

Pieniläpimittaisen koivun hyödyntäminen huonekaluteollisuuden tarpeisiin

Tutkimus- ja kehittämishankkeen loppuraportti

Jari Lindblad, Vesa Tammiruus, Harri Kilpeläinen,
Jani Lehtimäki, Henrik Heräjärvi, Erkki Verkasalo



METLA
JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS



METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 899

**PIENILÄPIMITTAISEN KOIVUN HYÖDYNTÄMINEN
HUONEKALUTEOLLISUUDEN TARPEISIIN**

Tutkimus- ja kehittämishankkeen loppuraportti

Jari Lindblad
Vesa Tammiruusu
Harri Kilpeläinen
Jani Lehtimäki
Henrik Heräjärvi
Erkki Verkasalo

**JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS
2003**

Lindblad, J., Tammiruusu, V., Kilpeläinen, H., Lehtimäki, J., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2003. Pieniläpimittaisen koivun hyödyntäminen huonekaluteollisuuden tarpeisiin. Tutkimus- ja kehittämishankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 899. 68 s. + liitteet 19 s. ISBN 951-40-1889-3, ISSN 0358-4283.

Huonekaluteollisuus on käyttänyt koivua perinteisesti vain oksattomana tai vähäoksaisena. Viime vuosina koivutuotteille on syntynyt huomattavaa kysyntää myös terveoksaisena Euroopan huonekalumarkkinoilla. Puutuoteteollisuudessa harvennusmetsien pieniläpimittaiset koivuvarat tarjoavat mielenkiintoisen mahdollisuuden terveoksaisen, ns. oksakoivun lähteenä huonekalujen ja liimalevyn valmistukseen.

Tässä tutkimus- ja kehittämishankkeessa määritettiin pieniläpimittaisen koivun saatavuus Etelä-Savon ja lähimaakuntien alueilla sekä koivupikkutukin hakkuukertymät erityyppisissä harvennuskoivuleimikoissa. Lisäksi selvitettiin tukkien koko ja laatu, sahatavaran saanto ja laatu jakauma sekä tukkien järeyden ja geometrian vaikutus sahatavaran saantoon ja laatuun ja käyräsahauksen mahdollisuudet. Suppealla aineistolla tutkittiin sahatavaran pinnan kovuutta.

Harvennuskoivuleimikoissa pikkutukin apteerausta rajoittivat tyyppillisesti erilaiset rungon muotoivat, yleisimmin monivääryys tai mutkaisuus. Sahapuun kertymä ja osuus olivat suurimmat istutuskoivikoissa ja pienimmät luontaisesti syntyneissä puhtaissa koivikoissa vaihdellen leimikkotyypin välillä 5–15 m³/ha ja 15–25 % hakkuukertymästä. Kuitupuun ja pikkutukin pituus- ja läpimittavalikoiman vaikutus pikkutukkikertymään oli noin 5–10 %-yksikköä.

Oksattoman sahatavaran osuus oli suurin oksattomista tukeista saaduissa saheissa. Terveoksaisen sahatavaran osuus oli suurin oksaisista tukeista saaduissa saheissa, oksalaadusta (elävä/kuollut) riippumatta. Saheiden terveiden oksien paksuus kasvoi vajaan senttimetrin ja kuolleiden oksien paksuus alentui hieman rungon tyveltä käyttöosan latvaan. Tukkien lenkouden kasvaessa tasolta alle 5 mm/m tasolle yli 15 mm/m täyssärmäisen sahatavaran osuus aleni 5–10 %-yksikköä. Tukkien mutkaisuuden vaikutus sahaustulokseen oli samaa suuruusluokkaa, kun mutkaisuus vaihteli tasolta alle 10 mm/m tasolle yli 15 mm/m. Simuloitaessa eri läpimitta-, lenkous- ja mutkaisuusluokkien tukkien käyrä- ja suorasaahausta täyssärmäisen sahatavaran osuuksissa ei havaittu eroja sahaustapojen välillä.

Avainsanat: *Betula*, koivu, harvennuskoivu, harvennushakkuu, hakkuukertymä, puutavaralajit, sahaus, huonekaluteollisuus, saanto, laatu, kovuus.

Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu, puh. 010 2111, fax. 010 211 3113, sähköposti: etunimi.sukunimi@metla.fi.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki –tutkimusohjelma (PKM), hanke 7090.

Hyväksynyt: Tutkimusjohtajan sijainen Jari Hynynen 10.10.2003

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto, PL 18, 01301 Vantaa, puh. 010 211 2200, fax. 010 2201

Alkusanat

Koivun harvennushakkuista saatavaa pieniläpimittaista koivua on käytetty kuluvalle vuosikymmenelle asti selluloosateollisuuden raaka-aineena tai energiapuuna. Puunmyyjien kannalta tilanne ei ole ollut toivottava, koska pieniläpimittaisen koivun ostajavaihtoehtoja on ollut rajoitetusti ja koivupienpuun kysyntä on vaihdellut voimakkaasti suhdanteiden mukaan. Myös koivua käyttävää pk-puutuoteteollisuus on kaivannut uusia vaihtoehtoja puunhankintaan.

Pieniläpimittaisen koivun käyttö huonekalu- ja liimalevyteollisuudessa on alkanut vasta viime vuosina uusien lopputuotteiden myötä, joissa vaatimuksena ei ole perinteisen koivuhuonekaluteollisuuden tapaan oksattomuus tai vähäoksaisuus vaan terveoksaisuus. Mahdollisuus hyödyntää harvennushakkuista saatavaa koivua on selvä etu sekä raaka-aineen saatavuuden että hinnan suhteen. Metsänomistajille harvennushakkuista lisäkäyttö parantaa puunmyyntimahdollisuuksia. Uusi käyttömahdollisuus on omiaan kannustamaan taimikonhoitoon ja harvennushakkuihin, joiden toteuttaminen on ensiarvoisen tärkeää järeän ja laadukkaan tukkiraaka-aineen saamiseksi myös tulevaisuudessa.

Tältä pohjalta sai alkunsa tämä Metsäntutkimuslaitoksen elokuussa 2001 – lokakuussa 2003 toteuttama, alueellisesti ja paikallisesti elinkeinoelämään vaikuttava tutkimus- ja kehittämishanke. Hankkeen päärahoittaja oli Etelä-Savon TE-keskus / EU:n Itä-Suomen tavoiteohjelma 1 ja osarahoittajat Metsäntutkimuslaitos ja neljä eteläsavolaista puutuotesektorin yritystä: Veisto Oy, Mäntyharju; Koivusaha Solla Oy, Ruokolahti (hankkeen aloitusajankohtana Kuomion Saha Oy, Ristiina); Parlatuote Oy, Rantasalmi; Taso 2002 Oy, Juva. Etelä-Savon metsänomistajien liitto ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto osallistivat hankkeeseen ohjausryhmätyöskentelyn kautta. Hankkeen vastuullinen johtaja oli professori Erkki Verkasalo ja päätutkija Jari Lindblad. Heidän lisäksi hankkeessa työskentelivät projektitutkijat Jani Lehtimäki ja Vesa Tammi-ruusu, varttunut tutkija Henrik Heräjärvi ja tutkija Harri Kilpeläinen. Hankkeen ohjausryhmän ja projektiryhmän kokoonpanot on esitetty liitteessä 1.

Tutkimusten kenttätyöt metsässä ja sahalla tekivät hankkeen päätutkija sekä Jani Lehtimäki, Juha Metros, Jukka Lehtimäki ja Veijo Salo ja puulaboratoriotyöt Hannu Koivunen. Pystyleimikkoinventointien ja koehakkuiden kohteet hankittiin paikallisten metsänhoitoyhdistysten avustuksella. Koehakkuista vastasivat yksityiset metsäkoneyrittäjät leimikoiden omistajien suostumuksella ja myötävaikutuksella. Koehakkuuleimikoiden puutavaran osti käyttöönsä ja koesahausten suunnittelussa avusti Koivusaha Solla Oy. Koesahaukset toteutettiin Veisto Oy:n Kokkosenlahden sahalla (Mikkeli). Ulkopuolista työpanosta, laitteistoa ja osaamista tarjosivat hankkeen käyttöön Misawa Oy (Mikkeli) ja Visiometric Oy (Lappeenranta). Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille hankkeen valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille ja organisaatioille.

Joensuu, elokuu 2003

Tekijät

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
1.1	Tutkimuksen tausta	9
1.2	Koivuvarat ja hakkuumahdollisuudet Suomessa	9
1.3	Koivun kasvatus ja laatu	12
1.4	Koivun käyttö	15
1.5	Huonekaluteollisuus.....	18
1.6	Hankkeen tavoitteet	20
2	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT	21
2.1	Pystyleimikkotutkimukset	21
2.2	Runkojen apteeraus.....	23
2.3	Koeleimikoiden hakkuu ja koetukkien hankinta.....	25
2.4	Koetukkien laadutus	26
2.4.1	Laatuaineisto	26
2.4.2	Muotovika-aineisto.....	27
2.5	Koesahaukset	28
2.6	Sahatavaran laadutus ja mittaukset	29
2.6.1	Laatuaineisto	29
2.6.2	Muotovika-aineisto.....	29
2.7	Sahauksen simulointi	30
2.8	Sahatavaran puuaineen kovuuden tutkimukset.....	31
3	TULOKSET	35
3.1	Pystyleimikkoinventoinnit ja koepuiden laatu metsikkötyypeittäin	35
3.2	Koeapteeraukset ja puutavaralajijakaumat eri metsikkötyypeillä.....	38
3.3	Koehakkuuleimikot, koepuiden laatu ja puutavaralajijakaumat	41
3.4	Koetukkien laatu	42
3.5	Tukin järeyden ja laadun vaikutukset sahatavaran laatuun.....	44
3.6	Tukkien geometrian vaikutukset käytännön sahaustulokseen	47

3.7	Käyrä- ja suorasahauksen erot sahauksen simuloinnissa.....	50
3.8	Sahatavaran puuaineen kovuus.....	52
4	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	53
4.1	Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys	53
4.2	Tulosten arviointi ja vertailu muihin tutkimuksiin	54
4.3	Jatkotutkimusten ja kehittämistyön tarpeita.....	59
	KIRJALLISUUS.....	62

LIITTEET

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Suomalaisen huonekaluteollisuuden tarpeisiin soveltuvasta koivusta on tulossa alan kehittämisen niukkuustekijä. Tilanne on syntynyt lehtipuun yleisen kysynnän vilkastuttua vientimarkkinoilla, mikä on avannut mahdollisuuksia koivuhuonekaluja ja niiden valmistuksessa tarvittavia aihioita ja komponentteja valmistavalle teollisuudelle. Tulevaisuudessa kotimainen huonekaluteollisuus tulee panostamaan yhä voimakkaammin koivuun, mäntyhuonekalujen kannattavan valmistuksen vaikeutuessa kilpailusyistä. Koivua on totuttu käyttämään oksattomana tai vähäoksaisena raaka-aineena, jota saadaan lähinnä vain järeästä koivusta. Viime aikoina markkinat ovat alkaneet avautua myös terveoksisille laaduille, joista valmistetaan mm. ruokailu- ja konttorikalustojen pöytiä ja tuoleja, hyllyjä ja ovia.

Terveoksisen raaka-aineen hankkimiseen tarjoaa mahdollisuuden harvennushakkuista saatava pieniläpimittainen koivu. Tämän lähtötilanteen vuoksi jalostava pk-teollisuus tarvitsee lisätietoa soveltuvan raaka-aineen hakkuumahdollisuuksista, laadusta ja määristä, hankintamenetelmistä, korjuuteknologioista ja mahdollisista jalostusprosessin ongelmista. Pk-teollisuuden tulisi kyetä ohjaamaan puunhankintansa metsiköihin, joissa hyödynnettävissä olevan koivupikkutukin kertymä on riittävä ja laatu tarkoituksenmukainen. Puunhankinnan onnistuminen vaatii myös tiedon tuottamista ja välittämistä metsänomistajille harvennuspuun käyttömahdollisuuksista muutoinkin kuin kuiduttavassa teollisuudessa.

1.2 Koivuvarat ja hakkuumahdollisuudet Suomessa

Koko maan metsämaapinta-alasta yhdeksän prosenttia on koivuvaltaista (rauduskoivu 2,5 %, hieskoivu 6,5%). Koivuvaltaiset metsiköt keskittyvät Suomessa rauduskoivun osalta Järvi-Suomeen ja hieskoivun osalta Pohjanmaalle ja Pohjois-Suomeen (taulukko 1) (Peltola 2002). Suomen lehtipuuston kokonaistilavuus on 375,5 milj. m³ (Peltola 2002), joista valtaosa, yli 80 % on koivua. Rauduskoivu (*Betula pendula* Roth.) kattaa koivupuuston kokonaistilavuudesta reilun neljänneksen ja hieskoivu (*Betula pubescens* Ehrh.) hieman yli kaksi kolmasosaa (Verkasalo 2002). Keskimäärin koivuvaltaisten metsiköiden puuston tilavuus on koko maassa 81 m³/ha, jonka pohjalta voidaan laskea koivun kokonaistilavuudeksi näissä metsiköissä 147 milj. m³. Näin ollen huomattava osa maamme koivutilavuudesta kasvaa sekapuustona havupuuvaltaisissa metsiköissä. Koivun vuotuinen kasvu on 13 milj. m³. Hieskoivu on huomattavasti yleisempi kuin rauduskoivu, keskimäärin hieskoivua on noin kolme kertaa

Taulukko 1. Koivuvaltaisten metsiköiden osuus metsämaan pinta-alasta metsäkeskuksittain VMI 9 mukaan (Peltola 2002).

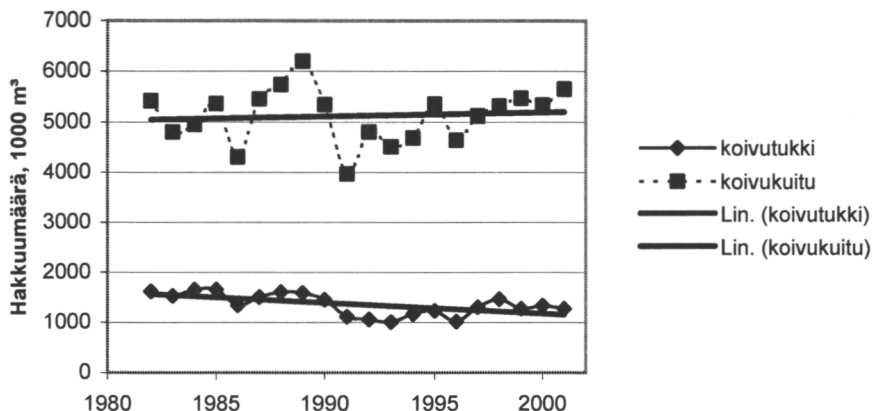
Metsäkeskus	Metsämaata 1000 ha	Metsikön vallitseva puulaji ¹		Koivut yhdessä
		Rauduskoivu	Hieskoivu	
		Prosenttia metsämaan alasta		
Koko maa	20153	2,5	6,5	9,0
Ahvenanmaa	62	6,3	5,0	11,3
Rannikko	823	4,2	6,1	10,3
Lounais-Suomi	1002	2,3	4,7	7,0
Häme-Uusimaa	942	6,3	5,4	11,7
Kaakkois-Suomi	784	5,0	2,9	7,9
Pirkanmaa	896	4,2	4,2	8,4
Etelä-Savo	1226	7,8	5,4	13,2
Etelä-Pohjanmaa	1274	0,8	6,6	7,4
Keski-Suomi	1361	4,0	4,7	8,7
Pohjois-Savo	1306	5,3	6,6	11,9
Pohjois-Karjala	1491	4,7	6,5	11,2
Kainuu ²	1660	0,2	6,7	6,9
Pohjois-Pohjanmaa ²	2350	0,5	9,8	10,3
Lappi ²	4972	0,1	7,1	7,2

¹⁾ Vallitsevan puulajin osuus puuston tilavuudesta on suurin

²⁾ Tulokset VMI 8 mukaan

enemmän kuin rauduskoivua. Hieskoivun suhteellinen esiintyminen on runsainta Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan alueilla (Saramäki 1993). Koivun kokonaistilavuudesta Etelä-Suomessa on hieskoivua noin 70 % (Verkasalo 1993).

Yli 30 cm:n koivupuustoa on nykyisin enemmän kuin 1950-luvulla, ennen varsinaisen koivua hyljeksineen kauden alkua (esim. Kärkkäinen 1998, Verkasalo & Paukkonen 1999). Lämpimiltään 21–29 cm:n koivun määrä on puolestaan vähentynyt, etenkin Etelä-Suomessa ja alle 21 cm:n koivun määrä on pysynyt samalla tasolla 1960-luvun jälkeen (Hynynen ym. 2002). Yleinen käsitys on silti, että järeitä koivikoita on maassamme tällä hetkellä varsin vähän. Niiden osuus tulee nousemaan tulevaisuudessa 1960-luvulla aloitetun aktiivisen koivunviljelyn ja peltojen metsityksen johdosta. Koivu istutusala on lisääntynyt tasaisesti 1980-luvun puolivälistä saakka nykyiselle tasolleen 10 000–15 000 hehtaariin vuodessa (Hynynen ym. 2002). Tällä hetkellä harvennuksia odottavia ja lähivuosina harvennusikään tulevia nuoria koivikoita on eteläisessä Suomessa yli 260 000 hehtaaria. Näitä on erityisen runsaasti Itä- ja Keski-Suomessa. Esimerkiksi Pohjois-Karjalassa on koivuvaltaisia nuoria ja varttuneita kasvatusmetsiköitä noin 84 000 hehtaaria (Korhonen ym. 2001). Vastaava pinta-ala on Keski-Suomessa noin 74 000 hehtaaria (Tomppo ym. 1999), Pohjois-Savossa noin 91 000 hehtaaria (Tomppo ym. 1999), Etelä-Savossa noin 70 000 hehtaaria (Tomppo ym. 2001) ja Kymessä noin 31 000 hehtaaria (Tomppo ym. 1999). Näissä metsiköissä harvennushakkuu on myöhässä tai ajankohtainen lähimmän 5-vuotiskauden aikana Pohjois-Karjalassa noin 55 000 hehtaarilla, Keski-Suomessa noin 38 000 hehtaarilla,



Kuva 1. Koivutukkien ja koivukuitupuun hakkuukertymät Suomessa 1981–2001 (Metinfo) ja hakkuukertymien kehitystrendit.

