



Teppo Piira



Harri Kilpeläinen



Jukka Malinen



Tapio Wall



Erkki Verkasalo

Teppo Piira, Harri Kilpeläinen, Jukka Malinen, Tapio Wall
ja Erkki Verkasalo

Leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelu erilaisilla katkentaohjeilla

Piira, T., Kilpeläinen, H., Malinen, J., Wall, T. & Verkasalo, E. 2007. Leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelu erilaisilla katkentaohjeilla. Metsätieteen aikakauskirja 1/2007: 19–37.

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää hakkuussa korjattavien puutavaralajien, niiden mittavaatimusten ja jakaumatavoitteiden vaikutuksia leimikon puutavaralajikertymään ja myyntiarvoon. Aineistona oli 85 mänty- tai kuusivaltaista avohakkuuleimikkoa Etelä- ja Keski-Suomesta ja 16 mäntyharvennusleimikkoa Pohjanmaalta ja Koillismaalta. Avohakkuuaineistossa oli 3411 ja harvennushakkuuaineistossa 666 koepuuta, joista määritettiin pystyvuina dimensiotunnusten ja muiden tavallisten puutunnusten lisäksi tarkasti viat ja niiden sijainti rungossa. Katkentaohjeiden vaikutusta leimikon myyntiarvoon ja puutavaralajikertymään selvitettiin arvoapteeraussimulointien avulla. Tukan mittavaatimuksista tukkisaantoon ja myyntiarvoon vaikutti eniten tukan minimilatvaläpimita, ja vaikutus oli kuusella hieman suurempi kuin männyllä. Muutokset käytetyissä tukkipituuksissa vaikuttivat tukkisaantoon ja myyntiarvoon männyllä voimakkaammin kuin kuusella. Erikoispuutavaralajit (mänty: pylväs, hyvälaatuinen tyvitukki, pikkutukki, lyhyttukki; kuusi: sorvitukki, pikkutukki) nostivat merkittävästi leimikon myyntiarvoa, mutta vaikutus riippui voimakkaasti käytetyistä yksikköhinnoista. Kuitupuun määrämitta-apteeraus alensi kuitupuusaantoa avohakkuilla noin kaksi prosenttiyksikköä, jolloin myyntiarvo tosin aleni vain puoli prosenttia; harvennuksilla myyntiarvo aleni peräti 5,3%. Minimilatvaläpimitan vaikutus kuitupuun saantoon ja myyntiarvoon oli paljon vähäisempi. Käytettäessä painotettuja arvomatriiseja tukkisaanto aleni enimmillään 2,0 prosenttiyksikköä verrattuna tasahintamatriisilla simuloituun pölkytykseen. Tutkimuksen tuloksien pohjalta voidaan arvioida leimikon myyntiarvon muodostumisen osatekijöitä, mutta ei voida ennustaa puutavaralajikertymiä yksittäisissä leimikoissa. Myös jakauma-apteerauksen vaikutus tukkisaantoon ja leimikon myyntiarvoon suhteessa arvoapteeraukseen kaipaavaa jatkotutkimuksia.

Asiasanat: apteeraus, puutavaralajijakaumat, arvonmuodostus, puun hinnoittelu
Yhteystiedot: Metla, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101, Joensuu
Sähköposti jukka.malinen@metla.fi
Hyväksytty 14.2.2007

I Johdanto

Puunhankinnassa on tapahtunut viimeisimmän kymmenen vuoden aikana voimakkaita muutoksia. Tuotantolaitosten, erityisesti sahojen ja vaneritehtaiden toiminta on muuttunut markkinoiden säätelemänä entistä asiakas- ja tuotelähtöisemmäksi. Tämä on asettanut uusia vaatimuksia puunhankinnalle: puunhankintaorganisaation on kyettävä reagoimaan sahan tai muun tuotantolaitoksen määrällisiin, laadullisiin ja aikataulullisiin toiveisiin puutavarasta.

Asiakas- ja tuotelähtöisyyden lisääntymisen myötä perinteiset puutavaralajimäärittelyt ovat häilymässä. Myös puukaupan kilpailun lisääntyminen ja järeän puun alueellinen niukkuus ovat vaikuttaneet puutavaramäärittelyjen erilaistumiseen. Hakattavien puutavaralajien määrä on lisääntynyt, ja ennen kaikkea puutavaralajien mittavaatimuksista ja osin myös laatuvaatimuksista on tullut kirjavia. Eri puunostajilla on käytössään erilaisia puutavaralajien yhdistelmiä ja nimikkeeltään samoillakin puutavaralajeilla on usein hyvin erilaisia mitta- ja laatuvaatimuksia. Lisäksi ne voivat samallakin ostajalla vaihdella leimikoittain markkinatilanteiden mukaan. Puutavaralajeista maksettavan yksikköhinnan lisäksi erityisesti tukkipuun erilaiset katkontaohjeet aiheuttavat eroja puutavaralajisaannoissa ja vaikuttavat siten oleellisesti leimikolta saatavaan kantorahatuloon.

Katkongan vaikutus leimikon myyntiarvoon on viime aikoina noussut voimakkaasti esille muun muassa metsänhoitoyhdistyksissä ja Metsähallituksessa ja tätä kautta myös tutkimuksessa. Runsas puutavaralajivalikoima, erikoispuutavaralajit ja entistä väljemmät mittavaatimukset voivat parhaimmillaan nostaa leimikon myyntiarvoa eli kantorahatuloa huomattavasti. Toisaalta ostotarjousten vertailu on vaikeaa, jos ostajaehdokkailla on käytössään hyvin erilaiset puutavaralajimäärittelyt.

Nykyisin leimausseloste laaditaan useimmiten metsäsuunnitelman tai metsässä käytäessä tehtävän silmävaraisen arvion perusteella, jolloin leimikon puuston rakenteesta ei saada tarkkaa ja objektiivista mittauksiin perustuvaa tietoa. Niinpä myös riittävän tarkan ennakkotiedon puute vaikeuttaa puutavaralajikertymien ennustamista ennen hakkuuta, vaikka se menetelmien puolesta olisikin mahdollista.

Leimikon myyntiarvon ja hakattavan puutavaran käyttö- eli jalostusarvon arviointi ennakoita eri loppukäyttökohteissa olisi tärkeää, jotta puunostaja voisi hyödyntää tietoa leimikoiden valinnassa ja kuhunkin leimikkoon sopivan katkontaohjeen laatimisessa. Suomessa pääasiassa käytettävä puutavaralajihinnoittelu korostaa myyntiarvon ja käyttöarvon yhteensovittamisen ongelmaa, koska metsänomistajalle parhaan myyntiarvon tuottava katkonta ei useinkaan tuota parasta käyttöarvoa, ja vastaavasti korkeimman käyttöarvon mukainen katkonta ei yleensä maksimoi tukkisaantoa. Tästä asetelmasta johtuen puutavaralajien mittavaatimuksissa ja katkannonohjauksessa joudutaankin tasapainoilemaan myyntiarvon ja käyttöarvon ristiriitaisten tavoitteiden välillä.

Katkongan ongelmaa on pyritty ratkaisemaan useilla erilaisilla lähestymistavoilla. Smith ja Harrell (1961) esittelivät lineaariseen ohjelmointiin pohjautuvan optimointimenetelmän. Lineaarinen ohjelmointi edellyttää kuitenkin kaikkien riippuvuuksien lineaarisuutta ja todellisessa katkannonohjaustilanteessa tarkasteltavien ratkaisujen määrä on valtava. Bellmann (1954) esitti dynaamisen ohjelmoinnin menetelmän, jota Pnevmaticos ja Mann (1972) esittivät katkannonohjaukseen. Dynaamisen ohjelmoinnin ja verkkoteorian yhtäläisyyden vuoksi katkontaongelma voidaan kuvata myös verkkoteorian (Näsberg 1985), jolloin etsitään pisintä polkua.

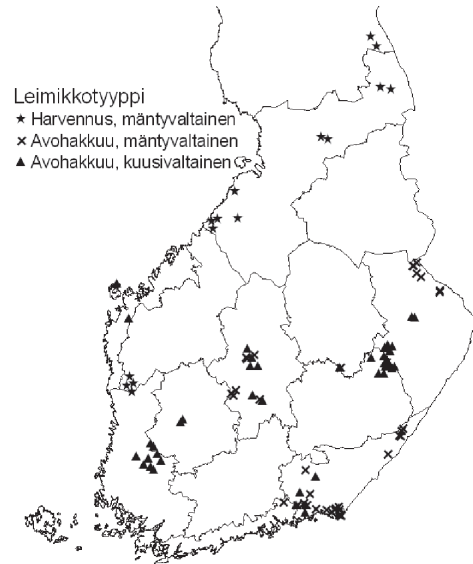
Puunhankinnan ohjaukseen on kehitetty myös leimikon ennakkomittaukseen perustuvia sekä laskennallisia menetelmiä, joilla ennustetaan leimikon puuston rakennetta, jonka perusteella edelleen voidaan valita kyseiseen leimikkoon sopiva katkontaohje. Ennakkomittaukseen pohjautuvia menetelmiä ovat kehittäneet muun muassa Lemmetty ja Mäkelä (1992), Uusitalo (1995) ja Saastamoinen (1997) ja laskennallisia, ei-parametrisia menetelmiä muun muassa Maltamo ja Kangas (1998), Tommola ym. (1999), Weijo (2000), Malinen ym. (2001) ja Malinen (2003). Leimikon puuston tunteminen ei kuitenkaan riitä, vaan puustotunnusten perusteella täytyy pystyä ennustamaan leimikosta saatavia puutavaralajikertymiä ja tukkien pituus-läpimittaluokittaisia kokojakaumia.

Leimikon tukkisaantoa voidaan ennustaa erilaisilla puutavaralajimalleilla, jotka ennustavat joko met-

sikkö- tai puutason tunnusten perusteella suoraan puutavaralajikertymiä tai käyttämällä yksittäisille puille runkokäyrämalleja, joiden perusteella saadaan laskettua tietyt minimimitat täyttäviä puutavaralajiosuuksia (Laasasenaho ja Sevola 1971, Nyssönen ja Ojansuu 1982, Päivinen 1983). Runkojen vikaisuuden vaikutusta puutavaralajikertymiin on otettu huomioon erilaisilla tukkivähennysmalleilla (Vähäsaari 1988, Mehtälä 2002). Nämä puutavaralajimallit ovat kuitenkin kyvyttömiä ottamaan huomioon erilaisista katkontaohjeista aiheutuvia puutavaralajisaantojen eroja.

Katkontaohjeiden vaikutusta puutavaralajisaantoihin ja myyntiarvoon voidaan tutkia apteraussimulaattorien avulla käyttämällä joko ennakkomitauksella tai hakkuukoneella mitattua puujoukkoa (Haring 1997, Kerkelä 1997, Puumalainen 1998, Gobakken 2000). Ongelmana apteraussimulaattorien käytössä on ollut puuston laadun huomioon ottaminen. Runkojen laatu ja sen vaikutus katkontaan voidaan ottaa huomioon sisällyttämällä tarkasteluun oksarajatietoja tai operaattorin tekemät pakkokatkaisukohtat. Molemmilla menetelmillä on kuitenkin heikkoutensa: oksarajatieto on vain yksi katkontaan vaikuttava osatekijä, ja toisaalta pakkokatkaisu noudattavassa menetelmässä ei pystytä ottamaan huomioon käytettävissä olevien puutavaralajien tai mitta- ja laatuvaatimusten vaikutusta pakkokatkaisuun.

