

Itä-Suomen puunlaatu ja käyttö

Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001

Mika Riekkinen ja Erkki Verkasalo (toim.)



JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 855

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Jalostusosasto ✓

ITÄ-SUOMEN PUUNLAATU JA -KÄYTTÖ

Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001

Mika Riekkinen ja Erkki Verkasalo (toim.)

JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS

2002

Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.) 2002. Itä-Suomen puunlaatu ja -käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 855. 119 s. ISBN 951-40-1835-4, ISSN 0358-4283.

Julkaisu sisältää Metsäntutkimuslaitoksen puutieteen tieteenalan yhteistyössä Joensuun tutkimuskeskuksen ja Suonenjoen tutkimusaseman kanssa Kuopiossa lokakuussa 2001 järjestämän tutkimuspäivän "Itä-Suomen puunlaatu ja -käyttö" tutkimusesitelmien pohjalta laaditut artikkelit. Nämä käsittelevät ennen kaikkea koivun ominaisuuksia, käyttömahdollisuuksia ja laatukasvatusta puutuoteteollisuuden käyttöä ajatellen sekä harvennushakkuista saatavan havupuun ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia sekä mekaanisessa että kemiallisessa metsäteollisuudessa. Lisäksi esitellään tuloksia kuusen tukkirunkojen teknisestä laadusta, rungon ja sahatuotteiden laadusta ja arvosta perinteisessä ja erikoistuvassa sahauksessa sekä vertaillaan sahan- ja vanerihakkeen ja kuitupuun käyttö- ja mittausteknisiä ominaisuuksia. Haavan ja lepän ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia puutuoteteollisuudessa ja peltomaille istutetun männyn runkojen ja puuaineen ominaisuuksia ja laatua käsitellessä esitelmien artikkelit on julkaistu Metsäntutkimuslaitoksen tiedonannoissa 725 (1999), 764 (2000) ja 861 (2002).

Avainsanat: koivu, harvennuspuu, pienpuu, kuusi, tukit, kuitupuuhake, sahanhake, teollisuushake, puunhankinta, sahaus, jatkojalostus, puun laatu, laatukasvatus, arvo

Toimittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, FIN-80101 Joensuu, puhelin (013) 251 4000, faksi (013) 251 4111, sähköposti mika.riekkinen@metla.fi, erkki.verkasalo@metla.fi

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus; Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki -tutkimusohjelma (PKM)

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto, PL 18, FIN-01301 Vantaa, puhelin (09) 8570 5580, faksi (09) 8570 5582, sähköposti kirjasto@metla.fi

Hinta: 20 €

Hyväksyntä: Tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 13.8.2002

Alkusanat

Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) puutieteen tutkimuksen piirissä herätettiin vuonna 2000 henkiin metsäteknologian tutkimusosaston 1980-luvulla ylläpitämää perinnettä, jossa alan tutkimus esittäytyy maakunnissa. Tällaiset tilaisuudet järjestettiin tuona vuonna Kannuksessa (Pohjanmaan puunlaatu ja -käyttö) ja Lahdessa (Kuusen laatu ja arvo).

Puutieteen tieteenalan, Suomenjoen tutkimusaseman ja Joensuun tutkimuskeskuksen yhteistyönä järjestämä tutkimuspäivä Itä-Suomen puunlaatu ja -käyttö Kuopiossa 23.10.2001 jatkoi tätä ketjua. Tutkimuspäivään otti osaa kaikkiaan 88 henkilöä. Päivän aiheet valittiin alueellisesti mielenkiintoisten ja ajankohtaisten, puunkäytön haasteisiin liittyvien kysymysten pohjalta. Avauspuheenvuoron jälkeen Metlan tutkijat pitivät yksitoista tutkimusesitelmää ja puunkäytön sidosryhmien edustajat neljä valmisteltua kommenttipuheenvuoroa. Esitelmät virittivät vilkasta ajatusten vaihtoa sekä niiden yhteydessä että loppukeskustelussa.

Tähän julkaisuun on koottu tutkimuspäivän esitelmien pohjalta laaditut artikkelit osanottajien, kuten myös muiden aihepiiristä kiinnostuneiden käyttöön. Kahden tästä puuttuvan esitelmän sisältöä on julkaistu aiemmin ilmestyneissä Metsäntutkimuslaitoksen tiedonannoissa, haavan ja lepän ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia puutuoteteollisuudessa numeroissa 725 (1999) ja 764 (2000) (Timo Kärki) ja peltomaille istutetun männyn runkojen ja puuaineen ominaisuuksia ja laatua numerossa 861 (2002) (Juha Nurmi).

Haluamme kiittää lämpimästi kaikkia niitä henkilöitä ja organisaatioita, jotka osallistuiivat tutkimuspäivän valmisteluun ja toteutukseen. Erityiskiitokset johtaja Kimmo Wilskalle (Schauman Wood Oy, Kuopion tehdas), kehityspäällikkö Hannu Sonnille (Stora Enso Oyj, Packaging Boards, Imatra), toimitusjohtaja Ilkka Kylävainiolle (Keitele Forest Oy) ja toiminnanjohtaja Jukka Hujalalle (Pohjois-Savon metsänomistajien liitto ry) etukäteen pyydetyistä kommenttipuheenvuoroista. Kiitämme myös metsätalospäällikkö Tenho Hynöstä (Pohjois-Savon metsäkeskus) ja professori Pertti Harstelaa (Metla, Suomenjoen tutkimusasema) ansiokkaasta toiminnasta puheenjohtajina pitkän päivän kuluessa ja tutkimussihteeri Seija Sulosta julkaisun oikolukemisesta ja painatuksen organisoinnista.

Lopuksi kiitokset kaikille tutkimuspäivän osanottajille. Koettu mielenkiinto tämäntyppisiä tutkimustiedon jalkauttamiseen ja teknologian siirtoon tähtääviä tapahtumia kohtaan rohkaisee järjestämään niitä myös jatkossa.

Joensuu, huhtikuu 2002

Toimittajat

Sisällys

Esipuhe: puunkäyttö ja sen mahdollisuudet Itä-Suomessa.....	7
<i>Erkki Verkasalo</i>	
Järeä koivu sahauksessa ja jatkojalostuksessa	9
<i>Henrik Heräjärvi</i>	
Harvennuskoivu sahauksessa ja jatkojalostuksessa	23
<i>Jani Lehtimäki, Henrik Heräjärvi, Erkki Verkasalo</i>	
Koivun kuivaus	39
<i>Antti Asikainen</i>	
Raudus- ja hieskoivun kasvatusta puunkäytön kannalta.....	45
<i>Pentti Niemistö</i>	
Havupienpuun käytön haasteet ja harvennusmännyn sahaus.....	57
<i>Tapio Wall</i>	
Ensiharvennusmänniköiden ja -kuusikoiden teknillinen laatu sahauksessa.....	67
<i>Reeta Stöd</i>	
Ensiharvennusmänty ja -kuusi kuitupuuna.....	73
<i>Pentti Hakkila, Pekka Saranpää, Jaakko Repola</i>	
Kuusen laatu ja arvo sahauksessa	87
<i>Erkki Verkasalo, Pentti Sairanen, Hannu Yli-Kojola, Matti Maltamo, Peter Melén</i>	
Teollisuushakkeen ja kuitupuun arvo ja mittaus puuaineen tiheyden perusteella	111
<i>Jari Lindblad</i>	

Esipuhe: Puunkäyttö ja sen mahdollisuudet Itä-Suomessa

Erkki Verkasalo

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

Itä-Suomeen nykyisin hallinnollisesti luettavissa maakunnissa, Etelä- ja Pohjois-Savossa, Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa, tehtiin vuonna 2000 markkinahakkuita kaikkiaan 18,9 milj. m³, josta tukkia 10,0 milj. m³ ja kuitupuuta 8,9 milj. m³. Itä-Suomen osuus oli 34 % koko maan markkinahakkuista. Kokonaishakkuut ylittivät vuosien 1987–96 keskimääräiset hakkuut noin 3 miljoonalla kuutiometrillä korkean puunkysynnän tason ansiosta.

Vaikka hakkuumäärät ovat kasvaneet, niitä on Metlan MELA-ryhmän laatimien arvioiden mukaan mahdollista edelleen lisätä, jos lähtökohtana on metsänkuva. Kaudella 1996–2006 hakkuita voitaisiin periaatteessa lisätä vuoden 2000 tasolta jopa 60 % tasolle 31 milj. m³, kun arvion perusteena ovat nykyisten metsien metsänhoidollinen tila ja käsittelyohjeet (lyhyen aikavälin tavoite), mutta vain noin 15 % tasolle 21,5 milj. m³, kun arvion perusteena on suurin kestävä hakkuumäärä (pitkän aikavälin tavoite). Lisähakkuiden mahdollisuudet jakautuisivat em. laskentavaihtoehdoissa tukille ja kuitupuulle suhteissa 65:35 ja 80:20. Elinkeinoelämässä esitettyihin näkemyksiin verrattuna lisähakkuiden mahdollisuudet ovat varsin suuret; onhan erityisesti tukkipulaa pidetty jo nykyisin vakavana ongelmana saha- ja vaneriteollisuuden kehittämiseksi. Harvennuspuun vajaakäyttö on Itä-Suomessa suhteellisesti lievempi ongelma kuin Länsi- ja Pohjois-Suomessa. Itä-Suomen erityispiirre on sen sijaan lehtipuun runsaat käyttömahdollisuudet; koivun lisäksi tämä koskee jossain määrin myös leppää ja haapaa, erityisesti pk-sektorin puutuoteteollisuudessa.

Itä-Suomen maakunnissa toimii hyvin merkittävä metsäteollisuus, jonka puunkäyttö oli vuonna 2000 kaikkiaan 14,2 milj. m³. Puunkäyttö on täällä poikkeuksellisen tukkiavoittoista, 8,3 milj. m³. Puuta kuidutetaan suuria määriä lähinnä Stora Enso Oyj:n Varkauden ja Uimaharjun tehtailla ja UPM-Kymmene Oyj:n Kajaanin tehtailla, pienempiä määriä myös Kuopiossa (Savon Sellu Oy), Pankakoskella (Stora Enso Oyj) ja Juankoskella (Oy Stromsdal Ab), yhteensä 5,7 milj. m³.

Itä-Suomen metsäteollisuuden puunkäytöstä oli kotimaan puuta 10,6 milj. m³ (75 %) ja tuontipuuta 3,6 milj. m³ (25 %). Tuontipuun, erityisesti tukin osuus on edelleen kasvanut viime vuosina. Tuontipuun käyttömahdollisuus yhtäältä tukee puunjalostusteollisuuden sijoittumista Itä-Suomeen ja tehtaiden kapasiteetin käyttöasteen pitämistä tuotteiden kysynnän mahdollistamalla tasolla, toisaalta hankaloittaa ainakin ajoittain eräiden puutavaralajien myyntiä kotimaan puukaupassa.

Itä-Suomen maakuntien markkinahakkuissa kertyneestä puutavarasta vietiin vuonna 2000 vajaa 5 milj. m³ jalostettavaksi muiden maakuntien alueille (netto). Pääasiassa puuta kulkee Etelä-Saimaan ja Kymenlaakson suurille tehtaalle, Pohjois-

Savosta myös jossain määrin Keski-Suomeen ja Kainuusta Oulun suuntaan. Yleisessä keskustelussa tätä on usein pidetty tappiona maakunnille. Toisaalta on muistettava, että lähimaakuntien teollisuus tarjoaa merkittävän kysyntäpotentiaalin Itä-Suomen puulle ja suuret tehtaat edellyttävät joka tapauksessa laajoja hankinta-alueita.

Itä-Suomen puunkäytön suuret haasteet ovat lähivuosina lehtipuun käytön ohjaaminen mielekkäisiin kohteisiin oikeissa suhteissa, kuusen uhkaavan saataavuuskuilun ratkaiseminen kattamaan tarkoituksenmukaisissa suhteissa paperi-, vaneri- ja sahateollisuuden tarpeet, pienpuun käytön lisääminen havupuun sahauksessa ja jatkojalostuksessa sahauskapasiteetin ylläpitämiseksi sekä tuontipuun hallittu käyttö ja sen laadun varmistaminen.

Järeä koivu sahauksessa ja jatkojalostuksessa

Henrik Heräjärvi

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

1 Johdanto

Koivun sahaus on perinteisesti keskittynyt järeisiin tukkidimensioihin; valtaosa tuotetusta koivusahatavarasta on edelleenkin peräisin järeistä, vaneripuukokoisista tukeista. Koivusahatavaran kotimainen tuotanto on kuluneen kymmenen vuoden aikana vaihdellut varovaisesti arvioiden välillä 50 000–75 000 m³/a. Koivua sahataan havupuita huonommilla käyttösuhteilla, joten tukkia sahatavarakuutioiden tuottamiseen on kulunut arviolta 130 000–230 000 m³/a. Koivun – samoin kuin muidenkin lehtipuiden – sahauksen määrien arviointi on kuitenkin melko tulkinnanvaraista. Suuria koivun sahaajia on periaatteessa vain kaksi ja vain korkeintaan puolet sahatavarasta on peräisin teollisuussahoilta. Vastaavasti yli puolet koivusahatavarasta tulee pieniltä yksityisiltä kentäsahoilta. Kaikilta piensahoilta ei saada tarkkoja puulajikohtaisia tuotantotietoja. Kuitu- ja vaneripuun lisäksi järeää sahakoivua on alettu viime vuosina tuomaan kasvavassa määrin ulkomailta; kotimaisen laadukkaan koivutukin saatavuus ei riitä kysynnän kattamiseen.

Koivusahatavaran kysyntä huonekalu- ja parkettiteollisuudessa, pienempinä määrinä lattialautoina ja paneeleina sekä erilaisina koriste- ja käyttöesineinä, on ollut havusahatavaraan verrattuna tasaista. Havusahatavaran hintataso elää rakentamisen ja rakennustuoteollisuuden suhdannesykliä mukaan, koivun hintavaihtelut eivät ole yhtä voimakkaita. Kasvaneen lämpökäsitellyn sahatavaran tuotannon myötä koivun loppukäyttökohteita on voitu laajentaa koskemaan jossain määrin myös kosteita tiloja. Vuonna 2001 lämpökäsiteltyä puutavaraa valmistettiin Suomessa noin 20 000 m³, josta koivua oli 11 % eli 2 200 m³ (Roine 2002).

Vaikka koivua on sahattu Suomessa kaupallisesti ainakin 1800-luvulta asti (Ronkanen 1968), on koivun sahaukseen ja sahatavaran jatkojalostukseen keskittynyt tieteellinen tutkimustoiminta ollut huomattavan vähäistä. Ennen 1990-lukua aihetta on sivuttu vain muutamissa tutkimusartikkeleissa (Jalava 1943, Salmi 1987). Lieneekö tutkimustoiminnan vähäisyys ollut osaltaan syynä siihen, että koivua on aina viime vuosiin asti sahattu silmiinpistävästi työvoimavaltaisesti ja vanhanaikaisin menetelmin. Nyt ovat nähtävissä 1990-luvun voimakkaat uudistukset koivun sahauksessa ja sahatavaran jatkojalostuksessa. Samanaikaisesti myös tutkimustoiminta on vilkastunut. Voidaan olettaa, että ainakin osa tuotannon modernisoitumisesta on lisäännyneen tutkimuksen ansiota, eikä päinvastoin.

Tässä artikkelissa esitetään muutamien Metsäntutkimuslaitoksessa vuosina 1998–2001 toteutettujen koivun käytön tehostamiseen tähdänneiden tutkimusten tuloksia. Tutkimukset on toteutettu Wood Wisdom -tutkimusohjelman hankekonseptiossa *Kotimaisen koivun, haavan ja lepän ominaisuudet ja niiden hyödyntäminen mekaanisessa puuteollisuudessa*. Aluksi käsitellään koivurunkojen jakamista

tukeiksi vaihtoehtoisilla apteeraussäännöillä. Tämän jälkeen paneudutaan eri pituisten tukkien sauhukseen, erityiskysymyksenä tukkipituuden vaikutus oksattoman pinta-alaan saantoon. Näissä tutkimuksissa hypoteesina oli, etteivät nykyisin toteutuvat apteerauskäytännöt ole raaka-aineen käytön kannalta optimaalisia. Lopuksi tarkastellaan eräiden puuaineen ominaisuuksien vaihtelua koivurunkojen sisällä horisontaali- ja vertikaalisuunnissa sekä pohditaan tämän vaihtelun tarjoamia mahdollisuuksia mm. erikoistuotteiden valmistuksen kannalta.

2 Aineistot ja menetelmät

Tutkimusten aineistot kerättiin 20 eri metsiköstä Etelä- ja Keski-Suomesta vuosina 1998 ja 1999 (kuva 1, taulukko 1). Metsikkö-, koeala- ja pystypuumittauksen lisäksi kaadettiin yhteensä 261 runkoa, joista tehtiin yksityiskohtaisia mittauksia koskien mm. apteerausmenetelmiä, tukkien ja niistä saadun sahatavaran laatua sekä puun kasvua, puuaineen tiheyttä, lujuus- ja kimmoisuusominaisuuksia ja Brinell-koivuutta. Metsiköt jaettiin kasvupaikkatyyppin mukaan neljään luokkaan: kivennäismailla käenkaali-mustikkatyyppin maihin (OMT) sekä mustikkatyyppin maihin (MT), ja turvemailla ruohoturvekankaisiin (Rhtkg) sekä mustikkaturvekankaisiin (Mtkg). Lisäksi metsikkötyypit ositettiin kuuteen luokkaan seuraavasti:

- osite 1 = puhtaat kivennäismaiden rauduskoivikot,
- osite 2 = kivennäismaiden kuusi-rauduskoivusekametsiköt,
- osite 3 = puhtaat kivennäismaiden hieskoivikot,
- osite 4 = kivennäismaiden kuusi-hieskoivusekametsiköt,
- osite 5 = puhtaat turvemaiden hieskoivikot,
- osite 6 = turvemaiden mänty-hieskoivusekametsiköt.



Kuva 1. Koemetsiköt Etelä- ja Keski-Suomessa.

Kaatokoepuurungot apteerattiin teoreettisesti, s.o. katkomatta, neljällä eri tavalla: 1) sahatukkiapteeraus kaupallisille tukkidimensioille ja laaduille sallien pikkutukit 12 cm:n latvaläpimitaan asti, 2) sahatukki- ja pikkutukkiapteeraus teoreettisille tukkipituuksille (min 0,5 m) mutta noudattaen kaupallisia laatumäärittäjä, 3) vaneritukkiapteeraus kaupallisille tukkidimensioille ja laaduille, 4) vaneritukkiapteeraus teoreettisille tukkipituuksille (min 0,5 m) mutta noudattaen kaupallisia laatumäärittäjä. Normaaleille kaupallisille tukkipituuksille katkontatapoja nimitetään jatkossa apteeraustavaksi A ja lyhyet tukkipituudet sallivia katkontatapoja apteeraustavaksi B. Sahatukkien laatuvaatimukset ovat kaiken kaikkiaan – läpimittavaatimusta lukuun ottamatta – hieman vaneritukkien laatuvaatimuksia tiukemmat (Verkasalo & Paukkonen 1999, Heräjärvi 2001, Heräjärvi & Verkasalo 2002).

Taulukko 1. Koemetsiköitä kuvaavia keskitunnuksia.

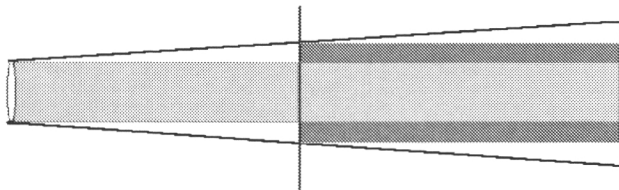
Metsikkö nro (Osite)	Puulaji	Kasvu- paikka	Keski- ikä, a	Pohjapinta- ala, m ² /ha	Keskiläpi- mitta, mm	Keski- pituus, dm
1 (4)	Hies	OMT	80	8	243	252
	Kuusi		80	17	268	252
2 (4)	Hies	OMT	75	11	242	241
	Kuusi		73	13	261	249
3 (1)	Raudus	MT	77	28	208	239
4 (1)	Raudus	OMT	90	34	253	271
5 (2)	Raudus	OMT	90	12	250	260
	Kuusi		90	26	210	220
6 (2)	Raudus	MT	90	11	294	258
	Kuusi		72	18	232	226
7 (5)	Hies	Mtkg	83	17	244	230
8 (5)	Hies	Mtkg	80	17	186	169
9 (6)	Hies	Mtkg	80	8	183	169
	Mänty		90	16	255	192
10 (6)	Hies	Rhtkg	80	12	200	185
	Mänty		98	18	271	212
11 (3)	Hies	MT	60	15	257	218
12 (3)	Hies	OMT	85	19	262	217
13 (3)	Hies	MT	70	15	182	230
14 (4)	Hies	OMT	70	9	224	217
	Kuusi		70	18	255	226
15 (4)	Hies	MT	75	6	239	224
	Kuusi		100	26	281	235
16 (5)	Hies	Mtkg	60	16	200	179
17 (1)	Raudus	OMT	90	20	290	265
18 (2)	Hies	MT	70	4	232	207
	Kuusi		100	27	264	228
19 (2)	Raudus	OMT	75	13	281	255
	Kuusi		79	8	253	222
20 (6)	Hies	Mtkg	78	5	240	241
	Mänty		115	25	286	245
Kaikki metsiköt: Koivu			76	20	231	224
Havupuu / koivu			78 / 86	10 / 19	234 / 256	224 / 224

Teoreettisesti apteerattujen tukkien tilavuudet laskettiin läpimitta- ja pituustietojen avulla. Tämän jälkeen määritettiin kunkin tukkilaadun tilavuusosuus koko rungon tilavuudesta ja verrattiin runkokohtaisesti eri apteerausmenetelmien tuottamia tukki-kuitupuu-hukkapuu -osuuksia. Lisäksi rungoille laskettiin todellisten kantohintatilastojen avulla ns. arvoindeksi, joka kuvaa rungosta eri apteeraustavoilla langenneiden puutavaralajien yhteenlaskettua arvoa. Arvoindeksin vertailulukuna 100 käytettiin yhden vaneritukkikuutiometrin keskimääräistä kantohintaa vuodelta 1999. Myös järeä sahatukki arvoitettiin vaneritukin tapaan lukuun 100, pieniläpimittainen sahatukki lukuun 65 ja kuitupuu lukuun 32. Korkeat laatu- ja järeysvaatimukset omaava viilutettava erikoistyyvitukki sai arvon 160. Indeksiarvot perustuvat todellisiin Etelä-Suomessa koivupuutavarasta maksettuihin kantohintoihin. Lyhyiden tukkipituuksien osalta kyseessä on silti puhtaasti teoreettinen tarkastelu, koska tällä hetkellä lyhyille tukeille ei ole toimivia markkinoita, eikä niille siten käytännössä voida määritellä hintaa.

Koesahauksissa käytettiin tukkeja, jotka oli saatu systemaattisesti kahden tai neljän metrin tukkipituuksille katkotuista rungoista. Tukit oli merkattu siten, että koodista kävi ilmi koeleimikko, koepuu sekä tukin korkeussuuntainen sijainti rungossa. Lisäksi tukeissa oli sahaussuuntaa indikoiva nuoli, jolloin koko rungosta saadut tukit voitiin sahata samansuuntaisesti. Sahaukset tehtiin sydänkeskeisenä läpisahauksena ja sahesaanto määräytyi tukkien latvaläpimitan mukaan. Tukeista saadut sahekappaleet koodattiin edelleen siten, että niiden sijainti tukissa ja rungossa voitiin määrittää jälkikäteen. Laaditulla koeasetelmalla tutkittiin nykyisin käytössä olevan keskimääräisen neljän metrin tukkipituuden lyhentämisen vaikutuksia oksattoman pintalaudan saantoon (kuva 2). Lyhyt kahden metrin tukkipituus valittiin vertailuryhmäksi, koska se on lähellä nykyisellä saha- ja kuorimakonekalustolla käsiteltävissä olevaa minimitukkipituutta.

Tukkipituutta lyhennettäessä saavutettava saheiden saannon teoreettinen lisäys voidaan määrittää matemaattisesti latvalierion läpimitan perusteella, jos tunnetaan tukin tyvi- ja latvaläpimitta sekä pituus – ja jos tukki on säännöllisen muotoinen. Käytännössä lenkous, mutkat ja epäpyöreys tekevät koivun kohdalla saannon matemaattisen hahmottamisen vaikeaksi, ellei mahdolliseksi. Tämän vuoksi kysymystä päädyttiin tarkastelemaan kokeellisesti.

Puuaineen tiheys (tai ominaispaino) on tärkein puun käyttöön vaikuttava ominaisuus. Tiheys vaikuttaa lähes poikkeuksetta kaikkiin puun käytön kannalta tärkeisiin ominaisuuksiin, esim. kuidutuksessa massan saantoon ja laatuun, pol-



Kuva 2. Pintalaudan saannon teoreettinen lisäys (tumma harmaa) sahattaessa kartiokas tukki kahtena lyhyenä kappaleena yhden pitkän (vaalea harmaa) sijaan.

tossa lämpöarvoon ja mekaanisessa jalostuksessa mm. tuotteen massaan sekä lujuus- ja kimmoisuusominaisuuksiin (Zobel & van Buijtenen 1989). Koivun puuaineen kuiva-tuoretiheyden (kuivamassa / tuoretilavuus, kg/m³) vaihtelua tutkittiin runkojen horisontaali- ja vertikaalisuunnissa siten, että rungoista leikattiin näytekiekot 0, 4, 8, 12 ja 16 metrin korkeuksilta ja kiekkoista puolestaan sahattiin 20 mm leveät nätekappalesarjat ytimeistä pintaan asti. 261 koepuun aineistosta valmistettiin kaikkiaan 6304 tiheysnäytettä. Näiden lisäksi sahekappaleista valmistettiin 578 näytettä puuaineen pinnan Brinell-kovuuden (EN 1534) sekä 610 näytettä taivutus-kimmomoduulin (ISO 3349) ja -murtolujuuden (ISO 3133) testaamiseen. Kovuusnäytteistä mitattiin lisäksi niiden kuiva-tuoretiheys ja taivutuslujuusnäytteistä niiden ominaispaino 12 prosentin kosteuspitoisuudessa (ρ_{12}).

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

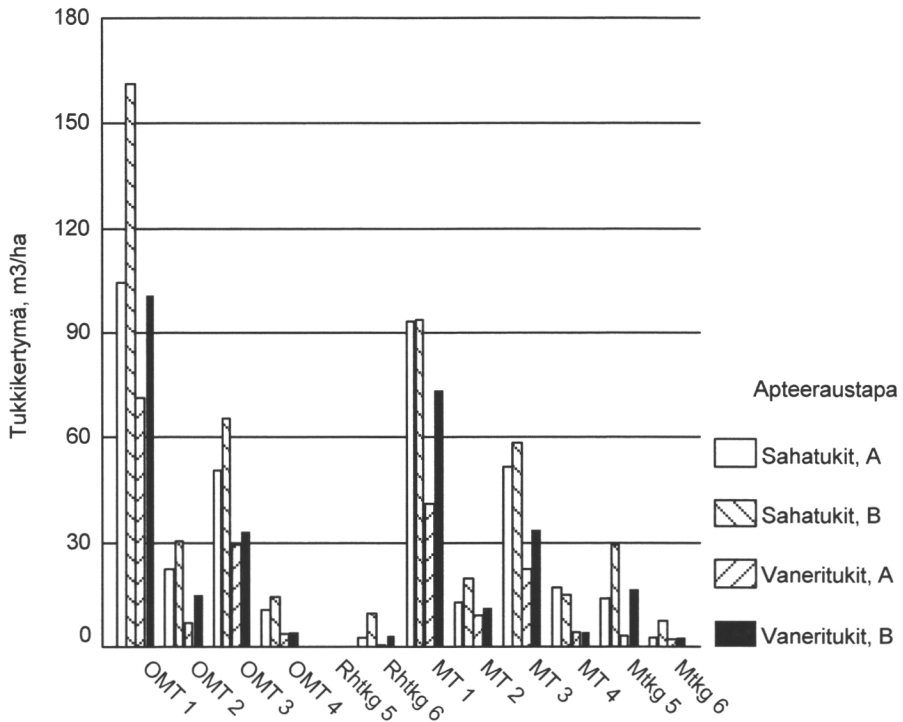
3.1 Tukkipituuden vaikutukset apteeraus- ja sahaustulokseen

Kerätystä koepuuaineistosta tutkittiin saha- ja vaneritukkikertymiä sekä nykysäänöin tehtävissä saha- ja vaneritukkiapteerauksissa että sallimalla poikkeavan lyhyet, nykytekniikalla vain teoriassa jalostuskelpoiset pölkkyt. Vaneri- ja sahapuu-kelpoisen koivutukin hehtaariohtaisia kertymiä eri ositteissa ja eri apteeraustavoilla on havainnollistettu kuvassa 3.

Päättehakuista voitaisiin parhaissa tapauksissa saada sahauskelpoista pikkutukkia latvan ”kuitupuuosasta” jopa 55 %, jos lyhyet tukkipituudet sallittaisiin. Edelleen, tekemällä päättehakkurungoista vaneripuun sijaan sekä järeää että pieniläpimittaista sahatukkia, saataisiin runkokohtaista tukkiosuutta kasvatettua (\approx kuitupuuosuutta pienennettyä) 0–55 % (Heräjärvi 2001). Sahauskelpoisen pikkutukin hyödyntäminen, ja erityisesti lyhyiden tukkipituuksien salliminen kasvattivat koivurunkojen tukkiosuutta merkittävästi verrattuna nykyisin käytössä oleviin keskimäärin neljän metrin tukkipituuksiin ja järeiden tukkien apteeraamiseen.

Kuvan 3 kertymätulosten laskennassa käytettiin sekä apteeraustavan A että B kohdalla samoja sahauskelpoisen tukin sisältävien puiden hehtaariohtaisia runkolukuestimaatteja. Runkoluvut oli määritetty pelkästään nykyisin käytössä olevan (apteeraustapa A) menetelmän pohjalta. Jos apteeraustapaa B sovellettaisiin käytäntöön, huomattavasti nykyistä suurempi koivurunkomäärä hehtaarilla tuottaisi laatuvaatimukset täyttäviä tukkeja. Tällöin erot apteeraustapojen välillä vain kasvaisivat.

Runkojen apteeraaminen sallien lyhyet tukkipituudet kasvatti sekä kokonais-tukkikertymää että parempien tukkilaatujen osuutta niin vaneri- kuin sahatukkiapteerauksessakin. Koko 261 järeän koivurungon määrästä ei itse asiassa saatu ainuttakaan viulutettavan erikoistyvitytöiden laatu- ja dimensiovaatimukset täyttävää pölkkyä, ennen kuin lyhyemmät tukkipituudet otettiin käyttöön. Käytettäessä apteeraustapaa B (lyhyet tukkipituudet sallittu), painottuivat tehtyjen tukkien pituudet voimakkaasti lyhyisiin luokkiin, erityisesti runkojen mutkaisissa latvaosissa. Tyyppillisesti voitiin apteerata hyvälaatuinen ”tukki” kahden oksakiehkuran tai mutkan



Kuva 3. Saha- ja vaneritukin hehtaariohittaiset kertymät eri kasvupaikoilla ja käytettäessä eri apteerausvaihtoehtoja (A: kaupalliset tukkipituudet, B: lyhyet, pienimmillään 0,5 metrin tukit sallitaan). OMT: käenkaali-mustikkatyypin kivennäismaa; Rhtkg: ruohoturvekangas; MT: mustikkatyypin kivennäismaa; Mtkg: mustikkaturvekangas. Numero kasvupaikkatyypin perässä tarkoittaa ositetta: ks. Aineistot ja menetelmät.

välistä tilanteessa, jossa apteeraustavalla A (kaupalliset tukkipituudet) koko matkalta tehtiin kuitupuuta.

Lasketut arvoindeksit (taulukko 2) osoittivat myös, että apteeraustapa B johti systemaattisesti runkojen arvon kasvamiseen parhaissa tapauksissa jopa useita kymmeniä prosentteja verrattuna tavanomaiseen apteeraustapaan A. Toisaalta sahatukkiapteeraus – niin apteeraustavalla A kuin B:kin – tuotti rungoille lähes poikkeuksetta suuremman arvon kuin vaneritukkiapteeraus. Tähän vaikutti sahatukkiapteerauksessa mahdollisuus tehdä pieniläpimittaista tukkia aina 12 cm:n läpimittaan asti, kun taas vaneritukkiapteerauksessa kaikki alle 18 cm:n läpimittainen puutavara joutui kuitu- tai hukkapuuksi.

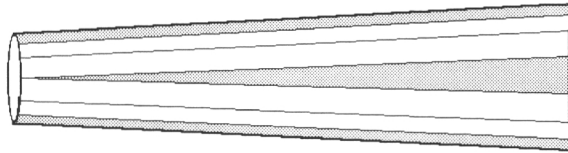
Yhteenvetona apteerauskokeista voidaan sanoa, että nykyistä lyhyempien tukkipituuksien salliminen kasvattaisi huomattavasti puukohtaista tukkisaantoa; samasta hakkuumäärästä saataisiin sahaukseen aiempaa enemmän tukkia ja kuitupuuosuus jäisi pienemmäksi. Edelleen tukkien laatujaikuma painottuisi parempiin laatuokkiin. Tällä olisi epäilemättä positiivisia vaikutuksia myös puun myyjälle kertyviin kantorahatuloihin.

Taulukko 2. Arvoindeksit koivurungoille ositteittain, kasvupaikkatyypeittäin ja latvuserroksittain apteerattaessa rungot kaupallisille tukkipituuksille (apteeeraustapa A) ja sallien poikkeavan lyhyet tukkipituudet (apteeeraustapa B). Vaneritukikuutiometri = 100. Ositteet: ks. Aineistot ja menetelmät.

Osite	Kasvupaikkatyyppi							
	OMT / Rhtkg				MT / Mtkg			
	Puun latvuserros							
	Päävaltapuu		Lisävaltapuu		Päävaltapuu		Lisävaltapuu	
	Apteeeraustapa							
A	B	A	B	A	B	A	B	
	Arvoindeksi kuutiometrille kyseisenlaista puuta							
	Sahatukkiapteeeraus							
1	60,1	95,4	53,9	69,5	68,0	80,5	67,3	50,4
2	61,1	84,8	66,1	81,0	59,8	76,2	46,8	66,7
3	61,7	83,5	50,8	64,0	60,6	73,5	59,9	72,2
4	69,1	85,9	59,6	70,4	69,1	60,6	52,1	59,6
5	-	-	-	-	50,4	78,7	45,0	58,8
6	44,6	75,2	41,9	64,7	45,3	63,6	35,6	60,6
	Vaneritukkiapteeeraus							
1	55,3	64,4	48,5	72,6	49,2	69,8	44,8	48,8
2	51,8	66,4	37,0	59,0	63,8	67,4	36,3	46,0
3	54,0	59,6	29,1	30,4	44,3	62,4	40,7	30,4
4	55,3	69,8	43,1	68,5	53,5	63,7	32,5	66,4
5	-	-	-	-	30,2	65,8	30,6	51,5
6	32,0	57,6	31,6	65,8	48,6	52,8	30,6	65,8

Rungon kapeneminen on erityisesti tyvitukkien sahauskannalta tärkeä ominaisuus. Sahakoneet, joissa sahatavarasaanto määräytyy tukin latvaläpimitan mukaan, hukkaavat suuren osan oksatonta pintalautaa sahattaessa kartiokkaita tukkeja normaaliin tapaan, siis ytimen suuntaisesti. Sahauskokeet osoittivat, että noin joka kolmännestä nelimetrisenä sahatusta tyvitukista olisi saatu vähintään yksi 25 mm paksu, 2 metriä pitkä ja ainakin 100 mm leveä läpisahe enemmän jos tukki olisi sahattu kahtena kaksimetrisenä pölkkyä. Välitukeissa rungon korkeudelta 4–8 m vastaavasti joka neljänestä, ja 8–12 metristä katkotuilla joka kuudennesta tukista olisi saatu lisäsahe kaksimetrisenä sahattaessa verrattuna sahauskseen nelimetrisenä.

Myös pinnansuuntainen sahaustapa (kuva 4) tehostaisi oksattoman pintalaudan hyödyntämistä kartiokkaissa tyvitukeissa. Paukkosen ym. (1999) tutkimuksissa havaittiin lisäksi, että rauduskoivusahatavaralla kuivausmuodonmuutokset ovat vähäisempiä jos tukit on sahattu pinnansuuntaisesti ytimensuuntaisen sahaustavan sijaan. On kuitenkin selvää, ettei pinnansuuntainen sahaus ole nykykalustolla mahdollista teollisessa mittakaavassa. Järeiden tukkien yksilölliseen vanesahauskseen erikoiskäyttötarkoituksia varten menetelmä on kuitenkin ilmeisen



Kuva 4. Tukin pinnansuuntaisessa sahaustavassa kartiokkaiden tyvitukkien pintalauta saadaan tavallista ytimensuuntaista sahausta tarkemmin talteen. Harmaalla merkattu sahatavarasaannon ulkopuolelle jäävä osa tukista.

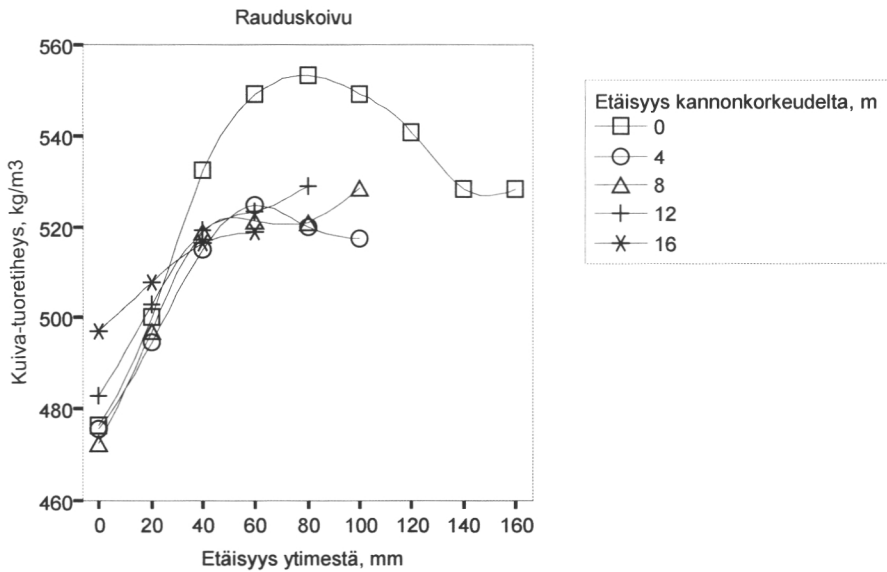
hyvä. Samantyyppisestä ratkaisusta on kyse myös ns. trapetsisahauksessa, jossa sahatavarakappaleet kapenevat tyveltä latvaa kohti tukin muotoa mukaillen.

3.2 Puuaineen ominaisuuksien vaihtelu runkojen sisällä

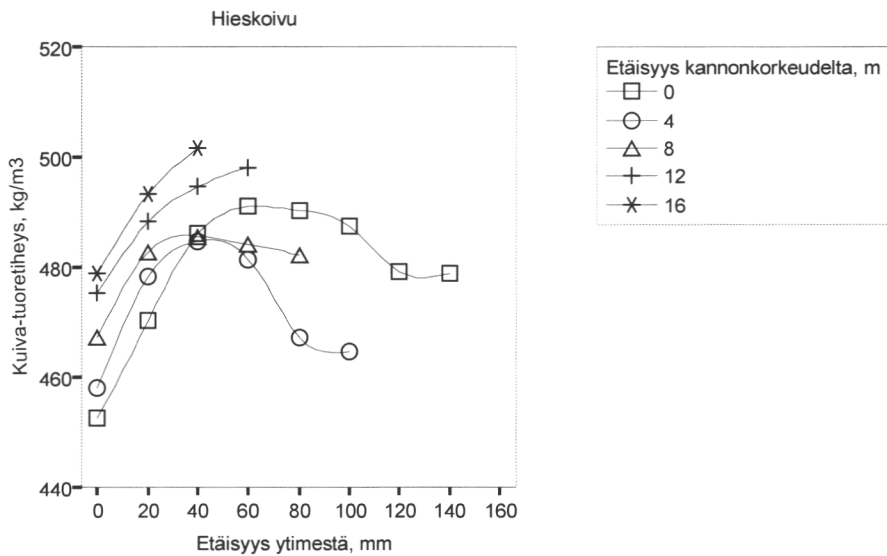
Kaikista kaadetuista koepuista otettiin puuainenäytteet runkojen sisäisen tiheysvaihtelun määrittämiseksi. Kaikkiaan saatiin 6304 tiheysnäytteen aineisto, josta määritettynä saatiin luotettava estimaatti tiheysvaihteluille. Karkeasti ottaen puuaineen kuiva-tuoretiheys kasvaa sekä hies- että rauduskoivussa ytimestä pintaa kohti ja alenee tyveltä latvaa kohti. Hieksessä korkeussuuntainen vaihtelu ei ole yhtä selvää kuin rauduksessa; tulokset osoittivat hieskoivun puuaineen keskimääräisen kuiva-tuoretiheyden osassa runkoja jopa kasvavan tyveltä latvaa kohti. Kokonaisuutena korkeussuuntainen vaihtelu on käytännön puunkäytön kannalta merkityksättömän vähäistä. Rauduksen koko rungon keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 512 kg/m^3 ja hieksen 478 kg/m^3 (taulukko 3). Hieskoivuaineisto käsitti sekä turvemaiden että kivennäismaiden puita, näiden välillä ei kuitenkaan ilmennyt tilastollisesti merkitseviä tiheuseroja (Mann-Whitney U-testi: $p = 0,978$, $Z = -0,027$). Kivennäismailla kasvaneiden raudusten ja hiesten ($p = 0,000$, $Z = -21,694$), samoin kuin raudusten ja turvemaiden hieskoivujen ($p = 0,000$, $Z = -18,187$) ero oli sen sijaan merkitsevä.

Taulukko 3. Suomalaisen päätehakkuikäisen raudus- ja hieskoivun puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelua kuvaavia tunnuksia. N = mitattujen näytteiden lukumäärä.

Koivulaji	N	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Kuiva-tuoretiheys, kg/m^3					
Raudus	2564	512	42	411	653
Hies	3740	478	31	392	579
Yhteensä	6304	492	40	392	653



Kuva 5. Rauduskoivun kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon horisontaali- ja vertikaalisuunnissa.



Kuva 6. Hieskoivun kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon horisontaali- ja vertikaalisuunnissa.

Rauduskoivussa säteen suuntainen tiheysvaihtelu oli kannonkorkeutta lukuun ottamatta hyvin samankaltaista rungon eri korkeuksilla. Kannonkorkeudella molemmissa koivulajeissa esiintyi mielenkiintoinen piirre: vaikka tiheys trendinomaisesti

kasvoikin ytimestä pintaa kohti, oli yli 100 mm:n etäisyydellä ytimestä oleva puuainees taas selvästi kevyempää kuin lähempänä ydintä (kuvat 5 ja 6). Ainoa rationaalinen selitys tälle havainnolle on, että puun tyvilaajentumasta aiheutuva poikkeava syysuunta alentaa puuaineen tiheyttä lähellä tyven pintaosaa. Hieskoivulla havaittiin myös keskimääräisen sädekasvunopeuden 1,3 m:n korkeudella vaikuttavan merkittävästi kuiva-tuoretiheyteen. Rauduskoivulla vastaavaa riippuvuutta ei ollut. Myös esim. Dunham ym. (1999) havaitsivat rauduskoivun tiheyden ja kasvunopeuden korrelaation olevan hyvin heikon. Zobel & van Buijtenen (1989) mukaan hajaputkiloisissa lehtipuissa, joihin koivulajitkin kuuluvat, kasvunopeuden ei yleensä tulisi vaikuttaa puuaineen tiheyteen.

Tiheyden vaihteluita rungon sisällä voidaan ainakin teoriassa selittää ytimen ympärillä 5–20 vuosilustosta koostuvalla nuorpuuosuudella, jonka tiedetään olevan selvästi aikuispuuta kevyempää (Zobel & van Buijtenen 1989). Nuorpuun olemuksesta tai jopa sen esiintymisestä koivulla on kuitenkin useita näkemyksiä. Yleisesti

Taulukko 4. Suomalaisen päätehakkuiikäisen raudus- ja hieskoivun puuaineen Brinell-kovuuden vaihtelua kuvaavia tunnuksia. N = mitattujen näytteiden lukumäärä.

Koivulaji	N	Keskiarvo	Keskiahajonta	Minimi	Maksimi	Ominaisarvo
Brinell-kovuus, MPa						
Raudus	261	23,37	4,40	13,31	37,38	16,13
Hies	358	20,53	3,81	12,49	32,92	14,26
Yhteensä	619	21,73	4,30	12,49	37,38	14,66

Taulukko 5. Lineaariset regressiomallit suomalaisen päätehakkuiikäisen raudus- ja hieskoivun Brinell-kovuuden ennustamiseen puuaineen kuiva-tuoretiheyden perusteella.

Koivulaji	Muuttuja	Standardoimattomat regressiokertoimet (B) ja niiden keskivirheet (S.E.)				
		B	S.E.	t	p-arvo	
Rauduskoivu						
	RMSE: 2,7715	Vakiotermi	-35,297	3,054	-11,556	0,000
	R ² : 0,620	X ₁	116,447	6,046	19,261	0,000
	Sig. 0,000 N: 229					
Hieskoivu						
	RMSE: 2,6166	Vakiotermi	-29,304	2,454	-11,944	0,000
	R ² : 0,544	X ₁	104,182	5,118	20,358	0,000
	Sig. 0,000 N: 349					

X₁: Näytteen kuiva-tuoretiheys (kg/m³).

on tiedossa, että koivun jälleen iän ja tuotetun puuaineen tiheyden välillä on positiivinen korrelaatio eli mitä suurempi on vuosiluston järjestysluku ytimeistä laskien, sitä tiheämpää puuainesta keskimäärin on (vrt. Hakkila 1979, Bhat 1980, Nepveu & Velling 1983). Kyseisellä piirteellä voi olla liittymäkohtia luonnonvalinnan kanssa: mitä suuremmaksi puu kasvaa, sitä suurempia taivutusmomenteja sen tyveen kohdistuu mm. tuulen vaikutuksesta. Tyven ulko-osiin muodostuvan tiheän ja siten myös lujan puuaineen pitää siis kestää hyvin taivutusta, jotta puu ei katkeaisi.