Pohjois-Savossa noin 38 000 hehtaarilla, Etelä-Savossa noin 36 000 hehtaarilla ja Kymessä noin 19 000 hehtaarilla.

Vuodesta 1997 lähtien koivun vuotuiset hakkuumäärät ovat olleet keskimäärin 6,6 milj. m³, mistä koivutukkia on ollut 1,3 milj. m³ ja koivukuitupuuta 5,3 milj. m³. Koivukuitupuun hakkuumäärät vaihtelivat sitä ennen 1980-luvun alusta lähtien ajoittain voimakkaastikin, mutta määrä on pysytellyt trendinä tarkasteltuna melko tasaisesti 5 miljoonan kuutiometrin vuositasolla (kuva 1). Järeiden koivikoiden suhteellinen niukkuus näkyy myös koivutukin hakkuumäärissä, jotka ovat olleet lievässä laskussa viimeisten parin vuosikymmenen aikana. Koivukuitupuun hakkuumäärät ovat vastaavasti hieman kasvaneet. Koivukuitupuusta on ollut pieni määrä sahateollisuuden käyttämää puutavaraa eli pikkutukkia, arviolta 10 000–20 000 m³/a (Peltola 2002). Koivun hakkuumahdollisuusarviot suurimman kestävän hakkuusuunnitteen mukaan mahdollistaisivat hakkuiden pienen lisäämisen lähivuosina tasolle 7,5 milj. m³/a, josta olisi tukkia 1,9 milj. m³ ja kuitupuuta 5,6 milj. m³. Lisäys tulisi ennen kaikkea uudistushakkuista. Koivua hyljeksineen metsänhoitokauden vaikutukset ilmenisivät kuitenkin jo kaudella 2006–2016. Hakkuumahdollisuus laskisi tällöin tasolle 5,6 milj. m³/a vähennyksen kohdistuessa sekä tukkiin (1,2 milj. m³/a) että kuitupuuhun (4,4 milj. m³/a). Kausilla 2016–2036 alkaisi näkyä viljely- ja harvennuskoivikoiden hakkuukertymä ja kauden loppupuolella sekapuustona kasvatettu ja harvennuksissa säästetty koivu alkaisi lisätä koivun osuutta uudistushakkuissa. Koivun hakkuumahdollisuudet olisivat tällöin keskimäärin 6,7 milj. m³/a, josta olisi tukkia 1,5 milj. m³/a ja kuitupuuta 5,2 milj. m³/a. Yhteenvedona koivun hakkuiden volyyymi olisi hieman vajaa 8 milj. m³/a nykyisillä koivun viljelymäärillä. Mikäli koivua halutaan tuottaa vielä enemmän, ainoa mahdollisuus on viljelyn lisääminen. Sekametsien suosimisella joudutaan puuntuotannon taloudellisista tavoitteista tinkimään,

Taulukko 2. Koivutukin ja –kuitupuun hakkuumahdollisuusarviot Itä- ja Keski-Suomessa eri metsäkeskusten alueilla viimeisimpien julkaistujen tietojen mukaan. Suurin kestävä hakkuusuunnite.

Metsäkeskus	Kausi	Puutavaralaji			Lähde
		Tukki	Kuitupuun Poistuma, 1000 m ³ /a	Yht.	
Etelä-Savo	1998–2008	400	950	1350	Nuutinen & Hirvelä 2001a
Pohjois-Savo	1996–2005	220	780	1000	Hirvelä ym. 1999
Keski-Suomi	1996–2005	220	670	890	Hirvelä ym. 1999
Pohjois-Karjala	2000–2009	160	670	830	Nuutinen & Hirvelä 2001b
Kymi	1997–2006	210	450	660	Hirvelä 1999
Yhteensä		1210	3520	4730	

metsätalouden tuotot alenevat nopeasti eikä koivun määrä enää kasva merkittävästi (Hynynen ym. 2002).

Koivun käyttävän teollisuuden kannalta mielenkiintoisimmassa osassa maata, Itä- ja Keski-Suomessa, hakkuumahdollisuudet jakautuvat eri metsäkeskusten alueille viimeisten julkaistujen tietojen mukaan taulukon 2 mukaisesti. Tämän alueen osuus koko maan hakkumahdollisuuksista on noin kaksi kolmasosaa. Tietoja hakkuumahdollisuuksien jakaumasta pääte- ja kasvatushakkuisiin ei ole julkaistu, kuten ei myöskään saha- ja pikkutukkien osuutta.

1.3 Koivun kasvatusta ja laatu

Rauduskoivu on maamme kahdesta koivulajista selvästi tärkeämpi ja enemmän viljelty ja kasvatettu, mutta hieskoivuakaan ei sovi unohtaa turvemaiden puulajina (esim. Moilanen & Murtovaara 1998). Koivua on viljelty maassamme 1960-luvulta lähtien. Viljelyn huippuvuodet ajoituivat 1970-luvun puoliväliin ja 1990-luvun alkupuoliskolle, jolloin vuosittain istutettiin yli 25 miljoonaa koivuntainta. Sitten koivun viljely on pienentynyt noin puoleen huippuvuosista (Niemistö 1993, Peltola 2002). Tärkeimpinä syinä vähentymiseen lienevät kuusen suosion kasvu metsänuudistamisessa koivulle sopivilla kasvu- paikoilla sekä pellonmetsityksen vähentyminen. Vielä 1990-luvun alkupuolella peltoja metsitettiin lähes kolminkertaisesti vuoteen 2000 verrattuna. Istutetuista koivuntaimista suurin osa on ollut rauduskoivua. Lähinnä ongelmallisina pidettyjen turvemaiden metsittämisessä on käytetty myös hieskoivuntaimia, mutta niiden tuotanto on pudonnut alle miljoonaan taimeen vuodessa. Rauduskoivua uudistetaan jonkin verran myös luontaisesti, muutamia tuhansia hehtaareja vuosittain. Kuusitaimikoihin rauduskoivuja jätetään täydentämään ja lisäämään runkolukua.

Rauduskoivun istutustiheytenä käytetään yleisesti 1600 kpl/ha. Niemistö (1998) on tutkinut rauduskoivun istutustiheyden ja rivivälin vaikutusta kasvuun ja tuotokseen ja todennut tämän tavoitettiheyden olevan yleensä sopiva. Hieskoivutaimikossa, mikäli sellaisen kasvatukseen päädytään, on edullisinta käyt-

tää rauduskoivutaimikoita suurempaa tiheyttä, noin 2500 kpl/ha (Ferm 1983). Rauduskoivun viljelyn onnistumista on tutkittu runsaasti sekä istutuksessa että kylvössä (esim. Raulo ym. 1998). Onnistumistulokset ovat vaihdelleet varsin paljon.

Rauduskoivun ensiharvennus tulisi ajoittaa 13–16 metrin valtapituuteen tiheydestä riippuen (Niemi & Poutiainen 1998). Taloudellisesti kannattavalle ensiharvennukselle on aikaa vain 3–5 vuotta ennen kuin latvukset alkavat kärsiä ylitheydestä. Ennen päätehakkuuta tarvitaan vielä toinen harvennus, josta pyritään jo saamaan tukkipuuta (Niemi & Poutiainen 1998). Riittävä kasvustiheys ja oikea-aikainen harvennus ovat tärkeimmät edellytykset koivun hyvälle tekniselle laadulle. Tyvitukin oksien kuoltua rauduskoivikko kannattaa harventaa voimakkaasti. Voimakkaat harvennukset edistävät koivun laatua jouduttaen tyven karsiutumista ja rungon järeytymistä. Koivupuun laatuun voidaan vaikuttaa myös oikea-aikaisella ja huolellisella pystykarsinnalla (esim. Verkasalo & Rintala 1998). Koivutukkeihin värivikoja aiheuttavien kuivien ja lahojen oksien vyöhyke jää tällöin pieneksi.

Koivun käyttöä teollisuuden raaka-aineena rajoittavat erilaiset viat ja vikojen yhteisvaikutus. Koivun tavallisesti melko pienikokoisissa rungoissa yleisesti esiintyviä ominaisuuksia ovat mutkaisuus, lenkous, haaraisuus, epäpyöreys, voimakas kapeneminen, oksaisuus sekä laho- ja väriviat. Koivulle tyypillistä mutkaisuutta selittää symbodiaalinen kasvutapa, jossa pääranka vaihtuu jokaisella kasvukaudella (esim. Kärkkäinen 2003). Runko- ja latvavauriot, joita aiheuttavat monet bioottiset ja abiottiset tekijät, tärkeimpinä hirvet, myyrät, jänikset ja lumenmurrot, ovat hyvin yleisiä koivulla. Vikojen esiintymisyleisyys vaihtelee paitsi hies- ja rauduskoivujen välillä, myös kasvupaikan ja metsikön syntyvän suhteen. Koivulle on ominaista oksien nopea kuoleminen ja karsiutuminen tyveltä, mutta latvuksessa oksien määrä, laatu ja paksuus aiheuttavat ongelmia varsinkin luonnonkoivulla. Koivulla ei ole erotettavissa selviä oksikkuusvyöhykkeitä rungon pituuden tai säteen suunnassa. Näin ollen koivujen sisäoksalaadun ennustaminen on epävarmaa, mikä vaikeuttaa runkojen apterausta ja tukkien laatuluokittelua (Verkasalo & Paukkonen 1999, Heräjärvi 2002b).

Raudus- ja hieskoivun teknistä laatua on tutkittu Suomessa verrattain runsaasti erilaisilla kasvupaikoilla (esim. Heiskanen 1957, Verkasalo 1997, Niemistö ym. 1997, Kaurala 2000, Heräjärvi 2001). Heiskanen (1957) toteaa rauduskoivujen olevan hieskoivuja pidempiä, suorarunkoisempia ja kaikilla kasvupaikoilla läpimitaltaan suurempia kuin samanikäiset hieskoivut. Oksaton rungon osa on rauduskoivuilla pidempi sekä lahoviat ja pystyoksat harvinaisempia kuin hieskoivuilla. Kovilla kangasmailla kasvavat koivut ovat suurempia ja yleisesti laadultaan parempia, ts. laho-oksaisuutta ja mutkaisuutta esiintyy kangasmailla vähemmän kuin turvemailla. Lahoviat ovat todennäköisimpiä yliikäisillä hieskoivuilla ja turvemailla. Istutuskoivujen runkomuoto on usein heikko. Niemistö ym. (1997) havaitsivat pellolla kasvaneissa istutuskoivurungoissa huomattavasti enemmän tyvimutkia, lenkoutta sekä latvan vioittumisesta johtuvia muotovikoja kuin vastaavissa kivennäismaiden koivurungoissa.

Koivulajeja Pohjanmaalla vaneripuun näkökulmasta vertailut Verkasalo (1997) toteaa hieskoivun olevan rauduskoivua heikompi puulaji varsinkin rungon ja vaneripuuosan pienempien dimensioiden, pienemmän vaneripuuosuuden ja huonomman tyvitukkiosan runkomuodon (suoruus, kapeneminen ja epäpyöreys) vuoksi. Koivulajien ero on samansuuntainen hieskoivun suhteellisen alhaalta alkavien kuivien oksien, tyvitukkiosan paksujen oksien ja runsaiden terveiden oksien sekä käyttöosan paksujen lahojen oksien osalta. Toisaalta Verkasalo (1997) mainitsee hieskoivun ominaisuuksien näyttävän keskiviljävillä kivennäismailla jopa rauduskoivua paremmilta mm. matalampien terveoksa- ja latvusrajojen sekä vähäisemmän tukkipuiden tyveämisen ja latvavähennysten tarpeen suhteen.

Kauralan (2000) puhtaita koivikoita ja kuusi-koivusekametsiä vertaileessa tutkimuksessa teknisten laatuominaisuuksien erot koivulajien välillä olivat vähäisiä, kun kasvuolosuhteet olivat samankaltaiset ja kasvunopeutta ei otettu huomioon. Useat tutkimukset mainitsevat havupuuvaltaisissa sekametsissä kasvavien koivujen olevan usein laadultaan puhtaita koivikoita parempia, johtuen alaoksien aikaisemmasta kuolemista ja karsiutumista (esim. Heiskanen 1957, Mielikäinen 1980, 1985, Kaurala 2000, Heräjärvi 2001).

Puuaineen rakenteen, tiheyden ja lujuuden suhteen hieskoivu on rauduskoivuun verrattuna lähes samanveroinen raaka-aine (Verkasalo 1993, Koponen 1996). Hieskoivun puuaineessa putkilot ovat hieman pidempiä ja paksumpia kuin rauduskoivulla (esim. Bruun & Slungaard 1959, Ollinmaa 1955, Kujala 1946, Lönnberg 1975, Bhat & Kärkkäinen 1981)), vastaavasti rauduskoivun tiheys on hieman korkeampi kuin hieskoivun (esim. Hakkila 1966, Lindblad & Verkasalo 2001). Sen sijaan pitkään kestäneessä varastoinnissa hieskoivun tiheys on alentunut rauduskoivua hitaammin (Verkasalo 1993b). Tiheämmästä puuaineesta johtuen virheettömän rauduskoivun lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ja pinnankovuus ovat yleensä paremmat kuin hieskoivulla (Heräjärvi 2002), mutta erot peittyvät käytännössä mm. vinosyisyyden ja oksaisuuden vaikutusten alle (esim. Verkasalo 1997).

Erityisesti pieniläpimittaisesta koivusta saatavalle sahatavaralle ja viilulle ovat ominaisia ruskotäpläkärpäsen toukkakäytävien aiheuttamat tummat juovat puuaineessa. Ruskotäpläkärpäsen esiintymisyleisyydellä on havaittu yhteys metsikön valo-olosuhteisiin ja viljavuuteen, jolloin toukkakäytäviä esiintyy yleisimmin istutuskoivikoissa (Ylioja 2000). Eniten toukkakäytäviä on rungon tyvellä lähellä puun ydintä, mutta rungon läpimitan kasvaessa ruskotäplät vähenevät oleellisesti tai häviävät kokonaan (Niemistö 1998a,b). Ruskotäpläkärpäsen aiheuttamien värivikojen välttäminen lienee useiden lähteiden mukaan käytännössä melko mahdotonta.

Vaikka huomattava osa koivuvaroista kasvaakin sekapuustona havupuuvaltaisissa metsissä, mahdollisuudet koivun hakkuukertymän kasvattamiseen sekametsien kasvatusta suosimalla ovat vähäisiä. Hynysen ym. (2002) mukaan koivun hakkuukertymää voidaan lisätä näin enintään 15 %. Koivun suosiminen sekapuustona vähentää suurena osuutena kuusikon (Mielikäinen 1985, Valkonen 2000) ja pienenä osuutena männikön tuotosta (Mielikäinen 1980). Toisaalta lievä rauduskoivusekoitus kuusella voi lisätä runkopuun tuotosta

pitkällä kiertoajalla. Mielikäisen (1985) tutkimuksessa 25 %:n rauduskoivusekoituksen säilyttäminen kuusikossa merkitsi 80–90 vuoden kiertoajalla 3–5 %:n runkopuun tuotoksen lisäystä verrattuna vaihtoehtoon, jossa kaikki koivu poistettiin jo ensimmäisissä harvennushakkuissa. Hieskoivusekoitus puolestaan pienensi runkopuun tuotosta noin 5 % ja tukkipuun tuotosta 10–30 % kuusikkoon verrattuna. Nuorella iällä lievä rauduskoivusekoitus (< 20 %) voi parantaa myös mänty-koivusekametsän kasvua (Mielikäinen 1980).

Rauduskoivut tuottavat yleensä hieskoivuja enemmän puuainetta kasvukautta kohti. Heiskanen (1957) havaitsi rauduskoivut kaikilla kasvupaikoilla selvästi järeämmiksi kuin samanikäiset hieskoivut; rinnankorkeusläpimitat hieskoivuilla olivat 10–30 prosenttiyksikköä pienempiä kaikissa ikäluokissa kasvupaikasta riippumatta. Hieskoivu kärsii muita puulajejamme vähemmän ravinnepuutoksista ja liiallisesta kosteudesta. Yleisesti ottaen hieskoivu on muihin puulajeihin nähden kilpailukykyinen heikosti vettä läpäisevillä maapohjilla (Saramäki 1993).

Valkonen (2000) vertaili vapautetun kuusialikasvoksen, kuusikon luontaisen koivutäydennyksen ja kaksijaksoisen koivu-kuusisekametsikön kilpailukykyisyyttä puhtaan viljelykuusikon kasvattamisen vaihtoehtoina. Luontaisesti syntyneen koivikon kasvattaminen kuusikon verhopuustona ja poistaminen keskenkasvuisena ilman hakkuutuloja vaikuttaa taloudellisesti kannattamattomalta silloin, kun kuusitaimikolle ei tarvita hallasuojaa. Koivuylispuuston kasvattamista kannattaa mieluummin jatkaa rauduksella noin 40 vuoden ja hieksellä 45–50 vuoden ikään saakka. Koivujakson tuotos ylittää selvästi kuusen kasvun hidastumisesta ja korjuuvaurioista aiheutuneet kasvutappiot. Koivusta saatavat hakkuutulot lisäävät metsikön kiertoajan nettotulojen nykyarvoa huomattavasti etenkin rauduksella. Mård (1998) tutki Ruotsissa koivuylispuuston kokopuukorjuun vaikutusta 20–30 vuotiaan kuusikon kasvuun. Tutkimuksessa vertailtiin kahta käsittelyä, joista toisessa koivut poistettiin kokopuukorjuuna kaikki biomassasta poistaen ja toisessa koivut kaadettiin ja jätettiin metsään. Lyhyellä aikavälillä (5 v.) käsittelyjen välillä ei havaittu merkittävää eroa vaikutuksessa kuusikon kasvuun.