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia leimikon myyntiarvon eli kantorahatulon muodostumista erilaisilla katkontaohjeilla arvoapteerausta käytettäessä. Laskennassa hyödynnettiin apteraussimulaattoria, joka arvoapteeraukseen perustuen pölkyyttää yksittäiset rungot mitattujen dimensioiden ja vikatiöjen pohjalta. Tavoitteista tükin mittavaatimusten vaikutus tukkisaantoon ja sitä kautta leimikon myyntiarvoon oli keskeinen tutkimustehtävä. Myös erikoispuutavaralajien (mänty: pylväs, hyvälaatuinen tyvitukki, pikkutukki, lyhyttukki; kuusi: sorvitukki, pikkutukki) saantoja ja vaikutusta leimikon myyntiarvoon tutkittiin. Kuitupuun saantoja ja leimikon myyntiarvon muutoksia erilaisilla kuitupuun katkontaohjeilla vertailtiin keskenään. Käytettävien puutavaralajien ja niiden mittavaatimusten vaikutusten ohella tutkittiin leimikon puuston järeyden vaikutusta leimikon myyntiarvoon. Vaikka tutkimus toteutettiin arvoapteeraukseen pohjautuen, myös jakaumatavoitteiden



Kuva 1. Tutkimusleimikoiden sijainti.

vaikutusta sivuttiin tutkimalla painotettujen arvomatriisien käytön vaikutusta tukkisaantoon ja leimikon myyntiarvoon. Painotetuissa arvomatriiseissa tükin pituusluokille annettiin erilaisia yksikköhintoja pituusluokkien kuvitteellisten haluttavuuksien perusteella.

2 Aineisto

Aineistona oli 85 Metsähallituksen, Metsäliitto Osuuskunnan ja Metsäntutkimuslaitoksen avohakkuuleimikkoa Etelä- ja Keski-Suomesta ja lisäksi 16 itsenäisten sahayritysten mäntyharvennusleimikkoa Pohjanmaalta ja Koillismaalta (kuva 1). Metsähallituksen leimikot (42 kpl) sijoituivat Lieksaan, Varkauden sekä Jyväskylän ympäristöön, Metsäliitto Osuuskunnan leimikot (41 kpl) Kaakkois-Suomeen (Etelä-Karjala ja Kymenlaakso) sekä Länsi-Suomeen (Pirkanmaa, Satakunta ja Pohjanmaa) ja Metsäntutkimuslaitoksen leimikot (2 kpl) sijoittuvat Pohjois-Karjalaan (Kolin tutkimusalue). Avohakkuuaineistossa oli sekä mänty- että kuusileimikoita ja myös havupuuvaltaisia sekametsiköitä. Mitatut leimikot olivat vähintään yhden hehtaarin kokoisia. Harvennusleimikot valittiin Wallin ym.

(2005) aiemmin kerätystä aineistosta seuraavilla perusteilla: leimikko sijaitsi kivennäismaalla, metsikön kehitysluokka oli hakkuuvaiheessa varttunut kasvatusmetsikkö, ja laskennallinen harvennuspoistuma oli 35–75 m³/ha.

Jokaiselta leimikolta mitattiin 1–6 kpl edustaviin kohtiin subjektiivisesti sijoitettua ympyräkoealaa, pinta-alaltaan 200 tai 300 m² riippuen metsikön puuston tiheydestä. Otannan pohjaksi leimikoista etsittiin leimikon pääsuunta, jonka halkaisijaa seurausten leimikoista poimittiin tyypikoealoja. Otannalla varmistettiin kustakin leimikosta sekä kokojakauksen että laadun osalta edustava otos leimikolle tyypillisiä puita apteerauksen simulointia varten. Systemaattinen koalojen sijoittelu esim. linjoittain tai rypäittäin ei ollut mahdollinen leimikoiden yleensä pienen pinta-alan ja puuston epätasaisuuden vuoksi. Koaloilta määritettiin tai mitattiin metsätyyppi, kasvupaikkaluokka, pohjapinta-ala ja ikä.

Kaikki koaloilla sijainneet, rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään seitsemän senttimetriä paksut puut olivat koepuita. Koepuista mitattiin tai arvioitiin seuraavat tunnuksat: puulaji, rinnankorkeusläpimitta, pituus, elävän latvuksen alkamiskorkeus, alimman yli 1,0 cm paksun kuivan oksan korkeus sekä paksuimman elävän ja kuivan oksan korkeudet. Lisäksi määritettiin rungoissa havaitut tekniset viat (taulukko 1) sekä niiden alkamis- ja päättymiskorkeudet. Vikojen perusteella määritettiin vielä silmävaraisesti sahauskelpoinen rungonosa normaalien saha- ja/tai sorvitukkien laatuvaatimusten mukaan. Harvennusleimikoilla runkojen sahapuuosuudet oli arvioitu tiukemmin kriteerein kuin avohakkuuleimikoilla, ja käytännössä kaikki määritetyt viat vähensivät sahapuun määrää harvennuksilla.

Maastomittaukset tehtiin avohakkuukuvioilla kesinä 2003 ja 2004, harvennuskuvioilla jo kesällä ja syksyllä 2000. Avohakkuuleimikoiden metsätyypin mukainen jakauma oli: lehtomainen kangas 12, tuore kangas 56, kuivahko kangas 11, kuiva kangas 6. Suo- ja turvekangastyypit rinnastettiin tässä ravinteisuustasoltaan vastaaviin kivennäismaiden metsätyyppeihin (Laine ja Vasander 1990). Avohakkuuleimikoista mitattiin 3411 koepuuta, joiden keskimääräinen rungon koko oli 0,543 m³. Koalojen keskimääräinen puuston tilavuus oli 307 m³/ha. Mäntyjen keskitilavuus oli selvästi suurempi kuin kuusten ja koivujen (taulukko 2).

Taulukko 1. Ennakkomittauksessa rungoista määritetyt tekniset viat.

Suuri oksakyyhmy (männyllä)	Tyvimutka
Poikaoksa	Tyvilenko
Oksaryhmä	Lenko
Oksan läpimitta > 70 mm	Ranganvaihto
Kuivan oksan lpm > 30 mm	Katkennut latva
Kuivan oksan lpm > 40 mm	Monilatvainen
Elävän oksan lpm > 50 mm	Koro
Oksan lpm > 15 mm	Laho
tyvitukkiosassa (männyllä)	Muu vika
Moniväärä	Kuiva puu
Mutka	Kuollut puu

Taulukko 2. Avohakkuuleimikoiden koepuiden määrät, pohjapinta-alalla painotetut keskiläpimitat ja keskipituudet sekä aritmeettiset keskitilavuudet puulajeittain.

	Runkoja (kpl)	Keski- läpimitta (cm)	Keski- pituus (m)	Keski- tilavuus (m ³)
Mänty	1272	30,0	23,0	0,632
Kuusi	1955	27,6	22,8	0,492
Koivu	154	27,8	23,9	0,486

Taulukko 3. Mäntyharvennusleimikoiden mäntyjen koepuiden määrät, pohjapinta-alalla painotetut keskiläpimitat ja keskipituudet sekä aritmeettiset keskitilavuudet koko puustossa ja harvennuspoistumassa.

	Runkoja (kpl)	Keski- läpimitta (cm)	Keski- pituus (m)	Keski- tilavuus (m ³)
Koko puusto	666	20,6	16,4	0,224
Poistuma	267	17,8	15,3	0,148

Harvennusmäntyaineistossa poistettavat puut oli valittu siten, että kultakin koelalalta valittiin heikon teknisen laadun takia ehdottomasti poistettavat puut pystypuuston mittausten yhteydessä ja loput poistettavat puut tietokonesimuloinnilla (Wall ym. 2005). Tässä olivat pohjana Niemistön (1992) puuston runkolukuun ja pohjapinta-alalla painotettuun keskiläpimittaan pohjautuvat harvennusmallit, joiden perusteella runsas kolmannes koalojen puustosta poistettiin laatuharvennusperiaatteella alaharvennusta soveltaen (taulukko 3). Harvennusmänniköissä keskitilavuus oli ennen hakkuuta 215 m³/ha ja laskennallinen mäntyjen poistuma harvennuksessa 56 m³/ha.

Taulukko 4. Avohakkuuleimikoiden runkojen apteerauksen simuloinneissa käytettyjen puutavaralajien yksikköhinnat, minimiläpimitat sekä minimi- ja maksimipituudet. Kunkin puutavaralajin perusmääritelmät on esitetty lihavoituna.

Puutavaralaji	Hinta (€/m ³)	Min.lpm (cm)	Min.pit. (dm)	Maks.pit. (dm)
Mäntytukki	46	14, 15 , 16	31, 34, 37, 40 , 43	55 , 58, 61
Mäntytyvitukki	48, 50 , 52	20	37	55
Mäntypylväs	48, 50 , 52	17	91	111
Mäntypikkutukki	18, 20 , 22	11 , 12	31, 34, 37	52
Mäntylhyttukki	15	9	25	34
Mäntykuitupu	12	6, 7	27	55
Kuusitukki	45	15, 16 , 17	31, 34, 37, 40 , 43	55 , 58, 61
Kuusisorvitukki	45, 47 , 49	20, 22, 24 , 26	28	52
Kuusipikkutukki	26, 28 , 30	11, 12	31, 34, 37	52
Kuusikuitupu	20	7, 8	27	55
Koivutukki	40	18, 20 , 22, 24	31	67
Koivukuitupu	12	7	27	55

3 Menetelmät

3.1 Puutavaralajit

Taulukossa 4 on esitetty puutavaralajeittain laskennoissa käytetyt vaihtoehtoiset yksikköhinnat, minimiläpimitat, minimi- ja maksimipituudet. Jokaiselle puutavaralajille määriteltiin niin sanotut perusmitat. Kuitupuutavaralajit katkottiin vapaapituutuisina, jolloin pölkyn pituus sai vaihdella vapaasti minimi- ja maksimipituuden välillä. Muut puutavaralajit katkottiin 3 dm:n moduulipituuksiin seuraavin poikkeuksin: mäntypylväällä 10 dm:n moduulit, kuusisorvitukilla määräpituudet 28 ja 52 dm ja koivutukilla määräpituudet 31, 44, 47, 50, 60 ja 67 dm.

Muita puutavaralajeja kuin kuitupuuta apteerattiin ainoastaan koepuiden maastomittauksessa määritetystä sahauskelpoisesta rungonosasta, ja mäntytyvitukilla ei sallittu mitään määritellyistä vioista (taulukko 1). Mäntytyvitukkia ja -pylvästä voitiin tehdä ainoastaan rungon tyviosasta. Mäntypylväällä maksimiläpimita oli 22 cm, ja kapeneminen sai olla enintään 27 % välillä 2–10 metriä. Pikkutukilla latvaläpimitan tuli olla pienempi kuin tukin minimiläpimita ja vastaavasti lyhyttukilla pienempi kuin pikkutukin minimiläpimita. Kuitupuuta oli mahdollista tehdä kaikista mittavaatimukset täyttävistä rungonosista laadusta riippumatta.

Avohakkuuleimikoiden runkojen apteerauksen simuloinneissa ja myyntiarvolaskelmissa käytettiin tukin ja kuitupuun hintoina vuoden 2004 tammi–syyskuun kantohintatilastojen (METINFO 2005) perusteella määriteltyjä likimääräisiä keskikantohintoja Etelä- ja Keski-Suomessa (taulukko 4). Erikoispuutavaralajien hinnat olivat käytännön puunhankkijoilta saatuja asiantuntija-arvioita. Mäntyharvennusaainestossa käytettiin seuraavia hintoja: tukki 43 €/m³, pikkutukki 18 €/m³, lyhyttukki 14 €/m³ ja kuitupu 11 €/m³.