Koivun Brinell-kovuus, joka kuvaa puuaineen kykyä vastustaa ulkoista tunkeutumaa, on merkittävä ominaisuus erityisesti lattiapäällysteissä sekä viiluissa ja vanereissa. Mitattujen 578 näytteen perusteella Brinell-kovuuden havaittiin korreloivan selvästi kuiva-tuoretiheyden kanssa. Virheettömään kevätpuuhun säteen suunnassa tehtyjen testien mukaan rauduskoivun keskimääräinen Brinell-kovuus oli 23,4 MPa ja hieskoivun 20,5 MPa. Keskiarvot, samoin kuin havaintojen ääriarvot on esitetty taulukossa 4. Käytännössä esiintyvät maksimiarvot virheettömälle puulle (tyven pintaosissa) lienevät rauduksella noin 35 MPa ja hieksellä noin 30 MPa. Vastaavasti molemmilla koivulajeilla voi esiintyä kovuusarvoja tasolla noin 15 MPa puun latvaosissa ja lähellä ydintä. Brinell-kovuutta ennustavat lineaariset regressiomallit on esitetty taulukossa 5.

Taivutuskimmokerroin (MOE) ja -murtolujuus (MOR) noudattivat systemaattisesti ominaispainovaihteluita. Ominaispainon ja MOR:n välinen korrelaatio oli jonkin verran ominaispainon ja MOE:n välistä korrelaatiota voimakkaampi (taulukko 6). Toisaalta MOE:n ja ominaispainon riippuvuus oli hieman selvempi rauduskoivulla hiekseen verrattuna. Mm. Zhang (1997) havaitsi, että MOE:n riippuvuus ominaispainosta on suoraviivaisempaa kehäputkiloisilla (esim. tammi, saarni, jalava) kuin hajaputkiloisilla (koivulajit) lehtipuilla.

Taulukko 6. Suomalaisen päätehakkuiäkäisen raudus- ja hieskoivun ominaispainon 12 % kosteuspitoisuudessa (ρ_{12}), taivutuskimmokerroimen (MOE) ja -murtolujuuden (MOR) vaihtelua kuvaavia tunnuksia sekä niiden väliset korrelaatiokerroimet.

	Raudus (249 näytettä)			Hies (361 näytettä)		
	ρ_{12}	MOE, GPa	MOR, MPa	ρ_{12}	MOE, GPa	MOR, MPa
Keskiarvo	565,9	14,5	113,9	538,1	13,2	104,1
Keskihajonta	38,7	2,1	14,8	35,7	1,9	14,1
Minimi	440,1	7,8	69,8	456,9	8,2	61,3
Maksimi	687,3	19,9	156,6	640,8	20,0	141,4
Korrelaatiokerroimet (Pearson)						
ρ_{12}	1,000			1,000		
MOE, GPa	0,694	1,000		0,663	1,000	
MOR, MPa	0,827	0,877	1,000	0,792	0,860	1,000

Taivutuslujuuksien ja -murtolujuuden rungon korkeussuuntainen vaihtelu ei kummallakaan koivulajilla ollut käyttökohteiden kannalta merkityksellisen suurta. Murtolujuuden keskimääräinen säteen suuntainen vaihtelu sen sijaan oli rauduskoivulla 105 MPa:sta 126 MPa:iin ja hiekselläkin 98 MPa:sta 111 MPa:iin ytimeistä pintaa kohti kasvaen. Kyseinen 10–15 %:n suhteellinen muutos on huomioimisen arvoinen myös puutuotteiden loppukäyttöä ajatellen.

4 Päätelmät

Koivutukit, niin järeät kartiokkaat tyvitukit kuin runkomuodoltaan heikot pikkutukitkin, olisi syytä jalostaa nykyistä lyhyempinä jos raaka-aineen käyttö halutaan optimoida. Tähän on kolme syytä:

- 1) Maksimoitaessa yhdestä koivurungosta saatavaa sahatukkiosuutta, nykyistä lyhyemmät tukkipituudet mahdollistavat sahauskelpoisten tukkien apteeraamisen myös lengommista ja vikaisemmista rungoista.
- 2) Yksittäisen tukin mutkaisuuden tai lenkouden vaikutus sahatavaran saantoon pienenee tukkipituuden lyhentyessä.
- 3) Oksaton pintapuu saadaan lyhyillä tukkipituuksilla tarkemmin saheiksi kuin pitkillä tukkipituuksilla.

Ensin mainittu seikka korostuu pieniläpimittaisia tukkeja sahattaessa. Järeillä tyvitukeilla vastaavasti tyvilaajentuman (kartiokkuuden) vaikutus vähenee lyhennettäessä sahattavia tukkipituuksia. Jos sahatavaran saanto määräytyy tukin latvaläpimitan mukaan, voidaan voimakkaasti kapenevista tyvitukeista saada 10 % enemmän oksatonta pintalautaa talteen sahattaessa ne esim. kaksimetrisinä neljän metrin pituuden sijaan.

Tässä artikkelissa käsitellyt vaihtoehdot tukkipituuksien lyhentämisestä ovat teoreettisesti tutkittuja, raaka-aineen käytön optimointiin tähtääviä ratkaisuja, joissa ei oteta kantaa lyhyiden tukkien kuljetustekniikkaan, kuorimakoneiden ja sahalaitteiden tarjoamiin mahdollisuuksiin lyhyiden tukkien prosessoinnissa, eikä jatkojalostuksen ja lopputuotteiden vaatimiin sahatavaradimensioihin. Valtaosa koivusahatavaran loppukäytön vaatimista välialasteista (aihoista) (vrt. huonekalukomponentit, parkettiaihiot) on joka tapauksessa niin lyhyitä, ettei perusteita tukkipituuksien lyhentämiselle lopputuotteiden kannalta voida varsinaisesti esittää. Halutunlaatuisten, edellä mainittuja pidempien puutavarakappaleiden tuotantoa voidaan myös lisätä hyödyntämällä sormijatkostekniikkaa.

Koivun puuaineen tiheyden, Brinell-kovuuden, taivutuslujuuksien ja -murtolujuuden vaihtelu runkojen sisällä on huomionarvoista, mikäli halutaan valmistaa erikoistuotteita esim. poikkeuksellista lujuutta vaativiin kohteisiin. Bulkkituotannossa ulkoisten tekijöiden, kuten kosteuden tai kosteusgradientin, vaikutukset lujuus- ja kimmoisuusominaisuuksiin ovat kuitenkin rungon sisäisiä tiheys- ja ominaispainovaihteluita huomattavasti voimakkaammat.

Kirjallisuus

- Bhat, K. M. 1980. Variation in structure and selected properties of Finnish birch wood. I. Interrelationships of some structural features, basic density and shrinkage. *Silva Fennica* 14: 384–396.
- Dunham, R. A., Cameron, A. D. & Petty, J. A. 1999. The effect of growth rate on the strength properties of sawn beams of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 18–26.
- Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 96(3): 1–59.
- Heräjärvi, H. 2001. Modelling of harvesting recovery in mature birch stands when aiming for veneer, saw or special logs in Finland. Julkaisussa: Birkeland, R. & Chantre, G. (toim.). 4th Meeting COST E10 Wood Properties for Industrial Uses, Bordeaux, France, March 7-9, 2001. Proceedings. COST E10 & AFOCEL, Laboratoire qualité du bois, Nangis. Ss. 84–91.
- 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* (painossa).
- Jalava, M. 1943. Huonekaluteollisuuteen käytettävän koivusahatavaran laatu-
luokituksesta. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 60(12): 248–249.
- Nepveu, G. & Velling, P. 1983. Rauduskoivun puuaineen laadun geneettinen vaihtelu. *Folia Forestalia* 575: 1–21.
- Paukkonen, K., Luostarinen, J., Asp, J. & Asikainen, A. 1999. Koivusahatavaran muodon- ja värinmuutokset kuivauksessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1999: 227–238.
- Roine, H. 2002. Huonekaluteollisuus puunkäyttäjänä. Koivuaihioiden valmistus ja markkinointi -seminaari. WOOD WORKSHOP 2002, Imatra, 11.–12.4.2002. Esitelmämoniste. 4 s.
- Ronkanen, A. J. 1968. Koivu ja sen teollinen käyttö 1900-luvulla. *Puumies* 13(6): 158–159.
- Salmi, J. 1987. Koivun puuaineen ominaisuudet ja käyttö. *Sorbifolia* 18(3): 123–132.

- Verkasalo, E. & Paukkonen, K. 1999. Koivun ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet sahausessa ja jatkojalostuksessa Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 751. 91 s.
- Zhang, S. Y. 1997. Wood specific gravity – mechanical property relationship at species level. *Wood Science and Technology* 31: 181–191.
- Zobel, B. J. & van Buijtenen, J. P. 1989. *Wood variation – its causes and control*. Springer Verlag, Berlin. 363 s.

Harvennuskoivu sahauksessa ja jatkojalostuksessa

Jani Lehtimäki, Henrik Heräjärvi, Erkki Verkasalo

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

1 Johdanto

1.1 Tausta

Harvennuskoivikoista saatava sahauskelpoinen pikkutukki, sen laatu ja hyödyntäminen on aivan viime vuosiin saakka ollut tutkimaton ala. Pieniläpimittaisen harvennuskoivun sahaus on lisääntymässä tulevaisuudessa, koska järeää koivutukkaa on rajallisesti saatavilla ja se suuntautuu pääosin vaneriteollisuuden käyttöön, ja huonekalu- ja puusepänteollisuudessa on ryhdytty valmistamaan kasvavia määriä tuotteita koivupienpuusta saatavasta terveoksisesta materiaalista. Harvennuskoivun sahausta lisää kasvava terveoksisen koivun kysyntä, joten pieniläpimittaisen koivun määrä kasvaa tulevaisuudessa (Verkasalo & Paukkonen 1999). Nykyisin pieniläpimittaisesta koivusta tuotettavaa sahatavaraa käytetään huonekaluissa liimalevyaihioina ja komponentteina. Suomessa, Ruotsissa ja mm. Yhdysvalloissa pieniläpimittaisen koivun käyttöä on aiemmin laajennettu kuitu- ja lastulevyteollisuuteen ja muiden puukomposiittilevyjen valmistamiseen (Verkasalo 1990). Muiden puulajien osalta esim. männyllä pienpuuta käytetään paitsi liimalevyihin ja huonekalukomponentteihin jossain määrin myös liimahirsiin, piha- ja ympäristörakentamisen tuotteisiin sekä tee-se-itse -kuluttajatuotteisiin (Boren 2000).

1.2 Koivuvarat ja koivun käyttö

Tilavuuksina mitaten Suomen koivuvaranto on ollut viime vuosikymmeninä kasvussa, tällä hetkellä koivun kokonaistilavuus on hieman alle 300 milj. m³. Lehtipuun osuus Suomessa käytettävästä raakapuusta oli 1990-luvun alussa noin 21 %, koivun osuus lehtipuun käytöstä oli 98 % (Louna & Valkonen 1995). Koivun kasvu on noin 14 milj. m³/a. Sitä vastoin koivun käyttö on ollut vain noin 11 milj. m³/a, mistä vaneriteollisuuden osuus 1–1,5 milj. m³, sahateollisuuden osuus 0,2 milj. m³ ja selluteollisuuden osuus hieman alle 10 milj. m³ (Peltola 2001). Koivun kokonaiskäyttömäärästä ulkomailta, lähinnä Venäjältä, tuodun koivun osuus on noin puolet. Tällä koivun käytöllä Suomen koivuvaranto lisääntyy 5–6 milj. m³ vuodessa, mikä vastaavasti tarkoittaa kasvavia hakkuumahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Suomessa on tuotettu koivusahatavaraa 1990-luvulla keskimäärin 50 000–70 000 m³/a. Vuosituhannen vaihteeseen tuotannon määrä on kasvanut vajaaseen 100 000 kuutiometriin vuodessa. Tuotannon kasvun on aiheuttanut pieniläpimit-

taisen koivun sahauksen lisääntyminen, koska 1990-luvun lopussa markkinat ovat avautuneet terveeksaiselle koivusahatavaralle eli oksakoivulle ja siitä tehtäville tuotteille. Tämä on lisännyt kiinnostusta harvennuksista saatavan koivun sahaamiseen (Heräjärvi ym. 2000). Kaikkiaan lehtipuun osuus tukkien käytöstä oli 1990-luvun alussa teollisuussahoilla vain 0,5 % ja piensahoillakin vain 8,3 %. Lehtipuusahatavarasta 37 % tuli teollisuussahoilta ja loput 63 % piensahoilta (Louna & Valkonen 1995).

1.3 Koivu raaka-aineena

Koivu on raaka-aineena teknisesti ja esteettisesti laadukasta, puuaineeltaan vaaleaa ja tasalaatuista. Näistä syistä koivu on haluttua materiaalia vanerin valmistuksessa, huonekaluteollisuudessa, lattialautoina sekä parketteina. Havupuihin verrattuna koivun sahauksessa on kuitenkin ongelmana laadukkaan puutavaran vähäisyys. Vaatimattoman järeiden ja runsaan vikaisuuden haittapuolet näkyvät sahauksessa pienenä saantona. Järeitä koivutukkeja sahattaessa tarvitaan särmäämätöntä sahatarakuutiota kohti 2,1 m³ ja särmättyä kohti 2,7–2,8 m³ hyvälaatuista raaka-ainetta, mutta raaka-aineen ollessa huonolaatuista tai pieniläpimittaista käyttösuhde on yli 3,0 (Verkasalo & Paukkonen 1999). Koivupikkutukkeja sahattaessa käyttösuhde voi olla käytännössä saatujen kokemusten mukaan 2,8–4,2.

Tällä hetkellä ei ole käytettävissä paljon tutkimustietoa harvennuskoivikoiden puutavaralajeista ja niiden jakaumista eikä myöskään harvennuspuusta saatavasta sahataravasta ja sen laadusta. Rantasen ym. (2000) mukaan eteläsavolaisten harvennuskoivikoiden hakkuukertymästä oli sahauskelpoista keskimäärin 12 %, leimikkotyypistä riippuen 3–23 %. Suurimpana rungon ja tukkien laatua alentavana tekijänä olivat erilaiset mutkat, joita oli 77 % kaikista vioista.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen päätavoitteina oli selvittää:

- harvennuskoivun ja erityisesti koivupikkutukin neljän korjuumenetelmän tuottavuutta ja kustannuksia sekä korjuusta saatavan sahauskelpoisen pikkutukin kertymiä,
- harvennuksista saatavan sahauskelpoisen koivutukin ulko- ja sisälaatua,
- sahataravaran saantoa ja laatua.

Tutkimus oli luonteeltaan esitutkimus pohjaksi laajemmille tutkimuksille harvennuskoivun hyödyntämisestä sahauksessa ja jatkojalostuksessa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Leimikot

Tutkimusaineisto hankittiin etukäteen valituista käytännön harvennuskoivuleimikoista Etelä-Savossa, joista korjattiin koivupikkutukkia. Koeleimikoiden valinnassa oli neljä kriteeriä. Pinta-alan täytyi olla vähintään kaksi hehtaaria, koska leimikot piti pystyä jakamaan neljään vähintään 0,5 ha:n korjuulohkoon, joista aina yksi hakattiin eri korjuumenetelmällä. Toisena tekijänä leimikoita valittaessa oli puuston riittävä järeys. Etsintä keskitettiin tästä syystä ensisijaisesti toisiin harvennuksiin tai selvästi myöhästyneisiin ensiharvennuksiin. Kolmantena tekijänä oli harvennuksen oikea-aikaisuus. Harvennuksissa noudatettiin Metsäkeskus Tapion (1994) ohjeita. Neljäntenä tekijänä oli leimikoiden sijainti, jota rajoitti tutkimuksessa yhteistyökumppanina olleen Kuomion Saha Oy:n (Ristiina) puutavaran hankinta-alue.

2.2 Puustomittaukset

Leimikoilla ainespuun mitat täyttävistä koivuista ($d_{1,3} > 8$ cm) kirjattiin jokaiselta koealalta eli korjuumenetelmälohkolta koivulaji, rinnankorkeusläpimitta, laatu-luokka, laatualueen alentumisen syyt sekä tunnus, jolla määriteltiin oliko puu määritely poistuvaksi vai jääväksi, ajourapuut erikseen. Lisäksi jokainen koivu numeroitiin juoksevasti, jotta korjuun jälkeen voitiin määrittää mitkä puut todellisuudessa poistettiin ja mitkä jätettiin. Havu-koivusekametsiköiden koealoilla havu-puista kirjattiin puulaji ja rinnankorkeusläpimitta sekä keskimääräisen puun ikä ja pituus.

Osa koealojen koivuista valittiin edellä esitettyä tarkempiin mittauksiin. Koepuiksi valittiin jokainen sellainen puu, josta pystymittauksen yhteydessä arvioitiin saatavan sahauskelpoista puutavaraa. Puhtaista koivuleimikoista mitattiin koepuuna jokainen puu, jonka rinnankorkeusläpimitta oli vähintään 12 cm. Havu-puu-koivu -sekametsiköissä valittiin koepuiksi joka seitsemäs koivu. Kaikista puista mitattavien tunnusten lisäksi mitattiin koepuista yläläpimitta ($d_{6,0}$), pituus sekä kuiva- ja terveoksarajat.

Pystymittauksen yhteydessä tehtiin myös ns. pystyapteeraus kahdella erilaisella menetelmällä, joiden peruseroina olivat sahapuuosuuksien pituusvaatimukset. Ensimmäisessä apteerausmenetelmässä puut apteerattiin käyttäen Kuomion Saha Oy:n mitta- ja laatuvaatimuksia, joissa sahapuuosuuksien mahdolliset pituudet olivat 2,2 ja 3,3 metrin määrämmitat. Tässä menetelmässä oli myös ehtona, että niiltä rungton osuuksilta, joilta ei saada sahauskelpoista puutavaraa, tehdään kuitupuun mitat täyttävää kuitupuuta. Toisessa apteerausmenetelmässä ei ollut määräpituusvaatimuksia, vaan sahapuuosuudet apteerattiin vähintään yhden metrin sahapuupituuksina ja lisäksi oli mahdollista tehdä tyvileikkoja ja välivähennyksiä. Sahapuuosuuksien pituudet määritettiin yhden desimetrin tarkkuudella. Molemmissa apteerausmenetelmissä määritettiin myös kunkin sahapuuksi kelpaamattoman osan laa-

Taulukko 1. Koeleimikoita kuvaavia tunnuksia. Tyyppi 1 = luontaisesti syntynyt koivikko, tyyppi 2 = havupuu-koivusekaleimikko, tyyppi 3 = istutusraudus-koivikko. Rluku = runkoluku. Ppa = pohjapinta-ala.

Leimikko	Sijaintikunta	Tyyppi	Pinta-ala	Koivujen ikä	Rluku	Ppa	Metsä- tyyppi	Koivujen keskilpm.
				a	kpl/ha	m ² /ha		cm
1	Suomenniemi	1	2,8	45	758	18,0	OMT	17,4
2	Punkaharju	3	3,1	30	951	15,1	OMT	14,2
3	Mikkelin mlk	2	12,9	40	1516	24,7	MT	14,4
4	Anttola	2	5,6	50	862	18,2	MT	16,4
5	Rantasalmi	3	3,0	35	635	16,2	OMT	18,0
6	Rantasalmi	3	2,8	35	753	16,3	OMT	16,6

tuluokan alentumisen syy, jolloin saatiin tietoa siitä, mitkä viat pudottavat harvenniskoivujen laatuluokan sahapuusta kuitupuuksi.

Korjuumenetelmälohkoittain sovellettiin neljää eri korjuumenetelmää: 1) Metsurihakkuu, jossa rungon katkonta määräpituiseksi (2,2 ja 3,3 m) pikkutukeiksi, kuitupuuksi ja vaneritukeiksi. 2) Koneellinen hakkuu, jossa rungon katkonta määräpituiseksi (2,2 ja 3,3 m) pikkutukeiksi, kuitupuuksi ja vaneritukeiksi. 3) Koneellinen hakkuu, jossa rungon katkonta tukkiosamenetelmällä yhdeksi rangaksi ja sen katkonta määräpituiseksi pikkutukeiksi sahan varastolla. 4) Koneellinen hakkuu, jossa rungon katkonta 3 m:n kuitupuupölkkyiksi ja sahaukseen soveltuvien pölkkyjen valinta metsäkuljetuksen yhteydessä ja lajittelu ja purkaminen omaan pinnoon metsävarastolla. Pikkutukin minimiläpimitta oli kaikissa korjuumenetelmissä 11 cm.

2.3 Tukeista mitatut tunnuksset

Sahattavia koivupikkutukkeja tutkittiin kaikkiaan 2071 kappaletta. Pienin ja suurin sallittu latväläpimitta olivat 11 cm ja 18 cm, suurin sallittu tyviläpimitta oli 25,5 cm. Sahattavien tukkien pituudet olivat luvussa 2.2 esitetyn mukaisesti 2,2 ja 3,3 m ja kuitupuusumasta valituilla kappaleilla 3,0 m.

Tukeista mitattiin tyviläpimitta ja läpimitat sen jälkeen 1,1 m:n välein tukin latvaan asti. Kyseinen mittaussväli oli perusteltu, koska tukkien pituudet olivat 1,1 m:n kerrannaisia, pois lukien kuitupuumittaiset tukit. Tukeista mitattiin myös pituus ja tukin molemmista päistä kuoren paksuus. Lisäksi tukit laadutettiin 1,1 m:n osissa, joista laskettiin elävien, kuolleiden ja lahojen oksien lukumäärät ja kunkin oksaluokan paksuimman oksan läpimitta. Samalla osista kirjattiin kaikki havaitut viat: poikaoksat ja oksaryhmät, mutkat, lenkous, monivääryys, pintahalkeamat ja korot, laho- ja väri viat sekä ruskotäpläkärpäsen toukkakäytävät.

Pitkinä rankoina korjattujen tukkiosien käsittely poikkesi tukeista siten, että sahan puukentälle levittämisen jälkeen ne mitattiin aluksi tilavuuden määrittystä varten. Tämän jälkeen tukkiosat apteerattiin ja katkottiin sahan tukkimittoja (2,2 ja

3,3 m) käyttäen. Katkotut tukit mitattiin samoin kuin muutkin määrämittaiset tukit. Kuitupuuna korjattujen pölkkyjen laatua parannettiin tekemällä lyhennys 3,0 m:stä 2,2 m:iin, mikäli se paransi oleellisesti tukin muotoa ja/tai poisti muita vakavia vikoja.

2.4 Sahauskokeet ja sahemittaukset

Koetukit sahattiin Kuomion Saha Oy:n sahoilla Ristiinassa ja Mäntyharjulla. Ristiinassa sahalinjana oli kaksiteräinen pyöröteräsaha, jossa tukki sahattiin kahdelta sivulta pelkaksi ja tämä jaettiin sahatavaraksi kenttäsirkelellä. Mäntyharjussa sahauslaitteistona oli pelkkahakkuri-vannesahalinja, jossa tukki ensin syötettiin neljältä sivulta hakettavan pelkkahakkurin läpi. Tämän jälkeen pelkka käännettiin haluttuun asentoon, minkä jälkeen se jakosahattiin vannesahalla.

Saheista mitattiin lappeiden pituus yhden senttimetrin tarkkuudella sekä leveys yhden millimetrin tarkkuudella koko saheen pituudelta. Näiden mittausten jälkeen saheiden lappeista laskettiin 1,1 m:n osissa elävien, kuolleiden ja lahojen oksien lukumäärät ja joka oksaluokasta mitattiin paksuimman oksan läpimitta. Myös saheissa esiintyneet väriviat, laho, ruskotäpläkärpäsen toukkakäytävät ja vajasärmäisyys suurimmillaan ja pienimmillään lappeen leveydestä kirjattiin pituusosittain.

3 Tulokset

3.1 Pystymittaus

Pystymittauksien mukaan koko puustosta tutkituista vioista yleisimpiä olivat monivääryys (48 % vikahavainnoista) ja erilaiset mutkat (28 % vikahavainnoista). Lisäksi merkittäviä vikoja olivat haarat ja oksaryhmät, joiden osuus oli noin 15 % vikahavainnoista. Myös poistuvien puiden viat olivat enimmäkseen muotovikoja. Poistuvassa puustossa vikaisuus oli hieman yleisempää kuin koko puustossa. Tosin oletusten mukaisesti ero ei ollut tässä suhteessa kovin suuri, esim. harvennusmännityn verrattuna (Stöd 2000).

3.2 Hakkuukertymät

3.2.1 Puutavaralajijakaumat pystymittauksen mukaan

Koko puuston puutavaralajijakaumaa arvioitiin pystyapteen avulla. Tarkasteltaessa puutavaralajijakaumaa pystymittauksessa poistuviksi arvioitujen runkojen osalta on huomioitavaa, että sahauskelpoisen tukin osuus on tässä pienempi kuin koko puustossa. Taulukossa 2 on esitetty apteen menetelmällä sahapuumäärien tilavuudet ja osuudet koko puustosta ja arvioidusta poistumasta kahdella käytetyllä apteen periaatteella. Käytettäessä 2,2 ja 3,3 m:n tukkipituuksia sahapuuta oli leimikosta riippuen koko puustossa 17–62 m³/ha (22–36 %) ja pois-

Taulukko 2. Koko koivupuuston teoreettiset puutavaralajijakaumat kahdella eri apteeraustavalla leimikoittain. Apteeraus 1 = tukit 2,2 ja 3,3 m, apteeraus 2 = vapailla tukkipituuksilla apteeraus. Ensimmäinen arvo tarkoittaa koko puustoa ja toinen arvo poistumaa.

Leimikko	Apteeraus 1			Apteeraus 2		Apteerauksien 1 ja 2 ero, %-yksikköä
	Koko puusto Tilavuus, m ³ /ha	Sahapuuta, m ³ /ha %		Sahapuuta, m ³ /ha %		
1	170 / 72	62 / 22	36 / 30	69 / 26	41 / 36	4 / 6
2	123 / 50	37 / 11	30 / 27	55 / 17	45 / 34	15 / 11
3	108 / 38	27 / 5	25 / 14	32 / 7	30 / 17	5 / 4
4	80 / 27	17 / 4	22 / 16	22 / 6	28 / 22	6 / 6
5	155 / 70	44 / 15	29 / 22	55 / 19	35 / 27	7 / 6
6	147 / 57	53 / 17	36 / 29	65 / 21	44 / 36	9 / 7

tumassa 4–22 m³/ha (14–30 %). Sahapuuosuudet olivat osaksi leimikoiden valinnan ansiosta hieman korkeampia kuin mitä käytännön puunhankkijat ovat arvioineet (10–15 % hakkuukertymästä). Vapailla tukkipituuksilla, jotka sallivat lyhimillään yhden metrin sahapuupölkyt, sahapuun kertymät olivat koko puustossa 5–18 m³/ha eli 5–15 %-yksikköä korkeammat, mutta poistumassa vain 2–6 m³/ha eli 3–7 %-yksikköä korkeammat kuin käytetyillä tukin määräpituuksilla.

3.2.2 Toteutuneet poistumat

Hakkuun jälkeen mitatut toteutuneet poistumat sekä niiden sahapuuosuudet on esitetty leimikkokohtaisesti taulukossa 3. Sahapuun toteutuneet kertymät olivat leimikosta riippuen 7–20 m³/ha eli 26–31 % koivun koko kertymästä. Toteutuneita kertymiä voidaan pitää verraten korkeina, tässäkin osaksi leimikkovalinnan ansi-

Taulukko 3. Toteutuneet sahapuu- ja kuitupuukertymät ja osuudet leimikoittain.

Leimikko	Sahapuuta		Kuitupuuta		Yhteensä m ³ /ha
	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	
1	20	30	47	70	67
2	10	26	29	74	39
3	10	27	27	73	38
4	7	30	18	70	25
5	17	31	37	69	54
6	13	27	35	73	48

osta. Vastaavalla apteerausperiaatteella tehdyn pystymittauksen tuloksiin (taulukko 2) verrattuna toteutunut sahapuuosuus oli kolmella leimikolla lähes sama (ero 0...-2 %-yksikköä), mutta kolmella leimikolla 9–14 %-yksikköä korkeampi.

Sahauskelpoisten pikkutukkien kertymää maksimoitaessa hakkuuvaiheen onnistunut katkonta oli merkitsevässä osassa. Kertymä oli paras käytettäessä rankoiksi katkontaa eli korjuuta tukkiosamenetelmällä (taulukko 4). Pitkän rangan korjuulohkolta saatiin keskimäärin 5 %-yksikköä suurempi sahauskelpoisten pölkkyjen saanto verrattuna kuitupuuna korjattuun lohkoon sekä 8 ja 14 %-yksikköä suuremmat saannot verrattuna hakkuukoneella ja metsurityössä valmiille tukkipi- tuuksille katkonnalla korjattuihin lohkoihin. Kuitupuumitoilla korjattujen lohkojen

Taulukko 4. Sahauskelpoisten tukkien saanto korjuumenetelmitäin eri leimikoilla suhteessa poistuman runkojen tilavuuteen. *Metsuri* = pikkutukin 2,2 ja 3,3 m:n määräpituuksilla korjattu lohko, *kuitu* = kuitupuumitoilla korjattu lohko, *ranka* = pitkänä rankana korjattu lohko, *määrämitta* = hakkuukoneella pikkutukin 2,2 ja 3,3 m:n määräpituuksilla korjattu lohko.

Leimikko	Korjuumenetelmä			
	Metsuri	Kuitu	Ranka	Määrämitta
Sahapuun osuus poistumasta, %				
1	21	34	44	23
2	27	31	29	16
3	13	37	20	18
4	13	19	30	19
5	25	29	34	36
6	14	20	41	40
Keskiarvo	19	28	33	25

Taulukko 5. Pitkänä rankana korjattujen sahapuuosien tilavuus ja niistä saatujen tukkien tilavuus ja tilavuusosuus leimikoittain.

Leimikko	Rankojen tilavuus	Sahapuun tilavuus	Sahapuun tilavuusosuus
	m ³	m ³	%
1	5,6	3,8	68
2	4,8	3,6	76
3	3,3	2,8	86
4	5,8	5,0	87
5	5,3	4,2	79
6	5,0	3,8	76

korkeahko sahauskelpoisten pölkkyjen osuus oli jossain määrin yllättävää. Korjuumenetelmien erot vaihtelivat hyvin paljon leimikoittain, joten tulosten perusteella ei voida tehdä tässä suhteessa pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Parhaissa leimikoissa (leimikot 3 ja 4) sahauskelpoisten tukkien saanto oli 87 % rankojen tilavuudesta ja huonoimmassakin leimikossa (leimikko 1) lähes 70 %. Taulukossa 5 on esitetty rankojen tilavuudet ja sahalla tehdyssä apteerauksessa ja katkonnassa saatujen sahauskelpoisten pikkutukkien tilavuudet ja osuudet rankojen tilavuuksista.

3.3 Tukkien ja saheiden ominaisuudet

3.3.1 Tukkien ominaisuudet

Tutkimuksessa saatiin tukkiaineisto, kaikkiaan 2071 tukkia, jonka kokonaistilavuus oli 106 m³, kuoriosuus oli 9,1 %. Sahauksen kannalta tukkien pahimmat viat olivat tekniset muotoviat, lähinnä erilaiset mutkat (48 % vikahavainnoista). Puuaineen yleisimpinä vikoina olivat ruskotäpläkärpäsen aiheuttamat juovat (30 % vikahavainnoista). Laatua alentavana tekijänä esiintyi myös eriasteista värivikaa. Sen sijaan oksikkuudella ei ollut juurikaan laatua heikentävää vaikutusta. Tukkien latvaläpimittojen keskiarvo oli noin 14 cm. Kuvassa 1 on esitetty tukkien latvaläpimittajakaumat leimikoittain.

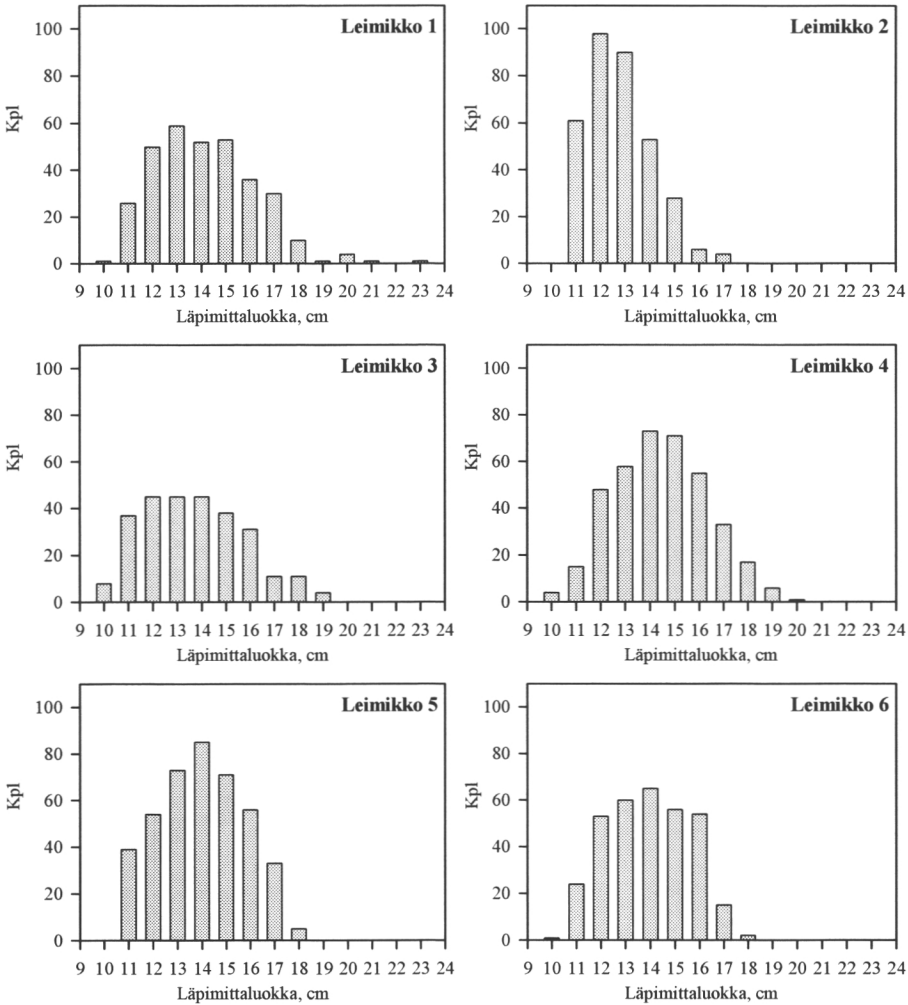
Ruskotäpläkärpäsen toukkakäytävät olivat yleisin puuaineen vika sahepinnoissa (93 % vikahavainnoista). Ruskotäpläisyyden määrä oli suurempi puhtaissa koivikoissa kuin sekapuustoisissa metsiköissä. Sen sijaan luontaisesti syntyneen hieskoivikon ja istutuskoivikoiden välillä ei ollut selvää eroa ruskotäplien määrässä. Sekapuustoisilla leimikoilla oli vastaavasti enemmän sydänlahoa kuin muilla leimikoilla. Tähän tarkasteluun ei sisällytetty vajasärmäisyyttä, joka oli itse asiassa suurin sahatavaran hylkäämistä aiheuttanut tekijä.

3.3.2 Tukkien käyttösuhde sahauksessa

Tukki- ja sahatavaramittausten yhtenä tarkoituksena oli selvittää koivupikkutukin käyttösuhde sahauksessa. Se oli keskimäärin 3,3 kaiken tuotetun sahatavaran tilavuudesta ja 4,4 nelisahatun täyssärmäisen sahatavaran tilavuudesta. Pienimmillään käyttösuhde oli leimikolla 4 (3,0 / 3,9) ja suurimmillaan leimikoilla 1, 5 ja 6 (3,6 / 4,7). Tulokset ilmenevät yksityiskohtaisesti taulukosta 6.

Taulukossa 7 on esitetty käyttösuhde eri korjuumenetelmissä sekä täyssärmäisen että kaiken sahatavaran osalta. Huomioitavaa tässä on, että käyttösuhde näyttää olevan keskiarvona paras metsurin tekemillä määrämittaisilla tukeilla, mutta metsurin tekemä puutavara ei ollut parasta kaikilla leimikoilla. Metsurin tekemät tukit leimikoilla 1, 5 ja 6 olivat parempia mutta lopuilla leimikoista tasavertaisia tai jopa huonompia kuin hakkuukoneen tekemät tukit.

Kun laskelmissa on mukana vain täyssärmäinen sahatavara, muuttuvat korjuumenetelmien suhteet jonkin verran. Tämän laskelman mukaan paras keskimääräinen käyttösuhde saavutettiin hakkuukoneella, kun tukit katkottiin 2,2 ja 3,3 m:n määrätuoksille. Hakkuukoneella tehty määrämittakatkonta oli käyttösuh-



Kuva 1. Tukkien kuorellisen latvaläpimitan frekvenssijakaumat leimikoittain.

teeltaan paras leimikoilla 2, 3, 4 ja 6. Sen sijaan leimikolla 1 olivat metsurin tekemät tukit ja leimikolla 5 metsurin tekemät ja hakkuukoneen tukkosamenetelmällä saadut tukit parhaita.

Taulukossa 8 on esitetty leimikoittaiset käyttösuhteet eri korjuumenetelmissä jaotellen pikkutukit kahteen latvaläpimittaluokkaan, ohuet ja järeät. Käyttösuhteet on laskettu tässä kaiken sahatavaran mukaan. Järeimmässä läpimittaluokassa paras käyttösuhte saavutettiin metsurin tekemillä tukeilla, joskin sekään ei ollut paras jokaisella leimikolla (leimikko 5) ja oli suhteellisen tasavertainen eri korjuumenetelmien välillä leimikolla 1. Erot eri korjuumenetelmien välillä olivat ohuemmassa läpimittaluokassa pienemmät kuin järeämmässä luokassa. Tässäkin laskelmassa metsurin tekemät tukit olivat parhaita käyttösuhteen kannalta, mutta korjuumenetelmien väliset erot eivät olleet suuria. Huomiota kiinnitti myös käyttösuhteen paraneminen pitkänä rankana hakattaessa suhteessa muihin korjuumenetelmiin tuk-

Taulukko 6. Sahatavaran saanto tukeista ja sen jakaumat leimikoittain nelisahattuun täyssärmäiseen ja hylkytavaraan (raakkiin) sekä tukkien käyttösuhde.

Leimikko	Tukkien kokonais-tilavuus, m ³	Sahatavaran tilavuus			Sahatavaraa tukkitilavuudesta		Käyttösuhde	
		Kaikki m ³	Täys-särmäinen m ³	Raakin osuus %	Kaikki %	Täys-särmäinen %	Kaikki	Täys-särmäinen
1	16,7	4,6	3,6	22	28	21	3,6	4,7
2	16,1	5,1	3,8	26	32	24	3,1	4,2
3	13,7	4,4	3,3	26	32	24	3,1	4,2
4	21,4	7,1	5,5	23	33	26	3,0	3,9
5	21,6	6,4	4,6	28	30	21	3,3	4,7
6	16,8	4,9	3,6	27	25	21	3,4	4,7
Yhteensä	106,2	31,8	23,7					
Keskiarvo		5,4	4,0	26	30	22	3,3	4,4

kien läpimitan pienentyessä. Rankamenetelmällä saavutettiin paras käyttösuhde leimikolla 5 ja toiseksi paras leimikolla 2 (yhdessä metsurihakkuun ja kuitupuuna korjuun kanssa). Toisaalta on otettava huomioon myös, että käyttösuhteen hajonta eri leimikoiden välillä oli rankamenetelmässä pienessä läpimittaluokassa huomattavan suurta järeään läpimittaluokkaan verrattuna.

Tukkien yhteenlasketun käyttösuhteen mukaan metsurin tekemien tukkien käyttösuhde oli keskiarvojen valossa selvästi muita menetelmiä parempi. Lisäksi keskihajonta oli metsurihakkuussa ja hakkuukoneella tehdyssä määräpituuksille katkonnassa pienempää kuin muissa korjuumenetelmissä.

3.3.3 Saheidn laatu

Taulukossa 9 on tarkasteltu sydänsahatavarakappaleiden oksaluokkien jakautumista runkojen eri tukkiosuiksille. Laskennassa esitetyt prosenttiosuudet on suhteutettu kunkin tukkiosan sahatavaraosien kokonaislukumäärään. Tyvitukeissa, joka on tärkein harvennuskoivikoista saatava sahatukkilaji, oli tavoiteltavinta eli terveoksaista sahatavaraa leimikkotyypistä riippuen 27–41 %, selvästi eniten istutusrauduskoivikoissa ja luontaisissa puhtaissa koivikoissa jonkin verran enemmän kuin sekametsiköissä. Lisäksi tyvitukkien sahatavarasta odottamattoman suuri osuus oli oksatonta, 10–23 %, jota puolestaan oli selvästi vähemmän istutuskoivikoissa kuin luonnonkoivikoissa. Vähiten toivottavan kuivaoksaisten sahatavaran osuus oli joka tapauksessa suurin kaikissa leimikkotyypeissä, 43–51 %.

Terveoksaisten sahatavaran osuus kasvaa ja oksattoman, mutta myös kuivaoksaisten tavarann osuudet pienenevät harvennuskoivuissa tyvitukista ylöspäin. Terveoksaisten tavarann osuus olikin toisessa ja kolmannessa tukissa suurin, leimikkotyypistä riippuen 43–56 % ja 51–63 %. Eniten terveoksaista tavarann oli näissäkin

Taulukko 7. Koivupikkutukkien käyttösuhde pyöreää puuta kaikkea ja täyssärmäistä sahatavaraa kohti korjuumenetelmittäin ja leimikoittain. Ensimmäinen arvo tarkoittaa kaikkea sahatavaraa ja toinen arvo nelisahattua täyssärmäistä sahatavaraa. *Metsuri* = pikkutukin 2,2 ja 3,3 m:n määräpituuksilla korjattu lohko, *kuitu* = kuitupuumentoilla korjattu lohko, *ranka* = pitkänä rankana korjattu lohko ja *määrämitta* = hakkuukoneella pikkutukin 2,2 ja 3,3 m:n määräpituuksilla korjattu lohko.

Leimikko	Korjuumenetelmä			
	Metsuri	Kuitu	Ranka	Määrämitta
	Käyttösuhde			
1	3,1 / 4,2	4,1 / 5,3	4,0 / 5,1	3,4 / 4,6
2	3,0 / 4,1	3,1 / 4,1	3,0 / 4,4	3,1 / 3,8
3	3,1 / 4,3	3,4 / 4,5	3,1 / 4,0	3,0 / 3,9
4	3,1 / 4,5	3,1 / 3,9	3,0 / 3,5	2,8 / 3,6
5	3,3 / 4,4	3,3 / 4,6	3,5 / 4,4	3,4 / 4,7
6	3,1 / 5,7	3,5 / 4,5	3,6 / 4,7	3,5 / 4,2
Keskiarvo	3,1 / 4,5	3,4 / 4,5	3,4 / 4,4	3,2 / 4,1
Keskihajonta	0,1 / 0,6	0,4 / 0,5	0,4 / 0,5	0,3 / 0,4

Taulukko 8. Ohuiden ja järeiden koivupikkutukkien käyttösuhteet kaikelle sahatavaralle korjuumenetelmittäin ja leimikoittain.

Leimikko	Käyttösuhde			
	Tukit (lpm 15,1–18 cm) / Tukit (lpm 11–15 cm) / Tukit yhteensä			
	Metsuri	Kuitu	Ranka	Moto mm
1	3,8 / 3,0 / 3,1	4,1 / 4,1 / 4,1	4,0 / 4,0 / 4,0	4,1 / 3,0 / 3,4
2	3,4 / 2,9 / 3,0	4,7 / 3,0 / 3,1	4,1 / 2,9 / 3,0	3,5 / 3,3 / 3,4
5	3,8 / 3,1 / 3,3	3,5 / 3,3 / 3,4	4,2 / 2,8 / 3,5	3,5 / 3,3 / 3,4
6	3,3 / 3,1 / 3,1	3,9 / 2,9 / 3,5	4,4 / 3,0 / 3,6	4,0 / 3,2 / 3,5
Keskiarvo	3,6 / 3,0 / 3,1	4,0 / 3,3 / 3,5	4,2 / 3,2 / 3,5	3,8 / 3,2 / 3,4
Keskihajonta	0,3 / 0,1 / 0,1	0,5 / 0,5 / 0,4	0,1 / 0,6 / 0,4	0,3 / 0,1 / 0,1

rungonosissa istutuskoivikoissa, mutta sitä oli myös sekametsikoissa selvästi enemmän kuin puhtaissa luonnonkoivikoissa. Oksattoman tavarantoimen suhteen leimikkotyyppien erot olivat näissä rungon osissa samansuuntaiset kuin tyvitukeissa.

Taulukko 9. Sydäntavarakappaleista mitattujen oksien esiintyminen koivurungon eri tukkiosuuksilla eri leimikkotyypeissä. Prosenttiosuudet tarkoittavat elävien, kuolleiden, lahojen oksien tai oksattomien sahatavaraosuuksien lukumäärää suhteutettuna kunkin osuuden saheiden kokonaislukumäärään. Leimikko 1 = luontainen koivikko, 2 = lehtipuu-havusekametsikkö ja 3 = istutusrauduskoivikko. Oksaisuus: E = eläviä oksia, K = kuolleita oksia, L = lahoja oksia, O = oksaton.

