintaa laskettiin 10 % ja 20 % sekä nostettiin 10 % ja 20 %, tämän jälkeen vakioitiin kuitupuun hinta ja muutettiin vastaavasti tukkipuun hintoja. Lisäksi 10 % hinnanmuutos toteutettiin samanaikaisesti sekä kuitu- että tukkipuulle. Hämeenlinnan alueen VT-metsätyypillä kantohintojen muutoksilla oli vaikutusta tuloksiin. Kuitupuun hinnanmuutoksilla oli suurempi merkitys nykyarvoihin kuin tukkipuun vastaavilla (kuva 2). Tulos johtui siitä, että 3 %:n jalostushyödyn mukaan simuloidussa VT-männikössä kuitupuun vaikutus hakkuukertymien nykyarvoon oli suhteellisesti suurempi kuin tukkipuun vaikutus. Kuitupuun kertymät realisoituivat painopisteisesti tukkikerty-

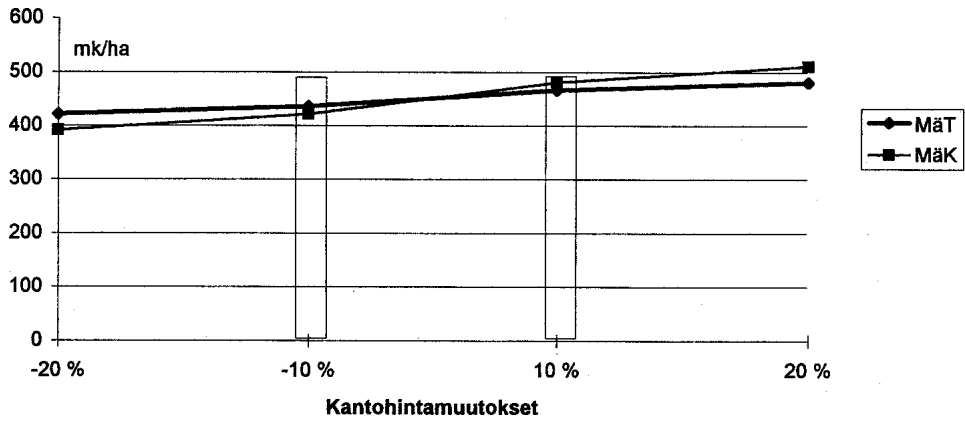
miä huomattavasti aikaisemmin. Täten kuitupuun trendihinnan suhteellisilla muutoksilla oli suurempi absoluuttinen vaikutus hakkuutulojen nykyarvoon kuin tukkipuun trendihinnan suhteellisilla muutoksilla.

Kantohintamuutosten tarkastelu tehtiin käyttäen kolmea eri laskentakorkokantaa, jotta voitiin arvioida kantohintojen ja laskentakorkokantojen yhteisvaikutusta nykyarvoihin (kuva 3).

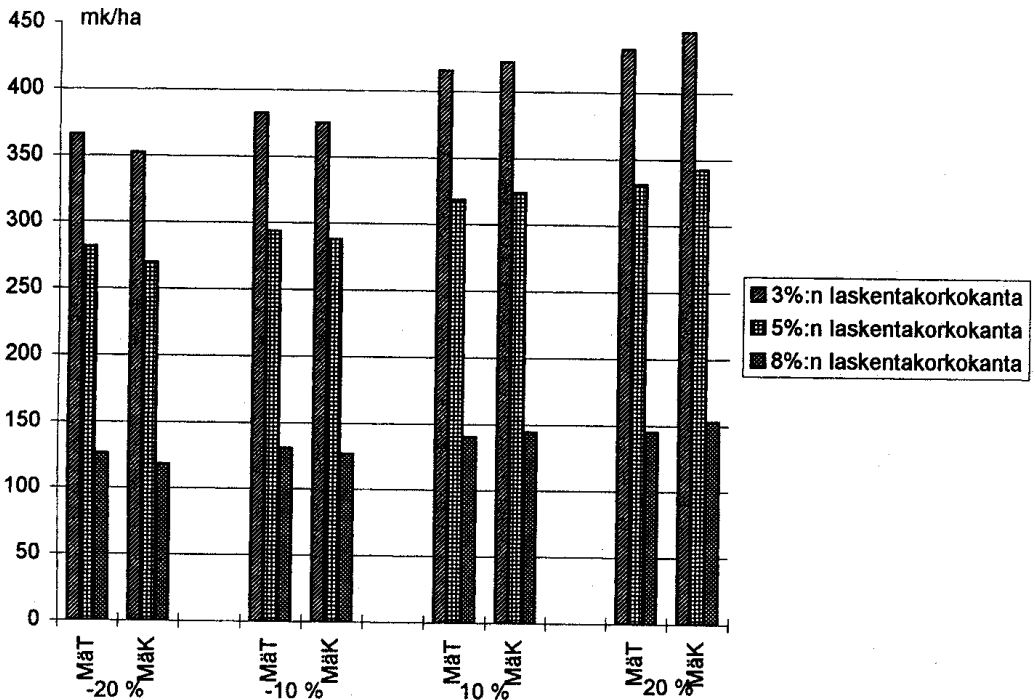
4.2 MELA-simuloinnin tulokset, Jyväskylä, Karstula ja Nurmes