3.2 Tulosten laskenta

Tutkimuksessa tarvittavat apteeraussimuloinnit tehtiin Metlan Joensuun toimintayksikön puutieteen tutkimusryhmässä laaditulla apteeraussimulaattorilla (Kilpeläinen 2002), joka noudattaa arvoapteerausta optimoiden rungon arvon dynaamisen ohjelmoinnin menetelmällä (Bellman 1954). Sovellettaessa dynaamista ohjelmointia katkonnan optimointiin (Pnevmaticos ja Mann 1972, Briggs 1989) runko jaetaan osaongelmiin, katkaisukohtiin. Katkontakohtana voi olla yksittäinen pölkky, tai erilaisten pölkkyjen yhdistelmä. Kullekin katkaisukohdalle tyvestä alkaen etsitään maksimiarvon tuottava katkonta ja kustakin katkontakohdasta lähtien rungon loppuosalle etsitään kaikki mahdolliset katkaisukohdat. Dynaamisessa optimoinnissa oletetaan, että kunkin

osaongelman optimiratkaisu pätee myös globaalissa optimoinnissa, jolloin optimoinnissa läpikäytävien katkontavaihtoehtojen määrä pienenee verrattuna kaikkien mahdollisten katkontavaihtoehtoyhdistelmien läpikäyntiin. Dynaamisella optimoinnilla ja arvoapteerauksella löydetään katkontavaihtoehto, joka maksimoi yksittäisen rungon arvon katkottujen pölkkyjen tilavuuksien, pölkkyjen laadun sekä annettujen yksikköhintojen perusteella.

Simulaattorissa runkojen apteeraus pohjautuu annettujen puutavaralajien mitta- ja laatuvaatimuksiin sekä runkojen dimensioihin ja niissä esiintyvien teknisten, saha- tai vaneritukkien apteerauksessa huomioon otettavien vikojen alkua- ja päättymiskorkeuksiin. Simulaattori tuottaa kullekin rungolle mitatun rinnankorkeusläpimitan ja pituuden perusteella Laasasenahon (1982) polynomirunkokäyräyhtälöllä runkokäyrän. Pölkkyjen laatu otetaan huomioon niissä esiintyvien apteerauksessa huomioon otettavien teknisten vikojen alkamis- ja päättymiskorkeuksien mukaan. Käytetty apteeraussimulaattori poikkeaa kaupallisista apteeraussimulaattoreista siinä, että se kykenee ottamaan huomioon rungon vikatiedon ja optimoimaan katkonnan siten, että tehdyt pölkkyt täyttävät puutavaralajin laadulliset vaatimukset dimensiovaatimusten lisäksi.

Tutkimuksen apteeraussimuloinnit tehtiin yleensä aina avohakkuuaineistolla. Kuitenkin simuloinnit, joissa laatuvaatimuksiltaan korkeampi mäntytyvitukki oli mukana omana puutavaralajinaan, tehtiin ainoastaan Metsäliiton leimikoista (Kaakkois-Suomi ja Länsi-Suomi), koska niin sanotun laatutyyven määrittämiseen tarvittavat tiedot oli kerätty ainoastaan niistä. Metsäliiton leimikoista tutkimukseen tuli yhteensä 656 mäntyä, joiden pohjapinta-alalla painotetut keskiläpimitta ja keskipituus olivat 29,7 cm ja 23,6 m ja keskimääräinen rungon koko 0,635 m³.

Koko avohakkuuaineiston lisäksi tehtiin simulointeja erikseen rungon keskikoon mukaan luokitellulla aineistolla sekä mäntyharvennusaineistolla tavoitteena selvittää puutavaralajien ja mittavaatimusten vaikutuksia erityyppisissä leimikoissa. Luokittelussa leimikot jaettiin kolmeen luokkaan erikseen männy- ja kuusen keskitilavuuden perusteella (taulukko 5). Koivulla ei aineiston niukkuuden vuoksi tehty luokitusta.

Leimikon puuston järeyden vaikutusta leimikon

Taulukko 5. Luokitellun avohakkuuaineiston koepuiden määrät, pohjapinta-alalla painotetut keskiläpimitat ja keskipituudet sekä aritmeettiset keskitilavuudet.

Puulaji Tilavuus- luokka (m ³)	Runkoja (kpl)	Keski- läpimitta (cm)	Keski- pituus (m)	Keski- tilavuus (m ³)
Mänty				
Alle 0,55	375	25,4	20,2	0,441
0,55–0,75	620	29,7	22,9	0,636
Yli 0,75	277	33,4	25,2	0,880
Kuusi				
Alle 0,40	606	23,1	19,8	0,302
0,40–0,55	766	27,1	22,4	0,484
Yli 0,55	583	30,7	24,8	0,699

myyntiarvoon tutkittiin myös selittämällä puuston yksikköarvoa leimikon runkojen keskitilavuudella. Erikoispuutavaralajiapteerauksia verrattiin näissä tarkasteluissa perusapteeraukseen. Leimikkokohdaksi tarkasteluihin otettiin mukaan ainoastaan ne avohakkuuleimikot, joissa kulloinkin tarkasteltavan puulajin pohjapinta-ala oli vähintään 5 m²/ha, jotta kaikista leimikoista saatiin riittävästi koepuita analyysin pohjaksi.

Jakaumatavoitteiden vaikutusten eliminoimiseksi suurin osa apteeraussimuloinneista tehtiin niin sanotuilla tasahintamatriiseilla, joissa jokaisella saman puutavaralajin pituus-läpimittayhdistelmällä on sama yksikköarvo. Todellisessa hakkuussa käytetään harvoin tasahintamatriiseja, mutta tässä tutkimuksessa niiden käyttäminen oli perusteltua, jotta saatiin selville nimenomaan puutavaralajien ja mittavaatimusten vaikutukset. Jakaumatavoitteiden vaikutuksia puutavaralajisaantoihin ja leimikon myyntiarvoon sivuttiin kuitenkin tekemällä simulointeja arvomatriiseilla, joissa painotettiin tiettyjä pituusluokkia.

Tulosten analysoinnin selkiyttämiseksi vaihdeltiin kerrallaan ainoastaan kulloinkin tarkasteltavan puutavaralajin mittavaatimuksia, ja muut simuloinneissa mukana olleet puutavaralajit pidettiin perusmäärittämissillään (taulukko 4). Lähes kaikissa simuloinneissa puutavaralajeilla olivat käytössä kaikki määritellyt pituudet minimi- ja maksimipituuden väliltä. Eriksen tehtiin joitakin simulointeja, joissa käytettiin vain yhtä tai kahta pituusluokkaa. Tutkittaessa erikoispuutavaralajien vaikutuksia olivat mukana nor-

Taulukko 6. Tukin minimiläpimitan vaikutukset leimikon tukkisaantoon ja myyntiarvoon männyllä, kuusella ja koivulla avohakkuuaineistossa. Perusapteerauksen tulokset on esitetty lihavoituna. Pituusluokista olivat käytössä männyllä ja kuusella 40–55 dm ja koivulla 31, 44, 47, 50, 60 ja 67 dm.

Puulaji	Minimiläpimita (cm)	Tukki-saanto (%)	Myyntiarvon muutos (%)
Mänty	14	78,6	1,9
	15	76,4	vertailu
	16	73,6	-2,5
Kuusi	15	79,6	2,2
	16	76,2	vertailu
	17	72,4	-2,5
Koivu	18	44,1	3,6
	20	41,1	vertailu
	22	36,7	-5,2
	24	29,8	-13,6

maalitukki ja kuitupuu perusmääritelmillään sekä kulloinkin tarkasteltava erikoispuutavaralaji.

Muiden erikoispuutavaralajien kuin lyhyttukin hinnoittelun vaikutuksia puutavaralajisaantoihin ja myyntiarvoon tutkittiin herkkyysanalyysillä niiden yksikköhintojen suhteen muuttamalla hintoja ylös- ja alaspäin kaksi euroa. Näissä simuloinneissa muiden puutavaralajien hinnat pidettiin vakioina.

Myyntiarvotarkasteluissa vaihtoehtoisten katkostaohjeiden tuottamaa myyntiarvoa verrattiin perusmitoilla simuloidun apteerauksen tuottamaan myyntiarvoon. Myyntiarvon muutoksilla tarkoitettiin aina vain leimikon kyseisen puulajin myyntiarvon muutosta. Perusapteerauksessa tehtiin pelkästään tukkia ja kuitupuuta perusmääritelmillään. Myyntiarvon muutosten lisäksi tarkasteltiin puutavaralajien saantoja, jotka laskettiin prosentteina kyseisen puulajin kokonaiskertymästä, jossa myös hukkapuu oli mukana.

4 Tulokset

4.1 Puutavaralajien ja niiden mitta-vaatimusten vaikutukset leimikon puutavaralajikertymään ja myyntiarvoon avohakkuuaineistossa

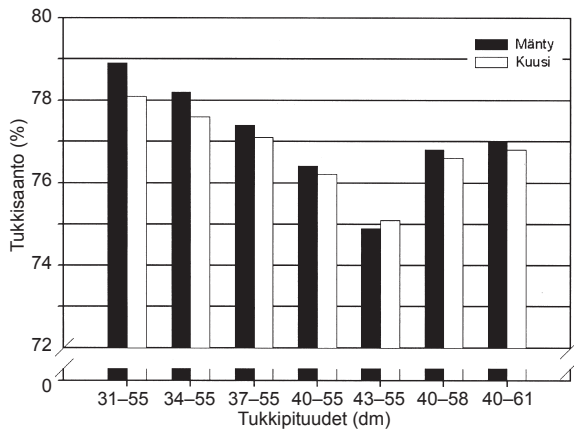
4.1.1 Tukin mittavaatimukset

Tukin minimiläpimitan vaikutus tukkisaantoon oli kuusella hieman suurempi kuin männyllä (taulukko 6). Lisäksi minimiläpimitan muutoksen vaikutus oli sitä suurempi, mitä suuremmista minimiläpimitoista oli kyse. Koivulla oli käytössä eri minimiläpimitat kuin havupuilla, ja tukkisaannot olivat huomattavasti alempia. Myyntiarvon muutokset olivat samansuuntaisia tukkisaannon muutosten kanssa ja samaa luokkaa sekä männyllä että kuusella. Myös koivulla tukkisaannon muutokset heijastuivat voimakkaasti myyntiarvoon.

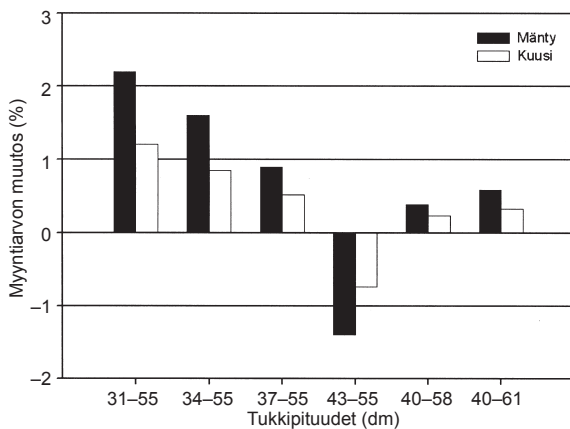
Lyhyiden tukkipituuksien käytön vaikutus tukkisaantoon oli männyllä hieman suurempi kuin kuusella, ja myyntiarvon muutoksissa ero oli vielä selvempi (kuva 2 ja 3). Lyhyen tukkipituuden lisäys pituusvaihtoehtoihin nosti tukkisaantoa sitä enemmän, mitä pitempiä alkuperäiset pituudet olivat. Erityisesti männyllä tukin minimipituuden kasvattaminen alensi tukkisaantoa huomattavan paljon. Pitkien mittojen vaikutus tukkisaantoon ja myyntiarvoon sen sijaan osoittautui varsin vähäiseksi. Teoreettinen maksimisaanto, johon luettiin kokonaisuudessaan tukin laatu- ja läpimittavaatimukset täyttävä rungon osa, olisi ollut männyllä 81,3 % ja kuusella 80,6 %.