1.4 Koivun käyttö

Suomalaiset kodit lämmitettiin pääasiassa koivuhalolla aina 1950-luvulle saakka, jolloin öljy alkoi syrjäyttää koivua lämmityspolttoaineena. Halon kysynnän romahtaminen taajamakiinteistöissä teki koivusta joksikin aikaa metsänkasvatuksellisesti toisarvoisen puulajin, josta pyrittiin eroon jo taimikonhoitovaiheessa. Lehtipuiden käyttö selluloosan raaka-aineena erityisesti 1970-luvun lopulta lähtien käänsi tilanteen jälleen suosiolliseksi pienikokoiselle harvennuskoiivulle (Hynynen ym. 2002).

Sahateollisuus aloitti koivun teollisen käytön 1800-luvun puolivälissä. Käyttö oli suurimmillaan 1960-luvun puolivälissä, vuosittain noin 0,6 milj. m³. Hyvälaatuisen ja järeän koivun käytöstä on kilpaillut vaneriteollisuus 1900-luvun alkupuolelta lähtien. Koivun käyttömäärissä vaneriteollisuus ohittikin saha-

teollisuuden jo 1910-luvulla; suurimmillaan vaneriteollisuus käytti koivua 1960-luvulla vuosittain noin 2 milj. m³. Näistä käyttömääristä on tultu vientimarkkinoiden kansainvälisen kilpailun kiristymisen ja hyvälaatuisen raaka-aineen vähenemisen vuoksi vähitellen alaspäin tasolle 1,5 milj. m³/a. Vaneritehtaiden koivusta on kotimaista alkuperää enää kaksi kolmasosaa ja jo yli kolmannes on tuontipuuta Venäjältä ja Baltiasta. Tarkoituksenmukaisen raaka-aineen riittävyys on ollut ajoittain vaneriteollisuuden ongelmana vuosikymmenten ajan (Hynynen ym. 2002).

Koivun käyttö sahateollisuudessa on pysynyt viime vuosiin saakka melko vähäisenä, noin 100 000–200 000 kuutiometrissä vuodessa. Koivusahatavaran tuotantomäärien arviointi on kuitenkin melko vaikeaa, sillä suuri osa sahatavarasta tuotetaan pienillä yksityisillä kenttäsaahoilla (Heräjärvi 2002b). Teollisen kokoluokan koivusahoja on joka tapauksessa syntynyt lisää viime vuosina.

Koivusahatukkien laatuvaatimukset ovat jopa ankarammat kuin vaneritukkien, mikä johtuu yhtäältä lopputuotteen, toisaalta tuotantoprosessin asettamista vaatimuksista. Vaneritehtaiden käyttämällä lyhyillä sorvipölkkyillä lenkouden ja mutkien vaikutus saantoon ei ole yhtä suuri kuin sahojen käyttämällä, pääasiassa pidemmillä sahatukeilla. Tämä antaa huomattavasti enemmän mahdollisuuksia myös vaneritukkien apteraukseen sahatukkeihin verrattuna. Sorvatussa viilussa esim. oksaviat toistuvat useissa viiluarkeissa ja ovat siten näkyvämpiä kuin sahatavarassa. Sorvauksessa purilaaseen jää tavallisesti huonolaatuisin sydänpuu, joka tulee kuitenkin mukaan sahatavaraan (Verkasalo 1997b). Vanerin valmistuksessa vikoja sisältäviä viiluja voidaan käyttää sisäviiluina tai oksia voidaan paikata; sahatavaran viat merkitsevät jatkojalostajan kannalta käyttökelpoisen raaka-aineen saannon vähenemistä, lievästi vikaista puuta voidaan käyttää korkeintaan puutuotteessa näkymättömiin jäävissä osissa, ns. sokkokuuna. Käytännössä myös sahatavaran jatkojalostajan puuhukka voi puuaineen vikojen poiston seurauksena muodostua hyvin suureksi (Verkasalo & Paukkonen 1999).

Havupuihin nähden koivun sahauksen käyttösuhteet nousevat korkeiksi tukkien pienen koon ja muotovikojen vuoksi. Pituudeltaan, läpimitaltaan ja laadultaan tavanomaisilla tukeilla särmätyn sahatavaran valmistamiseen tarvitaan noin kolme kuutiometriä tukkipuuta yhtä sahatavarakuutiometriä kohti. Harvennushakkuista saatavan pieniläpimittaisen koivun kyseessä ollessa käyttösuhteet nousevat vielä huomattavasti korkeammiksi, jopa tasolle 4 m³/m³ (Verkasalo 1997b, Lehtimäki 2002, Lehtimäki ym. 2002).

Koivusahatavaran kuivaus on hitaampaa kuin havusahatavaralla, lisäksi koivusahatavaralla on voimakas taipumus värimuutoksiin sekä erilaisiin puuaineen sisäisistä jännityksistä ja epätasaisesta kuivumisesta johtuviin muodonmuutoksiin. Käytetyt kuivauskaavat ovat usein kokemusperäisiä; pääsääntönä on, että kuivausaikojen tulisi olla pitkiä ja lämpötilojen matalia.

Koivun erityisominaisuutena ovat varastoravintoaineiden aiheuttamat puuaineksen värinmuutokset kuivauksessa. Varastoravintoaineiden määrä puuaineesa vaihtelee merkittävästi runkojen välillä, mutta myös vuodenajalla on suuri merkitys rungon kulloinkin sisältämien varastoravintoaineiden määrään. Sokerikoostumuksella ja -pitoisuuksilla sekä kuivausolosuhteilla on todettu

olevan merkitystä koivun puuaineksen värjäytymisessä (Piispanen & Saranpää 2001). Värierot, jotka näkyvät erityisesti koivusahatavaran halkaistuilla pinoilla, ovat todellinen ongelma koivun käytössä. Pahimmillaan värjäytyminen voi estää raaka-aineen käytön lopputuotteessaan. Hidas kuivaus alhaisessa lämpötilassa säilyttää parhaiten koivusahatavaran puuaineksen vaalean värin. Kuivaustulosta on kuitenkin varsin vaikea ennustaa, sillä kuivausolosuhteiden lisäksi myös kaatoajankohdan, ennen kaatoa vallinneiden sääolosuhteiden sekä tukkien ja tuoreiden saheiden varastoinnin pituuden ja varastointiajankohdan on todettu vaikuttavan värjäytymiseen (Luostarinen ym. 2001).

Selluloosateollisuus käyttää vuosittain koivukuitupuuta noin 10 milj.m³, josta vajaa puolet on alkuperältään kotimaista ja loput tuontipuuta pääasiassa Venäjältä ja Baltiasta (Peltola 2002). Koivusellua käytetään pääasiassa hienopaperien ja erilaisten kartonkien valmistuksessa. Lyhytkuituisuutensa ansiosta koivusellu antaa paperille hyvät painettavuusominaisuudet ja parantaa paperin jäykkyyttä. Koivun luontaisia etuja sekä selluloosa- että puutuoteteollisuudessa ovat puuaineen vaaleus ja tasalaatuisuus (Kärkkäinen 2003). Koivu kuitenkin häviää kuituominaisuuksiltaan monille ulkomaisille puulajeille; mm. eukalyptuksella ja akaasialla kuidunpituusjakauma on kapeampi ja massayksikön sisältämä kuitujen määrä on suurempi kuin koivulla (Ranua 1999, Paavilainen 2003). Ajoittain tuodaan esille uhkakuvat koivusellun laatu- ja kustannuskilpailukyvyn heikkenemisestä, jolloin myös kuitupuukokoisen koivun käyttö vähentyisi oleellisesti nykyisestä. Pieniläpimittaisen koivun sahaus on yksi kuitupuukokoisen koivun käytön lisääjä ja osittain myös vaihtoehto (Verkasalo 1998).

Kotimaisten koivuvarojen riittävyys ei sinänsä ole vaarantanut nykyisen laajuisen vaneri-, saha- ja selluteollisuuden puuhoitoa. Liian pienten koivuvarojen sijasta puunhankinnan keskeisenä ongelmana onkin koivuvarojen sijoittuminen pääasiassa seka- ja harvennusmetsiin, jolloin koivun hakkuut ovat sidoksissa männyn ja kuusen kysyntään ja hankintakustannukset muodostuvat keskimääräistä korkeammiksi. Koivun hankinnan vaikeuksiin nähden on ristiriitaista, että laadultaan todennäköisesti paras koivuraaka-aine saadaan juuri sekametsistä (Verkasalo 1993, 1997a, Verkasalo & Paukkonen 1999).

Pienet hakkuukertymät, kertymiin nähden korkeat korjuukustannukset sekä tuotteiden huono saanto kuidutuksessa ja sahauksessa pitävät pieniläpimittaisen puun kantohinnan kohtalaisen alhaisena. Puunhankintaan ja jalostamiseen liittyvät ongelmat ovat usein niin mittavia, ettei edes päätehakkuupuuhun nähden alhainen kantohinta takaa pieniläpimittaisen puun käyttöä siinä määrin kuin mahdollisuuksia raaka-ainevarojen suhteen olisi (Boren 2000). Harvennuspuun käytön ongelmat alkavat heti jalostusketjun alussa; hakkuissa on pidettävä etusijalla metsikön tulevaisuuden kannalta keskeisiä metsänhoidollisia näkökohtia, jolloin poistettavat rungot ovat pääasiassa metsikön pienimpiä ja huonolaatuisimpia. Näin ollen varsin pieni osa hakkuukertymästä on riittävän hyvälaatuisia puutuoteteollisuuden raaka-aineeksi. Korjuukustannuksia lisäävät alhaiset kokonaishakkuukertymät ja käsittely-yksiköiden (runkojen) pieni tilavuus.

Heräjärven (2002) mukaan koivun runkomuodoltaan yleensä huonot pikkutukit olisi syytä jalostaa lyhyinä. Tämä mahdollistaa sahauskelpoisten

pikkutukkien apterauksen lengoista ja vikaisista rungoista ja vähentää lenkou- den ja mutkaisuuden vaikutusta sahauksen saantoon yksittäisillä tukeilla.

Hynynen ym. (2002) tutkivat koivun vaikutusta leimikoiden puunkorjuu- kustannuksiin. Rungon keskikoon ollessa 70–150 dm³ hakkuukustannukset olivat puhtaissa koivikoissa 2–3 % korkeammat kuin havupuuvaltaisissa metsi- köissä. Vastaavasti metsäkuljetuskustannukset olivat koivikoissa yli 15 % kor- keammat johtuen pölkkyjen suuremmasta lajittelutarpeesta, hitaammasta kuor- mauksesta ja pienemmästä kuormakoosta kuin havupuulla.

1.5 Huonekaluteollisuus

Suomalaiset huonekalut valmistettiin 1880-luvulle saakka puuseppämestarien verstaissa, joissa työskenteli oppipoikia ja kisällejä. Ensimmäiset varsinaiset tehtaot syntyivät 1800-luvun lopulla, mutta vielä pitkään huonekalut valmis- tettiin pääosin muualla kuin tehtaissa tai suurissa verstaissa. Kaupungistuminen ja yleinen yhteiskunnan vaurastuminen paransivat huonekalujen menekkiä 1920- ja 1930-luvuilla. Valmistusmäärät kasvoivat niin suuriksi, että huone- kaluteollisuudessakin päästiin käyttämään sarjatuotannon tuomia etuja. Samoi- hin aikoihin Lahdesta tuli suomalaisen puuseppäteollisuuden keskus; 1930- luvun lopulla 40 % huonekaluista valmistettiin Lahdessa (Pakarinen & Turunen 1999).

Koivu on ollut perinteinen huonekalumateriaali Suomessa. Uudet valmis- tusteknologiat toivat kuitenkin 1950-luvulla runsaasti uusia materiaaleja huone- kaluteollisuuteen. Luonnonmateriaalit, mm. vaaleat puupinnat olivat kuitenkin modernin huonekalun tunnusmerkkejä. Huonekaluteollisuuden tuotanto kasvoi 1950-luvulla nopeasti alalla toimivien yritysten lukumäärän säilyessä suurin- piirtein samana (Pakarinen & Turunen 1999).

Huonekalun muotoilijan nimi sai ensimmäistä kertaa todellista kaupallista merkitystä 1960-luvulla. Tapakulttuuri-ihanne alkoi suosia uusia teollisia raa- ka-aineita, jotka sopivat vanhojen kaavojen rikkomiseen perinteistä puuta paremmin. Puumateriaaleista uutena otettiin käyttöön mänty, josta ulkomailla eksoottisena raaka-aineena tuli tärkeä vientihuonekalujen valmistusmateriaali (Pakarinen & Turunen 1999).

Asuntorakentamisen kasvettua huippuunsa 1970-luvulla vaadittiin myös huonekaluteollisuudelta voimakasta kapasiteetin lisäystä. Markkinaosuuksien menettämistä tuontihuonekaluille pelättiin ja kotimaisia huonekaluja valmis- tettiin nopealla tahdilla suuria määriä. Valtaosassa huonekaluista käytettiin raaka-aineena lastulevyä, mikä on leimannut suomalaista huonekaluteollisuutta viimeiset 30 vuotta (Pakarinen & Turunen 1999).

Tuottavuuden parantamista pidettiin huonekaluteollisuuden tärkeimpänä kilpailukeinona 1980-luvulla. Työstökoneita kehitettiin ja automaatiota lisät- tiin. Viennin osuus kotimaisesta tuotannosta oli suuri, mutta vuosikymmenen lopulla tuonnin määrä ylitti ensimmäistä kertaa viennin. Tämä johtui osittain ulkomaisten huonekalujen kotimaisia paremmasta maineesta, mutta etenkin 1980-luvun lopun korkeasuhdanteen nostattamasta huonekalujen kysynnästä.

Taloudellinen lama 1990-luvun alussa romahdutti huonekalujen myynnin ja samalla ajoi huonekalualan yritykset vaikeuksiin. Tuotannon arvo kääntyi varovaiseen nousuun kuitenkin jo vuonna 1993 (Pakarinen & Turunen 1999).

Huonekaluteollisuuteen luetaan tilastokeskuksen toimialaluokituksen mukaan irtohuonekalujen valmistus ja kiintokalusteet, joilla tarkoitetaan kiinteästi asennettavia toimisto- ja keittiökaluksia (Aravuo 1994). Huonekaluteollisuus on Suomessa suhteellisen pieni toimiala, jonka merkitystä kuitenkin korostavat työllisyysvaikutukset ja tuotteiden suuri vientiosuus. Kaikkiaan kotimaisessa huonekaluteollisuudessa toimii runsaat puolitoistatuhatta yritystä, jotka työllistävät yli 10 000 tuhatta henkeä. Suomen huonekaluteollisuus on melko keskittynyttä, sillä kolmen suurimman valmistajan osuus tuotannosta on noin 40 %. Myöskin alueellisesti huonekaluteollisuus on keskittynyttä, sillä noin 40 % toimipaikoista toimii entisten Hämeen ja Vaasan läänien alueilla (Juva 1995, Verkasalo & Paukkonen 1999).

Huonekaluteollisuuden merkitys sahatavaran ostajana on tärkeä, sillä puunkäyttö kohdistuu parhaimpiin ja kalleimpiin sahatavaralatuuihin. Paitsi massiivipuuna, koivua käytetään myös sorvattuina ja leikattuina viiluina ja vanerina. Suomalaisen huonekaluteollisuuden käyttämästä sahatavarasta on ollut koivua noin 20 % (Louna & Valkonen 1995).

Pääsääntöisesti puusepän- ja huonekaluteollisuuden käyttämä sahatavara on läpisahattua (ns. tuppeen sahattua), tosin nelisahaus on yleistymässä pienpuun käytön myötä. Läpisahauksella voidaan hidastaa kuivumista ja siten vähentää kieroutumista, vääntyilyä ja halkeilua. Läpisahaus myös parantaa sahauksen saantoa ja antaa loppukäyttäjälle hyvät mahdollisuudet raaka-aineen mahdollisimman tarkkaan hyödyntämiseen. Puusepän- ja huonekaluteollisuudessa tärkeimpiä sahatavaran laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat käyttötarkoituksesta riippuen yhtäältä elävät ja toisaalta kuolleet oksat. Oksat ovat puusepän- ja huonekalutuotteissa ulkonäköseikka, mutta ne vaikuttavat olennaisesti myös mekaanisiin ominaisuuksiin, veto- ja taivutuslujuuteen.