Jyväskylän (kuva 4) ja Karstulan yksiköiden alueilla jo 3 %:n jalostushyödyllä saavutettiin yli 400 mk suurempi hakkuutulojen nykyarvo hehtaarilla kuin kylvettäessä metsikkökeräyssiemennellä, kun käytettiin laskentaprosenttia 3. Nurmeksen yksikön alueella 3 %:n jalostushyödyllä nykyarvoerotus (jalostetun metsikön hakkuutulojen nykyarvo vähennettynä tavallisen metsikön hakkuutulojen nykyarvolla) jäi alle 400 mk hehtaarilla, kun laskentaprosentti oli 3.

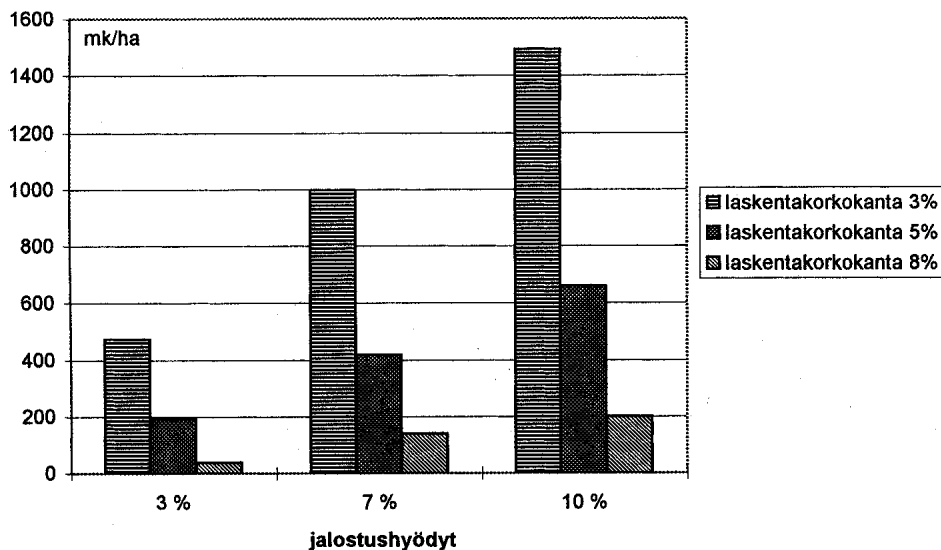
Jyväskylän yksikön alueella 7 %:n jalostushyödyllä (laskentakorkona 3 %) oli hakkuutulojen nykyarvo lähes 1 000 mk/hehtaari suurempi kuin metsikkökeräyssiemennellä kylvetyn metsän hakkuutulojen nykyarvo (kuva 4). Myös Karstulan yksikön alueella 7 %:n jalostushyödyllä hakkuutulojen ny-



Kuva 2. Kantohinnan muutokset Hämeenlinnan VT-metsätyypillä. MäK ja Mät kuvaavat mäntykuitupuun ja mäntytukkipuun hinnanmuutoksia, kun toisen (tukki- tai kuitupuun) hinta on vakioitu. Pylväät kuvaavat -10 % ja +10 %:n tukki- ja kuitupuun *samanaikaista* muutosta kantohinnoissa. Jalostushyöty on 3 % ja laskentakorko 3 %.