Yhden tukkipituuden apteerauksessa päästiin sitä korkeampaan tukkisaantoon ja myyntiarvoon, mitä lyhyempi käytettävä pölkkipituus oli (kuva 4 ja 5). Tukki-saanto ja erityisesti myyntiarvo alenivat männyllä enemmän kuin kuusella pölkkipituutta kasvatettaessa. Kahdella tukkipituudella (43 ja 52 dm) päästiin männyllä 3,0 prosenttiyksikön ja kuusella 2,3 prosenttiyksikön päähän perusapteerauksen (40–55 dm) tukkisaannosta.

Sekä männylle että kuuselle tehtiin regressiomallit, joilla verrattiin perusapteerausta (minimiläpimita männyllä 15 cm, kuusella 16 cm) apteeraukseen, jossa tukin minimiläpimitaa oli alennettu yhdellä senttimetrillä (minimiläpimita männyllä 14 cm, kuusella

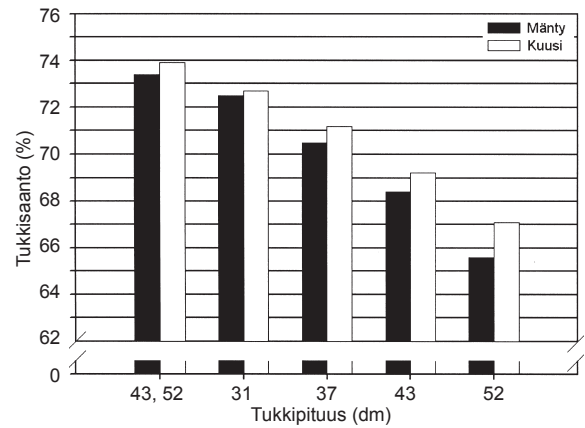


Kuva 2. Tukin minimi- ja maksimipituuden vaikutus tukkisaantoon männällä ja kuusella. Tukin minimiläpimittana oli männällä 15 cm ja kuusella 16 cm.

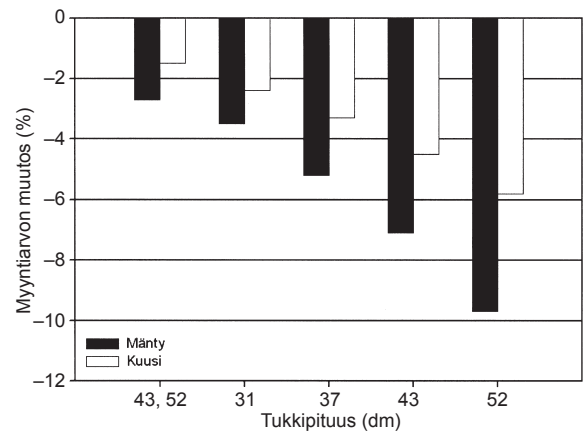


Kuva 3. Tukin minimi- ja maksimipituuden vaikutus myyntiarvoon männällä ja kuusella. Vertailutasona on minimipituus 40 dm ja maksimipituus 55 dm. Tukin minimiläpimittana oli männällä 15 cm ja kuusella 16 cm.

15 cm) (taulukko 7, kuva 6). Männelle ja kuuselle tehtyä perusteerausta verrattiin myös apteraukseen, jossa otettiin lisäksi yksi lyhyt tukkipituus käyttöön eli käytössä olivat siis pituudet 37–55 dm. Minimiläpimitan muutos vaikuttaa tukkisaantoon minimipituuden muutosta enemmän sekä männällä että kuusella. Keskitilavuus vaikuttaa tukkisaannon muutokseen enemmän männällä kuin kuusella. Minimipituuden osalta tilanne on päinvastainen, keskitilavuus vaikuttaa tukkisaannon muutokseen minimipituuden muuttuessa enemmän kuusella kuin männällä. Tukkisaannon muutosta kuvaavien mal-



Kuva 4. Männen ja kuusen tukkisaannot yhdellä tukkipituudella sekä pituuksilla 43 ja 52 dm. Tukin minimiläpimittana oli männällä 15 cm ja kuusella 16 cm.

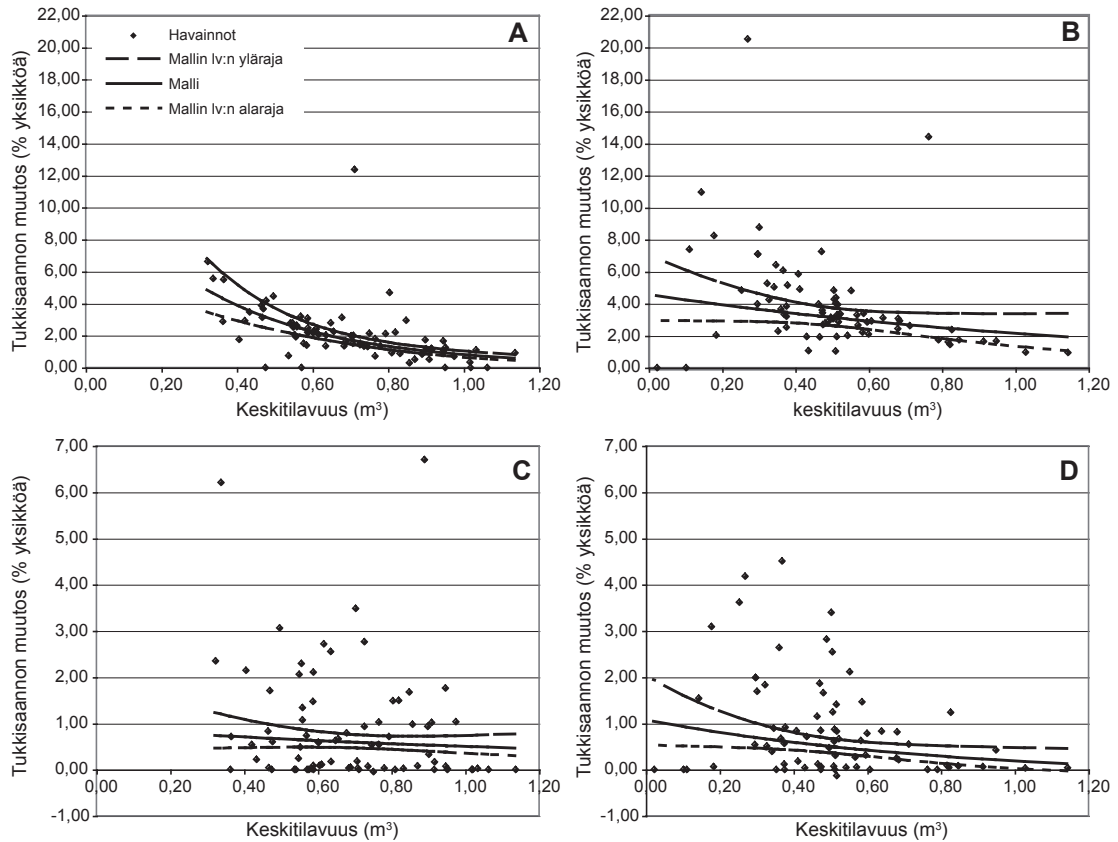


Kuva 5. Männen ja kuusen myyntiarvojen muutokset yhdellä tukkipituudella sekä pituuksilla 43 ja 52 dm. Tukin minimiläpimittana oli männällä 15 cm ja kuusella 16 cm. Vertailutasona on apteraus pituuksilla 40–55 dm.

lien selitysasteet ovat kuitenkin pieniä ja selittämättöä vaihtelua on paljon, jolloin niiden perusteella saadaan esille vain suuntaa antava muutos.

4.1.2 Erikoispuutavaralajien katkenta

Pikkutukin saannot olivat avohakkuuaineistossa minimiläpimitasta ja pituusvaihtoehdoista riippuen männällä vain 3–5 % mutta kuusella 9–12 % (taulukko 8). Pikkutukin mukaanotto simuloiteihin tukin ja kuitupuun rinnalle nosti kuitenkin



Kuva 6. Minimiläpimitan sekä minimipituuden muutoksen mallit sekä 95%:n luottamusvälit keskitilavuuden funktiona männyllä ja kuusella. A) Männyllä minimiläpimitan muutos 15 cm:stä 14 cm:iin, B) Kuusen minimiläpimitan muutos 16 cm:stä 15 cm:iin, C) männyllä minimipituuden muutos 40 dm:stä 37 dm:iin, sekä D) kuusen minimipituuden muutos 40 dm:stä 37 dm:iin.

Taulukko 7. Minimiläpimitan ja minimipituuden muutosten vaikutuksia ilmentävät regressiomallit männyllä ja kuusen tukkisaantoon. $f_{i,j} - f_{i,0} = e^{a_{ij} - b_{ij}V_{m,k}} - c_{ij}$, jossa f on tukkisaanto (%), 0 = perusapteeraus (minimiläpimita männyllä 15 cm ja kuusella 16 cm ja tukkien sallitut pituudet 3 dm moduuleilla 40–55 dm), i = puutavaralaji (1 = mäntytukki, 2 = kuusitukki), j = apteeraustavan muutos (1 = apteeraus, jossa minimiläpimita männyllä 14 cm ja kuusella 16 cm; 2 = apteeraus, jossa on lisätty pituusluokka 37 dm. $V_{m,k}$ = leimikkokohtainen mänty- ja kuusirunkojen keskitilavuus (dm³). a , b ja c ovat vakioita, R^2 = regressiomallin selitysyhteys ja S_e = estimoitujen parametrien keskivirheet.

	a	b	c	R^2	S_e
Läpimitan muutos					
mänty	2,350	2,680	0,1	0,287	0,813
kuusi	1,554	0,722	0,2	0,045	0,717
Pituuden muutos					
mänty	0,387	1,681	0,1	0,062	1,248
kuusi	0,235	1,225	0,2	0,070	0,960

Taulukko 8. Pikkutukin saannot, normaalitukin saantojen muutokset ja vaikutukset leimikon myyntiarvoon männylä ja kuusella avohakkuuaineistossa.

Minimilatulvaläpimitta (cm)	Pituudet (dm)	Pikkutukki-saanto (%)	Kokonaistukkisaannon muutos (%-yks.)	Myyntiarvon muutos (%)
Mänty				
11	31–52	4,9	–0,05	0,93
11	34–52	4,8	–0,13	0,84
11	37–52	4,2	–0,09	0,76
11	37	3,8	–0,09	0,67
11	37, 52	4,0	–0,09	0,72
12	37–52	3,0	–0,08	0,54
Kuusi				
12	31–52	11,1	–0,36	2,0
12	34–52	10,3	–0,44	1,8
12	37–52	10,1	–0,72	1,6
12	37	9,1	–0,72	1,4
12	37, 52	9,7	–0,72	1,5
11	37–52	11,6	–0,48	2,0

myyntiarvoa männyllä vain alle 1,0 % ja kuusella 1,4–2,0 %. Pikkutukin mittavaatimuksista minimilatulvaläpimitalla oli sekä männyllä että kuusella suurempi vaikutus pikkutukkisaantoon kuin käytetyillä pölkkypituuksilla. Jo yhdellä lyhyellä pölkky-pituudella päästiin lähes yhtä korkeaan saantoon kuin lukuisilla pitemmillä mitoilla. Pikkutukin apteeraus alensi normaalitukin saantoa kuusella noin puoli prosenttiyksikköä ja männyllä ainoastaan noin 0,1 prosenttiyksikköä, joten siirtymä pikkutukkiin tapahtui lähes yksinomaan kuitupuusta.

Mäntypylvästä apteerattaessa pylvään saanto käytetyillä harvoilla mitoilla oli 22,3 %, jolloin tukin saanto aleni vastaavasti 54,3 prosenttiin. Männyn hyvälaatuisten tyvitukkien apteeraus erilleen vaikutti vielä enemmän: näiden erikoistyvien saanto oli 25,5 % ja tukkien saanto tällöin vastaavasti 47,3 %. Apteerattessa mäntypylvästä ja -tyvitukkia järeiden puutavaralajien kokonaistukkisaanto nousi kuitenkin vähän, 0,24 ja 0,20 prosenttiyksikköä.