Puu on suomalaisen huonekaluteollisuuden tärkein materiaali; kolme neljäsosaa tuoteryhmistä on luokiteltu puisten tai puurunkoisten tuotteiden ryhmään. Puun tärkeimpinä valtteina pidetään kestävyyttä, miellyttävää ulkonäköä ja ympäristöystävällisyyttä. Käytetystä puuraaka-aineesta on noin kolmannes mäntyä, neljäsosaa koivua, vajaa kolmannes lastulevyä sekä pienehkö osuus muita puulajeja (Aravuo 1994). Puumateriaalin maantieteellinen läheisyys on oleellinen kilpailuetu suomalaiselle huonekaluteollisuudelle, tosin raaka-aineen hankinta on edelleen monille valmistajille ongelmallista (Pakarinen & Turunen 1999). Määrällisen saatavuuden lisäksi tuotantoa rajoittavat heikko laatu ja varastointimahdollisuudet (Kataikko 1996). Etelä-Savon yrittäjien piirissä tehdyn kyselytutkimuksen mukaan erityisesti lehtipuun käytön lisäystä rajoittavat merkittävästi raaka-aineen saatavuus, laatu ja hinta (Rantanen ym. 2000). Sahayritykset pitävät suurimpana rajoitteena raaka-aineensa eli tukkien laatua (46 %), tämän jälkeen saatavuutta (38 %) ja hintaa (16 %). Puusepän yritykset moittivat eniten raaka-aineensa eli sahatavaran ja viilun laatua ja hintaa (molemmat 36 %) ja tämän jälkeen vasta saatavuutta (28 %).

Oksatonta puuta on pidetty sekä visuaalisesti että tuotantoteknisesti huonekaluteollisuuden parhaana puuraaka-aineena. Tämän raaka-aineen niukkuus on omalta osaltaan rajoittanut huonekaluteollisuuden kehitystä. Oksaisten sahatavara-alaatujen käytölle suurimpana hidasteena ovat olleet markkinat, jotka takavuosina eivät hyväksyneet ulkonäöltään erilaisia terveksaisia huonekalulaatuja.

Koivuhuonekaluissa terveksaiset laadut ovat muodostaneet omat tuotteensa. Ruokailu- ja toimistokalustoissa käytetään terveksaista raaka-ainetta antaen tuotteille persoonallisen ulkonäön. Mielenkiintoisen ja alati parantuvan mahdollisuuden raaka-ainelähteenä tarjoavat harvennuskoivikot, joista saatavaa pieniläpimittainen koivutukkia on arvioitu hyväksi terveksaisen sahatavaran lähteeksi. Pieniläpimittaisen koivun käyttömahdollisuuksista huonekalu- ja liimalevyteollisuudessa on tehty muutamia selvityksiä. Varis (2002) tarkasteli pieniläpimittaisen koivun sahausta käyttösuhteen sekä sahatavaran ja liimalevyllamellien laatujaikautaman kannalta. Etelä-Savon lehtipuuvarojen teknistä taloudellista hyödyntämistä ovat selvittäneet Rantanen ym. (2000). Markkinoiden tämän suuntainen kehitys on tuonut koivun jatkojalostajille tarpeen saada uutta tietoa soveltuvan raaka-aineen saatavuudesta ja hankintamenetelmistä ja hyödyntämisestä puutuoteteollisuuden tuotanto- ja markkinointiketjun eri vaiheissa.

1.6 Hankkeen tavoitteet

Metsäntutkimuslaitoksessa toteutettiin vuosina 2000–2002 tutkimus, joka selvitti yhtäältä harvennuksista saatavan koivupikkutukin kertymiä ja ulkoista laatua ja toisaalta tukeista saatavan sahatavaran laatua ja saantoa. Lisäksi tarkasteltiin eri korjuumenetelmien tuottavuutta ja kustannuksia ja korjuumenetelmien vaikutusta kertymiin.

Tässä Metsäntutkimuslaitoksen koordinoimassa ja Etelä-Savon TE-keskuksen rahoittamassa tutkimus- ja kehittämishankkeessa pieniläpimittaisen koivun saatavuuden ja laadun selvitys laajennettiin maantieteellisesti suuremmalle alueelle (viisi maakuntaa). Sahatavaran laatujaikautaman lisäksi kiinnitettiin suurempaa huomiota sahausten saantoon pikkutukkien läpimitan ja geometrian kannalta.

Tämän tutkimus- ja kehittämishankkeen keskeiset tavoitteet olivat:

- a) määrittää pieniläpimittaisen koivun saatavuus, teknis-taloudelliset ominaisuudet ja laatu eri tyyppisistä raaka-ainelähteistä Itä-Suomen keskeisillä koivualueilla, erityisesti Etelä-Savossa
- b) tutkia pieniläpimittaisen koivun sahausten saanto ja sahatavaran laatujaikautama sekä tukkien ulkoisen laadun ja sahatavaran laadun välinen riippuvuus.
- c) tutkia tukkien läpimitan ja geometrian vaikutusta sahatavaran laatuun ja saantoon.

- d) tutkia pieniläpimittaisesta koivusta saatavan sahatavaran puuaineen kovuutta.
- e) huolehtia hankkeessa saavutettujen tulosten tiedottamisesta tiedonkäyttäjien tarpeiden mukaisesti, erityisesti Etelä-Savossa.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT

2.1 Pystyleimikkotutkimukset

Pystyleimikkotutkimuksia tehtiin Etelä-Savossa ja ympäröivillä viidellä alueella; Kymissä, Pohjois-Savossa, Pohjois-Karjalassa, Keski-Suomessa ja Päijät-Hämeessä. Tavoitteena oli kerätä kattava aineisto pieniläpimittaisen koivusahapuun hankinnan kannalta kysymykseen tulevista harvennusleimikkotyypeistä noin 150 km:n säteellä tutkimuksessa mukana olleen Koivusaha Solla Oy:n (ent. Kuomion Saha Oy) tutkimuksen aikaiselta toimipaikalta Ristiinassa. (nyk. toimipaikka Ruokolahdella). Tämä alue vastaa Itä- ja Keski-Suomen parasta koivun kasvu- ja hankinta-aluetta, jossa sahattavan koivun hankintamahdollisuudet ovat oletettavasti maan parhaat. Pääosa aineistosta kerättiin nimenomaisesti tämän tutkimuksen tarpeisiin kesän ja syksyn 2001 aikana. Aineisto sisältää kuitenkin myös Metlan vuosina 1999 ja 2000 kerättyjä aineistoja mainituilta alueilta (Lehtimäki 2002, Lehtimäki ym. 2002). Tutkitut leimikot hankittiin pääosin metsänhoitoyhdistyksiin suunnattujen tiedustelujen avulla.

Metsikkötyyppien mukaan jaoteltuna mittaukset ositettiin luontaisesti syntyneisiin ja istutettuihin koivikoihin sekä koivu-kuusisekametsiköihin. Sekametsät olivat yksijaksoisia ja koivua ja kuusta kumpaakin esiintyi vähintään kolmasosa runkoluvusta. Kustakin metsikkötyypistä tutkittiin sekä ensiharvennuksen että toisen harvennuksen vaiheessa olleita metsiköitä, joissa harvennuksen metsänhoidollinen tarve oli ilmeinen ja pieniläpimittaista sahakoivua oli ensivaikutelman perusteella hakattavissa. Tutkimus keskitettiin tällä rajauksella sahakoivun käytännön puunhankinnassa mahdollisiin lähteisiin tyypillisissä koivua sisältävissä harvennusekametsiköissä.

Aineisto käsitti kaikkiaan 54 leimikkoa, joista 30 oli ensiharvennuksia ja 24 muita harvennuksia. Leimikoista oli istutuskoivikoita 26 kpl, luontaisesti syntyneitä puhtaita koivikoita 15 kpl ja koivu-kuusisekametsiköitä 13 kpl. Koepuina tutkittiin kaikkiaan 8610 koivua, joista noin 60 % oli rauduskoivuja ja 40 % hieskoivuja. Istutuskoivikoissa ei tarkasteltu hieskoivujen tunnuslukuja niiden vähäisen määrän vuoksi (n. 1 % runkoluvusta). Luontaisissa koivikoissa hieskoivurunkojen osuus oli noin 80 % runkoluvusta ja sekametsissä noin 75 %.

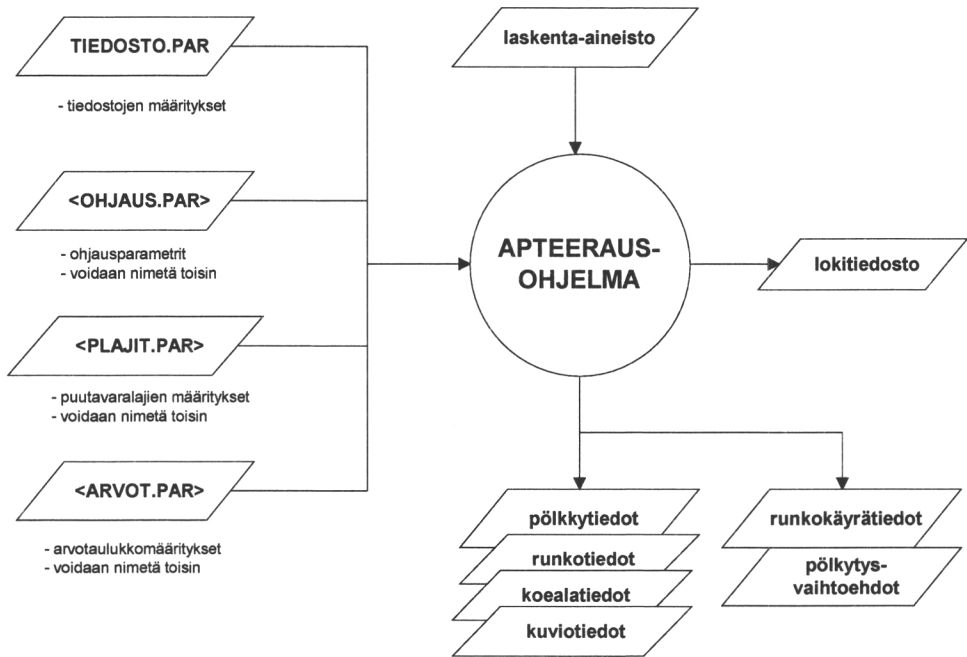
Taulukko 3. Pystymittausaineisto metsikkötyypeittäin ja puolajeittain.

Osite	Metsiköt, kpl	Koealat kpl	Koealojen pinta-ala, ha	Koepuut, kpl		Kokonaistilavuus, m ³	
				raudus	hies	raudus	hies
<i>Istutettu</i>	26	57	4,54	4351	63	720	5
ensiharvennuksset	19	37	2,76	2941	63	446	5
toiset	7	20	1,78	1410	...	275	...
harvennuksset							
<i>Luontainen</i>	15	32	2,54	537	2035	111	340
ensiharvennuksset	5	10	0,77	234	810	27	87
toiset	10	22	1,77	303	1225	84	252
harvennuksset							
<i>Sekametsät</i>	13	33	2,59	395	1229	90	162
ensiharvennuksset	6	13	0,92	80	546	14	61
toiset	7	20	1,67	315	683	76	101
harvennuksset							
Kaikki	54	122	9,66	5283	3327	921	506

Leimikoiden puustotietoja sekä koepuiden lukumäärät, metsikkötyypeittäin, harvennustavoittain ja koivulajeittain on esitetty taulukossa 3.

Leimikoihin perustettiin pinta-alaltaan noin seitsemän aarin kertakoealoja. Sekametsiköissä koealat olivat 15 metrin säteisiä ympyräkoealoja, puhtaissa ensiharvennuskoealoissa 24 × 30 metrin suorakaiteita ja myöhempien harvennusten puhtaissa koivikoissa 24 × 40 metrin suorakaiteita. Suorakaidekoealojen tarkoituksena oli mahdollistaa ajourien huomioon ottaminen jo harvennuksessa poistettavien puiden valinnassa pystypuuston mittausvaiheessa, mutta tähän ei puuston epätasaisen rakenteen vuoksi ollut mahdollisuuksia sekametsiköissä. Koealoilla merkittiin harvennuksessa poistettavat puut ala- ja laatuharvennuksen periaatteita noudattaen. Harvennusvoimakkuus määrettiin pohjapinta-alaan perustuvien harvennusmallien perusteella.

Harvennuksessa jäävistä ja poistuvista koivurungoista mitattiin pituudet, rinnankorkeus- ja yläläpimitat ($d_{1,3}$, d_6), latvusrajat ja kuivaoksarajat. Lisäksi kaikki rungot apteerattiin pystypuuna kahdella eri menetelmällä. Ensimmäisessä apteeraustavassa kukin runko jaettiin laatuosiin (vaneri, sahapuu, kuitupuun) kirjaten ulkoisten teknisten vikojen (lenkous, mutkat, monivääryys) esiintymisen perusteella eri tavaralajien alku- ja loppukohdat ja mahdolliset pakkokatkaisukohdat ottamatta kuitenkaan huomioon tavaralajien pituus- ja läpimittavaatimuksia (lukuun ottamatta vaneriosien läpimittavaatimusta 18 cm). Kunkin sahapuuosan minimipituus oli tässä tarkastelussa yksi metri. Tätä pidettiin sahattavan pölkyn teoreettisena lyhimpänä pituutena eri sahaustekniikoiden mahdollisuudet huomioon ottaen. Kuitupuuksi määritellyiltä rungonosilta kirjattiin viat eri vikojen esiintymisyleisyyden määrittämiseksi. Toisessa apteerausmenetelmässä käytettiin Koivusaha Solla Oy:n käyttämiä sahatukin mittoja (pituus 22 dm tai 33 dm, minimiläpimitta 11 cm) ja laatuvaatimuksia sekä normaaleja vaneri- ja kuitupuun mittoja ja laatuvaatimuksia. Tämä tarkastelu vastasi nykyisiä sahattavan koivupikkutukin vaatimuksia.

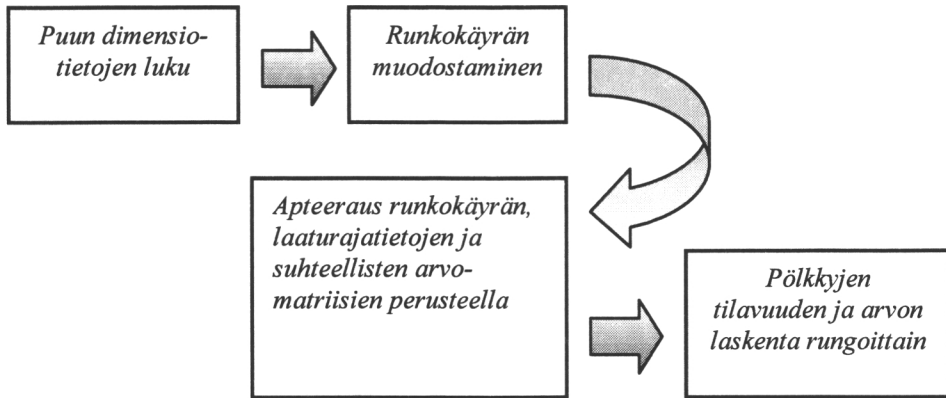


Kuva 2. Apterausohjelman toiminta.

Pystymittausaineistosta laskettiin metsikkötyypeittäin metsikön kaikkea puustoa ja harvennuksessa poistuvaa puustoa kuvaavat keskimääräiset tunnusluvut sekä eri puutavaralajien hehtaarikohittaiset kokonaismäärät, hakkuukertymät, puutavaralajisuhteet sekä pölkkyjen läpimitta- ja pituusjakaumat molemmille apterausvaihtoehdoille. Tavaralajisuhteita tarkasteltiin sekä puuston rinnan- korkeusläpimittaluokittain että metsikkötyypeittäin.

2.2 Runkojen apteraus

Maastossa tehtyjä apterauksia tarkennettiin apteraamalla pystymittausaineiston koivurungot ATK-työnä erilaisilla sahapuumitoilla Metlassa aiemmin laadittua tietokoneohjelmaa apuna käyttäen. Koivukoepuille muodostettiin runkokäyrä pituus- ja läpimittatietojen perusteella Laasasenahon (1982) runkokäyräyhtälöillä. Runkokäyrä antoi mitalliset puitteet rungon pölkkytykselle puutavaralajeiksi. Pölkkytyksen lopputuloksen määräisivät rungoille pystymittauksessa määritettyjen laaturajojen puitteissa puutavaralajeittaiset mitta- ja laatuvaatimukset, jotka oli kirjattu erilliseen parametritiedostoon (kuva 2). Käyttäjä voi määritellä vapaasti puutavaralajit, joita voi olla enimmillään 30 kpl ja niiden ominaisuudet, mm. käytettävät pölkkypituudet, sallitut läpimitat, yksikköhinnat ja kielletyt viat.



Kuva 3. Yhden puun tietojen käsittely apteerausohjelmassa.

Rungot pölkkytettiin puutavaralajeiksi arvoapteeraukseen perustuen. Jokaiselle puutavaralajille määriteltiin oma yksikköhintansa tai arvotaulukkonsa, jossa yksikköhinnat oli ilmoitettu pölkyn latvaläpimittaluokan ja määräpituuden mukaan. Ohjelma simuloi runsaasti erilaisia pölkkytysvaihtoehtoja, joissa yksittäinen runko jaettiin puutavaralajeiksi erilaisin perustein ja pölkkyjen määrä, pituudet, katkontakohdat ja puutavaralajit vaihtelivat. Kussakin vaihtoehdossa laskettiin rungon kokonaisarvo. Lopullinen apteeraus määräytyi suurimman kokonaisarvon eli arvokkaimman apteerausvaihtoehdon mukaan (kuva 3).

Ohjelman tulosteena saatiin kunkin tavaralajin hakkuukertymä runko-kohtaisesti (dm^3/runko) ja metsikkökohtaisesti (m^3/ha). Lisäksi saatiin pölkkyjen kappalemäärät, katkaisukorkeudet rungossa, tyvi- ja latvaläpimitat, tilavuudet ja arvot puutavaralajeittain.