Kuva 3. Laskentakorkokantojen ja kantohintamuutosten yhteisvaikutus nykyarvoihin. Mät kuvaa tukkipuun hinnan suhteellista muutosta, MäK kuitupuun vastaavaa. Jalostushyöty on 3 %.



Kuva 4. Jyväskylän alueen VT-metsätyypin tulokset. Jalostushyödyn ollessa 3 %, saavutetaan siemenviljelyssiemenellä kylvettäessä yli 400 mk suurempi hakkuutulojen nykyarvo hehtaarilla kuin tavallisella, jalostamattomalla metsikkökeräyssiemenellä kylvettäessä (laskentakorko 3 %).

kyarvo oli yli 900 mk/ha suurempi kuin kylvettäessä metsikkökeräyssiemenellä (laskentakorkona 3 %). Nurmeksen yksikön alueella 7 %:n jalostushyödyllä nykyarvoerotus oli noin 800 mk/ha (laskentakorkona 3 %).

Kun jalostushyöty oli 10 %, olivat hakkuutulojen nykyarvot Jyväskylän, Karstulan ja Nurmeksen yksiköiden alueilla 1 200–1 600 mk/ha suuremmat kuin kylvettäessä metsikkökeräyssiemenellä, laskentaprosentin ollessa 3. 10 %:n jalostushyödyllä ja 8 %:n laskentakorolla nykyarvoerotukset vaihtelivat välillä 150 mk/ha–300 mk/ha (Jyväskylän yksikkö; kuva 4).

Kantohintamuutokset

Jyväskylän, Karstulan ja Nurmeksen alueilla VT-metsätyypille simuloiduissa jalostushyödyissä kantohintamuutokset aiheuttivat vain pieniä muutoksia nykyarvoihin. Lisäksi muutokset olivat ”normaalimpia” kuin Hämeenlinnan alueella, jossa kuitupuun hinnan suhteelliset muutokset olivat merkittävämpiä kuin tukkipuun hinnan suhteelliset muutokset. Kaikilla kolmella alueella (Jyväskylä, Kars-

tula, Nurmes) männyn tukkipuun hinnan suhteelliset muutokset vaikuttivat voimakkaammin tuloksiin kuin kuitupuun hinnan suhteelliset muutokset. Esimerkiksi Jyväskylän alueella tukkipuun hinnan nousu 20 %:lla aikaansai hehtaarikohtaisen nykyarvon nousun 536 markkaan (nykyarvo ilman kantohintamuutosta 473 mk), kun taas nostettaessa kuitupuun hintaa 20 %:lla, nousi hehtaarikohtainen nykyarvo 503 markkaan (laskentakorkona 3 %).

5 Tulosten tarkastelu

Saatuihin jalostushyödyn markkamääräisiin tuloksiin vaikuttivat muutamat tekijät, jotka edellyttävät lähempää tarkastelua. Ensinnäkin MELA-simuloinnin kasvufunktiot on saatu VMI 7:n koealatuloksista, jotka on laskettu valtakunnallisesti. Tutkimuksen aineisto koostui Metsähallituksen Hämeenlinnan, Jyväskylän, Karstulan ja Nurmeksen alueiden kuviotiedoista. Täten MELAn kasvufunktioiden ja käytetyn aineiston avulla simuloidut harvenusmallit eivät ole aivan harhattomia. Tämä risti-

riitä ei kuitenkaan aiheuta tuloksiin ratkaisevia muutoksia, koska valitun aineiston taimikoiden ja VMI:n taimikoiden tuloksien vertailussa ei todennettu suuriakaan eroja pohjapinta-alan ja tilavuuden suhteen (esim. Salminen 1993). Toisaalta on kuitenkin syytä painottaa, että VMI:ssä juuri taimikot muodostavat ongelmallisen mittauskohteen (relaskooppiarvioinnin suhteellisen suuri virhemarginaali nuoris- taimikoissa), kun taas Metsähallituksen taimikoiden kuviotiedot on osassa aineistoa inventoitu hyvinkin yksityiskohtaisesti (keskipituus ja -läpimitta mitattu ja runkoluku laskettu).