Männyllä otettiin simulointeihin mukaan pikkutukin lisäksi lyhyttukki. Lyhyttukin minimilatulvaläpimitta oli 9 cm, ja käytössä olivat pituudet 25–34 dm. Lyhyttukkisimuloinnissa tehtiin myös pikkutukkia minimilatulvaläpimitalla 11 cm ja pituuksilla 37–52 dm. Lyhyttukin saanto oli vain 2,2 % nostaten leimikon myyntiarvoa pikkutukkiapteeraukseen nähden ainoastaan 0,07 %.

Taulukko 9. Kuusisorvitukin saannot, kokonaistukkisaannon muutokset ja vaikutukset leimikon myyntiarvoon avohakkuuaineistossa.

Minimilatulvaläpimitta (cm)	Pituudet (dm)	Sorvitukki-saanto (%)	Kokonaistukkisaannon muutos (%-yks.)	Myyntiarvon muutos (%)
20	28, 52	52,7	0,85	3,2
22	28, 52	43,0	0,64	2,6
24	28, 52	33,1	0,54	2,0
26	28, 52	25,6	0,43	1,6
22	52	33,7	–0,18	1,6
24	52	26,4	–0,14	1,3
26	52	19,9	–0,09	0,97

Taulukko 10. Erikoispuutavaralajien saannot ja vaikutukset leimikon myyntiarvoon vaihtoehtoisilla erikoispuutavaralajien yksikköhintoilla avohakkuuaineistossa.

Puutavaralaji	Yksikköhinta (€/m ³)	Saanto (%)	Myyntiarvon muutos (%)
Mäntypikkutukki	18	3,8	0,55
	20	4,2	0,76
	22	4,2	0,99
Mäntypylväs	48	20,1	1,0
	50	22,3	2,1
	52	24,8	3,4
Mäntytyvitukki	48	25,2	1,6
	50	25,5	3,0
	52	25,9	4,4
Kuusipikkutukki	26	8,8	1,1
	28	10,1	1,6
	30	10,6	2,1
Kuusisorvitukki	45	12,6	0,34
	47	33,1	2,0
	49	34,3	3,8

Kuusisorvitukin saannot vaihtelivat (20–53 %) hyvin paljon käytettyjen pituuksien ja minimilatulvaläpimitan mukaan (taulukko 9). Lyhyen, 28 dm pitkän mitan käytön vaikutus 52 dm:n pituuden kanssa yhdessä oli samaa luokkaa kuin minimilatulvaläpimitan alenemisen kahdella senttimetrillä. Kuitenkin lyhyellä sorvipölkkyllä oli suurempi myyntiarvoa kohoittava vaikutus, mikä johtui kokonaistukkisaannon noususta.

Pikkutukeilla, kuusisorvitukilla, mäntypylväällä ja mäntytyvitukilla vertailtiin saantoja myös kun simuloinneissa käytettiin vaihtoehtoisia yksikköhintoja (taulukko 10). Kaikilla puutavaralajeilla käytettiin perusmittavaatimuksia (taulukko 4). Yksikköhintojen muuttamisella ei ollut kovin suurta vaikutusta

erikoispuutavaralajien saantoihin lukuun ottamatta alinta kuusisorvitukin hintaa. Yksikköhintojen muutokset heijastuivat sitä vastoin voimakkaasti myyntiarvoon.

4.1.3 Kuitupuun katkontavaihtoehdot

Simuloinneissa, joissa tutkittiin kuitupuun katkonnan vaikutuksia, tukkia tehtiin perusmääritelmillään. Kuitupuun katkonta 30 dm:n määrämittaan vähen-

Taulukko 11. Kuitupuun katkonnan vaikutus kuitupuun saantoon ja leimikon myyntiarvoon männyllä, kuusella ja koivulla avohakkuuaineistossa.

Puulaji	Minimiläpimitta (cm)	Pituudet (dm)	Kuitupuusaanto (%)	Myyntiarvon muutos (%)
Mänty	7	27–55	22,4	vertailu
	7	30	20,4	-0,39
	6	27–55	22,6	0,083
Kuusi	7	27–55	22,4	vertailu
	7	30	20,8	-0,74
	8	27–55	21,8	-0,31
Koivu	7	27–55	55,3	vertailu
	7	30	53,1	-0,70

si kuitupuun saantoa kaikilla puulajeilla noin kaksi prosenttiyksikköä, mutta myyntiarvon muutos oli kuusella ja koivulla selvästi suurempi kuin männyllä (taulukko 11). Kuitupuun minimiläpimittaan muuttaminen yhdellä senttimetrillä sen sijaan vaikutti kuitupuun saantoihin huomattavasti vähemmän. Myyntiarvoon vaikutus oli olemattoman pieni.

4.2 Vaikutukset luokitellussa avohakkuuaineistossa ja mäntyharvennusaineistossa

Tukin minimiläpimittaan alentaminen yhdellä senttimetrillä lisäsi männyn ja kuusen tukkisaantoa ja myyntiarvoa eniten pienipuustoisilla leimikoilla (taulukot 12 ja 13). Suhteellinen tukkisaannon nousu oli pienen kokonaistukkisaannon takia suurinta harvennusmäntyleimikoiden aineistossa. Lyhyiden tukkimittojen vaikutus tukkisaantoon oli sekä männyllä että kuusella suurinta pienipuustoisilla leimikoilla, mutta rungon keskijäreiden vaikutus ei ollut yhtä suurta kuin tukin minimiläpimittaan tapauksessa, ja männyllä lyhyet mitat nostivat tukkisaantoa järeimmillä leimikoilla jopa enemmän kuin keskijäreillä leimikoilla. Kahdella tukkipituu-

Taulukko 12. Mäntytukin mittavaatimusten vaikutus leimikon tukkisaantoon ja myyntiarvoon mäntyharvennusaineistossa ja luokitellussa avohakkuuaineistossa.

Minimiläpimitta (cm)	Pituudet (dm)	Harv.	Tukkisaanto (%)			Harv.	Myyntiarvon muutos (%)		
			< 0,55 m ³	0,55–0,75 m ³	>0,75 m ³		< 0,55 m ³	0,55–0,75 m ³	>0,75 m ³
15	40–55	4,3	69,6	78,2	78,1	vert.	vert.	vert.	vert.
14	40–55	6,9	73,3	80,3	79,3	6,8	3,6	1,8	1,1
15	34–55	6,0	72,0	79,8	80,0	4,0	2,2	1,4	1,7
15	43, 52	3,1	66,1	75,6	74,8	-3,4	-3,4	-2,3	-2,9

Taulukko 13. Kuusitukin mittavaatimusten vaikutus leimikon tukkisaantoon ja myyntiarvoon luokitellussa avohakkuuaineistossa.

Minimiläpimitta (cm)	Pituudet (dm)	< 0,4 m ³	Tukkisaanto (%)		< 0,4 m ³	Myyntiarvon muutos (%)	
			0,4–0,55 m ³	>0,55 m ³		0,4–0,55 m ³	>0,55 m ³
16	40–55	64,1	75,7	82,2	vert.	vert.	vert.
15	40–55	69,5	79,1	84,7	3,7	2,2	1,5
16	34–55	66,1	77,2	83,1	1,4	0,93	0,55
16	43, 52	61,8	73,0	80,2	-1,6	-1,7	-1,3

Taulukko 14. Mäntypikkutukin ja -pylvään saannot ja vaikutukset leimikon myyntiarvoon mäntyharvennusaineistossa ja luokitellussa avohakkuuaineistossa.

Puutavaralaji	Saanto (%)				Myyntiarvon muutos (%)			
	Harv.	< 0,55 m ³	0,55–0,75 m ³	>0,75 m ³	Harv.	< 0,55 m ³	0,55–0,75 m ³	>0,75 m ³
Pikkutukki	12,9	8,6	3,8	1,8	7,3	1,7	0,66	0,32
Pylväs	ei tehty	18,4	26,6	17,9	ei tehty	1,8	2,5	2,6

Taulukko 15. Kuusipikkutukin ja -sorvitukin saannot ja vaikutukset leimikon myyntiarvoon luokitellussa avohakkuuaineistossa.

Puutavaralaji	Saanto (%)			Myyntiarvon muutos (%)		
	< 0,4 m ³	0,4–0,55 m ³	>0,55 m ³	< 0,4 m ³	0,4–0,55 m ³	>0,55 m ³
Pikkutukki	17,3	10,6	6,3	3,3	1,6	0,85
Sorvitukki	18,5	29,3	43,2	1,2	1,9	2,4

della tukkisaannon alenema oli sekä männyllä että kuusella samaa luokkaa kaikissa avohakkuuaineiston keskijäreysluokissa.

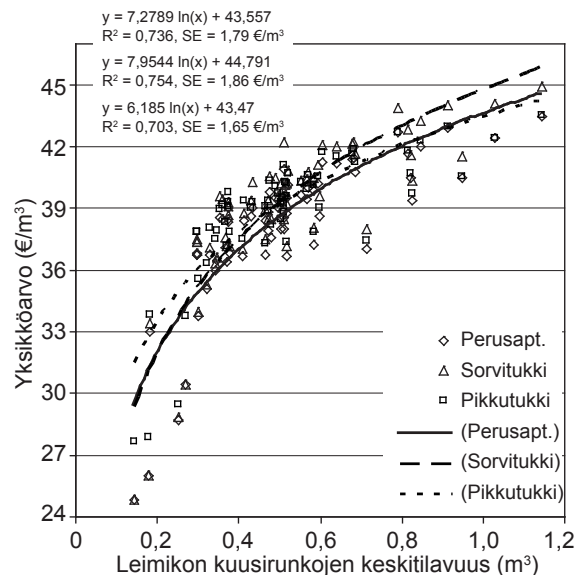
Pikkutukkien saannot ja myyntiarvoa kohottava vaikutus oli suurimmillaan pienipuustoisilla leimikoilla (taulukot 14 ja 15). Sitä vastoin mäntypylvästä saatiin eniten leimikoiden keskimmaisesta järeysluokasta ja kuusisorvitukia järeimmistä leimikoista.

Harvennusleimikoilla kuitupuun katkonta 30 dm:n määräpituuteen laski kuitupuun saantoa 6,6 prosenttiyksikköä ja leimikon myyntiarvoa 5,3 %. Vastaavasti kuitupuun minimilatvaläpimitan aleneminen seitsemästä senttimetristä kuuteen lisäsi kuitupuun saantoa 2,1 prosenttiyksikköä ja myyntiarvoa 1,9 %.

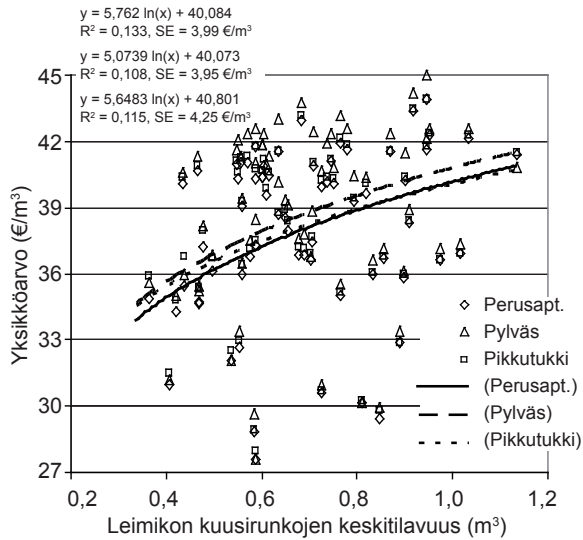
4.3 Puuston järeiden vaikutus leimikon myyntiarvoon

Leimikon runkojen keskitilavuuden kasvu nosti alenevalla nopeudella runkojen yksikköarvoa. Keskitilavuus selitti pitkälti kuusen yksikköarvon vaihtelua (kuva 7), mutta männyllä rungon yksikköarvon ja keskitilavuuden välinen riippuvuus oli heikko ja leimikoiden välinen hajonta suurta (kuvat 8 ja 9).

