

# **Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa**

Jukka Malinen, Tapio Wall, Harri Kilpeläinen ja Erkki Verkasalo

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute - sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisu toiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>  
ISSN 1795-150X

**Toimitus**

PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

**Julkaisija**

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Malinen Jukka, Wall Tapio, Kilpeläinen Harri & Verkasalo Erkki			
<b>Nimeke</b> Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa			
<b>Vuosi</b> 2011	<b>Sivumäärä</b> 45	<b>ISBN</b> 978-951-40-2315-6 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> Itä-Suomen alueyksikkö, Joensuu / PKM-ohjelma / 3357 Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa, 7130 Leimikon oston ja myynnin päätöksentekomallit vaihtoehtoisten puutavaralajien ja niiden mitta- ja laatuvaatimusten mukaan ja 7248 Arvopuun kasvatusta ja hankintaa Keski-Suomessa.			
<b>Hyväksynyt</b> Henrik Heräjärvi, vanhempi tutkija, PUU-ohjelman johtaja. 29.8.2011			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Asiakaslähtöisen puunhankinnan myötä hakkuussa korjattavien puutavaralajien määrä on lisääntynyt ja mitta- ja laatuvaatimuksista on tullut kirjavia. Entistä monipuolisemmat puutavaralajimäärittelyt ja mit-tavaatimukset voivat kasvattaa metsänomistajan saamaa kantorahatuloa, mutta samalla puunostotarjous-ten vertailu erilaisine katkontatavoitteineen on entisestään vaikeutunut. Toisaalta puun ostajan kannalta tavaralajien yksikköhintoihin sidotut ostotarjoukset edellyttävät arvokkaimpien puutavaralajien määrän maksimointia, jopa saatavan arvosaannon kustannuksella. Näistä lähtökohdista Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeessa ”Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa” määritettiin leimikkotyypeittäin erilaisten puutavaralajivaihtoehtojen vaikutukset leimikoiden puutavaralajija-kaumiin ja arvoon leimikon myyjän ja ostajan kannalta, tehtiin herkkyystarkastelut eri tekijöiden vaikutuksista leimikoiden arvoon, vertailtiin arvoeroja erilaisten puunostajien kesken, vertailtiin saatuja tulok-sia MELA-ohjelmiston ennustemalleilla saataviin tuloksiin, määriteltiin ennakkomittausmenetelmä leimikon puuston määrän ja laadun objektiiviseen mittaukseen ja muodostettiin empiirisiä päätehakkuu-vaiheen esimerkkileimikoita opetus-, koulutus-, ja havainnollistamistarkoituksiin.</p> <p>Tulokset osoittivat, että puutavaralajikertymät ja hakkuukertymän myynti- ja käyttöarvot vaihtelevat huomattavasti sekä leimikon ominaisuuksien että sovellettavien katkontaohjeiden mukaan. Arvovaiku-tukset olisivat todettuja suurempia, jos puutavaralajien yksikköhintojen erot olisivat suurempia kuin tässä tutkimuksessa käytetyt maltilliset hintaerot, koskien erikoistavaralajien hintoja ja tukin järeys- ja laatuokkien hintaeroja. Tulokset soveltuvat aineiston perusteella eteläisen ja keskisen Suomen mänty- ja kuusivaltaisiin päätehakkuleimikoihin ja myöhempien harvennusten mäntyleimikoihin. Tulokset eivät sisällä katkonnan toteutuksesta johtuvaa vaihtelua, vaikkakin puunhankinnassa saatujen kokemus-ten perusteella erot erilaisten ostajien toteutuneissa katkonnoissa voivat olla suuria.</p> <p>Puukaupan kehittäminen edellyttää siirtymistä tavaralajihinnoittelusta hinnoitteluun, jossa kunkin leimi-kon puuraaka-aineesta maksetaan sen ominaisuuksien ja markkinahintaisen lopputuotteen hinnasta joh-detun käyttöarvon perusteella määräytyvää hintaa. Mahdollisuuksia korvaavan menetelmän kehittämi-seksi ja vähitellen käyttöön otettavaksi tarjoavat leimikoiden järeys- ja laatuhinnoittelu, runko- ja run-gonosahinnoittelu sekä puutavaralajien matriisihinnoittelu läpimitta-, pituus- ja laatuokkittain.</p>			
<b>Asiasanat</b> apteeraus, arvonmuodostus, leimikko, puun hinnoittelu, puutavaralajit			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp206.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp206.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Jukka Malinen, Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen Alueyksikkö, Yliopistokatu 6, PL 68, 80101 Joensuu Sähköposti <a href="mailto:Jukka.Malinen@metla.fi">Jukka.Malinen@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b>			

## Alkusanat

Käsillä on yhteenveto Metsäntutkimuslaitoksessa puutieteen tutkimuksen piirissä vuonna 2003 käynnistetyistä laajoista tutkimuksista puutuoteteollisuuden raaka-ainetta tuottavien leimikoiden arvonmuodostuksesta puukaupan ja puunhankinnan kehittämisen ja metsätalouden ja -teollisuuden puunkäyttöön liittyvien erilaisten tarpeiden yhteen sovittamisen tueksi. Tutkimukset suunniteltiin ja organisoitiin Metsäntutkimuslaitoksen Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki -tutkimusohjelman (PKM) hankkeessa Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa, vastuututkijana vanhempi tutkija Tapio Wall. Tämän hankkeen kaikkien osien päätuloksista on kooste PKM-ohjelman loppujulkaisussa (Verkasalo & Karvinen 2011).

Tutkimukset tehtiin käytännössä suomalais-ruotsalaisen tutkimusohjelman Wood Material Science and Engineering hankekonsortiossa Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions (VACHA, 2003–2007; koordinaattorina professori Tuula Nuutinen), maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa hankkeessa Leimikon oston ja myynnin päätöksentekomallit vaihtoehtoisten puutavaralajien ja niiden mitta- ja laatuvaatimusten mukaan (vastuututkijana professori Erkki Verkasalo, päätutkijana varttunut tutkija Jukka Malinen). Konsortion päätuloksista on julkaistu koosteet tutkimusohjelman vuosi- ja loppuraportteissa (Nuutinen ym. 2004, 2005, 2007) ja VACHA- ja IMWO-konsortioiden yhteisen loppuseminaarin sähköisissä tallenteissa (mm. Malinen ym. 2006).

Tutkimusaineistojen keruusta vastasivat Metsäntutkimuslaitoksen kenttäryhmät, johtajina metsätalousinsinöörit Erkki Salo ja Jukka Lehtimäki ja metsätalousteknikko Juha Metros. Tulosten laskennassa sovellettiin tutkija Harri Kilpeläisen puutieteen piirissä kehittämää apteeraussimulaattoria. Tulosten laskentaan osallistui kirjoittajien lisäksi pro gradu -tutkija Teppo Piira. Julkaisun tarkasti ja hyväksyi Metsäntutkimuslaitoksen PUU-ohjelman johtaja, vanhempi tutkija Henrik Heräjärvi.

Aineisto- ja julkaisuyhteistyötä tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen metsäsuunnittelun tutkimusryhmän sekä Itä-Suomen yliopiston metsänarvioimistieteen tutkimusryhmän ja Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen kanssa. Tutkimusmetodologian kehittämisen yhteistyötä tehtiin em. yliopistojen ja ruotsalaisen SkogForskin kanssa. Leimikko- ja laskenta-aineistojen hankinnassa tehtiin yhteistyötä muun muassa Metsähallituksen, Metsäliitto Osuuskunnan, Stora Enso Oyj:n, Kuhmo Oy:n, Vapo Timber Oy:n ja Iivari Mononen Oy:n kanssa.

Tulokset on julkaistu useilla kotimaisilla ja kansainvälisillä tiedefoorumeilla ja niistä on tiedotettu monipuolisesti kotimaisia tiedonkäyttäjiä. Tuloksia on luovutettu useiden puutuoteyritysten, metsänomistajien liittojen ja metsäkeskusten käyttöön. Tulosten siirtämiseksi metsä- ja metsäkonealan opetus- ja koulutustarkoituksiin tehtiin erikseen yhteistyötä Pohjois-Karjalan, Varsinais-Suomen ja Pohjoisen Keski-Suomen ammattipistojen kanssa. Kaikki julkaisut on esitetty tämän raportin liitteenä olevassa luettelossa.

Hankkeella oli puunhankkijoiden, puuntuottajien, asiantuntijoiden ja rahoittajan edustajista koostunut ohjausryhmä, puheenjohtajana professori Esko Mikkonen, Helsingin yliopisto. Ohjausryhmässä olivat edustettuina myös MTK, Metsänhoitoyhdistys Itä-Häme, Metsähallitus, Suomen Sahat ry., Raunion Saha Oy, Metsäliitto Osuuskunta ja maa- ja metsätalousministeriö.

Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille hankkeen toteutukseen ja julkaisun valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille ja organisaatioille.

Joensuussa, 2.8.2011

Jukka Malinen

Tapio Wall

Harri Kilpeläinen

Erkki Verkasalo

## Sisällys

<b>Alkusanat</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Tutkimusaineisto</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Puutavaralajit ja apterauksen simulointi</b> .....	<b>10</b>
<b>4 Tulokset ja tulosten tarkastelu</b> .....	<b>11</b>
4.1 Leimikoiden puutavaralajikertymien sekä myynti- ja käyttöarvojen vaihtelu.....	11
4.2 Leimikoiden puutavaralajikertymiin ja myyntiarvoihin vaikuttavat tekijät .....	14
4.3 Puutavaralajien hakkuukertymien ja käyttöarvojen herkkyydestarkastelut.....	17
4.4 Leimikoiden arvoerot ostajatyypeittäin .....	23
4.5 Tukkivähennyksen ennustamisen tarkkuus Mela-ohjelmalla .....	24
4.6 Leimikon puuston ominaisuuksien ja hakkuukertymän ennustaminen .....	27
4.6.1 Puutavaralajijakauman mallipohjainen ennustaminen .....	27
4.6.2 Puustotunnusten ja hakkuukertymän laserkeilainpohjainen ennustaminen.....	30
4.7 Esimerkkileimikot hakkuukertymistä ja arvonmuodostuksesta.....	33
<b>5 Johtopäätökset ja tulosten soveltaminen</b> .....	<b>37</b>
5.1 Hankkeen merkitys .....	37
5.2 Puutavaralajikertymien ja arvon vaihtelu .....	38
5.3 Puutavaralajikertymien ennustaminen ja laatuun saatavuus.....	40
5.4 Päätöksenteko puukaupassa.....	41
5.5 Puutavaran hinnoittelumenetelmien kehittäminen.....	42
<b>6 Kirjallisuus</b> .....	<b>43</b>
<b>LIITE. Hankkeen julkaisut</b> .....	<b>46</b>

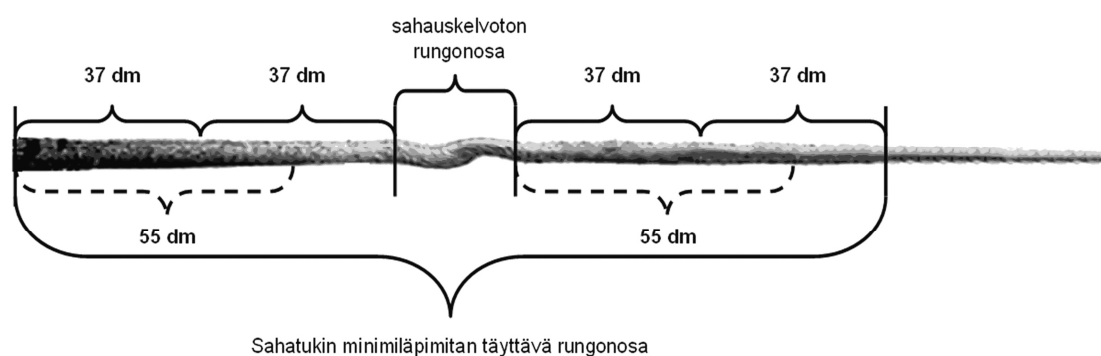
## 1 Johdanto

Puunhankinta on muuttunut viimeisimmän kymmenen vuoden aikana entistä asiakas- ja loppu-tuotelähtöisemmäksi, jonka vuoksi hankintaorganisaation on pystyttävä toimittamaan kunkin tuotantolaitoksen tarvitsemat määrät ja laadut puuraaka-ainetta kustannustehokkaasti ja oikea-aikaisesti. Puunhankintaorganisaation on kyettävä reagoimaan sahojen sekä muiden tuotantolaitosten määrällisiin ja aikataulullisiin toiveisiin lähes reaaliaikaisesti, jolloin asiakaslähtöinen puunhankinta edellyttää oikeellista ja riittävän tarkkaa tietoa käytettävissä olevasta ja hakkuuseen tulevasta leimikkovarannosta, siitä saatavasta puutavaralajikertymästä sekä sen arvosta jalostusprosesseissa ja tuotteina. Puunhankinnan ohjauksen lisäksi puutavaralajikertymien ennustaminen on tärkeää leimikon arvosannon ennakoinniseksi: metsänomistajalle puunostotarjousten vertailemiseksi ja leimikon myyntiarvon eli kantorahatulon arvioimiseksi ja puun ostajalle puustamaksukyvyn määrittämiseksi.

Aina 1990-luvun alkuun saakka käytetyssä pystymittauksessa voitiin määrittää kohtalaisen tarkasti sekä puuston runkolukusarja että puulajisuhteet, joiden perusteella voitiin myös laskea arvio leimikon puutavaralajijakaumalle. Nykyisin hakkuuta edeltävää puustotietoa saadaan lähinnä metsäsuunnitelmasta tai oston yhteydessä tehdyn pintapuolisen, usein silmämääräisen, puustoarvioinnin perusteella. Näissä arvioinneissa saadaan usein vain suuntaa-antava arvio korjattavasta puumäärästä ja sen arvosta, esimerkiksi Haaran ja Korhosen (2004) tutkimuksessa kuviottaisen arvioinnin mittaajakohtainen tilavuuden keskiarvon keskivirhe vaihteli 10,6 ja 33,4 prosentin välillä.

Perinteiset puutavaralajimäärittelyt ovat häilyvässä asiakas- ja tuotelähtöisyyden lisääntymisen myötä. Mahdollinen puukaupan kilpailun lisääntyminen ja järeän puun alueellinen niukkuus vaikuttavat myös puutavaralajimäärittelyjen erilaistumiseen. Hakkuussa korjattavien puutavaralajien määrä on lisääntynyt ja ennen kaikkea mitta- ja laatuvaatimuksista on tullut kirjavia. Runkojen katkontaa ohjaavat puutavaralajeittaiset mitta- ja laatuvaatimukset vaihtelevat alueittain, ajankohdittain ja leimikoittain riippuen puutavaran loppukäyttökohteista, mutta myös hakattavien puiden mitoista ja laadusta.

Runkojen katkonta vaikuttaa erilaisten puutavaralajikombinaatioiden ohella oleellisesti leimikosta saatavaan myynti- ja käyttöarvoon. Myyntiarvolla tarkoitetaan puutavaralajien ja niiden markkinahintojen pohjalta määräytyvää kantoraha-arvoa ja käyttöarvolla tarkoitetaan tuotteista saatavista tuotoista ja ketjun kaikista kustannuksista johdettua jäännösarvoa. Entistä monipuolisemmat puutavaralajien yhdistelmät ja puutavaralajien väljemmät mittavaatimukset voivat parhaimmillaan nostaa tukki- ja erikoispuutavaralajien kertymää ja sitä kautta metsänomistajan saamaa kantorahatuloa. Kuvan 1 esimerkissä on käytettävissä 7,4 metriä sahauskelpoista rungonosaa sahauskelvottoman mutkaisen osan alapuolelta ja saman verran sen yläpuolelta. Käytettäessä pituuksia 3,7–5,5 metriä kolmen desimetrin moduulipituuksilla sahauskelpoinen rungonosa saadaan talteen täysimääräisenä neljällä 3,7 metrin tukilla. Nostettaessa minimipituus neljään metriin kummastakin sahauskelpoisesta osasta, eli mutkan alapuolelta ja yläpuolelta, saadaan vain yksi maksimipituinen tukki, jolloin rungon sahauskelpoisesta osasta jää hyödynnettäväksi 3,8 metriä. Toisaalta leimikon puustosta saatavan raaka-aineen käyttöarvo riippuu ennen kaikkea hakkuussa korjattavan puutavaralajikertymän määrällisestä ja laadullisesta soveltuvuudesta tuotantoon, jolloin myyntiarvoltaan arvokkaimpien puutavaralajien tilavuuden yksioikoinen maksimointi voi pienentää kertymän käyttöarvoa.



**Kuva 1.** Esimerkki tukkien pituusmittavaatimusten vaikutuksesta rungon apteeraukseen yhdessä vikaisuuden kanssa.

Katkongan tavoitteet sekä optimaalinen katkonta vaihtelevat tilanteittain katsantokannasta riippuen. Puun myyjän taloudellinen tavoite puukaupassa on leimikosta saatavan myyntituoton maksimointi. Pystykaupassa tämä tarkoittaa mahdollisimman suurta kantorahatuloa, joka muodostuu tavaralajihinnonnoittelussa kustakin puutavaralajista maksetun yksikköhinnan sekä toteutuneen tavaralajikertymän perusteella. Puukauppatilanteessa tavaralajien yksikköhintojen vertailu on suhteellisen helppoa, mutta ongelmat alkavat erilaisia katkontavaihtoehtoja vertailtaessa. Kuinka minimiläpimitaerot tai pituusmittavaatimukset vaikuttavat tukki- ja kuitupuukertymään, tai kuinka erikoispuutavaralajit vaikuttavat kantorahatuloon peruspuutavaralajien apteeraukseen verrattuna?

Myös puun ostajan kannalta katkontaohjeiden vaikutus on vaikeasti hallittavissa. Esimerkiksi järeästä tukista saatavan sahatavaran arvo on parempi kuin juuri ja juuri tukkipuun mitat täyttävästä puusta saatavan. Tukkien minimiläpimitan nosto kohottaa myös tukkisuman keskijäreyttä ja tätä kautta tilavuusyksikkökohtaista arvosaantoa. Toisaalta pituusmittavaatimuksia ohjaa voimakkaasti sahatavaran markkinatilanne. Jos sahan asiakkaat kaipaavat pitkää sahatavaraa, tukkisaantoa kohottavia lyhyitä tukkipituuksia ei kannata katkoa. Sahan kannalta tukkiosan optimaalisen hyödyntämisen kannattavuus riippuu myös raaka-aineen saatavuudesta. Tukkipuulassa jokainen sahaukseen kelpaava osa rungosta kannattaa yleensä hyödyntää mahdollisimman tarkkaan, kun taas runsaan raaka-ainetarjonnan aikaan sahalle tulevien tukkien käyttöarvon maksimointi tuottanee parhaan lopputuloksen.

Metsäntutkimuslaitoksen Itä-Suomen alueyksikön puutieteen ryhmässä toteutettiin edellä kuvattun ongelma-asettelun pohjalta tutkimushanke ”Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa” vuosina 2003–2008. Hankkeen tavoitteet olivat seuraavat:

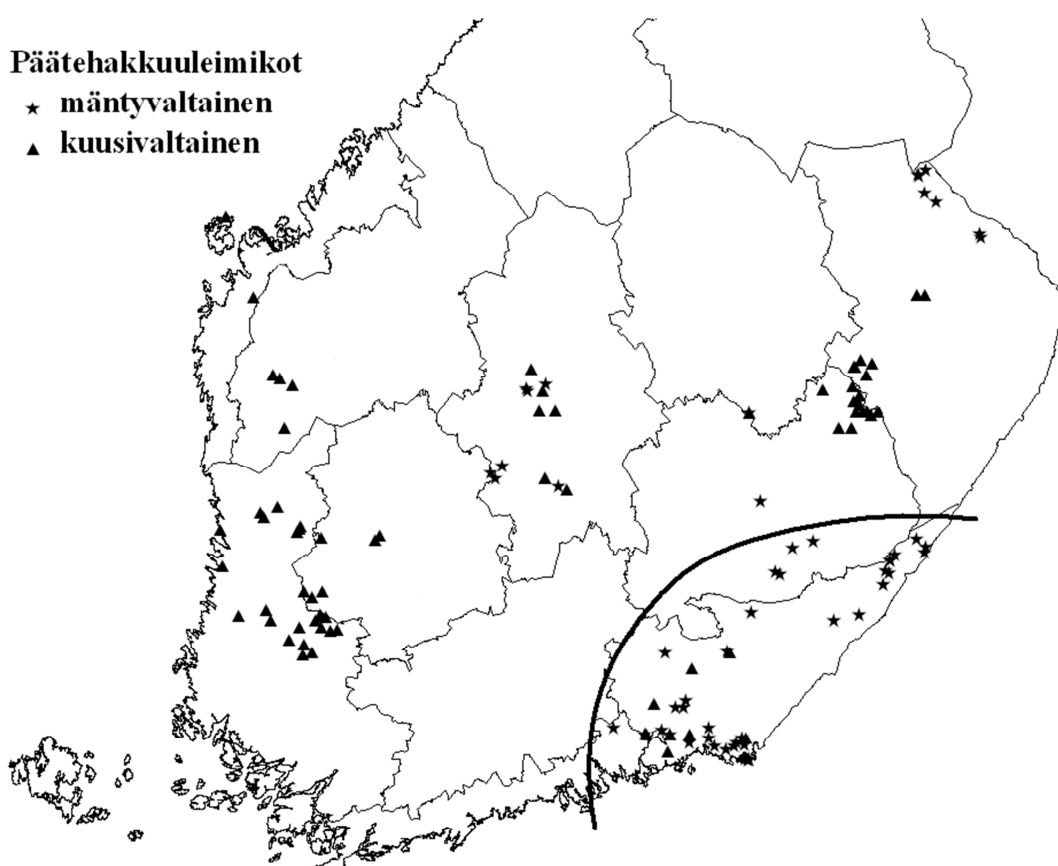
- Määritetään leimikkotyypeittäin erilaisten puutavaralajivaihtoehtojen vaikutukset leimikoiden puutavaralajijakaumiin ja arvoon leimikon myyjän kannalta.
- Määritetään leimikkotyypeittäin erilaisten puutavaralajivaihtoehtojen vaikutukset leimikoiden puutavaralajijakaumiin ja arvoon leimikon ostajan kannalta.
- Tehdään herkkyystarkastelut eri tekijöiden vaikutuksesta leimikon arvoon myyjän ja ostajan näkökulmasta sekä analysoidaan syitä mahdollisten arvoerojen muodostumiseen.
- Vertaillaan koeleimikoiden arvoeroja erilaisten puunostajien kesken. Vertailut tehdään leimikon myyjän ja erilaisten leimikon ostajien optimiapterausvaihtoehtojen välillä sekä koko aineistossa että esimerkileimikoilla: miten paljon myynti- ja käyttöarvot ja puutavaralajijakaumat poikkeavat toisistaan.



- Vertaillaan hakkuukertymistä ja puutavaralajijakaumista saatuja tuloksia MELA-ohjelmiston ennustemalleilla saataviin tuloksiin.
- Määritetään ennakkomittausmenetelmä leimikon puuston määrän ja laadun objektiiviseen mittaukseen ja laskentaan ottaen apteerauksessa huomioon runkojen laatuviat.
- Muodostetaan opetus-, koulutus-, ja havainnollistamistarkoituksiin enintään neljään maakuntaan eri puolille Suomea empiirisiä päätehakkuvaiheen esimerkkileimikoita (2–4 kpl/maakunta), joiden puutavaralajikertymät ja myyntiarvot lasketaan vaihtoehtoisilla puutavaralajeilla ja niiden yhdistelmillä.