Toiseksi tutkimuksessa ei ole huomioitu jalostushyödyn toista komponenttia, laatuhyötyä, joka realisoituu metsänomistajalle lähinnä suurempana tukkipuusaantona. Tällä hetkellä raakapuumarkkinoilla näyttää siltä, että metsänomistajalle maksetaan paremmasta tukkilaadusta korkeampaa kantohintaa, toisin sanoen tukkipuun kantohinta vaihtelee laadun mukaan. Laatuhyödyn markkamääräinen tarkastelu ei kuitenkaan ole vielä mahdollista, koska koepuut laatuhyödyn tutkimuksissa ovat olleet niin nuoria, että varsinaisissa koesahauksissa ei ole saatu merkitseviä eroja jalostetulla siemenellä viljeltyjen ja metsikköalkuperää olevien puiden välillä (mm. Haapanen ym. 1992).

Lisäksi MELA-simuloinnin yhteydessä havaittiin, että tietyillä alueilla (Nurmes, Karstula) alkuperäiset ohjelman parametrit aiheuttivat ensiharvennuksen siirtymisen jopa yli 50 vuoden, kun kasvun tasokerrointa muutettiin. Täten joitakin parametrejä jouduttiin muuttamaan, jotta ensiharvennuksen ajoittuminen vastasi paremmin todellisuutta. Parametrien muuttaminen ei pohjautunut mihinkään formaaliin ohjeeseen, vaan parametrejä muutettiin kokeilemalla muutosten vaikutusta ensiharvennuksen ajoittumiseen ja sitten MELA-simuloinnissa valittiin vaihtoehdoista se, jossa harvennusten ajankohdat olivat aikaisimmat (harvennus toteutettiin heti, kun Tapion ohjeiden kriteerit täytyivät). Tällä pyrittiin kuvaamaan mahdollisesta nopeammasta kasvusta aiheutuvaa hakkuukäyttämisen muutosta.

MELA-simulointi suoritettiin vain Hämeenlinnan, Jyväskylän, Karstulan ja Nurmeksen yksiköiden alueilla käytännön syistä johtuen. Tulosten laskentavaiheessa Metsähallituksen muissa yksiköissä ei vielä oltu päivitetty kaikkia kuviotietoja

PATIIin (1994). Täten aineiston valintaa rajoittivat lähinnä tekniset syyt. Esimerkiksi Kaakkois- ja Itä-Suomen alueelle ei siten suoritettu MELA-simulaatiota. Tämä seikka kavensi tutkimustulosten yleistettävyyttä koko maahan. Toisaalta kasvuolosuhteet Nurmeksen yksikön alueella vastannevat pitkälle Joensuun-Savonlinnan kasvuolosuhteita, ainakin VMI 7:n kasvutulosten osalta.

Tulosten sovellettavuus yksityismetsiin vaatii tietty tarkennukset. Tulokset on laskettu vain neljälle alueelle (liite 1), jotka ovat Metsähallituksen (entisiä) yksiköitä. Tehdyssä vertailussa yksityismetsien taimikoiden ja valtion taimikoiden välillä ei havaittu suuria eroja pohjapinta-alan ja tilavuuden suhteen (Salminen 1993). On kuitenkin syytä muistaa, että tehty vertailu ei vielä ole riittävä taiden omistajaryhmien taimikoiden yhtäläisyydelle. Tarkan tiedon hankkiminen esimerkiksi keskiläpimitoista, runkoluvuista, taimikonhoidon intensiteetistä ja keskipituuksista olisi välttämätöntä tarkistamisen kannalta. Tässä on kuitenkin päädytty VMI-tuloksia ja Metsähallituksen kuviotietoja vertailemalla siihen, että tuloksia voidaan soveltaa myös yksityismetsiin kohdealueilla (liite 1) varovaisuuden periaatetta noudattaen.