Rungot apteerattiin kolmella eri tavaralajien mittayhdistelmällä. Näin voitiin tarkastella mittavaatimusten ja niiden valikoiman vaikutusta hakkuukertymän puutavaralajisuhteisiin. Teoreettiset puutavaralajiosuudet määritettiin apteeraamalla aineisto vapailta tavaralajien pituuksilla. Näin saatujen suurimpien mahdollisten sahapuuosuuksien avulla voitiin vertailla erityyppisiä leimikoita ja raudus- ja hieskoivua sahapuukertymän suhteen. Lisäksi voitiin arvioida erilaisten apteerausvaihtoehtojen tulosta vertaamalla apteerauksessa saatua sahapuuosuutta suurimpaan mahdolliseen sahapuuosuuteen (ks. esim. Juvonen & Lahti 1985).

Kaikissa apteerauksissa käytettiin vaneritukeilla minimiläpimittana 18 cm ja pituuksia 31–61 dm kolmen desimetrin moduulipituuksin. Lisäksi kaikissa apteerausvaihtoehdoissa minimiläpimittana oli pikkutukeilla 11 cm ja kuitupuulla 7 cm. Edellisten vakioitujen pituus- ja läpimittayhdistelmien lisäksi apteerauksissa käytettiin seuraavia mittoja:

Apteeraus 1: sahatukkipituudet 22 ja 33 dm, kuitupuu 27–33 dm (likipituinen)

Apteeraus 2: sahatukkipituus 30 dm, kuitupuu 27–33 dm (likipituinen)

Apteeraus 3: sahatukkipituudet 22 ja 33 dm, kuitupuu 25–50 dm (vapaapituinen)

Apteerauksessa 1 jäljiteltiin koehakkuissa käytettyjä tavaralajimittoja. Tämä vaihtoehto kuvaa Koivusaha Solla Oy:n koivutukin hankintaa, joka tähtää sahatukin apteeraukseen. Apteerauksessa 2 oli käytettävissä vain yksi tukkipituus, jolloin oletuksena oli sahapuuosuuden pientyminen pituusvalikoiman supistuessa. Kyseinen vaihtoehto jäljittelee koivutukin apteeraukseen tähtäävää hakkuutapaa, jossa tukit hankitaan kuitupuun pituisina. Menetelmän voidaan katsoa kuvaavan koivutukin lajittelua kuitupuusumasta. Apteeraus 3 antoi eniten katkontavaihtoehtoja kahdella tukkipituudella ja mahdollisuudella käyttää sekä lyhyitä että pitkiä kuitupuupituuksia. Apteerauksen pääasiallisena tavoitteena oli selvittää sahapuun kertymä kun kuitupuu katkotaan likipituisen sijasta vapaapituiseksi. Tietyin rajoituksin apteerauksen 3 voidaan katsoa kuvaavan ns. rankapuun menetelmää, jossa rungot korjataan tukin minimiläpimittaan saakka koko runkoina ja katkonta tavaralajeihin toteutetaan sahan katkonta- asemalla.

Koehakkuita varten valittiin leimikoita Etelä-Savosta ja luvussa 2.1 mainituista lähimaakunnista ennakoarvion mukaan koivusahapuuta tuottavilta metsikkötyypeiltä. Koehakkuita painotettiin toisen harvennusvaiheen puhtaisiin istutus- ja luonnonkoivikoihin. Hakkuut tehtiin mahdollisuuksien mukaan pystymittausaineistoon sisältyneissä koivikoissa. Koehakkuuleimikoita jouduttiin hankkimaan kuitenkin myös pystymittausaineiston ulkopuolelta, jolloin leimikoissa tehtiin ennen hakkuuta luvun 2.1 mukaiset koelamittaukset. Yhteensä hakattiin kahdeksan leimikkoa, joista seitsemän oli toisia harvennuksia (kaksi koivu-kuusisekametsässä, kolme luontaisesti syntynyttä koivikkoa ja kaksi istutuskoivikkoa) ja yksi ensiharvennus (istutuskoivikko). Koehakkuuleimikoita kuvaavia tietoja on lueteltu taulukossa 4.

2.3 Koeleimikoiden hakkuu ja koetukkien hankinta

Kaikilla koehakkuuleimikoilla käytettiin koneellista korjuuta. Seitsemällä leimikolla käytettiin yleisimpiä harvennushakkuuseen soveltuviksi suunniteltuja hakkuukoneita. Yhdellä leimikolla käytettiin järeähköä hakkuukonetta, jonka harvesterikoura soveltuu tarvittaessa myös päätehakkuupuuston hakkuuseen. Parhaaseen lopputulokseen olisi leimikoiden tulosten vertailukelpoisuuden kannalta päästy, mikäli kaikilla kohteilla olisi käytetty samaa hakkuukonetta saman kuljettajan ohjaamana. Tätä oli kuitenkin mahdotonta järjestää usean hakkuusta vastanneen puunhankintaorganisaation ja leimikoiden maantieteellisten etäisyyksien vuoksi.

Koehakkuukohteille tehtiin normaalit metsänhoitosuosittelujen mukaiset harvennukset. Kuljettajille annettiin erityisohjeina puutavaralajien mitta- ja laatuvaatimukset. Vaneritukkia ei hakattu odotettavissa olleiden hyvin vähäisten kertymien vuoksi. Koivusahatukin (pikkutukin) pituudet olivat 11–20 cm:n latvaläpimitoilla 22 ja 33 dm ja yli 20 cm:n läpimitoilla 30 dm. Kuitupuu hakattiin 30 dm:n määräpituuteen. Leimikoiden kokonaishakkuukertymä oli noin 450 m³, josta koivusahatukkia oli noin 150 m³.

Taulukko 4. Koehakkuuleimikoiden pystymittaustietoja.

Leimikko	Metsikkö- tyyppi	Koealojen pinta-ala, ha	Koepuut, kpl	Runkoluku, kpl/ha	Kokonaistilavuus, m ³ /ha
Taipalsaari	istutus	0,144	171	1188	158
Padasjoki 1	sekametsä	0,212	117	552	93
Padasjoki 2	sekametsä	0,141	90	637	167
Kuhmoinen	luontainen	0,144	114	792	186
Otava	luontainen	0,192	124	646	143
Kangasniemi 1	istutettu	0,144	179	1243	198
Kangasniemi 2	luontainen	0,144	201	1396	353
Suomenniemi	istutettu	0,144	103	715	207

Varsinaisiksi koetukeiksi valittiin kaikki pystymitatuilta koealoilta kertyneet tukit sekä tarvittaessa 100–200 pikkutukkia koealojen ulkopuolelta aineiston täydennykseksi. Koetukit numeroitiin leimikoittain juoksevasti ja samanaikaisesti kirjattiin koetukien sijaintikorkeudet rungossa sekä pystymittausaineistossa tukkeja vastanneiden runkojen tunnistenumerot. Hakkuun jälkeen pystymittauskoealoilta kirjattiin hakkaamatta jääneiden runkojen tunnistenumerot, minkä perusteella voitiin yhtäältä todeta harvennusvoimakkuus ja hakkuun painottuminen eri läpimittaluokkiin, toisaalta verrata pystymittausaineistosta apterausohjelman avulla laskettuja puutavaralajikertymiä todellisiin hakkuukertymiin.

2.4 Koetukien laadutus

2.4.1 Laatuaineisto

Koetukit kuljetettiin Veisto Oy:n Kokkosenlahden Sahalle laadutettaviksi ja edelleen sahattaviksi. Koetukkeja käytettiin kahden erillisen aineiston muodostamiseen. Näistä laajemmassa, jota jatkossa kutsutaan nimellä laatuaineisto, sahaustulosta arvioitiin lähinnä tukkien koon ja ulkoisen laadun ja käytännön sahausessa saadun sahatavaran määrän ja laadun perusteella. Tukkien ulkoista laatua tarkasteltiin tukin tyvestä alkaen 1,1 metrin pituisissa laatuosissa. Tämä pituus vastaa koivuliimalevyn valmistuksessa käytettävien lamellien tavallista pituutta. Tukkien pinnalta määritettiin kunkin osan oksaisuus taulukon 5 mukaisella luokituksella. Kustakin laatuosasta mitattiin paksuimman elävän ja kuolleen oksan paksuudet rungon poikkisuunnassa. Lisäksi kirjattiin silmämääräisesti havaitut korot, halkeamat ja lahot sekä tukin muotoviat. Tukkien tilavuuden määrittämiseksi mitattiin tukin pituus sekä jokaisen laatuosan tyvi- ja latvaläpimitat, joten kussakin tukissa oli 3–4 läpimitan mittauspistettä. Tukin latvasta mitattiin pienin ja suurin läpimitta, muut läpimitat mitattiin satunnaisista suunnista. Laatuaineisto käsitti kaikkiaan 1309 tukkia.

Taulukko 5. Koetukkien laatuluokitus.

Luokka	Vaatimukset
Oksaton	Oksaton laatuosa, korkeintaan yksi pienehkö oksa (max 10 mm)
Oksakyhmyinen	Korkeintaan yksi pienehkö oksa (max 10 mm). Laatuosassa vähintään kaksi selvää oksakyhmyä
Terveoksainen	Laatuosassa vähintään yksi yli 10 mm:n elävä oksa
Sekaoksainen	Laatuosassa vähintään yksi yli 10 mm:n elävä oksa ja vähintään yksi yli 10 mm:n kuollut oksa
Mustaoksainen	Laatuosassa vähintään yksi yli 10 mm:n kuollut oksa

2.4.2 Muotovika-aineisto

Toisen koetukkiaineiston, jota jatkossa kutsutaan nimellä muotovika-aineisto, perusteella tutkittiin tukin geometrian vaikutusta sahatavaran saantoon ja laatu-jakaumaan. Tukin geometriaa kuvaavista tunnusluvuista tärkeimpinä pidettiin läpimittaa ja lenkoutta mutta sahaustulosta tarkasteltiin myös tukin mutkaisuuden, kartiokkuuden ja soikeuden suhteen. Sahaustulosta kuvattiin tukkien käyttösuhteella ja täyssärmäisen sahatavaran osuudella sahatavaran tilavuudesta.

Muotovika-aineistoon valittiin koetukkeja satunnaisesti kolmesta läpimittaluokasta (12, 15 ja 18 cm) siten, että tukkien koko muotovikajakauma katettiin mahdollisimman hyvin. Läpimittaluokkajaossa käytettiin yhden senttimetrin tasaavaa luokitusta, jolloin 12 cm:n luokkaan valittiin minimiläpimitaltaan 115–125 mm:n tukkeja, 15 cm:n luokkaan 145–155 mm:n tukkeja ja 18 cm:n luokkaan 175–185 mm:n tukkeja. Muotovika-aineisto käsitti kaikkiaan 656 tukkia.

Muotovika-aineiston tukit kuljetettiin Misawa Oy:n sahalle Mikkeliin, jossa ne mitattiin Visiometric-tukinmittausjärjestelmällä. Järjestelmässä käytetty Elmes 3600C –tukkimittari lähettää tietokoneelle tukin muotoon verrannollista mittatietoa. Järjestelmässä tukki viedään neljän näkyvän valon aallonpituusalueella toimivan laserin avulla muodostetun lasertason läpi. Lasertason ja tukin muodostamaa leikkausta kuvataan kolmella värimatriisikameralla. Kukin kamera kuvaa lähes puolet tukin kehästä tahdistetusti 20 millisekunnin välein, jolloin tukin kehän mittatietoja saadaan noin 5 cm:n välein tukin pituus-suunnassa. Kuvattu tukin kehä muodostuu 360 mittapisteestä ja yhdistämällä eri kohdissa mitatut kehätiedot voidaan matemaattisesti koota tukin kolmiulotteinen malli (3d-mittaus).

Mittausjärjestelmällä voidaan mitata tukin tavalliset mittasuureet, kuten latva- ja tyviläpimitat, lajitteluhalkaisijat, pituus ja tilavuus. Lisäksi järjestelmästä saadaan tukin geometriaa kuvaavia tunnuslukuja, kuten lenkous, mutkaisuus, soikeus ja kartiokkuus. Geometriaa kuvaavien tunnuslukujen perus-

Taulukko 6. Koivutukkien läpimittaluokat ja sahausasetteet laatu- ja muotovika-aineistossa.

Laatuaineisto		Muotovika-aineisto	
Latvaläpimitta	Sahausasete	Latvaläpimitta	Sahausasete
110–132 mm	75/52–25	12 cm (115–125 mm)	75/52–25
133–162 mm	100/38–38	15 cm (145–155 mm)	100/38–38
163–182 mm	100/38–38–38 tai 155/38–38–38	18 cm (175–185 mm)	125/38–25–38
183–239 mm	155/38–52–38		

teella määritetyillä korjauskertoimilla sekä lajittelijan tekemillä kuori-korjauksilla pystytään vaikuttamaan tukin mitattuun tilavuuteen ja lajittelu-halkaisijaan. Yhdistetty laser- ja kameratekniikka mahdollistaa kolmiulotteisen kuvan muodostamisen tukista. Tukkimitarin avulla tukeista mitattuja geometriaa kuvaavia tunnuslukuja käytettiin selittäjinä laskettaessa sahausuksen käytösuhteita ja eriasteisesti täyssärmäisen sahatavaran osuuksia tukkien kolmessa em. läpimittaluokassa.

2.5 Koesahaukset

Sekä laatuaineiston että muotovika-aineiston koetukit sahattiin Kokkosenlahden sahalla Mikkeliissä. Sahakone oli tyypiltään pienpuun sahauskoneeseen suunniteltu HewSaw R200, jolla voidaan valmistaa särmättyä sahatavaraa yhdellä sahausajolla. Sahauskoneen ensimmäisessä vaiheessa haketusterät hakettavat tukin neljä sivua. Välittömästi haketusterien jälkeen sijaitsevat pyöröteräkasetit, joilla tukki jakosahataan. Mahdolliset pintalaudat särmätään pyöröteräkasettien akseleille asetetuilla särmäyskursoilla. Sahakoneessa ei ole tukinkääntäjää, vaan tukin asento määräytyy ennen sahakonetta olevalla käyräkuljettimella ja itsekeskittävällä syöttölaitteistolla.

Laatuaineiston koetukit lajiteltiin ennen sahausta läpimitan mukaisesti tukkilajittelijalla. Läpimittaluokat ja niitä vastaavat sahausasetteet on esitetty taulukossa 6. Sahausasetteet olivat tavallisia koivupikkutukin sahauskoneessa käytettäviä sahattaessa ensisijaisesti huonekaluteollisuuden terveksaista sahatavaraa, joka käytetään edelleen lamellien valmistukseen koivuliimalevyjen raaka-aineeksi.

Koetukkierät siirrettiin tutkimuksen henkilöstön ohjauksessa tukkikentältä kiramolle. Koesahauksissa sahakonetta ja muuta laitteistoa käytti sahan oma henkilökunta. Tukkien tunnistenumerot rekisteröitiin kuorinnan jälkeen ennen sahakonetta sijainneella annostelukuljettimella ja vastaavat tunnistenumerot merkittiin sahatavaraan sahatavarakuljettimella heti sahauskoneen jälkeen. Sahan valvomossa, tukkiannostelijalla ja sahatavaran merkkauksessa työskennelleiden henkilöiden välille muodostettiin radiopuhelinyhteys, mikä mahdollisti tukkien

tunnistenumeroiden nopean ilmoittamisen sahatavarakuljettimelle. Kaikki tukit syötettiin sahakoneeseen latvapää edellä.

Muotovika-aineiston koetukit lajiteltiin ennen sahausta paitsi läpimitta- luokan (12, 15 ja 18 cm) myös lenkouden perusteella; omina erinään sahattiin tukit lenkoudeltaan alle 5 mm/m, 5–15 mm/m ja yli 15 mm/m. Kunkin läpimitta- ja lenkousluokan tukeista noin puolet sahattiin rajoitetulla käyrä- sahauskella ja puolet käyttäen sahakoneen käyräsahausmahdollisuutta. Käyrä- sahausuksessa sahauskoneen terät pystyivät seuraamaan tukissa olevaa korkein- taan 1,5 %:n lenkoutta (sivuviivapoikkeama 15 mm/ tukin pituusmetri). Rajoi- tetussa käyräsahausessa suurin mahdollinen sahakoneen terien seuraama len- kous oli alle yhden prosentin.

2.6 Sahatavaran laadutus ja mittaukset

2.6.1 Laatuaineisto

Laatuaineiston sahatavara laadutettiin sahatavarakappaleen tyvestä lähtien koe- tukkien tavoin 1,1 metrin laatuosissa kaikilta neljältä sivulta erikseen. Menette- ly mahdollisti sahatavarasta mitatun ja arvioidun laatu tiedon kohdentamisen tukeista mitattuun laatu tietoon. Tässäkin laatuosan pituus perustui koivuliima- levyn valmistuksessa käytettävän lamellin tavalliseen pituuteen. Koko- naisuudessaan laatuaineisto koostui noin 2100 sahatavarakappaleesta, yhteis- pituudeltaan 5400 metriä ja 21,7 kilometristä laadutettua sahatavarapintaa.

Sahatavaran laatuosat luokiteltiin neljään laatu luokkaan: 1) täysin oksaton, 2) vain terveitä oksia sisältävä, 3) kuolleita ja eläviä oksia sisältävä (seka- oksainen), 4) ainoastaan kuolleita oksia sisältävä (mustaoksainen). Laatu- luokkien määritysten lisäksi sahatavarapinnoilta mitattiin paksuimman elävän ja kuolleen oksan paksuudet ja sijainnit saheen pituussuunnassa laatuosittain. Oksien paksuudet kirjattiin suurimman ja pienimmän läpimitan keskiarvona. Lisäksi kirjattiin sahatavarapinnoilla havaitut puuaineen viat, kuten väri viat, laho ja oksaryhmät sekä vajasärmäisyys, sen sijainti saheen pituussuunnassa ja osien pituudet.