Erikoispuutavaralajien leimikon yksikköarvoa kohottava vaikutus vaihteli selvästi järeydeltään samankaltaistenkin leimikoiden välillä. Kuten luokitellussakin aineistossa pikkutukkien vaikutus yksikköarvoon oli suurimmillaan pienipuustoisilla

**Kuva 7.** Keskijäreiden vaikutus kuusen simuloituihin ja malleilla ennustettuihin yksikköarvoihin perus-, sorvitukki- ja pikkutukkiapteerauksessa.

leimikoilla ja kuusisorvitukin järeimmillä leimikoilla. Mäntytyvitukki nosti yksikköarvoa eniten järeimmillä leimikoilla. Mäntypylväällä ei ollut havaittavissa selvää riippuvuutta leimikoiden järeiden ja yksikköarvon kohoamisen välillä.

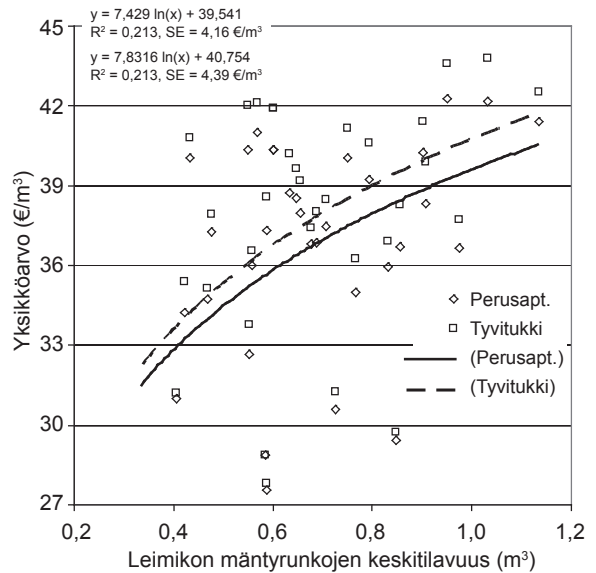


Kuva 8. Keskijäreyden vaikutus männyn simuloituihin ja malleilla ennustettuihin yksikköarvoihin perus-, pikkutukki- ja pylväsapteerauksessa.

4.4 Painotettujen arvomatriisien käytön vaikutukset

Painotettujen arvomatriisien käytön vaikutusta tutkittiin kuusella perustilanteessa, jossa tehtiin pelkäättään tukkia (minimiläpimittana 16 cm, pituudet 40–55 dm) ja vapaapituista kuitupuuta (minimiläpimittana 7 cm, pituudet 27–55 dm). Simuloinneissa käytettiin arvomatriiseja, joiden pituusluokille annettiin erilaisia hintoja (taulukko 16).

Verrattuna tasahintamatriisilla tehtyyn simulointiin, jossa jokaisen pölkyn pituus-läpimittayhdistelmän hinta oli 45 €, pituusluokkien painotus vähensi tukkisaantoa enimmillään 2,0 prosenttiyksikköä ja myyntiarvoa 1,4 % (taulukko 17). On otettava huomioon, että matriisien painotuksessa perushintaa muutettiin suurimmillaan 4 € ylös- tai alaspäin ($\pm 9\%$). Matriisi 2a oli muuten samanlainen kuin matriisi 2, mutta pienimmän tukkiläpimittaluokan arvoa korotettiin 2 €. Menettelyllä pyrittiin vähentämään tukkiosuuden siirtymistä kuitupuuksi, mutta vaikutus oli varsin vähäinen. Sitä vastoin kuitupuun hinnan alentaminen nimelliseksi rajoitti tehokkaammin tukkisaannon alenemistä. Kuitenkin myyntiarvo väheni silloinkin huomattavasti verrattuna tasahintamatriisilla tapahtuvaan apteerauksen simulointiin.



Kuva 9. Keskijäreyden vaikutus männyn simuloituihin ja malleilla ennustettuihin yksikköarvoihin perus- ja tyvitukkiapteerauksessa. Aineistona Metsäliiton leimikot, joissa oli tukkipuun mittavaatimukset täyttäviä mäntyjä (32 leimikkoa).

Taulukko 16. Painotetuissa arvomatriiseissa käytettyjen kuusitukkien pituusluokkien suhteelliset hinnat.

Pituus (dm)	Arvomatriisin arvo (€)		
	Matriisi 1	Matriisi 2	Matriisi 3
40	43	41	41
43	44	43	43
46	45	45	45
49	46	47	48
52	47	49	49
55	46	48	45

Taulukko 17. Tukkisaannot ja vaikutukset myyntiarvoon käytettäessä painotettuja arvomatriiseja tasahintamatriisien sijasta. Matriisi 2a:ssa pienimmän läpimittaluokan hintaa korotettiin 2 €.

Arvomatriisi	Kuitupuun suht. hinta (€)	Tukkisaanto (%)	Myyntiarvon muutos (%)
Tasahinta	20	76,2	vertailu
1	20	75,4	-0,55
2	20	74,7	-1,0
2a	20	75,0	-0,82
2	2	75,6	-0,71
3	20	74,2	-1,4

5 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia leimikon puutavaralajikertymän ja myyntiarvon vaihtelua erilaisilla katkontaohjeilla käyttäen mitattua leimikkoaineistoa sekä apteeraussimulaattoria, jolla pystytään ottamaan huomioon apteerattavien runkojen dimensioiden lisäksi niiden ennalta määritetty ulkoinen laatu. Tutkimuksessa kiinnitettiin erityisesti huomiota tukin mittavaatimusten vaikutuksiin tukkisaantoon ja sitä kautta leimikon myyntiarvoon. Tarkastelu kohdistui myös erikoispuutavaralajien, kuitupuun katkontatapojen sekä painotettujen arvomatriisien vaikutukseen puutavaralajikertymiin ja leimikon myyntiarvoon.

Tutkimuksen avohakkuuleimikot edustavat varsin hyvin normaaleja Etelä- ja Keski-Suomen avohakkuuleimikoita metsätyyppien, omistajaryhmien ja puuston rakenteen perusteella. Todennäköisesti tutkimusleimikot olivat kuitenkin korjuolosuhteiltaan hieman keskimääräistä parempia ja laadukkaampia, koska nimenomaisena tarkoituksena oli tutkia metsänhoidolliselta tilaltaan vähintään tyydyttäviä metsiköitä. Koealat sijoiteltiin tutkimusleimikoiden edustaviin kohtiin subjektiivisesti mittausryhmän arvion mukaan, mikä saattoi aiheuttaa virhettä puustotunnusten määrittämisessä leimikoittain.

Tutkimusaineistossa männyn keskijäreys oli selvästi kuusen keskijäreyttä suurempi, vaikka Etelä- ja Keski-Suomessa yleisesti kuusivaltaisten leimikoiden keskijäreys on mäntyvaltaisia leimikoita suurempi. Varjoa sietävänä puulajina kuusia esiintyy usein päätehakkuukäisissä metsiköissä lisävaltapuina tai toisena jaksona valtapuiden lisäksi. Lukumääräisesti näitä runkoja voi olla paljon, mutta niistä ei kuitenkaan kerry suurta tilavuutta niiden päävaltapuista pienemmän keskiläpimitan johdosta. Siten näillä puilla on tutkimusaineistossa kuusen keskijäreyttä pienentävä vaikutus. Kuusen ja männyn keskikoon ero oli samankaltainen myös Metsätehon 224 päätehakkuuleimikosta keräämässä runkopankkiaineistossa, jossa rungot mitattiin hakkuukoneen mittalaitteella (Malinen ym. 2001). Lisäksi tutkimusaineiston mäntyvaltaiset avohakkuuleimikot olivat Kaakkois-Suomessa osaksi rehevillä metsätyypeillä, jolloin niiden keskijäreys oli tavanomaista suurempi.

Leimikoiden ennakkomittauksessa haastavin osa oli koepuiden teknisten vikojen ja sahapuuosuuden määrittäminen. Tämä tehtiin silmämääräisesti, ja lisäksi harvennismäntyleimikoiden aineistossa sahapuuosuus määriteltiin ilmeisesti tiukemmin kriteerein kuin avohakkuuleimikoiden aineistossa. Kaikkia rungon katkontakohdilta nähtävissä olevia sisävikoja ei voida ennustaa ulkoisen tarkastelun perusteella, joten todelliset sahapuuosuudet voivat olla hieman pienempiä runkojen katkonnan jälkeen. Katkaisukohdan poikkileikkauksesta havaittavia vikoja ovat varsinkin kuusen tyvilaho ja vanhojen mäntyjen sydänhalkeamat. Kuitenkin on painotettava, että tutkimuksessa ei ollut olennaista määrittää täsmälleen oikein yksittäisten runkojen puutavaralajisaantoja, vaan vertailla saantoja yhtenäisin perustein erilaisilla katkontaohjeilla rungosta riippumatta.

Apteerauksen simuloinneissa käytettiin Laasasen ahon (1982) rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvia runkokäyriä, joten rungon kapenemisen leimikoittainen vaihtelun vaikutus ei ilmene tuloksista. On kuitenkin muistettava, että hakkuukoneellakin tehtävässä hakkuussa rungon todellinen kapenevuus tiedetään vasta katkonnan jälkeen, joten katkonta pohjautuu aina runkomuotoennusteeseen.

Mänty- ja kuusitukkien saannot olivat tässä tutkimuksessa avohakkuuleimikoissa keskimäärin tasolla 76 % käytettäessä yleisiä mitta- ja laatuvaatimuksia. Ahosen ja Mäkelän (1995) 8. valtakunnan metsien inventoinnin puustoille tekemässä simulointitutkimuksessa koko puuston tukkiosuudet olivat Etelä-Suomessa männyllä 50,2 % (Länsi-Suomi 44 %, Järvi-Suomi 53 %) ja kuusella 48,9 % (Länsi-Suomi 45 %, Järvi-Suomi 50 %). Riekkisen (2004) suomalaisia ja ruotsalaisia kivennäismaiden päätehakkuumänniköitä koskeneessa tutkimuksessa vastaava tukkiosuus oli 74–80 % osa-alueesta riippuen (pl. Suomen Lappi 62 %), mutta Verkasalon ja Kilpeläisen (2004) Etelä-Suomen sisäosan, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan ojitettujen turvemaiden päätehakkuumänniköissä vain 58, 47 ja 57 %. Riepon ja Marjomaan (1992) Etelä-Suomen päätehakkukuusikoissa kuusen apteerausohjeiden mukainen ns. optimitukkiosuus oli 77,6 %. Pohjois-Karjalassa 16 avohakkuuleimikossa toteutunut tukkiosuus oli ns. yleisapteerauksessa keskimäärin 72 % (Tolkki ja Saramäki 1997); osuus oli sama eräässä hyvälaatuisessa kuusileimikossa Keski-Suomessa käytettä-

essä laatuapteerausta (Kerkelä 1997). Korkeimmat kuusitukkimestiköiden normaalitukkiosuudet ovat havainneet Verkasalo ja Maltamo (2002): Etelä-Suomen neljällä osa-alueella ne olivat runkomuodoltaan hyvien koepuiden ns. normaaliapteerauksessa 87–89 % kasvupaikkaryhmästä riippuen.