## 2 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto muodostui 124 mänty- ja kuusivaltaisesta päätehakkuleimikosta eteläisessä ja keskisessä Suomessa (kuva 2). Mittaukset tehtiin pääsääntöisesti kesien 2003 ja 2004 aikana. Osa tutkimustuloksista laskettiin vain osalla aineistoa, sillä varhaisimpia tutkimustuloksia laskettaessa aineiston keruu ei ollut vielä päättynyt ja toisaalta osa laskelmista edellytti aineiston rajaamista pienemmiksi leimikkoaineistoiksi.



**Kuva 2.** Tutkimusaineistossa mukana olleet päätehakkuleimikot pääpuulajin mukaan. Männyn tyvitukkiaineisto laadutettiin vain Kaakkois-Suomesta (alue rajattu).

Kuhunkin leimikkoon sijoitettiin 1–6 ympyräkoealaa, joiden koko vaihteli puuston rakenteen mukaan 200–300 m<sup>2</sup> välillä. Koealoilta määritettiin leimikon maantieteellinen sijainti, puuston ikä pääpuulajeittain, kasvupaikkatyypit, maaluokka ja soiden osalta turpeen paksuus. Koealojen kaikki yli 7 cm:n paksuiset rungot otettiin koepuiksi, joista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja pituus sekä oksarajat alimman kuivan, alimman tuoreen, paksuimman kuivan ja paksuimman tuoreen oksan osalta. Lisäksi koepuista arvioitiin sahapuun tekniseen laatuun vaikuttavat viat (lenkous, mutkat, oksikkuus, laho, pintaviat, jne.) ja määritettiin niiden sijainti eli alkuperä- ja loppukorkeudet rungossa. Männyän suoran, oksattoman tyvitukin osuus määritettiin 61 leimikosta Kaakkois-Suomesta (kuva 2). Tutkimusaineisto muodostui kaikkiaan 4598 mänty- ja kuusi-koepuusta (taulukko 1).

Leimikon arvoerojen vertailuun ostajatyypeittäin käytettiin myös 17 harvennusmäntyleimikon aineistoa, joka valikoitiin ”Harvennusmännyn hankinnan ja sahauskehittämisen” -hankkeessa vuonna 2000 kerätystä aineistosta (Wall ym. 2005) (taulukko 2).

**Taulukko 1.** Päätehakuuleimikoista mitattujen koepuiden määrät ja keskitunnukset.

Puulaji	Koepuut (kpl)	Läpimitta (cm)	Pituus (m)	Käyttöosan tilavuus (dm <sup>3</sup> )
Mänty	1822	26,9	21,9	620
Kuusi	2776	22,5	19,8	480

**Taulukko 2.** Harvennusleimikoiden mäntyjen pohjapinta-alalla painotetut keskiläpimitta ja keskipituus sekä aritmeettinen keskitilavuus ja koepuiden määrä koko puustossa sekä harvennuspoistumassa.

	Koepuut (kpl)	Läpimitta (cm)	Pituus (m)	Käyttöosan tilavuus (dm <sup>3</sup> )
Koko puusto	666	20,6	16,4	224
Poistuma	267	17,8	15,3	148

### 3 Puutavaralajit ja apteerauksen simulointi

Kullekin leimikolle laskettiin hakkuukertymät ja kantorahatulot puutavaralajeittain vaihtoehtoisilla apteerausohjeilla, joissa vaihdeltiin mukana olevien puutavaralajien määrää sekä pölkkyjen sallittuja pituuksia ja minimiläpimittoja. Perusapteerauksessa puutavaralajeina olivat sahatukki ja kuitupuu sekä männyä että kuusen osalta. Vaihtoehtoisissa apteerauksissa mukana olivat männyllä myös tyvitukki, pikkutukki ja pylväs sekä kuusella sorvitukki ja pikkutukki. Apteerauksessa käytetyt pölkkyt olivat tukeilla 3 dm:n ja pylvällä 10 dm:n moduulimittoja minimin ja maksimin välillä. Laskennoissa kuitupuupölkkyt katkottiin ns. vapaamittaan.

Leimikoilta mitatut rungot pölkkytettiin valittujen apteerausohjeiden mukaisesti puutavaralajeiksi Metlassa kehitetyllä apteerausohjelmalla, joka tuottaa dynaamisen optimoinnin perusteiden mukaisesti erilaisia katkontavaihtoehtoja optimoiden rungon arvon arvoapteeraukseen perustuen (Kilpeläinen 2002). Kullekin koepuulle muodostettiin runkokäyrä Laasasenahon (1982) puulajeittaisilla läpimitoilla ja pituuteen perustuvilla runkokäyräyhtälöillä, joiden pohjalta laskettiin myös rungon kokonaistilavuus ja edelleen puutavaralajeittaiset tilavuudet optimoinnissa määritettyjen katkontakohtien mukaan.

Apteerausohjelmassa syöttötietoina olivat koepuiden mittaustiedot, joista apteerauksessa hyödynnettiin puulajia, rinnankorkeusläpimittaa ja pituutta sekä rungossa havaittuja vikaisuuksia ja niiden sijaintia. Lisäksi kullekin apteerausajolle määriteltiin laskennassa käytettävät puutavaralajit mitta- ja laatuvaatimuksineen. Apteerausohjelma tuotti kaikille apteerausajoille puutavaralajeittaiset tilavuudet ja arvot yksittäistä pölkkyä, runkoa, koalaa ja kuviota kohden.

## 4 Tulokset ja tulosten tarkastelu

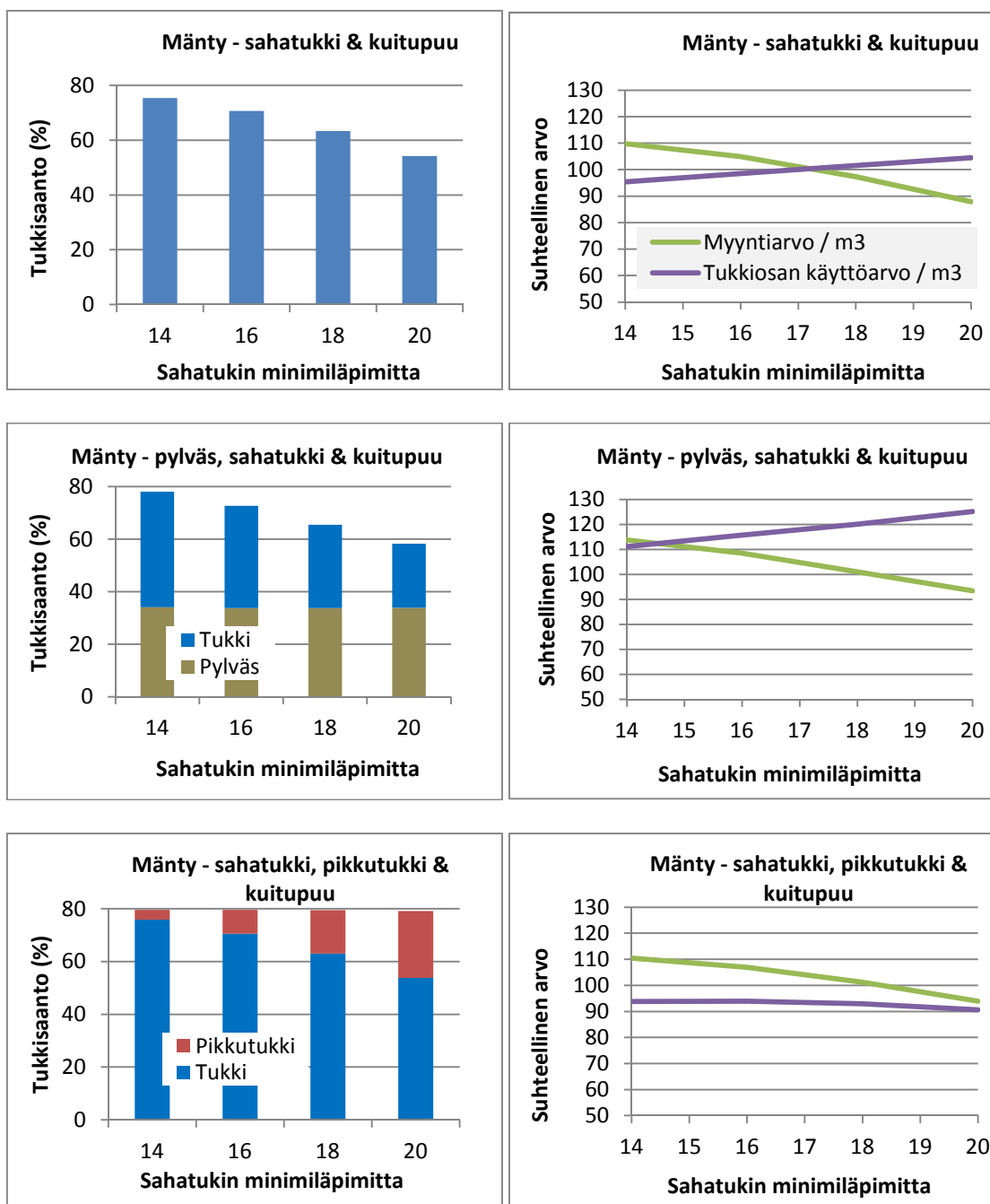
### 4.1 Leimikoiden puutavaralajikertymien sekä myynti- ja käyttöarvojen vaihtelu

Apteerauksen simuloinneissa käytettiin erikoispuutavaralajeille ja kuitupuulle kiinteitä mitta-vaatimuksia, mutta sahatukkien minimiläpimitta- ja minimipituusvaatimuksia vaihdeltiin tukkisaannon vaihtelun tutkimiseksi (taulukko 3). Myynti- ja käyttöarvoja vertailtiin erilaisilla mitta- ja laatuvaatimuksilla sekä puutavaralajikombinaatioilla tutkimuksen päätehakuuleimikoissa siten, että myynti- ja käyttöarvot muunnettiin tuloksissa suhteellisiksi arvoiksi. Sekä myynti- että käyttöarvon suhteelliseksi arvoksi 100 annettiin perusapteerauksesta (puutavaralajeina sahatukki ja kuitupuu) saadut keskiarvot.

Tukin mittavaatimuksista vaikuttaa leimikon tukkisaantoon ja myynti- ja käyttöarvoon eniten minimiläpimitta, kuusella (kuva 4) hieman enemmän kuin männyllä (kuva 3). Minimiläpimitan korotus alentaa tukkisaantoa sitä enemmän, mitä suurempi on vertailukohtana oleva minimiläpimitta. Tukin minimipituuksien muutokset vaikuttavat leimikon arvoon minimiläpimitan tavoin, mutta lievemmin. Minimipituuden nostaminen alentaa tukkisaantoa männyllä enemmän kuin kuusella, koska runkojen laatuviat ovat männyllä yleisempiä ja haittaavat enemmän erityisesti pitkien tukkien katkontaa kuin kuusella.

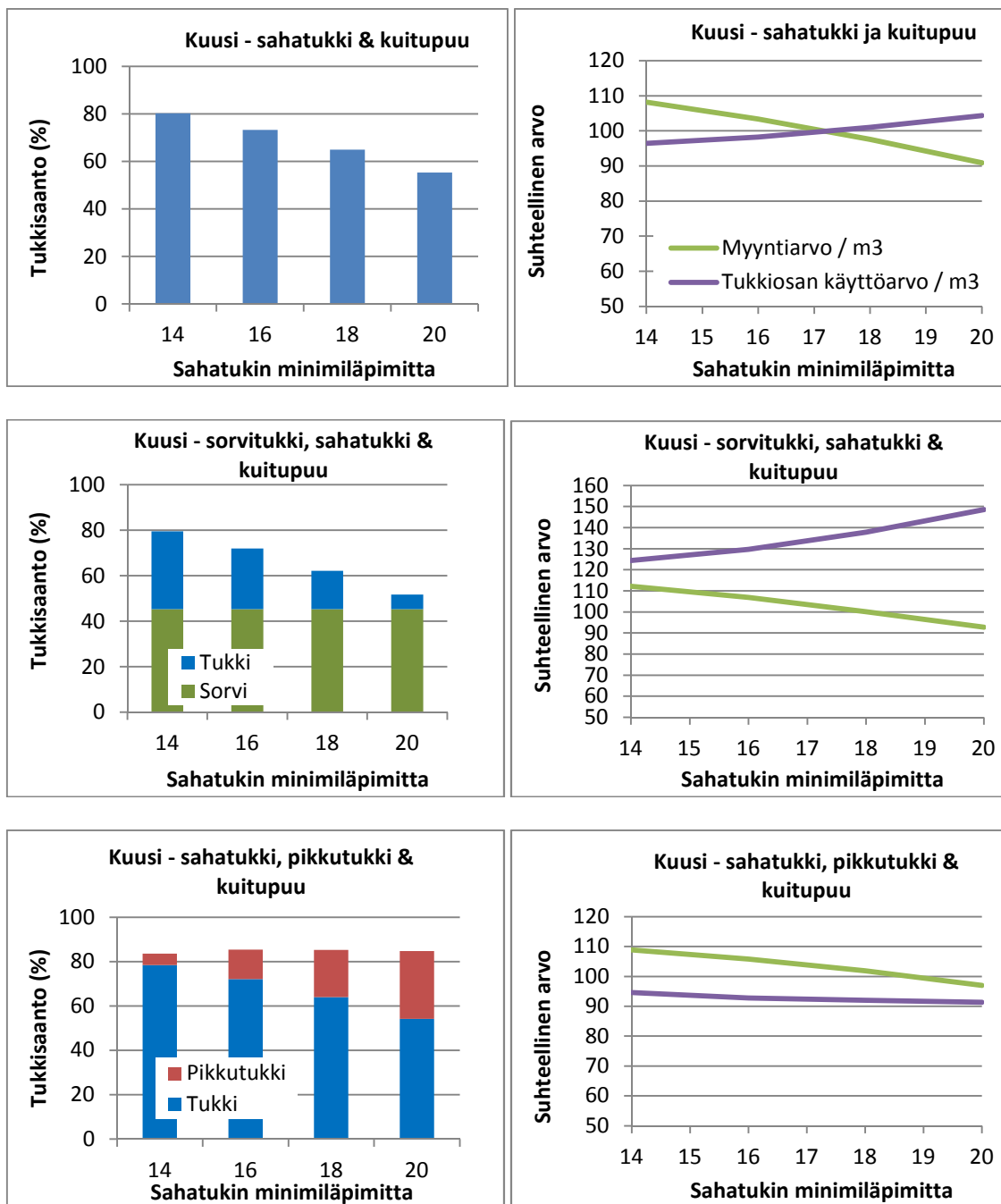
**Taulukko 3.** Apteerauksen simuloinneissa ja tulosten laskennassa käytetyt puutavaralajien yksikköhinnat ja mittavaatimukset. Yksikköhinnat perustuvat Etelä- ja Keski-Suomessa tammi-syyskuussa 2004 maksettuihin kantohintoihin (Metinfo 2005).

Puutavaralaji	Yksikköhinta (€/m <sup>3</sup> )	Minimiläpimitta (cm)	Minimipituus (dm)	Maksimipituus (dm)
Mänty				
Sahatukit	45	14, 16, 18, 20	31–46	61
Tyvitukit	50	20	31	61
Pylväät	50	18	91	111
Pikkutukit	20	11	31	52
Kuitupuu	12	6	27	55
Kuusi				
Sahatukit	46	14, 16, 18, 20	31–46	61
Sorvitukit	50	20	52	52
Pikkutukit	28	11	31	52
Kuitupuu	20	7	27	55



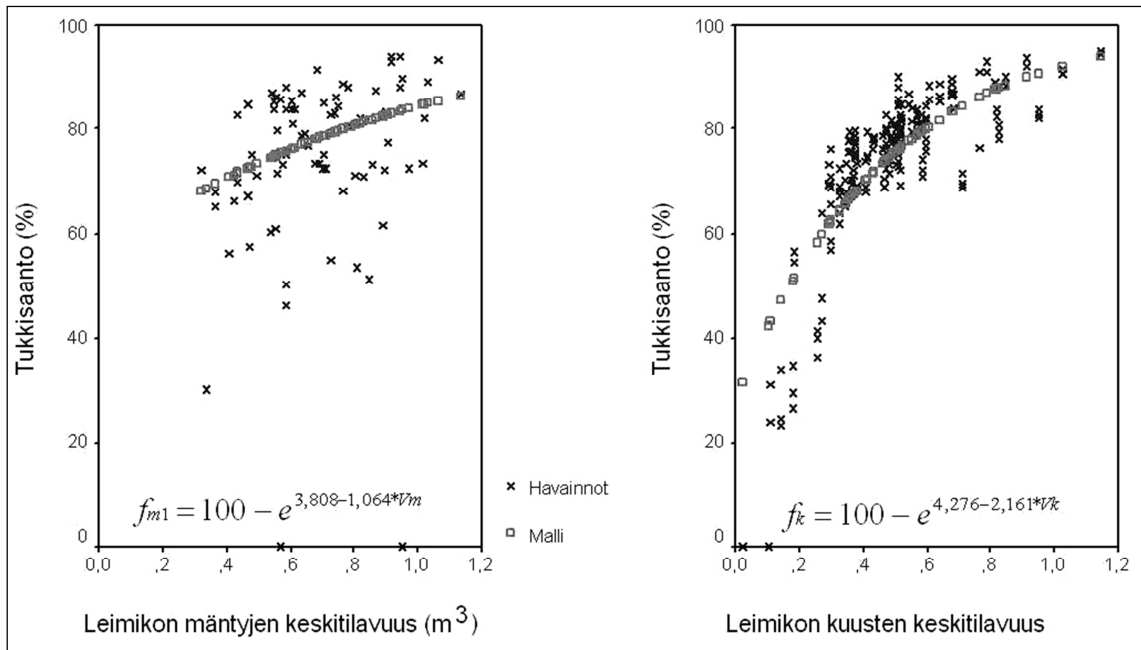
**Kuva 3.** Männyn keskimääräisen tukkisaannon sekä leimikon suhteellisen tilavuusyksikkökoh-  
 taisen myyntiarvon ja tukkiosan käyttöarvon riippuvuus tukin minimiläpimitasta.

Sahatukkia arvokkaampien erikoispuutavaralajien, tässä tapauksessa männyllä laatutyvitukkien ja pylväiden (kuva 3) ja kuusella sorvitukki (kuva 4) teko kannattaa sekä puunmyyjän että loppukäyttäjän kannalta, edellyttäen tietenkin että ao. tavaralajeille on kysyntää. Sahatukkia alempiarvoisten pikkutukki (kuva 5) teko tuottaa lähes aina lisäarvoa puunmyyjälle, mutta sahan kannalta kannattavuus riippuu sahattavan raaka-aineen tarjontatilanteesta sekä sahatukin ja pikkutukin kantohinnan erosta.



**Kuva 4.** Kuusen keskimääräisen tukkisaannon sekä leimikon suhteellisen tilavuusyksikkökoh-  
 taisen myyntiarvon ja tukkiosan käyttöarvon riippuvuus sahatukin minimiläpimitasta.

Puuston keskikoon vaikutusta tukkisaantoon tarkasteltiin muodostamalla männyn ja kuusen apterauksille tukkisaannon ennustemalli, jossa selittävänä muuttujana oli leimikon keskijäreys (kuva 5). Tukkisaannon riippuvuus keskijäreystä on kuusella huomattavasti suurempi kuin männynllä. Männynllä tukkisaantoa selittävät huomattavan paljon enemmän puuston vikaisuus ja oksarajatieto, kun taas kuusella vikaisuuden vaikutus on pienempää ja runkomuoto vaihtelee vähemmän (Piira ym. 2007, Malinen ym. 2010).



**Kuva 5.** Leimikon keskijäreiden vaikutus tukkisaantoon männyllä ja kuusella (Piira ym. 2007). Männyllä mallin  $R^2 = 0,124$  ja kuusen mallin  $R^2 = 0,744$ .

## 4.2 Leimikoiden puutavaralajikertymiin ja myyntiarvoihin vaikuttavat tekijät

Leimikon puutavaralajikertymään ja myyntiarvoon vaikuttavia tekijöitä tutkittaessa runkojen apteraaussimuloinneissa käytettiin taulukossa 4 esitettyjä yksikköhintoja ja pituusvaatimuksia.

Hakattavan puuston rinnankorkeusläpimitan ja pituuden mukaisten jakaumien vaikutuksia leimikon myyntiarvoon testattiin korrelaatioanalyysien avulla käyttämällä kokojakauman kuvaamiseen pohjapinta-alamediaanipuun läpimittaa ja pituutta sekä pohjapinta-alajakauman ala- ja yläkvartiilipuuden läpimittaa ja pituutta (taulukko 5). Alakvartiilipuun on puu, jonka rinnankorkeusläpimitan kohdalla pienimmästä läpimitasta suurimpaan mentäessä täyttyy 25 prosenttia pohjapinta-alan kertymästä ja yläkvartiilipuun on vastaava puu 75 prosentin kohdalla. Kvartiilipuuden määrittäminen on suhteellisen helppoa relaskoopikoealalta, samoin kuin pohjapinta-alamediaanipuun määrittäminen. Pohjapinta-alamediaanipuun on relaskoopikoealan puista läpimitaltaan keskimäinen ja vastaavasti ala- ja yläkvartiilipuut ovat rinnankorkeusläpimitan perusteella järjestyksessään  $\frac{1}{4}$ :n ja  $\frac{3}{4}$ :n kohdalla.

Korrelaatioanalyysien perusteella alakvartiilipuun läpimita korreloi sekä männyllä että kuusella voimakkaammin myyntiarvon kanssa kuin pohjapinta-alamediaanipuun tai yläkvartiilipuun läpimita. Sen sijaan pohjapinta-alamediaanipuun pituus korreloi pituutta kuvaavista muuttujista myyntiarvon kanssa voimakkaimmin. Myyntiarvon ja kokojakaumaa kuvaavien muuttujien korreloituminen on selvästi voimakkaampaa kuusella kuin männyllä.

**Taulukko 4.** Runkojen apterauksen simuloinneissa käytettyjen puutavaralajien yksikköhinnat ja minimi- ja maksimipituudet. Yksikköhinnat perustuvat Etelä- ja Keski-Suomessa 2004–2005 maksettuihin kantohintoihin (Metinfo 2006). Sahatukkien perusmääritelmät ovat lihavoituina.

Puutavaralaji	Yksikköhinta (€/m <sup>3</sup> )	Minimiläpimitta (cm)	Minimipituus (dm)	Maksimipituus (dm)
<b>Mänty</b>				
Sahatukit	46	14, <b>15</b> , 16	31, 34, 37, <b>40</b> , 43	<b>55</b> , 58, 61
Tyvitukit	50	20	37	55
Pylväät	50	17	91	111
Pikkutukit	20	11	37	52
Kuitupuu	12	6	27	55
<b>Kuusi</b>				
Sahatukit	45	15, <b>16</b> , 17	31, 34, 37, <b>40</b> , 43	<b>55</b> , 58, 61
Sorvitukit	47	24	28	52
Pikkutukit	28	12	37	52
Kuitupuu	20	7	27	55

**Taulukko 5.** Leimikon myyntiarvon (€/m<sup>3</sup>) ja kokojakaumamuuttujien väliset korrelaatiokerroimet männyllä ja kuusen päätehakkuuleimikoissa.