Leimikko	Tyvitukki				2. tukki				3. tukki			
	Oksaisuusluokka											
	E	K	L	O	E	K	L	O	E	K	L	O
	Osuus saheiden lukumäärästä, %											
1	32	43	2	23	43	42	2	13	51	36	5	8
2	27	51	1	21	50	39	1	10	63	33	0	4
3	41	49	0	10	56	38	0	6	62	34	0	4

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Pystymittaustulokset

Pystymittautietojen perusteella lasketut poistuvan puuston puutavaralajijakaumat erosivat hakkuussa toteutuneesta varsin paljon. Eroja esiintyi sekä sahapuun tilavuudessa että tilavuusosuudessa. Nämä erot saattoivat johtua metsurin tai hakkuukoneenkuljettajan erilaisesta apteerauksesta tai poistuvien puiden erilaisesta valinnasta. Kolmella leimikolla (leimikot 1, 3 ja 4) kokonaispoistuma oli suuruusluokaltaan sama kuin pystymittauksessa, mutta vain leimikolla 1 sahapuun tilavuus ja tilavuusosuus olivat samalla tasolla.

Leimikoiden sisäiset korjuulohkojen puustojen erot heikentävät tulosten luotettavuutta sahapuuosuuksien vertailussa eri korjuumenetelmien välillä. Leimikoiden sisällä sahapuuosuus vaihteli eri korjuulohkojen välillä suurimmillaan 28 %-yksikköä ja pienimmillään vajaa 11 %-yksikköä. Korjuumenetelmällä ei ollut tulokseen kiistatonta vaikutusta, sillä paras ja huonoin sahapuuosuus esiintyivät eri leimikoilla eri korjuumenetelmillä. Poikkeuksena olivat metsurityönä hakatut lohkot, joilla oli huonoin sahapuun osuus poistumasta viidellä leimikolla kuudesta.

4.2 Tukki- ja sahemittaustulokset

Tukkien selvästi yleisimmät tekniset viat olivat erilaiset mutkat, pahimpana monivääryys, ja puuaineen vioista ruskotäpläkärpäsen toukkakäytävät. Harvennuskoivutukeista noin joka kolmas määritettiin jollakin tavalla mutkaiseksi; tästä seurasi korkea käytösuhde sahauksessa.

Harvennuskoivuleimikoista saatavan sahatavaran yhtenä suurena ongelmana on alhainen sahatavaran saanto. Tässä tutkimuksessa tukkien käytösuhde oli kes-

kimäärin 3,3 kaiken tuotetun ja 4,4 täyssärmäisen sahatavaran tilavuutta kohti. Tulokseen pitää suhtautua kriittisesti monestakin syystä. Ensinnäkin sahauksessa käytettiin vain kahta asetetta ja tavoiteltua sahatavaramääriä, minkä vuoksi tukit lajiteltiin ennen sahausta vain kahteen läpimittaluokkaan, 11,0–15,0 cm ja 15,1–18,0 cm. Seurauksena sivutuotteiden määrä oli poikkeuksellisen suuri ja tukkien käyttösuhteet vastaavasti ilmeisen heikko. Toiseksi sahatukkien latvaläpimittajakauman huippukohta oli useimmilla leimikolla 13–15 cm, joita sahattaessa samalla asetteella 11 cm:n tukkien kanssa oli selvää, että sivutuotteiden määrä kasvoi entisestään. Kolmanneksi harvennuskoivikoiden puuston rakenteesta johtuen suuri osa tukeista oli tyvitukkeja, joissa kapeneminen oli suhteellisen suurta. Neljänneksi käyttösuhdetta laski latvaläpimitaltaan vain vähän yli 15 cm:n mutta liian mutkaisen tukkien ja korjuussa tai kuljetuksessa vaurioituneiden tukkien sahaaminen tavanomaisella pienemmällä sahausasetteella.

Sahatavaran vioista yleisimpiä olivat erilaiset väriviat, joista erottuivat ruskotäpläkärpäsen toukkakäytävien aiheuttamat juovat. Kuitenkin eniten sahatavaran hylkäämistä aiheutti tukkien mutkaisuudesta johtunut vajaasärmäisyys. Vajaasärmäisyys oli selvästi suurin ongelma sahatavaran laadussa. Vajaasärmäisyys oli suhteellisen suurta, vaikka sahausasetteet olivat tukkien latvaläpimitoihin nähden väljät. Keskimääräinen raakin osuus oli 25 % kaikesta sahatavarasta, tästä 98 % johtui vajaasärmäisyydestä.

Tarkasteltaessa eri korjuumenetelmien vaikutusta käyttösuhteeseen metsurin hakkaamalla lohkoilla käyttösuhteet olivat parempia kuin muilla korjuumenetelmillä korjatuilla lohkoilla. Toiseksi parhaana korjuumenetelmänä oli hakkuukoneella katkonta määräpituuksille. Pitkänä rankana korjatut tukit olivat käyttösuhteen kannalta huonoimpia, mutta toisaalta sahatukkien laatu oli niillä muita korjuumenetelmiä parempi. Rankamenetelmän etuna oli suurempi sahapuuosuus leimikoiden puutavaralajijakaumissa.

Terveoksaista osuutta oli odotusten mukaisesti istutuskoivikoissa säännönmukaisesti ja selvästi enemmän kuin luontaisissa koivikoissa kaikilla rungon korkeuksilla. Oksikkuutta tutkittaessa ilmeni, että istutuskoivikoista saaduissa saheissa oli noin puolet vähemmän oksatonta osuutta tyvitukeissa kuin luontaisesti syntyneissä puulajipuhtaissa koivikoissa tai sekapuustoisissa metsiköissä. Tämä saattoi osaksi johtua siitä, että istutuskoivikoissa oli suhteellisesti vähemmän tyvitukkeja kuin muissa leimikoissa. Tämä selittyi osaksi luontaisesti syntyneitä koivikoita suurempana tyvimutkaisuuden esiintymisenä sekä rehevämällä kasvualustalla ja pienemmällä puuston runkoluvulla, jolloin oksat eivät olleet kuolleet ja karsiutuneet korkealle.

4.3 Tulosten vertailu kirjallisuuteen

Harvennuskoivikoiden pieniläpimittaisen koivutukin kertymistä ei ole tehty kattavia tutkimuksia. Rantanen ym. (2000) selvittivät pieniläpimittaisen koivutukin kertymiä harvennusmetsiköissä Etelä-Savossa. Tutkimuksen mukaan koivupikkutukin osuus hakkuukertymästä vaihteli leimikkotyypistä riippuen 3–23 %, keskiarvo oli 12 %. Heidän tutkimuksessaan oli kaikkiaan seitsemän erilaista leimikkotyypistä puhtaista koivikoista sekapuustoisiin metsiköihin. Tässä tutkimuksessa

sahapuukertymät olivat suurempia. Pienimmillään sahapuun osuus oli sekapuustoisissa leimikoissa noin 22 % ja suurimmillaan luontaisessa puulajipuhtaassa koivikossa 36 %, keskiarvo oli 30 %. Teoreettiset sahapuuosuudet vapaiden, minimisään yhden metrin tukkipituuksien mukaan olivat tätäkin suuremmat, pienimmillään 28 % ja suurimmillaan 45 %, keskimäärin 37 %.

Teknistä laatua tarkasteltaessa Rantasen ym. (2000) tulokset olivat samansuuntaisia tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Heidän mukaansa 77 % kaikista sahapuuosuutta pienentävistä vioista johtui mutkaisuudesta ja noin 8 % haaraisuudesta. Tämän tutkimuksen mukaan mutkaisuus pienensi sahapuuosuutta 78 prosentissa ja haaraisuus vajaassa 7 prosentissa rungoista.

Harvennuskoivun pikkutukin ulkoisesta laadusta ja siitä saatavasta sahatavarasta ei ole toistaiseksi tutkimuksia. Ainoa olemassa oleva Kärkkäisen (1986) koivun sisäoksikkuutta käsittelevä tutkimus on luonteeltaan karkea kuvaus oksikkuuden kehittymisestä järeässä koivurungossa. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan otettu lainkaan huomioon sekaoksaisuutta eikä rajattu selkeästi oksaluokkien korkeuksia rungoissa.

5 Loppupäätelmät

Pieniläpimittaisen koivutukin saatavuutta on mahdollista parantaa kattavalla ja nykyistä huolellisemmalla leimikkovalinnalla sekä oikeilla korjuutoimenpiteillä. Tutkimukseen valituissa leimikoissa oli kaikissa yli 26 % poistumasta sahauskelpoista puutavaraa, joten oikein valituissa harvennusleimikoissa on kohtuullisesti koivupikkutukkia. Tutkimuksen perusteella koivupikkutukin erottelulle kuitupuusta on edellytyksiä puhtaissa koivikoissa, jotka ovat kasvatushakkuuvaiheessa, sekä sekapuustoisissa leimikoissa, joissa koivun poistuma on riittävän suuri. Poistuman suuruus vaikuttaa oleellisesti mm. lähi- ja kaukokuljetuskustannuksiin ja sitä kautta kannattavuuteen.

Koivupikkutukin korjuun osalta varteenotettavia vaihtoehtoja ovat hakkuukoneella tehtävä määrämittakatkonta sekä tukkiosakorjuu. Menetelmiä kehittämällä ja hakkuukoneenkuljettajia kouluttamalla saadaan koivupikkutukillekin hyvä sahapuupoistuma sekä tukkien laatu, jolloin tuloksesta hyötyvät sekä metsänomistaja että puutavaran jatkojalostaja. Harvennuksista saatavan koivupikkutukin sahausessa suurin ongelma oli saatavan sahatavaran vajaasärmäisyys. Tätä ongelmaa voidaan korjata muuttamalla sahausasetteita ja sahatavaran dimensioita eri tukkiluokissa sekä lajittelemalla tukit ennen sahausta, ilmeisesti myös käyräsahauksella. Tukkien luokittelun yhteydessä määritetään sopivin sahausratkaisu jokaiselle tukkiluokalle, jolloin voidaan saavuttaa tässä tutkimuksessa ilmennyt huomattavasti parempi sahatavaran laatu ja pienemmät sahauskustannukset.

Kirjallisuus

- Boren, H. 2000. Pienpuun käytön lisääminen mekaanisessa puunjalostusteollisuudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 761. 58 s.
- Heräjärvi, H., Verkasalo, E., Kaurala, H. & Lehtimäki, J. 2000. Properties and utilisation of birch (*Betula pendula*, *B. pubescens*) for saw milling and further processing in Finland. Julkaisussa: Usenius, A. & Kari, P. (eds.). Proceedings of the Third Workshop on Measuring of Wood Properties, Grades and Qualities in the Conversion Chain and Global Wood Chain Optimisation, 19th-21st June, 2000, Dipoli, Espoo, Finland. Cost Action E10 Wood Properties for Industrial Use. VTT Building Technology, Espoo. Ss. 83–102.
- Louna, T. & Valkonen, S. 1995. Kotimaisen raaka-aineen asema lehtipuiden teollisessa käytössä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 553. 38 s.
- Metsäkeskus Tapio. 1994. Luonnonläheinen metsänhoito. Metsänhoitosuositukset 1994. 72 s.
- Peltola, A. (toim.) 2001. Metsätilastollinen vuosikirja 2001. SVT, Maa-, metsä- ja kalatalous 2001: 52. Metsäntutkimuslaitos. 374 s.
- Rantanen, A., Jalonen, O-P. & Pitkänen, P. 2000. Etelä-Savon lehtipuuvarojen teknis-taloudellinen hyödyntäminen. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja kehittämiskeskus, Mikkeli julkaisuja 72. 47 s.
- Stöd, R. 2000. Ensiharvennuskuusikoiden ja -männiköiden ulkoinen laatu ja pyöreän rakennuspuun kertymä. Metsäteknologian ja puutalouden pro gradu. Joensuun yliopisto. 67 s.
- Verkasalo, E. 1990. Koivu ja haapa mekaanisen metsäteollisuuden raaka-aineena Yhdysvalloissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 367. 93 s.
- Verkasalo, E. & Paukkonen, K. 1999. Koivun ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet sahauksessa ja jatkojalostuksessa Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 751. 91 s.

Koivun kuivaus

Antti Asikainen

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

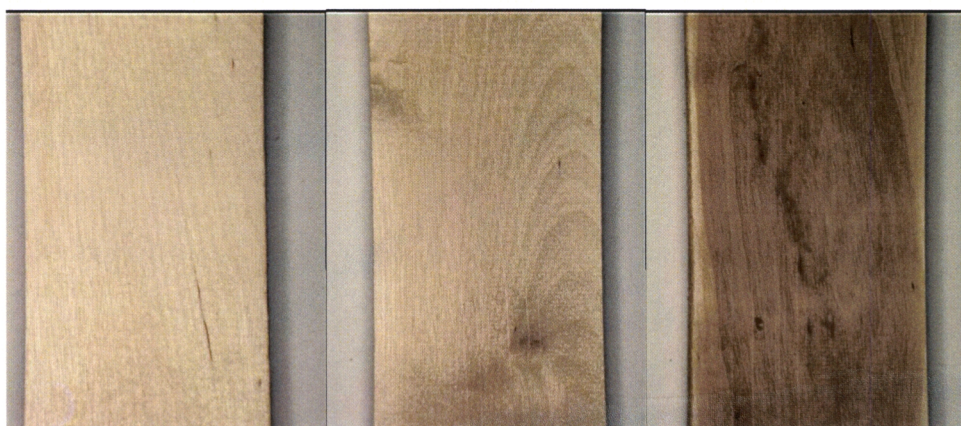
1 Koivun puuaineen värinhallinta on ongelma puutuoteteollisuudessa

Koivu on tärkeä raaka-aine Suomen puutuoteteollisuudelle ja siitä valmistettuja aihioita sekä lopputuotteita viedään erityisesti Pohjois- ja Keski-Euroopan maihin. Koivun tärkeimmät käyttökohteet vanerin valmistuksen ohella ovat huonekalut ja lattiapinnoitteet, joissa vaaditaan korkeaa teknistä laatua ja värin vaaleutta ja tasaisuutta (Verkasalo & Paukkonen 1999).

Koivun puuaine tummuu helposti jalostusprosessin ja erityisesti kuivauksen aikana (kuva 1). Puuaineen värinmuutos jatkuu myös valmiissa tuotteessa erityisesti valon aiheuttaman kellastumisen vuoksi, joka on tyypillistä myös muille puulajeille ja esimerkiksi puupitoisille papereille. Tyypillisiä värinmuutoksia lämmintilma-kuivauksessa ovat puuaineen punertuminen erityisesti saheen sisäosissa ja juovien tai tummien kerrosten syntyminen alipainekuivauksessa (Luostarinen ym. 2001). Epätasainen väri alentaa raaka-aineen jalostusarvoa ja se voi johtaa koko erän hylkäämiseen.

Perinteinen sahatavaran esikuivaus ulkoilmassa on huonekaluteollisuuden käyttämä menetelmä koivun puuaineen vaalean värin säilyttämiseksi. Kuivauksen lopputulos on kuitenkin epävarma sääriippuvuuden vuoksi ja saheiden välinen kosteusvaihtelu voi olla suurta.

Kuivauksen lopputulokseen vaikuttavat myös raaka-aineen ominaisuudet,



Kuva 1. Eriasteisia kuivauksen seurauksena syntyneitä värinmuutoksia koivun puuaineesa. Vasemmalla hyvä kuivaustulos. Kuva: Katri Luostarinen.

kuivattavan materiaalin käsittely (varastointi tukkeina ja saheina ennen kuivausta) sekä varastoinnin aikana vallinneet sääolot. Koivulla vuodenaikojen vaihtelu vaikuttaa käytännössä koko puuaineen sokeri- ja uuteainepitoisuuksiin, mikä vaikuttaa osaltaan kuivauksessa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin puuaineessa. Tässä raportissa käsitellään koivun puuaineen sokeri- ja uuteainepitoisuuksien ja kuivaustuloksen riippuvuutta kaatoajankohdasta, varastoinnista ja kuivaustavasta. Esitetyt tulokset perustuvat pääosin Wood Wisdom -tutkimusohjelman hankekonsortion *Koivun puuaineen värjäytyminen ja kemia* tutkimustuloksiin.

2 Koivun puuaineen sokeriopitoisuuden vaihtelu

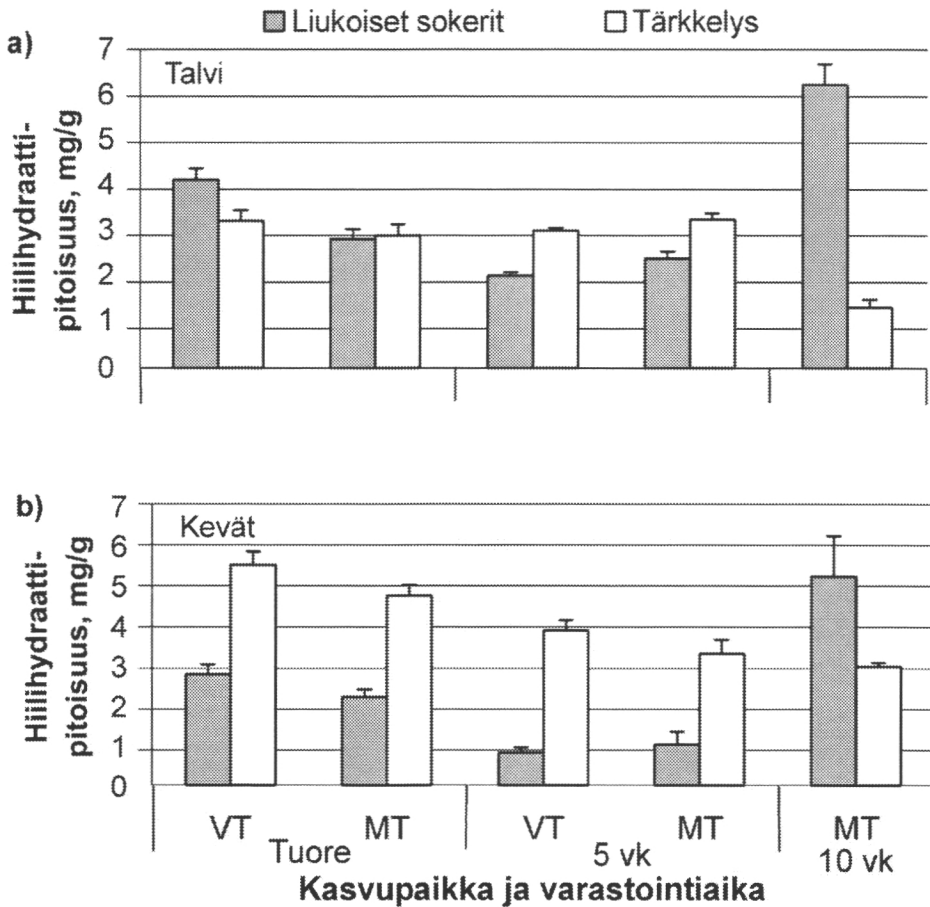
Koivun ei katsota muodostavan varsinaista sydänpuuta havupuiden tapaan. Siksi koko mantopuun alueella tapahtuu vuodenajoista riippuvaa ainespitoisuuden vaihtelua. Havupuilla runkopuun rasvapitoisuus on selvästi koivua korkeampi, kun taas koivun puuaineessa sokereiden pitoisuudet ovat merkittäviä (Piispanen & Saranpää 2001) (taulukko 1). Lisäksi koivun sokeriopitoisuus vaihtelee voimakkaasti vuodenajan mukaan (kuva 2). Pitkä varastointi nostaa liukoisten sokereiden pitoisuutta ja vastaavasti tärkkelyksen määrä näyttää vähenevän varastoinnin aikana.

3 Värimuutosten riippuvuus raaka-aineen kasvupaikasta ja kaatoajankohdasta sekä sijainnista rungossa

Rehevän kasvupaikan (MT) koivujen puuaines oli tuoreena vaaleampaa ja vähemmän punaista ja keltaista kuin karumman kasvupaikan (VT) koivujen. Värieron tosin havaittiin pienenevän, kun saheet kuivattiin lämminilma- tai alipaine-kuivauksessa. Kun materiaalia kuivattiin huoneenlämmössä, värierot hävisivät käytännössä kokonaan. Käytännön kannalta eri kasvupaikoilta tulevia koivueriala ei ole perusteltua kuivata erikseen, koska värierot tasoittuvat kuivauksessa (Luostarinen ym. 2001).

Taulukko 1. Männyn, kuusen ja rauduskoivun uuteaineiden pitoisuudet prosentteina kuivapainosta rungon pintaosissa. Vaihtelu tärkkelyksen ja sokerien pitoisuuksissa kuvaa kasvukautista vaihtelua (Piispanen & Saranpää 2001).

	Asetoniute, ka.	Varastorasvat	Tärkkelys	Sokerit
Mänty	3,3	1,0–2,0	0,1–0,6	0,05–0,14
Kuusi	1,3	0,3–0,4	0,4–1,0	0,02–0,24
Koivu	1,8	0,4–0,6	0,2–2,0	0,3–1,6



Kuva 2. Koivun puuaineen liukoisten sokereiden ja tärkkelyksen keskiarvot ja -hajonnat kasvupaikkaluokittain ja varastointiajan mukaan a) talvella ja b) keväällä (Piispanen & Saranpää 2001).

Puuaineksen tuorevärin havaittiin olevan tummin, kun puut kaadettiin keväällä. Muina ajankohtina (kesä, syksy, talvi) kaadettujen erien puuaines oli tuoreväriältään samaa luokkaa. Lämminilmakuivauksessa talvikaadon erä säilyi vaaleimpana ja alipainekuivauksessa vaalein loppuväri saatiin syyskaadon saheista. Kesällä kaadettujen koivujen puuaines sekä saheiden pinta- ja sisäosissa tummui, punertui ja kellastui kuivauksessa eniten (Luostarinen ym. 2001). Näyttäisikin siltä, että kesäkaatoa olisi syytä välttää, mikäli mahdollista, kun halutaan mahdollisimman vaalea kuivauslopputulos.

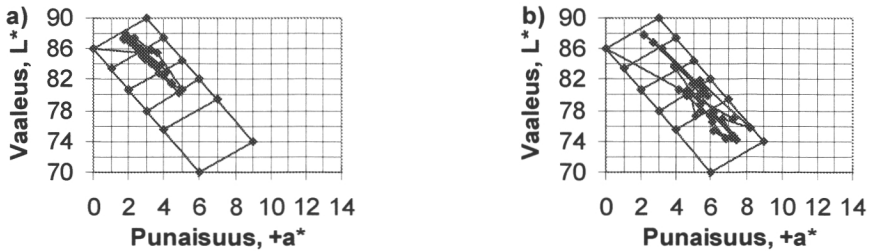
Rungon yläosan puuaines oli tuoreena sekä keltaisempaa että tummempaa kuin tyvitukin puuaines. Vaalea pintakerros oli kuivatuissa laudoissa havaittavissa selvemmin tyveltä kuin rungoston yläosasta sahatuissa laudoissa. Kun saheen sijaintia rungossa tarkasteltiin säteen suunnassa, havaittiin, että lähellä ydintä olevat saheet ovat tuoreessa puussa punaisempia kuin pintaa lähellä olevat saheet (Luostarinen ym. 2001). Sekä lämminilma- että alipainekuivauksessa ero punaisuudessa kasvoi

edelleen eli punertuminen oli voimakkaampaa lähellä ydintä sijainneissa saheissa. Kun saheita kuivattiin huoneenlämmössä, värierot pintapuun ja lähellä ydintä sijainneen saheen välillä tasoittuivat.

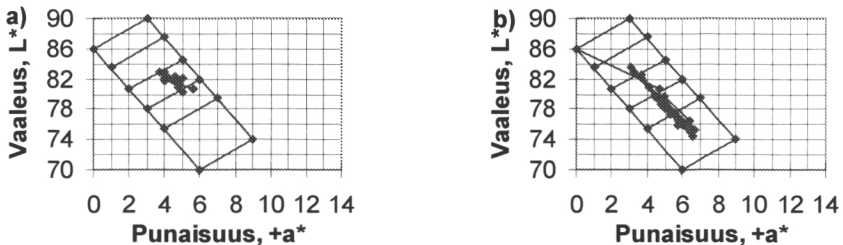
4 Kuivauslämpötilojen vaikutus saheiden väriin alipaineuivauksessa

Kuivauslämpötilalla on havaittu olevan merkittävä vaikutus erityisesti puuaineen vaaleuteen (L^*) ja punaisuuteen (a^*). Alhaisemmissa lämpötiloissa kuivattu puutavara on loppuväriältään vaaleampaa (suuri L^* -arvo) ja vähemmän punertavaa (pieni a^* -arvo) kuin nopeammin ja korkeammassa lämpötilassa kuivattaessa (kuva 3). Myös saheiden välinen värin hajonta on pienempää alhaisempia kuivauslämpötiloja käytettäessä (Lahtinen & Tolonen 2001).

Kun ilmaesikuivattuja puita kuivataan alipaineella, on ilmakeivauksen onnistuminen kuivaustuloksen tasaisuuden kannalta ratkaiseva tekijä. Jos erä on vain osittain ilmakeivunut, saheet tummuvat voimakkaammin alipaineuivauksessa ja myös saheiden välinen värvaihtelu on voimakasta (kuva 4).



Kuva 3. Puuaineen loppuväri a) varovaisesti (50–72 °C) ja b) rajummin (70–80 °C) alipaineuivatussa erässä (Lahtinen & Tolonen 2001).



Kuva 4. Koivusaheiden loppuväri nopean (80–84 °C) kuivauksen jälkeen, kun koivusahtavara on a) hyvin ja b) huonosti ilmakeivunut (Lahtinen & Tolonen 2001).

5 Johtopäätöksiä

Tutkituista taustatekijöistä kaatoajankohdalla on merkittävin vaikutus kuivauksen lopputulokseen. Koivun kesäkaadossa riski kuivauserän tummumisesta on suurempi kuin muina vuodenaikoina. Käytännössä kaatoajankohtaan ei voida kovin paljon vaikuttaa kotimaan koivulla, sillä sen markkinoille tulo riippuu kuusen ja männyn korjuuajakatauluista, koska koivu kasvaa pääosin sekapuuna. Kesällä havupuiden hakkuita tehdään vähemmän, mikä vähentää myös koivun markkinoille tuloa.

Talvella riski suuriin saheen pinta- ja sisäosien värieroihin on suurimmillaan. Tähän vaikuttanee kuivauksen alkuvaiheessa tapahtuva puuaineen sulatus ja siihen liittyvä pintaosien kuivahtamisen riski. Tämän vuoksi sulatuksen aikana kuivamossa olisi pidettävä yllä mahdollisimman korkea ilmankosteus.

Varastointi kesäaikaan voi tummentaa puuainetta hieman, mutta syksyllä ja talvella 10 viikon varastoinnilla on jopa päinvastainen vaikutus. Varastointiaikaa tärkeämpi tekijä on varastoinnin aikainen lämpötila ja muut sääolosuhteet.

Alipainekuivauksessa keskeinen parametri kuivauksen lopputuloksen kannalta on lämpötila. Kuitenkin mikäli kuivataan ilmaesikuivattuja saheita, ilma-kuivatun erän kosteuden tasaisuus ja mahdollisimman alhainen kosteus mahdollistavat onnistuneen lopputuloksen myös korkeahkoilla lämpötiloilla kuivattaessa.

Kirjallisuus

- Lahtinen, T. & Tolonen, Y. 2001. Koivusahatavaran kuivauskaavat alipainekuivauksessa. Julkaisussa: Luostarinen, K., Möttönen, V., Asikainen, A., Pakkanen, T., Saranpää, P. & Tolonen, Y. (toim.). Koivun puuaineksen kemia ja värinmuutokset kuivauksessa. Konsortion loppuraportti. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 134: 58–75.
- Luostarinen, K., Asikainen, A. & Möttönen, V. 2001. Koivusahatavaran värinmuutokset kuivauksessa. Julkaisussa: Luostarinen, K., Möttönen, V., Asikainen, A., Pakkanen, T., Saranpää, P. & Tolonen, Y. (toim.). Koivun puuaineksen kemia ja värinmuutokset kuivauksessa. Konsortion loppuraportti. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 134: 22–40.
- Piispanen, R. & Saranpää, P. 2001. Rauduskoivun varastoravinteet ja puuaineksen värinmuutos kuivauksessa. Julkaisussa: Luostarinen, K., Möttönen, V., Asikainen, A., Pakkanen, T., Saranpää, P. & Tolonen, Y. (toim.). Koivun puuaineksen kemia ja värinmuutokset kuivauksessa. Konsortion loppuraportti. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 134: 7–21.
- Verkasalo, E. & Paukkonen, K. 1999. Koivun ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet sahauksessa ja jatkojalostuksessa Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 751. Joensuun tutkimusasema. 91 s.

Raudus- ja hieskoivun kasvatus puunkäytön kannalta

Pentti Niemistö

Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema

1 Johdanto

Koivupuuta käytetään nykyisin Suomessa noin 17 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Siitä 10 % jalostetaan mekaanisesti, pääasiassa vaneriksi tai muiksi viilutuotteiksi (Sevola 2000). Koivutukkeja sahataan hieman yli 200 000 kuutiometriä vuodessa. Valtaosa, yli 70 % koivun käytöstä on kuitupuuta, josta jalostetaan selluloosaa lähinnä hienopaperien raaka-aineeksi. Kuitupuusta yli puolet, noin 7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, tuodaan ulkomailta, pääasiassa Venäjältä ja Baltiasta. Noin 3 miljoonaa kuutiometriä koivua käytetään suoraan energiantuotantoon (Salakari & Peltola 1995), mutta vain pieni osa tästä on kooltaan ja laadultaan teollisuudelle markkinakelpoista puuta.

Metsissämme on koivua yhteensä noin 300 miljoonaa kuutiometriä, josta 75 % on hieskoivua. Pääosa hieskoivun hakkuukertymästä käytetään kuitupuuna, mutta runsautensa vuoksi hieskoivun osuus on merkittävä myös koivutukeista (Verkasalo 1997).

Rauduskoivu on koivulajeistamme halutumpi, koska se tuottaa järeämpiä ja laadukkaampia tukkeja (Heiskanen 1957, Verkasalo 1997) ja kasvaa nopeammin viljavilla kivennäismailla (Koivisto 1959) kuin hieskoivu. Rauduskoivun kasvatuksessa päätavoitteena onkin tuottaa mahdollisimman paljon arvokasta tukkipuuta. Tähän tarkoitukseen sopivat maan eteläpuoliskon viljavimmat kivennäismaat mustikkatyypistä alkaen (Heiskanen 1957, Oikarinen 1983, Verkasalo 1997). Myös kivennäismaapelloilla rauduskoivu kasvaa hyvin, mutta laatu jää yleensä metsämaan koivuja heikommaksi (Niemistö ym. 1997). Maalajeista parhaita ovat hietaja hiekkamoreenit sekä lajittuneet hietamaat. Hienojakoisemmillä mailla rauduskoivu kärsii herkästi märkydestä ja karkeammat maat ovat puolestaan liian karuja ja kuivia.

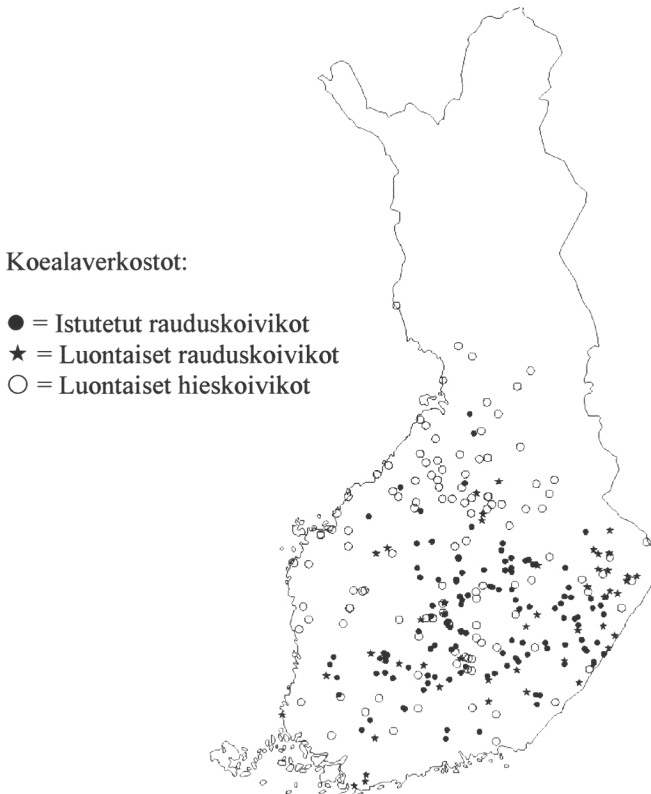
Tässä artikkelissa tarkastellaan istutettujen rauduskoivikoiden sekä luontaisesti syntyneiden raudus- ja hieskoivikoiden tuotosta aikaisempien tutkimusten ja uusien mittausaineistojen valossa. Tavoitteena on arvioida molempien koivulajien tuotoskykyä puutavaralajeittain erilaisilla kasvupaikoilla ja eri tavoin käsitellyissä metsiköissä. Tutkimustulosten pohjalta pyritään antamaan koivikoiden käsittelyyn ohjeita, jotka lisäävät eri käyttötarkoituksiin soveltuvan puun määrää tai parantavat sen laatua ja arvoa.

2 Aineisto

Tarkastelun pohjana käytetään useita tähän mennessä julkaistuja koivun tuotos- ja laatututkimuksia Suomessa (Heiskanen 1957, Koivisto 1959, Oikarinen 1983, Gustavsen & Mielikäinen 1981, Niemistö 1991, 1997, 1998, Niemistö ym. 1997, Verkasalo 1997). Niihin verrataan äskettäin kerättyä uutta aineistoa, jota käytetään mm. kasvumallien laatimiseen (Siipilehto 1998, Niemistö & Piironen 1998).

Istutettujen rauduskoivikoiden aineisto on mitattu kertakoealoilta 137 metsiköstä Etelä- ja Keski-Suomessa (kuva 1). Pystypuusto mitattiin 300 m²:n koealalta ja kasvu viidestä kaatokoepuusta kussakin metsikössä (Niemistö & Piironen 1998). Koivun viljely yleistyi Suomessa vasta 1960-luvun puolivälissä, joten aineiston heikkoutena on varttuneiden koivikoiden pieni määrä. Peltomailla aineisto ”loppui” 30 vuoden ikäisiin koivikoihin ja metsämailta 40–65 -vuotiaita istutuskoivikoita löytyi vain kuusi kappaletta. Muilta osin aineisto on varsin edustava. Jatkossa tästä aineistosta käytetään nimitystä ”istutuskoivikot”.

Luontaisesti syntyneiden koivikoiden aineisto on kerätty pysyviltä metsikkökoealoilta (Vuokila 1986) 48 rauduskoivikosta ja 116 hieskoivikosta (kuva 12). Suurin osa näistä kestokoealoista on mitattu kahdesti, joten käytettävissä on yhden 5-vuotiskauden kehitys. Yli 20 metsiköstä on mitattu myös toisen 5-vuotiskauden



Kuva 1. Raudus- ja hieskoivun metsikkökoealojen sijainti.

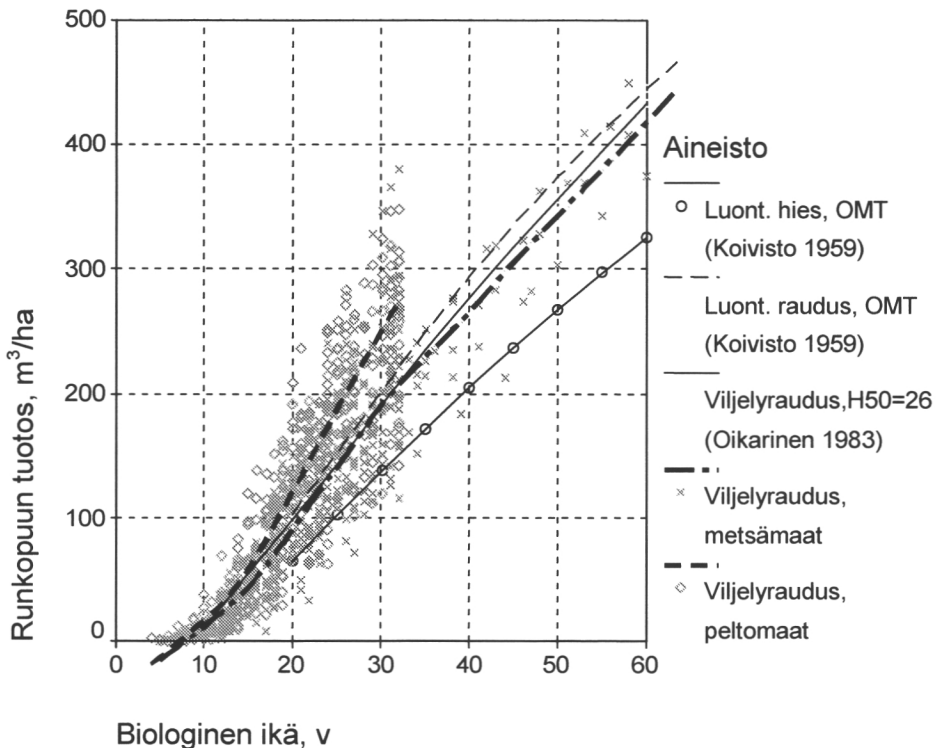
kehitys. Näistä aineistoista käytetään jatkossa nimityksiä: ”luontaiset hieskoivikot” ja ”luontaiset rauduskoivikot”.

Kasvatustiheyden ja harvennusten vaikutuksista on aikaisemmin julkaistu tuloksia mm. rauduskoivun pysyviltä istutusvälikoikeilta (Niemi 1995a, 1995b, 1998) ja harvennuskokeilta (Niemi 1997) sekä hieskoivun harvennuskokeilta (Niemi 1991). Näiltä pitkäaikaisilta käsittelykokeilta on nyt käytettävissä mitaustietoa entistä pidemmältä seurantajaksolta.

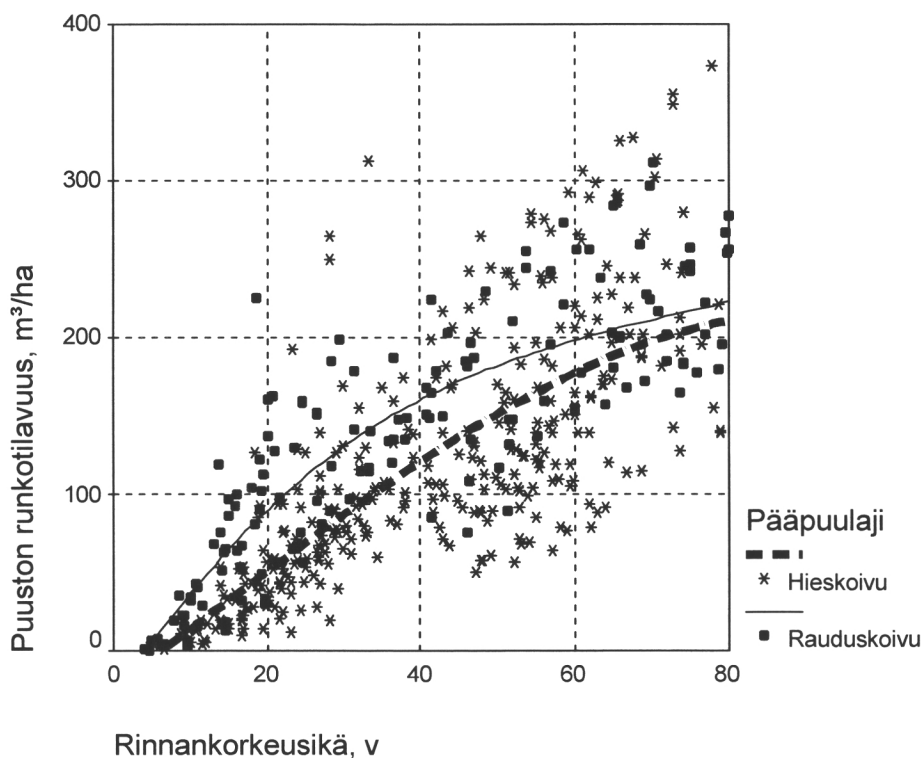
3 Tulokset

3.1 Raudus- ja hieskoivikon tuotos eri kasvupaikoilla

Pelloille istutetuissa koivikoissa runkopuun kokonaistuotos on selvästi korkeampi kuin metsämailla (kuva 2). Peltokoivikot ovat tuottaneet puuta 32 vuoden ikään mennessä keskimäärin 280 m³/ha (vaihteluväli 150–350). Metsämaiden istutuskoivikoissa vaihtelu on vielä suurempaa, mutta keskimäärin tuotos jää noin 30 % alemmaksi. Suuri ero johtuu osittain siitä, että metsämaalla varttuneiden koivikoiden aineisto painottuu mustikkatyypille (MT). Tämä näkyy myös siitä, että luontaisten rauduskoivikoiden tuotos käenkaali-mustikkatyypillä (OMT) on Koiviston



Kuva 2. Pello- ja metsämaiden viljelykoivikoiden kokonaistuotoksen vertailu Koiviston (1959) ja Oikarisen (1983) julkaisemiin koivikoiden tuotostaulukoihin.



Kuva 3. Luontaisten rauduskoivikoiden ja hieskoivikoiden puustotilavuus ja sen iänmukainen vaihtelu INKA-koealoilla.

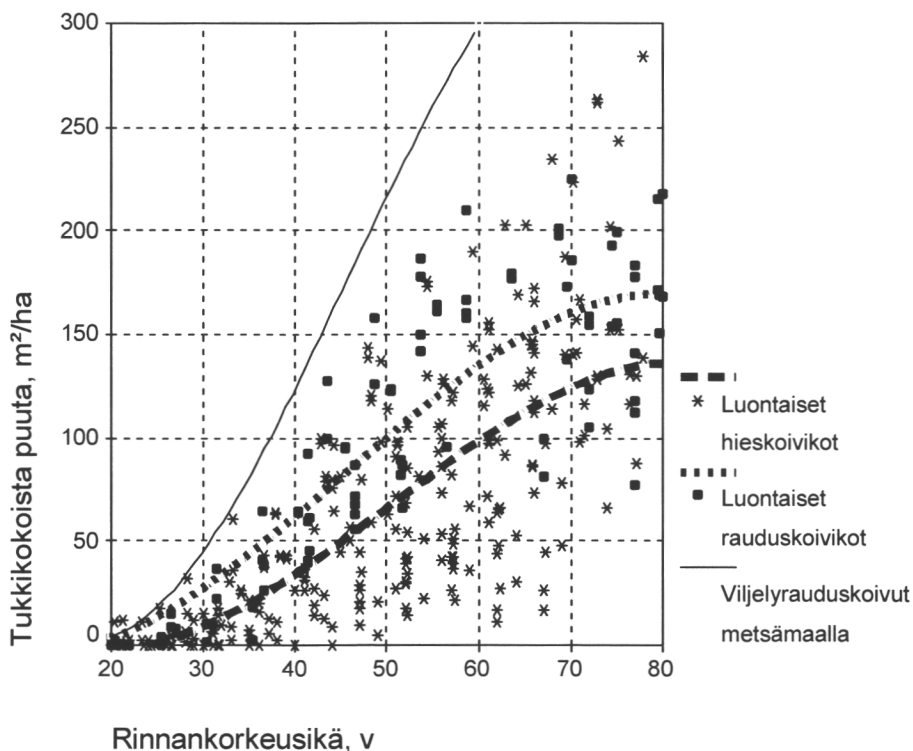
(1959) mukaan korkeampi kuin metsämaan istutuskoivikoissa keskimäärin. OMT:lle luontaisesti syntyneiden hieskoivikoiden tuotos jää puolestaan noin kolmanneksen jälkeen vastaavista rauduskoivikoista.

Kuvassa 3 on verrattu nykypuuston määriä luontaisissa hies- ja rauduskoivikoissa. Keski-ikäisissä 30–40 -vuotiaissa metsiköissä ero rauduskoivun hyväksi on suurimmillaan, noin 40 m³/ha, mutta pienenee vanhemmissa metsiköissä. Etenkin hieskoivikoissa puuston tilavuuden hajonta on suurta.

Tukkikokoisen puun määrässä istutuskoivikot näyttävät ylivoimaisilta luontaisiin verrattuna (kuva 4). Rinnankorkeusikänsä 50-vuotiaat istutetut rauduskoivikot ovat tuottaneet metsämaalla yli 200 m³/ha tukkikokoista puuta. Vastaava tukkipuumäärä on luontaisessa rauduskoivikossa 100 m³/ha ja hieskoivikossa 70 m³/ha. Laadusta johtuen todelliset tukkimäärät jäävät pienemmiksi, mutta puulajista tai syntytavasta johtuvat erot eivät tästä syystä ainakaan pienene (Niemi ym. 1997). Hieskoivikoissa laadusta johtuva tukkivähennys on suhteellisesti suurempi kuin rauduskoivikossa (Verkasalo 1997).

3.2 Taimikon tiheyden vaikutus rauduskoivikon kehitykseen

Istutusvälikokeiden tulosten mukaan viljelytiheyden vaihtelu vaikutti voimakkaasti rauduskoivun laatuun (Niemi ym. 1995a, 1995b, 1998). Tulevan tyvitukin paksuuden



Kuva 4. Tukkikokoisen puun määrä luontaisesti syntyneissä INKA-koivikoissa OMT:llä ja metsämaan istutuskoivikoissa puuston rinnankorkeusiän funktiona.

oksa pieneni noin 10 mm puuston tiheyden lisääntyessä tasolta 800 kpl/ha tasolle 5000 kpl/ha. Vastaavasti tyvitukin mitalle syntyneiden oksien määrää ja kokoa kuvaava oksien poikkileikkaussumma aleni noin kolmannekseen. Myös rungon keskimääräinen kapeneminen ($d_{1,3}-d_{6,0}$) väheni tiheyden lisääntyessä 60 mm:stä tasolle 35 mm. Koivujen oksikkuus väheni selvästi viljelytiheyden lisääntyessä 2500 taimeen hehtaarilla eikä tämän tiheyden ylittäminen juurikaan parantanut runkojen laatua.