Tukin minimilatuläpimitan 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 minimilatuläpimitan vaikutus tukkisaantoon oli kuusella selvästi suurempi kuin männyllä. Minimilatuläpimitan muutoksen erilaista vaikutusta selittää myös kuusen pienempi kapenevuus tukin minimilatuläpimittaa vastaavalla korkeudella. Tulokset ovat samansuuntaisia Kerkelän (1997) tutkimuksen kanssa, jossa kuusen simuloitu tukkisaanto nousi neljä prosenttiyksikköä, kun tukin minimilatuläpimittaa alennettiin 16,5 cm:stä 15,5 cm:iin. Tolkin ja Saramäen (1997) selvityksessä avohakkuukuusikoiden tukkiosuus oli suurimmillaan 82 %, kun tukin minimilatuläpimittana oli 14 cm ja käytettävissä seitsemän tukkipituutta, ja pienimmillään 69 %, kun tukin minimilatuläpimittana oli 16 cm ja käytettävissä vain kaksi tukkipituutta. Vaikka tukkisaannon muutokset olivat kuusella suurempia kuin männyllä, leimikon myyntiarvon muutoksissa ei ollut merkittäviä eroja, koska mäntytukin ja -kuitupuun hintaero oli simuloinneissa suurempi kuin kuusitukin ja -kuitupuun. Sama ilmiö näkyi kaikissa muissakin kyseisten puutavaralajien myyntiarvotarkasteluissa.

Tukkipituuksien perusvaihtoehtoon (pituudet 40–55 dm) verrattuna pölkkypituuksien 34 ja 37 dm lisäämisen vaikutus oli männyllä samaa luokkaa kuin yhden senttimetrin alentamisen vaikutus tukin minimilatuläpimitassa. Puumalaisen (1998) tutkimuksessa männyn väli- ja latvatukin minimipituuden alentaminen 40 dm:stä 31 dm:iin lisäsi tukkisaantoa 1,6 prosenttiyksikköä. Tuloksia ei voi verrata suoraan, sillä tässä tutkimuksessa käytetty vikaisuuden huomioon ottaminen lisää mittavaa muutoksen vaikutusta saantoihin, mutta ainakin ne olivat molemmissa tutkimuksissa samaa suuruusluokkaa. Kuusella lyhyiden mittojen käytön vaikutus oli huomattavasti mäntyä vähäisempi. Männyissä oli oletustenkin mukaisesti huomatta-

vasti enemmän tukin apteerausta rajoittavia vikoja kuin kuusissa, mikä selittää lyhyiden tukkimittojen suuremman merkityksen männyn apteerauksessa. Mikäli männyllä olisi käytetty katkontaa laaturajojen mukaan, lyhyiden tukkipituuksien merkityksen voisi olettaa olleen vieläkin todettua suuremman.

Koivun tukkisaannot olivat varsin alhaisia rungoissa esiintyneiden vikojen ja havupuita paksumman tukin minimilatuläpimitan takia. Verkasalon (1997) tutkimuksessa rauduskoivun tukkisaanto oli kivennäismailla lähes samoilla mitta- ja laatuvaatimuksilla vielä kuusi prosenttiyksikköä alhaisempi kuin tässä tutkimuksessa, tosin aineisto oli huomattavasti pienirunkoisempi kuin tässä tutkimuksessa. Tämän tutkimuksen tukkisaantoja voidaankin pitää runkojen keskijäreys huomioon ottaen varsin alhaisina. Aineiston koivut olivat yleisesti havumetsän sekapuita, ja tulokset voisivatkin olla erilaisia puhtaissa koivikoissa tai lehtipuuväläisissä metsiköissä (vrt. Mielikäinen 1980, Heräjärvi ja Verkasalo 2002).

Avohakkuuaineiston erikoispuutavaralajeista pikkutukkien saannot olivat kuusella selvästi suurempia kuin männyllä. Osittain tähän vaikuttivat kuusirunkojen pienempi keskijäreys ja erot männyn ja kuusen runkomuodoissa; ison mäntytukkipuun latvasta saadaan voimakkaan kapenemisen ja suurten oksien vuoksi usein hyvin vähän pikkutukia (Riekkinen 2004, Verkasalo ja Kilpeläinen 2004). Lisäksi mäntyjen kuusia suurempi vikaisuus pienensi suhteellisesti enemmän männyn sahauskelpoista rungonosaa. Myös erilaiset tukin ja pikkutukin latvaläpimitat kuusella ja männyllä vaikuttivat tulokseen. Normaalitykin saanto pieni pikkutukia apteerattaessa kuusella varsin vähän ja männyllä marginaalisesti. Tähän oli syynä tukin ja pikkutukin hintaero, joka oli männyllä selvästi suurempi kuin kuusella. Verkasalon ja Maltamon (2002) päätehakkuuvaiheen kuusikoissa pikkutukkien saanto oli selvästi pienempi kuin tässä tutkimuksessa, vain 1–2 %; tämä tulos johtui ilmeisesti vain yhdestä, varsin pitkästä pikkutukkipituudesta (4,3 m), vaikka minimilatuläpimittana oli 12 cm. Riekkisen (2004) kivennäismaiden päätehakkuumänniköissä pikkutukkien osuus hakkuukertymästä oli myös pieni, vain noin 3 %, vaikka runkojen keskitilavuus oli pienempi kuin tässä tutkimuksessa. Verkasalo ja Kilpeläinen (2004) päätyivät ojitettujen turvemaiden päätehakkuuvaiheen männiköissä lähes samaan

mäntypikkutukkisaantoon kuin tämän tutkimuksen luokitellun aineiston pienirunkoisimmassa luokassa, vaikka heidän aineistossaan mäntyjen keskitilavuus oli noin 0,1 m³ pienempi kuin tämän tutkimuksen pienirunkoisimmassa mäntyluokassa, ja pikkutukin mittavaatimukset olivat hieman tiukemmat.

Harvennsmänniköissä pikkutukin saanto oli alhainen ja pienempi kuin avohakkuuaineiston pienirunkoisimmassa kuusiluokassa. Varsinkin absoluuttinen saanto oli vaatimaton ottaen huomioon, että tutkimukseen valittiin harvennusleimikoita varsin tiukoin kriteerein. Selityksenä on harvennsmäntytien yleinen vikaisuus, joka vielä korostui aineiston huomattavan tiukan laadun määrittämisen takia. Wallin ym. (2005) tutkimuksessa mäntypikkutukin saanto oli kivennäismaiden myöhemmissä harvennuksissa hieman erilaisilla mittavaatimuksilla vielä pienempi kuin tässä tutkimuksessa.

Mäntypylväiden saanto oli avohakkuuaineistossa korkea, yli 20 %. Leimikkotasolla näin voi ollakin, mutta käytännössä mäntypylväille on lähinnä alueitaista kysyntää, ja pylväsleimikoiden valintakriteerit ovat tällöinkin varsin ankarat (rungon keskikoko, tyviosan laatu, vähimmäiskertymä/leimikko). Myös männyn hyvälaatuisten tyvitukkien saanto oli korkea, noin 25 %. Saannon taso riippuu paljon käytännössä asetettavista hyvän laadun kriteereistä. Päätehakkuumänniköissä ns. virheettömiä tyviä on yleensä noin 1/3–1/2 rungoista, eli vähemmän järeän puutavaran osuudesta kuin tässä tutkimuksessa. Ahosen ja Mäkelän (1995) mukaan ns. virheettömän tyvitukin osuus olisi maan eteläosan uudistuskypsissä männiköissä noin 17 % tukkitilavuudesta.

Kuusella sorvitukien apteeraus johtaa huomattavaan puutavaralajisiirtymään sahatukeista. Sorvitukin saanto oli tässä tutkimuksessa lähes samaa luokkaa kuin Verkasalon ja Maltamon (2002) tutkimuksessa, jossa monipuolisimmassa apteerausvaihtoehdossa saatiin sorvitukkeja leimikoiden kokonaiskertymästä vajaa 40 %, normaalitukkeja 30 % ja pikkutukkeja peräti yli 20 %.

Kuusisorvitukilla lyhyellä (28 dm) sorvipölkkyllä oli suuri myyntiarvoa kohottava vaikutus, koska lyhyen pölkkymitan käyttäminen pitkän ohella kohotti huomattavasti saha- ja sorvitukien kokonaissaantoa. Sorvitukin minimilatvaläpimitan alentaminen taas lähinnä siirsi sahatukia sorvitukiksi, joten myyntiarvon muutos oli pienempi. Kun sorvitukin

hinnaksi asetettiin 47 €:n sijasta sahatukin hinta 45 €, saanto aleni noin kolmasosaan. Käytännössä kuusisorvitukki ei siis eronnut kuusisahtakista muuten kuin mittojen suhteen. Todellisessa puukauppatilanteessa kuusen saha- ja sorvitukista maksetaankin usein samaa hintaa.

Vaihdeltaessa puutavaralajien yksikköhintoja mäntytyvitukin saannot pysyivät lähes samoina, eikä myöskään pikkutukkien tai pylväiden saannoissa havaittu suuria muutoksia. Myyntiarvot muuttuivat suhteellisesti enemmän, mikä olikin ilmeistä, kun tehtiin muutoksia yksikköhintoihin. Yleisestikin havaittiin, että kaikilla erikoispuutavaralajeilla yksikköhinnan merkitys leimikon myyntiarvon muutoksiin on suuri, eikä pienillä mittavaatimusten muutoksilla ole huomattavaa vaikutusta. Käytännön puuhankinnassahan on usein arvioitu ostajien erilaisilla mittavaatimuksilla olevan suuria vaikutuksia.

Leimikkotasoon tarkasteluissa havaittiin, että rungon keskijäreys selitti puutavaran yksikköarvoa huomattavasti paremmin kuusella kuin männyllä. Mäntytien yksikköarvon suurempi hajonta johtui suuresta runkojen vikaisuuden vaihtelusta leimikoiden välillä; kuusella teknisiä vikoja oli kauttaaltaan vähemmän ja hajonta pienempi kuin männyllä. Verrattaessa erikoispuutavaralajiapteerauksia perusapteeraukseen havaittiin apteerauksen vaikuttavan puutavaran yksikköarvoon hyvin eri tavoin eri leimikoissa. Koska yhdeltä leimikolta oli aineistossa vain korkeintaan muutamia kymmeniä koepuita, voidaan leimikoiden välisen hajonnan olettaa olleen tässä tutkimuksessa suurempaa kuin todellisessa hakkuussa.

Kuitupuun katkontaa tarkasteltaessa on otettava huomioon, että kuitupuun saantojen muutokset heijastuivat lähes vastakkaisesti hukkapuun määriin. Määräpituusapteeraus alensi myyntiarvoa kuusella enemmän ja männyllä hieman vähemmän kuin lyhimmän tukkipituuden poisto. Yhden senttimetrin muutos minimilatvaläpimitassa sitä vastoin vaikutti huomattavasti vähemmän. Puumalainen (1998) päätyi samankaltaiseen tulokseen: mäntykuitupuun saanto kasvoi noin puoli prosenttiyksikköä, kun minimilatvaläpimitaa alennettiin seitsemästä senttimetristä viiteen. Kuusella kuitupuusaannon muutokset heijastuivat voimakkaammin myyntiarvoon, koska kuusikuitupuun hinta oli simuloinneissa huomattavasti mäntykuitupuun hintaa korkeampi.

Mäntyhärvennusleimikoilla kuitupuun katkonnal-

la oli ratkaiseva vaikutus leimikon myyntiarvoon, sillä katkonta määräpituuteen alensi myyntiarvoa peräti 5,3 %. Pienempipuustoisilla harvennuksilla kuitupuun katkonnan merkitys nousisi todennäköisesti vielä tätäkin suuremmaksi.