Muuttuja*	Mänty	Kuusi
D <sub>25</sub>	0,32	0,70
D <sub>gM</sub>	0,19	0,67
D <sub>75</sub>	0,16	0,59
H <sub>25</sub>	0,17	0,49
H <sub>gM</sub>	0,20	0,56
H <sub>75</sub>	0,18	0,52

\* D<sub>25</sub> = alakvartiilipuun läpimitta (cm), D<sub>gM</sub> = pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta (cm), D<sub>75</sub> = yläkvartiilipuun läpimitta (cm) ja H<sub>25</sub>, H<sub>gM</sub> ja H<sub>75</sub> ovat vastaavien puiden pituudet (m).

Puuston laatua kuvaavat muuttujat korreloivat männyllä voimakkaammin myyntiarvon kanssa kuin kuusella (taulukko 6). Männyllä myyntiarvoon vaikuttivat voimakkaimmin kuolleiden oksien esiintymiseen liittyvät muuttujat: alimman kuolleen oksan korkeus, paksuimman kuolleen oksan korkeus sekä rungon kuollutoksavyöhykkeen osuus. Kuusella eläviin oksiin liittyvät muuttujat, paksuimman elävän oksan korkeus ja latvussuhde, korreloivat voimakkaimmin myyntiarvon kanssa aritmeettisten keskiarvojen perusteella. Pohjapinta-alalla painotetuissa keskiarvoissa ero oli vastaavien kuolleita ja eläviä oksia kuvaavien muuttujien välillä enää marginaalinen.

Metsäsuunnittelussa käytetään usein pohjapinta-alamediaanipuun tunnuksia sen helpon määrittävyyden vuoksi. Vaikka pohjapinta-alalla painotettu keskiarvo on hivenen erilainen verrattuna pohjapinta-alamediaaniin, voidaan tulosten perusteella todeta ainakin laatua kuvaavien muuttujien osalta että aritmeettiset keskiarvot korreloivat pohjapinta-alaan perustuvia keskiarvoja voimakkaammin myyntiarvon kanssa.

**Taulukko 6.** Leimikon myyntiarvon (€/m<sup>3</sup>) ja joidenkin laatua kuvaavien muuttujien väliset korrelaatiokertoimet männyn ja kuusen pätehakkuuleimikoissa.

	Myyntiarvon korrelaatiokerroin (mänty/kuusi)	
	Aritmeettiset keskiarvot	Pohjapinta-alalla painotetut keskiarvot
Latvusrajan korkeus	0,19 / 0,08	0,09 / 0,12
Alimman kuolleen oksan korkeus	0,31 / -0,01	0,24 / 0,12
Paksuimman elävän oksan korkeus	0,20 / 0,25	0,11 / 0,15
Paksuimman kuolleen oksan korkeus	0,36 / 0,14	0,30 / 0,16
Latvussuhde	-0,06 / 0,29	0,04 / 0,05
Kuollutoksavyöhykkeen osuus	-0,21 / -0,16	-0,19 / -0,04

Leimikon ominaisuuksien ja katkontaohjeiden yhteisvaikutusten tutkimiseksi tehtiin korrelaatioanalyysit apteerausohjeiden muutosta kuvaavien muuttujien sekä myyntiarvon välille männylle ja kuuselle leimikkotyypeittäin. Männyllä luokitus tehtiin jakamalla leimikot kasvupaikan viljavuuden perusteella kahteen ryhmään, joista ensimmäisen ryhmän muodostivat lehtomaisten (OMT) ja tuoreiden kankaiden (MT) leimikot ja toisen ryhmän kuivahkojen (VT) ja kuivien kankaiden (CT) leimikot. Lisäksi OMT ja MT ryhmä jaettiin kolmeen ositteeseen mäntyrunkojen keskijäreiden perusteella, alle 600 dm<sup>3</sup>, 600–750 dm<sup>3</sup> ja yli 750 dm<sup>3</sup>. VT ja CT osite jaettiin kahteen kokoluokkaan, alle 550 dm<sup>3</sup> ja yli 550 dm<sup>3</sup>.

Kuusella luokitus tehtiin jakamalla leimikot kuusirunkojen keskijäreiden perusteella kolmeen ositteeseen, alle 400 dm<sup>3</sup>, 400–550 dm<sup>3</sup> ja yli 550 dm<sup>3</sup>. Lisäksi koko-ositteet jaettiin kahteen ositteeseen leimikon vikaisuuden perusteella. Vikaiseksi puuksi laskettiin jokainen puu jossa oli jokin katkontaan vaikuttava tekninen vika. Jos vikaisten puiden osuus leimikolla oli alle 30 %, leimikko luokiteltiin hyvälaatuiseksi, ja jos vikoja oli yli 30 %, leimikko luokiteltiin huonolaatuiseksi.

Korrelaatioanalyysien perusteella apteerausta kuvaavien muuttujien yhteydet myyntiarvoon olivat yleisesti ottaen voimakkaita (taulukot 7 ja 8). Korrelaatiot olivat kuusella useimmiten voimakkaampia huonolaatuisilla leimikoilla kuin hyvälaatuisilla. Tukkipituuksia kuvaavat muuttujat (minimipituus, tukkipituuksien lukumäärä sekä pisimmän ja lyhyimmän tukkipituuden erotus) korreloivat voimakkaasti myyntiarvon kanssa, mutta maksimipituus heikosti. Tukkien pituusmuuttujien korrelaatiot olivat männyllä voimakkaampia kuin kuusella. Kuusella myyntiarvo riippui huonolaatuisissa leimikoissa voimakkaammin tukkien pituudesta kuin hyvälaatuisissa leimikoissa. Tämä vahvistaa käsitystä, että lyhyillä tukkipituuksilla ja tukkien pituuden vaihteluvälillä on erityisen suuri merkitys männyllä, mutta myös kuusella huonolaatuisissa leimikoissa.

Tukin minimiläpimitan ja myyntiarvon välinen korrelaatio oli suurin pienipuustoisilla mänty- ja kuusileimikoilla. Lisäksi korrelaatio oli hyvälaatuisilla kuusileimikoilla suurempi kuin huonolaatuisilla. Erikoispuutavaralajeista pikkutukin vaikutus oli suurimmillaan männyllä pienirunkoisilla viljavan kasvupaikan leimikoilla ja kuusella pienirunkoisilla hyvälaatuisilla leimikoilla (taulukot 7 ja 8). Männyllä pikkutukin vaikutus oli selvästi pienempi kuin kuusella, kun vertailtiin keskijäreideltään saman kokoluokan leimikoita. Männyllä pylvään vaikutus myyntiarvoon oli voimakkain keskijäreillä leimikoilla ja kuusella sorvitukin vaikutus oli voimakkain hyvälaatuisilla järeillä leimikoilla.



**Taulukko 7.** Männyn myyntiarvon (€/m<sup>3</sup>) ja eräiden apteerausmuuttujien väliset korrelaatioker-  
toimet leimikon kasvupaikkatyyppiin ja rungon keskitilavuuden (m<sup>3</sup>) mukaan.

	OMT, MT < 0,6m <sup>3</sup>	OMT, MT 0,6–0,75 m <sup>3</sup>	OMT, MT > 0,75m <sup>3</sup>	VT, CT < 0,55m <sup>3</sup>	VT, CT ≥ 0,55m <sup>3</sup>
Minimiläpimitta	-0,543	-0,417	-0,256	-0,525	-0,428
Minimipituus	-0,680	-0,760	-0,796	-0,743	-0,737
Maksimipituus	0,038	-0,001	0,036	-0,030	0,032
Tukkipituuksien määrä	0,657	0,690	0,749	0,649	0,697
Tukkipituuksien vaihteluväli	0,692	0,733	0,801	0,691	0,741
Pikkutukin apteeraus	0,344	0,307	0,308	0,308	0,319
Pylvään apteeraus	0,251	0,310	0,289	0,223	0,302

**Taulukko 8.** Kuusen myyntiarvon (€/m<sup>3</sup>) ja eräiden apteerausmuuttujien muutosten väliset kor-  
relaatiokerroimet leimikon runkojen keskitilavuuden (m<sup>3</sup>) ja vikaisten puiden osuuden (%) mu-  
kaan.

	< 0,4 m <sup>3</sup> < 30 %	V < 0,4 m <sup>3</sup> ≥ 30 %	0,4-0,55 m <sup>3</sup> < 30 %	0,4-0,55 m <sup>3</sup> ≥ 30 %	> 0,55 m <sup>3</sup> < 30 %	> 0,55 m <sup>3</sup> ≥ 30 %
Minimiläpimitta	-0,66	-0,559	-0,577	-0,531	-0,529	-0,511
Minimipituus	-0,432	-0,607	-0,530	-0,602	-0,479	-0,589
Maksimipituus	0,110	0,043	0,105	0,067	0,139	0,076
Tukkipituuksien määrä	0,535	0,622	0,609	0,639	0,596	0,635
Tukkipituuksien vaihteluväli	0,521	0,630	0,612	0,648	0,594	0,643
Pikkutukin apteeraus	0,557	0,505	0,514	0,502	0,528	0,486
Sorvitukin apteeraus	0,344	0,313	0,384	0,365	0,507	0,428

### 4.3 Puutavaralajien hakkuukertymien ja käyttöarvojen herkkyystarkastelut

Puutavaralajien hakkuukertymien ja puutavaralajien sekä leimikoiden käyttöarvojen herkkyy-  
starkasteluissa varioitiin rungon katkontaa ohjaavan käyttöarvoihin pohjautuvan arvomatriisin  
muodostumiseen vaikuttavien lopputuotteen tuotehintojen, valmistuksen sivutuotehyvitysten ja  
valmistuskustannusten arvoja erilaisilla apteerausvaihtoehdoilla (taulukko 9). Herkkyystarkaste-  
lujen kohteena olleiden tukki- ja erikoistavaralajien arvomatriiseja laskettaessa korotettiin tai  
laskettiin aina kerrallaan tuotehintaa ± 20 %, valmistuskustannuksia ± 20 % tai sivutuotehyvi-  
tyksiä (hakkeen ja purun myyntihinta) ± 30 % peruslaskennassa käytetystä tasosta. Muiden puu-  
tavaralajien arvomatriisien yksikköhinnat pidettiin peruslaskennan mukaisissa arvoissa. Kaikis-  
sa tarkastelluissa apteerausvaihtoehdoissa käytettiin perusapteerauksen mukaisia pölkkipituuk-  
sia ja -läpimittoja ja kuitupuun hinta oli vakio.

**Taulukko 9.** Herkkyystarkasteluissa ja ostajatyypivertailussa käytetyt puutavaralajit, niiden lyhenteet ja sovelletut mitat.

Puutavaralaji	Lyhenne	Läpimitat (cm)	Pituudet (dm)
<b>Mänty</b>			
Tukki	MäT	15–60	40–55
Tukki, laajennettu tukkipituus	MäT	15–60	31–61
Tyvitukki	MäTyvi	20–60	37–55
Pikkutukki	MäPT	11–18	37–52
Pylväs	MäPylväs	17–50	91, 101, 111
Kuitupuu	MäK	6–60	27,5–55
<b>Kuusi</b>			
Tukki	KuT	16–60	40–55
Tukki, laajennettu tukkipituus	KuT	16–60	31–61
Sorvitukki	KuSorvi	22–90	52
Pikkutukki	KuPT	12–19	37–52
Kuitupuu	KuK	7–60	27,5–52
<b>Koivu</b>			
Kuitupuu	KoK	6–60	27,5–55

Apteerauksen simuloinneissa olivat herkkyystarkasteluissa käytettävissä aina kaikki puutavaralajit, mutta tarkastelussa muutettiin aina vain kohteena olleen puutavaralajin tai puutavaralajien arvomatriisia (taulukko 10). Tulokset esitetään tarkasteltavien puutavaralajien tilavuuksien ja käyttöarvojen suhteellisina eroina verrattuna perusapteerauksen tuloksiin. Taulukkoon 11 on laskettu tarkasteltavan puutavaralajin tai niiden yhdistelmän hehtaarikohtaisen tilavuuden ja taulukkoon 12 vastaavat puutavaralajin tai niiden yhdistelmän ja koko leimikon käyttöarvon suhteelliset erot, kun vertailukohtana ovat perusapteerauksen mukaiset arvot tarkasteltavalla puutavaralajilla tai niiden yhdistelmällä. Kuviin 6 ja 7 on laskettu rungon kokonaisarvon suhteelliset erot rinnankorkeusläpimittaluokittain, kun tarkasteltavan puutavaralajin tai niiden yhdistelmien tuotehinnat, valmistuskustannukset tai sivutuotehyvitykset muuttuvat perusapteerauksen mukaisista arvoista. Tarkastelu ei koskenut koivun eikä kuitupuutavaralajien hintojen tai kustannusten muutosten vaikutuksia.

Mänty- ja kuusipikkutukeista saatavan sahatavaran tuotehintojen kohoaminen 20 % vaikutti suhteellisesti eniten nimenomaan näiden puutavaralajien hakkuukertymiin: männyllä hakkuukertymä kohosi 19 % (1,8 m<sup>3</sup>/ha) ja kuusella 10 % (2,1 m<sup>3</sup>/ha) (taulukko 11). Kuusivanerin hinnan kohoamisella ei ollut vaikutusta kuusisorvitukin hakkuukertymään. Myöskään kuusitukin ja -pikkutukin sahatavarasta saatavien tuotehintojen nosto ei lisännyt niiden yhteenlaskettua hakkuukertymää, mutta tukin kertymä pieneni 2,5 m<sup>3</sup>/ha ja pikkutukin kertymä kasvoi vastaavalla määrällä. Apteerausvaihtoehdossa, jossa männystä tehtiin sekä tukkia että tyvitukkia, ainoastaan tukin hakkuukertymä kasvoi 4,3 % (2,1 m<sup>3</sup>/ha).

Tuotehintojen aleneminen 20 % pienensi suhteellisesti eniten mäntypikkutukkien ja -pylväiden hakkuukertymiä, pikkutukeilla niistä valmistettavan sahatavaran hinnan aleneminen 35 % (3,3 m<sup>3</sup>/ha) ja pylväillä niistä saatavien valmiiden pylväiden hinnan aleneminen 24 % (10 m<sup>3</sup>/ha). Muissa apteerausvaihtoehdoissa vaikutukset tarkasteltujen puutavaralajien hakkuukertymiin olivat huomattavasti pienempiä (0–6 %).

**Taulukko 10.** Herkkyystarkasteluissa mukana olleet apteerausvaihtoehdot sekä niissä tarkastellut tuotehintojen, valmistuskustannusten ja sivutuotehyvitysten muutokset peruslaskennan tasosta puutavaralajeittain (+/- = muuttunut hintamatriisi).

Apteerausvaihtoehto	MäTYvi	MäT	MäPT	MäPylväs	MäK	KuSorvi	KuT	KuPT	KuK
Perusapteeraus	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MäTYvi & MäT	+/-	+/-	x	x	x	x	x	x	x
MäTYvi, MäT & MäPT	+/-	+/-	+/-	x	x	x	x	x	x
MäPT	x	x	+/-	x	x	x	x	x	x
MäPylväs	x	x	x	+/-	x	x	x	x	x
KuT & KuPT	x	x	x	x	x	x	+/-	+/-	x
KuSorvi	x	x	x	x	x	+/-	x	x	x
KuT	x	x	x	x	x	x	+/-	x	x
KuPT	x	x	x	x	x	x	x	+/-	x

Tuotteiden valmistuskustannusten kohoaminen 20 % vaikutti suhteellisesti eniten hakkuukertymiin mäntytukin ja -tyvitukin sisältäneessä apteerausvaihtoehdossa alentaen niiden kertymää 5 % (2,2 m<sup>3</sup>/ha). Apteerausvaihtoehdossa mäntytukki, -tyvitukki ja -pikkutukki näiden puutavaralajien yhteinen hakkuukertymä sen sijaan nousi 1,7 %, mutta tämä johtui yksinomaan pikkutukin kertymän kasvusta kaikkien muiden puutavaralajien osuuden pienentyessä. Muissa männyn ja kaikissa kuusen apteerausvaihtoehdoissa hakkuukertymä pieneni alle 2 % (alle 1 m<sup>3</sup>/ha). Kuusivanerin valmistuskustannusten nousulla ei ollut lainkaan vaikutusta kuusisorvitukin hakkuukertymiin. Tuotteiden valmistuskustannusten aleneminen 20 % lisäsi puolestaan suhteellisesti eniten mäntypikkutukin kertymää (6 %). Muilla puutavaralajeilla tai niiden yhdistelmillä vaikutus oli alle 1 %.

Tuotteiden valmistuksen yhteydessä syntyvien sivutuotteiden eli hakkeen ja purun myyntihintojen nousulla oli varsin vähäinen vaikutus hakkuukertymiin. Sivutuotehyvityksen nousu 30 % lisäsi suhteellisesti eniten mänty- ja kuusipikkutukin hakkuukertymiä, 7 % ja 9 %, tukin kertymän pysyessä muuttumattomana. Muilla puutavaralajeilla tai niiden yhdistelmillä vaikutus oli alle 1 % (alle 1 m<sup>3</sup>/ha).

Sivutuotteiden hintojen alenemisella 30 % oli suhteellisesti suurempi vaikutus hakkuukertymiin kuin hintojen nousulla. Hakkuukertymä pieneni 10 % mäntypikkutukilla sen sisältäneessä puutavaralajien yhdistelmässä. Kertymän pieneminen oli merkittävää myös männyllä tukin ja tyvitukin yhdistelmällä (5 %) ja kuusella pikkutukilla sen sisältäneessä yhdistelmässä (3 %).

Tuotehintojen kohoaminen 20 % vaikutti selvästi eniten käyttöarvoihin mänty- ja kuusipikkutukin sisältäneissä apteerausvaihtoehdoissa (taulukko 12). Mäntypikkutukeilla hehtaariohtainen käyttöarvo kohosi 42 % ja kuusipikkutukeilla 41 %. Muilla puutavaralajeilla ja niiden yhdistelmillä käyttöarvo nousi 20–25 %. Koko leimikon hehtaariohtaisessa käyttöarvossa suhteellisesti suurimman arvonnousun tuotti sorvikuusesta saatavan vanerin tuotehinnan kohoaminen 8 %. Mäntypylväiden tuotehinnan kohoaminen lisäsi leimikon arvoa 6 %.

**Taulukko 11.** Puutavaralajikohtaisten hakkuukertymien suhteelliset muutokset päätehakkuuleimikoissa, kun kustakin puutavaralajista saatavien lopputuotteiden tuotehintoja, valmistuskustannuksia tai sivutuotehintoja on muutettu peruslaskennassa käytetystä tasosta.

Tarkasteltavat puutavaralajit	Tuotehinta		Valmistuskustannus		Sivutuotehyvitys	
	+ 20 %	- 20 %	+ 20 %	- 20 %	+ 30 %	- 30 %
Hakkuukertymän suhteellinen muutos (%)						
MäTyvi & Mät	4,3	- 6,0	- 4,6	0,2	0,6	- 5,2
MäTyvi, Mät & MäPT	2,2	- 4,9	1,7	- 0,5	- 0,7	- 3,2
MäPT	19,1	- 35,1	- 1,1	6,4	8,5	- 9,6
MäPylväs	- 0,5	- 23,8	- 0,7	0,5	- 0,5	- 0,5
KuT & KuPT	0,0	- 0,4	- 0,8	- 0,4	- 0,5	- 0,4
KuSorvi	0,0	- 1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KuT	- 0,7	- 5,2	- 1,6	0,7	1,1	- 2,7
KuPT	10,0	- 4,8	- 1,4	1,0	7,2	- 3,3

Tuotehintojen aleneminen 20 % alensi vastaavasti eniten mäntypikkutukkien käyttöarvoa, liki 50 %. Mäntypylväiden käyttöarvo aleni lähes yhtä paljon valmiiden pylväiden hintojen alentuessa. Muilla puutavaralajeilla käyttöarvon aleneminen oli noin 22–27 %. Koko leimikon arvossa suhteellisesti suurin käyttöarvon lasku tapahtui kuusisorvitukeilla, 8 %. Mäntypylväiden ja kuusitukkien ja -pikkutukkien apteerausvaihtoehdot alensivat leimikon kokonaisarvoa 5 %. Mäntytai kuusipikkutukista saatavan sahatavaran hintojen laskulla oli enää vähäinen vaikutus leimikon kokonaisarvoon.

Valmistuskustannusten kohoaminen 20 % alensi mäntytykin ja -tyvitukin ja kuusisorvitukin käyttöarvoa noin 10 % nämä puutavaralajit sisältäneissä apteerausvaihtoehdoissa. Muilla puutavaralajeilla valmistuskustannusten nousu alensi käyttöarvoa 6–9 %, lukuun ottamatta pikkutukkeja, joilla vaikutus oli vähäinen. Vastaavasti valmistuskustannusten aleneminen 20 % kohotti 10–12 % mäntypikkutukin, mäntytykin, -tyvitukin ja -pikkutukin yhdistelmän sekä sorvikuksen käyttöarvoa. Leimikon kokonaisarvoon valmistuskustannusten muuttuminen vaikutti merkittävästi ainoastaan sorvikusella ( $\pm 3,5$  %). Muilla puutavaralajeilla tai niiden yhdistelmillä kokonaisarvon muutokset olivat alle 1,5 %.

Sivutuotteiden hintojen nousu 30 % lisäsi voimakkaimmin käyttöarvoa mänty- ja kuusipikkutukeilla, 19–23 %, ja sorvikusella, 11 %. Muilla puutavaralajeilla ja niiden yhdistelmillä käyttöarvo nousi alle 10 %. Vastaavasti sivutuotteiden hintojen aleneminen 30 % alensi eniten käyttöarvoa mäntypikkutukilla, 17 %, ja sorvikusella, 11 %. Muilla puutavaralajeilla käyttöarvon suhteellinen aleneminen oli 3–10 %. Samoin kuin valmistuskustannuksilla, myös sivutuotehyvitysten myyntihintojen muutokset vaikuttivat eniten sorvikuksen kohdalla leimikon kokonaisarvon muutoksiin ( $\pm 4$  %). Muilla puutavaralajeilla tai niiden yhdistelmillä kokonaisarvon muutokset olivat alle 1,5 %.