Nyrkkisäännön mukaan koivujen kasvukyky säilyy hyvänä, mikäli elävän latvuksen osuus on yli puolet puun pituudesta. Pysyviltä kokeilta saadut tulokset vahvistavat tätä käsitystä (Niemistö 1991, 1997). Noin 2000 koivun hehtaartiheydessä kasvava rauduskoivikko pitää harventaa latvuksen turvaamiseksi viimeistään 14 metrin valtapituudessa (Niemistö 1998). Ensiharvennus on tulossa vasta tässä vaiheessa taloudellisesti kannattavaksi ja aikaa sen toteutukseen jää vähän, vain 2–3 vuotta. Mainittua tiheimmässä koivikossa on tehtävä joko taimikonharvennus tai aikainen ensiharvennus, josta kummastakin koituu kustannuksia metsänomistajalle. Tiheydessä 1600 kpl/ha ensiharvennus voidaan siirtää 15–16 metrin valtapituuden saavuttamiseen saakka. Taloudellisesti kannattavan harvennuksen toteutukseen on tällöin aikaa useita vuosia, mikä tuo joustavuutta sekä metsänhoitoon että puukauppaan.

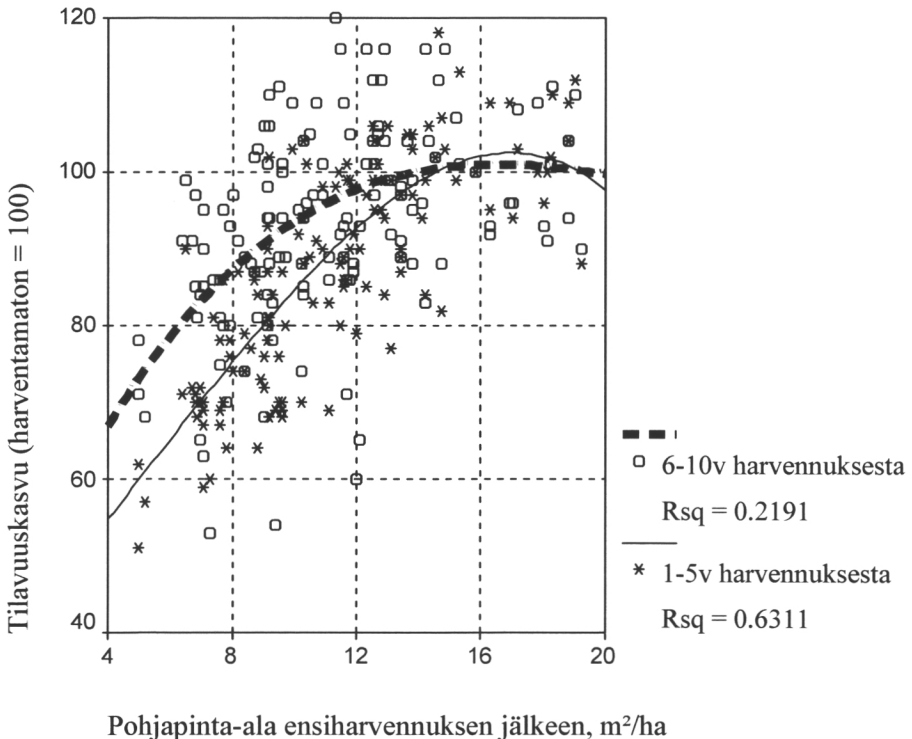
Istustustiheyden lisääminen tasolta 1600 kpl/ha tasolle 2500 kpl/ha lisää kuitupuun tuotosta rauduskoivikossa noin 20 kuutiometrillä, mutta lisäyksen hyö-

dyntäminen voi tulla kalliiksi. Taimikon kasvattaminen tavallista harvempana aiheuttaa laatu- ja kasvatappioita, joita puuston nopeampi järeytyminen ei korvaa. Tiheyden 1100 kpl/ha alittaminen rauduskoivutaimikossa ei jouduttanut valtaläpimitan kasvua (Niemistö 1997).

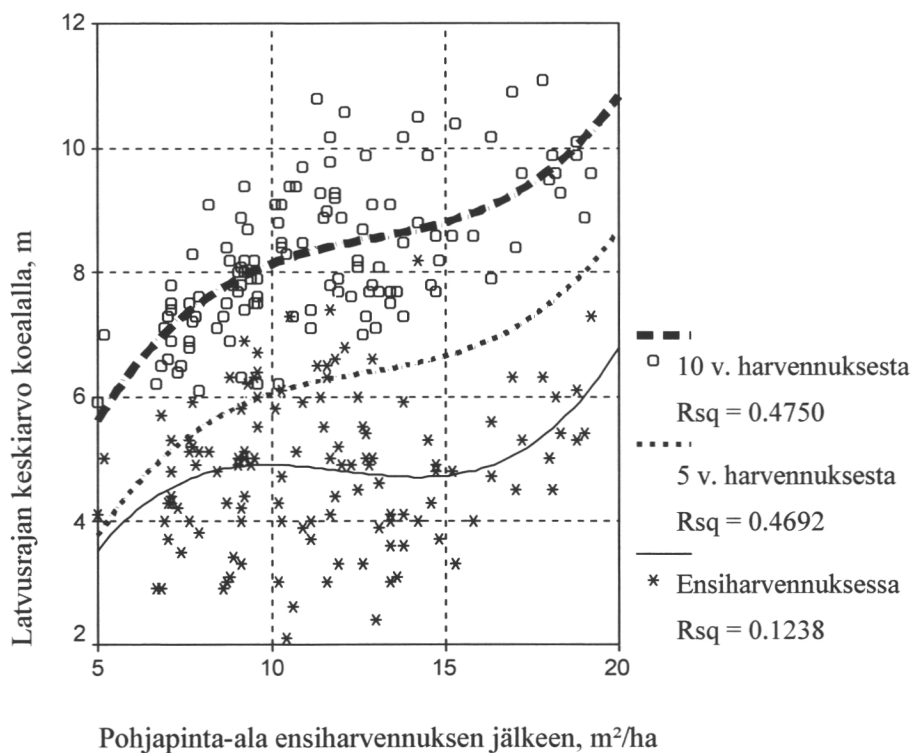
3.3 Harvennusreaktio rauduskoivikossa

Rauduskoivu reagoi nopeasti ja voimakkaasti harvennukseen (Cameron ym. 1995, Niemistö 1997). Puustopääoman vähentäminen puoleen aiheutti ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla keskimäärin 30 %:n kasvatappion harventamattomaan verrattuna (kuva 5). Toisella 5-vuotisjaksolla ero oli enää 12 %. Tuloksen perusteella voidaan olettaa, ettei vahvankaan harvennuksen aiheuttama kasvatappio ulotu sen pitemmälle ajalle kuin 10 vuotta.

Vanerikoivun kasvatuksessa kokonaistuotosta tärkeämpää on runkojen järeys ja laatu. Varsin merkittävä tulos oli se, että suurimmatkin rauduskoivut parantavat kasvuaan harvennuksen jälkeen, kun taas männiköissä ja kuusikoissa alaharvennuksesta hyötyvät lähinnä lisävaltapuut ja niitä pienemmät puut (Mielikäinen 1978, Mielikäinen & Valkonen 1991, Niemistö 1994). Rauduskoivikon valtaläpimitan (100 paksuinta puuta / ha) kasvu lisääntyi voimakkaan harvennuksen jälkeen noin 30 % harventamattomaan verrattuna.



Kuva 5. Harvennusvoimakkuuden vaikutus rauduskoivikon suhteelliseen tilavuuskasvuun kahdella 5-vuotiskaudella ensiharvennuksen jälkeen.



Kuva 6. Harvennusvoimakkuuden vaikutus elävän latvuksen alarajan korkeuteen rauduskoivikon ensiharvennuksen jälkeen.

Laadun kannalta on oleellista, että tyvitukin osuuden oksat jäävät ohuiksi ja kuolevat ensiharvennuksen mennessä. Useimmiten tähän päästään normaalilla taimitiheydellä 1600 kpl/ha (Niemistö 1995a, 1995b). Poikkeuksellisen viljavilla mailla taimikkovaiheen tiheyden tulisi olla jonkin verran suurempi, ei kuitenkaan yli 2500 kpl/ha. Voimakas harventaminen puolestaan edistää kuivien oksien karsiutumista (Niemistö 1997, Mäkinen 2001). Kuivia oksia katkeilee jo harvennuksen yhteydessä ja sen jälkeen tuuli, lumi ja valon lisääntyminen edistävät oksien karsiutumista (Heikinheimo 1953, Jokinen & Kellomäki 1982). Luultavasti myös harvennuksen jälkeen kiihtynyt paksuuskasvu nopeuttaa kuivien oksien irtoamista (Fujimori 1975, Niemistö ym. 1997).

Rauduskoivun alaoksien kuoleminen hidastuu lievän ja pysähtyy voimakkaan harvennuksen jälkeen (Niemistö 1997). Ilmiö on kuitenkin ohimenevä, koska jo toisella 5-vuotisjaksolla harvennuksen jälkeen alaoksien kuoleminen tapahtuu yhtä nopeasti harvennusvoimakkuudesta riippumatta (kuva 6).

3.4 Harvennusreaktio hieskoivikossa

Turvemaiden hieskoivikoissa harvennusreaktiot ovat olleet selvästi vaatimattomampia kuin rauduskoivikoissa kivennäismailla (Niemistö 1991). Etenkin nuorissa hieskoivikoissa on syytä välttää voimakkaita käsittelyjä, koska aiheutettu kasvu-

tappio ei korvaudu jäävän puuston järeytymisellä ja arvon nousulla samalla tavoin kuin rauduskoivikoissa.

Kivennäismaan hieskoivikoissa on vähän harvennuskokeita tai muitakaan luotettavia havaintoja harvennuksen vaikutuksista. Todennäköisesti harvennusreaktio on voimakkaampi kuin turvemaiden hieskoivikoissa mutta vähäisempi kuin viljavien maiden rauduskoivikoissa.

4 Johtopäätökset

Puhtaan rauduskoivutaimikon tiheydeksi suositellaan 1600 puuta hehtaarilla. Viljelykustannus on silloin kohtuullinen, taimikonharvennusta ei tarvita ja puuston ensiharvennus voidaan tehdä kannattavasti noin 14 metrin valtapituudessa. Jos taimikko on luontaisesti tiheämpi, lykätään taimikonharvennus hirvituhoriskin ohi 6–7 metrin pituuteen. Erityisen rehevillä kasvupaikoilla on syytä istuttaa 2000–2500 koivua hehtaarille, mikäli tiheyttä lisäämään ei ole odotettavissa luontaista puustoa. Tällä tavoin vähennetään koivujen oksikkuutta ja varaudutaan voimakkaan kasvillisuuden kilpailusta johtuviin tuhoihin. Istuttaen ei kuitenkaan kannata tavoitella yli 2500 taimen hehtaartihyeyttä, koska tätä tiheämmässä koivikossa oksikkuus ei enää sanottavasti vähene, mutta elävä latvus supistuu nopeasti. Korkeiden uudistamiskulujen lisäksi ylitihään koivutaimikon harventaminen aiheuttaa lisäkustannuksia.

Pystykarsintaa käytetään myös koivun laadun parantamiseen. Tähänastiset suosituksot ovat koskeneet vain kuivien oksien karsimista ja varoittaneet koivun lahovioista elävien oksien karsinnan seurauksena (Heiskanen 1958, Vuokila 1976). Toisenlaisiakin kokemuksia on saatu karsimalla eläviä oksia leikkaamalla jo taimivaiheessa ennen kuin oksat ehtivät kasvaa liian paksuiksi. Toimenpidettä pidetään turvallisena alle 2 cm paksuisille oksille keskellä kasvukautta, noin kuukauden kuluessa juhannuksesta eteenpäin (Verkasalo & Rintala 1998).

Voimakas ensiharvennus tiheyteen 700–800 kpl/ha tuo rauduskoivikon kasvatukseen useita etuja. Harvennusreaktio on voimakas, joten kasvatettavat hyvälaatuiset koivut järeytyvät nopeasti. Tyvitukin pituudelta kuolleet oksat karsiutuvat harvennuksen jälkeen melko nopeasti ja hyvää laatua voidaan vielä tässä vaiheessa edistää kuivien oksien karsimisella. Latvusten elinvoiman turvaaminen on tärkeää tukkipuun kasvatuksessa. Voimakkaalla harvennuksella tavoitellaan oksattomien tyvitukkien ohella terveoksaisia latvatukkeja. Terveoksaisen tukin kasvattaminen tyvitukin yläpuolella näyttää kuitenkin vaativan usein toistuvia ja voimakkaita harvennuksia. Lisäksi oksia kuolee myös elävän latvuksen sisältä (Mäkinen ym. 2001).

Voimakas ensiharvennus lisää myös välittömiä harvennustuloja ja johtaa siihen, että toisessa harvennuksessa voidaan jo hakata jonkin verran tukkipuuta. Arvokas päätehakkupuusto, lyhenevä kiertoaika ja harvennusten välitön kannattavuus parantavat koko kiertoajan taloudellista tulosta, vaikka runkopuun kokonaistuotos voimakkaissa harvennuksissa vähän aleneekin. Tavoitteena on edetä kahden harvennuksen kautta 350–400 tukkipuun hehtaartihyeyteen. Uudistuskypsyys saa-

vutetaan hoidetussa koivikossa jo 40–50 vuoden kuluttua istutuksesta, luontaisessa koivikossa selvästi myöhemmin.

Puunkäytöstä lähinnä kuitu- ja polttopuuksi sekä tukkipuun heikosta laadusta johtuen hieskoivun kasvatuksessa korostuvat määrälliset tavoitteet. Hyvä laatu ja nuorten koivujen järeytyminen tukkipuiksi voitaisiin asettaa tavoitteeksi lähinnä mustikkatyypillä ja sitä viljavammilla kangasmailla, mutta juuri näillä kasvupaikoilla rauduskoivu on kasvultaan ja laadultaan hieskoivuun nähden ylivoimainen. Hieskoivu tulee kysymykseen viljavilla kivennäismailla silloin, kun muita puulajeja ei ole riittävästi tarjolla tai kasvupaikka kärsii märkydestä.

Hieskoivu voi kypsyä tukkipuuksi myös maan eteläpuoliskon viljavilla turvemailla. Näiden kasvupaikkojen nuorista puustoista on kuitenkin vaikea ennakoita riittääkö koivun laatu ja kasvukyky aikanaan tukkipuiden tuottamiseen. Turvemaiden koivikoiden harvennuskokeiden mukaan voimakkaat harvennukset eivät lisää tukkipuun tuotosta samalla tavalla kuin kivennäismaan rauduskoivikoissa (kuva 16, Niemistö 1991, 1997). Lisäksi voimakkaat harvennukset vähentävät haihduntaa ja voivat aiheuttaa ongelmia vesitaloudessa (Päivänen & Sarkkola 2000). Hieskoivikon kasvatusta tiheänä puoltaa myös se, että puiden arvon kohominen ei korvaa voimakkaan harvennuksen aiheuttamaa kasvutappiota.

Hieskoivu kasvaa raudusta paremmin märillä ja tiiviillä kivennäismailla. Turvemailla rauduskoivu ei menesty yleensä lainkaan. Hieskoivun puuaine sinänsä on rauduskoivun veroista. Syynä mekaanisen jalostuksen vähäisyyteen on hieskoivurunkojen pieni koko sekä mutkaisuudesta ja väri vioista aiheutuva huono laatu. Viljavilla kivennäismailla hieskoivikko tuottaa noin 30 % vähemmän puuta kuin rauduskoivikko ja tukkipuun tuotoksessa ero on vielä suurempi (Koivisto 1959). Virheettömiä tyvitukkeja hieskoivikoissa on noin puolet vastaavasta rauduskoivikosta. Parhaimmilla turvemailla hieskoivikon tukkituotos jää puolestaan heikon laadun vuoksi noin puoleen tuoreiden kankaiden hieskoivikoista (Verkasalo 1997).

Useimmiten hieskoivikossa on tavoitteena kuitupuun kasvatusta. Suositeltava taimikon tiheys on tällöin yli 2000 kpl/ha, turvemailla noin 2500 kpl/ha. Jos pieni-kokoiselle energiapuulle on käyttöä, niin hieskoivutiheikön harvennusta voidaan viivyttää 10–11 metrin pituuteen. Ainoa kaupallinen, kuitupuuta tuottava harvennus tiheyteen 900–1000 kpl/ha tehdään 13–15 metrin valtapituudessa. Kuitupuukoivikon uudistaminen on syytä tehdä ajoissa, koska sen arvokasvu laskee alle 3 prosenttiin 50–55 vuoden iässä. Mikäli hieskoivikossa on tässä vaiheessa riittävästi hyvälaatuisia ja elinvoimaisia puita, kannattaa tehdä vielä toinen harvennus ja kasvattaa tukkipuita 15–20 vuotta eteenpäin. Muussa tapauksessa kuitupuukoivikossa tehdään päätehakkuu.

Koivun laatua ja kasvatuksen kannattavuutta pidetään parhaana kuusi-rauduskoivu sekametsässä, jossa koivun osuutta vähennetään kiertoajan loppua kohti (Mielikäinen 1985). Kuusen istutusaloilla siemensyntyiset rauduskoivut ja kookkaat istutuskuuset voivat kehittyä riittävän tasaväkisesti sekametsäksi, mutta muuten kuusi jää useimmiten jälkeen ja metsiköstä tulee kaksijaksoinen. Mielikäisen ja Valkosen (1995) mukaan tukkikoivujen kasvatusta kuusikon yläpuolella voi olla jopa edullisin vaihtoehto, kunhan puunkorjuu tehdään huolella.

Kirjallisuus

- Cameron, A. D., Dunham, R. A. & Petty, J. A. 1995. The effects of heavy thinning on stem quality and timber properties of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Forestry* 68: 275–285.
- Fujimori, T. 1975. Study on the technical system of pruning. Governmental Forest Experimental Station, Tokyo, Japan, Bull. No. 273. (Japanin kielellä, varustettuna englanninkielisellä yhteenvedolla.)
- Gustavsén, H. G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. *Folia Forestalia* 597. 20 s.
- Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumuksesta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 41(5): 1–39.
- Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 48(6): 1–99.
- Heiskanen, V. 1958. Tutkimuksia koivun karsimisesta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 49(3): 1–68.
- Jokinen, P. & Kellomäki, S. 1982. Havaintoja metsikön kasvatustiheyden vaikutuksesta runkojen oksaisuuteen varttuneissa männyntaimikoissa. *Folia Forestalia* 508. 12 s.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuotostaulukoita. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 51(8): 1–49.
- Mielikäinen, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. *Folia Forestalia* 363. 15 s.
- Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 133. 79 s.
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1991. Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotokseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 776. 22 s.
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1995. Kaksijaksoisen kuusi-koivu-sekametsikön kasvu. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1995(2): 81–97.
- Mäkinen, H. 2001. Effect of stand density on the branch development of silver birch (*Betula pendula* Roth.) in central Finland. *Trees* (painossa).
- Mäkinen, H., Ojansuu, R. & Niemistö, P. 2001. Predicting branch characteristics of planted silver birch (*Betula pendula* Roth.) from common stand and tree measurements. *Käsikirjoitus*.

- Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemilla. *Folia Forestalia* 782. 36 s.
- Niemistö, P. 1994. Männikön ensiharvennus ala-, ylä- tai laatuharvennusta käyttäen. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1994(1): 19–32.
- Niemistö, P. 1995a. Influence of initial spacing and row-to-row distance on the crown and branch properties and taper of Silver birch (*Betula pendula*). *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 235–244.
- Niemistö, P. 1995b. Influence of initial spacing and row-to-row distance on the growth and yield of Silver birch (*Betula pendula*). *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 245–255.
- Niemistö, P. 1997. Ensiharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus istutetun rauduskoivikon kasvuun ja tuotokseen. *Metsätieteen aikakauskirja Folia Forestalia* 4/1997: 439–454.
- Niemistö, P. 1998. Istutustiheyden ja rivivälin vaikutus rauduskoivun kasvuun ja ulkoiseen laatuun. Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.). Rauduskoivu tänään ja tulevaisuudessa. Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 668: 17–36.
- Niemistö, P., Hukki, P. & Verkasalo, E. 1997. Kasvupaikan ja puuston tiheyden vaikutus rauduskoivun ulkoiseen laatuun 30-vuotiaissa istutuskoivikoissa. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1997(3): 349–374.
- Niemistö, P. & Piironen, M-L. 1998. Viljelykoivikoiden kasvu- ja tuotoserot pelto- ja metsämailla. Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.). Rauduskoivu tänään ja tulevaisuudessa. Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 668: 61–68.
- Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 113. 75 s.
- Päivänen, J. & Sarkkola, S. 2000. The effect of thinning and ditch network maintenance on the water table level in Scots pine stand on peat soil. *SUO*, vol. 51 no. 3: 131–138.
- Salakari, M. & Peltola, A. 1995. Pientalojen polttopuun käyttö lämmityskaudella 1992/93. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 566. 36 s.
- Sevola, Y. (toim.) 2000. *Metsätilastollinen vuosikirja 2000*. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2000: 14. 366 s.

- Siipilehto, J. 1998. Koivun kasvumallit ja niiden mukaiset tuotosennusteet. Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.). Rauduskoivu tänään ja tulevaisuudessa. Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 668: 85–101.
- Verkasalo, E. 1997. Hieskoivun laatu vaneripuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 632. 483 s.
- Verkasalo, E. & Rintala, P. 1998. Rauduskoivun pystykarsintavikojen riippuvuus oksien paksuudesta, laadusta ja karsinnan vuodenajasta. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1998(2): 151–178.
- Vuokila, Y. 1976. Karsimisen vaikutus männyn ja koivun terveydentilaan. Folia Forestalia 281. 13 s.
- Vuokila, Y. 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.

Havupienpuun käytön haasteet ja harvennuskannan sahaus

Tapio Wall

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

1 Johdanto

Pieniläpimittaisen havupienpuun käyttöön sahauslaitteiden raaka-aineena liittyy monia raaka-ainelähtöisiä etuja normaaliin järeän tukin hyödyntämiseen verrattuna, mutta myös ongelmia. Vaikka maassamme on runsaasti tekemättömiä harvennushakkuita, niin harvennuspuiden taloudellisesti mielekästä mekaanista jalostusta vaikeuttaa sahauskelpoisen hehtaarikohtaisen puutavarakertymän pienuus, vajavainen tuntemus puuaineen ominaisuuksista sitä jalostettaessa, pölkkyjen ja sahatavarakappaleiden pieni koko, tarvittavat lisäinvestoinnit sahauskseen ja kuivaukseen sekä puutteellinen tuntemus vallitsevista ja odotettavissa olevista pienpuutuotteiden markkinoista.

2 Sahauskelpoiset havupienpuuvarat Itä-Suomessa

Metsien hakkuupinta-ala oli koko Suomessa vuonna 2000 lähes ennätysmäinen 610 000 hehtaaria, josta 54 prosentilla tehtiin ensiharvennuksia ja muita harvennuksia. Harvennushakkuiden osuus hakkuupinta-alasta on vaihdellut kymmenvuotiskaudella 1991–2000 39–56 %:n välillä. (Peltola 2001)

Metlan Joensuun tutkimuskeskuksessa tehtyjen harvennuskannan inventointitutkimusten perusteella sahauskelpoisen pieniläpimittaisen harvennuskannan puunhankinta kannattaa kohdistaa vain hyvää metsänhoidollista tasoa oleviin harvennuskohteisiin. Hyvällä metsänhoidollisella tasolla tarkoitetaan, että kasvatettava puulaji on kasvupaikalle sopiva ja metsikön käsittely on ollut hyvän metsänhoidon vaatimusten mukaista sisältäen mm. ajallaan tehdyn taimikonhoitotyön ja varttuneemmissa kasvatusmetsissä ensiharvennuksen (Peltola 2001). Metsiköiden hyvällä metsänhoidollisella laadulla voidaan varmistaa myös poistettavien puiden riittävä tekninen laatu ja taloudellista puunhankintaa ajatellen riittävä sahattavan puutavaran hakkuukertymä myös pieniläpimittaiselle puutavarakertymälle.

Normaalia sahatukkaa pieniläpimittaisemmän (latvaläpimitta 10–15 cm) ja tukkipituuksiltaan lyhyemmän (pituus alle 37 dm) sahauskelpoisen havupuun alueellisista määristä ei ole julkaistua tietoa. Metsätilastollisesta vuosikirjasta (Peltola 2001) voidaan laskea karkea arvio itäisen Suomen sahauskelpoisesta havupienpuun määrästä (taulukko 1). Tässä laskelmassa Itä-Suomeen luetaan kuuluvaksi Kaakkois-Suomen, Kainuun, Pohjois-Karjalan sekä Etelä- ja Pohjois-Savon metsäkeskusten alueet. Valtakunnan metsien inventointitietojen perusteella itäisessä Suo-

Taulukko 1. Laskelma itäisen Suomen sahauskelpoisesta havupienpuun vuosittaisesta määrästä.

Metsälautakunta	Metsänhoidollisesti hyviä metsiä, 1000 ha		Havupuuvaltainen harvennuspinta-ala, 1000 ha		Sahauskelpoinen hakkuukertymä, 1000 m ³	Sahatavaraa, 1000 m ³
	Nuoria	Varttuneita	Nuoria	Varttuneita		
Kaakkois-Suomi	133	107	5	5	127	42
Etelä-Savo	178	169	7	7	171	57
Pohjois-Savo	211	148	5	5	125	42
Pohjois-Karjala	216	136	6	4	120	40
Kainuu	228	71	3	2	62	21
Yhteensä	965	631	26	23	605	202

messa on metsänhoidollisesti hyvää tasoa olevia metsiä 43 % metsämaan alasta. Vuosittainen harvennuspinta-ala on vaihdellut suuresti, mutta esimerkkilaskelmassa on käytetty v. 2000 edellä mainittujen metsälautakuntien alueella tehtyjä ensiharvennusten ja myöhempien harvennushakkuiden pinta-alaa (123 000 hehtaaria). Vuoden 2000 harvennuspinta-ala on pitkän ajan keskimääräistä pinta-alaa suurempi. Jos oletetaan, että myös harvennetuista kohteista 43 % on metsänhoidollisesti hyvää tasoa ja alueen metsämaan pinta-alasta on mänty- tai kuusivaltaisia 87 %, niin havupuuvaltainen ja hyvää metsänhoidollista tasoa oleva vuotuinen harvennuspinta-ala olisi tällöin n. 49 000 hehtaaria. Tältä pinta-alalta voidaan olettaa saatavan harvennushakkuissa myös sahauskelpoista havupienpuuta.

Pinta-alatietojen perusteella voidaan laskea arvioiduilla sahapuun kertymillä alueen sahauskelpoisen pyöreän havupienpuun vuosittainen hakkuupotentiaali ja siitä edelleen saatavan sahatavaran määrä. Tässä laskelmassa on sahauskelpoisena kertymänä käytetty ensiharvennuksissa 10 m³/ha ja myöhemmissä harvennuksissa 15 m³/ha, jolloin vuosittain mahdollisesti hakattava sahauskelpoisen havupienpuun kertymä harvennushakkuilta olisi 605 000 m³/a. Sahatavaran saanto-oletuksella 33 % (tukkien käyttösuhte 3,0) tästä määrästä on mahdollista saada 202 000 m³ valmista sahatavaraa.

Laskelmassa on runsaasti epävarmuustekijöitä, mm. vuotuisen harvennuspinta-alan vaihtelevuus, hehtaarikohtainen hakkuukertymä ja puumarkkinatilanne. Täten laskelmaa voidaan pitää korkeintaan suuntaa-antavana, mutta osoituksena suuresta sahauskelpoisesta havupienpuun raaka-aineresurssista pelkästään itäisessä Suomessa.

3 Harvennuspuun käytön haasteita

3.1 Raaka-aineen hankinta

Harvennuspuun hyödyntäminen puutuoteteollisuuden tarpeisiin tarjoaa haasteita puuraaka-aineen hankinnasta lähtien. Pienen hakkuukertymän ohella puutavaran korjuukustannuksia harvennuksilla kasvattavat mm. jäävän puuston huomioon ottaminen puutavaran korjuussa ja pölkkyjen normaalia pienempi koko ja suurempi

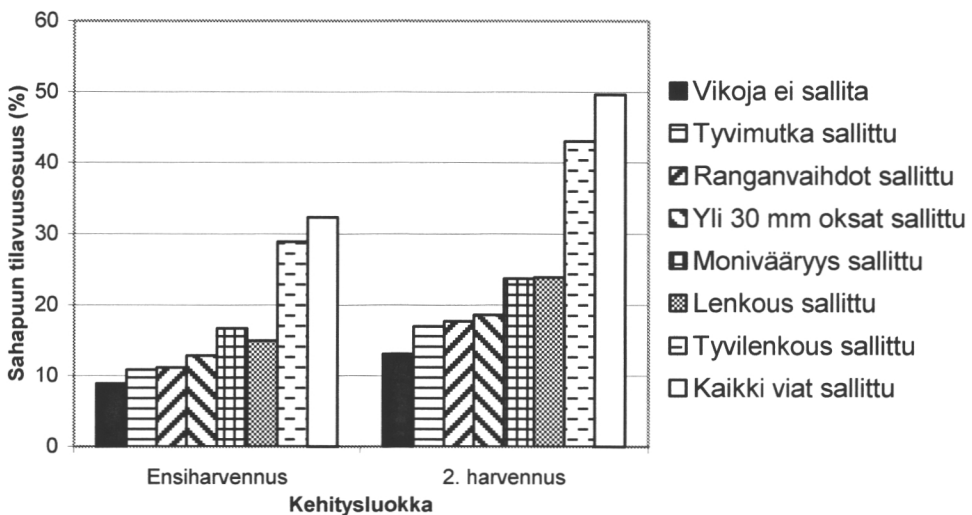
lukumäärä sekä uudet ”ylimääräiset” pieniläpimittaiset ja lyhyet puutavaralajit. Näitä voidaan kutsua nimikkeillä sahakuitu, pikkutukki, kuitutukki tai lyhyttukki. Toisaalta järeitä puutavaralajeja (esim. sorvi- ja laatutyvet) ei harvennushakkuilta juurikaan kerry.

Pienpuun sahauskelpoista hakkuukertymää voidaan lisätä sallimalla vikoja pölkkyissä käytetystä sahaustekniikasta riippuen. Kuvassa 18 on tarkasteltu yksittäisten runkovikojen merkitystä männyllä sahapuun (sis. myös järeän tukin) runko-kohtaisiin tilavuusosuuksiin, kun runkoja apteerattaessa on sallittu sahapuussa vain yhtä vikaa kerrallaan. Sahauskelpoisina puutavaralajeina apteerauksessa ovat mäntytukki, mäntypikkutukki ja mäntylyhyttukki, jonka minimiläpimittana on 10 cm.

Runkovikojen merkitys sahapuun kertymiin vaihtelee kasvupaikan, kehitysluokan ja metsätyypin mukaan vain hieman. Vaikutus on tarkastelutavasta riippuen samansuuntainen kaikissa tapauksissa lukuun ottamatta turvemaita, joissa vikojen, etenkin monivääryyden salliminen kohottaa kertymiä suhteellisesti eniten.

Pahin sahauskelpoista hehtaariohtaista kertymää alentava runkovika on tyvilenkous, jota sallimalla sahapuun kertymä voidaan kohottaa ensiharvennusmänniköissä 2,4-kertaiseksi ja myöhemmissä harvennuksissa 2,8-kertaiseksi vikoja sallimattomaan kertymään verrattuna. Muina sahauskelpoista kertymää merkittävästi alentavina runkovikoina ovat lenkous rungon muissa osissa ja monivääryys.

Apteeraussimulointien perusteella pieniläpimittaisia puutavaralajeja kannattaa korjata vain käyttämällä muutamaa tukkipituutta. Esimerkiksi käyttämällä runkojen apteerauksessa pikkutukkia pituudeltaan 31 dm ja läpimitaltaan 12–15 cm, saavutetaan 87 % pikkutukkikertymästä, jossa on käytössä kaikki pikkutukkipituudet välillä 31–46 dm. Käyttämällä pikkutukkipituuksia 31 ja 34 dm, saavutetaan jo 92 % pikkutukin mahdollisesta kokonaiskertymästä. Mitä pidempiä pikku-



Kuva 1. Runkovikojen vaikutus sahauskelpoisen rungon tilavuusosuuteen rungon käyttöosasta harvennusmänniköissä kehitysluokittain. Sahapuun minimiläpimittana on 10 cm.

tukkipituuksia käytetään, sen vähemmän ne lisäävät puutavaralajin kokonaiskertymää, sillä pikkutukkipituuden 31 dm kertymää lisäävä vaikutus on 49 %-yksikköä suurempi kuin tukkipituuden 46 dm. Simuloinnin tulokset ovat saman suuntaiset kun käytetään lyhyttukkia, jonka pituus on 25–34 dm ja latvaläpimitta 10–12 cm.

Metlan harvennuskäytöksissä tehdyn korjuututkimuksen mukaan harvennushakkuissa suorat korjuukustannukset (hakkuu ja lähikuljetus) nousevat noin 10 mk/m³, kun normaalien puutavaralajien lisäksi korjataan ns. lyhyttukkia (pituus 26 ja 31 dm, latvalpm 10–20 cm). Kustannusvaikutuksesta kaukokuljetukseen ei ole tarkkaa tietoa, mutta kustannusnousun arvioidaan olevan 10–20 mk/m³. Lisäksi on otettava huomioon ylimääräisistä puutavaralajeista puunhankinnalle aiheutuvat hallinnolliset ja organisatoriset kustannukset, jotka voivat olla yllättävänkin suuret. Kaikkiaan havupienpuun hankintakustannukset nousevat 30–50 mk/m³ riippuen pölkyn koosta, sahapuun kertymästä ja puutavaralajimäärästä.

Alhainen kertymä asettaa kerralla käsiteltävän leimikon koolle paineita, sillä leimikolta sahalle kuljetettavan puumäärän pitäisi olla vähintään puutavara-autollinen sahattavaa raaka-ainetta (n. 50 m³). Runkojen tarkoituksenmukaista ja loppukäyttökohdetta silmälläpitävää apteerausta vaikeuttaa epä tietoisuus siitä, miten rungon sisällä oksattoman, kuivaoksaisten ja terveoksaisten puuaineen vyöhykkeet muuttuvat, kun samalla otetaan huomioon rungon dimensiot.

Havupienpuuta jalostavat lähinnä pienet ja keski suuret itsenäiset sahat, jotka ostavat osan tarvitsemastaan puuraaka-aineestaan suoraan yksityismetsistä pystykaupoilla. Tällöin saha joutuu ostamaan sahapuun yhteydessä myös itselleen jalostuksen kannalta tarpeetonta kuitupuuta, josta on ollut aika ajoin vaikeuksia päästä eroon käypään hintaan. Sahauksen sivutuotteena syntyvän selluhakkeen ja purun sahat myyvät kuitupuun tavoin sitä jalostaville integraattiyhtiöille.

3.2 Pienpuun sahaus

Jos sahalla käytetään normaalia lyhyempiä ja latvaläpimitaltaan pienempiä tukkeja, vaatii näiden käsittely usein tällaisia tukkikokoja varten suunnitellut tukin käsittely- ja sahauslinjat sekä kuivaamot. Pieni tukki- ja sahatavarakappalekoko asettaa saha- ja jatkokäsittelylinjalle voimakkaat tehokkuusvaatimukset, johon päästään automatisoimalla toimintoja ja rakentamalla erillinen pikkutukkijoin varsinaisen järeää tukkia sahaavan linjan tai laitoksen viereen. Kaikki nämä toimenpiteet ovat investointeja, joista aiheutuu kustannuspaineita lopputuotteelle eli sahatavaralle.

Nykyisillä sahakoneilla pystytään sahaamaan teknisesti jopa latvaläpimitaltaan 8 cm:n tukkia, mutta taloudellisesti mielekäs sahaus vaatii vähintään 10 cm:n mieluiten 12 cm:n latvaläpimitan tukkipölkyltä. Sahausteknisesti riittävän tehokkuusvaatimuksen saavuttamisen ensimmäisenä vaihtoehtona on lajitella kuoritut tukit latvaläpimitan mukaan etukäteen ja sahata ne kiinteäasetteisella sahakoneella ja nopealla tukin syötöllä. Tällöin joudutaan kuitenkin investoimaan tukkilajitteluun. Toinen vaihtoehto on sahata tukit vaihtuva-asetteisella sahakoneella tai soveltaa karkeaa läpimitan mukaista lajittelua. Tällöin sahalinjalla tukkivälin pitää olla suurempi ja linjanopeuden pienempi, koska jokaisen tukin latvaläpimitta mitataan ennen sahausta ja tarvittaessa sahausasetteen on ehdittävä muuttua sahakoneessa ennen kuin tukki siihen syötetään. Lisäksi ennen sahakonetta voi olla joko

mekaaninen tai kameramittaukseen perustuva automaattinen tukin suuntaus- ja pyörityslaite, jolla voidaan kompensoida mm. tukin lenkoutta ja epäpyöreyttä. (Inkovaara 2001)

Joka tapauksessa pienen tukin kannattava sahaus asettaa kasvavat vaatimukset sahan linjanopeuksille. Kymmenen vuotta sitten sahausnopeus oli 60–70 m/min, kun se on nykyään jo tasolla 90–120 m/min. Samalla on myös huolehdittu sahatavaran mittatarkkuuden säilymisestä ja hakkeen ja purun korkeasta laadusta. (Inkovaara 2001)

Sahattavan tukin latvaläpimita, pituus ja tukkiprofiili vaikuttavat sahauksen käyttösuhteeseen ja nettotuottoihin. Esimerkiksi tukin latvaläpimitalla 10 cm ja tukkipituudella 28 dm on käyttösuhde noin 3,6, mutta tukkipituudella 46 dm jo 3,0. Pääsääntöisesti, varsinkin pienissä läpimittaluokissa, käyttösuhde on sahatavaradiensioilla sitä suurempi, mitä lyhyempiä tukkeja sahataan, mutta latvaläpimitan suurentuessa erot tukkipituuksien välisissä käyttösuhteissa tasoittuvat. Sahauksen nettotuotot ovat sitä pienemmät, mitä lyhyempiä tukkipituuksia käytetään, ja vastaavasti latvaläpimitan suurentuessa nettotuotot kasvavat. (Fröblom 2001)

Harvennuspuusta sahatun sahatavaran jatkokäsittely vaatii normaalista poikkeavan kuivaustekniikan puuaineen poikkeavien ominaisuuksien johdosta sekä paketoinnin, joka sopii myös lyhyelle sahatavaralle.

4 Havupienpuun puuaineen ominaisuuksia

Harvennuksilta sahoille päätyvä pieniläpimittainen havupuu poikkeaa puuaineen ominaisuuksiltaan ja tukkiprofiililtaan normaalisti sahattavasta järeästä tukista. Harvennuspuut ovat usein lenkoja ja mutkaisia, jolloin ne myös sisältävät normaalia enemmän työstettävyyttä ja puuaineen teknisiä ominaisuuksia heikentävää lyllyä (reaktiopuuta). Runkomuodoltaan harvennusemetsien rungot ovat voimakkaasti kapenevia. Poikkeavana ominaisuutena voidaan pitää myös nuorpuun tavallista suurempaa tilavuusosuutta, jonka olemassaolo ilmenee sahatavarassa kuivauksen jälkeisinä muotovikoina, koska nuorpuu kutistuu kuivattaessa pituussuunnassa 10 kertaa enemmän kuin muu ympäröivä puuainees. Ydinkeskeisten aihoiden kieroutuminen on varsin voimakasta nuoresta puusta valmistetuissa kappaleissa, sillä alle 20-vuotiaasta rungosta valmistetuilla ydinkeskeisillä havupuun aihioilla kieroutuminen oli jopa kaksi kertaa suurempaa kuin sitä vanhemmasta puusta tehdyllä (Boren 2001). Mekaanisia ominaisuuksia tutkittaessa on havaittu havupuiden puuaineen iän kasvulla olleen positiivinen vaikutus kappaleen lujuteen ja kimmoisuuteen.

Männiköissä rungon sisäinen oksikkuuslaatu vaihtelee suuresti ja on osittain vielä vaikeasti ennustettavissa. Pääsääntöisesti oksien paksuus kasvaa hieman siirtymässä kuivilta kankailta reheville kasvupaikoille. Turvemaidilla etenkin kuivien oksien määrä on suurempi kuin kivennäismailla. Pienissä puissa on suhteellisen pienet kuivat ja tuoreet oksat, sillä alimmat tuoreet oksat eivät ole ehtineet järeytyä ja kuivien oksien karsiutuminen on usein vasta alussa (Jouhio & Uusitalo 2001).

5 Havupienpuun sahaus

5.1 Motiivit

Yksinomaan havupienpuun sahaus on pääsääntöisesti vielä nykyisin kannattamatonta liiketoimintaa, ja järeää tukkia käyttävän sahan yhteydessä pienpuun sahaus tuottaa vähemmän tappiota kuin sahaamalla jättäminen. Useilla sahoilla sahataan harvennusmetsistä peräisin olevaa normaalikokoista tukkia tai edellisen lisäksi tätä pienikokoisempaa mäntypikkutukkia, mäntyparrua, sahakuitua tai kuitutukkia. Viimeaikoina on tehty myös merkittäviä uusinvestointeja havupienpuun sahaukseen (mm. Keitele Forest Oy), joissa jo olemassa olevan sahalaitoksen yhteyteen on perustettu pienpuun sahaukseen erikoistunut tehokas erillinen sahalinja.

Sahojen varsinainen motiivi harvennuspuun käyttöön on huoli tulevaisuuden sahauskelpoisen raaka-aineensa saatavuudesta ja sen soveltuvuudesta sahatteellisuuden tarpeisiin. Sahateollisuutta askarruttavat kysymykset, voidaanko uhkaava normaalikokoisen tukin tarjonnan pieneneminen korvata jatkossa, ja missä määrin, harvennusmetsistä saatavissa olevalla raaka-aineella sahauskapasiteetin säilyttämiseksi, ja miten harvennuspuuta voidaan hyödyntää tehokkaasti ja kannattavasti sahauskseen ja siihen liittyvään jatkojalostukseen. Kysymysmerkkeinä on nähty myös metsäverouudistuksen siirtymäkauden jälkeinen aika vuodesta 2006 lähtien sekä yhä lisääntyvien metsien käyttörajoitusten vaikutukset järeän tukin saatavuuteen.

Yhtenä syynä pieniläpimittaisen puun sahaukselle on pienempi kilpailu raaka-aineesta ja alhaisempi hintataso kuin perinteisen sahatukin hankinnassa. Tukin hyvän kysynnän aikana pienet ja keskisuuret sahat joutuvat kilpailemaan raaka-aineesta suurempien integraattisahojen kanssa. Vaihtoehtona sahaustoiminnan ylläpitämiseksi on siirtyminen ainakin osittain pieniläpimittaisen harvennuspuun sahaukseen osana sahan raaka-ainepohjaa. Useilla sahoilla sahataankin jo pieniläpimittaista harvennus- tai latvatukkia ja tutkimusluonteisia koesahauksia on tehty käytettävissä olevalla sahauskalustolla.

Itsenäisille sahoille kertyy normaalin puunhankinnan yhteydessä aina myös kuitupuuta, jolle ei ole ollut aikaisemmin käyttöä omassa jalostuksessa, vaan tästä kuitupuusta on täytynyt päästä eroon esimerkiksi vaihtamalla sitä järeämpään tukkiin. Oman toiminnan kannalta tarpeeton kuitupuun onkin koettu eräänlaiseksi riesaksi. Siksi onkin monella sahalaitoksella herännyt kysymys, miksi ei ainakin osa tästä ylimäärästä voitaisi jalostaa itse. Aika onkin ollut monelle sahayrittäjälle kypsä alkaa opettelemaan myös pienpuun sahausta ja kuivausta sekä markkinointia järeän tukin ohella.

Lisääntyvä pienpuun käyttö ei missään nimessä häiritse puumassateollisuuden raaka-ainehuoltoa verraten pienten sahauskelpoisten kertymien johdosta, vaan pikemminkin päinvastoin sen voi olettaa lisäävän myös harvennusmetsien ja siten kuitupuun tehokasta käyttöä ja markkinoille tuloa. Sahatun pienpuun tilavuudesta suuri ja kuituominaisuuksiltaan ilmeisesti paras osuus muuntuu myös sahalalla sahanhakkeeksi, joka raaka-aineketjussa päätyy lopulta puumassateollisuuden raaka-aineeksi.

5.2 Havupienpuun sahauksen edellytyksiä

Eräänä kannattavan havupienpuun sahauksen perusedellytyksenä on yhtiön puunhankinnan kohdentaminen hyvälaatuisimpiin ja riittävän isoihin sekä yhtenäisiin harvennusleimikkokokonaisuuksiin. Tukkipituutta lyhentämällä voidaan kompensoida harvennuksessa poistettavien puiden lenkoutta ja kapenevuutta hakkuukertymän ja myöhemmin sahauksessa saannon eduksi. Samalla voidaan hyödyntää paremmin rungon sisäiset oksikkuusvyöhykkeet. Vain riittävän isoilla käsittelykuvioilla voidaan saavuttaa taloudellisesti mielekkäitä sahapuun kertymiä.