Tutkimukseen valittiin puuston kehityksen laskentaan MELA-malli, koska tällä hetkellä se on ainoa simulaattori, jossa voidaan tarkastella suhteellisen luotettavasti jalostushyödyn vaikutusta metsikön rakenteeseen. On kuitenkin syytä korostaa, että MELAa ei ole varsinaisesti tarkoitettu tämän tutkimuksen kaltaisia simuloiteja varten, vaan ohjelmisto on alunperin kehitetty metsävarojen kehityssennusteiden laadintaan suuralueille käyttäen lähtötietoinaan VMI:ssä kerättyjä metsävaratietoja (Siitonen 1983). MELAssa kasvufunktioihin voidaan syöttää oletettuja/odotettavia jalostushyötyprosentteja, jotka nopeuttavat vuotuista kasvua. Tämän jälkeen simuloidaan metsikön kasvua ja rakenteen kehitystä siten, että jalostushyötyprosentti on jo ”sisällä” kasvussa. Valittu menetelmä ei välttämättä kuvaa jalostushyödyn realisoitumista oikein, mutta ex ante-tarkastelulla onkin lähinnä pyritty kartoittamaan jalostushyödyn mahdollisia vaikutuksia hakkuutuloihin ja niiden nykyarvoon.

Liitteessä 3 on vertailun vuoksi esitetty kahden eri harvennusmallin, Pesosen ja Hirvelän (1992) ja Vuokilan ja Väliähon (1980) hakkuukertymät ja

-ajankohdat. Näitä malleja käytettäessä ei olisi voinut muuttaa hakkuiden ajankohtia; ne olisivat pysyneet samoina jalostushyödyistä riippumatta. Tämä on varsin epärealistinen oletus, koska puiden kasvun nopeutuessa mitä todennäköisimmin harvennuksia aikaistetaan (pitkä kiertoaika yksittäisenä tekijänä ”rasittaa” eniten metsänkasvatuksen yksityistaloudellista kannattavuutta). Käytetyn mallin (MELA-simulointi) sekä Pesosen ja Hirvelän (1992) ja Vuokilan ja Väliähon (1980) mallien harvennusajankohtia ja -määriä ilman jalostushyötyjä voidaan kuitenkin varsin hyvin vertailla (taulukko 1 ja liite 3). Tässä valittiin kasvun taso vastaamaan VMI 7:n aineistoa, mikä johtaa selvästi pienempään vuotuiseseen kasvuun kuin esimerkiksi Pesosen ja Hirvelän (1992) mallissa käytetty alkuvuoteen 1990 tehty päivitys (Siitonen 1990). Käytettyyn kasvun tasoon on päädytty ensinnäkin sen takia, että pitkän aikavälin tarkastelussa (tässä kiertoaika) on varmempaa valita laajapohjaisen ja kattavan aineiston mukaan muodostetut kasvuntasot, ettei kiertoajan lopussa tapahdu koronkorko-periaatteesta johtuvaa ylisuurta puuston kasvua. Toiseksi tässä on tarkasteltu siemenviljelyssiemenellä kylvetyin ja tavallisella metsikkösiemenellä kylvetyin metsikön hakkuutulosten nykyarvojen eroa – laskentamallissa erot tulevat esille, vaikka valittu kasvun taso ei täydellisesti vastaisikaan tämänhetkistä mäntymetsiemme kasvua.

Siemenviljelyssiemenen kylvökustannukset ovat Etelä-Suomessa noin 150–250 markkaa kalliimmat hehtaaria kohti tavallisen metsikkökeräyssiemenen vastaaviin verrattuna. Tutkimustulosten perusteella näyttäisi siten olevan taloudellisesti perusteltua käyttää männyn kylvössä siemenviljelyssiementä, mikäli jalostushyöty on vähintään 3 % ja laskentakorko 3 %. Jos kustannusrakenteessa tapahtuu muutoksia, on tämä otettava huomioon tehtäessä valintoja. Toisaalta kuvista nähdään suoraan, paljonko eri jalostushyötyprosentteilla hakkuutulosten nykyarvot ovat suuremmat kuin ”tavallisen metsikön” vastaavat. Näinollen siemenviljelyssiemenen hinnan noustessa kuvien pylväistä täytyy vähentää uutta kustannusta vastaava määrä – pylväät kuvaavat vain hyötyä.