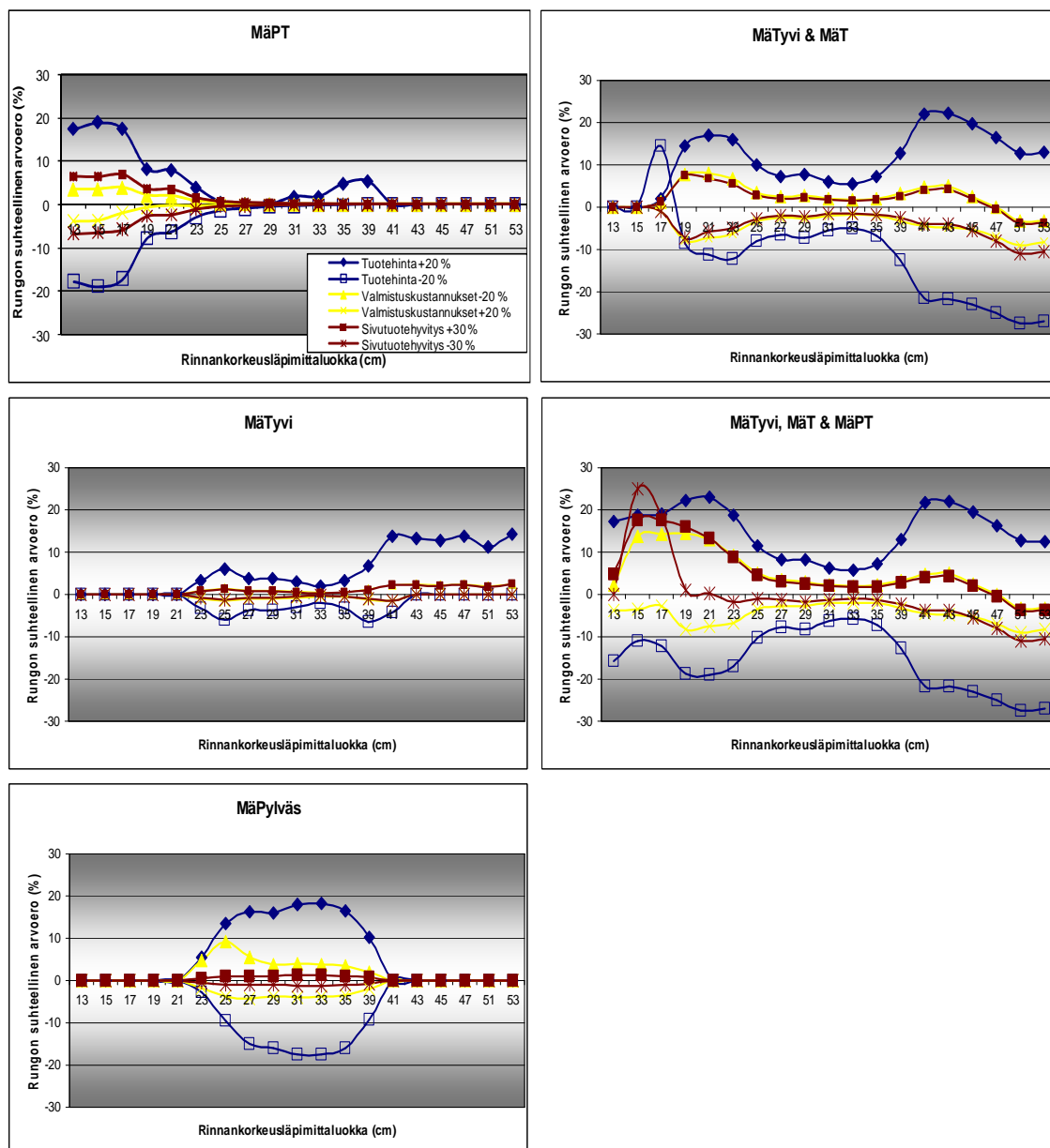
**Taulukko 12.** Puutavaralajikohtaisten (A) ja koko leimikon (B) hehtaarikohtaisten käyttöarvojen suhteelliset muutokset, kun niistä saatavien tuotteiden tuotehintoja, valmistuskustannuksia ja sivutuotehintoja on muutettu peruslaskennassa käytetystä tasosta.

Puutavaralajit	Tuotehintaa		Valmistuskustannus		Sivutuotehyvyitys							
	+ 20 %	- 20 %	+ 20 %	- 20 %	+ 30 %	- 30 %						
Käyttöarvon suhteellinen muutos (%)												
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
MäTyvi & MäT	28,4	3,9	-26,7	-3,5	-10,4	-1,2	6,8	1,1	5,8	1,0	-9,3	-1,0
MäTyvi, MäT & MäPT	25,2	4,3	-25,1	-4,1	-8,2	-1,3	10,0	1,5	9,2	1,3	-8,4	-0,6
MäPT	41,8	0,4	-49,5	-0,4	-0,8	-0,1	12,3	0,1	19,3	0,2	-16,5	-0,1
MäPylväs	23,3	5,8	-42,7	-5,4	-7,0	-1,4	6,3	1,7	0,4	0,4	-2,8	-0,4
KuT & KuPT	21,0	4,2	-21,9	-4,7	-6,5	-1,4	5,4	1,2	6,5	1,4	-7,5	-1,6
KuSorvi	22,0	7,9	-23,4	-8,1	-10,0	-3,5	9,6	3,4	10,7	3,8	-11,1	-3,9
KuT	19,6	3,3	-25,9	-4,0	-8,6	-1,4	6,3	0,9	7,1	1,1	-9,7	-1,4
KuPT	41,1	0,8	-21,9	-0,7	-0,3	-0,2	6,7	0,1	22,7	0,3	-7,2	-0,2

Mäntyrungon käyttöarvoa läpimittaluokittaisesti tarkastellen suurimmat suhteelliset arvonmuutokset ilmenivät rinnankorkeusläpimittaluokissa 13–17 cm, kun apteerattiin tukin lisäksi myös pikkutukkeja (kuva 6). Muutokset tuotehinnoissa aiheuttivat suhteellisesti suurimmat arvonmuutokset, noin  $\pm 20$  %. Sivutuotteiden hintojen ja valmistuskustannusten muutoksilla oli  $\pm 4$ –6 % vaikutus.

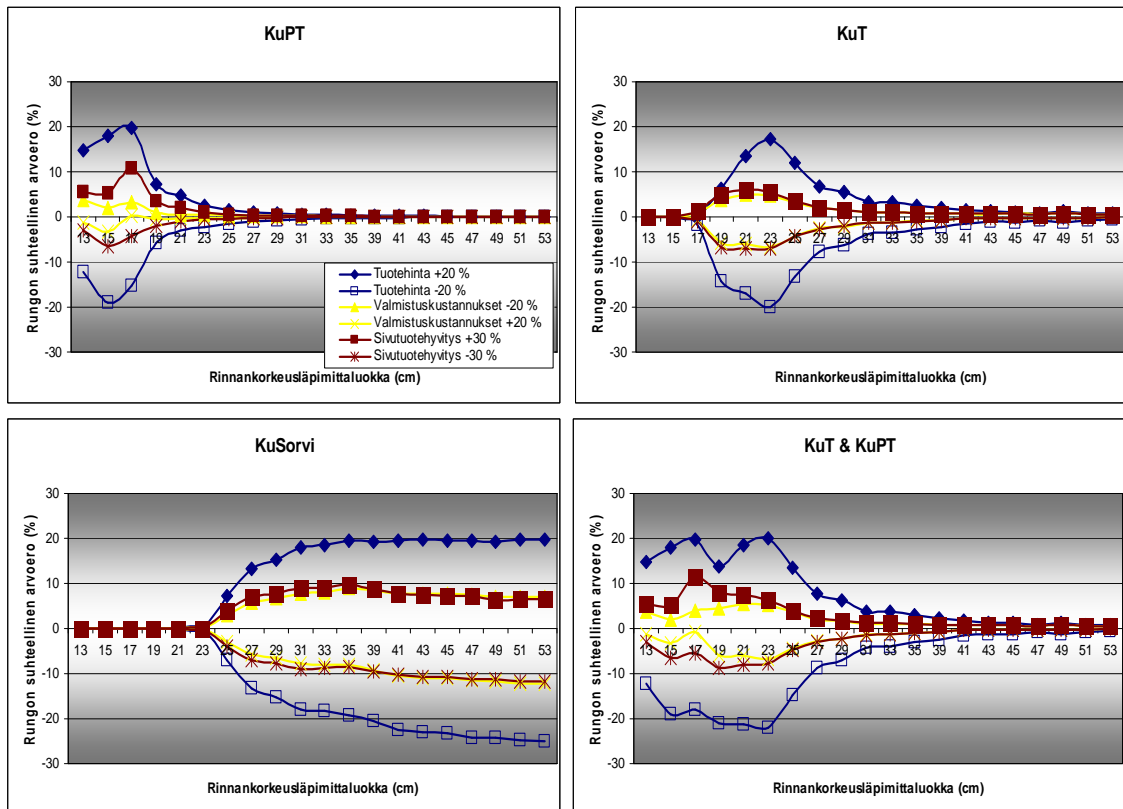
Mäntyrungon käyttöarvon muutokset olivat kaksitahoisia mäntytukin ja -tyvitukin sisältäneessä apteerausvaihtoehdossa. Muutokset olivat suurimmillaan yhtäältä pienissä rinnankorkeusläpimittaluokissa eli 19–23 cm mutta toisaalta myös suurissa luokissa eli 41–47 cm. Tällöin tuotehintojen muutokset aiheuttivat 10–20 prosentin ja valmistuskustannusten tai sivutuotteiden hintojen muutokset alle 10 prosentin arvonmuutoksia. Kun edelliseen apteerausvaihtoehtoon lisättiin vielä pikkutukki, runkojen käyttöarvot muuttuivat lähinnä vain pienimmässä läpimittaluokissa. Pelkkiä tyvitukkeja apteerattaessa arvonmuutokset olivat pieniä rinnankorkeusläpimittaluokissa alle 39 cm, korkeintaan 4 %, mutta suuria näitä suuremmissa luokissa (11–15 %). Mäntypylväitä apteerattaessa muutoksia ilmeni 23–41 cm:n rungoissa, suhteellisesti suurimpina rinnankorkeusläpimittaluokissa 31–33 cm valmiiden pylväiden hintojen muutosten kautta, noin  $\pm 18$  %. Tuotteiden valmistuskustannukset vaikuttivat runkojen käyttöarvoihin eri apteerausvaihtoehdoissa korkeintaan 4–9 % ja sivutuotteiden hinnat vain 1 %.

Myös kuusirungoilla suhteelliset käyttöarvon muutokset painoutuivat pikkutukkeja apteerattaessa pienimpiin rinnankorkeusläpimittaluokkiin eli 13–17 cm (kuva 7). Kuusipikkutukeista saatavan sahatavaran hintojen muutosten vaikutus kuusirungon suhteelliseen arvoon oli enintään 20 % (luokissa 15 ja 17 cm), sivutuotteiden hintojen muutosten vaikutukset 6–10 % (luokissa 15 ja 19 cm) ja valmistuskustannusten muutosten vaikutukset alle 3 %. Kuusitukkeja apteerattaessa muutokset alkoivat niistä läpimittaluokista, joihin ne loppuivat pikkutukkeja apteerattaessa. Tällöin suurimmat muutokset ilmenivät rinnankorkeusläpimittaluokissa 21–25 cm. Tuotteiden hintojen muutokset aiheuttivat 15–20 prosentin ja valmistuskustannusten ja sivutuotteiden hintojen muutokset kumpikin 4–6 prosentin muutoksen kuusirungon käyttöarvossa.



**Kuva 6.** Mäntyrungon käyttöarvon suhteelliset muutokset rinnankorkeusläpimittaluokittain verrattuna peruslaskennassa käytettyyn tasoon tuotehintojen, valmistuskustannusten ja sivutuotehyvitysten muuttuessa tarkasteltavalla puutavaralajilla tai niiden yhdistelmillä.

Kuusisorvitukkeja apteerattaessa tuotteiden hintojen, valmistuskustannusten tai sivutuotteiden hintojen muutokset alkoivat vaikuttaa yksittäisen rungon käyttöarvoihin rinnankorkeusläpimittaluokasta 25 cm alkaen. Kuusivanerin hinnanmuutokset aiheuttivat 20–22 prosentin ja valmistuskustannusten tai sivutuotteiden hintojen muutokset kumpikin 8–11 prosentin muutokset rungon käyttöarvossa rinnankorkeusläpimittaluokasta 35 cm ylöspäin. Kuusitukin ja -pikkutukin yhdistelmässä rungon käyttöarvon muutokset olivat yhdistelmä erillisistä kuusitukin ja kuusipikkutukin apterauksista. Tällöin rungon käyttöarvon muutokset alkoivat rinnankorkeusläpimittaluokasta 13 cm ja jatkuivat luokkaan 25 cm, jonka jälkeen muutokset alkoivat pienentyä. Yli 35 cm:n läpimittaluokissa rungon käyttöarvon muutokset olivat enää vähäisiä niin tuotehintojen, valmistuskustannusten kuin sivutuotteiden hintojen muuttuessa.



**Kuva 7.** Kuusirungon käyttöarvon suhteelliset muutokset rinnankorkeuslähimittaluokittain verrattuna peruslaskennassa käytettyyn tasoon tuotehintojen, valmistuskustannusten ja sivutuotehytyysten muuttuessa tarkasteltavalla puutavaralajilla tai niiden yhdistelmällä.

#### 4.4 Leimikoiden arvoerot ostajatyypeittäin

Leimikoiden myyntiarvon vaihtelun määrittämiseksi ostajatyypeittäin vertailtiin tyypillisten puunostajien hypoteettisia ostotarjouksia tutkimuksen päätehakkuu- ja harvennusleimikoilla. Puunostajat luokiteltiin teoreettisiin ostajatyyppeihin, joilla tarkoitettiin erilaisilla puutavaralajivalikoimilla tai erilaisilla puutavaralajien mitoilla puuta pystykaupoilla ostavia teollisuusyrityksiä. Ostajatyypien erot niiden leimikoista tarjoamissa kokonaishinnoissa suhteutettiin ns. perusostajan tarjoamiin hintoihin.

Vertailut ostajatyypit olivat:

- perusostaja (vertailukohde, tukkipituudet 4,0–5,5 m)
- perusostaja laajennetuilla tukkipituuksilla (3,1–6,1 m)
- pikkutukkisaha (tukkipituudet 3,7–5,2 m)
- mäntyerikoispuun ostaja (pylväs)
- sorvikuusen ostaja
- sorvikuusen ostaja, joka hankkii myös kuusen pikkutukkia

Kaikilla ostajatyypeillä oli ostettavana puutavaralajeina perusmittainen tukki ja kuitupuu. Ostajien väliset erot olivat oletetuissa suhtautumisissa puutavaralajien lisäämisen tai niiden mittojen laentamiseen (laajennettu tukkipituus). Peruspuutavaralajien mitta- ja laatuvaatimukset olivat samat kaikilla ostajatyypeillä.

Mäntyvaltaisissa pätehakkuuleimikoissa korkeimman myyntihinnan suhteessa perusostajan mukaiseen myyntihintaan nähden olisi tarjonnut erikoispuun eli pylvään ostaja. Tällöin kantorahatulo olisi kohonnut tällä aineistolla laskettuna keskimäärin 3 % korkeammaksi kuin vertailukohtana olevalla perusostajalla. Pylväspuiden tarjoaminen kannattaisi keskittää hyvälaatuisiin mäntyvaltaisiin leimikoihin, joissa mäntyjen keskiläpimitta on noin 27–29 cm ja keskijäreys 500–700 dm<sup>3</sup>. Myös laajennetulla tukkipituudella mäntytukkia ostava yritys olisi tarjonnut keskimäärin yli 2 % korkeamman myyntihinnan mäntyvaltaisista leimikoista kuin perusostaja. Korkein kantorahatulon lisä, 7 %, olisi tällöin muodostunut rungon keskiläpimitaltaan noin 21 cm:n ja keskijäreydeltään 300–400 dm<sup>3</sup>:n leimikoissa. Pikkutukkisaha olisi saattanut tuoda kantorahatuloon pienen, vain noin yhden prosentin lisän pätehakkuuleimikoissa. Korkeimmat 3 prosentin hintalisät olisivat esiintyneet pienipuustoisimmissa leimikoissa.

Kuusivaltaisissa pätehakkuuleimikoissa sorvikuusta yhdessä pikkutukin kanssa hankkiva ostaja olisi tarjonnut keskimäärin yli 2 % korkeamman kantorahatulon kuin perusostaja, kun pelkän sorvikuusen myyntiarvoa kohottava vaikutus olisi ollut 1,3 %. Sorvikuusen ja kuusipikkutukin ostaja olisi saattanut tarjota tasaisesti 1–2 % korkeamman myyntihinnan pätehakkuuleimikoissa rungon kokoluokasta riippumatta. Myös laajennettua tukkipituutta käyttävä kuusisaha olisi maksanut keskimäärin 2 % korkeamman myyntihinnan leimikosta. Männyn tavoin korkeimmat 3–4 %:n hintalisät olisivat ilmenneet pienipuustoisissa leimikoissa.

Ostajatyypin vaikutusta leimikon myyntiarvoon tarkasteltiin myös harvennusmäntyleimikoiden aineistolla, joka käsitti toisen harvennuksen verraten hyvälaatuisia leimikoita (luku 2). Tässä aineistossa harvennus simuloitiin tietokoneohjelmalla Niemistön (1992) puuston runkolukuun ja pohjapinta-alalla painotettuun keskiläpimittaan pohjautuvien harvennusmallien perusteella. Harvennus toteutettiin laatuharvennusperiaatteella alaharvennukseen pohjautuen. Harvennusmänniköiden puuston keskitilavuus oli ennen hakkuuta 215 m<sup>3</sup>/ha ja mäntypuuston laskennallinen poistuma harvennuksessa oli 56 m<sup>3</sup>/ha.

Aineiston varttuneissa, hyvälaatuisissa harvennusmäntyleimikoissa mäntypikkutukkia ostava saha olisi tarjonnut lähes 8 % korkeamman kantorahatulon kuin ainoastaan normaalikokoista tukkia ja kuitupuuta hankkiva perusostaja. Arvoero oli suurimmillaan eli 15 % keskiläpimitaltaan 15 cm:n harvennusmänniköissä. Myös laajennettua tukkipituutta käyttävä saha olisi tarjonnut keskimäärin 4 % korkeamman myyntihinnan perusostajaan verrattuna ja pieniläpimittaisissa leimikoissa ero olisi saattanut olla jopa 6–9 %. Tutkimuksessa käytetyt mäntypylväiden mitta- ja laatuvaatimukset eivät mahdollistaneet lisäarvoa myytävälle harvennusmäntyleimikolle, mutta näitä pienempiä pylviäitä hankittaessa leimikon kantorahatulo saattaa kohota merkittävästi perusostajan tasosta.

#### 4.5 Tukkipuuhennyksen ennustamisen tarkkuus Mela-ohjelmalla

Leimikon puutavaralajikertymän ennustamiseksi on kehitetty useita eri menetelmiä (esim. Nyyssönen & Ojansuu 1982, PMP-ohje 1987, Maltamo & Uuttera 1994, Kangas & Maltamo 2002), mutta tukkitilavuuden tarkka ennustaminen erilaisilla katkontaohjeilla ja puuston laatu huomioon ottaen on vaikeaa. Tutkimustulokset katkontaohjeiden vaikutuksesta tukkisaantoon ovat vähäisiä (Piira ym. 2007). Puuston vikaisuuden vaikutusta tukkisaantoon on kuitenkin tutkittu jossain määrin (mm. Vähäsaari 1988, Mehtätalo 2002).

VACHA-tutkimuskonsortiossa selvitettiin MELA-ohjelmistossa käytössä olevien tukkipuuhennyksmallien, MELA96-version (Siitonen ym. 1996, Redsvén ym. 2005) ja MELA05-version



(Mehtätalo 2002, Redsvén ym. 2005) toimivuutta empiirisellä leimikkoaineistolla ja puuston vikaisuuden huomioon ottavalla apterauksen simulointiohjelmalla (Malinen ym. 2007). Apteerauksen simuloinnissa käytetyt mittavaatimukset perustuivat MELA-mallien laskennassa käytettyihin mitta- ja laatuvaatimuksiin (taulukko 13). Mallien testiaineistoksi valittiin 87 päätehakkuuleimikkoa Arvonmuodostus -hankkeen aineistosta (kuva 2).

Vertailtaessa MELA96- ja MELA05-versioiden tukkivähennysmalleilla saatavia tukkisaantoja apterauksen simuloinnilla saatuihin tukkisaantoihin ilmeni, että MELA96-mallilla saatujen tulosten hajonta oli silmiinpistävästi pienempi (taulukko 14, kuvat 8 ja 9). MELA05-malli ennusti vaihtelua huomattavasti paremmin, joskin tasoltaan MELA96-malli vastasi paremmin apterauksen simuloinnin tuloksia, etenkin männyllä. Kuusen osalta luotettavaa vertailua häiritsi mittauksessa havaitsematta jäänyt tyvilahoisuus.

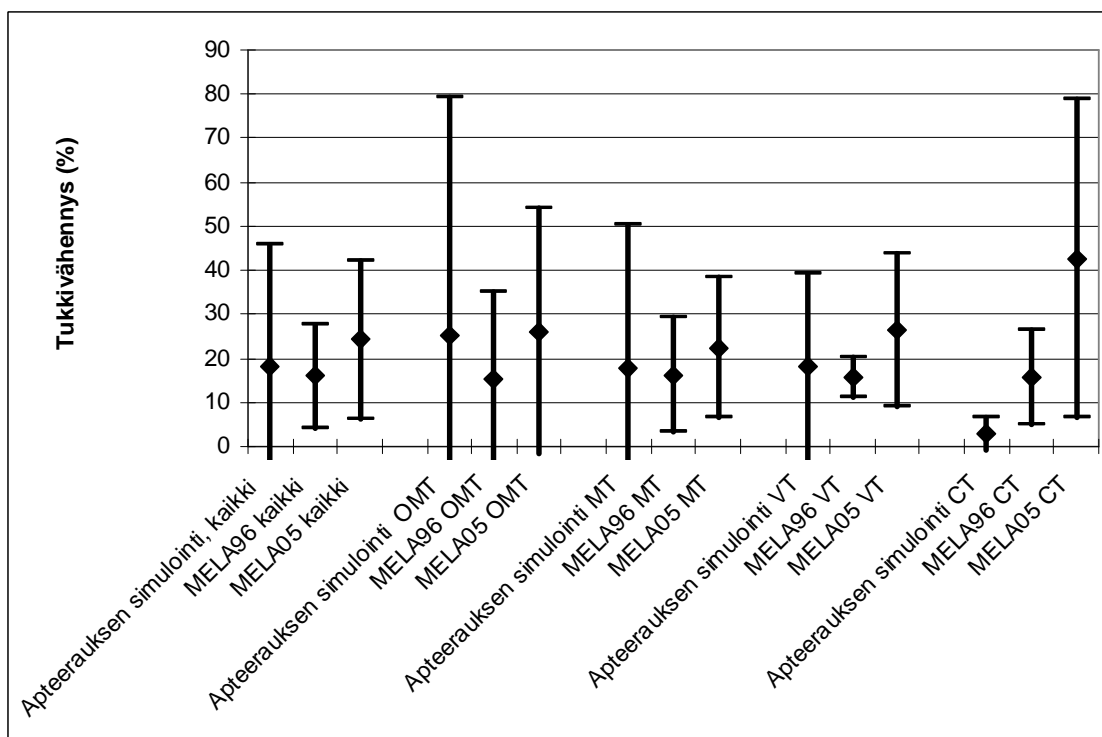
Tulosten perusteella MELA05-tukkivähennysmalleja voidaan pitää MELA96-malleja parempina, sillä leimikoiden välinen hajonta saadaan niillä paremmin esiin. Kuitenkin erityisesti hyvälaatuisissa männiköissä MELA96-malli tuottaa tasoltaan parempia ennusteita uuden mallin yliarvioidessa tukkivähennystä. Kaikkialla hyvin toimivan, yleispätevän tukkivähennysmallin kehittäminen lienee mahdotonta, mutta tietyille metsikkötyypeille kohdennettujen mallien kehittämisessä on edelleenkin työsarkaa.

**Taulukko 13.** Puutavaralajikertymien laskennassa käytetyt mittavaatimukset. Sallitut sahatukien mitat perustuivat 3 dm:n moduulimittoihin lyhyimmän ja pisimmän pituuden välillä. Kuitupuulle sovellettiin vapaakatkontaa, jolloin kuitupuusa voitiin katkaista haluttuun pituuteen lyhyimmän ja pisimmän pituuden väliltä.