Sahan tukkikentällä pienten pölkkyjen lajittelu perinteisellä tekniikalla on hidasta suuren tukkikappalemäärän vuoksi. Samoin sahauksessa suuri kappalemäärä lisää tukkivälejä sahalinjalla nykyistä enemmän, jolloin sahauksen tuottavuus pienenee. Pölkkyjen voimakas kapeneminen, lenkous ja mutkaisuus alentavat sahauksen käyttösuhdetta. Nykyisten sahauslinjojen perässä olevien lajittelulinjojen kapasiteetti ei ole riittävä, joten sahan on investoitava lyhyille sahatavarakappaleille soveltuvaan jälkipäähän. Perinteisten kuivaamojen kapasiteetin käyttöaste saattaa joissakin tapauksissa alentua sahatavaran lyhentyessä, ja harvennuspuun puuaineen ominaisuuksista (mm. suuri nuorpuuosuus) johtuen tarvitaan uusia kuivausmenetelmiä muotovikojen estämiseksi. Puristuskuivauksella ja painojen avulla onkin saatu hyviä tuloksia harvennuspuun kuivauksessa.

Kokonaisuutena lyhyet tukkipituudet ja harvennuspuun käyttö edellyttävät investointeja tukkilajitteluun, kuljettimiin, sahakoneisiin ja kuivaukseen. Usein tämä ongelma ratkaistaan rakentamalla kokonaan uusi lyhyille tukkipituuksille soveltuva nopea ja pitkälle automatisoitu pienpuulinja normaaleja tukkeja käyttävän linjan rinnalle.

Sahaustoiminnan kannattavuutta ei ratkaista yksinomaan modernilla tekniikalla tai tehokkaalla logistiikalla. Perinteisiin tukkipituuksiin perustuvien sahatavarakappaleiden rinnalle ovat nykyiset modernit sahaus- ja jatkojalostusmenetelmät avanneet uusia mahdollisuuksia havupienpuun käytölle. Jatkojalostuksessa kehittyneiden konenäköön ja optimointiin perustuvien sormijatkos- ja liimaustekniikoiden avulla sahatavarakappaleen pienet dimensiot eivät enää ole suuri ongelma lopputuotetta ajatellen. Jatkamalla ja liimaamalla lyhyestäkin kappaleesta saadaan oikea tuote vaatiwiinkin käyttökohteisiin. Jatkojalostus on myös eräs vahvimmista keinoista torjua laskusuhdanteen aiheuttamia kustannuspaineita.

Näiden ongelmien ratkaisemisen lisäksi sahan on löydettävä pienpuusta sahatulle sahatavarelle myös kannattavat käyttökohteet ja markkinat. Monesti juuri kannattavien markkinoiden tunnistaminen ja niille sopivien tuotteiden lanseeraaminen edellyttävät sahan markkinoinnilta pitkäjänteistä markkinoiden tiedustelua. Ja luottamuksen saavuttaminen markkinoilla edellyttää sahalta riittävää laatua ja volyymiä sekä toimitusvarmuutta.

6 Sahattavat tuotteet

Harvennusmännystä voidaan sahata kannattavasti monia tuotteita hyvinkin erilaisiin tarpeisiin. Edes kappaleiden pieni koko ei ole välttämättä esteenä, sillä pienis-

täkin kappaleista voidaan sormijatkamalla ja liimaamalla saada tarvittavan suuria dimensioita.

Havuharvennuspuusta voidaan valmistaa Tee-se-itse -tuotteisiin mm. sormijatkettua palkkia tai pylvästä ja ensiasteen jalosteita. Rakennuspuusepänteollisuuden tuoteperheestä havuharvennuspuulle sopivat valmistettaviksi platform- ja precut-rakentamisessa tarvittavien määrämittaisten rakennuskomponenttien valmistus (esim. talojen runkotolpat), liimahirret ja liimapuupalkit sekä puulattiat levymäisinä rakenteina. Lujuuslajitellusta sahatavarasta valmistetusta liimapuusta voidaan tehdä kantavia rakenteita ja isompiakin kokonaisuuksia, ja tilan avaruutta voidaan korostaa jättämällä puupintaisia runkorakenteita näkyviin. Liimapuu on helposti työstettävä ja paloturvallinen runkomateriaali. Vaikka rakennusteollisuuden kokonaisuudessaan arvioidaan kasvavan vain muutaman prosentin vuosivauhtia, niin korjausrakentaminen kasvaa ja tulee edelleen kasvamaan voimakkaasti. Huonekalu- ja komponenttivalmistus tarjoaa varteenotettavan tuotevalikoiman korkeatasoisten huonekalujen osista ja liimalevyistä vähäarvoisempiin kuormalavojen tuoteisiin.

Uutena aluevaltauksena voidaan pitää modifioituja puutuotteita, kuten lämpökäsiteltyä puuta, puristepuuta ja mäntyöljykyllästystä, joihin harvennusmännystä sahattu materiaali sopii ilmeisen hyvin. Harvennuspuuta voidaan käyttää myös sahatavaran ohella pyöröpuuna piha- ja ympäristörakentamiseen, kuten huvimajoihin, leikkimökkeihin, meluvalleihin, puutarhavajoihin, katoksiin, leikkientävarusteisiin, varstorakennuksiin ja aitatolppiin (Boren 2000).

7 Harvennuspuun sahaus tulevaisuudessa

Metsänhoitaja P. W. Hannikaisen vuonna 1890 lausumasta ”...*loukkaa kaikkea järjestäjä taloutta puun myyminen sahattavaksi ennen kuin se rinnankorkeudelta on täyttänyt 12 työtuumaa*” huolimatta Suomessa sahapuun latvaläpimittoja on hivutettu vuosien varrella vähän kerrassaan pienemmiksi. Varsinaista pienpuun sahausta on Suomessa aloitettu harjoittamaan jo 1970-luvulta lähtien. Nykyisin havupientukin sahaus kannattavuusrajana pidetään noin 12 cm:n latvaläpimittaa, joskin tässäkin on vaihtelua. Tulevaisuudessakin sahojen tukkikoko tulee pienenevän ja sahausolosuhteiden puunhankinnan painopiste alkaa kohdistumaan entistä enemmän harvennusmetsiin.

Sahaustekniikassa ei ole odotettavissa mitään suuria tai käänntekeviä muutoksia. Perinteinen suorakulmainen ja neliskanttinen sahaus tulee säilyttämään asemansa, mutta tukkien latvaläpimitan pienentyessä ja saantotavoitteiden noustessa ns. trapetsisahaus (kartiosahaus) on ollut yhtenä sahausuuden uusista vaihtoehtoisista tekniikoista. Tässä sahaustekniikassa sahaus noudattaa tukin luonnollista kartiokkuutta siten, että saheista muodostuu lappeiltaan tasaisesti latvapäätä kohti kapenevia kappaleita. Kartiokkaita kappaleita vastakkain liimaamalla voidaan valmistaa levymäisiä ja palkkimaisia rakenteita.

Trapetsisahauksen tavoin pölkyn pyöreyttä voidaan hyödyntää tukkia profiloimalla, jolloin tukkiin sahataan tai jyrsitään profiili, joka on yhteensopiva

muiden profiloitujen kappaleiden kanssa. Profiloituja kappaleita yhteen liimamalla voidaan valmistaa liimalevyn kaltaista tuotetta.

Erikoistuvassa pienpuun sahausuksessa on järkevää keskittyä käyttämään hakuusta alkaen lopputuotelähtöisiä tukin pituuksia ja läpimittoja sekä laatuvaatimuksia. Tämä johtaa usein vain yhden tai korkeintaan kahden lyhyen tukkipituuden käyttöön, joiden latvaläpimitta on kapealla alueella. Tällä keinolla voidaan kohottaa sahauksen saantoa ja yksinkertaistaa sahalinjan jälkipäätä sen toimivuuden parantamiseksi sekä ohjata tuotantoa taloudellisesti parhaisiin käyttökohteisiin. Sahauksen kannattavuutta voidaan lisätä, jos sahatavara voidaan ohjata suoraan jatkojalostukseen. Jatkojalostuksen tärkeys korostuu etenkin sahatavaran las-
kusuhdanteiden aikana.

Kirjallisuus

- Boren, H. 2000. Pienpuun käytön lisääminen mekaanisessa puunjalostusteollisuudessa. Esiselvityksen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 761. 58 s.
- Boren, H. 2001. Factors affecting the knottiness, twisting and mechanical properties of pith enclosed round and sawn timber of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) from thinnings in Southern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 807. 164 s.
- Fröblom, J. 2001. Pienpuun käyttö jalostuksessa. Julkaisussa: Riekkinen, M., Kärki, T. & Verkasalo, E. (toim.). Pienpuun käytön uudet haasteet – seminaaripäivän esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 823: 17–23.
- Inkovaara, Y. 2001. Pienpuusahakoneet. Julkaisussa: Riekkinen, M., Kärki, T. & Verkasalo, E. (toim.). Pienpuun käytön uudet haasteet – seminaaripäivän esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 823: 35–40.
- Jouhiahho, A. & Uusitalo, J. 2001. Ensiharvennuskannan oksikkuuslaatu Pohjois-Karjalan alueella. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 130. 39 s.
- Peltola, A. (toim.) 2001. Metsätaloustilastollinen vuosikirja 2001. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2001: 52. Metsäntutkimuslaitos. 374 s.

Ensiharvennuskäytäntöiden ja -käytäntöiden teknillinen laatu sahauksessa

Reeta Stöd

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

1 Johdanto

Ensiharvennus on puuston laatukehityksen kannalta merkittävä metsänhoidon toimenpide, sillä sen laiminlyöminen vaikuttaa negatiivisesti puuston kasvuun sekä tulevan tukkikertymän määrään ja käyttökelpoisuuteen (Vuokila 1982, Ensiharvennustyöryhmän muistio 1988, Kellomäki ym. 1992, Hakkila 1996). Sen sijaan myöhemmissä harvennuksissa puuston laatuun voidaan vaikuttaa vain huonolaatuisimpia puita poistamalla (Vuokila 1982, Kellomäki ym. 1992). Valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin (1986–1994) mukaan vuotuinen ensiharvennusten tarve on Etelä-Suomen mäntyvaltaisissa metsissä 100 000 hehtaaria. Kaikkiaan ensiharvennuksia tulisi vuosittain tehdä noin 200 000 hehtaarin alalla.

Syitä liian vähäisiin harvennuksiin on monia, joista useimmin mainittuja lienevät harvennuskertymän pienuus, harvennushakkuiden korkeat kustannukset ja harvennuspuun alhainen kantohinta. Lisäksi päätehakkuupuun on erityisesti 1990-luvun alusta lähtien pitkälti tyydyttänyt teollisuuden puuntarpeet. Innokkuutta harvennuspuun käyttöön on ollut omiaan vähentämään myös tieto siitä, että harvennuspuun puuaineen ominaisuudet poikkeavat päätehakkuupuusta merkittävästi; esimerkiksi tiheys on harvennuspuulla alhaisempi ja reaktio- ja nuorpuun osuudet suuremmat. Näin ollen harvennuspuun jalostuksessa tuotteiden saanto, laatu ja arvo ja siten myös kannattavuus jäävät alhaisemmiksi kuin päätehakkuupuuta jalostettaessa.

Puun teknisellä laadulla tarkoitetaan erään määrittelyn mukaan tärkeimpiä sahatavaran arvoon vaikuttavia tekijöitä, kuten oksikkuutta, mutkaisuutta ja haaraisuutta, näiden yhdistelmiä, sekä katkeamia (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Mainittuja vikoja aiheuttavat mm. mekaaniset rasitukset, tuhohyönteiset, istutusvirheet sekä väärä kasvupaikka, kasvatustiheys tai perustamistapa (Varmola 1980, Vuokila 1982, Kärkkäinen & Uusvaara 1982, Kärkkäinen 1985, Uusvaara 1991).

Koska laatuharvennuksena tehtävässä ensiharvennuksessa tavoitteena on laadultaan mahdollisimman hyvä jäävä puusto, poistetaan siinä pienimpien puiden lisäksi myös suurempia paksuoksaista tai muutoin laadultaan metsikön huonoimpia puita, joiden laatua ei voida parantaa. Poistumaan sinänsä ei kiinnitetä huomiota, vaan kasvu keskitetään pitkällä tähtäyksellä arvokkaimpiin puihin, joita jätetään kasvatettaviksi riittävä määrä (Vuokila 1982, Niemistö 1994, Lilleberg 1995). Tämä aiheuttaa keskeisen ongelman harvennuspuun hyödyntämiselle mekaanisessa jalostuksessa, sillä esimerkiksi sahojen mitta- ja laatuvaatimukset täyttävien runkojen osuus harvennuskertymästä on usein varsin pieni. Sahattavilla pieniläpimit-

taisilla puilla etenkin puun suoruutta koskevat laatuvaatimukset korostuvat (esim. Lindblad ym. 2001).

Tulevaisuudessa harvennusmetsät kuitenkin muodostavat entistä suuremman osan mekaanisen puunjalostusteollisuuden raaka-ainereservistä, sillä järeän tukki-puun saatavuus tulee ilmeisesti vähenemään mm. metsien kehitysluokkarakenteen muutoksen, lisääntyneen metsien suojelun ja metsäverotuksen muutosvaiheen seurauksena. Kuidutuksen lisäksi mahdollisia käyttökohteita harvennuspuulle ovat esimerkiksi huonekalujen osat, rakennuspuusepänteollisuuden tuotteet, liimapuu, pakkausjärjestelmät sekä piha- ja ympäristörakentaminen. Käyttökohteiden valikoimaa voidaan huomattavasti laajentaa esimerkiksi lämpökäsittelyllä.

2 Aineisto ja menetelmät

Artikkeli perustuu mäntyaineistoon, joka kerättiin vuonna 2000 *Harvennusmännyn hankinnan ja sahauskehittämisen* -hankkeessa, sekä kuusiaineistoon, joka kerättiin vuonna 1999 *Ojitettujen turvemaiden puutavaran laatu ja arvo tuotelähtöisessä metsäteollisuudessa* -hankkeessa. Ensiharvennusikäisiä mutta vielä harvennattomia mäntykuvioita mitattiin Itä-, Länsi- ja Pohjois-Suomesta yhteensä 124 kappaletta ja kuusikuvioita Etelä-, Itä- ja Länsi-Suomesta yhteensä 38 kappaletta. Itä-Suomen alueella mitatuista kuvioista pohjoisimmat sijaitsivat Lieksassa ja eteläisimmät Kerimäellä. Männiköt sijaitsivat tuoreilla kankailla (14 kpl), kuivahkoilla kankailla (57 kpl), kuivilla kankailla (21 kpl) ja ojitetuilla soilla (32 kpl). Kuusikot sijaitsivat lehtomaisilla kankailla (11 kpl), tuoreilla kankailla (13 kpl), kuivahkoilla kankailla (2 kpl) ja ojitetuilla soilla (12 kpl).

Maastomittauksissa puista mitattiin tärkeimmät tunnuksot, sekä kirjattiin kaikki puissa havaitut viat ja niiden esiintymiskorkeudet. Lisäksi vikojen esiintymisen perusteella tehtiin arvio sahauskelpoisen puun sijaintikorkeuksista. Sahauskelpoisiksi määriteltiin ne rungonosat, joissa ei havaittu vikoja. Arvio sahauskelpoisuudesta tehtiin tässä vaiheessa ainoastaan laadun perusteella, eikä rungon läpimitan vaikutusta otettu huomioon. Näin ollen osa sahauskelpoisista rungonosista jouduttiin myöhemmin tehdyssä apteerauksessa määrittämään kuitupuuksi, koska ne eivät täyttäneet asetettuja mittavaatimuksia.

Todellisia harvennuksia kuvioilla ei tehty, vaan kerätty aineisto harvennettiin teoreettisesti, taulukkolaskentaympäristössä. Harvennuksessa käytettiin Niemistön (1992) runkolukuun ja jäävän puuston pohjapinta-alalla painotettuun keskiläpimitaan perustuvia harvennussmalleja. Laatuharvennuksen periaatteiden mukaisesti poistettiin pienimpien puiden lisäksi laadultaan huonoimpia puita, kunnes kuviolle jäävien puiden runkoluku ja keskiläpimita olivat tavoitteen mukaiset. Teoreettisen harvennuksen jälkeen poistettaviksi valitut koepuut apteerattiin runkojen pituus-, läpimita- ja vikaisuustietojen perusteella, ottaen huomioon myös eri puutavaralajien suhteelliset arvot. Apteerausohjelmalla voitiin lisäksi tutkia, kuinka paljon erilaisten vikojen esiintyminen vaikutti määrättyt mitta- ja laatuvaatimukset täyttävään puun kertymiin.

3 Tulokset

Itä-Suomen alueen mäntykoepuista noin 75 % sisälsi vähintään yhden laatunsa puolesta sahauskelpoisen rungonosan ja noin 11 %:ssa mäntykoepuista tällaisia rungonosia oli kaksi tai useampia. Kivennäismailla vastaavat osuudet olivat 80 % ja 13 %. Ojitetuilla turvemaileda mahdollisen sahapuun määrä oli huomattavasti pienempi, sillä yhden sahauskelpoisen osan sisältäneiden puiden osuus oli 56 % ja kaksi tai useampia sahauskelpoisia rungonosia sisältäneiden puiden osuus ainoastaan 4 %.

Ensiharvennuskuusikoissa yhden sahapuuosan puita oli 34 %, mutta useampia sahauskelpoisia osia sisältäneitä koepuita oli vain noin prosentin verran. Kivennäismailla yhden sahauskelpoisen rungonosan sisälsi 34 % ja turvemaileda 33 % koepuista. Vähintään kaksi sahauskelpoista rungonosaa sisältäneitä puita oli kivennäismaiden koepuista 2 %, turvemaileda niitä sen sijaan ei ollut lainkaan.

Kuten sahauskelpoista puuta sisältäneiden puiden määrät osoittavat, erilaisia rungonosan sahapuukäytön estäviä vikoja esiintyi koepuissa runsaasti. Vioista yleisimpiä olivat mutkat, ranganvaihdot sekä tyvilenkous ja lenkous muualla rungossa. Männyllä kivennäismailla olivat yleisimpiä mutkat, lenkoudet, ranganvaihdot sekä ylipaksut oksat ja turvemaileda tyvimutkat, poikaoksat sekä muiden vikojen yhteenlaskettu määrä. Kuusella kivennäismailla esiintyi vertailuryhmää enemmän mutkia, ranganvaihtoja ja poikaoksia. Turvemaiden kuusikoissa puolestaan yleisimpiä olivat tyvimutkat, lenkoudet, ylipaksut oksat ja muut viat.

Kivennäismailla mänty ja kuusi eivät useimpien vikojen yleisyyden osalta suuresti eronneet toisistaan. Ylipaksuja oksia ei kuusikoepuilla ollut havaittu, mutta mäntykoepuista niitä esiintyi lähes kahdeksassa prosentissa. Muutamien prosenttiyksiköiden eroja puulajien välillä oli myös tyvilenkouden ja ranganvaihtojen esiintymisen yleisyydessä. Turvemaileda erot puulajien välillä olivat suuremmat kuin kivennäismailla. Esimerkiksi ranganvaihdot ja poikaoksat olivat männyssä huomattavasti yleisempiä kuin kuusissa. Tyvilenkoutta ja lenkoutta puolestaan esiintyi kuusella enemmän kuin männyllä. Taulukossa 1 esitetään sellaisten puiden osuudet, joissa mainittu vika esiintyi vähintään yhden kerran. Vikaisistakin puista oli mahdollista saada sahapuuta vikojen vaikutusalueiden ulkopuolelta.

Puulajeittain tarkasteltiin myös metsätyyppien välisiä eroja vikojen esiintymisen suhteen. Männyllä lenkoutta ja monilatvaisuutta esiintyi yleisimmin tuoreilla kankailla, latvanvaihtoja ja poikaoksia kuivahkoilla kankailla sekä tyvilenkoutta kuivilla kankailla. Kuusella ranganvaihtoja ja poikaoksaisuutta esiintyi yleisimmin lehtomaisilla kankailla ja lenkoutta kuivahkoilla kankailla; vähäisintä vikojen esiintyminen oli tuoreilla kankailla.

Sahapuun kertymää pienensivät ennen kaikkea rungon suoruteen vaikuttavat viat, kuten esimerkiksi tyvilenkous ja lenkous, joiden vaikutusalue rungossa on laaja. Sahauskelpoisen puun kertymä oli metsätyypistä riippuen 2–8,5 m³/ha silloin, kun normaalien puutavaralajien lisäksi apteerattiin myös pikkutukkia, ja apteeraus oli tehty maastossa määritettyjen vikatietojen ja sahapuun sijaintikorkeuksien perusteella, eli kaikki sahapuukelpoisuuteen vaikuttavat viat oli otettu huomioon. Kertymä oli suurin tuoreilla ja kuivahkoilla kankailla ja pienin turvekankailla. Apteeraus ilman vikatietojen käyttöä, eli sallimalla kaikki viat, tuotti sahapuuta 9–

Taulukko 1. Vikaisten puiden osuudet mitatuista mänty- ja kuusikoepuista. Prosenttiosuudet kertovat, kuinka suuressä osassa kyseisen ositteen koepuista kukin vika esiintyi vähintään kerran.

Vikaisten puiden osuudet (%)				
	Mänty Kivennäismaat	Kuusi Kivennäismaat	Mänty Turvemaat	Kuusi Turvemaat
Mutka	13,7	14,6	13,0	9,4
Tyvimutka	0,5	1,2	2,4	1,7
Tyvilenko	23,1	19,3	16,1	29,1
Lenko	21,0	22,4	20,8	24,8
Ranganvaihto	29,2	24,8	29,1	7,7
Poikaoksa	10,9	11,4	12,4	0,9
Yli 30 mm oksa	7,8	-	5,7	1,7
Muut viat yht.	3,5	4,4	15,4	8,6

28 m³/ha. Kun tyvilenkous sallittiin, sahapuun kertymä oli 4–20 m³/ha.

4 Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa puiden ulkoinen laatu oli määritetty tiukoin kriteerein. Kaikki puissa havaitut viat merkittiin muistiin, sillä mahdollisten sahapuun kertymien määrittämisen lisäksi kerättiin tietoa harvennuspuiden ulkoisen laadun tutkimista varten.

Itä-Suomessa 75 % mäntykoepuista sisälsi sahapuun laatukriteerit täyttäneen rungonosan. Kuusikoepuilla kyseinen osuus oli huomattavasti pienempi, vain 34 %. Puulajien välistä eroa selittävät Itä-Suomen mäntyvaltaisuus ja se, että kuusen luontaisia kasvupaikkoja löytyy tältä maantieteelliseltä alueelta vähemmän. Männyllä sahauskelpoisen osan sisältäneiden puiden osuus oli huomattavasti suurempi kivennäis- kuin turvemailla. Sen sijaan kuusella osuudet olivat näissä vertailuryhmissä lähes samat.

Vioista, joita puissa esiintyi runsaasti, tavallisimpia olivat mutkat, ranganvaihdot sekä tyvilenkous ja lenkous muualla rungossa. Männyllä vikaisten puiden osuudet olivat samaa luokkaa sekä kivennäis- että turvemailla, suurempia eroja oli havaittavissa vain tyvilenkouden ja muiden vikojen esiintymisessä. Kuusella huomattavaa eroa vikaisten puiden osuuksissa kivennäis- ja turvemaiden välillä oli edellä mainittujen kahden vian lisäksi myös ranganvaihtojen ja poikaoksien esiintymisessä.

Kivennäismaiden koepuiden osalta merkittäviä eroja vikaisuuksien määrissä ei puulajien välillä esiintynyt. Turvemailla mäntykoepuut osoittautuivat kuusi-koepuita vikaisemmiksi, lukuun ottamatta tyvilenkoutta ja lenkoutta, jotka olivat kuusilla yleisempiä. Vikaisten puiden osuudet vaihtelivat molemmilla puulajeilla metsätyypeittäin. Vuokila (1982) onkin todennut yhdeksi metsien teknisen laadun kehittämisen keinoksi männyn kasvattamisen vain sen luontaisilla kasvupaikoilla.

Kun kaikki viat otettiin runkojen apteerauksessa huomioon, laatu- ja mittavaatimukset täyttäneiden puiden osuus kokonaispoistumasta oli männyllä 1–9 %. Stödin (2000) mukaan ensiharvennusmänniköistä saatavan, tätä tutkimusta vastaavien laatukriteereiden ja 9 cm:n minimilatvaläpimitan mukaan apteeratun, pieniläpimittaisen rakennuspuun kertymä oli Itä-Suomessa noin 5 m³/ha. Saksa (2001) puolestaan on todennut ensiharvennuksesta saatavan, mekaaniseen puunjalostukseen kelpaavan puun määräksi 5–15 m³/ha, joka on noin 10–20 % hakkuukertymästä.

Vioista kertymän kannalta merkitsevimpiä olivat rungon suoruteen vaikuttaneet viat, jotka pienensivät sahapuun hehtaarikohtaista kertymää muutamilla kuutiometreillä. Laskettaessa kertymä ilman vikojen vaikutusta sahauskelpoisen puun osuus poistumasta jäi alle kolmannekseen. Merkittävä ongelma harvennuspuiden hyödyntämiselle on näin ollen laatukysymysten lisäksi myös se, että poistettavat rungot ovat pieniä, eivätkä useinkaan täytä tavallisten puutavaralajien mittavaatimuksia.

Kirjallisuus

- Ensiharvennustyöryhmän muistio. 1988. Maa- ja metsätalousministeriö. Työryhmämuistio MMM 1988: 27. 57 s.
- Hakkila, P. 1996. Ensiharvennuspuiden hyödyntäminen. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1996 (4): 428–433.
- Kellomäki, S., Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatuksatus. *Silva Carelica* 23. 133 s.
- Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino. Hämeenlinna. 415 s.
- Kärkkäinen, M. & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. *Folia Forestalia* 515. 28 s.
- Lilleberg, R. 1995. Harvennustapa männikön ensiharvennuksessa. *Metsäteho*, katsaus 3/1995. 7 s.
- Lindblad, J., Stöd, R. & Wall, T. 2001. Harvennusmännyn hankinnan ja sahauskehittelemisen -tutkimushankkeen yritysraportit (5 kpl). Metsäntutkimuslaitos. 23 s. Julkaisematon.

- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 257. Hakapaino Oy, Helsinki. 237 s.
- Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s.
- Niemistö, P. 1994. Männikön ensiharvennus ala-, ylä- tai laatuharvennusta käytäen. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1994(1): 19–32.
- Saksa, M.-L. 2001. Harvennuspuuta puuseppien käyttöön. Puutekniikka 3/2001: 28–30.
- Stöd, R. 2000. Ensiharvennuskuusikoiden ja männiköiden ulkoinen laatu ja pyöreän rakennuspuun kertymä. Metsäteknologian ja puutalouden pro gradu. Joensuun yliopisto. 67 s.
- Uusvaara, O. 1991. Havaintoja nuorten istutusmänniköiden oksikkuudesta ja puuaineen laadusta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 377. 56 s.
- Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Folia Forestalia 451. 21 s.
- Vuokila, Y. 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Folia Forestalia 523. 55 s.

Ensiharvennusmänty ja -kuusi kuitupuuna

Pentti Hakkila¹, Pekka Saranpää², Jaakko Repola²

¹ VTT Prosessit, Espoo

² Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

1 Johdanto

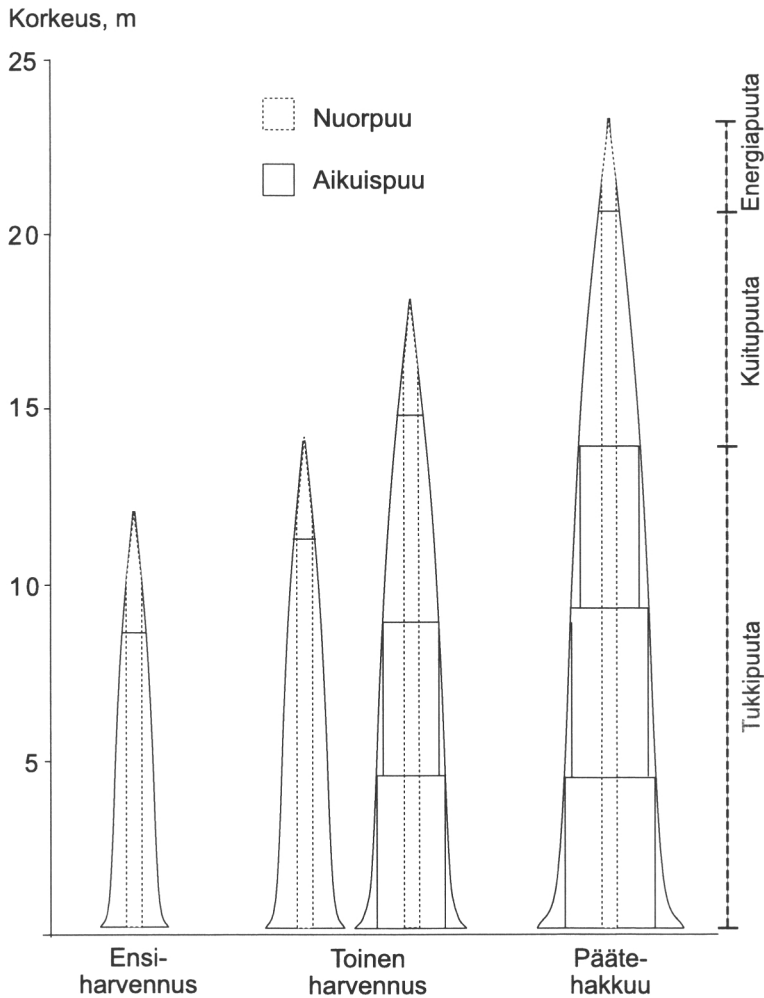
Metsiemme ikäluokkarakenteesta johtuen ensiharvennushakkuita tulee lisätä voimakkaasti. Lukuisat haittatekijät jarruttavat kuitenkin ensiharvennuspuun hyödyntämistä puumassateollisuudessa:

- Korjuun kustannukset ovat korkeat. Koneellinen korjuu tien varteen maksaa ensiharvennuksissa 40–50 % enemmän kuin myöhemmissä harvennuksissa ja 100–200 % enemmän kuin päätehakkuissa. Miestyönä tehtynä ensiharvennuspuun korjuu tulee vieläkin kalliimmaksi.
- Suuresta kuoriosuudesta ja ohuitten pölkkyjen murskaantumisesta johtuen ensiharvennuspuun hävikki on rumpukuorinnassa suuri.
- Nuoren puun puuaines on ominaisuuksiltaan poikkeavaa, mikä aiheuttaa puumassan valmistuksessa ongelmia, varsinkin jos erojen suuruutta ja vaihtelun lainalaisuuksia ei tunneta.

Laadun hallinta luo raaka-aineelle lisäarvoa myös puumassateollisuudessa. Laadun tuntemus palvelee sekä prosessilähtöisen että markkinalähtöisen tuotekehittelyn tarpeita, sillä puun ominaisuudet vaikuttavat raaka-aineen prosessikäyttäytymiseen, raaka-aineen kulutukseen sekä lopputuotteen ominaisuuksiin. Tasalaatuisuus on eduksi, hallitsematon vaihtelu haitaksi.

Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskus kartoitti Suomen eteläpuoliskon mänty- ja kuusikuitupuun tekniset ominaisuudet laajassa tutkimuksessa, joka oli osa Tekesin rahoittamaa ja VTT Energian koordinoimaa Puun laatu-tutkimusohjelmaa. Aineisto sisälsi 32 ensiharvennusleimikkoa, 31 toisen harvennuksen leimikkoa ja 16 päätehakkuuleimikkoa, joista jokaisesta kaadettiin 15 koe-puuta. Koepuitten kuitu- ja energiapuuositteista sahattiin kiekkoja yhden metrin välein, tukkipuuositteesta harvemmin välein. Kiekkojen kokonaismäärä oli arviolta 15 000 kpl.

Tässä artikkelissa tarkastellaan edellä kuvatun aineiston valossa, miten Etelä-Suomen ensiharvennusten kuitupuun eroa ominaisuuksiltaan muitten leimikkoitten kuitupuusta. Ensiharvennuspuun ominaisuudet poikkeavat muusta kuitupuuvirrasta paitsi nuoremman iän vuoksi myös siksi, että tyypillisessä ensiharvennusleimikossa rungon käyttöosa tehdään kokonaisuudessaan kuitupuuksi. Toisessa harvennuksessa ja päätehakkuissa rungon järein osa tehdään sahatukeiksi, ja metsikön varttuessa kuitupuuosite nousee siten ylemmäksi rungossa (kuva 1). Koska useimmat ominaisuudet muuttuvat rungon tyveltä latvaa kohti, rungon järeän osan

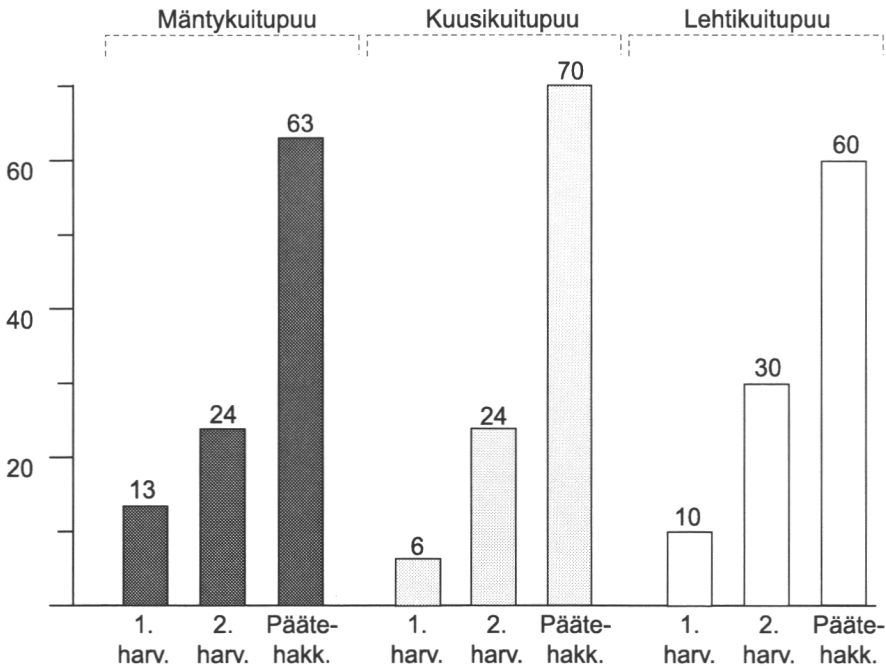


Kuva 1. Kuitupuun osuus hakkuupoistumasta eri leimikkotyypeissä. Nuorpuuvyöhyke rungon keskellä on merkitty katkoviivalla.

käyttö sahapuiksi tavallaan nuorentaa kuitupuuositteen ikää erityisesti päätehakkuuleimikoissa ja siten tasoittaa leimikkoeroja.

2 Kuitupuun laadun ohjaus

Koska puun laatu on käyttötarkoitukseen sidottu käsite, sitä ei voida kuvata yhdellä ainoalla tunnuksella, vaan *laatu on usean ominaisuuden yhteisvaikutuksen tulos*. Puumassateollisuuden eri ominaisuuksien painoarvo riippuu siitä, millaista valmistusprosessia sovelletaan ja mihin paperituotteisiin kuidut lopulta käytetään.



Kuva 2. Kuitupuun leimikkoalkuperä Etelä-Suomessa vuosina 1998–2000.

Ominaisuuksien tunteminen on avain sekä raaka-aineresurssien että valmistusprosessin hallintaan:

- Raaka-aineen kulutukseen vaikuttavat puutavaran järeys, kuoren osuus, oksien osuus, kuiva-tuoretiheys sekä puun kemiallinen koostumus.
- Raaka-aineen prosessikäyttäytymiseen vaikuttavat esimerkiksi puutavaran järeys, kosteus, sydänpuupitoisuus, oksien osuus, kuiva-tuoretiheys ja kemiallinen koostumus.
- Puumassan ominaisuuksiin vaikuttavat ennen kaikkea kuidun pituus, läpimitta, massa, pituus-massasuhde, seinämän paksuus ja seinämän fibrillikulma sekä puun tuoreus. Vaikka kuituja voidaan puumassaa tehtäessä muokata, raaka-aineen alkuperäiset kuituominaisuudet asettavat kuitenkin ne rajat, joitten puitteisiin puumassan laatu asettuu.

Laadunohjauksen perusratkaisu tapahtuu silloin, kun tehdään leimikkokohtainen päätös kuitupuun osoittamisesta tietylle tehtaalle. Kuvasta 2 nähdään erään suuren metsäteollisuusyrityksen kuitupuun leimikkolähteet Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1998–2000. Raaka-ainetta voidaan kuitenkin lajitella vielä korjuun yhteydessä, terminaalilla tai tehdasvarastolla.

Laadunhallinnan kannalta ongelmana on, että kuitupuun alkuperä vaihtelee ajan myötä:

- *Kausivaihtelu* aiheutuu siitä, että harvennushakkuita keskitetään talvikaudelle ja avohakkuita vastaavasti kesäkaudelle. Erityisesti kuusikoitten kesäaikaisia harvennuksia pyritään välttämään kaikin keinoin.
- *Vuosivaihtelu* on seurausta ennen kaikkea sahatavarakaupan suhdannevaihtelusta. Kun sahauskapasiteetti on täydessä käytössä, uudistushakkuitten kuitupuun ja sahanhakkeen osuudet raaka-ainehuollossa kasvavat.
- *Metsikkörakenteen muuttuminen* ilmenee ennen pitkää myös hakkuitten leimikkorakenteen muuttumisena. Jo 1960-luvulla käynnistynyt hakkuukypsien metsien uudistamisaalto ja pitkään jatkunut männyn suosiminen edellyttävät 2000-luvun alussa ensiharvennuspuun osuuden kasvua erityisesti männyllä.

3 Mänty- ja kuusikuitupuun ominaisuuksia

3.1 Kuitupuun järeys

Leimikkotyypien väliset erot kuitupuun järeydessä ovat merkittävästi pienemmät kuin rungon rinnankorkeusläpimitassa, koska järeä rungonosa tehdään tukiksi. Taulukko 1 kuvaa kuitupuun keskimääräistä, tilavuudella punnittua läpimittaa, ei siis pölkyn latvaläpimittaa.

Kuitupuu on nykyisin järeämpää kuin kolme vuosikymmentä sitten, koska sekä kuitu- että tukkipuun vähimmäismittoja on nostettu ja tukkipuun laatuvaatimuksia kiristetty. Kuitupuuosite on siirtynyt rungossa alaspäin. Vaatimusten kiristyessä hukkarunkopuun osuus on kasvanut erityisesti ensiharvennusleimikoissa:

- Hukkarunkopuuta jää pienen rungon koon vuoksi eniten ensiharvennushakkuissa, 20–30 % poistumasta. Hukkarunkopuun osuus on toisessa harvennuksessa 10–15 % ja päätehakkuissa 4–5 % poistumasta.
- Hukkarunkopuuta jää kuusikoihin enemmän kuin männiköihin.
- Noin puolet hukkarunkopuusta koostuu ainespuurunkojen latvoista.

Taulukko 1. Poistettujen mänty- ja kuusirunkojen keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta ja kuitupuun keskimääräinen läpimitta leimikkotyypeittäin.

Leimikkotyyppi	Mänty Runkojen rinnankorkeusläpimitta, cm	Kuusi	Mänty Kuitupuun keskimääräinen läpimitta, cm	Kuusi
Ensiharvennus	11,3	11,6	12,1	12,8
Toinen harvennus	17,5	19,4	12,7	13,5
Päätehakkuu	27,0	26,2	12,6	13,2
Kaikki			12,6	13,3

3.2 Luston paksuus

Useat puun tekniset ominaisuudet riippuvat puun kasvunopeudesta. Siitä syystä luston paksuutta voidaan käyttää puun laadun indikaattorina.

Kasvun paraneminen johtaa myös metsikön kiertoajan lyhenemiseen ja hakkuutapahtuman aikaistumiseen. Kuitupuuna on nykyisin paitsi nopeammin kasvanutta myös nuorempaa kuin ennen harvennuksiin perustuvan metsänhoitokäytännön yleistymistä viime vuosisadan puolivälissä.

Luston paksuus vaihtelee kasvupaikan viljavuudesta ja ilmasto-oloista, puuston iästä ja metsikön käsittelyhistoriasta riippuen. Puun ikääntyessä ja läpimitan kasvaessa uudet lustot jäävät ohuemmiksi. Luston keskimääräisen paksuuden sovellusarvoa puun laadun indikaattorina rasittaa kasvunopeuden vaihtelu puun elinaikana niin, että samassa pölkkyssä saattaa olla sekä paksu- että ohutlustoista puuta. Hoidetuissa metsissä lusto on paksuin lähellä ydintä ja ohuin viimeksi muodostuneessa pintapuussa (taulukko 2).

3.3 Kuoren osuus

Kuori on ohuinta ensiharvennusleimikoissa ja paksuinta päätehakkuuleimikoissa. Kun runko jaetaan puutavaralajeiksi, järeitten puitten paksukuorinen osa jää tukkipuuhun. Koska ensiharvennusleimikosta ei saada tukkipuuta, kaikki tyvet jäävät kuitupuuksi. Sen seurauksena mäntykuitupuun kuori onkin paksuinta ensiharvennusleimikoissa ja ohuinta päätehakkuuleimikoissa. Kuusella kuoren paksuuteen vaikuttaa voimakkaasti myös rungon koko niin, että kuitupuun kuori päinvastoin kuin männyllä on ohuinta ensiharvennusleimikoissa ja paksuinta päätehakkuuleimikoissa. Erot leimikkotyypin välillä ovat kuusella kuitenkin pieniä.

Koko rungossa kuoren keskimääräinen tilavuusosuus on leimikkotyypistä riippuen männyllä 8–15 % ja kuusella 9–11 %. Puutavaralajeista kuorta on eniten latvojen energiapuussa, ensiharvennusmänniköitten kuitupuussa sekä toisen harvennuksen mäntytykeissa, joista pääosa on tyvipölkkyjä (taulukko 3).

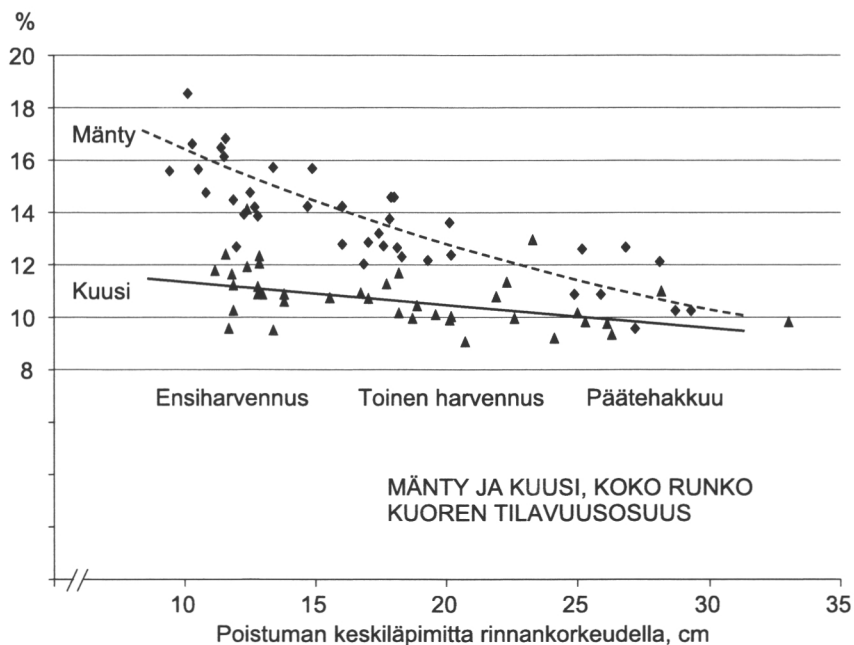
Koko rungon osalta kuoren tilavuusosuus on männiköissä suurempi kuin kuusikoissa (kuva 3). Kun leimikoittainen tarkastelu rajoitetaan kuitupuuhun, määräsuhte hieman muuttuu. Kuoren tilavuusosuus on silloin ensiharvennusleimikoissa suurempi männyllä mutta päätehakkuuleimikoissa kuusella (kuva 4).

Taulukko 2. Luston paksuus (mm) mänty- ja kuusikuitupuussa keskimäärin ja 10 viimeisen luston vyöhykkeessä.

Leimikkotyyppi	Mäntykuitupuuna		Kuusikuitupuuna	
	Kaikki lustot	Viimeiset lustot	Kaikki lustot	Viimeiset lustot
Ensiharvennus	2,6	2,2	2,6	2,2
Toinen harvennus	2,0	1,3	2,2	1,3
Päätehakkuu	1,5	1,0	1,7	1,0
Keskimäärin	1,7	1,2	1,9	1,1

Taulukko 3. Männyn ja kuusen eri puutavaralajien kuoriosuus leimikkotyypistä riippuen.