Tulokset heijastavat lähinnä teoreettisesti niitä taloudellisia perusteita, jotka määrittelevät männyn siemenviljelyssiemenen käytön kannattavuuden

den kylvössä. Suurin ongelma metsänomistajien ajattelutavan ja tutkimustulosten välillä käytännössä on aikahorisontti. Laskelmat pohjautuvat kiertoajan pituisen aikajakson ennusteisiin, kun taas yksittäisen metsänomistajan aikahorisontti on huomattavasti lyhyempi (mm. Duerr 1960, Keltikangas 1972, Lönnstedt 1989). On syytä kuitenkin muistaa, että nykyarvolaskelmissa painottuvat lähellä olevat tapahtumat. Nykyarvoja laskettaessa huomattiin, että päätehakkuun merkitys nykyarvon suuruuteen oli suhteellisesti pienempi kuin harvennushakkuiden, joten tuloksia voidaan soveltaa lyhyemmällekin ajanjaksolle kuin kiertoajalle. Tämä edellyttää hakkuutulosten nykyarvon pienentämistä päätehakkuun arvoa vastaavasti. Esimerkiksi Hämeenlinnan, Jyväskylän ja Karstulan alueilla 3 %:n jalostushyödyn nykyarvoista vähennetään noin 100–200 markkaa (laskentakorkona 3 %) hehtaaria kohden, niin saadaan uudet tulokset (vrt. kuvat 1 ja 4), joissa aikahorisontti on enää noin 50–60 vuotta. Toisaalta toimenpide vaikuttaa osittain keinotekoiselta, koska yleisesti on todettu, että metsänomistajan aikahorisontti on hyvin harvoin yli 30 vuotta (esim. Duerr 1960, Keltikangas 1972, Hahtola 1973, Ollonqvist ja Kajanus 1992).

Tutkimuksen tulosten sovellettavuus käytännön siemenhuoltoon on lopulta jokaisen metsänomistajan henkilökohtaisesta päätöksestä riippuvainen. Tutkimuksen pääasiallinen tarkoitus onkin ollut tarkastella taloudellisista lähtökohdista käsin niitä tekijöitä, jotka määrittävät rajat siemenviljelyssiemenen kannattavalle käytölle kylvössä. Valituista laskentakorkokannoista 5 % ja 8 % lienevät liian korkeita pitkän aikavälin tarkasteluun. Eri laskentakorkokantojen avulla on kuitenkin pystytty määrittelemään niitä tuotto-odotuksia, joita on mahdollista saavuttaa siemenviljelyssiemenellä kylvettäessä. Nähtäväksi jää, millaiseksi todellinen jalostushyöty muodostuu seuraavan 50 vuoden aikana. Tutkimuksen jalostushyötyolettamukset ovat perustuneet tähän mennessä saatuihin jalostushyötuloksiin (mm. Venäläinen ym. 1994). Näillä oletamuksilla ja 3 %:n laskentakorkokannalla männyn siemenviljelyssiemenen käyttö kylvössä on taloudellisesti perusteltua puolukkatyyppin (ja vastaavilla) mailla Etelä- ja Keski-Suomessa, kun jalostushyöty on vähintään 3 %. Metsähallituksen Hämeenlinnan ja Jyväskylän yksiköiden alueiden

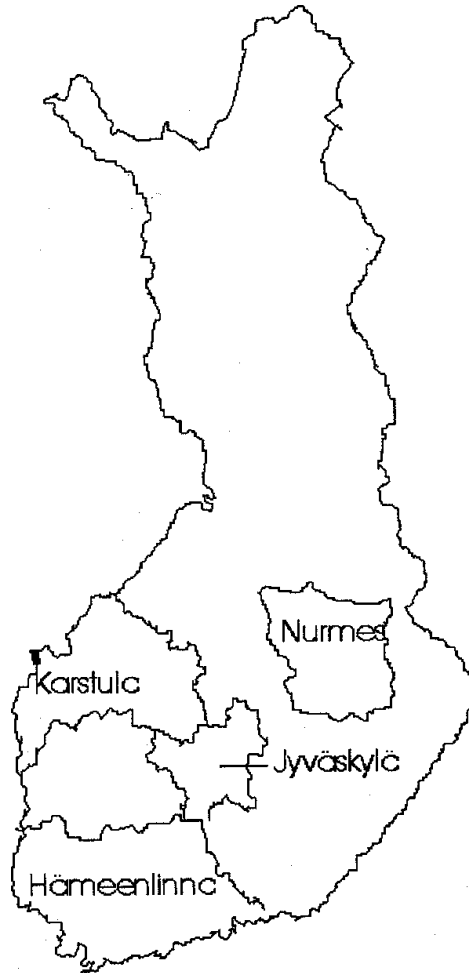
MELA-simuloinnissa havaittiin, että siemenviljelysienemen käyttö kylvössä kannatti jopa 5 %:n las-
kentakorkokannalla (kuvat 1 ja 4). Käsillä oleva
tutkimus on kuitenkin lähtökohdiltaan teoreettinen
tarkastelu, joten käytännön johtopäätöksissä jou-
dutaan olemaan pidättyviä.