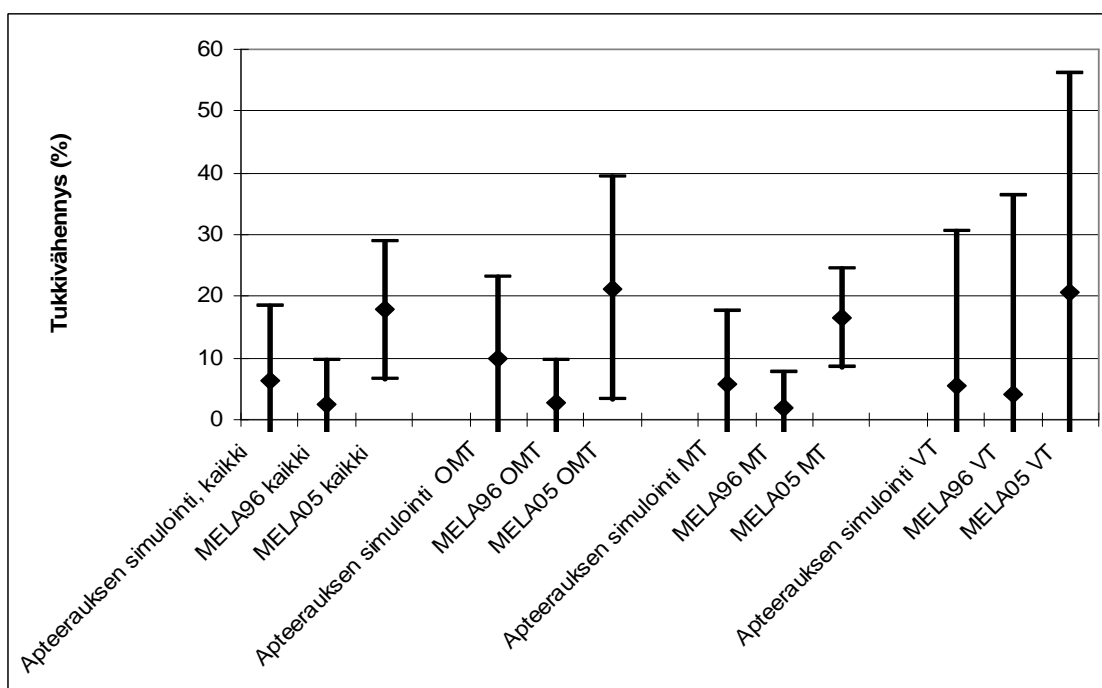
Puulaji	Sahatukit		Kuitupuu	
	Minimiläpimitta (cm)	Pituus (m)	Minimiläpimitta (cm)	Pituus (m)
Mänty	14,5	4,3–6,1	6,3	2,0–5,5
Kuusi	17,0	4,3–6,1	6,5	2,0–5,5
Koivu	16,5	4,3–6,1	6,5	2,0–5,5

**Taulukko 14.** Tukkisaannot ja tukkivähennykset keskiarvoina ja keskihajontoina männyn ja kuusen päätehakkuuleimikoissa MELA96- ja MELA05-malleilla ja apterauksen simuloinnilla laskettuina.

	MELA96		MELA05		Apteerauksen simulointi	
	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
<b>Mäntyleimikot</b>						
Tukkisaanto (m <sup>3</sup> /ha)	100,7	61,4	87,8	54,4	103,4	68,9
Tukkisaanto (%)	70,9	7,8	62,8	11,0	71,4	15,2
Tukkivähennys (%)	16,0	6,0	24,3	9,2	18,2	14,1
<b>Kuusileimikot</b>						
Tukkisaanto (m <sup>3</sup> /ha)	140,0	88,0	110,8	72,7	131,4	83,6
Tukkisaanto (%)	71,9	11,7	56,5	12,3	67,8	14,6
Tukkivähennys (%)	2,4	3,7	17,8	5,7	6,4	6,2



**Kuva 8.** Teoreettisesta tukkisaannosta puuston vikaisuuden vuoksi tehtävät keskimääräiset tukkivähennykset 95 prosentin luottamusväleineen päätehakkuumänniköissä kasvupaikkaluokittain apteerauksen simuloinneilla ja MELA96 ja MELA05-malleilla laskettuina.



**Kuva 9.** Teoreettisesta tukkisaannosta puuston vikaisuuden vuoksi tehtävät keskimääräiset tukkivähennykset 95 prosentin luottamusväleineen päätehakkuukoosikoissa kasvupaikkaluokittain apteerauksen simuloinneilla ja MELA96- ja MELA05-malleilla laskettuina.

## 4.6 Leimikon puuston ominaisuuksien ja hakkuukertymän ennustaminen

### 4.6.1 Puutavaralajijakauman mallipohjainen ennustaminen

Leimikon myyntiarvon ennustamiseksi tarvitaan ennuste puutavaralajikertymästä tavaralajeittain sekä yksikköhinnat eri tavaralajeille. Yksinkertaisimmillaan tavaralajihinnoittelua käytettäessä riittävät arviot puulajeittaisista tukki- ja kuitupuusaannoista sekä hinnat näille puutavaralajeille. Puutavaralajien kantohintojen vaihdellessa myynti- tai ostoajankohdan, leimikon ominaisuuksien ja ostajan mukaan mielenkiinto kohdistuu puutavaralajikertymien ennustamiseen.

Leimikosta saatavan puutavaralajikertymän käyttöarvon ennustaminen vaatii yleensä myyntiarvolaskelmia tarkempaa tietoa sekä puutavaralajikertymän rakenteesta että kustakin katkotusta puutavaralajikappaleesta saatavasta arvonnalisästä. Puun käyttöarvo vaihtelee myös puun käyttäjän mukaan, jolloin leimikon ominaisuuksien ja katkontatuloksen ennustaminen on tärkein tehtävä myös käyttöarvon määrittämisen kannalta.

Leimikon arvonnmuodostus -hankkeessa laadittiin mallit männyn ja kuusen päätehakkuiden puutavaralajikertymien ennustamiseksi (Malinen ym. 2010). Malleilla ennustetaan puutavaralajikertymiä ottaen huomioon leimikoiden puulajisuhteiden sekä kokojakauman lisäksi katkontaohjeet ja leimikoiden vikaisuus apterauksen kannalta. Mallien laadinnassa käytetyt katkontaohjeet on esitetty taulukossa 15.

Mallien laadinnan periaatteena oli käyttää helposti maastossa mitattavia selittäviä muuttujia (taulukko 16). Selitettävän muuttujan logaritmia tavaralajien saannon ennustajana käytettäessä lisätään malliin harhattomuuskorjaus ennen logaritmin palautusta (Baskerville 1972). Tämä on esimerkiksi männyn malliketjun 1 järeiden puutavaralajien osuuden tapauksessa (taulukko 17) estimoitujen varianssikomponenttien summa ( $S_{e_e}$ )<sup>2</sup> jaettuna kahdella ( $0,30^2/2 = 0,045$ ). Kaikki järeiden puutavaralajien osuuden ja pikkutukkien osuuden mallit sisältävät tämän korjauksen.

Mallit laadittiin malliketjuina männyllä viidelle ja kuusella neljälle eri puutavaralajien yhdistelmälle (taulukot 17 ja 18). Ensimmäisellä mallilla ennustettiin aina sahauskelpoisen, vähintään sahatukin minimilatvaläpimitan täyttävän järeiden puutavaralajien hakkuukertymän osuus kokonaistilavuudesta. Toisessa vaiheessa mallinnettiin sahauskelpoisesta hakkuukertymästä eri puutavaralajien osuudet ja kolmannessa vaiheessa mallinnettiin mahdollisen pikkutukin kertymä kokonaishakkuukertymästä. Kuitupuun kertymää ei mallinnettu erikseen, vaan jäljelle jäävä osuus hakkuukertymästä jakaantui kuitu- ja energiapuuhun.

Männyllä vikaisuuden vaikutus tukkien saantoon on yleisesti suurta (Piira ym. 2007). Tämä heijastui männyn puutavaralajikertymien mallintamisen vaikeutena ( $R^2 = 0,32-0,72$ , taulukko 17). Pylväiden saannon ennustaminen ( $R^2 = 0,34$ ) oli erityisen hankalaa johtuen käytännössä subjektiivisesti sovellettavista laatuvaatimuksista pylväspuita ennakkoon leimattaessa. Pylväiden saannon laskennallisia ennusteita voidaankin pitää varsin teoreettisina. Niin ikään on huomattava, että tyvitukkia sisältävien apterausten aineistoina käytettiin vain Kaakkois-Suomesta mitattuja 61 leimikkoa (kuva 2), joiden rungoista oksattoman tyven osuus oli määritetty.

Kuusella malliketjut toimivat varsin hyvin ( $R^2 = 0,69-0,81$ ), erityisesti hyvälaatuisilla tukki-leimikoilla, ja malliketjut antoivat selvästi männyn malliketjuja luotettavampia ennusteita (taulukko 18). Mallit ennustivat puutavaralajeittaisia kertymiä heikoimmin huonolaatuisissa tukki-leimikoissa vikaisten runkojen vuoksi mutta myös pieniläpimittaisissa, juuri tukkipuun mitat täyttävissä leimikoissa.

**Taulukko 15.** Apteerauksen simuloinneissa käytettyjen puutavaralajien hinnat, minimiläpimitat sekä sallitut pituudet.

Puutavaralaji	Yksikköhinta (€/m <sup>3</sup> )	Minimiläpimita (cm)	Sallitut tukkipituudet (dm)
Mänty			
Sahatukit	46	14, 15, 16	31–61
Tyvitukit	50	18, 20, 22	31–61
Pylväät	50	17	91–111
Pikkutukit	20	10, 12	31–52
Kuitupuu	12	5–8	27–55
Kuusi			
Sahatukit	45	15, 16, 17	31–61
Sorvitukit	47	22	52
Pikkutukit	28	10, 12	31–52
Kuitupuu	20	6–9	27–55

**Taulukko 16.** Männyn ja kuusen puutavaralajikertymien ennustemalleissa käytetyt muuttujat.

Muuttuja	Kuvaus
<i>OMT</i>	Lehtomainen kangas
<i>MT</i>	Tuore kangas
<i>Nc</i>	Pohjoiskoordinaatti
<i>Ec</i>	Itäkoordinaatti
<i>Pl</i>	Dummy-muuttuja maaluokalle turvemaa
<i>Age</i>	Metsikön ikä (v)
<i>G</i>	Metsikön pohjapinta-ala (m <sup>2</sup> /ha)
<i>D<sub>25</sub></i>	Alakvartiilipuun rinnankorkeusläpimita (cm)
<i>D<sub>gM</sub></i>	Pohjapinta-alamediaanipuun rinnankorkeusläpimita (cm)
<i>D<sub>75</sub></i>	Yläkvartiilipuun rinnankorkeusläpimita (cm)
<i>H<sub>25</sub></i>	Alakvartiilipuun pituus (m)
<i>H<sub>gM</sub></i>	Pohjapinta-alamediaanipuun pituus (m)
<i>H<sub>75</sub></i>	Yläkvartiilipuun pituus (m)
<i>LQ</i>	Dummy-muuttuja puuston huonolle laadulle (vikoja sisältävien puiden osuus yli 30 prosenttia)
<i>LQ<sub>b</sub></i>	Dummy-muuttuja puuston oksaisuudesta johtuvalle huonolle laadulle (oksaisuusvi-an sisältävien puiden osuus yli 35 prosenttia)
<i>LQ<sub>s</sub></i>	Dummy-muuttuja puuston lenkoisuudesta tai mutkaisuudesta johtuvalle huonolle laadulle (muotovikoja sisältävien puiden osuus yli 40 prosenttia)
<i>T<sub>db</sub></i>	Paksuimman oksan korkeus (m) rungolla (pohjapinta-alalla painotettu keskiarvo)
<i>H<sub>db</sub></i>	Rungon kuollutoksaisen vyöhykkeen alaraja (m) (pohjapinta-alalla painotettu keskiarvo)
<i>D<sub>min</sub></i>	Tukkien minimiläpimita (cm)
<i>L<sub>min</sub></i>	Tukkien minimipituus (dm)
<i>D<sub>bmin</sub></i>	Tyvitukkien minimiläpimita (cm)
<i>D<sub>smin</sub></i>	Pikkutukkien minimiläpimita (cm)
<i>SL%</i>	Järeiden puutavaralajien osuus kokonaistilavuudesta (%)*
<i>BL%</i>	Tyvitukkien osuus järeiden puutavaralajien tilavuudesta (%)
<i>P%</i>	Pylväiden osuus järeiden puutavaralajien tilavuudesta (%)
<i>V%</i>	Sorvitukkien osuus järeiden puutavaralajien tilavuudesta (%)
<i>SDL%</i>	Pikkutukkien osuus käyttöosan tilavuudesta (%)

\* Järeiden puutavaralajien osuudella tarkoitetaan sahatukkien, tyvitukkien, sorvitukkien ja/tai pylväiden yhteistä osuutta ao. apteerausvaihtoehdossa.

**Taulukko 17.** Regressiomallit männyn puutavaralajikertymille. Malliketjujen puutavaralajit: 1: tukki; 2: tukki ja pikkutukki; 3: tukki ja tyvitukki; 4: tukki, tyvitukki ja pikkutukki; 5: tukki ja pylväs.

	Malliketju				
	1	2	3	4	5
n	28637	6353	4914	871	557
Järeiden puutavaralajien osuus rungon käyttöosan tilavuudesta (%)					
Selitettävä muuttuja	ln(100- SL%)	ln(100- SL%)	ln(100- SL%)	ln(100- SL%)	ln(100- SL%)
Vakio	10,902	11,763	3,646	3,666	12,475
LQ <sub>b</sub>	0,324	0,349			0,357
LQ <sub>s</sub>	0,282	0,291	0,333	0,331	0,285
ln(D <sub>25</sub> )	-1,522	-1,710	-0,467	-0,473	-1,687
Nc	-7,77*10 <sup>-7</sup>	-8,50*10 <sup>-7</sup>			-8,62*10 <sup>-7</sup>
Pl	0,149	0,179			0,164
T <sub>db</sub>	-0,024	-0,024	-0,020	-0,020	-0,024
H <sub>db</sub>	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
D <sub>min</sub>	0,107	0,115	0,106	0,106	0,118
L <sub>min</sub>	0,019	0,020			
OMT			0,371	0,369	
MT			0,132	0,131	
H <sub>75</sub>			-0,032	-0,032	
S <sub>ee</sub>	0,30	0,31	0,32	0,32	0,32
R <sup>2</sup>	0,63	0,63	0,44	0,44	0,61
Tyvitukkien tai pylvaiden osuus järeiden puutavaralajien tilavuudesta (%)					
Selitettävä muuttuja			BL%	BL%	P%
Vakio			-63,651	-119,682	-74,295
Ec			1,92*10 <sup>-5</sup>	1,99*10 <sup>-5</sup>	
G			-0,405	-0,348	
Age			0,108	0,106	
LQ <sub>b</sub>			6,759	7,875	
D <sub>blmin</sub>			-2,769		
LQ <sub>s</sub>					-10,206
D <sub>75</sub>					-1,431
T <sub>db</sub>					1,334
ln(D <sub>25</sub> )			28,120	27,195	43,373
S <sub>ee</sub>			7,40	6,53	12,52
R <sup>2</sup>			0,55	0,54	0,34
Pikkutukkien osuus rungon käyttöosan tilavuudesta (%)					
Selitettävä muuttuja		ln(SDL%+0,5)		ln(SDL%+0,5)	
Vakio		10,826		1,974	
ln(D <sub>25</sub> )		-4,688		-3,100	
D <sub>sadmin</sub>		-0,264		0,150	
D <sub>min</sub>		0,590		0,512	
LQ <sub>b</sub>				-0,258	
S <sub>ee</sub>		0,49		0,94	
R <sup>2</sup>		0,72		0,32	

**Taulukko 18.** Regressiomallit kuusen puutavaralajikertymille. Malliketjujen puutavaralajit 1: tukki; 2: tukki ja sorvitukki; 3: sahatukki ja pikkutukki; 4: sahatukki, sorvitukki ja pikkutukki.

	Malliketju			
	1	2	3	4
n	27300	546	6554	3276
Järeiden puutavaralajien osuus rungon käyttöosan tilavuudesta (%)				
Selitettävä muuttuja	$\ln(100- SL\%)$	$\ln(100- SL\%)$	$\ln(100- SL\%)$	$\ln(100- SL\%)$
Vakio	4,439	4,159	4,338	4,284
$D_{25}$	-0,071	-0,074	-0,075	-0,071
$\ln(D_{gM})$	-0,797	-0,753	-0,771	0,755
$D_{min}$	0,146	0,151	0,150	0,144
$L_{min}$	0,015	0,017	0,014	0,016
LQ	0,237	0,251	0,251	0,239
$S_{ee}$	0,20	0,20	0,20	0,19
$R^2$	0,81	0,81	0,81	0,81
Sorvitukkien osuus järeiden puutavaralajien tilavuudesta (%)				
Selitettävä muuttuja		V%		V%
Vakio		-198,493		-212,593
$\ln(D_{gM})$		68,362		74,155
$H_{75}$		0,961		0,879
$S_{ee}$		7,96		7,71
$R^2$		0,69		0,72
Pikkutukkien osuus rungon käyttöosan tilavuudesta (%)				
Selitettävä muuttuja		$\ln(SDL\%+0,5)$		$\ln(SDL\%+0,5)$
Vakio		-1,964		-1,050
$SL\%^3$		$-1,36*10^{-6}$		$-1,07*10^{-6}$
$D_{gM}$		-0,075		-0,069
$D_{min}$		0,427		0,357
$S_{ee}$		0,30		0,23
$R^2$		0,82		0,84

#### 4.6.2 Puustotunnusten ja hakkuukertymän laserkeilainpohjainen ennustaminen

Mittaustiedon kerääminen maastosta on todettu usein joko liian kalliiksi ja työlääksi tai tietotarkkuudeltaan vaatimattomaksi sekä metsäinventoinnin että puunhankinnan suunnittelun tarpeisiin. Toisaalta ilma- ja satelliittikuvat eivät kykene tarjoamaan riittävän tarkkaa informaatiota luotettavan puustotietoennusteen tuottamiseksi, joten mielenkiinto on kohdistunut lentokoneeseen asennetun laserkeilaimen tuottaman korkeusinformaation käyttöön. Metsäntutkimuslaitoksen Leimikon arvonmuodostus -hankkeen ja Itä-Suomen yliopiston metsänarvioimistieteen tutkimusryhmän yhteistyönä testattiin laserkeilaimella hankitun metsävaratiedon soveltuvuutta leimikon ennakkotiedon hankintaan.

Laserkeilaimen toiminta perustuu siihen, että lentävässä aluksessa oleva ilmaisinoso tallentaa ja tulkitsee vastaanotetun signaalin sekä määrittää sen perusteella etäisyyden mitattavaan kohteeseen. Koska laserkeilaimen paikka määritetään tarkasti keilaushetkellä, voidaan yksittäisten

laserpulssien koordinaatit muuntaa korkeushavainnoiksi (XYZ) maanpäällisissä koordinaattijärjestelmissä. Mitattua laserpisteaineistoa kuvataan yleensä pulssitiheydellä, joka ilmoitetaan laserpulssien lukumääränä per neliömetri maanpinnalla. Laserkeilaimen tuottamasta pistemäisestä korkeustiedosta voidaan muodostaa jatkuvia pintamalleja, kuten maaston pintamalli (DTM, Digital Terrain Model) tai puiden pituutta kuvaavia pintamalleja (CHM, Canopy Height Model).

Maltamon ym. (2006b) tutkimuksessa testattiin ennakkotietolähteenä laserkeilaimen, ilmakuvien ja kuviotietokannan erillis- ja yhteiskäyttöä metsikön runkotilavuuden ennustamisessa ei-parametrisella k-MSN menetelmällä UPM-Kymmene Oyj:n omistamalla Matalasalon metsätalalla. Tulosten perusteella laserkeilaintekniikalla tuotetut ennusteet olivat erillistekniikoista selvästi parhaita, mutta lisäinformaatio muista lähteistä paransi edelleen ennusteita. Laserkeilain-, ilmakuva- ja maastotiedon avulla koealakohtaisesti laadittava runkotilavuuden ennuste parani 15 % verrattuna yksinomaan laserkeilaimella hankitun ennakkotiedon perusteella laadittuihin ennusteisiin. Kuviotiedon ja ilmakuvatiedon lisäkäyttö laserkeilainaineiston ohessa ei useinkaan aiheuta lisää materiaalikustannuksia, koska tiedot ovat joka tapauksessa olemassa. Tietolähteiden yhteiskäyttö parantaa metsäinventoinnin tehokkuutta.

Korhosen ym. (2008) tutkimuksessa testattiin laserkeilaimen käyttöä leimikon tukkitilavuuden ja tukkiosuuden ennustamisessa kohteena sekä teoreettiset ennusteet että malleilla lasketut puuston vikaisuuden vaikutukset sisältäneet tulokset Matalasalon tilalta kerätyllä aineistolla. Teoreettiset tukkitilavuudet laskettiin runkokäyriltä (Laasasenaho 1982) ja vikaisuus huomioitiin Mehtätalon (2002) tukkivähennysmalleilla. Testattavana menetelmänä käytettiin regressiomalleja, joissa hehtaarikohtaista tukkitilavuutta ennustettiin suoraan laserkeilaimen korkeusdatalla, sekä malleja, joissa ensin ennustettiin puuston keskitunnukset, kuten pohjapinta-ala, pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta ja korkeus, ja näiden tietojen pohjalta laskettiin Weibull-jakaumaa noudattava runkolukusarja ja tälle tukkitilavuudet. Menetelmillä saatuja tuloksia vertailtiin harvesterilla kerättyyn stm-dataan, josta saatiin todelliset tukkitilavuudet ja runkokäyriltä lasketut teoreettiset tukkitilavuudet. Suorat laseraineistoon pohjautuvat mallit tuottivat tyydyttävät estimaatit sekä teoreettiselle että todelliselle tukkitilavuudelle (RMSE 8,9 % ja 15,3 %), vaikkakin malleilla oli taipumusta yliarvioida tukkitilavuutta. Weibull-runkolukusarjaan pohjautuva lähestymistapa tuotti selvästi huonommat tulokset (RMSE 20,8 % ja 37,1 %).

Leimikon myynti- ja käyttöarvon vaihtelua selittävistä tekijöistä suurin yksittäinen selitysvaima on leimikon kokojakaumaa kuvaavilla muuttujilla. Leimikon kokojakauman ennustamista on tutkittu paljon (esim. Maltamo 1998, Mehtätalo 2004). Kokojakauman lisäksi puuston arvoon vaikuttavat suuresti alimman kuolleen oksan korkeus (erityisesti männyllä) ja latvusraja (esim. Malinen ym. 2010). Oksa- ja latvusrajan mittaaminen sekä ennustaminen ovat olleet perinteisesti erittäin työläitä ja vaikeita tehtäviä. Laserkeilaimella tuotetusta korkeusmallista voidaan kuitenkin tuottaa suhteellisen yksinkertaisesti latvusrajaa kuvaava tieto. Maltamon ym. (2006a) tutkimuksessa ennustettiin latvusrajan korkeutta Heinolan lähellä sijaitsevalta inventointialueelta kerättyä aineistoa hyväksikäyttäen. Tulosten perusteella laserkeilainpohjainen metsikkötason latvusrajan ennustaminen on tarkempaa kuin maastomittauksiin pohjautuvilla malleilla tapahtuva ennustaminen. Sen sijaan puutason latvusrajan ennustamisessa maastomittauksiin pohjautuvat mallit tuottavat tarkempia ennusteita.