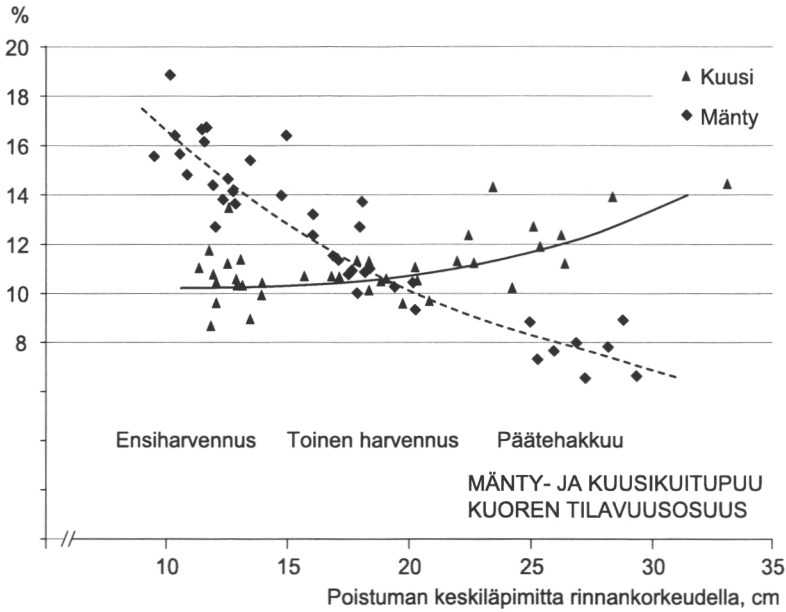
Puulaji	Leimikkotyyppi	Tukkipuu	Kuitupuu	Energiapuu	Koko runko
Kuoren tilavuusosuus, %					
Mänty	Ensiharvennus		15,1	14,7	15,1
	Toinen harvennus	11,9	10,1	11,9	11,1
	Päätehakkuu	8,6	7,1	11,3	8,5
	Kaikki		8,9		
Kuusi	Ensiharvennus		10,6	15,7	11,3
	Toinen harvennus	8,6	10,4	15,9	9,5
	Päätehakkuu	8,8	12,5	18,2	9,6
	Kaikki		11,8		



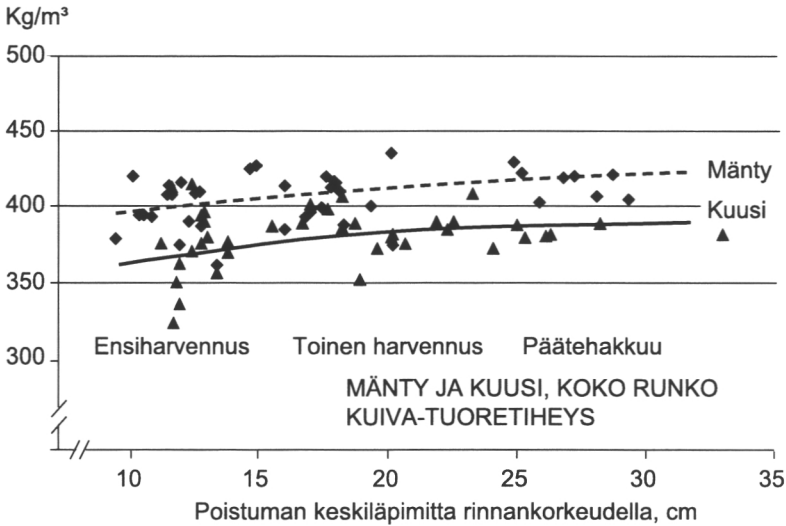
Kuva 3. Männyn ja kuusen kuoren tilavuusosuuden leimikoittainen vaihtelu. Koko runko.

3.4 Kuiva-tuoretiheys

Puun ikä, kasvunopeus ja perintötekijät ovat tärkeimmät kuiva-tuoretiheyden vaihtelun aiheuttajat. Päätehakkuuleimikoissa puuston korkea ikä nostaa tiheyttä.



Kuva 4. Männyn ja kuusen kuoren tilavuusosuuden leimikoittainen vaihtelu. Kuitupuu.



Kuva 5. Männyn ja kuusen kuorettoman puuaineen kuiva-tuoretiheyden leimikoittainen vaihtelu. Koko runko.

Toisaalta, koska hitaimmin kasvaneet puut on poistettu jo harvennushakkuissa, päätehakkuupuusto on ainakin metsikön nuoruusvaiheessa kasvanut keskimääräistä nopeammin, mikä vaikuttaa tiheyttä alentavasti. Männyllä iän vaikutus on voimakkaampi, kuusella taas kasvunopeuden.

Koko rungon keskimääräinen kuiva-tuoretiheys kasvaa ensiharvennuksista pääte-hakkuisiin. Kuusen ensiharvennusleimikoissa vaihteluväli on kasvunopeuden ja siihen liittyen harvennusiän eroista johtuen laeva. Ero hidas- ja nopeakasvuisen ensiharvennuskuusikon välillä voi olla leimikkotasolla jopa 100 kg/m^3 . Päätehakkuuvaiheeseen mennessä leimikoitten välinen vaihtelu supistuu. Runkokooltaan samanlaisissa leimikoissa männyn kuiva-tuoretiheys on $20\text{--}30 \text{ kg/m}^3$ korkeampi kuin kuusen (kuva 5).

Asetelma muuttuu, kun runko jaetaan puutavaralajeiksi ja tarkastelu kohdistetaan erikseen tukki-, kuitu- ja energiapuuhun. Erot leimikoitten välillä jäävät tavaralajien puitteissa paljon pienemmiksi kuin kokonaisten runkojen puitteissa, mikä aiheutuu tyvi- ja muitten järeitten pölkkyjen siirtymästä kuitupuusta tukkipuuhun metsikön varttuessa. Kuitupuuosite sisältää ensiharvennusvaiheessa kaikki tyvipölkkyt ja toisessa harvennuksessa vielä merkittävän osan tyvipölkkyistä. Hoidetun männikön päätehakkuussa kuitupuuhun joutuu tuskin lainkaan tyvipölkkyjä, mikäli luston keskimääräinen paksuus on vähintään $1,3 \text{ mm}$ ja puu on laatusa puolesta kellovöllistä sahatavaraksi. Mäntykuitupuun keskimääräinen kuiva-tuoretiheys on edellä mainitusta syystä korkein toisen harvennuksen leimikoissa (kuva 6).

Tukkipuun erottaminen raaka-ainevirrasta vaikuttaa mäntykuitupuuhun kuiva-tuoretiheyttä alentavasti. Kuusella vaikutus on päinvastainen, kun sen puuaineen tiheys vaihtelee rungon pituussuunnassa vain vähän. Enemmän vaikuttaa kuusella se, että tukkipuurungot ovat kasvaneet nopeammin kuin kuitupuurungot (kuva 7).

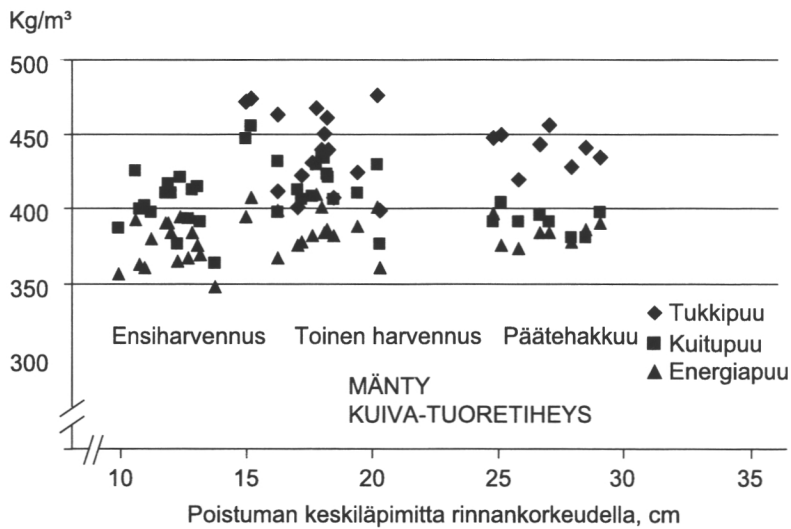
Leimikkotyypien sisäinen leimikkovaihtelu on paljolti tulosta kasvunopeuseroista. Hidaskasvuinen metsikkö saavuttaa tietyn hakkuuvaiheen myöhemmin kuin nopeakasvuinen. Siksi kuiva-tuoretiheyden ennustaminen tarkentuu, kun leimikkotyypin rinnalla otetaan huomioon myös puuston ikä. Niin männyllä kuin kuusellakin sekä koko rungon että sen kuitupuuositteen kuiva-tuoretiheys on leimikkotyypin sisälläkin sitä korkeampi, mitä vanhemmalla iällä hakkuu toteutetaan.

3.5 Kuorellisen kuitupuun puuainesisältö

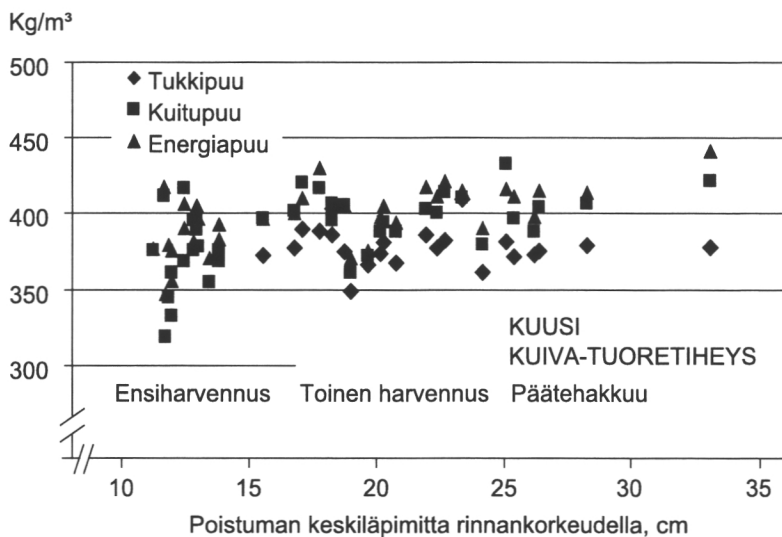
Puumassateollisuuden raaka-aineen kulutus ilmoitetaan kuorellisina kuutiometreinä puumassatonna kohti. Kulutus riippuu toisaalta prosessitekniikasta ja tuotteesta sekä toisaalta puutavaran ominaisuuksista, joista tärkeimmät ovat kuoren tilavuusosuus ja puun kuiva-tuoretiheys. Kulutukseen vaikuttavat lisäksi esimerkiksi puun uuteainepitoisuus ja oksapuun määrä.

Kuorellisen kuitupuun puuainesisältö on kuoren tilavuusosuuden ja puun kuiva-tuoretiheyden yhteisvaikutuksen tulos. Kuoren tilavuusosuus viittaa tässä yhteydessä pystypuustossa vallitsevaan tilaan. Se hupenee korjuun ja kuljetuksen aikana ja on siis pienempi kuitupuun saapuessa tehtaalle.

Leimikoitten välillä voi olla puuainesisällössä merkittäviä eroja (kuva 8). Kuitupuun puuainesisältö on korkein myöhäisissä harvennuksissa ja alhaisin ensiharvennuksissa. Leimikoittainen keskiarvo on tutkimusaineistossa männyllä ensiharvennuksessa 330 kg , toisessa harvennuksessa 373 kg ja päätehakkuussa 362 kg

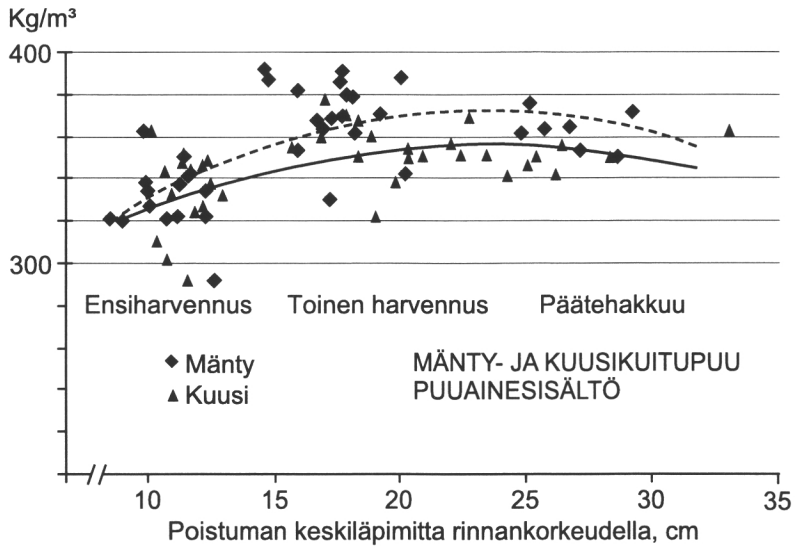


Kuva 6. Kuorettoman puuaineen kuiva-tuoretiheyden leimikoittainen vaihtelu männyllä puutavaralajeittain.



Kuva 7. Kuorettoman puuaineen kuiva-tuoretiheyden leimikoittainen vaihtelu kuusella puutavaralajeittain.

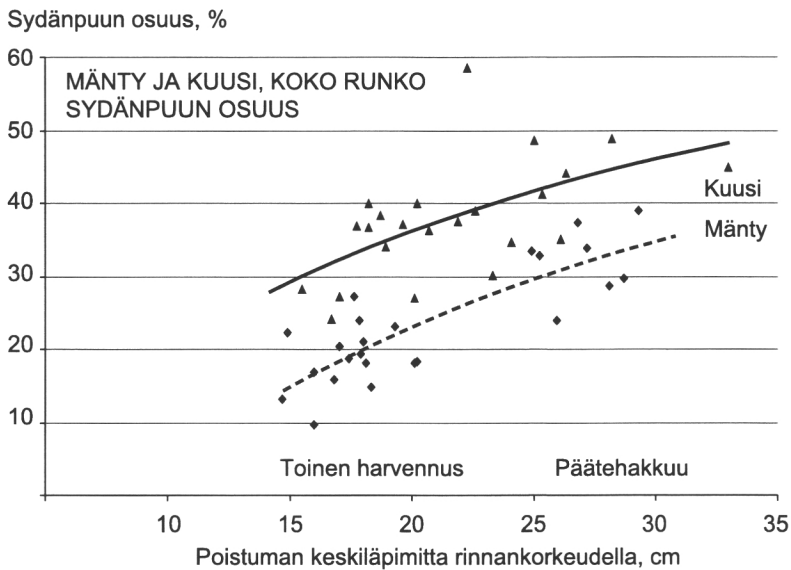
kuoretonta puuta kuorellisessa kuutiometrissä. Kuusella vastaavat arvot ovat 332 kg, 353 kg ja 350 kg puuta kuorellisessa kuutiometrissä. Puuainesisältö on ensiharvennuksissa männyllä noin 10 % ja kuusella noin 5 % alhaisempi kuin muissa leimikoissa.



Kuva 8. Männyn ja kuusen kuorellisen kuitupuukuutiometrin kuoreton puuainesisältö leimikoittain.

3.6 Sydänpuun osuus

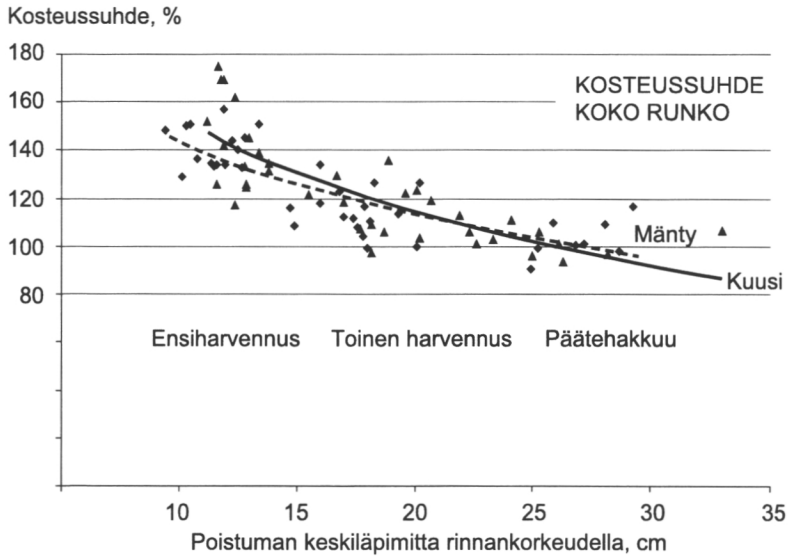
Sydänpuuosuuden vaihtelua metsiköitten välillä selittävät parhaiten metsikön ikä ja kasvunopeus. Myös puitten koon perusteella voidaan leimikkotasolla ennustaa, miten suuri osuus rungon kuorettomasta tilavuudesta on sydänpuuta. Kuvasta 9



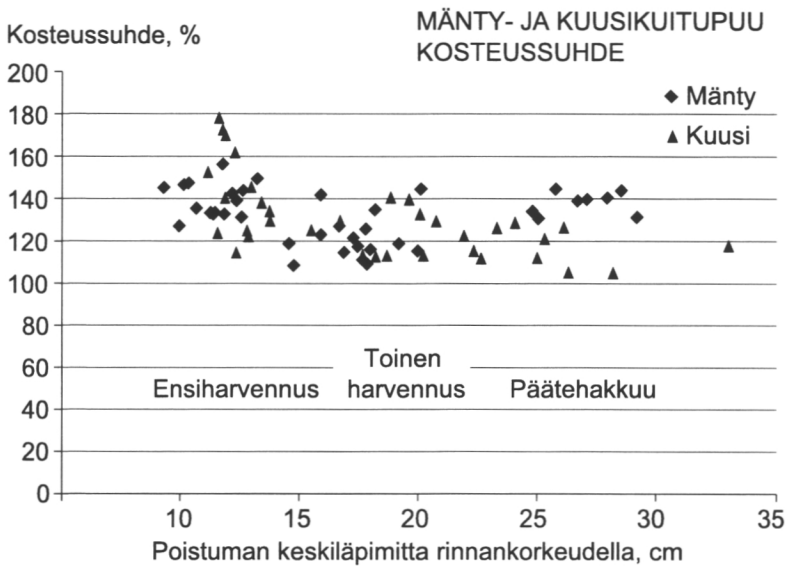
Kuva 9. Männyn ja kuusen sydänpuuosuuden leimikoittainen vaihtelu. Koko runko.

nähdään sydänpuuosuuden riippuvuus poistuman keskiläpimitasta. Kun keskiläpimitta nousee 15 cm:stä 30 cm:iin, sydänpuuosuus kasvaa noin 20 prosenttiyksikköä nousten männyllä 35 %:n ja kuusella 45 %:n tasolle. Leimikkokohtaisesti voi kuitenkin esiintyä suuriakin poikkeamia.

Tilanne muuttuu jälleen, kun runko jaetaan puutavaralajeiksi. Tukkipuulla



Kuva 10. Männyn ja kuusen puuaineen kosteussuhteen leimikoittainen vaihtelu. Koko runko.



Kuva 11. Männyn ja kuusen puuaineen kosteussuhteen leimikoittainen vaihtelu. Kuitupuu.

sydänpuuosuuden ja läpimitan välinen riippuvuus säilyy selvänä, joskin se on väljempi kuin kokonaisilla rungoilla. Pelkällä kuitupuuositteella sen sijaan tällaista riippuvuutta ei enää ole. Leimikkokohtaisesti kuitupuun sydänpuuosuus on männyllä 10–25 % ja kuusella 15–40 %, mutta vaihtelu ei ole selitettävissä poistettavan puuston läpimitalla. Poikkeuksena ovat ensiharvennusleimikot, joissa sydänpuun osuus on pieni, männyllä 5–10 % ja kuusella 10–15 %.

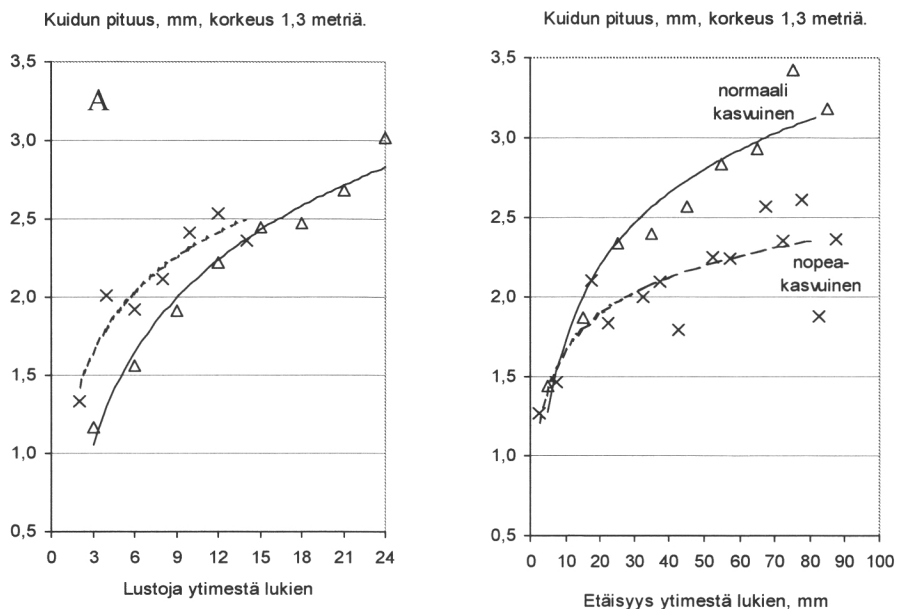
3.7 Kosteussuhde

Puuaineen kosteussuhde riippuu ennen kaikkea metsikön iästä. Kun tarkastelun kohteena on kokonainen runko, kosteussuhde on ensiharvennusleimikoissa noin 140 % ja päätehakuuleimikoissa 100 %. Ero männyn ja kuusen välillä on vähäinen (kuva 10).

Kun tarkastelu rajoitetaan kokonaisen rungon sijasta vain sen kuitupuuositteeseen, leimikkotyypin välille syntyy eroja. Mäntykuitupuussa kosteussuhde on alhaisin myöhäisissä harvennuksissa ja kuusikuitupuussa suuren sydänpuuosuuden seurauksena päätehakuissa (kuva 11).

3.8 Kuidun pituus

Paperin ominaisuudet riippuvat kuitujen dimensioista, joista ehkä tärkein on kuidun pituus. Koska kuidun pituus kasvaa siirryttäessä puun ytimestä ulospäin, ensiharvennuspuun kuidut ovat keskimäärin lyhyempiä kuin muun kuitupuun.



Kuva 12. Kuidun pituus normaalikasvuisessa (lusto 2 mm) ja erittäin nopeakasvuisessa (lusto 7 mm) nuorena kuusirungossa rinnankorkeudella.

Taulukko 4. Kuidun pituus rungon eri osissa tyypillisessä ensiharvennusmännnyssä ja -kuudessa. Puun ikä noin 32 vuotta ja pituus 11 m.

Korkeus tyveltä, m	Ensiharvennusmänty		Koko kiekko	Ensiharvennuskuusi		Koko kiekko
	Etäisyys ytimestä, mm			Etäisyys ytimestä, mm		
	alle 30	yli 30		alle 30	yli 30	
	Kuidun pituus, mm					
9,5	1,7	2,5	1,7	1,8		1,8
7,5	1,9	2,6	2,1	1,9	2,6	2,1
5,5	2,2	2,7	2,4	2,0	2,5	2,1
3,5	2,0	2,8	2,5	2,1	2,7	2,3
1,5	1,9	2,7	2,4	2,1	2,7	2,4
Kaikki	1,9	2,7	2,3	2,1	2,7	2,3

Kuusella kuidun pituus on ensimmäisissä lustoissa alle 1 mm, mutta jo 10. lustoon mennessä se ylittää 2 mm:n pituuden. Kasvunopeus vaikuttaa kuusikuitupuun kuidun pituuteen lähinnä sitä kautta, että nopeakasvuissa pölkkyssä lustojen lukumäärä on pienempi ja kuidun pituus siksi lyhyempi. Kuvassa 12 vertaillaan kuidun pituutta normaalikasvuissa ja erittäin nopeakasvuissa rungoissa. Kun etäisyys ytimestä mitataan lustojen lukumäärinä, ero näyteparin sisällä on vähäinen. Mutta kun etäisyys mitataan millimetreinä, ero on merkittävä.

Ensiharvennuspuussa kuidun pituus kasvaa paitsi ytimestä pintaa kohti, sen seurauksena myös tyveltä latvaa kohti. Siinä osassa runkoa, joka täyttää kuitupuun läpimittavaatimuksen, kuidun pituus on keskimäärin noin 2,3 mm. Tähteeksi jäävässä latvakappaleessa kuidun pituus on selvästi alle 2 mm (taulukko 4).

Puumassateollisuuden kannalta ensiharvennusmännny ja -kuusen lyhyt, keskimäärin 2,3 mm:n kuitu on ongelma. Myöhäisistä harvennushakkuista ja päätehakkuista saatavassa puutavarassa kuitu on puun korkeamman iän ansiosta pitempi, ja kaikkein pisin se on sahatukkien pintaosista valmistetussa sahanhakkeessa. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisemattoman aineiston mukaan kuidun pituus on männyn sahanhakkeessa 3,0–3,4 mm ja kuusen sahanhakkeessa 3,1–4,0 mm. Tästä erosta johtuu, ettei ensiharvennuspuu ole haluttua korkeata repäisylyjuutta vaativiin paperituotteisiin.

Kirjallisuus

Hakkila, P., Saranpää, P., Kalaja, H. & Repola, J. 2002. Suomalainen havukuitupu. Laadun vaihtelu ja hallinta. Käsikirjoitus.

Saranpää, P. 2002. Ensiharvennusmänty ja -kuusi kuituraaka-aineena. Käsikirjoitus.

Liitetaulukko. Mäntykuitupuun (Mäk) ja kuusikuitupuun (Kuk) keskimääräiset ominaisuudet leimikkotyypeittäin Suomen eteläosassa.

Ominaisuus	Ensiharvennus		2. harvennus		Päätehakkuu	
	Mäk	Kuk	Mäk	Kuk	Mäk	Kuk
Pölkyn keskiläpimitta, mm	12,1	12,8	12,7	13,5	12,6	13,2
Luston paksuus, mm						
Keskimäärin	2,6	2,6	2,0	2,2	1,5	1,7
10 viimeistä	2,2	2,2	1,3	1,3	1,0	1,0
Kuori						
Paksuus, mm	5,0	3,4	3,6	3,8	2,4	4,4
Tilavuusosuus, %	15,1	10,6	10,1	10,4	7,1	12,5
Kuivamassaosuus, %	9,6	9,2	6,8	8,8	5,8	10,6
Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³						
Puuaine	398	374	415	396	393	401
Kuori	260	339	280	340	293	348
Kuorellinen puu	380	371	401	390	385	394
Puuta kg / m ³ (kuorineen)	338	334	373	355	365	350
Kuidun pituus, mm	2,3	2,3	...	...	...	...
Sydänpuuosuus, %	...	...	17	31	19	33
Oksien tilavuusosuus, %	1,5	...	1,0	...	1,6	0,9
Puuaineen kosteussuhde, %	138	138	122	121	134	114
Kuorellinen tuoretiheys, kg/m ³	901	880	883	858	897	841
Hukkapuun osuus korjuutyömailla, %	23	27	10	16	4	5

Kuusen laatu ja arvo sahauksessa

Erkki Verkasalo¹, Pentti Sairanen², Hannu Yli-Kojola², Matti Maltamo³, Peter Melén⁴

¹ Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

² Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

³ Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta

⁴ Yrkeshögskolan Sydväst, Ekenäs

1 Johdanto

Kuusi on ohittanut sahausmäärissä männyn jo 1990-luvun alussa Suomessa. Tämä on tapahtunut sekä perinteisen läpimitaltaan vähintään 16 cm:n normaalitukin että 12–16 cm:n pikkutukin sahausta kasvattamalla. Kuusitukin käyttö sahateollisuudessa on kehittynyt eri suhdannevaiheiden kautta siten, että se oli 9,9 milj. m³ vuonna 1980 (korkeasuhdanne), 7,0 milj. m³ vuonna 1985 (taantumana), 8,6 milj. m³ vuonna 1990 (vielä korkeasuhdannetta), 7,3 milj. m³ vuonna 1991 (taantumana aallonpohja), 12,2 milj. m³ vuonna 1994 (edellinen suhdannehuippu) ja 14,8 milj. m³ vuonna 2000 (kuusen käytön ennätys) (Peltola 2001).

Lisäksi vaneriteollisuudesta on tullut merkittävä järeän kuusen käyttäjä 1990-luvulla, jona aikana kuusivaneritukin käyttö on kolminkertaistunut vuoden 1991 tasolta 0,5 milj. m³ vuoden 2000 tasolle 1,7 milj. m³ (Peltola 2001). Kuusen käyttö on kasvanut samanaikaisesti hiokkeena ja hierteenä, joissa muodoissa se on pääasiallinen puumassalaji useissa paperilaaduissa, sekä sulfaattiselluloosana, jossa muodossa sitä käytetään tarvittavaa lujuutta tuovana armeerausmassana muuten lähinnä hyvään painatusjälkeen, keveyteen ja kustannustehokkuuteen perustuvissa paperi- ja kartonkilaaduissa. Kuusen käyttö mekaanisiksi massoiksi ja selluloosaksi on kehittynyt vuoden 1991 määrästä 7,6 milj. m³ ja 1,6 milj. m³ vuoden 2000 määrään 8,9 milj. m³ ja 2,4 milj. m³ (Peltola 2001).

Pääpuulajiemme käytön historia huomioon ottaen on ymmärrettävää, että kuusen asema suomalaisessa puuntutkimuksessa on ollut toissijainen männyn ja koivun rinnalla sekä puun laatukasvatuksen että teollisen käytön tietotarpeiden kannalta katsoen. Tämä on näkynyt tutkimusten kohdentamisessa ja resursoinnissa sekä julkaisutoiminnan laajuudessa koskien sekä perustutkimusta että soveltavaa tutkimusta.

Suomalaisen kuusen laatuominaisuuksista on tutkittu yleisellä tasolla ja samalla puutuoteteollisuuden puunkäyttöä ajatellen varsin runsaasti oksikkuutta, lahoisuutta ja tukkipuukertymiä sekä kuusisahatavaran laatua ja arvoa. Kuusen puuaineen morfologisista ja fysikaalisista ominaisuuksista on tutkittu lähinnä luston paksuutta ja puuaineen tiheyttä ja niiden vaihtelua sekä sydän-, reaktio- ja nuorpuuta ja niiden ominaisuuksia. Jossain määrin on tutkittu myös puuaineen mekaanisia ominaisuuksia. Verraten kattavat luettelot suomalaisen kuusen ominai-

suuksien ja laadun tutkimuksista ovat esittäneet esim. Kärkkäinen (1985a, 1985b) ja Verkasalo ym. (2002).

Metlan puuntutkimuksen tutkijaryhmässä reagoitiin kuusen käytössä tapahtuneeseen kehitykseen ja mekaanista käyttöä koskevan tutkimustiedon suhteelliseen vähyyteen 1990-luvun puolivälissä, jolloin aihepiiristä käynnistettiin laajat puuteknologiset tutkimukset. Nämä tutkimukset käsittivät ennen kaikkea laajat perustutkimukset Etelä-Suomen tukkikuusikoiden, tukkirunkojen ja tukkien teknisistä ominaisuuksista ja teollisista laatu- ja arvosuhteista sahauskannalta. Lisäksi määritettiin mahdollisuuksia ennustaa ja hallita kuusirunkojen laatua ja käyttöarvoa metsiköistä ja rungoista ulkoisesti mitattavissa tai arvioitavissa olevien ominaisuuksien perusteella ja tutkittiin mitä vaikutuksia kuusisahatavaran loppukäytöstä johdettavalla erikoistuvan, tuotelähtöisen sahauskannan periaatteella on sahauskannan saantoon ja sahatavaran laatuajakaumaan ja arvoon verrattuna perinteiseen sahatuottoiseen ns. bulkki-sahauskannan periaatteeseen. Kuusitutkimukset laajennettiin rinnan em. tutkimusten suunnittelun kanssa ja myöhemmin Wood Wisdom -tutkimusohjelmassa koskemaan myös kuituteollisuuden raaka-ainetta ja käyttöä.

Tässä artikkelissa esitellään päätuloksia edellä kuvatuista puutuoteteollisuuden kuusiraaka-ainekysymyksiä käsitteistä tutkimuksista. Tulokset on raportoitu yksityiskohtaisesti Metlan vuosina 1994–2001 toteuttamien kuusen laadun ja arvon tutkimusten loppuraportissa (Saranpää & Verkasalo 2002).

2 Tutkimusaineistot ja menetelmät

Tutkimusaineisto käsittää yhteensä 240 kuusen kaatokoepuuta 48 kuusivaltaisesta metsiköstä, joista on kolmannes luontaisesti syntyneitä MT-OMT -kivennäismaiden kuusikoita, kolmannes istutettuja MT-OMT -kivennäismaiden kuusikoita ja kolmannes luontaisesti syntyneitä korpikuusikoita. Alueellisesti aineisto on peräisin neljältä alueelta maan eteläosasta, joilla kasvuedellytykset ovat erilaisia lämpösumman, ilmaston mereisyyden/mantereisuuden ja maanpinnan korkeuden mukaan: 1) Etelä-Suomi, rannikko, 2) Etelä-Suomi, sisämaa, 3) Suomenselkä, 4) Savo. Aineisto koostuu normaalin säännöllisen metsänhoidon periaatteilla käsitellyistä talousmetsiköistä. Aineistoon valittiin vain tukkipuukokoisia (rinnankorkeusläpimitta 18–40 cm) ja ulkoisen arvion perusteella sahauskelpoisia runkoja; erityisesti hylättiin runkomuotovikaiset ja ilmeisen lahoiset rungot (taulukko 1).

Koepuista tehtiin yksityiskohtaiset pysty- ja kaatokoepuumittaukset ja laboratoriossa analysoitiin erilaisia puuaineen ominaisuuksia kiekkoista ja oksien ominaisuuksia kiehkuranäytteistä. Mittausten perusteella laadittiin geometriset kuvaukset rungoista splini-tasoituksella (Lahtinen & Laasasenaho 1979) ottaen huomioon soikeus ja muodostettiin niihin sisälaatu oksien, lylypuun ja pinta-/sydänpuun osalta. Jokaisen ulkoisesti havaitun kiehkuraoksen läpimitan kehittyminen rungon kuorettomasta pinnasta ytimeen ja kuolleilla oksilla terveen ja kuolleen oksan rajakohta ennustettiin useamman selittävän muuttujan regressiomalleilla. Lyly- ja sydänpuun rajakohdat tasoitettiin rungon sisään kiekkonäytemittausten perusteella.

Taulukko 1. Kuusitukkirunkojen ominaisuuksien keskiarvoja ja -hajontoja kuusitukkirunkojen ja -tukkien laadun ja arvon tutkimuksissa metsikkötyypin ja maantieteellisen alueen mukaan. Alueet: 1 = Etelä-Suomi, rannikko; 2 = Etelä-Suomi, sisämaa; 3 = Suomenselkä; 4 = Savo.

Metsikkö- tyyppi	Maantie- teellinen alue	N	D _{1,3} , cm		Ikä, a		Pituus, m		Tilavuus, dm ³	
			\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Ojitettu korpi, luontaisesti syntynyt	1	20	27,6	6,8	89	27	23,9	3,0	769	424
	2	20	27,1	4,9	99	34	23,0	2,7	715	324
	3	20	26,4	4,5	126	25	21,7	2,5	595	281
	4	20	23,8	4,3	107	16	20,1	2,3	473	224
	Σ	80	26,2	5,0	111	26	22,0	2,9	627	321
MT-OMT, luontaisesti syntynyt	1	20	30,6	8,3	86	24	24,4	2,6	930	501
	2	25	26,9	6,5	81	28	23,4	3,4	698	371
	3	25	27,6	5,2	108	21	22,5	2,3	664	256
	4	20	27,3	5,9	102	13	22,9	2,8	705	318
	Σ	90	28,0	6,5	94	25	23,2	2,9	742	375
MT-OMT, istutettu	1	20	24,9	4,9	66	10	24,1	3,2	653	337
	2	15	24,3	4,5	57	12	22,3	2,4	528	233
	3	15	25,4	3,8	70	6	21,8	2,9	571	249
	4	20	29,6	5,8	66	8	24,6	3,0	962	348
	Σ	70	26,2	5,2	65	10	23,4	3,1	668	325

Muodostetut rungot apteerattiin teoreettisesti kuudella vaihtoehtoisella periaatteella:

1. Normaalitukit 5,5 m, min-latvalpm 16 cm; pikkutukit 4,3 m, min-latvalpm 12 cm; kuitupuu min-pituus 3 m, min-latvalpm 7 cm
2. Normaalitukit 4,3–5,8 m, min-latvalpm 16 cm; pikkutukit 4,3 m, min-latvalpm 12 cm; kuitupuu min-pituus 3 m, min-latvalpm 7 cm
3. Sorvitukit 5,2 m, min-latvalpm 20 cm; normaalitukit 4,3–5,8 m, min-latvalpm 16 cm; pikkutukit 4,3 m, min-latvalpm 12 cm; kuitupuu min-pituus 3 m, min-latvalpm 7 cm
4. Kuten 2, mutta tukin katkaisu juuri latvusrajan alapuolelta (pölkkipituuksien puitteissa)
5. Kuten 2, mutta tukin katkaisu 1 m latvusrajan alapuolelta (pölkkipituuksien puitteissa)
6. Kuten 2, mutta tukin katkaisu 2 m latvusrajan alapuolelta (pölkkipituuksien puitteissa)

Tukkien ja pikkutukkien kappalemäärät ja keskitilavuudet apteeraustavoittain on esitetty taulukossa 2. Sahattavia tukkeja syntyi rungoista apteeraustavasta riippuen 660–761 kpl, joiden keskitilavuus oli vastaavasti 160–220 dm³.

Kullakin apteerausvaihtoehdolla saaduille normaali- ja pikkutukeille tehtiin sahauskeskeisen simulointi Metlassa tutkimusta varten kehitetyllä simulointiohjelmalla edelleen teoreettisesti; sahaussuunta valittiin satunnaislukugeneraattorilla sillä rajoituksella, että kunkin tukin latvan soikeus otettiin huomioon. Simuloinnit tehtiin sekä perinteisen sahaustavan mukaisesti sahatuottoisesti eli ns. bulkkisahauskella, jossa pyritään maksimoimaan saantoa, että erikoistuvan tuotelähtöisen sahaustavan mukaisesti, jossa pyritään saamaan erityisesti terveokksaisia, täyssärmäisiä ja tiettyistä tukkiluokista lisäksi ydinvapaita laatuja. Periaatteena oli, että molemmilla sahaustavoilla sahataan täsmälleen samat tukit, jolloin oletettiin tukkien läpimittaja ja pituusjakaumat samoiksi. Näin ei välttämättä ole käytännössä, vaan asiakas- ja tuotekohtaisesti erikoistuva sahaus saattaa vaatia tuote- ja asiakaskohtaisesti vaihtavia tukkimittoja.

Simuloinnin tuloksena saadut saheet laatuluokiteltiin tietokonelaskentana teoreettisesti sekä pohjoismaisten NT-lajittelunormien (perinteinen sahaus, Nordic Timber... 1994) että tuotelähtöisten lajittelunormien mukaan (erikoistuva sahaus, suulliset tiedot eräältä tutkimusta konsultoineelta sahalta). Saheiden luokittelussa voitiin ottaa huomioon dimensiot, oksikkuus ja vajaasärmäisyys, sen lisäksi tarkasteltiin rinnalla vaihtoehtoa, jossa myös reaktiopuu (lyly) otettiin huomioon. Saheet hinnoiteltiin vuosien 1994 ja 1995 keskihintojen keskiarvon perusteella. Perinteisen ja tuotelähtöisen sahauskeskeisen asetetiedot, tuotelähtöiset laatuluokitusohjeet ja laatuluokittaiset hintataulukot saatiin kahdelta tutkimusta konsultoineelta sahalta. Rungoille ja tukeille laskettiin teoreettiset bruttoarvot summaamalla saheiden em. tavalla saadut vientihinnat, puumassateollisuudelle menevän sahanhakkeen ja -purun myyntihinnat (hinta paperitehtaalla) ja kuitupuun ja sorvitukin myyntihinnat (hinta paperi- tai vaneritehtaalla).

Taulukko 2. Kuusitukkirunkojen simuloitussa apteerauksessa saatujen normaali- ja pikkutukkien kappalemäärät ja keskidimensiot apteeraustavoittain.

	Apteeraustapa					
	1	2	3	4	5	6
Normaalitukit						
Kpl	611	641	480	620	624	631
Keskitilavuus, dm ³	235,7	225,8	176,8	232,6	231,7	229,6
Pikkutukit						
Kpl	150	26	280	69	75	63
Keskitilavuus, dm ³	106,2	85,2	131,9	94,2	93,0	93,5
Kaikki sahatukit						
Kpl	761	667	760	689	699	694
Keskitilavuus, dm ³	210,2	220,3	160,3	218,7	216,8	217,2

Kuusitukkirunkojen ja tukkien arvon riippuvuutta metsikön rungon ja tukin ominaisuuksista tarkasteltiin korrelaatio-, regressio- ja kovarianssianalyysillä, metsikön satunnaisvaikutuksen erottelemiseksi lineaarisella sekamallitekniikalla sekä havainnollistettiin ristiintaulukoinnilla ja grafiikalla. Rungon ja tukin tilavuusyksikköä kohti lasketun bruttoarvon selittäjiksi valittiin alustavien analyysien ja tutkimuksen tehtävänasettelun perusteella hankinta-alue ja metsikkötyyppi (kivennäismaa/turvemaa, syntytyyppi), rungon rinnankorkeusläpimitta ja elävän latvuksen alaraja ja viiden metrin tyviosan runkokäyrällä kiekkonäytemittauksista painotettu puuaineen keskimääräinen vuosiluston leveys ja kuiva-tuoretiheys. Muitakin selittäjiä kokeiltiin alustavissa analyyseissä, mm. puun ikää ja rungon kapenemista, mutta näillä oli haitallista keskinäisriippuvuutta muiden niitä merkitsevämpien tekijöiden kanssa.

3 Päätuloksia ja niiden tarkastelua

3.1 Kuusen sisäoksien koon ja laadun ennustaminen

Sisäoksat muodostettiin kuusirunkoihin erikseen laadituilla usean selittävän muuttujan regressiomalleilla. Näillä ennustettiin kuolleiden ja terveiden oksien läpimitat säteen suunnassa ja kuolleille oksille lisäksi terveeseen ja kuolleen oksanosan rajakohdat aineiston keruussa määritettyjen metsikkö- ja runkotason tekijöiden perusteella. Lähtöaineistona olivat oksakiehkuroiden sisärakenteesta tehdyt laboratorio-mittaukset.

$$Y_1 = 0,270 + 1,119X_1 + 0,4053X_1^2 - 0,7347X_1^3 - 0,1945X_2$$

$$N = 4218, R^2 = 0,74, S_E = 0,139 \quad (1)$$

Missä: Y_1 = Oksan suhteellinen läpimitta verrattuna läpimittaan kuorettomassa vaippapinnassa.

X_1 = Terveillä oksilla: tarkastelukohdan suhteellinen etäisyys säteen suunnassa kuorettomasta vaippapinnasta verrattuna kuorettomaan säteeseen.

Kuolleilla oksilla: tarkastelukohdan suhteellinen etäisyys kuolleen ja terveeseen oksanosan rajakohdasta verrattuna etäisyyteen ytimeistä rajakohtaan.

X_2 = Oksan suhteellinen korkeusasema rungossa verrattuna rungon pituuteen kaatokorkeudelta ylöspäin.

$$Y_2 = 0,5188 - 0,5479X_1 + 0,001373X_1^{-1} - 8,0212 \cdot 10^{-6} X_1^{-2} \\ + 5,293 \cdot 10^{-9} X_1^{-3} - 0,01165X_2 + 0,7879X_2^{-1} - 0,5353X_2^{-2} \quad (2)$$

$N = 2320, R^2 = 0,54, S_E = 0,133$

- Missä: Y_2 = Kuolleen oksan terveen ja kuolleen oksanosan rajakohdan suhteellinen etäisyys kuorettomasta vaippapinnasta verrattuna kuorettomaan säteeseen.
- X_1 = Kuolleen oksan suhteellinen korkeusasema rungossa verrattuna rungon pituuteen kaatokorkeudelta ylöspäin.
- X_2 = Kuolleen oksan läpimitta kuorettomassa vaippapinnassa, mm.

3.2 Kuusitukkirungon ja -tukkiosan arvoon vaikuttavat tekijät

Kuusitukkirunkojen ja tukkien arvon riippuvuutta metsikön, rungon ja tukin ominaisuuksista tutkittiin monipuolisesti. Esimerkkinä esitetään tässä kuusitukkirungon ja sen tukkiosan bruttoyksikköarvon riippuvuussuhteet luvun 2 viimeisessä kappaleessa mainituista tekijöistä apteeraustavalla 2, jossa rungosta katkottiin 4,3–5,8 metrin normaalisahatukkeja (kuorellinen minimiläpimitta 16 cm), 4,3 metrin pikkutukkeja (minimiläpimitta 12 cm) ja ns. vapaapituista kuitupuuta (minimipituus 3,0 m, minimiläpimitta 7 cm). Sahaustapa oli tässä perinteinen sahatuottoinen.

Tuloksia analysoitiin aluksi lineaarisella sekamallitekniikalla, jossa oli tarkoituksena määrittää, oliko tarkasteltaviksi otettujen selittävien tekijöiden lisäksi jollakin muulla tunnistamattomalla metsikön ominaisuudella merkitsevää vaikutusta rungon tai sen tukkiosan yksikköarvoon (taulukko 3). Tunnistamattomia ominaisuuksia kokonaisuutena kuvaavan koala-muuttujan vaikutuksen merkitsevyytaso oli 0,07–0,14, josta vaikutus voidaan päätellä suuntaa antavaksi mutta ei merkitseväksi (riskitaso 5 %).

Tämän jälkeen tehtiin kovarianssianalyysit samojen arvotunnusten selittämiseksi (taulukko 3). Tutkimuksia aloitettaessa oletettiin, että kuusen laatu ja arvo sahapuuna riippuisi lähinnä järeydestä, oksikkuudesta ja kapenemisesta. Rungon arvo kuutiometriä kohti kohosikin selvästi rungon läpimitan ja vähemmän selvästi alimman elävän oksan korkeuden kohotessa, nämä olivat selvästi tärkeimmät arvon vaihtelun lähteet. Lisäksi Suomenselän alueen kuusten arvo oli alhaisempi kuin muiden alueiden kuusten ja kuusen arvo kohosi tyvitukin puuaineen tiheyden kasvaessa. Rungon yksikköarvon vaihtelusta pystyttiin selittämään kuitenkin vain noin puolet, loppu jäännöshajonta oli noin 50 mk/m³.