Kirjallisuus

- Ackzell, L. 1994. Forest regeneration by nature and
man. Studies in boreal Sweden emphasizing genetic
aspects. Swedish University of Agricultural Scienc-
es, Department of Forest Genetics and Plant Physiol-
ogy. Diss. 44 + 45 s.
- Assman, E. 1970. The principles of forest yield study.
Pergamon Press. 506 s.
- Duerr, W.A. 1960. Fundamentals of forestry economics.
McGraw-Hill, New York. 579 s.
- Gertner, G.Z. 1984. Application of a Bayesian technique
for increasing the precision of growth projection esti-
mates. University of Illinois, Department of Forestry.
- Haapanen, M., Pöykkö, T. & Velling, P. 1992. Koesa-
hauksilla tietoa männyn laadusta. Metsänjalostussää-
tiön vuosikertomus. s. 15–19.
- Hahl, J. 1991. Valmius männyn valiosiemeneen. Met-
sänjalostussäätiön vuosikertomus. s. 8–11.
- Hahtola, K. 1973. The rationale of decision-making by
forest owners. Acta Forestalia Fennica 130. 112 s.
- Hänninen, P. 1995. Esitelmä 6.4.1995 männyn siemen-
viljelyssiemenestä. 9 s.
- Keltikangas, M. 1972. Aikatekijä ja investointilaskelmat
puunkasvatuksessa: teoreettisia perusteita. Helsingin
yliopiston metsätalouden liiketieteen laitos, Julkaisu-
ja 9. 118 s.
- Kilki, P. 1987. Timber management planning. 2. pai-
nos. Silva Carelica 5. Joensuun yliopisto, metsätie-
teellinen tiedekunta. 159 s.
- Lönstedt, L. 1989. Goals and cutting decisions of pri-
vate small forest owners. Scandinavian Journal of
Forest Research 4: 259–265.
- Marklund, E. 1981. Äldre tallproveniensförsök ger un-
derlag för produktionsprognoser. Sveriges Skogs-
vårdsförbunds Tidskrift 79: 9–14.
- Metsänhoitolaki vuodelta 1996.
- Metsänviljelyaineistotyöryhmän muistio 1994. Maa- ja
metsätalousministeriö, Helsinki. 17 s.
- Metsätalastollinen tietopalvelu 1994. Metsänuudistami-
sen pinta-alat vuosina 1970–92. Metsäntutkimuslai-
tos.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P.
1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA)
– Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tie-
donantoja 385. 42 s.
- Ollonqvist, P. & Kajanus, M. 1992. Metsänomistajan
taloudellisten tavoitteiden merkitys metsänuudistami-
stavan valinnassa. Folia Forestalia 798. 71 s.
- PATI-ohje. 1994. Suunnittelun aapinen. Luonnonvaro-
jen suunnittelu, Tikkurila. Metsähallitus. 30 s.
- Pesonen, M. & Hirvelä, H. 1992. Liiketaloudelliset har-
vennusmallit Etelä-Suomessa. Folia Forestalia 800.
35 s.
- Puun kantohinnat metsälautakunnittain. Elokuu 1994.
MTK.
- Salminen, S. 1993. Eteläisimmän Suomen metsävarat
1986–1988. Folia Forestalia 825. 111 s.
- Savolainen, O. & Kärkkäinen, K. 1992. Effect of forest
management on gene pools. New Forest 6: 329–345.
- Siitonen, M. 1983. A long term forestry planning system
based on data from the Finnish national forest inven-
tory. Teoksessa: Forest inventory for improved man-
agement. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen
laitoksen tiedonantoja 17: 195–207.
- 1990. Suomen metsävarat 1990 ja metsien kehitys-
mahdollisuudet 1990–2030. Selvitys Metsä 2000
-ohjelman tarkistustoimikunnalle. Metsäntutkimuslai-
tos. 56 s.
- Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Salmine, O. &
Teuri, M. 1995. The MELA Handbook. Version 1995.
Finnish Forest Research Institute, Research Papers.
Käsikirjoitus. 316 s.
- Tapion metsänhoitosuosituksat 1989. 55 s.
- Tapion taskukirja 1994. 22. uudistettu painos. Metsä-
keskus Tapion julkaisuja. 640 s.
- Venäläinen, M., Annala, M-L., Kosonen, E., Rantanen,
H. & Tynkkynen H. 1994. Plusmäntyjen testaustulos-
rekisteri ja jalostushyöty. Metsäntutkimuslaitoksen
tiedonantoja 497. 89 s.
- Vuokila, Y. & Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsi-
köiden kasvatusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen jul-
kaisuja 99(2). 271 s.
- Yksityismetsälaki vuodelta 1992.