Peuhkurisen ym. (2007) tutkimuksessa ennustettiin leimikon puutavaralajikertymää ja tukkijakaumaa Matalasalon tilalta kerätyllä aineistolla kuudella eri menetelmällä:

- Menetelmässä 1 ennusteet laadittiin laserkeilaimen yksinpuin tulkinnalla ja aineistolle laadituilla pituus-läpimittamalleilla.
- Menetelmässä 2 ennusteet laadittiin kuten menetelmässä 1, mutta pituus-läpimittamalleina käytettiin Kalliovirran ja Tokolan (2005) malleja.
- Menetelmässä 3 käytettiin myös Kalliovirran ja Tokolan (2005) malleja, mutta läpimitan selittäjänä käytettiin pituuden sijasta latvuksen maksimiläpimittaa.
- Menetelmä 4 pohjautui systemaattiseen koealaotantaan, jossa kultakin koealalta mitattiin kaikkien puiden läpimitat ja yhden puun pituus; muiden puiden pituudet laskettiin Veltheimin (1987) pituusmallilla kalibroituna kuviokohtaisella mittauksella.
- Menetelmässä 5 ennusteet perustuivat kuviottaiseen arviointiin. Kuvioiden puusto-ositteille muodostettiin jakaumamalleilla puujoukot, joiden puille kertymät laskettiin runkokäyrämallien avulla.
- Menetelmässä 6 käytettiin laserkeilaimella laadittua korkeusmallia, jonka perusteella ennustettiin puuston keskitunnukset ja näiden perusteella runkojoukko kuten menetelmässä 5.

Leimikon puutavaralajikertymäennusteiden luotettavuutta arvioitiin apteeraamalla sekä todellinen puujoukko että ennustepuujoukko apteeraussimulaattorilla ja vertaamalla saatuja tukkien läpimitta-pituusluokittaisia jakaumia jakauma-astetta käyttämällä. Jakauma-aste kertoo kuinka monta prosenttia kohdekuvion pölkyistä menetelmä sijoitti oikeaan pituus-läpimittaluokkaan.

$$Jakauma - aste = 1 - \frac{\sum_1^n |tavoite - toteutunut|}{2}$$

Jakauma-aste voidaan laskea läpi koko matriisin tai läpimittaluokittain. Jakauma-aste tunnuksen etuna on sen yksinkertaisuus ja havainnollisuus verrattaessa kahta erilaista pituus-läpimittajakaumaa. Vaikka jakauma-aste ei ole tunnuksena aina yksiselitteinen, käytettiin sitä tässä tutkimuksessa keskeisenä tunnuksena tukkijakaumaennusteiden hyvyyden, ja siten edelleen hakumuuttujien soveltuvuuden arvioimiseen.

Tulokset osoittivat laserkeilainpohjaisen yksinpuin tulkinnan edut verrattuna muihin testattuihin menetelmiin (taulukot 19 ja 20). Tutkimuksessa menetelmiä testattiin kuitenkin vain kahdella leimikolla, joten tulokset ovat vain alustavia ja suuntaa-antavia.



**Taulukko 19.** Hakattujen runkojen lukumäärä ja tukki- ja kuitupuun tilavuudet leimikolla hakukoneella mitattuna ja kuudella ennakkomittausmenetelmällä arvioituna.

Menetelmä	Aineisto	Hakattuja runkoja (kpl)	Tukkipuun tilavuus (m <sup>3</sup> )	Kuitupuun tilavuus (m <sup>3</sup> )
referenssi	harvesterin STM	2638	1267,08	254,81
1	laser	2561	1262,31	198,35
2	laser	2571	1105,95	206,86
3	laser	2570	1374,99	182,60
4	systemaattinen koealaotanta	3774	1456,68	228,83
5	kuvioittainen arviointi	1908	1322,69	143,80
6	laser	3067	1502,73	271,05

**Taulukko 20.** Jakauma-asteet ja läpimittaluokittaiset jakauma-asteet laskettuna korjuussa toteutuneiden ja ennustettujen tukkijakaumien välille.

Menetelmä	Aineisto	Jakauma-aste	Läpimittaluokittainen jakauma-aste
1	laser	93,95	98,70
2	laser	83,63	95,18
3	laser	90,51	97,98
4	systemaattinen koealaotanta	88,31	96,79
5	kuvioittainen arviointi	87,93	97,00
6	laser	84,98	95,83

#### 4.7 Esimerkkileimikot hakkuukertymistä ja arvonmuodostuksesta

Leimikon arvonmuodostus -hankkeen tavoitteisiin sisällytettiin empiiristen esimerkkileimikoiden muodostaminen eri puolille Suomea arvonmuodostuksen havainnollistamiseksi. Leimikoita perustettiin Pohjois-Karjalan ammattiopiston Valtimon yksikön hallinnoimille maille Valtimolle ja Varsinais-Suomen maaseutuoppilaitoksen Paimion Metsä- ja riistakoulutus -yksikön maille Paimioon, kumpaankin kohteeseen neljä leimikkoa (taulukko 21). Esimerkkileimikoita täydennettiin myöhemmin Keski-Suomen Metsäkeskuksen Laatu-puu -hankkeessa neljällä leimikolla. Kolme leimikoista sijoitettiin Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskuksen läheisyyteen Saarijärvelle ja neljäs leimikko yksityiselle metsätilalle Kyyjärvelle.

Esimerkkileimikoiden tarkoituksena on tuoda konkreettisesti esille erilaisten puutavaralajien yhdistelmien ja niiden pituus- ja läpimittojen vaikutukset leimikoiden hakkuukertymiin ja myyntiarvoon. Kohteita voidaan käyttää koulutukseen ja opetukseen metsäalan opiskelijoiden, metsätoimihenkilöiden ja metsänomistajien retkeilyillä ja koulutustilaisuuksissa. Koeleimikoiden puuston mittauksista, apterauksen simuloinnista, arvolaskennasta ja tulosten raportoinnin vastasi Metsäntutkimuslaitoksen Itä-Suomen alueyksikkö, Joensuu.

Koeleimikot rajattiin metsään kulmatolpilla. Tehtyjen puustomittausten perusteella jokaisesta koeleimikosta kuvattiin puustotiedot (rinnankorkeusläpimitta, pituus, pohjapinta-ala, tilavuus, teknisten vikojen esiintyminen ja määrä, yms.) ja puuston jakaantuminen erilaisiin puutavaralajeihin eri apterausvaihtoehdoilla. Apterauksen simuloinnit tehtiin erilaisilla puutavaralajien yhdistelmillä, ja tulokset ilmoitettiin puutavaralajien kertyminä (m<sup>3</sup>/ha) ja myyntiarvoina (€/ha).

**Taulukko 21.** Esimerkkileimikot puutavaralajien hakkuukertymästä ja arvonmuodostuksesta

Leimikko	Valta- puulaji	Runko- luku (kpl/ha)	Tilavuus (m <sup>3</sup> /ha)	Keski- läpimitta (cm)	Keski- pituus (m)	Keski- tilavuus (dm <sup>3</sup> )
Valtimo, 909	Mänty	365	243	28,5	21,3	666
Valtimo, 911	Mänty	500	276	25,5	20,5	552
Valtimo, 913	Kuusi	861	329	21,0	18,4	382
Valtimo, 914	Kuusi	560	344	25,2	22,1	614
Paimio, 310	Mänty	448	337	28,6	21,9	752
Paimio, 52	Kuusi	448	413	29,0	21,7	922
Paimio, 36	Kuusi	616	334	24,2	20,7	542
Paimio, 4	Mänty	676	230	21,5	17,5	341
Saarijärvi, Metsäkoulu	Mänty	256	298	34,4	25,5	1163
Saarijärvi, Särkilampi	Mänty	336	223	27,5	21,7	663
Saarijärvi, Kolkanlahti	Kuusi	424	407	29,6	25,3	959
Kyyjärvi, Ratiperä	Mänty	432	163	21,9	18,9	377

Lisäksi tehtiin herkkyystarkastelut tukkitavaralajien läpimittojen ja pölkkypituuksien vaikutuksesta puutavaralajikertymiin ja leimikon arvoon.

Tulokset esimerkkileimikoilla riippuivat kunkin leimikon puuston järeydestä ja laadusta. Tässä raportoidaan yhden Saarijärven Särkilammelle sijoitetun päätehakkuumännikön tulokset mallina esimerkkileimikoiden laskelmista.

Puustolle tehtiin apteerauksen simulointeja viidellä erilaisella puutavaralajien yhdistelmällä:

1. Sahatukki ja kuitupuu
2. Sahatukki, pikkutukki ja kuitupuu
3. Sahatukki, tyvitukki, pikkutukki ja kuitupuu
4. Sahatukki, tyvitukki, hirsitukki, pikkutukki ja kuitupuu
5. Sahatukki, tyvitukki, pylvä, pikkutukki ja kuitupuu

Puutavaralajien hinnat pohjautuivat laskenta-ajankohdan eli syksyn 2007 tilanteeseen jolloin myös tukkitavaralajeista maksetut hinnat olivat korkealla sahatavaran hyvästä markkinatilanteesta johtuen (taulukko 22). Sahatukin minimiläpimitta oli 15 cm, mutta latvaläpimitaltaan 18 cm ylittäneistä tukeista maksettiin korkeampaa hintaa. Pikkutukkeja voitiin tehdä 12 cm:n minimiläpimitasta lähtien ja hirsitukkeja 17 cm:n minimiläpimitasta lähtien. Saha-, pikku- ja hirsitukkien minimipituus oli 3,7 m. Tyvitukeissa A-laatuksen tukin minimiläpimitta oli 21 cm ja C-laatuksen 28 cm, molempien laatuksen minimipituus oli 2,8 m. Pylväiden A-laadun minimipituus oli 9,0 m ja C-laadun 8,0 m.

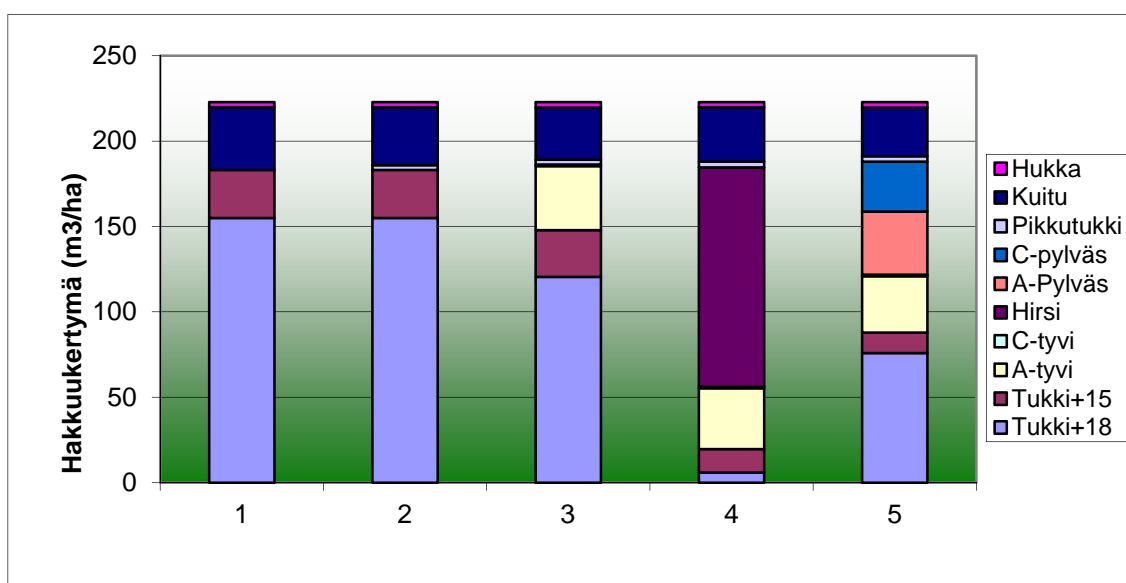
Apteerauksen simuloinneissa kokonaispoistuma oli kullakin puutavaralajien yhdistelmällä käytännössä sama, noin 220 m<sup>3</sup>, sillä kuitupuu voidaan apteerata vapaakatkonnessa käytännössä aina minimiläpimittaan saakka (kuva 10). Kuitupuun kokonaiskertymä vaihteli välillä 28,5–36,8 m<sup>3</sup>. Kuitupuun osuus oli pienimmillään pylvään ollessa mukana apteerattuna puutavaralajina ja suurimmillaan niin sanotussa perusapteeerauksessa, jossa apteerattiin vain sahatukkia ja kuitupuuta.

**Taulukko 22.** Esimerkkileimikoiden hakkuukertymien ja myyntiarvojen laskelmissa käytetyt puutavaralajit ja niiden yksikköhinnat.

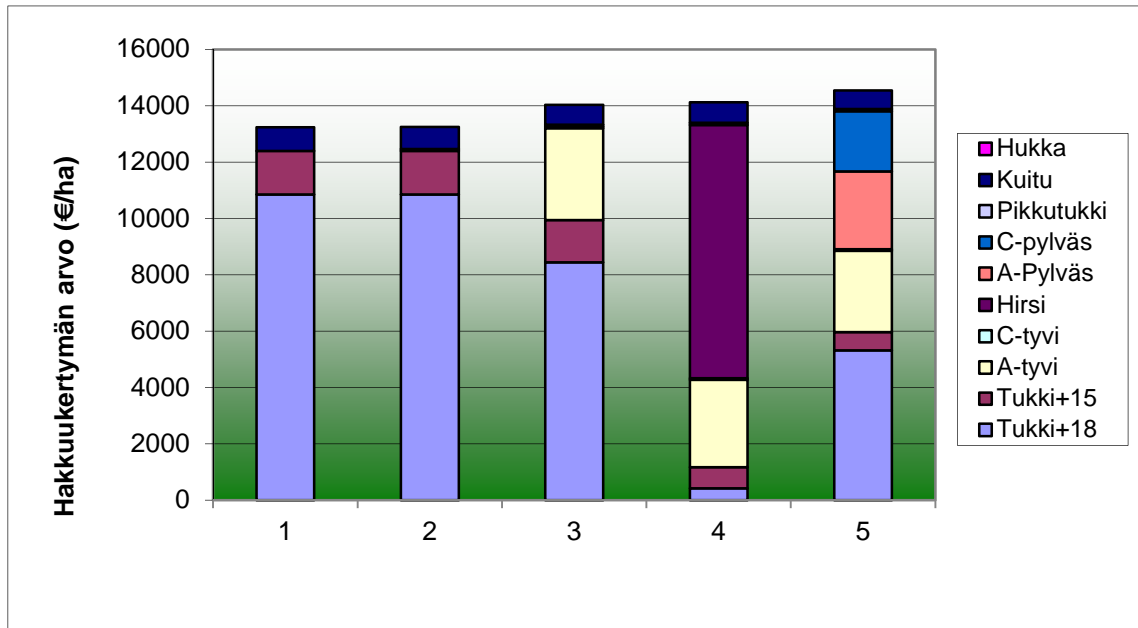
Puutavaralaji	Hinta, €/ m <sup>3</sup>
Sahatukki +18 cm	70
Sahatukki +15 cm	55
Tyvitukki A laatu	87
Tyvitukki C laatu	60
Hirsitukki	70
Pylväs A laatu	75
Pylväs C laatu	73
Pikkutukki	25
Kuitupuuh	23

Hakkuukertymän hehtaarikohtainen myyntiarvo vaihteli välillä 13240–14540 euroa. Myyntiarvo oli korkein pylvään sisältävässä apteerauksessa ja alhaisin perusapteerauksessa (kuva 11). Särkilammen esimerkkileimikon puusto oli suhteellisen hyvälaatuista, jolloin erikoispuutavaralajeilla voitiin saavuttaa selvä lisäys myyntiarvossa pelkän sahatukin ja kuitupuun apteeraukseen verrattuna.

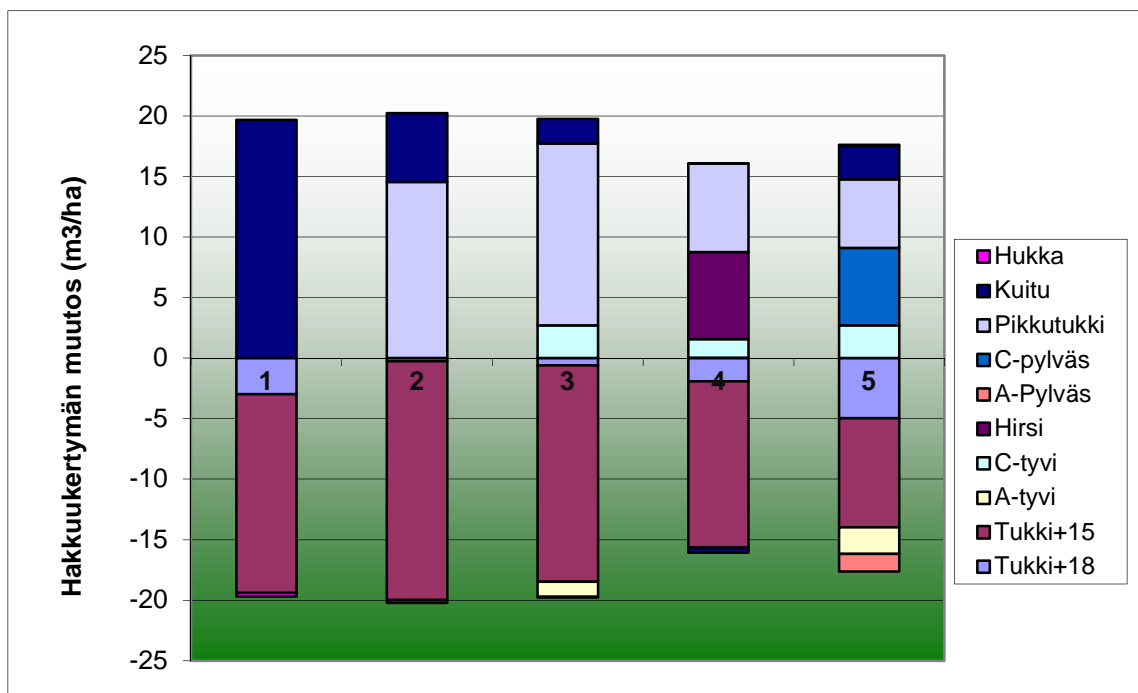
Edellä kuvattujen apteerausvaihtoehtojen lisäksi tarkasteltiin tilannetta jossa sahatukin minimiläpimittaa nostettiin 15 cm:stä 17 cm:iin, järeän sahatukin rajaa 18 cm:stä 20 cm:iin ja A-laatuisen tyvitukin minimiläpimittaa 24 cm:iin. Lisäksi sahatukin minimipituutta nostettiin 3,7:stä 4,3 m:iin (kuva 12). Järeimmistä puutavaralajeista siirtyi tällöin 15–20 m<sup>3</sup> kuitupuuhun ja pikkutukkiin, mutta myös C-laatuisiin tyvitukkeihin ja pylväisiin. Suurin muutos ilmeni odotetusti pelkän sahatukin ja kuitupuun apteerauksessa, jossa minimiläpimittojen ja -pituuksien kohottaminen johti 659 euron myyntitulon alenemiseen hehtaarilla (kuva 13). Pienimmillään myyntiarvon aleneminen oli hirsitukin sisältäneessä apteerauksessa 118 euroa hehtaarilla.



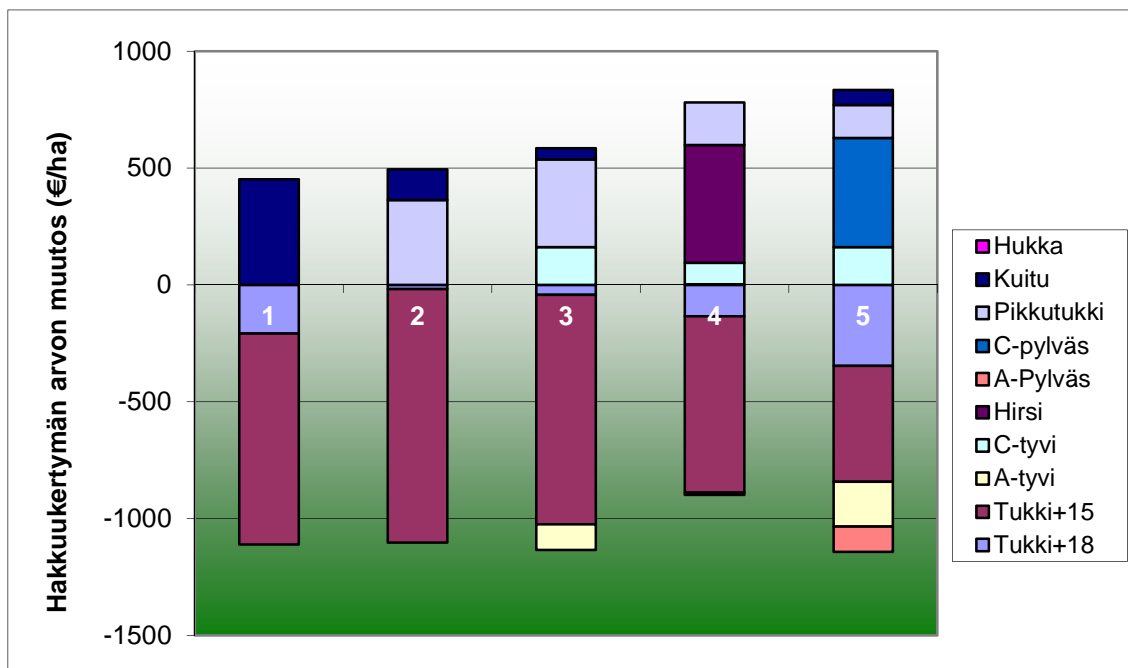
**Kuva 10.** Päätehakkuumännikköön sijoitetun esimerkkileimikon hakkuukertymät viidellä puutavaralajien yhdistelmällä Saarijärven Särkilammella.



**Kuva 11.** Päätehakuuikäntöön sijoitetun esimerkkileimikon hakuuikertymien hehtaarikohdainen myyntiarvo viidellä puutavaralajien yhdistelmällä Saarijärven Särkilammella.



**Kuva 12.** Saarijärven Särkilammelle päätehakuuikäntöön sijoitetun esimerkkileimikon hakuuikertymien muutokset kohotetuilla minimiläpimitoilla ja minimipituuksilla viidellä puutavaralajien yhdistelmällä. Grafiikkapylväiden positiivisella osalla ovat puutavaralajit joiden kertymät ovat kasvaneet ja negatiivisella osalla puutavaralajit joiden kertymät ovat pienentyneet.



**Kuva 13.** Saarijärven Särkilammelle päätehakuu-männikköön sijoitetun esimerkkileimikon hehtaarikohtaiset myyntiarvon muutokset kohotetuilla minimiläpimitoilla ja minimipituuksilla viidellä puutavaralajien yhdistelmällä. Grafiikkapylväiden positiivisella osalla ovat puutavaralajit, joiden kertymät ovat kasvaneet ja negatiivisella osalla puutavaralajit, joiden kertymät ovat pienentyneet.