2.6.2 Muotovika-aineisto

Muotovika-aineiston sahatavaran laadutuksessa keskityttiin vajasärmäisyyden mittauksiin, puuaineen laatu tunnuksia ei otettu huomioon. Sahatavarakappa- leista kirjattiin tunnistetiedot (leimikko-, pölkky- ja sahenumero) sekä tutki- musajankohtana mitatut dimensiot ja nimelliset kuivamitat (lyhin pituus, lappeen ja syrjän leveys). Vajasärmäisyyden mittauksissa käytiin läpi saheen kaikki neljä särmää. Vajasärmäisyyden sijaintia määritettäessä nollakohta asetettiin saheen tyvipäähän, josta mitattiin etäisyydet vajasärmän alkamis- ja päätymiskohtiin. Pienin kirjattu vajasärmä oli kaksi millimetriä saheen

poikkisuunnassa. Kultakin vajaasärmäiseltä osuudelta kirjattiin kohta, jossa vajaasärmän poikkileikkauspinta-ala oli suurimmillaan. Mainitusta kohdasta mitattiin sijainnin lisäksi vajaasärmän leveys sekä lappeen että syrjän suunnassa.

Tukkien muotovikojen vaikutusta sahaustulokseen tutkittiin tukin latvaläpimitan ja muotoa kuvaavien tunnuslukujen perusteella. Sahaustulosta tarkasteltiin käyttösuhteen ja eri sivuiltaan täyssärmäisen sahatavaran osuuksien perusteella. Koetukit oli mitattu ennen sahausta (luku 2.4.2) tukkimittarilla, jonka kameratekniikka mahdollisti kolmiulotteisten kuvien muodostamisen tukeista.

2.7 Sahauksen simulointi

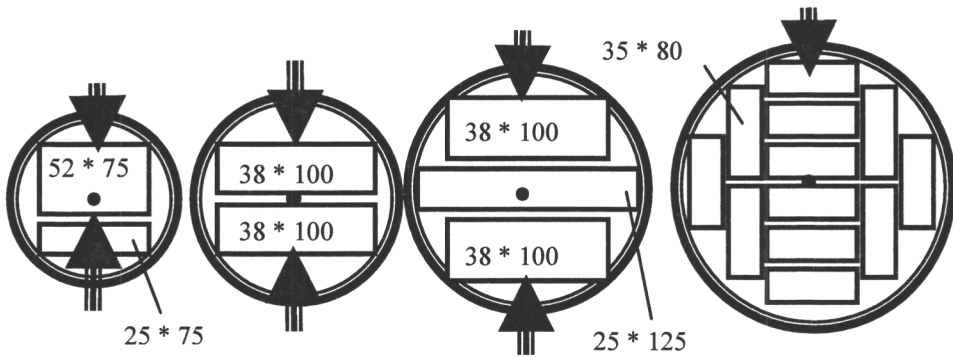
Muotovika-aineiston tukeista muodostettiin Visiometric –tukinmittausjärjestelmällä kolmiulotteiset mallit, jotka mahdollistivat koesahauksia vastaavien sahausten simuloinnin. Sahauksen simulointia varten Elmes –ohjelmistoon laadittiin saherekisterit ja sahausasetteet. Saherekisteriin kirjattuja tietoja olivat mm. saheen tuore- ja kuivamitat sekä suurin sallittu vajaasärmä saheen paksuuden ja leveyden suunnassa. Sahausasetteet laadittiin saherekisteriin kirjattujen saheidten avulla. Varsinaisen asetekuvion lisäksi asetteen laadinnassa tarvitaan sahakonekohtaisia tietoja, kuten sahausraon paksuus, käyräsahauksen käyttö sekä teräyksiköiden ja ohjaustelojen keskinäiset etäisyydet. Koetukkien lajittelua voitiin toistaa simuloinnissa erilaisilla lajitteluparametreilla. Vaikka tukinmittausjärjestelmässä käytettiin optimoivaa asetteisiin perustuvaa lajittelua, tukin läpimitta oli käytännössä määrävä lajittelukriteeri johtuen epäjatkuvasta läpimittajakaumasta (läpimitat 12, 15 ja 18 cm:n luokissa).

Koetukkien 3d-kuvat oli muodostettu kuorellisille tukeille. Ennen sahouksen simulointia koetukkien vaipasta vähennettiin laskennallisesti kuoren osuus. Kuoriprosenttien laskennassa käytettiin Lehtimäen (2002) aineistoa harvennusleimikoiden pikkutukkien kuorenpaksuudesta. Kuorivähennys tehtiin yhden senttimetrin läpimittaluokittain vakiokertoimilla.

Sahausta simuloitiin tukin läpimitta- ja lenkousluokittain. Tulostiedostoista saatiin mm. sahatun tukkierän kokonaistilavuus, sahatavaran aihio-tilavuus (tilavuus vajaasärmäisine osineen) sekä täyssärmäisen sahatavaran tilavuus, joista edelleen laskettiin sahouksen käyttösuhteita ja täyssärmäisen sahatavaran osuuksia.

Tukinmittausjärjestelmästä saatu tukkien mitta-, tilavuus- ja geometriatieto liitettiin sahatavarasta manuaalisesti mitattuun mitta- ja vajaasärmäisyystietoon. Sahauksen käyttösuhteita ja täyssärmäisen sahatavaran osuuksia tarkasteltiin paitsi tukin läpimitan, myös lenkouden, mutkaisuuden, soikeuden ja kartiokkuuden mukaan.

Latvaläpimitan määrittäminen tapahtuu Visiometric –tukinmittausjärjestelmässä halkaisijahavainnoista muodostetuilta regressiosuorilta. Lajitteluhalkaisijana



Latvaläpimitta
115...125 mm

Latvaläpimitta
145...155 mm

Latvaläpimitta
175...185 mm



Kuva 4. Brinell kovuuden mittauspisteiden sijainti aineistossa 1 (kolme ensimmäistä asetekuvaa) ja aineistossa 2 (asetekuva oikealla). Kuvassa on eritelty kutakin latvaläpimittaluokkaa vastaavat sahausasetteet ja saheiden dimensiot.

käytetään regressiohalkaisijoiden minimiä eli pienimmän suunnan latvahalkaisijaa. Regressiosuorat muodostettiin tässä tapauksessa tukin latvasta alkaen 75 %:n matkalle tukin pituudesta (regressiojänne 0,75), jolloin mahdollinen tyvilaaientuma ei vaikuttanut lajitteluhalkaisijan arvoon. Latvahalkaisija oli kolmen senttimetrin etäisyydellä tukin latvasta.

Kartiokkuus (mm/m) ilmaistiin tukin keskimääräisenä kapenemisena 75 %:n matkalla latvasta tyveen päin. Lenkous määritettiin tukin ydinkäyrän suurimpana poikkeamana jänteestä jaettuna tarkastelumatkalla, yksikkönä mm/m. Lenkouden laskennassa jätettiin ottamatta huomioon tukin tyveltä ns. lenkouden tyvityspistys, joka tässä oli 0,3 m. Mutkaisuus tutkittiin samalta matkalta kuin lenkouskin. Mutkaisuus voidaan tässä käsittää tukin maksimilenkoutena metrin matkalla, yksikkönä mm/m. Soikeus ilmoitettiin pienimmän latvahalkaisijan ja sitä vastaan kohtisuoran halkaisijan erotuksen itseisarvona.

2.8 Sahatavaran puuaineen kovuuden tutkimukset

Laadituksen jälkeen sahatavaran laatuaineistosta otettiin satunnaisotos puuaineen pinnankovuuden (Brinell-kovuus) analysointia varten. Näyte-erä (jatkossa aineisto 1) koostui istutuskoivikoiden sahatavarasta, joka ilmakuivattiin katoksessa yhden kesäkauden yli, noin viiden kuukauden ajan. Joensuun yliopiston metsätieteellinen tiedekunta oli hankkinut koivusahatavaran pinnankovuuden analysointia varten vastaavan näyte-erän (jatkossa aineisto 2)

kahdesta 33-vuotiaasta istutuskoivikosta. Koepuut oli tässä kaadettu kolmena eri vuodenaikana, kesällä, syksyllä ja talvella. Koetukit oli sahattu pyörö-sahalla, minkä jälkeen saheet oli lämminilmakuivattu. Aineistojen laajentamiseksi ja edustavuuden parantamiseksi päädyttiin yhdistämään aineistot 1 ja 2, jolloin voitiin tehdä yhteistyötä myös pinnankovuuden laboratorio-mittauksissa ja tulosten laskennassa.

Näytteiden sijainti ja pinnankovuuden testauspiste sahatavarakappaleessa on esitetty kuvassa 4. Ennen pinnankovuuden määrittystä molempien aineistojen puunäytteet tasaannutettiin 65 %:n suhteellisessa ilmankosteudessa ja 17–19 °C:n lämpötilassa. Saheista otetuista rinnakkaisnäytteistä määritettiin puu-aineen kuiva-tuoretiheys. Pinnankovuuksien määritykset toteutettiin standardin EN 1534 mukaisesti Matertest-laboriointestilaitteella. Mittausmenetelmässä mitta-anturissa olevaa tunnetun kokoista ($10 \pm 0,01$ mm) teräskuulaa painetaan vakiovoimalla (1 kN) näytteen pintaa vasten 25 sekunnin ajan. Mittausjärjestelmä ilmoittaa käytetyn voiman ja kuulun uppoaman. Pinnankovuus on laskettavissa yhtälöllä:

$$HB = \frac{2F}{g\pi D \left[D - (D^2 - d^2)^{\frac{1}{2}} \right]} \quad (1)$$

jossa:

HB = Brinell-kovuus, (Mpa) (Nmm^{-2})

g = painovoiman kiihtyvyys (ms^{-2})

F = mitta-anturin voima (N)

D = mitta-anturin kuulun läpimitta (mm)

d = kuulun jättämän painauman läpimitta kahden vastakkaissuuntaisen mittauksen keskiarvona (mm)



Harvennettu istutus-
koivikko
Rautalahdella

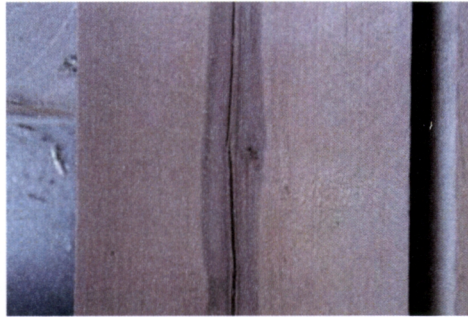
Koivu-kuusi-
sekametsikkö Es-
poossa



Istutuskoivikon en-
siharvennus Orive-
dellä

Sivun kuvat: Metla/ Erkki Oksanen

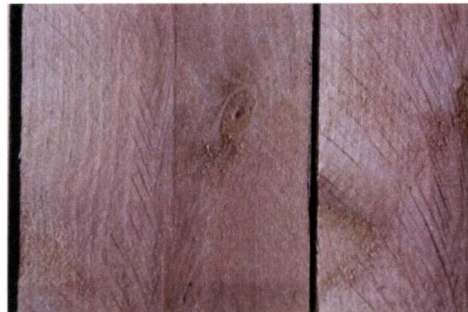
Erityyppiset väriviat alentavat käyttökelpoisen sahatavaran saantoa.



Kuivat-, lahot- ja kuorioksat ovat tavallisia koivusahatavarassa.



Terveoksaaisuudesta on tullut tavoiteltu laatutekijä.



Sahatukkien muotoviat lisäävät sahatavaran vajaasärmäisyyttä.



Sivun kuvat: Metla/ Jari Lindblad

3 TULOKSET

3.1 Pystyleimikkoinventoinnit ja koepuiden laatu metsikkötyypeittäin

Pystymittausaineiston keskeisiä tunnuslukuja metsikkötyypeittäin ja puulajeittain on tarkasteltu taulukossa 7. Keskimääräisten rinnankorkeusläpimittojen sekä pituuden suhteen tarkasteltuna rungot olivat järeydeltään istutuskoivikoissa ja luontaisissa koivikoissa samankokoisia, mutta hieman keskimääräistä pienempiä sekametsiköissä. Koivupuuston hehtaarikohtainen kokonaistilavuus oli suurin luontaisissa koivikoissa ja selvästi pienin sekametsiköissä johtuen metsikön rakenteesta ja täten selvästi pienemmästä koivun runkoluvusta. Sekä kuivaoksaraja että elävän latvuksen alaraja olivat selvästi korkeammalla luontaisissa koivikoissa kuin istutuskoivikoissa tai sekametsiköissä. Erot metsikkötyyppien välillä olivat tilastollisesti merkitseviä (kuivaoksaraja $df = 2$, $F = 181,5$, $p = 0,000$, latvusaraja $df = 2$, $F = 298,0$, $p = 0,000$).

Pystymittausaineiston koepuiden keskimääräiset tunnusluvut ja metsikkötyypeittäin ja kehitysluokittain on esitetty taulukossa 8. Kaikkia metsikkötyyppejä tarkastellen rauduskoivujen latvusrajat olivat hieman korkeammalle kuin hieskoivujen ($df = 1$, $F = 11,6$, $p = 0,001$), kuten myös luontaisissa koivikoissa ($df = 1$, $F = 837,1$, $p = 0,000$) ja sekametsiköissä ($df = 1$, $F = 164,5$, $p = 0,000$). Oksaton rungonosa oli sekä luontaisissa koivikoissa ($df = 1$, $F = 156,2$, $p = 0,000$) että sekametsissä ($df = 1$, $F = 42,9$, $p = 0,000$) rauduskoivuilla pidempi kuin hieskoivuilla.

Taulukko 7. Pystymittausaineiston keskimääräiset koepuutunnukset metsikkötyypeittäin ja puulajeittain.

Osite	Rinnankorkeus- läpimitta, cm	Pituus, dm	Rungon keskikoko, dm ³	Kuivaoksaraja		Elävän latvuksen alaraja	
				dm	% pituudesta	dm	% pituudesta
Istutettu	15,2	178	164	38	21	78	44
<i>rauduskoivu</i>	15,2	178	164	38	21	78	44
<i>hieskoivu</i>	—	—	—	—	—	—	—
Luontainen	15,3	181	175	49	27	94	52
<i>rauduskoivu</i>	15,5	201	206	67	33	128	64
<i>hieskoivu</i>	15,2	175	167	45	26	86	49
Sekametsikkö	15,1	167	155	32	19	75	45
<i>rauduskoivu</i>	17,4	188	227	39	21	86	46
<i>hieskoivu</i>	14,4	161	132	30	19	71	44
Kaikki	15,2	177	166	40	23	82	46
metsikkötyypit							
<i>rauduskoivu</i>	15,4	182	174	40	22	83	46
<i>hieskoivu</i>	14,9	169	152	39	23	81	48

Taulukko 8. Pystymittausaineiston keskimääräiset koepuu- ja metsikkötunnukset metsikkötyypeittäin.

Osite	Rinnankorkeus- läpimitta, cm	Pituus, dm	Rungon keskikoko, dm ³	Runkoluku, kpl/ha	Kokonaistilavuus, m ³ /ha
<i>Istutettu</i>	15,2	178	164	1024	164
ensiharvennukset	14,6	174	150	1102	164
toiset	16,4	187	195	809	164
harvennukset					
<i>Luontainen</i>	15,3	181	175	1048	179
ensiharvennukset	13,0	160	109	1350	146
toiset	16,9	195	219	896	196
harvennukset					
<i>Sekametsikkö</i>	15,1	167	155	650	97
ensiharvennukset	14,3	154	120	693	84
toiset	15,7	175	177	613	111
harvennukset					
Kaikki	15,2	177	166	941	148

Taulukko 9. Rungon ulkoisten vikojen esiintyminen koepuissa, prosenttiosuus runkoluvusta metsikkötyypeittäin koko puustolla (K) ja harvennushakkuussa poistuvalla (P) ja jäävällä (J) puustolla.

Vika	Istutettu			Luontainen			Sekametsikkö			Kaikki metsikkö- tyypit		
	K	P	J	K	P	J	K	P	J	K	P	J
	Osuus koepuiden runkoluvusta, %											
Lenkous	3,8 / 3,4 / 4,2			3,1 / 3,1 / 3,0			4,2 / 5,1 / 3,0			3,6 / 3,7 / 3,6		
Tyvimutka	19,1 / 18,2 / 20,0			8,0 / 8,4 / 7,5			12,7 / 14,6 / 10,0			14,6 / 14,3 / 14,9		
Keskimutka	53,7 / 44,1 / 62,2			39,9 / 31,0 / 50,4			40,1 / 35,1 / 47,1			47,0 / 38,0 / 56,5		
Monivääryys	47,8 / 52,8 / 43,4			68,2 / 66,0 / 71,0			62,6 / 59,4 / 67,3			56,7 / 58,4 / 55,0		
Laho	1,5 / 2,4 / 0,6			1,8 / 2,6 / 0,8			0,9 / 1,2 / 0,4			1,5 / 2,2 / 0,6		
Yli 3 cm:n kuolleet oksat	2,4 / 2,3 / 2,4			7,1 / 5,0 / 9,5			8,7 / 5,6 / 13,0			5,0 / 3,9 / 6,1		
Oksaryhmät	23,9 / 14,2 / 32,6			5,2 / 1,1 / 10,0			6,8 / 3,2 / 12,0			15,1 / 7,7 / 22,9		
Pystyoksat	4,6 / 4,0 / 5,1			7,1 / 4,9 / 9,6			4,4 / 3,4 / 5,8			5,3 / 4,2 / 6,5		
Haara	7,7 / 7,8 / 7,5			7,6 / 6,2 / 9,3			6,3 / 5,9 / 6,8			7,4 / 6,9 / 7,9		
Pystyoksamai- nen haara	9,4 / 8,8 / 10,0			5,1 / 3,8 / 6,7			3,6 / 3,7 / 3,6			7,0 / 6,1 / 8,0		
Koro	2,1 / 2,3 / 1,8			2,2 / 2,0 / 2,5			1,0 / 1,5 / 0,4			1,9 / 2,0 / 1,8		
Halkeama	0,8 / 1,3 / 0,3			1,9 / 1,9 / 2,0			0,6 / 0,8 / 0,1			1,1 / 1,4 / 0,8		

Keskimääräisten kuivaoksa- ja latvusrajojen erot puulajien välillä selittyivät eroilla keskimääräisissä rinnankorkeusläpimitoissa ja rungon pituuksissa. Luontaisissa koivikoissa raudus- ja hieskoivujen keskimääräiset rinnankorkeusläpimitat eivät poikenneet toisistaan ($df = 1$, $F = 1,709$, $p = 0,191$), sen sijaan rauduskoivut olivat selvästi hieskoivuja pidempiä ($df = 1$, $F = 282,6$, $p = 0,000$) ja näin ollen tilavuudeltaan suurempia ($df = 1$, $F = 43,2$, $p = 0,000$). Sekametsiköissä rauduskoivut olivat hieskoivuja suurempia sekä rinnankorkeusläpimi-

Taulukko 10. Riippumattomuustestit (Pearsonin χ^2 -testi) rungon ulkoisten vikojen esiintymiselle eri metsikkötyypeillä. Merkitsevyytasot on laskettu käyttäen koko puuston vikafrekvenssejä.