Tukkiosan arvo riippui samalla tavalla rungon läpimitasta ja alimman elävän oksan korkeudesta kuin rungon arvo. Lisäksi tukkiosan arvo oli muita alueita korkeampi Savossa ja alhaisempi Suomenselällä ja lisäksi korpimailla alhaisempi kuin kivennäismailla. Tukkiosan arvon vaihtelusta pystyttiin selittämään vain kolmannes, loppu jäännöshajonta oli 40–55 mk/m³. Tyvitukin puuaineen tiheyden kasvu ja lylypuu laatuluokituksessa huomioon ottaen myös vuosiluston leveyden aleneminen kohottivat tukkiosan arvoa. Lylypuun huomioon ottaminen sahatavaran laatu-

Taulukko 3. Kuusitukkirungon ja sen tukkiosan yksikköarvon (mk/m^3) riippuvuus metsikkö-, runko- ja tukkitason muuttujista lineaarisen sekamallianalyysin ja kovarianssianalyysin mukaan, perinteinen sahaustapa. Apteeraustapa 2: 4,3-5,8 metrin normaalisahatukit (minimiläpimitta 16 cm), 4,3 metrin pikkutukit (minimiläpimitta 12 cm) ja kuitupuu (minimipituus 3,0 m, minimiläpimitta 7 cm). Arvokoodit: 1 = lylypuun esiintyminen sivuutettu sahatavaran laatuoluokituksessa, 2 = lylypuun vaikutus otettu huomioon sahatavaran laatuoluokituksessa.

Lineaarinen sekamallianalyysi

Selittävä muuttuja	Rungon arvo 1	Rungon Arvo 2	Tukkiosan	
			arvo 1	arvo 2
p-arvo				
Koela	0,0707	0,0691	0,0954	0,1426
Alue	0,4370	0,5354	0,2455	0,6587
Metsikkötyyppi	0,5389	0,2132	0,0710	0,0002
Rinnankorkeusläpimitta	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
Elävän latvuksen alaraja	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Tyvitukkiosan vuosiluston leveys	0,8623	0,0691	0,7338	0,0196
Tyvitukkiosan kuiva- tuoretiheys	0,0462	0,0691	0,0004	0,0391

Kovarianssianalyysi

Selittävä muuttuja	Rungon arvo 1	Rungon Arvo 2	Tukkiosan	
			arvo 1	arvo 2
p-arvo				
Alue	0,0852	0,5354	0,2455	0,6587
Metsikkötyyppi	0,3721	0,2132	0,0710	0,0002
Rinnankorkeusläpimitta	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
Elävän latvuksen alaraja	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Tyvitukkiosan vuosiluston leveys	0,9615	0,0691	0,7338	0,0196
Tyvitukkiosan kuiva- tuoretiheys	0,0615	0,0691	0,0004	0,0391
Selitysaste (R^2)	0,532	0,496	0,358	0,326
Jäännöshajonta (RMSE)	49,6	56,4	38,4	53,7
Keskisarvo, mk/m^3	553,4	504,6	608,8	550,8

luokituksessa alensi keskimäärin rungon yksikköarvoa $49 \text{ mk}/\text{m}^3$ ja tukkiosan yksikköarvoa $58 \text{ mk}/\text{m}^3$, kummassakin tapauksessa noin 9 %.

Kuusella sisäisen laadun ja arvon ennustaminen on tunnetusti epätarkempaa kuin männyllä (esim. Kärkkäinen 1986a, 1986b). Myös tämän tutkimuksen tulosten

perusteella voidaan pääosin kyseenalaistaa kuusitukkirunkojen laatukatkonnan mielekkyys oksikkuuden perusteella. Kuusen järeyden ja oksikkuusrajojen korreloitumisen vuoksi on epävarmaa, voidaanko latvusrajaa käyttää apuvälineenä sisäisesti terve- ja kuollutoksaisen osan erottamiseen toisistaan. Sahojen tilauksiin suhteuttaen mutta kuitenkin sahauskelpoisen osan mahdollisimman täysimääräiseen hyödyntämiseen tähdäten määräpituuksien ja -paksuuksien hyödyntäminen sahatukkien apteerauksessa sopii tältäkin pohjalta kuuselle.

3.3 Kuusitukkirunkojen puutavaralajijakauma ja yksikköarvo

Taulukoissa 4 ja 5 on esitettyjä tuloksia aineiston kuusitukkirunkojen kokonaistilavuuden puutavaralajijakaumasta ja runkojen bruttoyksikköarvosta edellä kuvatulla tavalla määritettynä.

Normaali-, pikku- ja sorvitukkipuun osuus kertymästä oli kaikissa apteerausvaihtoehdoissa poikkeuksellisen korkea, lähes 90 %. Tämä johtui ennen kaikkea siitä, että aineistosta rajattiin rungoltaan huonomuotoiset ja ilmeisen lahoiset puut. Metsiköt sinänsä edustivat tavanomaisen metsänhoidon periaatteiden mukaan käsiteltyjä mutta joka tapauksessa hoidettuja metsiä, joten päätehakkuvaiheeseen kasvatettujen puiden koko- ja laatujaakauma oli aineistossa tästäkin syystä keskimääräisiä talousmetsiä parempi (ks. myös taulukko 1).

Ahosen ja Mäkelän (1995) valtakunnan metsien 8. inventoinnin aineistolla tekemän laskelman mukaan mitta- ja laatuvaatimuksiltaan tämän tutkimuksen normaalitukkia vastaavan tukkipuun osuus Etelä-Suomen metsälautakuntien kuusen kokonaistilavuudesta oli 48,9 %; tukkiosuuden vaihtelu metsälautakuntien välillä oli 32,4–61,6 %. Päätehakkupuustoissa tukkiosuus on luonnollisesti korkeampi. Riepon ja Marjomaan (1992) Etelä-Suomen päätehakuuleimikoissa tekemässä tutkimuksessa kuusen apteerausohjeiden mukainen ns. optimitukkiosuus oli 77,6 %. Pohjois-Karjalassa tehdyssä selvityksessä kuusen tukkiosuus oli 16 päätehakuuleimikon aineistossa ns. yleisapteerauksessa keskimäärin 72 % (Tolkki & Saramäki 1997), osuus oli sama eräässä hyvälaatuisessa kuusileimikossa Keski-Suomessa (Kerkelä 1997).

Runkojen apteeraussäännöt vaikuttavat luonnollisesti leimikoiden hakkuukertymiin ja kertymän puutavaralajirakenteeseen. Esim. Tolkin ja Saramäen (1997) selvityksessä kuusen tukkiosuus oli päätehakuuleimikoissa suurimmillaan 82 %, kun tukin minimiläpimitta oli 14 cm ja käytettävissä oli seitsemän tukkipituutta, ja pienimmillään 69 %, kun tukin minimiläpimitta oli 16 cm ja käytettävissä oli vain kaksi tukkipituutta.

Tässä tutkimuksessa saatiin selvästi pienemmät erot kuusileimikkotyyppien ja myös apteerausvaihtoehtojen välille kuin voidaan olettaa, joka tämäkin johtui ainakin osaksi tämän tutkimuksen otannasta. Normaalitukkien kertymä oli suurin tavanomaisessa apteerausvaihtoehdossa 2 eli 89 %, kun taas pikkutukkeja oli tällöin vain 1 %. Harvojen määrämittojen käyttö apteerausvaihtoehdossa 1 lisäsi selvästi pikkutukin osuutta, noin 10 prosenttiin. Sorvitukkien teko johti puolestaan tukkilajien osuuden tasoittumiseen, sorvitukkeja saatiin leimikon kokonaiskertymästä vajaa 40 %, normaalitukkeja 30 % ja pikkutukkeja yli 20 %.

Taulukko 4. Kuusitukkirunkojen käyttöosan puutavaralajijakauma metsikkötyypin mukaan apteerausvaihtoehdoissa 1-3.

Metsikkö- Tyyppi	Apteeraus	Normaalitukit	Pikkutukit Tilavuusosuus, %	Vaneritukit	Kuitupuu	Kaikki
						Tilavuus, m ³
Ojitettu korpi, luontaisesti syntynyt	1	77,7	10,8	0	11,5	47,3
	2	87,5	2,1	0	10,4	47,5
	3	30,1	22,5	37,0	10,4	47,3
MT-OMT, luontaisesti syntynyt	1	80,5	9,4	0	10,1	70,5
	2	89,3	1,2	0	9,8	70,5
	3	32,4	19,0	37,1	11,5	70,5
MT-OMT, istutettu	1	79,5	9,6	0	10,9	43,3
	2	88,2	0,9	0	10,9	43,3
	3	30,6	22,4	36,1	10,9	43,3

Taulukko 5. Kuusitukkirunkojen käyttöosan ja niiden tukki- ja pikkutukkiosan bruttoyksikköarvo metsikkötyypin mukaan apteerausvaihtoehdoissa 1-3, kun lylypuu on sivuutettu tai otettu huomioon sahatavaran laatuluokittelussa ja hinnoittelussa. Perinteinen sahaustapa (ns. bulkkisahaus).

Metsikkö- tyyppi	Apteeraus	Runko		Tukki- ja pikkutukkiosa	
		Lylypuu sivuutettu	Lylypuu otettu huomioon	Lylypuu sivuutettu	Lylypuu otettu huomioon
Bruttoyksikköarvo, mk/m ³					
Ojitettu korpi, luontaisesti syntynyt	1	561,7	518,7	608,5	559,9
	2	573,3	526,5	616,6	564,4
	3	443,6	402,0	620,0	592,9
MT-OMT, luontaisesti syntynyt	1	574,4	526,3	616,4	563,0
	2	577,1	527,8	617,9	563,3
	3	429,0	405,7	585,4	564,6
MT-OMT, istutettu	1	577,5	534,9	623,5	575,7
	2	583,1	538,6	629,7	579,9
	3	443,8	419,8	609,5	592,0

Korpikuusikoissa normaalitukin osuus oli 2–3 %-yksikköä pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa kuusikoissa. Ero oli samansuuntainen korpikuusikoiden ja kivennäismaiden istutuskuusikoiden välillä, 0,5–2 %-yksikköä, vaikka koepuiden keskiläpimitassa ei ollut eroa ja ero koepuiden iässä oli 46 vuotta päinvastaiseen suuntaan. Vaneritukin osuus oli sama korpikuusikoissa ja luontaisissa kivennäis-

maakuusikoissa, noin yhden prosenttiyksikön korkeampi kuin istutuskuusikoissa. Pikkutukin osuus oli korpikuusikoissa vastaavasti 1,0–3,5 %-yksikköä suurempi kuin kivennäismaiden luontaisissa kuusikoissa ja vaneritukin sisältänyttä apteerausvaihtoehtoa 3 lukuun ottamatta 0,2–1,4 %-yksikköä suurempi kuin kivennäismaiden istutuskuusikoissa. Mekaanisen puunjalostuksen raaka-aineen talteenoton jälkeen ylijäävän kuitupuun osuus oli apteerausvaihtoehtoa 3 lukuun ottamatta korpikuusikoissa 0,5–1,5 %-yksikköä suurempi kuin kivennäismaiden luonnonkuusikoissa. Apteerattaessa vaneritukkeja kuitupuun osuus oli korpikuusikoissa 0,5–1,5 % pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa tai istutetuissa kuusikoissa.

Kuusirungon käyttöosan bruttoarvo tilavuusyksikköä kohti oli perinteisen sahaustavan ns. bulkkisahauksen periaatteiden mukaan laskettuna korpikuusikoissa 0,7–2,7 % pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa tai istutetuissa kuusikoissa. Erot olivat pienimmät vaneritukin sisältäneessä apteerausvaihtoehdossa: järeiden tyvi- ja välitukkien hakkuu vaneripuuksi pienensi suhteellisesti vähiten korpikuusikoiden runkojen tuottoja. Tämä toisaalta vahvistaa käsitystä korpikuusten tyviosan alhaisemmasta arvosta kivennäismaihin verrattuna. Lylypuun huomioon ottaminen sahatavaran laatuluokituksessa ja hinnoittelussa pienensi korpikuusten eroa suhteessa kivennäismaiden luontaisiin kuusiin mutta suurensi eroa suhteessa kivennäismaiden istutuskuusiin. Tällä perusteella lylypuu olisi korpikuusikoissa sahauskannalta jopa pienempi laatuongelma kuin kivennäismaiden luonnon-syntyisissä kuusikoissa mutta joka tapauksessa suurempi laatuongelma kuin istutuskuusikoissa.

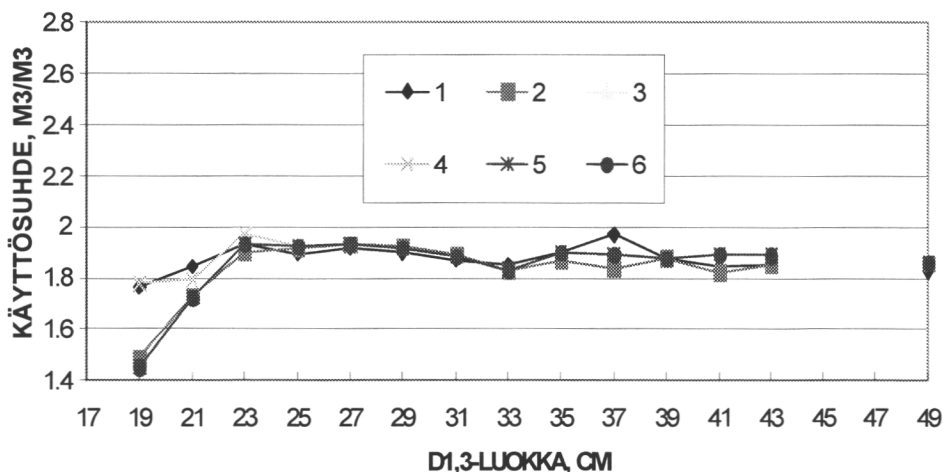
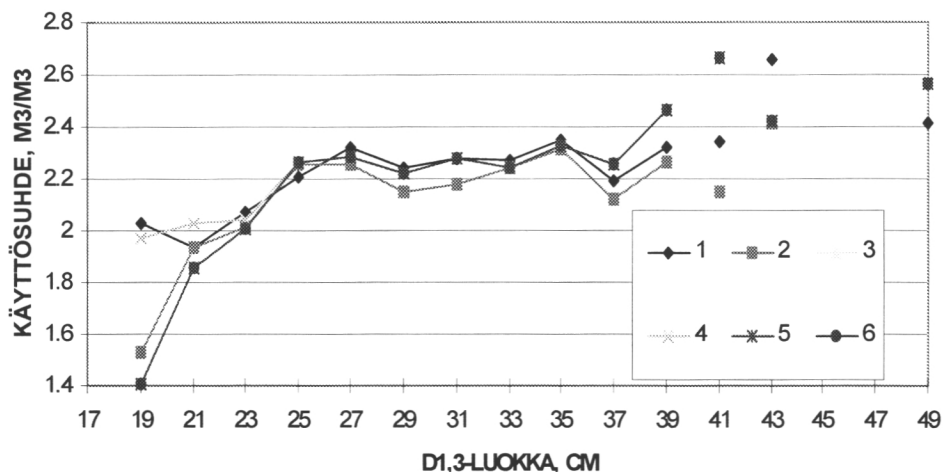
Kuusen tukki- ja pikkutukkiosan bruttoarvo tilavuusyksikköä kohti oli korpikuusikoissa yhden tukki- ja pikkutukkimituuden sisältäneessä apteerausvaihtoehdossa 1 0,2–2,8 % pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa tai istutetuissa kuusikoissa. Apteerausvaihtoehdoissa 2 ja 3 ero oli kuitenkin päinvastainen, 0,2–5,0 %. Lylypuun huomioon ottaminen vaikutti samansuuntaisesti kuin rungon käyttöosan bruttoyksikköarvoon.

3.4 Kuusen perinteisen ja erikoistuvan sahauskannan tuotot

3.4.1 Tukki- ja pikkutukkiosien käyttösuhteet

Kuusitukkien sahauskannan käyttösuhteet olivat koko tukki- ja pikkutukkiosien perinteisen ja erikoistuvan sahauskannan simuloinnissa seuraava rungon eri apteeraustavoilla:

Apteeraustapa	Perinteinen sahaus Kuusitukkien käyttösuhteet	Erikoistuva sahaus
1	2,093	1,983
2	1,912	1,800
3	2,699	2,558
4	1,974	1,858
5	1,981	1,864
6	1,960	1,843



Kuva 1. Kuusitukkien sahauksen simuloitu käyttösuhde rungon rinnankorkeusläpimittaluokittain ja apteeraustavoittain perinteisessä sahauksessa (yläkuva) ja erikoistuvassa sahauksessa (alakuva).

Käyttösuhde oli siis erikoistuvassa sahauksessa apteeraustavasta riippumatta noin $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ alhaisempi (parempi) kuin perinteisessä sahauksessa. Tulos johtuu ilmeisesti sahatavaran talteen ottamisen ehdottomasta ensisijaisuudesta ja sahan sivutuotteiden (hake ja puru) tuottamisen toissijaisuudesta tutkimusta konsultoineella, erikoistuvaa sahausta edustaneella sahalla (itsenäinen sahayritys) verrattuna perinteistä sahausta edustaneeseen sahaan (integraattiyrityksen saha).

Käyttösuhde oli alhaisin tavanomaisessa apteeraustavassa 2, jossa rungosta katkottiin 4,3–5,8 metrin normaalitukkeja, 4,3 metrin pikkutukkeja ja vähintään 3 metrin kuitupuuta, ja selvästi korkein apteeraustavassa 3, jossa rungosta eroteltiin vaneritukkikelpoiset osat tukkisuman ulkopuolelle. Myös vain yhteen normaalitu-

kin (5,5 m) ja pikkutukin (4,3 m) pituuteen perustuva apteeraustapa 1 johti keskimääräistä korkeampaan käyttösuhteeseen.

Kuusitukkien sahauksen käyttösuhteet ovat nykyaikaisilla teollisilla sahoilla yleensä tasolla 2,1–2,3. Tässä tutkimuksessa käyttösuhteet olivat tavanomaista noin $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ alhaisempia (parempia), lukuun ottamatta apteeraustapaa 3. Tämä johtui osittain huonomuotoisten, ulkoisten tunnusmerkkien perusteella lahoisten ja muutenkin vikaisten tukkirunkojen karsimisesta aineistosta.

Kuvassa 1 on esitetty tulokset kuusitukkirunkojen eri läpimittaluokista saatujen tukkien käyttösuhteesta apteeraustavoittain perinteisen ja erikoistuvan sahauksen simuloinnissa. Perinteisessä sahauksessa käyttösuhteet kohosi varsin selvästi runkojen järeytyessä, vaikka oletusten mukaan vaikutus olisi pikemminkin päinvastainen. Sahausaseteissa ei kuitenkaan otettu talteen lähellekään kaikkea mahdollista sivu- ja pintalautaa, mikä selittää tuloksen ainakin osittain. Myöskään erikoistuvassa sahauksessa ei ilmennyt läpimittaluokan oletettua käyttösuhdetta alentavaa vaikutusta, lukuun ottamatta lievää alenemista läpimittaluokkien 23 ja 33 cm välillä. Erikoistuvan sahauksen tavanomaisesta poikkeavat, ns. kermankuorintaan tähtäävät sahausasetteet keskittyivät järeisiin tukkiluokkiin, joka osittain selitti tuloksen.

Erot runkojen apteeraustapojen välillä olivat perinteisessä sahauksessa pienet läpimittaluokittaisessa tarkastelussa. Poikkeuksena olivat alle 22 cm:n rungot, joilla oli nähtävissä apteeraustavan 1 mukaisten harvojen määräpituuksien käytön käyttösuhdetta kohottava vaikutus. Erikoistuvassa sahauksessa apteeraustavan vaikutus oli suurempi kuin perinteisessä sahauksessa: käyttösuhteet olivat kauttaaltaan heikoin em. harvoilla tukkipituuksilla ja paras apteeraustavalla 2 eli 4,3–5,8 m:n normaali-tukkeja ja 4,3 m:n pikkutukkeja apteeraattaessa.

3.4.2 Sahatavaran laatujakauma

Sahatavaran oksaisuus on kuusella männyn tavoin keskeisiä laatutekijöitä; molemmilla puulajeilla kauppalaatu on määräytynyt 80–90 prosentissa sahatavarakappaleista oksaisuuden perusteella 1960–1980 -luvuilla tehdyissä tutkimuksissa. Terveoksaista sahatavaraa saadaan pätehtäkkuiden kuusesta ennen kaikkea rungon välitukkiosan sisä- ja keskikerroksista ja latvatukkiosasta periaatteessa koko säteensuuntaiselta vyöhykkeeltä, kuolleita oksia ja kuolleita ja terveitä oksia sisältävää sahatavaraa saadaan rungon tyvitukkiosan pinta- ja keskikerroksista ja välitukkiosan pintakerroksesta (esim. Kärkkäinen 1986a, 1986b).

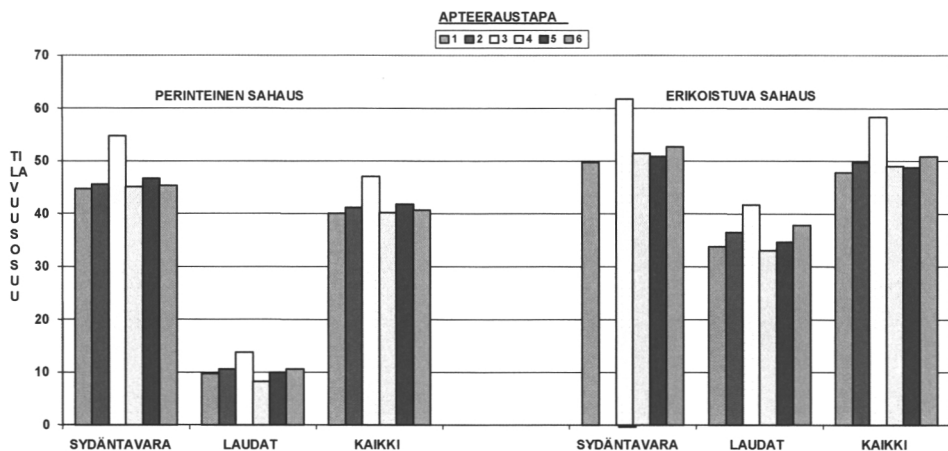
Taulukossa 6 on esitetty tämän tutkimuksen vain terveitä oksia sisältäneen, kuolleita tai kuolleita ja terveitä oksia sekaisin sisältäneen ja kaiken sahatavaran jakautuminen sydäntavaraan ja lautoihin tutkittujen apteeraustapojen mukaan katkottujen tukkisumien perinteisen ja erikoistuvan sahauksen simuloinnissa. Kaikesta sahatavarasta oli sydäntavaraa perinteisessä sahaustavassa hieman enemmän kuin erikoistuvassa, 83–88 % vs. 81–87 %. Tulos on varsin yhdenmukainen aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan esim. kuusitukin arvosta yli 80 % määräytyy sydäntavaran perusteella (esim. Kärkkäinen 1986a, 1986b). Terveoksaisestä sahatavarasta oli sydäntavaraa perinteisessä sahauksessa 94–97 % ja erikoistuvassa sahauksessa 88–91 %. Kuolleita oksia sisältäneestä sahatavarasta oli sydäntavaraa

Taulukko 6. Vain terveitä oksia sisältäneen, kuolleita oksia ja kuolleita ja terveitä oksia sekaisin sisältäneen ja kaiken kuusisahatavaran jakautuminen sydäntavaraan ja lautoihin rungon apteeraustavoittain simuloitujen sahausten mukaan.

Sahaustapa	Apteeraustapa					
Sahatavaran oksikkuuslaatu	1	2	3	4	5	6
Perinteinen sahaus						
Vain terveitä oksia						
Tilavuus, dm ³	30,7	31,6	21,2	30,7	31,9	31,3
Sydäntavarassa, %	96,7	96,7	94,4	97,3	96,8	96,5
Laudoissa, %	3,3	3,3	3,6	3,7	3,2	3,5
Kuolleita tai kuolleita ja terveitä oksia sekaisia						
Tilavuus, dm ³	45,9	45,3	23,9	45,7	44,6	45,7
Sydäntavarassa, %	79,6	80,4	68,9	79,6	79,2	79,7
Laudoissa, %	20,4	19,6	31,1	20,4	20,8	20,3
Kaikki sahatavara						
Tilavuus, dm ³	76,4	76,8	45,1	76,3	76,5	77,0
Sydäntavarassa, %	86,4	87,1	80,9	86,7	86,5	86,5
Laudoissa, %	13,6	12,9	19,1	13,3	13,5	13,5
Erikoistuva sahaus						
Vain terveitä oksia						
Tilavuus, dm ³	38,5	40,6	27,8	39,7	39,6	41,6
Sydäntavarassa, %	91,3	91,4	87,8	91,2	90,5	90,5
Laudoissa, %	8,7	8,6	12,2	8,8	9,5	9,5
Kuolleita tai kuolleita ja terveitä oksia sekaisin						
Tilavuus, dm ³	42,1	41,1	19,9	41,4	41,7	40,2
Sydäntavarassa, %	84,3	85,3	76,2	82,9	82,9	83,9
Laudoissa, %	15,7	14,7	23,8	17,1	17,1	16,1
Kaikki sahatavara						
Tilavuus, dm ³	80,7	81,6	47,6	81,1	81,3	81,8
Sydäntavarassa, %	87,6	88,3	83,0	86,9	86,6	87,2
Laudoissa, %	13,4	11,7	17,0	13,1	13,4	12,8

perinteisessä sahauksessa 69–80 % ja erikoistuvassa sahauksessa 76–85 %. Terveoksiset sahatavaralaadut keskittyvät siis jonkin verran enemmän sydäntavaraan kuin muut oksikkuuslaadut.

Kuvassa 2 on esitetty simuloitun kuusisahatavaran terveoksisen tavaran osuudet sydäntavaraalle, laudoille ja kaikelle sahatavaralle tutkittujen apteeraustapojen mukaan katkotuilla tukeilla perinteisessä ja erikoistuvassa sahauksessa. Terveoksisen sahatavara määriteltiin tässä ainoastaan terveoksisia oksia sisältäväksi, kuitenkin ottamatta huomioon alle 5 mm:n oksia. Terveoksisen sahatavaran osuus



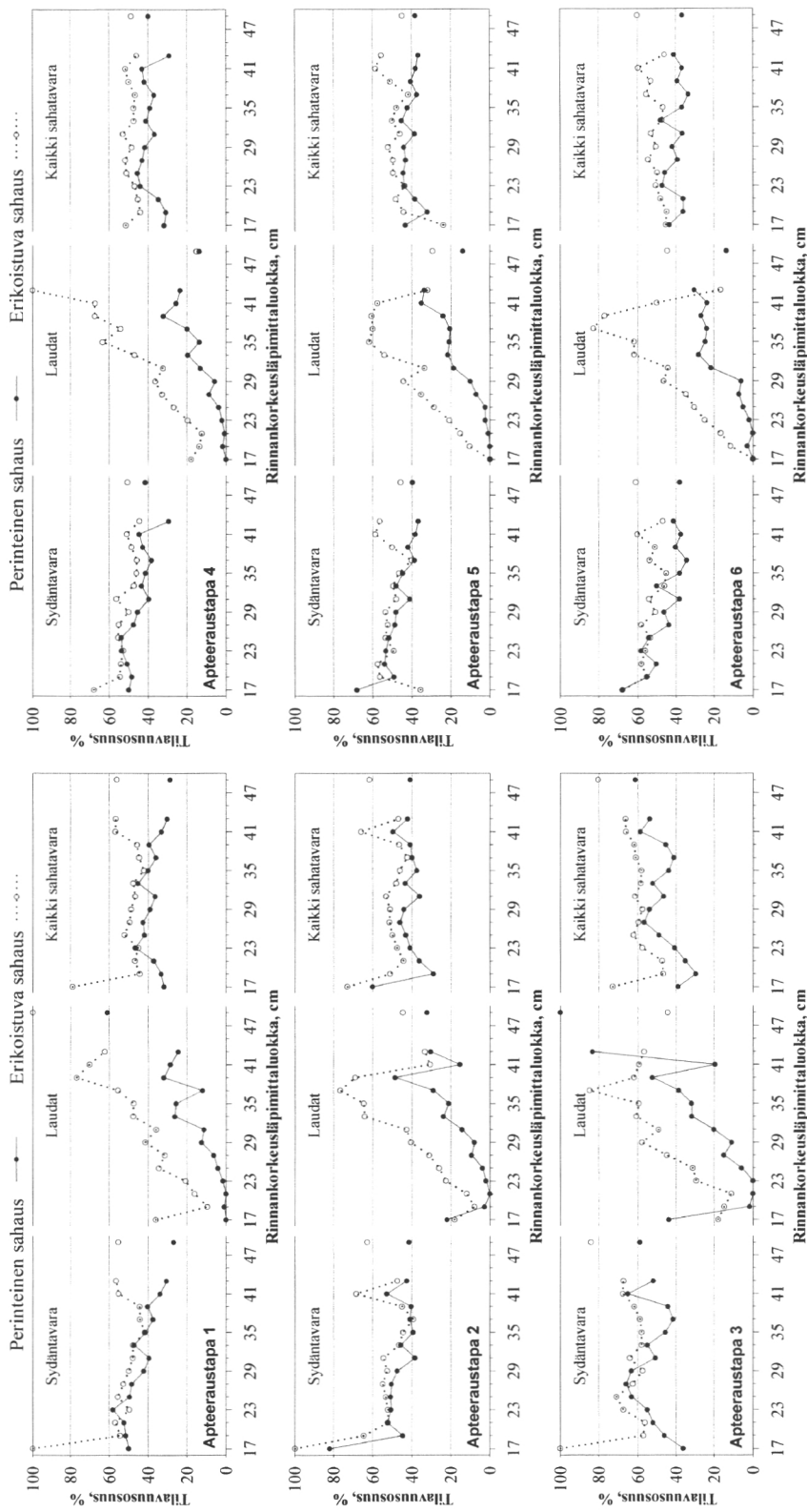
Kuva 2. Simuloidun kuusisahatavaran terveoksisen tavaran osuus sydäntavarrassa, laudoissa ja kaikessa sahatavarrassa apteeraustavoittain perinteisessä ja erikoistuvassa sahauksessa.

oli kauttaaltaan varsin korkea johtuen osaksi, käyttösuhteen tavoin, muiden kuin oksavikojen suhteen huonolaatuisten runkojen hylkäämisestä aineistosta.

Tulokset viittasivat kiistatta kuusen erikoistuvan sahauksen etuihin terveoksisen sahatavaran talteen saannin ja kuolleita oksia sisältävän sahatavaran välttämisen kannalta. Kaikkien apteeraustapojen keskiarvona erikoistuvalla sahauksella saavutettiin huomattavasti korkeampi terveoksisen sahatavaran osuus, 51 %, kuin perinteisellä sahauksella, 42 %. Ero oli verraten suuri sydäntavaralla, 53 % vs. 47 %, ja erittäin suuri laudoilla, 36 % vs. 10 %. Oksattomia saheita saatiin koko tukkiaaineiston simuloinneissa kuusi kappaletta, joten ne yhdistettiin laskennassa ryhmään muut kuin terveoksiset saheet.

Vertailtaessa apteeraustapoja ilmeni, että katkomalla rungosta erilleen vaneritukiksi kelpaavat rungonosat jäljelle jääneistä tukeista saadun sahatavaran terveoksisen tavaran osuus oli erikoistuvassa sahauksessa 7–11 %-yksikköä ja perinteisessä sahauksessakin 5–7 %-yksikköä korkeampi kuin muissa apteeraustavoissa. Terveoksisuuden lisääntyminen oli ilmeistä sekä sydäntavaralla että laudoilla. Terveoksisen sahatavaran osuuden kasvu johtui eniten muita sahatavaran oksaisuuslaatuja tuottavien järeiden tyvi- ja välitukkien jäämisestä sahattavan suman ulkopuolelle.

Latvusrajaan suhteutettujen apteeraustapojen 4–6 vaikutukset terveoksisen sahatavaran osuuteen eivät olleet suuria eivätkä myöskään yksiselitteisiä verrokkina käytettyyn apteeraustapaan 2 nähden. Sydäntavaralla terveoksisuus kasvoi noin yhden prosenttiyksikön, kun rungon katkaisukohta täsmätettiin moduulipituuksien puitteissa perinteisessä sahaustavassa noin yksi metri ja erikoistuvassa sahauksessa noin kaksi metriä latvusrajan alapuolelle. Laudoilla latvusrajaan suhteutetulla katkonnalla ei ollut perinteisessä sahauksessa ainakaan terveoksisuutta lisäävää vaikutusta ja erikoistuvassa sahauksessakin osuus kasvoi vain noin yhden prosenttiyksikön katkaistaessa runko kaksi metriä latvusrajan alapuolelta.



Kuva 3. Simuloidun kuusisahatavaran terveeksaisen tavaran osuus sydänlavarassa, laudoissa ja kaikessa sahatavarassa rungon rinnankorkeusläpimittaluokittain ja apteeraustavoittain perinteisessä ja erikoistuvassa sahausessa.

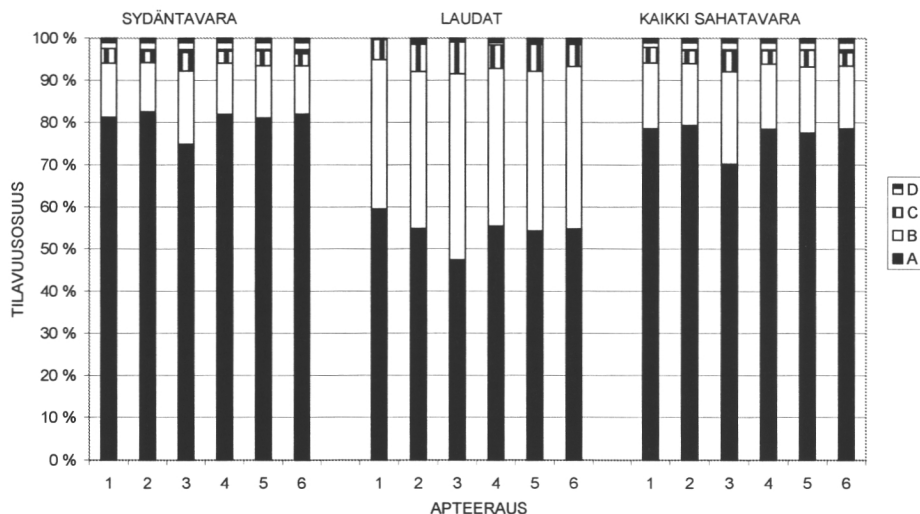
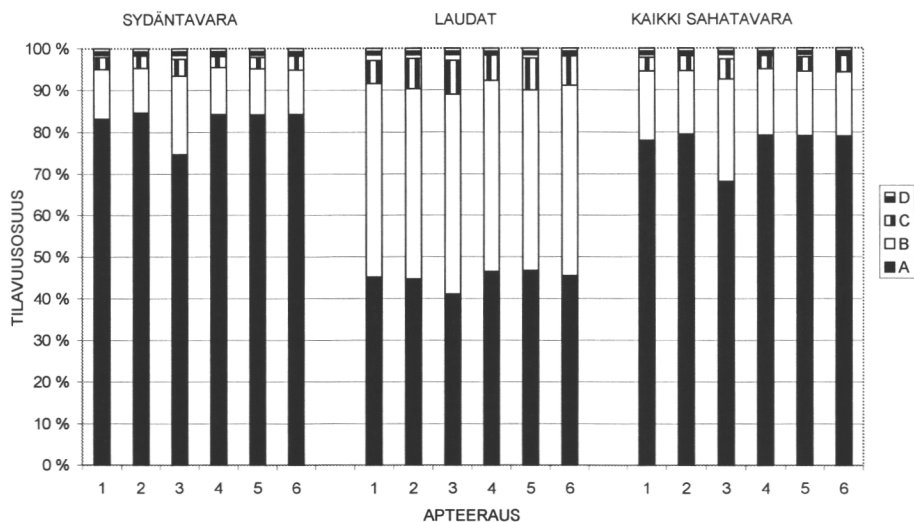
Kuvassa 3 on esitetty simuloidun kuusisahatavaran terveoksisen tavarahan osuudet vastaavalla tavalla kuin kuvassa 2 mutta lisäksi kuusitukkirungon rinnan- korkeusläpimittaluokan mukaan. Tasoero erikoistuvan ja perinteisen sahauksen välillä on tässäkin selvästi nähtävissä. Huomionarvoista on, että sydäntavaran terveoksisuus pääsääntöisesti alenee rungon järeytyessä, mutta erikoistuvassa sahauksessa terveoksisuuden väheneminen on vähäisempää tai terveoksisuus pysyy koko läpimittajakauman alueella osapuulle vakiotasolla (apteeraustapa 3) ja jopa kasvaa järeimmissä läpimittaluokissa verrattuna perinteiseen sahaukseen. Lautojen terveoksisuus lisääntyy selvästi rungon järeytyessä kääntyäkseen kaikkein järeimmissä läpimittaluokissa laskuun. Tässäkin rungon järeytyminen vaikuttaa terveoksisuuteen erikoistuvassa sahauksessa edullisemmin kuin perinteisessä.

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty simuloidun kuusisahatavaran yhteispohjoismaisen NT-laatulukuituksen mukaiset jakaumat sydäntavaralle, laudoille ja kaikelle sahataravalle apteeraustavoittain perinteisessä sahauksessa ja erikoistuvassa sahauksessa. Tässä on sahataravaran lajittelussa joko otettu tai ei otettu huomioon dimensio, oksaisuuden ja vajaasärmäisyyden lisäksi reaktiopuuta (lylyä).

Lylypuun vaikutukset sivuuttaen NT-lajitellun sydäntavaran kuten myös koko sahataravaruksen laatujaakauma oli erikoistuvassa sahauksessa hieman huonompi mutta lautojen laatujaakauma vastaavasti selvästi parempi kuin erikoistuvassa sahauksessa. Kaikkea sahataravaa tarkastellen A-laatulukuokan osuus oli tällöin molemmissa sahaustavoissa korkea, lähes 80 %. A-laatulukuokan osuus oli tällä tasolla kaikissa apteeraustavoissa lukuun ottamatta apteeraustapaa 3, jossa vaneritukkikelpoisten rungonosien jättäminen pois sahattavasta tukkisumasta johti osuuden alenemiseen erikoistuvassa sahauksessa hieman yli ja perinteisessä sahauksessa vajaan 70 prosenttiin. Tämä ero korvautui lähinnä B-laatulukuokan osuuden kasvuna. 15–20 prosentista noin 25 prosenttiin. Runkojen latvusrajaan suhteutettu katkosta heikensi hieman sydäntavaran laatuokkajakaumaa mutta paransi vastaavasti jonkin verran lautojen laatuokkajakaumaa. Koko sahataravaruksen laatujaakaumaan latvusrajaan suhteutetulla katkonnalla oli lievästi heikentävä vaikutus, erityisesti erikoistuvassa sahauksessa.

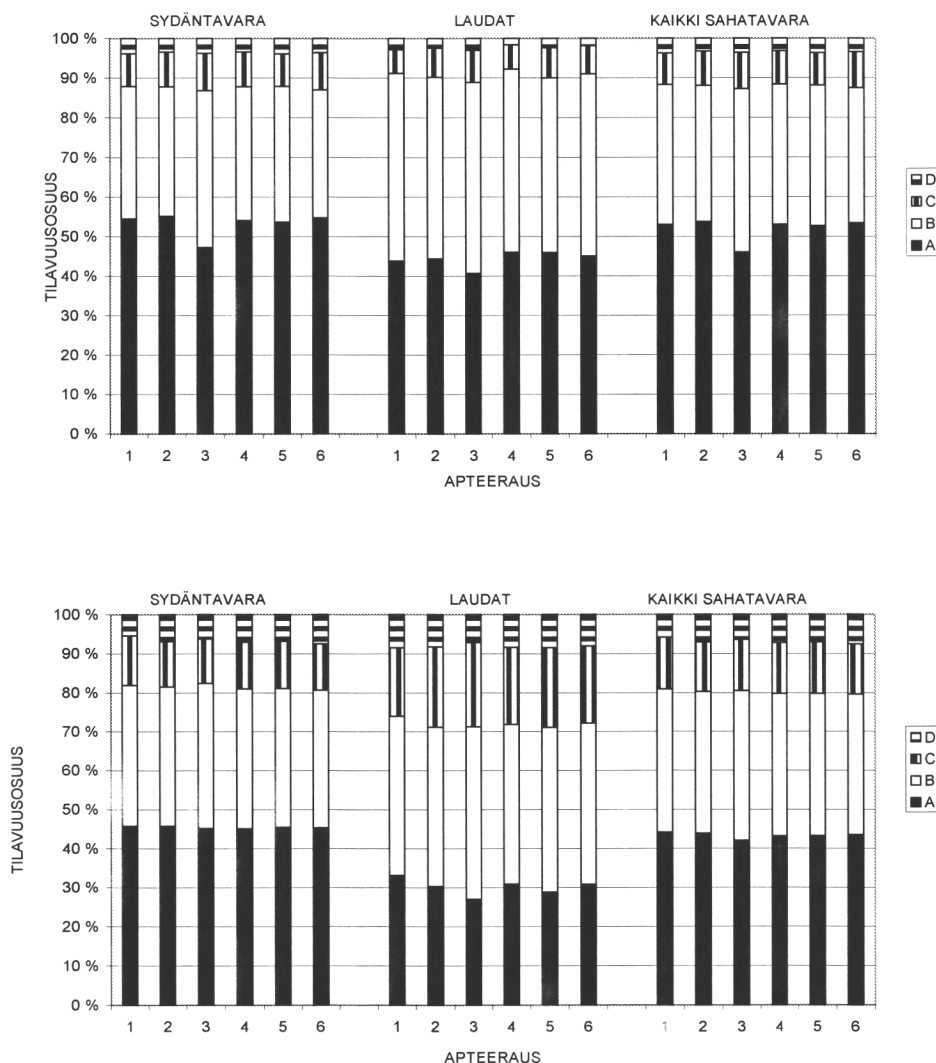
Lylypuun vaikutusten huomioon ottaminen suurensi NT-lajittelussa sahataravaran laatueroja perinteisen sahauksen hyväksi erikoistuvaan sahaukseen verrattuna. Tämän suuntainen ero A-laatulukuokan osuudessa oli sydäntavaralla ja kaikella sahataravalla noin 10 %-yksikköä ja laudoillakin noin 15 %-yksikköä. Tuotelähtöinen sahaus on tunnetusti herkkä tukin sisävikaisuudelle, joten lylypuun huomioon ottaminen heikensi sahataravaran laatuokkajakaumaa erikoistuvassa sahauksessa enemmän kuin perinteisessä sahauksessa. Kaikkea sahataravaa tarkastellen A-laatulukuokan osuus oli tässä tarkastelussa perinteisessä sahauksessa 52–54 % ja erikoistuvassa sahauksessa 42–44 %. Tässäkin tarkastelussa apteeraustapa 3 poikkesi yleislinjasta perinteisessä sahaustavassa, jossa A-laatulukuokan osuus oli 47 %. Erikoistuvassa sahauksessa tämä osuus oli niinkin korkea kuin 43 % eli lähes sama kuin muissa apteeraustavoissa. Tulosten perusteella reaktiopuu alentaa ennen kaikkea kuusen järeistä tyvi- ja välitukeista saatavan sahataravaran laatua.

Tässä tutkimuksessa sahataravaran NT-laatulajittelussa ei voitu ottaa huomioon kaikkia laatua alentavia tekijöitä, mikä osaltaan johti hyviin laatujaakaumiin. Oleelliset tiettyä dimensiota olevan kuusisaheen NT-laatua alentavat tekijät ovat



Kuva 4. Simuloidun kuusisahatavaran sydäntavaran, lautojen ja kaiken sahatavaran NT-laatuokkajakauma apteraustavoittain perinteisessä sahauksessa (yläkuva) ja erikoistuvassa sahauksessa (alakuva), kun laatuokituksessa ei otettu dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi huomioon reaktiopiuta (lylyä).

tutkimuksessa huomioon otettujen oksaisuuden ja reaktiopuun lisäksi pihkataskut, laho ja erilaiset väriviat sekä vinosyisyys. Lisäksi on otettava huomioon aineiston rakenne eli huonomuotoisten, ulkoisten tunnusmerkkien perusteella lahoisten ja muutenkin vikaisten tukkirunkojen karsiminen aineistosta.



Kuva 5. Simuloidun kuusisahatavaran sydäntavaran, lautojen ja kaiken sahatavaran NT-laatuusluokkajakauma apteeraustavoittain perinteisessä sahauksessa (yläkuva) ja erikoistuvassa sahauksessa (alakuva), kun laatuusluokituksessa otettiin dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi huomioon myös reaktiopuu (lyly).

Kysymys sinänsä on, miten pitkälle NT-lajittelun tulosten perusteella voidaan päätellä erikoistuvan sahauksen ja aidon tuotelähtöisyyden vaikutusta sahatavaran laadulliseen kilpailukykyyn ja arvoon. NT-lajittelu on kehitetty sitä edeltäneen u/s-kvintta-seksta -lajittelun tavoin keskimääräisenä kaikelle sahatavaratuotannolle, joten se ei vastaa erityisen hyvin modernin tuote- ja varsinkaan asiakaslähtöisen sahatavarakaupan vaatimuksia. Käytännössä NT-lajittelun käyttö onkin vähäistä. Tämän tutkimuksen tulokset antavatkin tältä osin tietoa lähinnä eri tavoilla apteerattujen kuusirunkojen ja näin saaduista tukeista sahatus kuusisahatavaran suhteellisista arvoeroista varsin tavanomaisia käyttötarkoituksia ajatellen.