## 5 Johtopäätökset ja tulosten soveltaminen

### 5.1 Hankkeen merkitys

Leimikon arvonmuodostus -hanke oli päänavaus suomalaisten tutkimuslaitosten ja yliopistojen piirissä puuraaka-aineen käyttöön ohjauksen ja runkojen katkonnan, puukaupan ostaja-myyjä päätöksentekotilanteiden ja leimikoiden puuston ominaisuuksien ja teknisen soveltuvuuden yhteyksistä ja vaikutuksista sekä puun myyjien että puun ostajien näkökulmasta katsottuna. Hankkeen päätavoitteena oli selvittää metsänomistajalle odotettavissa olevan myyntiarvon ja puun käyttäjälle odotettavissa olevan käyttöarvon vaihtelua leimikon ominaisuuksien ja katkontatavoitteiden mukaan. Tulokset sisälsivät myös analyysistä, mitkä leimikon ominaisuudet ovat kriittisimpiä puutavaralajikertymien ja sitä kautta leimikon arvosaannon kannalta, kuinka arvosaanto riippuu katkontaohjeista sekä miten erilaiset puutavaralajien yhdistelmät ja katkontaohjeet vaikuttavat erityyppisissä leimikoissa.

Tutkimuksessa kehitettiin myös malleja leimikon puutavaralajikertymän ennustamiseksi, sekä menetelmiä leimikon ennakkotiedon tuottamiseksi laserkeilainta hyväksikäyttäen, ja vertailtiin apterauksen simulointien antamia puutavaralajikertymiä MELA-tukkivähennysmalleilla lasketuihin puutavaralajikertymiin ja tukkivähennyksiin. Keski-Suomen metsäkeskuksen vetämässä Laatu-puu-hankkeessa kehitettiin laskentamenetelmiä asiakaslähtöisten puutavaralajikertymien ennustamiseen seutukuntatasolla pohjoisessa Keski-Suomessa keskipitkällä aikavälillä.

Tutkimushankkeen tuotoksena on syytä mainita myös aineistot, joita voidaan hyödyntää jatkotutkimuksissa sekä koulutuksessa. Etelä- ja Keski-Suomesta kerättiin laaja laatutietokanta kuvaamaan päätehakkuupuustojen laatua. Aineisto on suoraan hyödynnettävissä puuston ulkoista laatua koskevissa tutkimuksissa sekä hakkuisiin tulevien leimikoiden laadun ennustamisessa.

Katkongan vaikutusten esilletuomiseksi perustetut 12 esimerkkikoealaa toimivat havainnollistavina esimerkkeinä koulutuksen tukena kolmen metsäoppilaitoksen läheisyydessä. Laatupuuhankkeessa perustettiin kahdeksan koealasarjaa ja 20 koealaa demonstroimaan laatupuun kasvatusten menetelmiä. Nämä pysyvät koealat toimivat sekä metsäammattilaisten kouluttamisessa että pysyvinä koealoina tarjoten tulevaisuudessa uutta tietoa laatukasvatuksen vaikutuksista puuston kasvuun ja laatuun.

## 5.2 Puutavaralajikertymien ja arvon vaihtelu

Tulokset osoittavat, että puutavaralajikertymät ja hakkuukertymän myynti- ja käyttöarvot vaihtelevat huomattavasti sekä leimikon ominaisuuksien että sovellettavien katkontaohjeiden ja näiden yhteisvaikutusten mukaan. Arvovaikutukset olisivat todettuja suurempia, jos puutavaralajien yksikköhintojen erot olisivat suurempia kuin tässä tutkimuksessa käytetyt maltilliset hintaerot, koskien erikoistavaralajien hintoja ja tukkien järeys- ja laatuluokkien hintaeroja. Tukin minimilatvaläpimitan vaikutus leimikon tukkisaantoon ja myyntiarvoon oli sekä kuusella että männyllä sitä suurempi, mitä pienempi leimikon keskitilavuus oli. Aineistossa kuusten keskikoko oli huomattavasti pienempi kuin mäntyjen, mikä pitkälti selittää myös sitä, että tukin minimilatvaläpimitan vaikutus tukkisaantoon oli kuusella selvästi suurempi kuin männyllä. Minimilatvaläpimitan muutosten erilaisia vaikutuksia selittää myös kuusen pienempi kapenevuus tukin minimilatvaläpimittaa vastaavalle korkeudelle. Lyhyiden pölkkypituuksien 34 ja 37 dm lisäämisen vaikutus oli männyllä samaa luokkaa kuin yhden senttimetrin alentamisen vaikutus tukin minimilatvaläpimitassa. Kuusella lyhyiden mittojen käytön vaikutus oli huomattavasti mäntyä vähäisempi. Männyissä oli oletustenkin mukaisesti huomattavasti enemmän tukin apteerausta rajoittavia vikoja kuin kuusissa, mikä selittää lyhyiden tukkimittojen suuremman merkityksen männyn apteerauksessa.

Myynti- ja käyttöarvon vaihtelua ja ennustamista koskevat tulokset soveltuvat kerätyn aineiston perusteella eteläisen ja keskisen Suomen mänty- ja kuusivaltaisiin päätehakkuuleimikoihin ja myöhempien harvennusten mäntyleimikoihin. Apteeraussimuloinneissa sekä myyntiarvotarkasteluissa otettiin huomioon kuitupuu sahatukkien ja erikoispuutavaralajien ohella, mutta kuitupuuta, kuten myöskään energiapuutavaralajeja, ei tarkasteltu erikseen käyttöarvojen laskennassa.

Tulokset eivät sisällä katkongan toteutuksesta aiheutuvaa vaihtelua, vaikkakin käytännön puunhankinnassa saatujen kokemusten mukaan erot yhtäältä erilaisten ostajien ja toisaalta hakkuukoneen kuljettajien välillä voivat olla suuria. Puutavaralajien laadun huomioon ottamiseen runkojen katkonnassa ja täten tukkien ja erikoistavaralajien toteutuviin kertymiin vaikuttavat erityisesti ostajan tavoitteet, puutuotteiden markkinatilanne sekä hakkuukoneen kuljettajan ammattitaito. Mikäli ostajan tavoitteet ja tuotteiden markkinatilanne edellyttävät ostetun puuraaka-aineen hyödyntämistä tarkasti sahaukseen tai sorvaukseen, saatetaan tukkien laatuvaatimuksia katsoa hieman läpi sormien ja näissä tilanteissa tässä tutkimuksessa saadut tukkisaannot voivat olla pienempiä kuin käytännön toiminnassa toteutuvat. Puuston vikaisuuden ollessa männyn katkonnassa rajoittavampi tekijä kuin kuusen katkonnassa, voivat ennen kaikkea männyn tulokset tukki- ja erikoistavaralajien saannoista poiketa yksittäisillä leimikoilla tässä todetuista.

Tulosten laskennassa käytettiin apteeraussimulaattoria, joka optimoi katkonnan pölkkyjen puutavaralajin, läpimitta-pituusluokan sekä laadun perusteella. Markkinoilla on useita kaupallisia apteeraussimulaattoreita, joista käytetty simulaattori poikkeaa laadun huomioon ottamisen osalta. Kaupallisissa versioissa laatu voidaan huomioida ainoastaan käyttämällä hyväksi koneenkuljettajan sen hetkisten apteerausohjeiden perusteella omana ratkaisunaan tekemät pakkokatkaisukohdat. Tässä käytetyllä apteeraussimulaattorilla voitiin runkojen oksaisuus ja muut tekniset viat ottaa huomioon rungosta tehtyjen laatumittausten mukaisesti.

Hakkuukertymien ja puutavaralajien käyttöarvojen herkkyytarkasteluissa varioitiin rungon katkontaa ohjaavan käyttöarvomatriisin muodostumiseen vaikuttavien lopputuotteen tuotehintojen, valmistuksen sivutuotehyvitysten ja valmistuskustannusten arvoja. Laskelmissa käytettyjen arvojen muutoksilla oli tarkoitus osoittaa näiden tekijöiden vaikutuksia tarkasteltavien puutavaralajien hakkuukertymään sekä puutavaralajien ja kokonaisten leimikoiden käyttöarvoon päätehakkuuleimikoilla ja mäntyharvennusleimikoilla, kun hakattavan puuston käyttöä eri tuotteissa optimoidaan runkojen jakamisen perusteella.

Laskelmissa käytetyt yksikköhintojen ja kustannusten suhteelliset muutokset ovat varsin tavallisia metsäteollisuudessa jopa vuositasolla. Poikkeuksena on havusahatavaran vientihintojen voimakas nousu vuonna 2007, jolloin keskihinta oli 36 % korkeampi esimerkiksi vuoden 2005 hintatasoon verrattuna. Samana vuonna sahatavaran vientihinta oli elokuussa 17 % korkeammalla kuin tammikuussa, joten myös tuotehintojen kuukausittainen vaihtelu voi olla suurta. Sahatavaran sivutuotehyvitysten ja etenkin valmistuskustannusten vaihtelu on huomattavasti pienempää. Metsäteollisuuden vientitilastojen mukaan kuusivanerin ja mäntypylväiden hinnat käyttäytyvät maltillisemmin kuin sahatavaran.

Tehdyissä herkkyytarkasteluissa puutuotteiden hinnanmuutokset vaikuttivat eniten puutavaralajien suhteellisiin hakkuukertymiin ja käyttöarvoihin. Yleisesti ottaen tuotehintojen nousu näyttää vaikuttavat suhteellisesti vähemmän puutavaralajien hakkuukertymiin kuin hintojen lasku. Joissakin tapauksissa, kuten kuusisorvitukilla, tuotehinnan nousulla ei ollut mitään vaikutusta asianomaisen puutavaralajin hakkuukertymään. Tuotehintojen muutokset vaikuttavat erilaisella voimakkuudella eri puutavaralajien käyttöarvoon. Hakkuukertymien tavoin tuotehintojen muutokset vaikuttavat käyttöarvoon suhteellisesti enemmän hintojen laskiessa kuin noustessa. Herkkyytarkasteluista ilmeni, että yksikköhintojen tai -kustannusten samansuuruinen nousu tai lasku ei aiheuta yleensäkään peilikuvamaista käyttäytymistä suhteellisissa hakkuukertymissä tai käyttöarvoissa.

Runkokohtaisissa herkkyytarkasteluissa puunjalostuksen hinta- ja kustannustekijöiden muutokset näkyivät erityisesti niissä rinnankorkeusläpimittaluokissa, joissa kulloinkin tarkastellun puutavaralajin kertymä oli korkeimmillaan. Männyllä muutokset näkyivät pikkutukeilla pienissä läpimittaluokissa aina 23 cm:n saakka, mutta muutoksia alkoi näkyä sahatukeillakin jo 19 cm:n luokassa. Saha- ja tyvitukeilla muutokset näkyivät niitä yhdessä tarkastellen selvimmin luokissa 19–23 cm sahatukkien vaikutuksesta ja erityisesti yli 35 cm:n luokissa tyvitukkien vaikutuksesta. Mäntypylväillä suurimmat muutokset kohdentuivat läpimittaluokkiin 25–39 cm.

Kuusellakin puutavaralajien arvonmuutokset kohdentuivat varsin selvästi kullekin puutavaralajille ominaisiin rinnankorkeusläpimittaluokkiin. Suurimmat erot mäntyyn verrattuna olivat vaikutusten kohdentuminen sahatukeilla laajemmalle läpimitta-alueelle, 19–29 cm, ja suuret vaikutukset sorvitukeilla läpimittaluokasta 25 cm alkaen.

Koko leimikon käyttöarvoa tarkasteltaessa muuttuvilla tuotehinnoilla, valmistuskustannuksilla ja sivutuotehyvityksillä oli merkittävä vaikutus kokonaiskäyttöarvoon ainoastaan sorvikuusen kohdalla. Muuttuvilla tuotehinnoilla oli tällöinkin suurin vaikutus. Männyllä ainoastaan mänty-pylvään tuotehintojen muutoksilla oli merkittävä vaikutus.

### 5.3 Puutavaralajikertymien ennustaminen ja laatupuun saatavuus

Puutavaralajikertymien ennustamisessa on saatu aiemmissa tutkimuksissa varsin tarkkoja tuloksia kun puuston laatu on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Laadulla on kuitenkin huomattava vaikutus puutavaralajikertymiin ja arvosaantoihin. Laadun huomioon ottaminen on usein ongelmallista puun ulkoisten ominaisuuksien perusteella, esimerkiksi kuusella tyvilahoa tai männyllä latvavauriota. Puutavaralajikertymien malleilla saadut tulokset osoittivat, että kertymien taso voidaan ennustaa varsin hyvin aluetasolla puuston vikaisuus huomioon ottaen, mutta yksittäisen leimikon puutavaralajikertymän ennustamisessa on huomattavasti kehittämisen tarvetta. Mallien ennusteet ovat kuusella tarkempia kuin männyllä, joskaan kuusen tyvilahoa ei pystytä ottamaan huomioon pystyjuuston mittausten perusteella. Puutavaralajikertymien mallintamisen ongelmallisuudesta johtuen tutkimuksessa kehitettyjä malleja ei ole syytä käyttää yksittäisen leimikon puutavaralajikertymän ennustamiseen. Mallit tarjoavat kuitenkin apuvälineen katkontaohjeiden muutosten vaikutusten testaamiseen tai puutavaralajikertymien arvioimiseen aluetason tarkasteluissa.

Laserkeilauksen menetelmät voivat tuoda jatkossa helpotusta puutavaralajikertymien ennustamiseen myös puukaupan tarvitsemalla tietotarkkuudella. Ilma-alus pohjainen laserkeilaus voi tuottaa puustotietoja joko yksinpuin tulkinnan tai tilastollisiin riippuvuussuhteisiin perustuvan regressioanalyysin avulla. Regressioanalyysiin perustuva menetelmä on kustannuksiltaan tois- taiseksi niin paljon yksinpuin tulkintaa edullisempi, että käytännön metsätalouden sovellukset perustuvat sen hyödyntämiseen. Tilastollisiin riippuvuussuhteisiin perustuvalla menetelmällä on kuitenkin vastaavat ongelmat kuin tässä tutkimuksessa kehitetyillä puutavaralajikertymien malleilla, joten puukaupan tietotarpeiden täyttämiseksi yksinpuin tulkintaan pohjautuville menetelmille lienee kysyntää.

Hankkeessa tehtiin yhteistyötä Itä-Suomen yliopiston metsänarvioimistieteen tutkimusryhmän kanssa laserkeilaimella tuotetun leimikon ennakkoinformaation hyödyntämisessä. Tutkimuksissa testattiin laserkeilaimen, ilmakuvioiden ja kuviotietokannan yhteiskäyttöä metsikön runkotilavuuden ennustamisessa, tukkitilavuuden ja tukkiosuuden ennustamisesta metsikkötasolle, latvusrajatiedon ennustamista sekä yksinpuin tulkintaan perustuvaa leimikon puustotunnusten ennustamista. Runkotilavuuden ennustaminen laserkeilaintekniikalla osoittautui erillistekniikoista parhaaksi, mutta lisäinformaatio muista lähteistä parantaa ennusteiden tasoa. Tukkitilavuuden ja tukkiosuuden ennustamisessa tulokset olivat tyydyttäviä, vaikka malleilla oli taipumusta yliarvioida tukkitilavuutta. Metsikkötason latvusrajatiedon ennustamisessa laserkeilain tuotti maastomittauksia tarkemmat tulokset, mutta puutasolla latvusrajan määrittäminen on edelleen luotettavampaa maastomittauksin kuin laserkeilaimella. Yksinpuin tulkintaa käytettäessä puiden yksilöinti ennen kaikkea tukkipuukokoisten puiden osalta onnistuu hyvin, kuten myös pituuden määrittäminen. Ennusteiden kannalta kriittisintä on läpimitan ja runkomuodon määrittäminen laserkeilainaineiston perusteella. Tutkimuksessa saatiin lupaavia tuloksia käytettäessä latvuksen maksimiläpimitaan pohjautuvia malleja. Vaikka laserkeilainmenetelmällä on saatu lupaavia tuloksia, riittää työsarkaa edelleen jatkotutkimuksissa puuston teknisen laadun ennustamisessa.



Metsä- ja puutuoteteollisuus tarvitsevat strategisen päätöksenteon tueksi arvioita raaka-aineen riittävydestä ja laatujakaumasta myös tulevaisuudessa. Keski-Suomen metsäkeskuksen vetämässä Laatupuu -hankkeessa kehitetyillä laskentamenetelmillä voidaan asiakaslähtöisten puutavaralajikertymiä ennakoida helposti myös muilla alueilla ja seutukunnissa. Asiakaslähtöisten puutavaralajikertymien keskipitkän aikavälin ennusteiden laadinnan lisäksi vertailtiin laatupuun kasvatusketjujen vaikutuksia puutavaralajikertymiin tulevan 20 vuoden aikana. Tärkeimmät kasvavan puuston laatuun vaikuttavat metsänhoidon toimenpiteet ajoittuvat kiertoajan alkutai-paleelle, metsänuudistamisesta aina ensiharvennukseen saakka. Laatukasvatuksen hyödyt eivät tulleet esille vielä 20 vuoden tarkastelujaksolla, koska hoitotoimenpiteiden vaikutus näkyy vasta pidemmällä aikajänteellä. Itse asiassa intensiivinen laatukasvatus lisää välittömästi kuitupuun ja mahdollisesti energiapuun kertymiä, mutta vasta 15–30 vuoden kuluttua tukki- ja erikoispuun kertymiä.

Laatupuu -hankkeen metsikkökoealojen vertailulaskelmat osoittavat, että asiakaslähtöisten puutavaralajikertymiin voidaan vaikuttaa oikeilla metsänhoitotoimenpiteillä. Tarkasteltaessa tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia puutavaralajikertymiin toimenpiteiden hyödyt osoittautuivat hyvin selviksi. Hyvälaatuisen järeän puun kasvattaminen vaatii kuitenkin panostuksia. Tarkasteltaessa metsänhoitotoimenpiteiden kannattavuutta huomataan, että nykyinen tavaralajihinnoittelu ei kannusta riittävästi laadukkaan puun kasvattamiseen. Tukkipuun hinnan ollessa laadusta riippumatta lähes vakio ja erikoispuutavaralajien hintalisien ollessa pieniä ei laatupuun kasvatukseen ole riittäviä kannustimia.

#### 5.4 Päätöksenteko puukaupassa

Puutavaralajien yksikköhintoihin perustuvassa puukaupassa on osapuolten tunnustamia ongelmia. Metsänomistajien puukauppojensa suunnittelussa tarvitsemien arvioiden hankinta saatavasta myyntitulosta vaikuttaa varsin yksinkertaiselta: puutavaralajien yksikköhinnat kerrotaan hakuksessa kertyvien puutavaralajien määräarvioilla. Todellisuudessa erilaisten ostotarjousten vertailu on hankalaa, ellei jopa mahdotonta, ennen kaikkea tarjouksiin sisältyvien erilaisten katkontaohjeiden ja puutavaralajien yhdistelmien vuoksi.

Puunostotarjouksen arvo metsänomistajan kannalta riippuu paljon ostajatyypistä ja ostajan käyttämästä puutavaralajivalikoimasta suhteessa myytävänä olevan leimikon puuston ominaisuuksiin. Apteeraussimulointien perusteella on nähtävissä, että mitä monipuolisempi puutavaralajivalikoima on, sitä suuremman kantorahatulon metsänomistajan on mahdollista saada. Erikoispuutavaralajien ostajat haluavat kuitenkin suunnata esimerkiksi mäntypylväiden ja sorvikuusen oston hyvälaatuisiin metsiköihin, jolloin metsänomistajien on hankala hyödyntää tätä etua laadultaan heikompien leimikoiden myynnissä. Ostajatyypin vertailuissa tämän tutkimuksen tulosten perusteella tulee muistaa, että apteeraussimuloinneissa kullekin rungolle laskettiin parhaan mahdollisen kantorahatulon tuottava katkonta annetuilla puutavaralajeilla, mitoilla ja laaduilla. Puutavaralajikombinaatioiden lisääntyessä myös optimointi tulee ongelmalliseksi, koska järeiden erikoispuutavaralajien katkonta voi johtaa sahatukkien osuuden pienenemiseen, jopa siinä määrin että metsänomistajan saama kantorahatulo pienentyy. Pikkutukkeja katkottaessa voi tapahtua samalla tavalla siirtymää sahatukkiosuudesta pikkutukkiosuuteen siten, että pikkutukin apteeraus ei olekaan kannattavaa metsänomistajan kannalta.

Ostajatyypin vertailujen perusteella voidaan päätellä, että metsänomistajan on aina taloudellisesti kannattavaa pitää eri kehitysluokkaa olevat metsikkökuviot parhaassa mahdollisessa metsänhoidollisessa tilassa, jolloin harvennus- ja päätehakkuuleimikoille on helposti valittavissa

kannattavimmat ostajaehdokkaat. On myös puunostajien etu, että he saavat leimikoista ensisijaisesti itse käyttämiään puutavaralajeja.

Nykyisessä puunhankinnassa ostajia ei voida aina määritellä tässä tutkimuksessa käytetyn luokituksen mukaisesti, koska useimmat metsäyhtiöt ostavat pääsääntöisesti kaikkia puutavaralajeja ja myyvät tai vaihtavat omille tuotantolaitoksilleen sopimattomat puutavaralajit muiden yhtiöiden kanssa. Sellaiset ostajat, jotka käyttävät erikoispuutavaraa kuten mäntypylväitä, pikkutukkeja tai sorvikuusta omaan tuotantoonsa, pystyvät kuitenkin maksamaan niistä yleensä parempaa hintaa kuin sellaiset ostajat, jotka välittävät näitä puutavaralajeja niitä käyttäville yhtiöille.

Puunmyyjän etujen mukainen myyntiarvon maksimointi on toisinaan ristiriidassa puun käyttäjän etujen mukaisen käyttö-arvon maksimoinnin kanssa. Puukauppasopimuksessa sovitut katkontaohjeet eivät välttämättä ole optimaalisia puunjalostustuotteiden korjuun aikaiseen markkinatilanteeseen tai puutavaralajien kysyntätilanteeseen, jolloin sopimuksen mukainen katkonta aiheuttaa ostajalle menetyksiä käyttöarvossa. Huolestuttavaa on se, että metsänomistajan on tavaralajihinnoittelua käytettäessä kannattavinta realisoida puusto-omaisuutensa yleensä aikaisemmin kuin käyttöarvon kannalta olisi järkevää. Metsänomistajan yksityistaloudellista optimointia koskevat kiertoaikalaskelmat eivät myöskään ota huomioon tukkipuukokoisen puuston järeytymisestä aiheutuvaa käyttöarvon nousua vaan ohjaavat metsänomistajan päätehawkuisiin heti kun puuston mitat ovat ylittäneet tukkipuuston minimirajat.

Ristiriita myyntiarvon ja käyttöarvon erilaisten näkökulmien välillä johtaa usein tasapainoiluun tukki- ja erikoispuun kertymän maksimoinnin ja käyttöarvon maksimoinnin välillä kummankaan täysin toteutumatta. Tilanne on valitettava puukaupan kaikkien osapuolten kannalta ja johtaa pahimmillaan kiistoihin leimikoiden hakkuun jälkeen. Kokonaisuuden kannalta olisi parasta, että raaka-aineen käyttöarvon maksimointi johtaisi suurimpaan mahdolliseen lisäarvoon ja tästä riittäisi eniten jaettavaa myös metsänomistajille.

## 5.5 Puutavaran hinnoittelumenetelmien kehittäminen

Tavaralajihinnoittelun taustalla on puukaupan osapuolten epätasapainoinen tietämys raaka-aineen arvosta. Vain puunostaja, jos hänkään, tietää mitä kunkin leimikon raaka-aineesta voidaan saada. Yleisesti ottaen tällaisessa asymmetrisen informaation tilanteessa päädytään suori-teperusteiseen kauppaan. Asymmetrinen informaatio johtaa myös yleisesti tehokkuustappioihin. Puukaupassa tämä tarkoittaa usein sitä, että laadukkaasta raaka-aineesta ei makseta sille kuuluvaa hintaa ja kannustimet puuston käyttöarvon tietoiseen kehittämiseen ja laatuun kasvatukseen ovat pienet. Vastaavasti heikkolaatuisesta raaka-aineesta maksetaan korkeampaa hintaa kuin mitä käyttöarvo edellyttäisi.