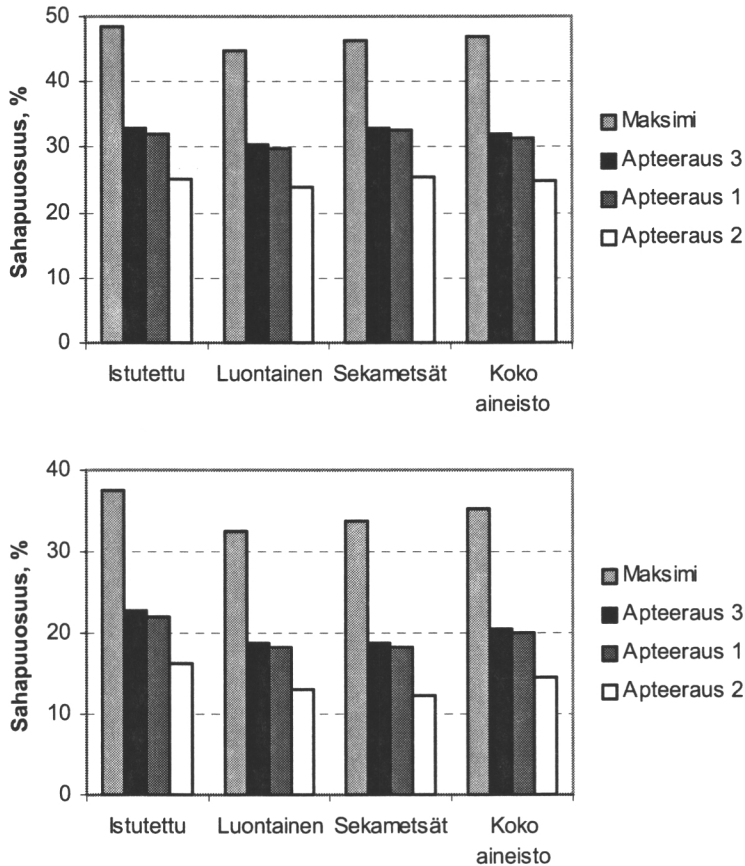
Vika	Istutetut vs. Luontaiset		Istutetut vs. Sekametsiköt		Luontaiset vs. Sekametsiköt	
	p-arvo	osuus, % istutetut / luontaiset	p-arvo	osuus, % istutetut / sekametsiköt	p-arvo	osuus, % luontaiset / sekametsiköt
Lenkous	0,119	3,8 / 3,1	0,476	3,8 / 4,2	0,056	3,1 / 4,2
Tyvimutka	0,000	19,1 / 8,0	0,000	19,1 / 12,7	0,000	8,0 / 12,7
Keskimutka	0,000	53,7 / 39,9	0,000	53,7 / 40,1	0,913	39,9 / 40,1
Monivääryys	0,000	47,8 / 68,2	0,000	47,8 / 62,6	0,000	68,2 / 62,6
Laho	0,309	1,5 / 1,8	0,064	1,5 / 0,9	0,014	1,8 / 0,9
Yli 3 cm:n kuolleet oksat	0,000	2,4 / 7,1	0,000	2,4 / 8,7	0,058	7,1 / 8,7
Oksaryhmät	0,000	23,9 / 5,2	0,000	23,9 / 6,8	0,025	5,2 / 6,8
Pystyoksat	0,000	4,6 / 7,1	0,702	4,6 / 4,4	0,000	7,1 / 4,4
Haara	0,906	7,7 / 7,6	0,067	7,7 / 6,3	0,108	7,6 / 6,3
Pystyoksa- mainen haara	0,000	9,4 / 5,1	0,000	9,4 / 3,6	0,023	5,1 / 3,6
Koro	0,666	2,1 / 2,2	0,008	2,1 / 1,0	0,005	2,2 / 1,0
Halkeama	0,000	0,8 / 1,9	0,294	0,8 / 0,6	0,000	1,9 / 0,6

tan että runkojen pituuden ja tilavuuden suhteen. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä ($d_{1,3}$: $df = 1$, $F = 164,5$, $p = 0,000$; h : $df = 1$, $F = 384,9$, $p = 0,001$).

Taulukossa 9 on esitetty runko-, muoto- ja oksavikojen esiintymisen yleisyydet eri metsikkötyypeillä koko puustolle sekä harvennuksessa poistuviksi arvioituille ja kasvamaan jääville rungoille. Viat ja niiden esiintymiskorkeudet määritettiin koko rungon pituudella. Vikafrekvenssit esitetään tässä rungon käyttöosalle, jonka rajakohtaksi on tässä määritetty kymmenen senttimetrin läpimittaa vastaava korkeus rungossa. Selvästi yleisimpiä olivat muotoviat, joista mutkaisuutta ja monivääryyttä esiintyi metsikkötyypeittäin vähimmillään noin kolmasosassa rungoista ja enimmillään jopa kahdessa kolmasosassa rungoista. Tasaisen lenkouden esiintyminen oli melko vähäistä kaikilla metsikkötyypeillä.

Yli 30 mm:n kuolleita oksia tai pystyoksia esiintyi 2–13 prosentissa rungoista, oksaryhmien esiintyminen oli hieman yleisempää varsinkin istutuskoivikoissa. Haaroja tai pystyoksamaisia haaroja havaittiin 3–10 prosentissa rungoista. Laho, korot tai halkeamat eivät olleet kovin tavallisia, esiintymisyleisyys vaihteli välillä 0–5 %.

Vikojen esiintymisen eroja metsikkötyyppien välillä testattiin riippumattomuustestillä, jonka tunnusluvut on esitetty taulukossa 10. Oksaryhmiä ja haaroja sekä runkojen mutkaisuutta esiintyi istutuskoivikoissa merkitsevästi yleisemmin kuin luontaisissa koivikoissa. Luontaisissa koivikoissa tavallisia olivat paksut kuolleet oksat ja pystyoksat sekä runkojen monivääryys. Oksaryhmiä, haaroja ja runkojen mutkaisuutta esiintyi myös sekametsiköissä



Kuva 5. Koivun teoreettiset maksimaaliset sahapuuosuudet rungon käyttöosan tilavuudesta ja sahapuuosuudet eri apteerausvaihtoehdoissa metsikkötyypeittäin ennen harvennusta (ylh.) ja poistuvalla puustolla (alh.).

vähemmän kuin istutuskoivikoissa, sen sijaan paksut kuolleet oksat ja runkojen monivääryys olivat sekametsiköissä istutuskoivikoita yleisempiä. Laho, korot ja halkeamat sekä runkojen monivääryys olivat hieman yleisempiä luontaisissa koivikoissa kuin sekametsiköissä.

3.2 Koeapteeraukset ja puutavaralajijakaumat eri metsikkötyypeillä

Kuvassa 5 on esitetty tukkiosuus yhteenlaskettu osuus (sis. saha- ja vaneritukit) runkojen käyttötilavuudesta eri apteerausvaihtoehdoilla metsikkötyypeittäin. Koko koivupuuston maksimaalinen sahapuuosuus ennen harvennusta oli kaikilla metsikkötyypeillä keskimäärin noin 47 %; Metsikkötyypeittäin vaihteluväli oli varsin pieni 45–49 %. Harvennushakkuussa poistuvaksi arvioidulla (kuva 5)

puustolla maksimaalinen sahapuuosuus oli luonnollisesti pienempi keskimäärin 35 %, vaihdelleen metsikkötyypeittäin välillä 32–38 %.

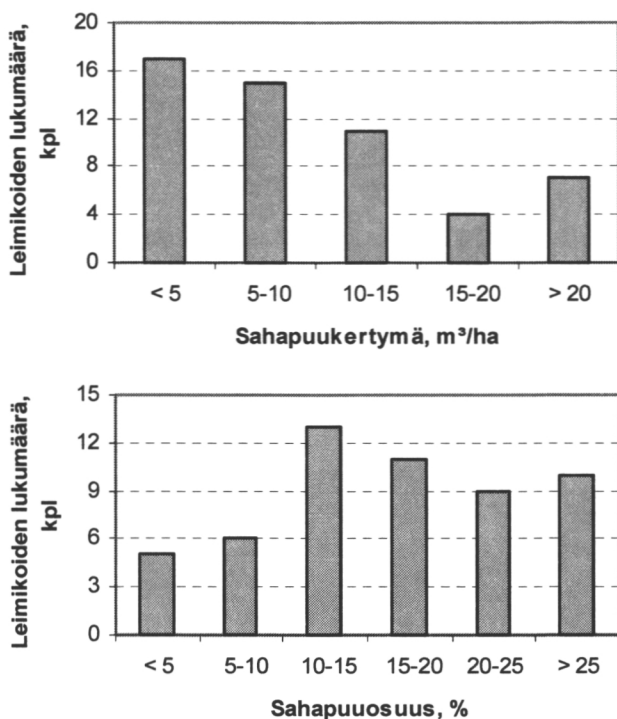
Maksimaalinen sahapuuosuus oli sekä harventamattomalla puustolla että poistumalla suurin istutuskoivikoissa ja pienin luontaisissa koivikoissa. Metsikkötyyppien järjestys sahapuuosuuden suhteen oli kaikissa apteerausvaihtoehdoissa edellisen mukainen tarkasteltaessa harventamatonta puustoa. Harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla sahapuuosuus oli edelleen suurin istutuskoivikoissa mutta sekametsiköissä ja luontaisissa koivikoissa samalla tasolla.

Sahapuuosuus oli suurin apteerauksessa 3, jossa osuus ennen harvennusta oli keskimäärin 32 % ja poistumassa keskimäärin 21 % (kuva 5). Apteerauksessa 1 sahapuuosuudet olivat kaikissa metsätyypeillä vain hieman tätä pienempiä. Tällä perusteella 10 %:n vaihteluvälin (27–33 dm) kuitupuun pituuksissa voidaan katsoa antavan riittävästi vaihtoehtoja runkojen apteeraukseen sahapuun kertymän kannalta. Kuitupuun pituutta suurempi merkitys oli sahapuun mittavalikoimalla; apteerauksessa 2, jossa käytettiin vain yhtä tukkipituutta (30 dm), sahapuuosuus oli kaikissa metsikkötyypeissä keskimäärin 5–6 prosenttiyksikköä alhaisempi kuin apteerauksissa 3 ja 1.

Sahapuuosuus riippuu luonnollisesti puuston kokojakaumasta. Pystymittausaineiston läpimittajakaumat koko puustolle ja poistumalle on esitelty liitteessä 2. Ala- ja useimmiten myös laatuharvennuksille on tyypillistä, että poistuma painottuu pienempiin rinnankorkeusläpimittaluokkiin kuin puuston ennen harvennusta.

Pystymittauksessa määritettyjä maksimaalisia puutavaralajiosuuksia on tarkasteltu rinnankorkeusläpimittaluokittain sekä kokonaisuutena että koivulajeittain liitteessä 3. Koko pystymittausaineistossa tukkipuun (saha- ja vaneritukit) yhteenlaskettu osuus kasvoi säännönmukaisesti runkojen järeytyessä siten, että se saavutti 25 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokassa vajaan 60 %. Tukkipuun osuus oli ilman vaneritukkeja suurimmillaan 17 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokassa, noin 45 %. Harvennuksessa poistuvan puuston suurin teoreettinen sahapuuosuus oli noin 40 %. Poistumassa suurin sahapuuosuus saavutettiin jo 17 cm:n läpimittaluokassa. Tämä kertoo pystymittauksessa noudatetusta laatuharvennuksesta, jossa poistettiin paitsi pienien läpimittaluokkien runkoja myös suurien läpimittaluokkien huonolaatuisimpia runkoja. Korkeimmat sahatukin osuudet olivat läpimittaluokissa 13–19 cm sekä harventamattomassa puustossa että poistumassa. Liitteen 4 mukaisesti tavaramittajakaumat rinnankorkeusläpimitan suhteen olivat kaikilla metsikkötyypeillä edellä kuvatun kaltaisia. Liitteessä 5 on esitetty yksityiskohtaiset tulokset puutavaralajien osuuksista apteeraustavoittain.

Maksimaalinen sahapuuosuus oli kaikilla aineiston rauduskoivuilla 50 % ja harvennushakkuussa poistuviksi arvioiduilla rauduskoivuilla keskimäärin 38 %. Vastaavat luvut olivat hieskoivulla 41 ja 31 %. Sen lisäksi että maksimaaliset sahapuuosuudet olivat hieskoivulla keskimäärin alhaisempia kuin rauduskoivulla, myös eri apteerausvaihtoehtojen kautta linjan 3–8 prosenttiyksikköä huonompia kuin rauduskoivulla.



Kuva 6. Koeleimikoiden (54 kpl) jakauma hehtaarikohtaisen sahapuukertymän mukaan (ylh.) ja sahapuuosuuden mukaan (alh.). Apteeraus tehty koealaimittauksissa poistuviksi määritetyille rungoille (sahatukki 22 ja 33 dm, kuitupuu 27–33 dm).

Taulukko 11. Sahapuun osuus koko puuston ja poistuman maksimaalisesta sahapuun tilavuudesta eri metsikkötyypeissä.

Osite	Apteeraus 1		Apteeraus 2		Apteeraus 3	
	Koko puusto	Poistuma	Koko puusto	Poistuma	Koko puusto	Poistuma
Osuus sahapuun maksimaalisesta tilavuudesta, %						
Istutettu	66	58	52	44	68	61
Luontainen	67	56	54	40	68	57
Sekametsät	70	54	55	36	71	55
Kaikki	67	57	53	41	68	59

Apteerauksen tehokkuutta voidaan arvioida sahapuun osuutena maksimaalisesta sahapuun tilavuudesta. Taulukossa 11 on esitetty kyseiset prosenttiosuudet tehdyille apteerauksille metsikkötyypeittäin. Keskimäärin vain noin puolet maksimaalisesta sahapuuosuudesta oli tässä katkottavissa sahapuuksi. Erot metsikkötyyppien ja toisaalta poistuvan puuston ja harventamattoman puuston välillä ovat selitettävissä vikojen erilaisella esiintymisellä rungoissa.

Taulukko 12. Koehakkuuleimikoiden keskimääräiset puustotunnukset.

Leimikko	Rinnankorkeus- läpimitta, cm	Pituus, dm	Kuivaoksaraja, dm	Elävän latvuksen alaraja, dm
Taipalsaari	13,9	178	37	87
Padasjoki 1	15,3	176	32	85
Padasjoki 2	18,0	205	50	104
Kuhmoinen	17,0	197	47	99
Otava	18,1	184	41	78
Kangasniemi 1	15,1	191	45	106
Kangasniemi 2	16,4	232	90	155
Suomenniemi	19,5	215	46	82

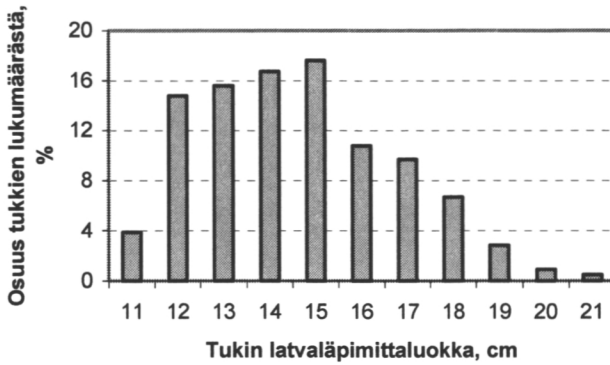
Niissä metsikkötyypeissä, joissa apteeraus näytti onnistuneen huonoimmin, olivat sahapuuksi kelvanneet rungon osat keskimääräistä lyhyempiä.

Kuvassa 6 on tarkasteltu pystymittausleimikoiden jakaumaa hehtaari-kohtaisen sahapuukertymän ja sahapuuosuuden mukaan. Apteeraus on tehty koealojen harvennushakkuussa poistuviksi määritetyille rungoille aiemmin esitellyillä apteeraus 1:n mukaisilla tavaralajien mittavaatimuksilla. Noin kolmanneksessa leimikoista hehtaarikohtainen sahapuukertymä oli alle viisi kuutiometriä, mikä osittain johtuu aineiston kohtalaisen suuresta ensiharvennusleimikoiden määrästä. Sahapuun kertymä oli keskimäärin 10 m³/ha (keskihajonta 7,8 m³/ha), joka vastaa noin 20 % sahapuuosuutta (keskihajonta 9,6 %). Eniten leimikoita oli kuitenkin sahapuuosuusluokassa 10–15 %, joka kattoi noin neljänneksen leimikoiden lukumäärästä. Keskiarvoa nostivat sahapuuosuudeltaan yli 25 %:n leimikot, joita oli noin viidennes pystymitatuista leimikoista.