3.4.3 Sahatavaran bruttoarvo

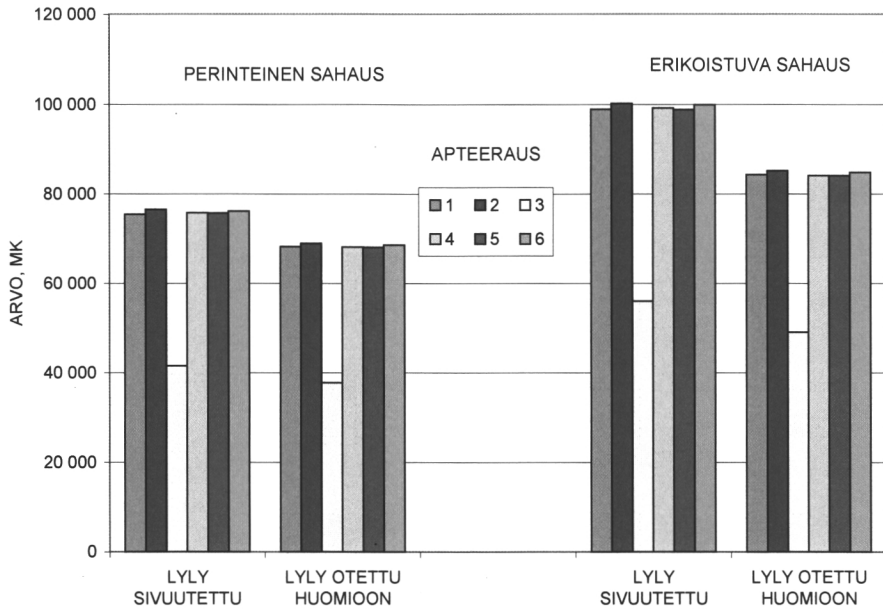
Koko kuusitukkiaineiston erikoistuvassa sahauksessa sahatavaran bruttoarvo oli simuloinneissa apteeraustavasta riippuen 31–35 % korkeampi kuin perinteisessä sahauksessa, kun reaktiipuun vaikutuksia ei otettu huomioon sahatavaran laatuluokituksessa (kuva 6). Reaktiipuun huomioon ottaminen pienensi tämän eron 23–30 prosenttiin. Tässäkin ilmeni siis erityisesti tuotelähtöisen sahauksen tuottojen herkkyys tukin sisävikaisuudelle. Rungon apteeraustapa vaikutti hyvin vähän bruttoarvoon. Erikoistuvan ja perinteisen sahauksen ero oli kuitenkin suurempi apteeraustavassa 3, jossa vaneritukkikelpoiset rungonosat eroteltiin sahattavista osista, kuin muissa apteeraustavoissa.

Kun tukkien käyttösuhde oli kuitenkin erikoistuvassa sahauksessa pienempi kuin perinteisessä sahauksessa, sahaustapojen ero sahatavaran yksikköarvossa oli hieman pienempi kuin kokonaisarvossa (kuva 7). Yksikköarvo oli erikoistuvassa sahauksessa apteeraustavasta riippuen 1176–1228 mk/m^3 eli 22–24 % korkeampi kuin perinteisessä sahauksessa, jossa se oli 920–993 mk/m^3 , kun reaktiipuun vaikutuksia ei otettu huomioon sahatavaran laatuluokituksessa. Vastaavat yksikköarvot olivat 1030–1045 mk/m^3 ja 830–897 mk/m^3 ja sahaustapojen välinen suhteellinen ero oli 16–23 %, kun reaktiipuun vaikutukset otettiin huomioon. Tulokset yksikköarvon tasosta olivat varsin realistisia ao. vuosien kuusisahatavaran tilastoi-tuihin keskivientihintatasoihin nähden, 1040 mk/m^3 vuonna 1994 (Aarne 1995) ja 932 mk/m^3 vuonna 1995 (Mikkola 1996).

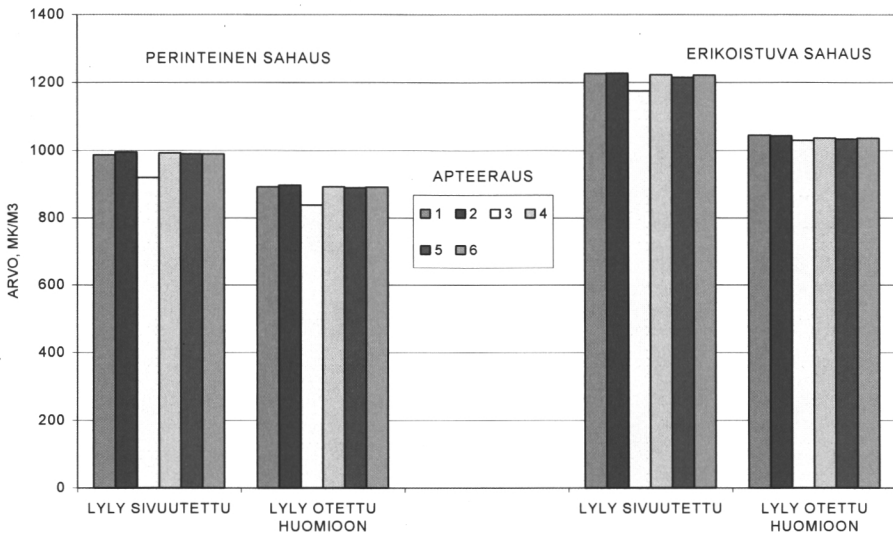
Sahatavaran arvotarkastelut perustuivat tässä perinteisen sahauksen osalta NT-lajittelun mukaiseen sahatavaran laatuluokitukseen ja hinnoitteluun tätä sahaustapaa edustaneen sahan laatuluokittaisilla keskihinnoin ja erikoistuvan sahauksen osalta puolestaan tätä sahaustapaa edustaneen sahan omaan sahatavaran laatuluokitukseen ja hinnoitteluun. Tässäkin tuote- ja asiakaslähtöisyyden mukaiseen erikoistamiseen liittyvät toimenpiteet runkojen katkonnassa ja varsinkin tukkilajittelussa ja sahausasetteiden varioinnissa kuten myös sahatavaran lajittelussa ja hinnoittelussa olivat vielä varsin yksinkertaisia. Tältä pohjalta esitetyt arviot kuusen erikoistuvan sahaustavan myönteisistä vaikutuksista tuotetun sahatavaran kokonais- ja yksikköarvoon ovat ilmeisiä aliarvioita.

3.4.4 Runkojen bruttotuotot

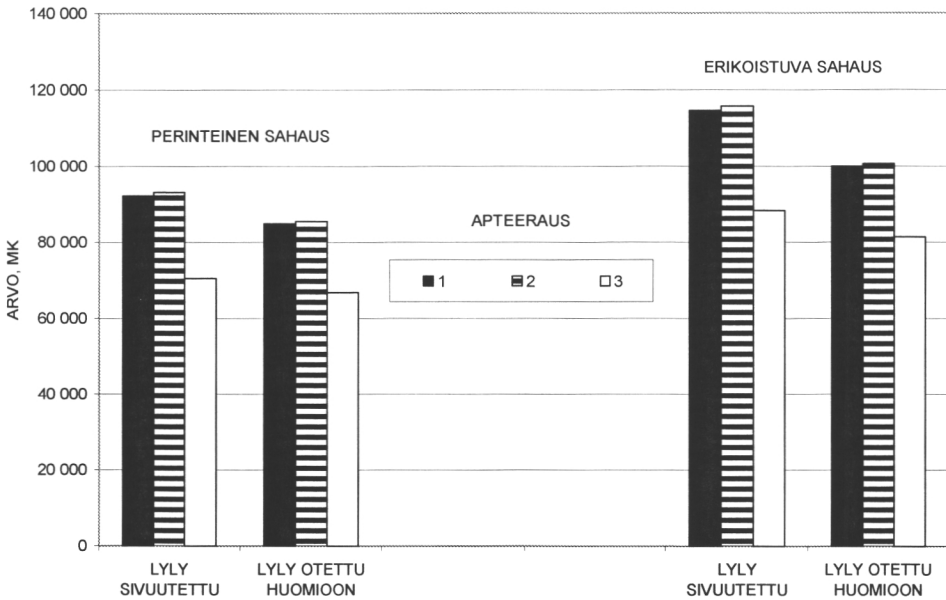
Pelkästään bruttotuottojen kannalta tarkastellen tuotelähtöisessä sahauksessa rungoista saatiin irti noin 25 % enemmän kuin perinteisessä sahauksessa, ero oli 17 % otettaessa huomioon myös lylupuun vaikutus (kuva 8). Tämä ei ole tietenkään koko totuus toiminnan kannattavuudesta, sillä sahatavaran valmistuksen yksikkökustannukset ovat erikoistuvassa sahauksessa korkeammat kuin perinteisessä sahauksessa. Ero määräytyy tapauskohtaisesti riippuen mm. käytettävissä olevien tukkien ominaisuuksista, puunkäsittely-, sahaus- ja jälkikäsitteilylinjojen teknisestä soveltuvuudesta ja kapasiteetin käyttöasteesta ja ennen kaikkea siitä, miten paljon painotetaan työvoimaresursseja ja tuotteen varastointia vaativaa lajittelun tarkentamista ja kohdentamista ja mahdollisesti omaa jatkojalostusta.



Kuva 6. Kuusisahatavaran simuloitu kokonaisbruttoarvo apteraustavoittain perinteisessä ja erikoistuvassa sahauskessa, kun sahatavaran lajittelussa ei otettu tai otettiin dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi huomioon reaktiopuu (lyly).



Kuva 7. Kuusisahatavaran simuloitu bruttoyksikköarvo apteraustavoittain perinteisessä ja erikoistuvassa sahauskessa, kun sahatavaran lajittelussa ei otettu tai otettiin dimension, oksien ja vajaasärmäisyyden lisäksi huomioon reaktiopuu (lyly).



Kuva 8. Kuusitukkirungoista saatujen tuottojen bruttoarvo apteeraustavoilla 1–3, kun sahatavaran lajittelussa ei otettu tai otettiin huomioon dimension, oksien ja vajasärmäisyyden lisäksi reaktiopuu (lyly).

Erityisesti on korostettava, että tässä tutkimuksessa saadut tulokset perinteisen ja erikoistuvan sahausmenetelmän tuottoeroista koskevat sellaisen sahan puunkäyttöä, joka myy kuusitukkirungoista saatavat vaneritukit ja kuitupuun muille käyttäjille. Kysymyksessä on tällöin puunosto pystykaupalla. Runkojen bruttoarvo muodostuu kokonaan toiseksi, mikäli myös näille itsenäisen sahan kannalta sivupuutavara-alueille määritetään arvo samalla tavalla tuotelähtöisesti kuin sahatukeille. Tilanne voi olla ainakin osittain tällainen integraattirytyksiin kuuluvilla sahoilla, tai itse asiassa niiden puuhuollosta vastaavilla integraattirytysten metsäosastoilla tai tytäryhtiöinä tms. toimivilla puunhankintayrityksillä. Tässä tutkimuksessa sivupuutavara-alueet hinnoiteltiin käyttäen perusteena pyöreän puun toimitushintaa käyttöpis- teessä.

4 Kannattaako kuusta sahata vai sorvata?

Eri lähteistä saatavissa olevien tietojen mukaan järeän kuusen mekaaninen jalostus ei välttämättä ole mielekkäintä sahausmenetelmän pohjalta. Erään työn mukaan järeän kuusen kasvunopeudella ei olisi juurikaan vaikutusta kuusen jalostusarvoon, kun vaihtoehtoisia käyttötarkoituksia ovat sorvaus, sahaus ja jalostus mekaaniseksi massaksi ja edelleen paperiksi (Antti Asikainen, Metla, Joensuun tutkimuskeskus, suullinen tiedonanto, lokakuu 2001). Konsernitasolla merkittävin vaikutus jalostusarvoon on järeiden lisäksi katkonnalla ts. sillä, miten runko jaetaan sorvi- ja sahatukeiksi ja kuitupuuksi. Samassa järeysluokassa nopea- ja hidaskasvuisilla

kuusilla ei olisi juurikaan eroa saheiden tai vaneriviilujen laatujaumassa. Yleissääntö on, että sorvaus ja kuidutus antavat kokonaisuutena korkeamman jalostusarvon järeästä kuusesta kuin sahaus.

Jaakko Pöyry Consulting Oy:n syyskuussa 2001 julkistamien laskelmien (Pihlajamäki 2001) mukaan kuusiraaka-aineen suhteellinen jalostusarvo (puustamaksukyky) olisi nykyisistä päätuotteista paras vanerissa (120) ja tämän jälkeen taivekartongissa (92) ja SC-paperissa (83). Sahauksessa suhteellinen jalostusarvo olisi näitä huonompi, keskimäärin 80, vaihdellen tukin laatuluokan mukaan järeän kuusen sahauslinjoilla 70–84 ja pikkutukkilinjoilla 68–80. Viimeksi esitellyistä uusista tuotteista kertopuu (LVL) olisi jalostusarvoltaan omassa luokassaan (144), huomattavasti korkeammalla kuin liimapuu (88) tai lämpöpuu (92). Muun sahataran nykyisen jatkojalostuksen tuoma arvonlisä olisi suhteellisen pieni (79–81). Valmistettaessa LWC-paperia ja sanomalehtipaperia kuusen suhteelliset jalostusarvot olisivat sahataravaa heikommat, 64 ja 44. Laskelmat perustuvat tiettyihin oletuksiin raaka-aineiden ja tuotteiden hintatasosta, tuotannon kiinteistä ja muuttuvista kustannuksista sekä tuotantolaitosten iästä ja käytettävissä olevasta teknologian tasosta.

Samaisen tietolähteen raaka-aineen jalostusarvotarkastelun mukaan potentiaalisessa kuusipulassa olisi kannattavinta pitää käynnissä kertopuutehtaita (200) ja tämän jälkeen LWC-paperitehtaita (160) ja SC-paperi- ja vaneritehtaita (140). Myös sanomalehtipaperi- ja taivekartonkitehtaiden (110) pyörittäminen olisi tällöin kannattavampaa kuin sahaaminen (100).

Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim.). 1995. Metsätalastollinen vuosikirja 1995. SVT Maa- ja metsätalous 1995: 5. 354 s.
- Ahonen, O.-P. & Mäkelä, H. 1995. Etelä-Suomen raakapuuvarat laskennalliseen pölkytykseen perustuen. Metsätieteen aikakauskirja Folia Forestalia 1995(3): 165–178.
- Kerkelä, M. 1997. Jakauma- ja arvoopterauksen vaikutus leimikon tukkisaantoon, hakkuukoneen tuottavuuteen ja tukkien laatuun ja keskipituuteen. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiivistelmä metsäteknologian ja puutalouden pro gradu työstä. 33 s. + liitteet.
- Kärkkäinen, M. 1985a. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy. Sotkamo. 415 s.
- Kärkkäinen, M. 1985b. Suomalaisen kuusen puuaineen vertailua Keski-Euroopassa kasvaneiden kuusi- ja jalokuusilajien puuaineeseen. Silva Fennica 19(2): 169–184.
- Kärkkäinen, M. 1986a. Malli männyn, kuusen ja koivun puuaineen oksaisuudesta. Silva Fennica 20(2): 107–116.

- Kärkkäinen, M. 1986b. Mänty- ja kuusirunkojen arvosuhteet. *Silva Fennica* 20(2): 117–127.
- Lahtinen, A. & Laasasenaho, J. 1979. On the construction of taper curves by using spline functions. *Seloste: Runkokäyrän muodostaminen splini-funktiolla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 95(8): 1–63.
- Nordic Timber Grading Rules. 1994. Föreningen Svenska Sågverksmän, Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys, Treindustriens Tekniske Forening. Stockholm, Helsinki, Oslo. 64 s.
- Peltola, A. (toim.). 2001. Metsätalastollinen vuosikirja 2001. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2001: 52. 374 s.
- Pihlajamäki, P. 2001. Minkälaisia linjauksia arvoketjuanalyysi antaa metsäsektorin kehittämiseksi? Puu- ja paperituotteiden arvoketjujen optimointi ja hallinta - tulosseminaari, Infokeskus Korona, Helsinki, 21.8.2001. Metsäalan tutkimusohjelma Wood Wisdom. Esitelmäkalvot.
- Rieppo, K. & Marjomaa, J. 1992. Apteerauksen taso ja apteerausvirheiden syyt havutukkien hakkuissa. *Metsätehon tiedotus* 408. 28 s.
- Saranpää, P. & Verkasalo, E. 2002. Esipuhe. Julkaisussa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.) 2001. Kuusen laatu ja arvo. Vuosina 1994–2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861. 139 s. + 2 liitesivua. Painossa.
- Tolkki, P. & Saramäki, J. 1997. Esitutkimus kuusitukin erilaisten mittavaatimusten vaikutuksesta tukin saantoon. Pohjois-Karjalan metsänhoitoyhdistysten liitto ry. *Moniste*. 11 s.
- Verkasalo, E., Sairanen, P. & Melén, P. 2002. Kuusirunkojen ja -tukkien arvon riippuvuus metsikön, rungon ja tukin ominaisuuksista sekä runkojen ja niistä saatavan sahatavaran laatu ja arvo perinteisessä ja erikoistuvassa sahauksessa. Julkaisussa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.) 2001. Kuusen laatu ja arvo. Vuosina 1994–2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861. 139 s. + 2 liitesivua. Painossa.

Teollisuushakkeen ja kuitupuun arvo ja mittaus puuaineen tiheyden perusteella

Jari Lindblad

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

1 Johdanto

Massa-, paperi- ja levyteollisuuden raaka-aineeksi käytetään sekä teollisuushaketta että kuitupuuhaketta. Teollisuushake on mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteena sahauksesta, viulun sorvauksesta ja leikkauksesta sekä pylväiden ja parrujen sorvauksesta valmistettua haketta. Kuitupuuhake valmistetaan kuorituista pölkkyistä ja rungonosista.

Puuaineen tiheys on keskeinen massa-, paperi- ja levyteollisuuden raaka-aineiden laatua ja arvoa kuvaava suure (esim. Hakkila 1966, Kellomäki 1998). Tiheys vaihtelee rungossa sekä pituuden että poikkileikkauksen suunnassa. Tiheyteen ja sen vaihteluun vaikuttavat paitsi puulaji, myös puun ikä ja koko, kasvunopeus, kasvupaikan laatu ja geneettiset tekijät (esim. Hakkila 1966, Uusvaara 1969, Kärkkäinen 1985).

Puuaineen tiheys vaihtelee alueellisesti. Männyn puuaine on tiheintä Pohjanmaan ja Kainuun leveysasteiden tasalla, josta tiheys alenee sekä etelään että pohjoiseen päin (Hakkila 1968); tiheys on alhaisimmillaan pohjoisessa pienen kesäpuun osuuden vuoksi (Hakkila 1979). Kuusen puuaineen tiheys kasvaa etelästä pohjoiseen ja saavuttaa korkeimman tasonsa Tornio–Kuusamo -linjan eteläpuolella, jonka jälkeen tiheys laskee hieman (Hakkila 1968). Kuusella tiheyden maantieteellinen vaihtelu on vähäisempää kuin männyllä.

Sahanhake saadaan pääasiassa puun pintaosista. Täällä kuidut ovat pitempiä, soluseinämat paksumpia, kesäpuuosuus suurempi ja tavallisesti puuaineen tiheys korkeampi kuin rungossa keskimäärin (esim. Hakkila 1966, Kärkkäinen 1985). Näistä syistä sahanhakkeen tiheys on yleensä korkeampi kuin kuitupuuhakkeen tiheys (Sahateollisuus 1986, Sipi 1998). Pylväiden ja parrujen sorvausjätteestä saatava hake vastaa koostumukseltaan pitkälti sahanhaketta. Vaneri- ja viiluhakkeet eroavat em. hakelajeista siten, että ne sisältävät pinta-osien pyöritys- ja sorvausjätteen lisäksi puun ytimen ympäriltä saatavan purilasjätteen ja pölkkyjen katkontajätteen (Verkasalo 1992, Koponen 1995, Sipi 1998).

Vuodesta 1986 lähtien hakkeen maksuperusteena on käytetty kuivamassaa aiemmin käytetyn irtotilavuuden sijasta. Kehityksen seurauksena hakkeen käyttäjät ovat periaatteessa kiinnostuneita vain kuivamassasta sekä puuaineen tiheyslukuista, joita tarvitaan kuituraaka-aineiden arvon vertailua, puunkulutuslukuja arviointia, raaka-ainetaselaskentaa ja puutavarakirjanpitoa varten. Sen sijaan hakkeen toimittajat ja metsäosastot seuraavat raaka-ainekysymyksiä kuorellisen kiintotilavuuden perusteella, jolloin hakkeen massayksiköt on pystyttävä muuntamaan tilavuusyksi-

köiksi. Muuntamiseen käytetään hakkeen muuntokertoimia. Muuntokertoimilla tarkoitetaan toimitustilassa olevan hakkeen kiintotilavuuden suhdetta sen massa- yksikkönä $m^3/tonni$. Kääntäen kysymys on hakkeen kuiva-tuoretiheydestä, jonka yksikkönä on kg/m^3 .

Vuoteen 2000 käytössä olleet teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet perustuivat 1980-luvulla Metsäntutkimuslaitoksessa tehtyihin selvityksiin (Uusvaara 1986). Kertoimilla muunnettiin aluksi hakkeen kuivamassa irtotilavuudeksi, jonka jälkeen irtotilavuus muunnettiin kiintotilavuudeksi toisilla kertoimilla. Muuntokertoimiin oli sisällytetty kuoriprosentti, joka oli 12 % kuorellisesta tilavuudesta, kaikilla puulajeilla.

Molempiin käytössä olleisiin muuntokertoimiin liittyi oletus hakkeen irtto- ja kiintotilavuuden suhteesta. Hakkeen pakkautumiseen vaikuttavien useiden tekijöiden (Uusvaara & Heiskanen 1975) vuoksi on huomattavasti tarkempaa laskea hakkeen kuiva-tuoretiheyksiin perustuvat kertoimet ja muuntaa kuivamassa suoraan kiintotilavuudeksi. Eri tehtailla tehdyissä tarkastuksissa havaittiin myöskin käytössä olevien kertoimien olevan liian suuria, mikä tarkoitti aliarviota kuiva-tuoretiheydessä. Tehtaiden puunkulutuksen perusteella tehtiin samansuuntaisia arvioita.

Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimuskeskuksessa toteutettiin helmikuussa 1999 "Teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet" -tutkimus. Tämän jatkotutkimuksena toteutettiin tammikuun 2000 ja helmikuun 2001 välillä "Kuitupuuhakkeen tiheys" -tutkimus. Tutkimusten päätavoitteena oli määrittää mänty- ja kuusisahakkeen ja koivuvaneri- ja kuusi- ja koivukuitupuuhakkeen suuraluekohtaiset keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet. Kuiva-tuoretiheyksistä voitiin edelleen laskea kuivamassan ja kuorettoman ja kuorellisen kiintotilavuuden väliset muuntokertoimet. Tulosten perusteella annettiin suositukset teollisuushakkeen mittauksessa käytettäville kuiva-tuoretiheyksille ja muuntokertoimille.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Teollisuushakeaineisto

Teollisuushakkeesta kerättiin aineisto massa- ja paperitehtaille Suomessa sijaitsevilta mekaanisilta jalostuslaitoksilta (sahat, vaneritehtaat) toimitettavasta hakkeesta alkukevällä 1999. 647 hakenäytteen aineisto kerättiin yhdeksällä tehtaalla yhteensä 32 haketoimittajan hakkeesta. Toimittajat, joiden hakkeesta aineisto kerättiin, valittiin sekä massa- ja paperiteollisuuden konserneihin kuuluvista että niiden ulkopuolisista ns. itsenäisistä toimittajista. Vaneritehtaita ja veistämöitä oli molempia mukana kaksi. Tavoitteena oli mahdollisimman hyvä hankinta-alueiden kattavuus; Pohjois-Suomen kohdalla tästä tingittiin männyn ja kuusen sahauksen alueellisen painottumisen vuoksi.

2.2 Kuitupuuhakeaineisto

Kuitupuuhakkeesta kerättiin aineisto eri puolilla Suomea sijaitsevilta massa- ja paperitehtailta mänty-, kuusi- ja koivukuitupuusta sekä rajoitetussa määrin haapakuituusta. Tehtaat valittiin siten, että kuitupuun hankinta-alueet vastasivat mahdollisimman hyvin teollisuushakettumuksen hakkeen toimittajien hankinta-alueita. Kaikkiaan kuitupuuhakeaineistoa kerättiin 13 massa- ja paperitehtaalla. Hakenäytteet otettiin pääsääntöisesti tehtaiden normaalista prosessista kuorinnan ja haketuksen jälkeen. Yhteensä 953 hakenäytteestä koostunut aineisto kerättiin kahdessa vaiheessa (talvi- ja syksyaineistot), jolloin saatiin selville mahdollinen korjuujankohdan vaikutus kuitupuun tiheyteen teollisen mittakaavan puunhankinnassa.

Mäntykuitupuuhakeaineistossa eroteltiin ensiharvennuskuitupuuhake ja myöhemmistä harvennuksista ja päätehakuista saatavasta kuitupuusta valmistettava normaalihake. Kuusikuitupuusta tutkittiin erikseen hiomokuusta ja selluloosakuusta. Koivukuitupuuhakeaineisto koostui sekä kotimaisesta raaka-aineesta että tuontipuusta. Haapahakkeesta kerättiin suppea aineisto yhdellä tehtaalla.

2.3 Kuiva-tuoretiheyden määrittäminen

Hakenäytteiden kuiva-tuoretiheydet analysoitiin SCAN-CM 43:95 -standardin (1995) mukaisella menetelmällä. Toistetuissa kuiva-tuoretiheyden määrittämisissä tulosten välinen ero on tällä menetelmällä ollut tavallisesti korkeintaan 3 kg/m^3 (Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 21.6.1999). Kuiva-tuoretiheyden määrittäminen koostuu seuraavista työvaiheista:

- 1) Haketta liotetaan vedessä, jolloin puuaineen huokokset saadaan täytetyksi vedellä. Liotuksella voidaan välttää upotusmenetelmässä veden imeytymisestä aiheutuva mittausvirhe tuoretilavuuden määrittämisessä.
- 2) Liotuksen jälkeen hakkeesta poistetaan tilavuuden mittausvirhettä aiheuttava pintavesi linkoamalla haketta sentrifugilla. Lingon ulkokehällä on saavutettava oikean suuruinen keskeisvoima pintaveden poistamiseksi siten, että vettä ei poistu puuaineen huokosista.
- 3) Hakkeen tuoretilavuus mitataan Arkhimedeeseen lakiin perustuvalla upotusmenetelmällä.
- 4) Hake kuivataan kuivausuunissa lämpötilassa $+105 \text{ °C}$ noin yhden vuorokauden ajan, minkä jälkeen mitataan hakkeen kuivamassa.

3 Tulokset

3.1 Mänty

Mäntysahanhakkeella vertailtiin Länsi-, Keski-, Itä- ja Pohjois-Suomen kuiva-tuoretiheyksiä. Pohjois-Suomen hakkeen kuiva-tuoretiheys oli selvästi muuta maata

alhaisempi ($df = 3$, $F = 47,8$, $p < 0,001$), mutta Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen hakkeiden välillä ei ollut eroja ($df = 2$, $F = 1,7$, $p = 0,176$). Tulosten perusteella suositeltiin mäntysahanhakkeelle käytettäväksi erillisiä kuiva-tuoretiheyksiä Etelä- ja Pohjois-Suomeen (taulukko 1).

Mäntykuitupuuhakkeen tiheydet laskettiin vastaaville alueille. Tässäkin Pohjois-Suomen keskimääräinen tiheys oli alhaisin ja poikkesi tilastollisesti merkitsevästi kaikista muista alueista ($df = 3$, $F = 12,2$, $p < 0,001$). Sen sijaan Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ($df = 2$, $F = 2,0$, $p = 0,143$).

Etelä-Suomessa sahanhake oli keskimäärin 26 kg/m^3 kuitupuuhaketta tiheämpää, Pohjois-Suomessa ero oli 12 kg/m^3 ; erot olivat molemmissa tapauksissa tilastollisesti merkitseviä (Etelä-Suomi: $df = 552$, $t = 22,0$, $p < 0,001$; Pohjois-Suomi: $df = 86$, $t = 4,8$, $p < 0,001$). Kuitupuuhakkeella tiheysero Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä oli huomattavasti pienempi kuin sahanhakkeella, keskimäärin vain 14 kg/m^3 , mutta ero oli silti tilastollisesti merkitsevä ($df = 371$, $t = 5,7$, $p < 0,001$).

Suppealla aineistolla vertailtiin kahden männyn latva- tai tyvitukkeja käyttäneen sahan haketta. Tyvitukkeja käyttäneellä sahalla kuiva-tuoretiheys oli 30 kg/m^3 korkeampi kuin latvatukkeja käyttäneellä.

Normaalimäntykuitupuuhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat ensiharvennusmäntyhakkeen tiheyksiä suuremmat sekä Länsi- että Itä-Suomessa (taulukko 2). Vertailtaessa mäntykuitupuuhakkeen talvi- ja syksyaineistoja tehtaittain ei yhdensuuntaista tiheyseroa ilmennyt. Mäntyaineistoa keränneistä tehtaista puolella keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli alempi talviaineistossa ja toisella puolella syksyaineistossa. Myöskään alueittaisessa vertailussa talvi- ja syksyaineistojen tiheyserot eivät olleet samansuuntaisia.

Taulukko 1. Mäntysahanhakkeen ja -kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m^3 .

Alue	Sahanhake			Kuitupuuhake		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Etelä-Suomi	221	435	16,1	333	409	15,7
Pohjois-Suomi	48	407	11,1	40	395	11,6
Koko aineisto	269	430	18,9	373	406	13,8

Taulukko 2. Ensiharvennus- ja normaalimäntyhakkeen kuiva-tuoretiheys Länsi- ja Itä-Suomessa, kg/m^3 .

Alue	Ensiharvennusmäntyhake			Normaalimäntyhake		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Länsi-Suomi	41	406	4,5	56	410	9,8
Itä-Suomi	48	402	7,5	40	411	11,7
Koko aineisto	89	404	6,4	96	411	10,6

3.2 Kuusi

Kuusisahanhakeaineistoa kerättiin vain Etelä-Suomessa (Oulun eteläpuolelta). Kuiva-tuoretiheyden alueellista vertailua varten maan eteläosa jaettiin kolmeen vyöhykkeeseen hankinta-alueiden perusteella. Savo-Pohjois-Karjalan hakkeella kuiva-tuoretiheys oli 398 kg/m^3 , Keski-Pohjanmaan hakkeella 407 kg/m^3 ja Lounais-Suomen hakkeella 410 kg/m^3 .

Kuusikuitupuuhakkeesta kerättiin aineisto myös Pohjois-Suomesta. Pohjois-Suomen kuusikuitupuuhakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 15 kg/m^3 korkeampi kuin Etelä-Suomen; ero oli tilastollisesti merkitsevä ($df = 137$, $t = 6,4$, $p < 0,001$) (taulukko 3). Etelä-Suomen sisällä erot kuiva-tuoretiheyksissä olivat hyvin vähäisiä. Kuusikuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheydessä ei ollut eroa talvi- ja syksyaineistojen välillä. Sekä hiomo- että selluloosakuitupuuhakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 393 kg/m^3 .

Teollisuushaketutkimuksessa kuusisahanhakkeelle suositeltiin käytettäväksi samaa kuiva-tuoretiheyttä koko Etelä-Suomeen (404 kg/m^3). Sahanhake oli Etelä-Suomessa noin 11 kg/m^3 kuitupuuhaketta tiheämpää (taulukko 3); ero oli myös tilastollisesti merkitsevä ($df = 410$, $t = 7,6$, $p < 0,001$).

3.3 Koivu ja haapa

Koivuvanerihakkeesta kerättiin suppea aineisto kahdelta tehtaalta Etelä-Suomessa. Koivukuitupuuhakeaineisto oli maantieteellisesti kattava ja aineistoa kerättiin myös

Taulukko 3. Kuusisahanhakkeen ja –kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m^3 .

Alue	Sahanhake			Kuitupuuhake		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Etelä-Suomi	294	404	13,3	201	393	11,9
Pohjois-Suomi	...	...	...	41	408	13,2
Koko aineisto	294	404	13,3	242	395	13,4

Taulukko 4. Koivuvanerihakkeen ja –kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys alueittain, kg/m^3 .

Alue	Vanerihake			Kuitupuuhake		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Etelä-Suomi	41	496	20,6	129	494	18,2
Pohjois-Suomi	...	...	...	42	481	17,5
Tuontipuu	...	...	...	88	497	12,7
Koko aineisto	41	496	20,6	259	493	17,2

Venäjän tuontipuusta. Vanerihakkeen, eteläsuomalaisen koivukuitupuuhakkeen ja tuontipuuhakkeen keskimääräiset tiheydet olivat samalla tasolla (taulukko 4). Pohjois-Suomessa koivukuitupuuhakkeen keskimääräinen tiheys oli alhaisempi kuin Etelä-Suomessa; ero oli myös tilastollisesti merkitsevä ($df = 169$, $t = 4,1$, $p < 0,001$). Koivukuitupuulla talvi- ja syksyaineistojen välillä ei havaittu eroa.

Haapakuitupuuhakeaineistoa kerättiin ainoastaan yhdellä tehtaalla, tosin hankinta-alue oli hyvin laaja. Haapakuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheyden keskiarvo oli 388 kg/m^3 .

4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tämä tutkimus oli laajuusluokassaan ensimmäinen pohjoismaissa, jossa hakkeen kuiva-tuoretiheydet määritettiin hakenäytteistä SCAN-CM 43:95 -standardin mukaisesti. Koska tässä tutkimuksessa selvitettiin suuraluekohtaisia kuiva-tuoretiheyksiä, voidaan hakenäytteistä tehtyä kuiva-tuoretiheyden määrittystä pitää perusteltuna. Jokainen yksittäinen hakenäyte sisälsi puuainetta useista eri pölkkyistä ja rungoista, mahdollisesti jopa eri leimikoista, mikä pienensi tiheyshavaintojen vaihteluväliä ja täten myös keskiarvojen keskivirheitä.

Maantieteellisesti kattavimmat aineistot sekä kuitupuue- että teollisuushakkeesta kerättiin männylle: Pohjois-Suomesta saatiin omat aineistonsa ja Etelä-Suomessa hankinta-alueiden maantieteellinen peittävyys oli hyvä. Lisäksi mäntykuitupuusta saatiin aineistot erikseen normaali- ja ensiharvennuskuitupuuhakkeesta. Kuusisahanhakkeen hankinta-alueet peittivät vain eteläisen Suomen, sen sijaan kuusikuitupuusta saatiin aineisto myös Pohjois-Suomesta. Pohjoissuomalaisen kuusen sahaus on verraten vähäistä ja täten kaupallisen sahanhakkeen määrä myös vähäinen. Koivukuitupuuhakkeesta saatiin kohtalaisen laaja aineisto mukaan lukien tuontipuu, sen sijaan koivuvanerihaakeaineisto oli määrällisesti suppea ja tulokset näiltä osin vain suuntaa antavia. Haapahakkeesta kerättiin suppea aineisto yhdeltä tehtaalta.

Männyllä alhaisin keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli oletusten mukaisesti sekä kuitupuue- että sahanhakkeella Pohjois-Suomessa. Kuitupuuhakkeella ero Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä oli selvästi pienempi kuin sahanhakkeella. Mäntykuitupuuhakkeen tiheys oli kautta linjan sahanhaketta alhaisempi. Ensiharvennuskäynnillä kuiva-tuoretiheys oli alhaisempi kuin normaalikäynnillä, mutta ero oli kuitenkin pieni verrattuna pystypuiden systemaattisista kiekkonäytemittauksista saatuihin tuloksiin. Tämä saattaa johtua yhtäältä nykyisillä korjuumenetelmillä verraten myöhään tehtävistä ensiharvennuksista, toisaalta ajourapuiden mukaan tulosta kuitupuukertymään alaharvennettävien puiden lisäksi, jolloin ensiharvennusleimikoista todellisuuudessa tehtaalle tuleva puu on järeämpää kuin mitä voidaan päätellä ensiharvennusemetsiköiden puuston keskimääräisistä ominaisuuksista. Hakkilan (1995, 2000) tutkimuksissa tämä järeysero oli noin 2 cm.

Sekä kuusisahanhakkeella että -kuitupuuhakkeella keskimääräisten kuiva-tuoretiheyksien erot Etelä-Suomen sisällä olivat varsin pieniä. Kuusikuitupuuhakkeella tiheys oli Pohjois-Suomessa Etelä-Suomea suurempi. Eteläsuomalaisen hiomo- ja selluloosakuitupuun keskimääräisten tiheyksien välillä ei ollut eroa,

vaikka hiomokuusi tulee rungon kaikista terveistä osista ja selluloosakuusi sisältää lähinnä lahoja rungonosia etupäässä tyviosista ja pieneltä osin myös pystykuivaa puuta. Sahanhakkeella keskimääräinen tiheys oli kuusella männyn tavoin suurempi kuin kuitupuuhakkeella.

Koivukuitupuuaaineistossa pystyttiin selvästi erottamaan toisistaan kotimainen puu ja tuontipuun ja lisäksi selvittämään kohtuullisella tasolla myös tuontipuun alkuperä. Koivukuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys oli Pohjois-Suomessa alhaisempi kuin Etelä-Suomessa. Sen sijaan eteläsuomalaisen koivukuitupuun ja tuontipuun hakkeen välillä ei ollut eroa tiheydessä. Eroa ei havaittu myöskään verrattaessa tämän tutkimuksen kuitupuuhakeaineistoa koivuvanerihakeaineistoon.

Kuitupuun talvi- ja syksyaineistojen välillä ei millään puulajilla ilmennyt eroa tiheystasossa. Käytettävissä olevien aineistojen perusteella voidaan siis päätellä, että teollisessa mittakaavassa käytetyn raaka-aineen tiheydessä ei ole eroa korjuuajankohdan suhteen. On kuitenkin huomattava poikkeukselliset korjuuolosuhteet talvella 2000, jolloin ilmeisen suuri osa huonosti kantavien maiden ns. talvileimikoista jäi hakkaamatta ja aineisto todennäköisesti vastasi tavallista enemmän tyyppillisiä kesäkorjuuleimikoita.

Taulukossa 5 on esitetty tämän tutkimuksen perusteella männylle, kuuselle ja koivulle suositeltavat keskimääräiset hakelajikohtaiset ja alueittaiset kuiva-tuoretiheydet ja mittauksen muuntokertoimet. Mäntysahanhakkeen kuivamassan muuntamisessa kiintotilavuudeksi suositellaan omia muuntokertoimia Pohjois- ja Etelä-Suomeen. Kuusisahanhakkeelle suositellaan yhtä muuntokerrointa Etelä-Suomeen, koska aineiston perusteella ei pystytty tekemään selkeää osa-aluejakoa ja toisaalta tiheysero tutkittujen alueiden välillä oli puuaineen ominaisuuksien tavanomaiseen vaihteluun nähden varsin pieni. Koivuvanerihakkeelle voidaan suositella yhtä muuntokerrointa Etelä-Suomeen.

Kuiva-tuoretiheys oli kaikilla teollisuushakelajeilla ja alueilla suurempi ja muuntokerroin vastaavasti pienempi kuin oli oletettu käytössä olleessa menetel-

Taulukko 5. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeelle suositeltavat keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja mittauksen muuntokertoimet puulajeittain ja alueittain. Kuorellisia muuntokertoimia laskettaessa kuoriprosentiksi on oletettu 12, mikä tarkoittaa 13,6 %:n lisäystä kuorettomaan tilavuuteen.

Puulaji Alue	Sahanhake / vanerihake			Kuitupuuhake		
	Kuiva- tuoretiheys	Muunto- kerroin (kuoreton)	Muunto- kerroin (kuorell.)	Kuiva- tuoretiheys	Muunto- kerroin (kuoreton)	Muunto- kerroin (kuorell.)
	kg/m ³	m ³ /ka-tn	m ³ /ka-tn	kg/m ³	m ³ /ka-tn	m ³ /ka-tn
Mänty						
Etelä-Suomi	435	2,30	2,61	409	2,45	2,78
Mänty						
Pohjois-Suomi	407	2,46	2,79	395	2,53	2,88
Kuusi						
Etelä-Suomi	404	2,48	2,81	393	2,55	2,89
Koivu						
Etelä-Suomi	496	2,02	2,29	494	2,03	2,30

mässä; Etelä-Suomessa kuorellisten muuntokertoimien ero oli sekä kuusi- että mäntysahanhakkeella varsin suuri, noin 9 %, mutta verraten pieni koivuvaneriha- keella ja Pohjois-Suomen mäntysahanhakkeella, noin 3 %. Männyllä ja kuusella kuoreton kiintokuutiometri sahanhaketta sisältää suuremman määrän hyödynnettä- vää kuiva-ainetta kuin kuitupuuhake, ero oli männyllä koko aineistoissa noin 6 % ja kuusella Etelä-Suomessa noin 3 %. Koivulla vanerihakkeen ja kuitupuuhakkeen välillä ei ole tässä suhteessa eroa. Taulukossa 5 muuntokerrointen laskennassa on käytetty kuoriprosenttia 12, joka vastaa eteläsuomalaista havukuitupuuta. Halutta- essa tarkentaa muunnoksia on syytä käyttää puulajeittaisia ja alueellisia kuoripro- sentteja.

Tulokset merkitsevät sitä, että kuorellinen kiintotilavuusyksikkö teollisuus- haketta sisältää enemmän selluloosa- ja paperiteollisuudessa jalostuskelpoista kuiva-ainetta kuin käytössä olleet muuntokertoimet olettivat. Toisaalta kuivamas- sayksikköön tarvitaan tilavuusyksikkönä määritettynä vähemmän haketta kuin em. muuntokertoimet olettivat. Noin kolmasosan kuituraaka-ainetarpeestaan sahanhak- keella tyydyttävällä tehtaalla puunkulutuskerroin ($k\text{-m}^3/\text{sellutonni}$) alenee noin kymmenyksen. Männyllä ja kuusella tilavuusyksikkö sahanhaketta sisältää enem- män hyödynnettävää kuiva-ainetta kuin kuitupuuhake. Periaatteessa tätä jo tiedossa ollutta seikkaa voidaan käyttää neuvoteltaessa sahanhakkeen kauppahinnoista, jotka osin perustuvat kuitupuun hintoihin. Pitkällä tähtäimellä tietoja kuitupuun tiheyksistä voidaan myös hyödyntää kuitupuun painomittauksen tutkimuksessa ja kehitystyössä.

Kirjallisuus

- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61(5):1–98.
- Hakkila, P. 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. *Seloste: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominai- suuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 66(8): 1–60.
- Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. *Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 96(3): 1–59.
- Hakkila, P. 2000. Kuitupuun laadun vaihtelu ja lajitteluperusteet. Harvennuspuun jalostusketju, Metsätehon seminaari. Tikkurila 8.–9.2.2000. Esitelmä- moniste.

- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s. + liitteet 6 s.
- Kellomäki, S. (toim.). 1998. Forest resources and sustainable management. Papermaking science and technology, book 2. Gummerus Oy. Jyväskylä. 425 s.
- Koponen, H. 1995. Puulevytuotanto. Opetushallitus. Gummerus Oy. Helsinki. 212 s.
- Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy. 415 s.
- Lindblad, J. & Verkasalo, E. 1999. Teollisuushakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 747. 48 s. + liitteet 9 s.
- Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. Metsätieteen aikakauskirja 3/2001: 411–431.
- Sahateollisuus, Mekaaninen metsäteollisuus 2. 1986. Ammattikasvatusthallitus, Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys ry. Valtion painatuskeskus. Helsinki. 290 s.
- SCAN-CM 43: 95. 1995. Massanvalmistuksessa käytettävä hake, kuiva-tuoretiheys. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Uusittu suomenkielinen käännös. 4 s.
- Sipi, M. 1998. Sahatavaratuotanto. Opetushallitus. Hakapaino Oy. Helsinki. 190 s.
- Uusvaara, O. 1969. Sahanhakkeen tiheydestä ja painosta. Puumies 1–2/1969. Jyväskylä. 3 s. Eripainos.
- Uusvaara, O. 1986. Sahanhakkeen painomittaus. Folia Forestalia 668. 15 s.
- Uusvaara, O. & Heiskanen, V. 1975. Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittaus ja laadunmääritys Suomessa. Folia Forestalia 234. 23 s.
- Verkasalo, E. 1992. Forest industry as a producer and consumer of wood-based energy in Finland. Tiivistelmä: Metsäteollisuus puupohjaisen energian tuottajana ja kuluttajana Suomessa. Silva Fennica 26(2): 123–131.

Etukannen kuvat:

Ylh. vas.

Kuopion yliopistolla pidettyyn tutkimuspäivään osallistui kaikkiaan 88 henkilöä.

Kuva: Henrik Heräjärvi

Ylh. oik.

Koivulla on monia vaihtoehtoisia käytömahdollisuuksia. Kuvassa laadukasta välitukkaa sahaukseen.

Kuva: Henrik Heräjärvi

Kesk. vas.

Ensiharvennettua männikköä Pohjois-Karjalan Enossa. Leimikolta on hakattu tukin ja kuitupuun lisäksi pikkutukkaa lyhyttukkimenetelmällä.

Kuva: Tapio Wall

Kesk. oik.

Itä-Suomen sellu- ja paperiteollisuus on huomattava koivun käyttäjä. Kuvassa koivukuitupuuta Oy Metsä-Botnia Ab:n Äänekosken tehtaalla.

Kuva: Jari Lindblad

Alh. vas.

Kotimainen kuusi on täyskäytössä metsäteollisuudessamme. Kuvassa kuusiviilun sorvausta Finnforest Oyj:n Suolahden vaneritehtaalla.

Kuva: Henrik Heräjärvi

Alh. oik.

Itä-Suomen paperi- ja kartonkiteollisuus on maailman huippuluokkaa tehokkuudessa ja jalostusasteessa. Kuvassa erikoiskartongin valmistusta Stromsdal Oyj:n Juankosken tehtaalla.

Kuva: Henrik Heräjärvi