Puukaupan kehittäminen edellyttää siirtymistä tavaralajihinnoittelusta hinnoitteluun, jossa kunkin leimikon puuraaka-aineesta maksetaan sen ominaisuuksien ja lopputuotteiden markkinahinnoista johdetun käyttöarvon perusteella määräytyvää hintaa. Mahdollisuuksia korvaavan menetelmän kehittämiseen ja vähitellen käyttöön ottamiseen tarjoavat leimikoiden järeys- ja laatu-hinnoittelu, runko- ja rungonosahinnoittelu sekä puutavaralajien matriisihinnoittelu läpimitta-, pituus- ja laatu-luokittain.

Alueellisia sovelluksia sahatukien laatuhinnoittelusta on ollut jo 1990-luvun alussa ja pääte- ja harvennushakkuuleimikoiden laatuhinnoittelusta 2000-luvun puolivälissä. Mitkään näistä menettelyistä eivät ole vakiintuneet pitkäaikaiseen käyttöön. Tähän on vaikuttanut osaltaan puu-

kaupan yleinen kysyntä-tarjonta tilanne ja puutavaralajien kysynnän vaihtelu. Vaihtoehtoiset hinnoittelutavat ovat unohtuneet runsaan kysynnän aikana, kun puukauppa on haluttu pitää vilkkaana ja kaikki tarjolla oleva puutavara on haluttu käyttöön.

Puunhankinnan sujuvuus edellyttää riittävän tarkkaa ennakkokäsitystä leimikosta saatavasta hakkuukertymästä ja sen jakautumisesta puutavaralajeihin ja mielellään myös järeyksiin, pituuksiin ja laatuluokkiin, jotta hinnoittelu eli osto- tai myyntitarjousten teko ja vertailu on mahdollista. Puustotunnusten laserkeilainpohjainen ennustaminen saattaa tarjota tulevaisuudessa varsin hyvät lähtökohdat leimikon puuston arvottamiselle, mutta valitettavasti vain niille puukaupan osapuolille joilla on riittävät resurssit laserkeilainpohjaisen järjestelmän käyttöön tai siitä saatavien tietojen hankintaan. Tämä jättää edelleen suuren osan metsänomistajista ja pk-sektorin puunhankkijoista puutteellisen ennakkotiedon varaan kulloisenkin leimikon arvosta, myös ajallisesti ja paikallisesti tarkastellen.

Leimikon arvonmuodostus -hankkeen jatkona on Metsäntutkimuslaitoksen Itä-Suomen alueyksikössä aloitettu uusi tutkimus- ja kehittämishanke Puuraaka-aineen mittausta, laadusta ja arvon määrittäminen puukaupan ja puunhankinnan tukena. Tässä selvitetään metsänomistajien puukauppapalvelujen käyttöä ja tarvetta, kehitetään ARVO-ohjelmisto leimikon puujoukon, puutavaralajikertymien ja arvon ennustamiseen ennen hakkuuta, tutkitaan vaihtoehtoisten hinnoittelumenetelmien perusteita, toteutustapoja ja vaikutuksia puukaupan osapuolten kannalta ja kehitetään malleja ja menetelmiä puunhankintayritysten strategisen ja operatiivisen päätöksenteon tueksi. Tutkimuksissa hyödynnetään tässä hankkeessa saatuja tuloksia ja aineistoja. Tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi puukauppaan liittyvien metsävaratieto- ja metsäsuunnittelupalveluiden ja puukaupan hinnoittelumenetelmien kehittämisessä ja parantaa siten puuraaka-aineen saatavuuden, raaka-aineen arvonlisän maksimoinnin ja arvonlisän oikeudenmukaisen jakautumisen edellytyksiä.

Leimikon arvonmuodostus- hankkeen kaltainen tutkimus ei ole koskaan valmis, koska raaka-puumarkkinat muuttuvat ja markkinoiden toimivuutta voidaan aina parantaa. Puutavaran loppukäyttökohteita on jo nyt ja tulevaisuudessa vielä enemmän kuin perinteinen kuiduttava teollisuus tai sahaava tai sorvaava jalostus. Metsää voidaan käyttää myös palvelujen tuottamiseen jolloin metsänkäsittelylle on useita vaihtoehtoja. Tämä tulee vaikuttamaan myös puun käyttökohteisiin, laatuun ja hinnoitteluun.

## 6 Kirjallisuus

- Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forestry* 2: 49–53.
- Haara, A. & Korhonen, K.T. 2004. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2004: 489–508.
- Kalliovirta, J. & Tokola, T. 2005. Functions for estimating stem diameter and tree age using tree height, crown width and existing stand database information. *Silva Fennica* 39(2): 227–248.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 2002. Anticipating the variance of predicted stand volume and timber assortments with respect to stand characteristics and field measurements. *Silva Fennica* 36: 799–811.
- Kilpeläinen, H. 2002. Apteeraussimulaattorin käyttöohje. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö. Moniste. 24 s.

- Korhonen, L., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Suvanto, A., Maltamo, M., Packalén, P. & Kangas, J. 2008. The use of airborne laser scanning to estimate sawlog volumes. *Forestry* 81(4): 499–510.
- Laasesenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108: 1–74.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Piira, T., Redsvén, V., Wall, T. & Nuutinen, T. 2007. Comparing model-based and bucking simulation based approaches in the prediction of timber assortment recovery. *Forestry* 80(3): 309–321.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2006. Katkonnan vaikutukset leimikon myynti- ja käyttöarvoon. Puun ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet tulevaisuudessa -seminaari, Porthania, Helsinki, 30.11.2006. Power Point, 32 s. [verkkodokumentti]  
[http://www.woodwisdom.fi/content/Tapahtumat/Puun\\_ominaisuudet\\_ja\\_kayttomahdollisuudet\\_tulevaisuudessa/ErkkiVerkasaloFINAL.pdf?from=732549372399822](http://www.woodwisdom.fi/content/Tapahtumat/Puun_ominaisuudet_ja_kayttomahdollisuudet_tulevaisuudessa/ErkkiVerkasaloFINAL.pdf?from=732549372399822)
- Malinen, J., Piira, T., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2010. Timber assortment recovery models for Southern Finland. *Baltic Forestry* 16(1):102–112.
- Maltamo, M. 1998. Basal area diameter distribution in estimating the quantity and structure of growing stock. Academic Dissertation, Faculty of Forestry of the University of Joensuu, Finland. 43 s. + Liitteet.
- Maltamo, M., Hyypä, J. & Malinen, J. 2006a. A comparative study of the use of laser scanner data and field measurements in the prediction of crown height in boreal forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 231–238.
- Maltamo, M., Malinen, J., Packalén, P., Suvanto, A. & Kangas, J. 2006b. Nonparametric estimation of stem volume using laser scanning, aerial photography, and stand register data. *Canadian Journal of Forest Research* 36(2): 426–436.
- Maltamo, M. & Uuttera, J. 1994. Puutavaralajimallien laadinta Tehdaspuu Oy:lle. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tutkimusseloste. 18 s.
- Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männylle, kuuselle, koivulle ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 575–591.
- Mehtätalo, L. 2004. Predicting stand characteristics using limited measurements (väitöskirja). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 929. 39 s. + 5 osajulk.
- Metinfo. 2005–2006. Metsäsektorin suorakäyttöinen tietojärjestelmä. Metsäntutkimuslaitos. [www.sovellus](http://www.sovellus) (<http://www.metla.fi/metinfo/>).
- Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s.
- Nuutinen, T., Moberg, L., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2004. Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions. Julkaisussa: Paavilainen, L. & Humala, I. (eds.). *Wood Material Science Yearbook 2004*. Wood Material Science Research Programme 2003–2007. Report 1/2004: 17–23.
- Nuutinen, T., Moberg, L., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2005. Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions. Julkaisussa: Johansson, B. & Larsson, B. (eds.). *Wood Material Science Yearbook 2005*. Finnish-Swedish Research Programme 2003–2007. Report 1/2005: Report 1/2004: 18–26.
- Nuutinen, T., Moberg, L., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2007. Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions (VACHA). Julkaisussa: Poppius-Levlin, K. & Johansson, B. (eds.). *Wood Material Science and Engineering Final Report*. Finnish-Swedish Research Programme 2003–2007. Ss. 27–48.

- Nyysönen, A. & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Acta Forestalia Fennica 179. 52 s.
- Peuhkurinen, J., Maltamo, M., Malinen, J., Pitkänen, J. & Packalén P. 2007. Pre-harvest measurement of marked stand using airborne laser scanning. Forest Science 53(6): 653–661.
- Piira, T., Kilpeläinen, H., Malinen, J., Wall, T. & Verkasalo, E. 2007. Leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelu erilaisilla katkontaohjeilla. Metsätieteen aikakauskirja 1/2007: 19–37.
- PMP-ohje. 1987. PMP-hoitokunta. 1.8.1987.
- Redsven, V., Anola-Pukkila, A., Haara, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kettunen, L., Kiiskinen, A., Kärkkäinen, L., Lempinen, R., Muinonen, E., Nuutinen, T., Salminen, O. & Siitonen, M. 2005. MELA2005 Reference Manual. Metsäntutkimuslaitos – Finnish Forest Research Institute. 621 s. [verkkodokumentti]  
<http://www.metla.fi/metinfo/mela/tuotteet/mela2005.pdf>
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook - 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 455 s.
- Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Metsänarvioimistieteen laitos. 60 s.
- Verkasalo, E. & Karvinen, L. (toim.). 2011. Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki. Tutkimusohjelman loppujulkaisu (2002–2008). Metlan työraportteja. Käsisikirjoitus.
- Vähäsaari, H. 1988. Puutavaralajirakenteen arvioiminen eri mittausmenetelmillä. Pro gradu – tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 96 s.
- Wall, T., Fröblom, J., Kilpeläinen, H., Lindblad, J., Heikkilä, A., Song, T., Stöd, R. & Verkasalo, E. 2005. Harvennuskäytön hankinnan ja sauhuksen kehittäminen. Wood Wisdom -tutkimusohjelman hankekonsortion julkinen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 943. 129 s. + 13 liites.

## LIITE. Hankkeen julkaisut

### *Referoidut tutkimusjulkaisut (10 kpl)*

- Korhonen, L., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Suvanto, A., Maltamo, M., Packalén, P. & Kangas, J. 2008. The use of airborne laser scanning to estimate sawlog volumes. *Forestry* 81(4): 499–510.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Piira, T., Redsvén, V., Wall, T. & Nuutinen, T. 2007. Comparing model-based approaches with bucking simulation-based approach in the prediction of timber assortment recovery. *Forestry* 80(3): 309–321.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2006. Variation in the value recovery when bucking to alternative timber assortments and log dimensions / Kasumi varieerumine soltuvalt tüve järkamisest erinevateks sortimentideks. *Forestry studies / Metsanduslikud Uurimused* 45: 89–100.
- Malinen, J., Piira, T., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2010. Timber assortment recovery models for southern Finland. *Baltic Forestry* 16(1): 102–112.
- Maltamo, M., Hyypä, J. & Malinen, J. 2006. A comparative study of the use of laser scanner data and field measurements in the prediction of crown height in boreal forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 231–238.
- Maltamo, M., Malinen, J., Packalén, P., Suvanto, A. & Kangas, J. 2006. Nonparametric estimation of stem volume using laser scanning, aerial photography, and stand register data. *Canadian Journal of Forest Research* 36(2):426–436.
- Maltamo, M., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Vauhkonen, J., Packalén, P. & Tokola, T. 2009. Predicting tree attributes and quality characteristics of Scots pine using airborne laser scanning data. *Silva Fennica* 43(3): 507–522.
- Peuhkurinen, J., Maltamo, M. & Malinen, J. 2008. Estimating species-specific diameter distributions and saw log recoveries of boreal forests from airborne laser scanning data and aerial photographs. A distribution-based approach. *Silva Fennica* 42(4): 625–641.
- Peuhkurinen, J., Maltamo, M., Malinen, J., Pitkänen, J. & Packalén, P. 2007. Preharvest measurement of marked stands using airborne laser scanning. *Forest Science* 53(6): 653–661.
- Piira, T., Kilpeläinen, H., Malinen, J., Wall, T. & Verkasalo, E. 2007. Leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelu erilaisilla katkontaohjeilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2007:19–37.

### *Referoimattomat tutkimusjulkaisut (14 kpl)*

- Malinen, J. 2005. Non-parametric prediction of stand characteristics using harvester collected stem database. *Julkaisussa: Hobbelstad, K. (ed.). Forest Inventory and Planning in Nordic Countries. Proceedings of SNS Meeting in Sjusjøen, Norway, September 6–8, 2004. NIJOS Reports 09/05: 251–260.*
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Hynynen, J., Ahtikoski, A. & Verkasalo, E. 2008. Simulating the effects of different growing-for-quality schemes on the recovery of conventional and special timber assortments and net revenue during the rotation of Scots pine and Norway spruce stands. *Julkaisussa: Peltola, H. (ed.). Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software. IUFRO WP 5.01.04, June 8–14, Koli, Finland. Ss. 69–75.*

- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Piira, T., Wall, T. & Verkasalo, E. 2005. Variation in the sales and processing value of a timber stand by its timber quality when targeting for alternative end-products in shortwood harvesting. Julkaisussa: Nepveu, G. (ed.). IUFRO WP S5.01–04 Fifth Workshop “Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software”, November 20–27, 2005, Waiheke Island Resort, New Zealand, IUFRO WP S5.01–04. Proceedings. Publication LERFoB/2005. INRA–ENGREF, Nancy–France.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2007. Model chains to predict the recovery of conventional and special timber assortments in clear-cutting in southern Finland. Julkaisussa: Van Acker, J. & Usenius, A. (eds.). Modelling the Wood Chain: Forestry – Wood Industry – Wood Product Markets. Conference organised by COST Action E44 Wood Processing Strategy, Helsinki, Finland 17–19 September 2007. Conference Proceedings. Ss. 135–144.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2008. Combining stem dimensions and technical quality with bucking objectives and constraints in the estimation of value potential of timber stand. Julkaisussa: Peltola, H. (ed.). Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software. IUFRO WP 5.01.04, June 8–14, Koli, Finland. Ss. 40–44.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2011. Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa. Metlan työraportteja XXX. YY s.
- Malinen, J., Verkasalo, E., Kilpeläinen, H., Eerikäinen, K., Korhonen, K.T., Ojansuu, R., Siipilehto, J., Ahtikoski, A., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2011. Laatupuun tuottamisen strategiset vaihtoehdot pohjoisessa Keski-Suomessa. Metlan työraportteja. Käsikirjoitus.
- Maltamo, M., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Vauhkonen, J., Packalen, P. & Tokola, T. 2009. Männyn puu- ja laatutunnusten ennustaminen laserkeilauksella. Metsätieteen Aikakauskirja 4/2009: 409–410.
- Nuutinen, T., Moberg, L., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2004. Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions. Julkaisussa: Paavilainen, L. & Humala, I. (eds.). Wood Material Science Yearbook 2004. Wood Material Science Research Programme. Report 1/2004: 17–23.
- Nuutinen, T., Moberg, L., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2005. Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions. Julkaisussa: Johansson, B. & Larsson, B. (eds.). Wood Material Science Yearbook 2005. Finnish-Swedish Research Programme 2003–2007. Report 1/2005: 18–26.
- Nuutinen, T., Moberg, L., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2006. Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions (VACHA). Julkaisussa: Paavilainen, L. & Helander, P. (eds.). Wood Material Science and Engineering Yearbook 2006. Finnish-Swedish Research Programme 2003–2006. Report 1/2006: 18–28.
- Nuutinen, T., Moberg, L., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2007. Value-chain analysis for forest management, timber purchasing and timber sale decisions (VACHA). Julkaisussa: Poppius-Levlin, K. & Johansson, B. (eds.). Wood Material Science and Engineering Final Report. Finnish-Swedish Research Programme 2003–2007. Ss. 27–48.
- Peuhkurinen, J., Maltamo, M. & Malinen, J. 2008. Puulajeittaisten läpimittajakaumien ja tukkisaannon ennustaminen laserkeilausaineiston ja digitaalisen ilmakuvan avulla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2008: 242–243.

Verkasalo, E. 2005. Puutavaran laadutus ja arvon määrittäminen. Julkaisussa: Heräjärvi, H. & Hakkila, P. (toim.). Metsän ja puun asialla – Professori Matti Kärkkäinen 60 vuotta. *Silva Carelica* 51: 74–87. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.

### ***Opinnäytetyöt (2 kpl)***

Piira, T. 2004. Hakkuukertymän arvon vaihtelu erilaisilla puutavaralajien mitta- ja laatuvaatimuksilla. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Proseminarityö. 20 s.

Piira, T. 2005. Katkontaohjeiden vaikutus leimikon puutavaralajikertymään ja myyntiarvoon. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Metsänarvioimistieteen pro gradu. 52 s.

### ***Lehtiartikkelit (3 kpl)***

Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2007. Tukki-leimikoiden myynti- ja jalostusarvo ja runkojen apteeraus. *Puumies* 52(6): 8–10.

Malinen, J. & Verkasalo, E. 2007. Katkonnan onnistuminen vaikuttaa olennaisesti kantorahatuloon. *Kotimetsä* 1/2007: 8–9.

Verkasalo, E. & Salonen, P. 2006. Puun laatukasvatuksella on edelleen paikkansa. *Maaseudun Tulevaisuus* 91(63). S. 2.

### ***Abstraktit, esitelmäpaperit ja tiedotteet (14 kpl)***

Hynynen, J. 2008. Laatupuun tuottamisen ja saatavuuden strategiset vaihtoehdot pohjoisessa Keski-Suomessa. Laatupuulla parempiin päiviin – Laatupuuhankkeen päätösseminaari 13.2.2008. Power Point, 33 s. [verkkodokumentti] <http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/22C42C98-58CB-448E-97DB-22DEE0766524/8472/LaatupuuntuottamisenJaSaatavuudenStrategisetVaihto.pdf>

Hynynen, J., Verkasalo, E. & Malinen, J. 2008. Kannattava laatukasvatus asiakaslähtöisesti. Puun käytön kehittäminen ja uudet puutuotemarkkinat – PKM-tutkimusohjelman loppuseminaari. Lahti, Sibeliusstalo, 13.11.2008. Abstrakti, 2 s., Power Point, 42 s. [verkkodokumentti] <http://www.metla.fi/tapahtumat/2008/pkm-loppuseminaari/hynynen.pdf>

Malinen, J. 2006. Kannolta käyttäjälle – rungon katkonta esijalostusprosessina. Puutiede tänään -seminaari, Joensuu, 23.05.2006. Metla Joensuu 25 vuotta -juhlaseminaarisarja. Tiivistelmä, 1 s. [verkkodokumentti]. <http://www.metla.fi/tapahtumat/2006/puutiede-tanaan/esitykset.pdf>

Malinen, J. 2008. Laatupuun kasvatuksen, leimikon ominaisuuksien sekä katkonnan vaikutus metsikön puutavaralaji- ja arvosaantoon. Laatupuulla parempiin päiviin – Laatupuuhankkeen päätösseminaari 13.2.2008. Power Point, 39 s. [verkkodokumentti] [http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/22C42C98-58CB-448E-97DB-22DEE0766524/8112/02\\_Malinen\\_PuutavaralajiJaArvosaanto1.pdf](http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/22C42C98-58CB-448E-97DB-22DEE0766524/8112/02_Malinen_PuutavaralajiJaArvosaanto1.pdf)

Malinen, J., Kilpeläinen, H., Piira, T., Wall, T. & Verkasalo, E. 2005. Leimikon arvonmuodostus – myyntiarvo. PKM-ohjelman tutkimuspäivä nro 2, Lahti, 4.10.2005. Power Point, 22 s. [verkkodokumentti] <http://www.metla.fi/tapahtumat/2005/pkm-tutkimuspaiava/jukka-malinen.pdf>



- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Piira, T., Wall, T. & Verkasalo, E. 2005. Variation in the sales and processing value of timber stand by its timber quality when targeting for alternative end-products in shortwood harvesting. Julkaisussa: IUFRO WP S5.01.04 Fifth Workshop. Connection between forest resources and wood quality: modelling approaches and simulation software. Summaries. Waiheke Island Resort, Auckland, New Zealand, 20–27 November, 2005. S. 19.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2006. Katkonnan vaikutukset leimikon myynti- ja käyttöarvoon. Puun ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet tulevaisuudessa -seminaari, Porthania, Helsinki, 30.11.2006. Power Point, 32 s. [verkkodokumentti]  
[http://www.woodwisdom.fi/content/Tapahtumat/Puun\\_ominaisuudet\\_ja\\_kayttomahdollisuudet\\_tulevaisuudessa/ErkkiVerkasaloFINAL.pdf?from=732549372399822](http://www.woodwisdom.fi/content/Tapahtumat/Puun_ominaisuudet_ja_kayttomahdollisuudet_tulevaisuudessa/ErkkiVerkasaloFINAL.pdf?from=732549372399822)
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2006. Katkonnan vaikutus leimikon myynti- ja käyttöarvoon. Raaka-ainetta pohjoisesta havupuusta -hankkeen loppuseminaari, Rovaniemi, 27.4.2006. Esitelmien yhteenvedot. 2 s.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T & Verkasalo, E. 2008. Leimikon arvosanto ja puukaupan tehostaminen. Puun käytön kehittäminen ja uudet puutuotemarkkinat – PKM-tutkimusohjelman loppuseminaari. Lahti, Sibeliustalo, 13.11.2008. Abstrakti, 2 s., Power Point, 42 s. [verkkodokumentti]  
<http://www.metla.fi/tapahtumat/2008/pkm-loppuseminaari/malinen.pdf>
- Malinen, J., Maltamo, M. & Verkasalo, E. 2002. Predicting the internal quality and value of Norway spruce trees using non-parametric nearest neighbor methods. IUFRO WP S5.01.04 Fourth Workshop Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software. Harrison Hot Springs, British Columbia, Canada, September 8–15, 2002. S. 75.
- Maltamo, M., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Vauhkonen, J., Packalen, P. & Tokola, T. 2008. Predicting tree level quality characteristics of Scots pine using airborne laser scanning data. Julkaisussa: Peltola, H. (ed.). Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software. IUFRO WP 5.01.04, June 8–14, Koli, Finland. S. 81.
- Mäkinen, H. 2006. Metsänhoito ja puun laatu – kasvatusvaihe laadun muodostumisessa. Puutiede tänään -seminaari, Joensuu, 23.05.2006. Metla Joensuu 25 vuotta -juhlaseminaarisarja. Tiivistelmä, 1 s. [verkkodokumentti]  
<http://www.metla.fi/tapahtumat/2006/puutiede-tanaan/esitykset.pdf>
- Nuutinen, T., Verkasalo, E. & Peltola, H. 2007. Metsätalouden suunnitteluun malleja puun käyttöominaisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnallinen tiedote, 12.01.2007. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun yksikkö. 1 s.
- Packalen, P., Maltamo, M., Malinen, J., Suvanto, A. & Kangas, J. 2005. Using laser scanning and aerial photography to estimate plot volume. Julkaisussa: Silviscan, Lidar applications in Forest Assessment and Inventory. Virginia University of Technology, Blacksburg, VA, USA, 3.10.2005. Agenda and Abstracts. S. 5–6.