Kuusitukin painotettujen arvomatriisien käytöllä haluttiin tutkia arvoapteerauksella tapahtuvan jakaumanohjauksen vaikutusta tukkisaantoihin ja leimikon myyntiarvoon. Arvomatriisin hintojen vaihteluväli ei selittänyt tukkisaannon muutoksia kokonaan, vaan kahdella hyvinkin samankaltaisella matriisilla saatiin päätyä huomattavan erilaisiin tukkisaantoihin. Pienikin muutos arvomatriisissa voi siis alentaa huomattavasti tukkisaantoa ja leimikon myyntiarvoa. Haring (1997) päätyi huomattavasti pienempään kuusen tukkisaannon pienenemiseen kuin tässä tutkimuksessa, kun arvomatriisia painotettiin. Haringin (1997) tutkimuksessa tukkirunkojen keskijäreys oli kuitenkin suurempi, ja arvomatriisien painotuksessa oli myös eroja.

Tukkien pienimmän läpimittaluokan hinnan korotus ja kuitupuun hinnan asettaminen nimelliseksi ovat menetelmiä, joilla tukkisaannon vähenemistä on rajoitettu käytännön puunhankinnassa arvo- ja jakauma-apteerausta käytettäessä. Tässä tutkimuksessa niilläkään menetelmillä ei kuitenkaan pystytty rajoittamaan tukkisaannon alenemistä merkityksettömäksi. Vaikka tukkisaannon alenemistä pystyttiinkin kohtuullisesti rajoittamaan alentamalla kuitupuun hinta nimelliseksi, myyntiarvon aleneminen oli silti huomattavaa. Tämä johtuu siitä, että kaikilla puutavaralajeilla arvomatriisien hintojen tulisi olla markkinoilla maksettavia todellisia kantohintoja, jos halutaan maksimoida leimikon myyntiarvoa.

Tutkimuksen puutavaralajit pyrittiin määrittämään mahdollisimman samankaltaisiksi käytännön metsätaloudessa käytettyjen puutavaralajien kanssa. Kuitenkaan mäntytukilla ei eroteltu tyvi-, väli- ja latvatukkeja, mikä on joskus tapana puunhankinnassa. Mikäli rungot katkotaan tukkilajien laaturajojen mukaan, tukkiosuus on todennäköisesti hieman pienempi kuin tässä tutkimuksessa. Toisaalta apteerausautomaatiikan tehokas käyttäminen mäntyjen katkonnassa ei ole mahdollista, jos katkonta tehdään laaturajojen mukaan. Silloin kuljettajan ammattitaito ratkaisee katkonnan onnistumisen. Uusitalon ym. (2004) tutkimuksessa männyn laatuapteerauksella ei kuitenkaan saatu laadultaan merkittävästi parempaa

sahatavaraa kuin automaattisella apteerauksella, joten tämän perusteella laatuapteerauksen mielekkyyttä voi olla jopa kyseenalainen.

Tutkimuksessa saadut tulokset kohdistuivat nimenomaan tämän aineiston leimikoihin, joten tuloksia ei voida yleistää kaikissa tapauksissa käytännön leimikoiden joukkoon. Erityisesti leimikon puuston rakenteella on ratkaiseva merkitys määrittäessä puutavaralajikertymiä ja myyntiarvoa. Tämä ilmeni selvästi luokitellulla aineistolla tehdyissä simuloinneissa, joissa katkontaohjeet vaikuttivat eri tavalla puuston keskijäreydeltään erilaisissa leimikoissa. Toisaalta käytännön puunkorjuussa kuljettajan merkitys apteerauksen onnistumiselle on varsin huomattava. Tutkimuksessa käytetty apteeraussimulaattori kykenee ottamaan puuston vikaisuuden huomioon ja päätyy optimaaliseen ratkaisuun vikojen esiintymisen puitteissa, mikä taas ei toteudu käytännössä. Harvesterin kuljettajan kyky havainnoida hakattavien runkojen vikaisuutta ja sovittaa apteeraus optimaaliseksi vaihtelee suuresti kuljettajakohtaisesti varsinkin männyn apteerauksessa.

Jatkotutkimuksissa olisi tarpeen kehittää malleja tai menetelmiä, joilla voidaan ennustaa yksittäisten leimikoiden puutavaralajijakaumat vaihtoehtoisilla katkontaohjeilla. Tällaisten mallien ja menetelmien laatimista vaikeuttavat katkontaohjeiden kirjo ja toisaalta riittävän tarkan ennakkotiedon saanti hakattavista leimikoista.

Tämän tutkimuksen tulokset koskevat vallitsevaa puun hinnoittelujärjestelmää eli puutavaralajihinnoittelua. Kuitenkin on yleisesti tiedossa, että puun myyntiarvon ja käyttöarvon yhteensovittaminen on vaikeaa puutavaralajihinnoitteluun perustuvassa apteerauksessa. Siten olisikin perusteltua tutkia ja kehittää myös muita hinnoitteluperiaatteita ja niihin soveltuvia apteerausmenetelmiä ja -sääntöjä. Kysymykseen tulisivat ainakin runkohinnoittelu ja laatumaksutapa eri versioineen. Laatumaksutapa oli käytössä 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun alkupuolella mäntysahatuokeilla (mm. Metsäliitto ja Veitsiluoto Oy) ja koivuvanerituokeilla (Schauman Wood Oy). Se on otettu jälleen käyttöön mänty- ja kuusitukkileimikoiden hinnoittelussa Metsäliiton puunhankinnassa keväällä 2005. Runkohinnoittelua on otettu jossain määrin käyttöön itsenäisten sahojen puunhankinnassa 2000-luvulla (esim. Pölky Oy). Mielenkiintoiselta vaikuttava hinnoittelutapa olisi

myös arvo-osuushinnoittelu, jossa tukki- ja kuitupuun osuudet määritellään rungon ominaisuuksien perusteella hakkuukonemittauksen yhteydessä katkaisukohdista riippumatta (Häyrynen 2005).

Kirjallisuus

- Ahonen, O.-P. & Mäkelä, H. 1995. Etelä-Suomen raaka-puuvarat laskennalliseen pölkkytykseen perustuen. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(3): 165–178.
- Bellman, R.E. 1954. The theory of dynamic programming. *Bulletin of the American Mathematical Society* 60: 503–516.
- Briggs, D.G. 1989. Tree value system: description and assumptions. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-239. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 24 s.
- Gobakken, T. 2000. The effect of two different price systems on the value and cross-cutting patterns of Norway spruce logs. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 368–377.
- Haring, M. 1997. Arvoapteeraus tukkijakauman ohjauksen apuvälineenä. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. 27 s. + liitteet 7 kpl.
- Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2002. Timber grade distribution and relative stumpage value of mature Finnish *Betula pendula* and *B. pubescens* when applying different bucking principles. *Forest Products Journal* 52(7/8): 40–51.
- Häyrynen, M. 2005. Puutavaralajeittaiselle hinnoittelulle on vaihtoehtoja. *Metsälehti* 1. s. 15.
- Kerkelä, M. 1997. Jakauma- ja arvoapteerauksen vaikutus leimikon tukkisaantoon, hakkuukoneen tuottavuuteen sekä tukkien laatuun ja keskipituuteen. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 51 s.
- Kilpeläinen, H. 2002. Apteeraussimulaattorin käyttöohje. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö. Moniste. 24 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- & Sevola, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavarasuhteet ja kantoarvot. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(3). 87 s.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. 80 s.
- Lemmetty, J. & Mäkelä, M. 1992. Suunnittelumittauksen perusteet ja toteutus. *Metsätehon katsaus* 11/1992. 4 s.
- Malinen, J. 2003. Locally adaptable non-parametric methods for estimating stand characteristics for wood-procurement planning. *Silva Fennica* 37(1): 109–120.
- , Maltamo, M. & Harstela, P. 2001. Application of most similar neighbor inference for estimating marked stand characteristics using harvester and inventory generated stem databases. *International Journal of Forest Engineering* 12(2): 33–41.
- Maltamo, M. & Kangas, A. 1998. Methods based on k-nearest neighbor regression in estimation of basal area diameter distribution. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1107–1115.
- Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukki-vähennysmallit männyille, kuuselle, koivuille ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 575–591.
- Metinfo. 2005. Metsäsektorin suorakäyttöinen tietojärjestelmä. Metsäntutkimuslaitos, www-sovellus (<http://www.metla.fi/metinfo/>).
- Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(3). 82 s.
- Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 432. 18 s.
- Nyysönen, A. & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. *Acta Forestalia Fennica* 179. 52 s.
- Näsberg, M. 1985. Mathematical programming models for optimal log bucking. *Lindköping studies in Science and Technology* 132. 200 s.
- Pnevmaticos, S.M. & Mann, S.H. 1972. Dynamic programming in tree bucking. *Forest Products Journal* 22(2): 26–30.
- Puumalainen, J. 1998. Optimal cross-cutting and sensitivity analysis for various log dimension constraints by using dynamic programming approach. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 74–82.
- Päivinen, R. 1983. Metsikön tukkiosuuden arviointimenetelmä. A Method for estimating the sawlog percentage in Scots pine and Norway spruce stands. *Folia Forestalia* 564. 16 s.

- Riekkinen, M. 2004. Preliminary results of project 1 in the SPWT consortium. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. Moniste. 26 s.
- Rieppo, K. & Marjomaa, J. 1992. Apteerauksen taso ja apteerausvirheiden syyt havutukkien hakkuissa. Metsätehon tiedotus 408. 28 s.
- Saastamoinen, T. 1997. Kuusitukkien läpimittajakauman ennustaminen osto-otannon koepuista. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 52 s.
- Smith, G.W. & Harrell, C. 1961. Linear programming in log production. *Forest Products Journal* 11: 8–11.
- Tolkki, P. & Saramäki, J. 1997. Esitutkimus kuusitukin erilaisten mittavaatimusten vaikutuksesta tukin saantoon. Pohjois-Karjalan metsänhoitoyhdistysten liitto. Moniste. 11 s.
- Tommola, M., Tynkkynen, M., Lemmetty, J., Harstela, P. & Sikanen, L. 1999. Estimating the characteristics of a marked stand using k-nearest-neighbor regression. *Journal of Forest Engineering* 10(2): 75–81.
- Uusitalo, J. 1995. Pre-harvest measurement of pine stands for sawing production planning. Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 9. 96 s.
- , Kokko, S. & Kivinen, V.-P. 2004. The effect of two bucking methods on Scots pine lumber quality. *Silva Fennica* 38(3): 291–303.
- Verkasalo, E. 1997. Hieskoivun laatu vaneripuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 632. 483 s. + liitteet 59 s.
- & Kilpeläinen, H. 2004. Saw timber recovery and selected physical and mechanical properties of wood from Scots pine on drained peatlands in Finland. Julkaisussa: Päivänen, J. (toim.). Proceedings of the 12th International Peat Congress "Wise Use of Peatlands". Volume 1. Oral Presentations. Tampere, Finland. 6–11 June 2004. s. 521–530. International Peat Society.
- & Maltamo, M. 2002. Ojitettujen korprien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot. Julkaisussa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.). Kuusen laatu ja arvo. Vuosina 1994–2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 841: 71–90.
- Vähäsaari, H. 1988. Puutavaralajirakenteen arvioiminen eri mittausmenetelmillä. Joensuun yliopisto, Syventävien opintojen tutkielma. 96 s.
- Wall, T., Fröblom, J., Kilpeläinen, H., Lindblad, J., Heikkilä, A., Song, T., Stöd, R. & Verkasalo, E. 2005. Harvennumännyn hankinnan ja sahauksen kehittäminen. Wood Wisdom-tutkimusohjelman hankekonsortion julkinen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 943. 129 s. + liitteet 13 s.
- Weijo, A. 2000. Runkopankki metsähallituksen puunhankinnan ohjauksen apuvälineenä. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu. 36 s. + liitteet 3 kpl.

39 viitettä