30 viitettä

Liite 1. Tutkimuksen MELA-simuloinnin kuviot olivat Hämeenlinnan, Jyväskylän, Karstulan ja Nurmeksien alueilta (Metsähallituksen vanha organisaatiomalli).



Liite 2. Metsälaskelman (MELA) parametritiedosto muutetuin arvoin.

Harvennus	Minimikertymä, runkoa/ha tai m ² /ha	Pienin keskiläpimitta tai pienin keskipituus ennen hakkuuta	Iän yläraja suhteessa uudistusrajaan	Maksimi poistumaosuus runkoluvusta (ensiharvennus) tai pohjapinta-alasta
Ensiharvennus, runkoluku	650 runkoa	12 cm	Ei parametrina	55 %
Harvennus, pohjapinta-ala	6 m ²	12 m	0,8 (80 %)	35 %

Taulukossa on kuvattu Jyväskylän yksikön alueen puolukkatyyppien metsikölle tehdyt muutokset MELAn parametritiedostoihin. Nämä neljä parametria (minimikertymä, minimikeskiläpimitta, jne.) olivat tärkeimmät tekijät, joiden muutokset vaikuttivat harvennusajankohtiin simuloinnissa.

Liite 3. Pesosen ja Hirvelän (1992) ja Vuokilan ja Väliahon (1980) harvennusmallien rakenne.

Malli	1. harvennus	2. harvennus	3. harvennus	Päätihakkuu
	Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)	Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)	Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)	Ajankohta Hakkuukertymä (tukkipuu)
Pesosen ja Hirvelän ns. 3 %:n malli, alue 1 VT-männikkö	44 vuotta 156,5 m ³ (9,5 m ³)	64 vuotta 95,9 m ³ (68,1 m ³)	-	74 vuotta 224,4 m ³ (164,7 m ³)
Pesosen ja Hirvelä, alue 2 VT	44 vuotta 146,9 m ³ (7,3 m ³)	64 vuotta 90,5 m ³ (63 m ³)	-	79 vuotta 249,7 m ³ (196 m ³)
Pesosen ja Hirvelä, alue 3 VT	44 vuotta 118,8 m ³ (2,2 m ³)	64 vuotta 86,2 m ³ (51,8 m ³)	-	79 vuotta 238,5 m ³ (176,1 m ³)
Pesosen ja Hirvelä, alue 4 VT	44 vuotta 100,5 m ³ (1,2 m ³)	64 vuotta 89,8 m ³ (43,5 m ³)	-	84 vuotta 262,6 m ³ (192,8 m ³)
Vuokila ja Väliaho, Etelä-Suomi, H ₁₀₀ = 24 m	40 vuotta 35,6 m ³ (0 m ³)	50 vuotta 45,2 m ³ (10,9 m ³)	65 vuotta 58 m ³ (36,1 m ³)	80 vuotta 257,1 m ³ (228,6 m ³)

Taulukosta nähdään eri alueiden ja mallien hakkuukertymät ja hakkuiden ajankohdat. Pesosen ja Hirvelän (1992) mallien alueet olivat seuraavat: alue 1 = Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uusimaa-Hämeen ja Pirkka-Hämeen metsälautakuntien alueet, alue 2 = Itä-Hämeen, Etelä-Savon, Etelä-Karjalan ja Itä-Savon metsälautakuntien alueet, alue 3 = Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon metsälautakuntien alueet ja alue 4 = Keski-Suomen, Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan metsälautakuntien alueet.