3.3 Koehakkuuleimikot, koepuiden laatu ja puutavaralajijakaumat

Taulukossa 12 on esitetty koehakkuuleimikoiden keskimääräiset puustotunnukset. Koehakkuuleimikot olivat yhtä lukuunottamatta kasvatushakkuuvaiheessa ja siten puustoltaan hieman järeämpiä kuin pystymittausaineistossa keskimäärin. Poikkeuksellisen hyvälaatuisena on pidettävä leimikkoa ”Kangasniemi 2”, jossa puuston keskipituus, oksarajat ja puuston hehtaarikohtainen kokonaistilavuus olivat huomattavan korkeat.

Pystyleimikkoinventointitiedoista laskettuja sahapuuosuuksia verrattiin koehakkuissa toteutuneisiin puutavaralajijakaumiin pystyinventointitulosten realistisuuden arvioimiseksi. Koehakkuuleimikoiden toteutuneet sahapuuosuudet saatiin selville hakkuukoneiden mittaustietojen perusteella (taulukko 13). Hakkuun jälkeen leimikoiden pystymittauskoealoilta määritettiin hakkuussa poistuneet koepuut, jotka apteerattiin apteerausohjelmalla pystymittausaineiston mitta- ja laatutietoa käyttäen. Hakkuussa ja apteerausohjelmalla



Kuva 7. Koetukkien frekvenssijakauma latvaläpimittaluokan mukaan.

Taulukko 13. Koehakkuuleimikoiden hakkuukertymät sekä sahapuuosuudet hakkuussa ja pystymittauksessa.

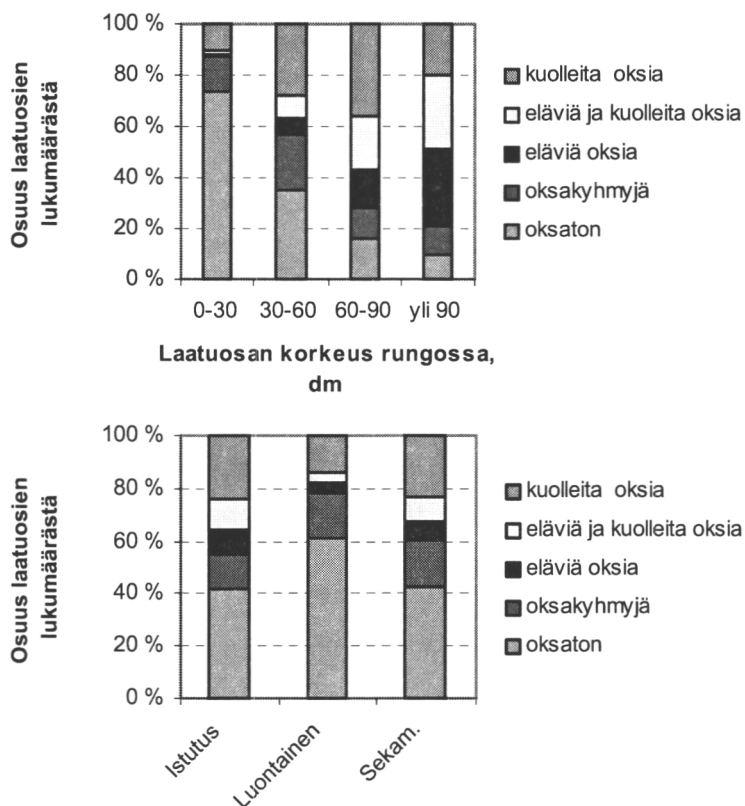
Leimikko	Hakkuukertymä, m ³	Tukkikertymä, m ³	Kuitupuukertymä, m ³	Sahapuuosuus hakkuussa, %	Sahapuuosuus pystymittauksessa, %
Taipalsaari	88	37	51	42	19
Padasjoki 1	26	11	15	26	21
Padasjoki 2	32	12	19	39	42
Kuhmoinen	48	15	33	32	24
Otava	24	6	18	25	25
Kangasniemi 1	76	18	59	23	17
Kangasniemi 2	120	41	79	34	25
Suomenniemi	32	8	24	32	27

saadut sahapuuosuudet eivät olleet täysin vertailukelpoisia, sillä hakkuussa toteutunut sahapuuosuus koski koko leimikkoa. Koetukkien läpimittajakauma on esitetty kuvassa 7.

Toteutunut sahapuuosuus oli koehakkuuleimikoilla keskimäärin 33 %, vastaava tulos oli pystymittausaineistossa 25 %. Toteutunut sahapuuosuus vaihteli leimikoittain 23–42 %, pystymittausaineistossa vastaavasti 19–42 %. Toteutunut osuus ylitti pystymittauksen perusteella saadun osuuden kuudessa leimikossa, oli sama yhdessä leimikossa ja pienempi yhdessä leimikossa. Erot toteutuneen ja arvioidun sahapuuosuuden välillä olivat kaikkein suurimmat pintaaloiltaan suurimmissa ja metsikön rakenteeltaan vaihtelevimmissa leimikoissa (Taipalsaari, Kangasniemi 2).

3.4 Koetukkien laatu

Koehakkuiden tukkikertymästä laadutettiin kaikkiaan 1180 tukkia, laadutus tapahtui 11 dm:n laatuosissa viiteen eri laatuiluokkaan. Koetukkien laatuosista

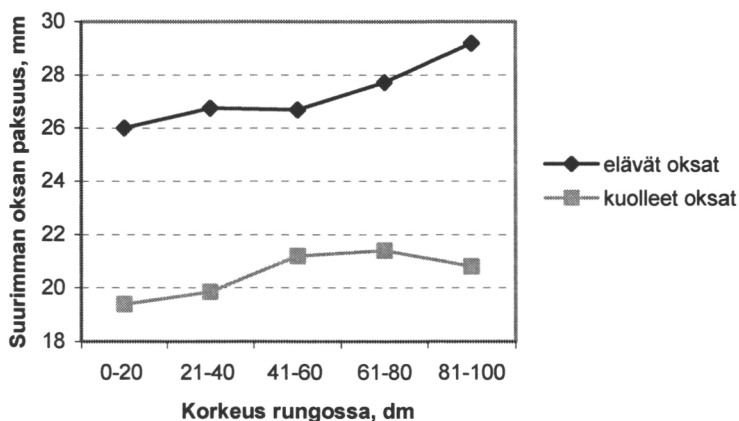


Kuva 8. Sahatukkien oksalaatujen osuudet sijaintikorkeuden (ylh.) ja metsikkötyypin (alh.) mukaan.

oli oksattomia 48 % ja oksakyhmyisiä 15 %. Ainoastaan eläviä oksia esiintyi 8 %:ssa, eläviä ja kuolleita oksia 9 %:ssa ja pelkästään kuolleita oksia 21 %:ssa laatuosista. Laatuajakauma riippui selvästi tukin sijainnista rungossa (kuva 8); alle 30 dm:n korkeudella oksattomia laatuosia oli noin 75 %, mutta 30–60 dm:n korkeudella enää vain 35 % laskien edelleen korkeus aseman noustessa.

Metsikkötyypeittäin tarkasteltuna istutusköivikoista ja sekametsikoista saattujen tukinosaisten laatuajakaumat olivat hyvin samankaltaisia (kuva 8). Luontaisen koivikoiden tukkikertymässä oksattomia laatuosia oli selvästi enemmän ja toisaalta kuollut- tai sekaoksaisia selvästi vähemmän kuin istutusköivikoiden tai sekametsiköiden tukkikertymissä.

Tukkien laatuosista mitattiin oksalaaduittain suurimman oksan paksuus. Oksan paksuus kasvoi sekä elävillä että kuolleilla oksilla tukin sijainnin kohotessa rungossa (kuva 9); tosin kasvu oli melko vähäistä, rungon korkeusaseman mukainen keskiarvon vaihteluväli oli molemmilla oksalaaduilla alle kolme millimetriä.



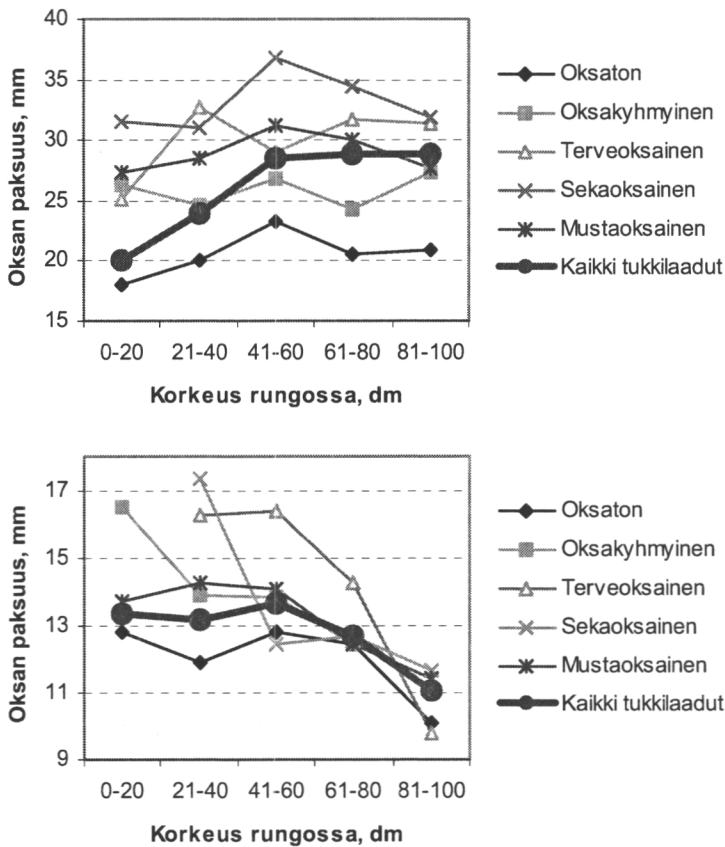
Kuva 9. Tukin laatuosasta (11 dm) mitatun suurimman elävän ja kuolleen oksan paksuus sijaintikorkeuden mukaan.

3.5 Tukin järeyden ja laadun vaikutukset sahatavaran laatuun

Koetukeista sahattu sahatavara laadutettiin 11 dm:n pituisissa laatuosissa kaikilta sivuiltaan neljään eri luokkaan oksaisuuden perusteella. Sahatavaran laatujaakaudia on tarkasteltu liitteen 6 kaavioissa yhtäältä sahatavaran mittojen ja toisaalta tukkien laatualueen, läpimitan ja sijaintikorkeuden mukaan. Tarkasteltaessa sahatavaran laatua vastaavien tukinosien laadun mukaan havaittiin oksattomista tukeista saatavan useimmin oksatonta sahatavaraa; yli 70 %:ssa särmätystä sahatavarasta vähintään yksi sivu oli oksaton. Oksakyhmyisilläkin tukinosilla vastaava osuus oli lähes 60 %. Pienimmillään oksattoman sahatavaran osuus oli luonnollisesti oksaisilla tukkilaaduilla oksien laadusta riippumatta. Näissä oli vähintään yksi oksaton sivu 40–50 %:ssa saheista.

Terveoksaisten sahatavaran osuus oli vastaavasti suurin oksaisissa tukinosissa, yli 90 %:ssa saheista oli vähintään yksi terveoksaisten sivu. Oksakyhmyisillä tukinosilla vastaava osuus oli noin 80 %, mutta oksattomilla tukinosilla selvästi pienempi, alle 60 %. Sekaoksaisten sahatavaran osuuksissa ei ollut suuria eroja eri tukkilaatujen välillä, sen sijaan mustaoksaisten sahepintoja oli selvästi eniten oksattomilla tukinosilla. Näistä sahatussa tavarassa noin 60 %:ssa oli vähintään yksi mustaoksaisten sivu.

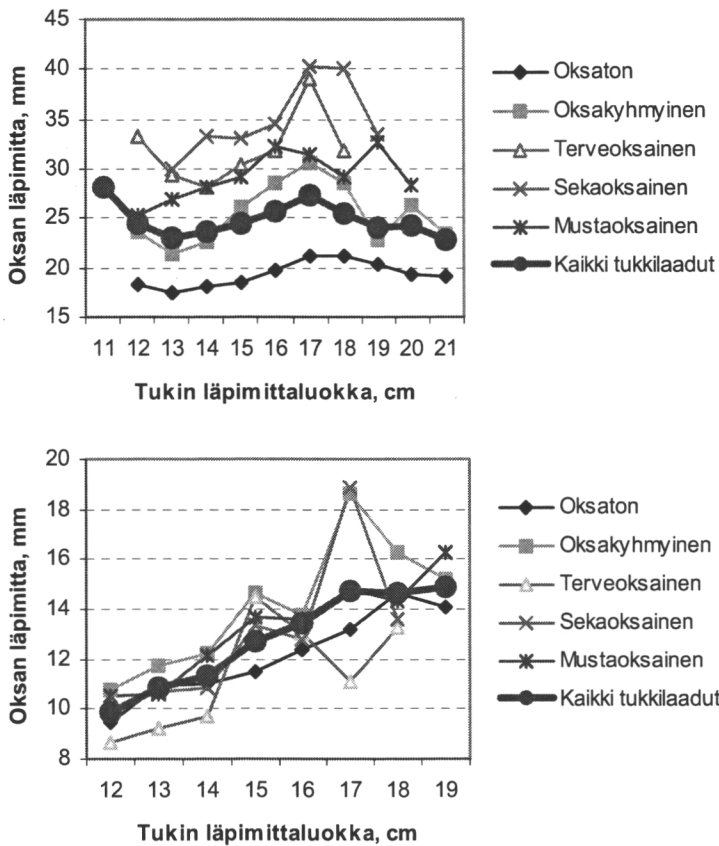
Sahatavaran laadussa oli eroja oksattomien ja terveoksaisten laatuosuuksissa tukkien järeyden ja sahausasetteen mukaan tarkasteltuna. Pienimmillä tukeilla (latvaläpimita 110–132 mm, asete 75/52–25) oksattoman sahatavaran osuus vaihteli 40–65 %:n välillä. Tätä järeämissä tukkiluokissa (150 ja 180



Kuva 10. Sahatavaran suurin elävä oksa (ylh.) ja kuollut oksa (alh) tukin oksaisuusluokan ja sijaintikorkeuden mukaan.

mm) oksattoman sahatavaran osuus oli säännöllisesti korkeampi vaihdellen 40 %:sta yli 90 %:iin. Toisaalta terveoksaisen sahatavaran osuus oli pienimmässä tukkiluokassa tukkien laadusta riippumatta samalla tasolla tai hieman suurempi kuin kahdessa järeämmässä tukkiluokassa.

Terveoksaisen sahatavaran osuus kasvoi selvästi tukin sijaintikorkeuden kasvaessa. Kaikkia tukkilaatuja tarkasteltaessa noin 50 %:ssa sahatavarasta oli alle 30 dm:n korkeudella vähintään yksi terveoksainen sivu. Vastaava osuus oli 30–60 dm:n korkeudella 80 % kasvaen edelleen 90 %:iin 60–90 dm:n korkeudella. Terveoksaisen sahatavaran osuuden kasvu sijaintikorkeuden kasvaessa oli tukkilaaduittain tarkasteltuna vielä suurempaa kuin kaikilla tukkilaaduilla yhteensä, etenkin oksattomassa tukkilaadussa. Sama oli havaittavissa terveoksaisessa tukkilaaduissa, jossa sijaintikorkeudeltaan alle 60 dm:n tukinosissa noin 80 % sahatavarasta sisälsi terveoksaisia sivuja, mutta tätä korkeammalla yli 90 % sahatavarasta sisälsi vähintään yhden terveoksaisen sivun. Oksattoman



Kuva 11. Sahatavaran suurin elävä oksa (ylh.) ja kuollut oksa (alh.) tukin oksaisuuslaadun ja latvaläpimittaluokan mukaan.

sahatavaran osuus pieni noin 20 prosenttiyksikköä siirryttäessä alle 30 dm:n korkeudelta 60–90 dm:n korkeudelle.

Kuvan 10 ylemmässä kuvassa on esitetty sahatavaran suurimman elävän oksan keskimääräinen paksuus tukkien oksaisuuslaadun mukaan eri rungon korkeuksilla. Kaikkia tukkilaatuja tarkasteltaessa suurimman elävän oksan paksuus oli tyvitukin korkeudella (0–20 dm) noin 20 mm mutta ylempänä rungossa lähes 30 mm. Oksien paksuus oli kaikilla sijaintikorkeuksilla pienin oksattomista tukeista sahattulla ja hieman suurempi oksakyhmyisistä tukeista sahattulla sahatavaralla. Paksuimmat elävät oksat esiintyivät oksaisista tukkilaaduista sahatussa tavarassa.

Kuvan 10 alemmassa kuvassa on esitetty vastaavasti sahatavaran suurimman kuolleen oksan keskimääräinen paksuus tukkien oksaisuuslaadun mukaan eri sijaintikorkeuksilla rungossa. Oksan paksuus aleni lievästi kaikissa tukki- luokissa sijaintikorkeuden kasvaessa; kaikkia tukkilaatuja tarkasteltaessa oksan paksuuden vaihteluväli oli alle kolme millimetriä. Selvimmin sahatavaran kuol- leiden oksien paksuus aleni terve- ja sekaoksaisilla ja oksakyhmyisillä tukeilla.

Oksattomilla ja mustaoksisilla tukeilla sijaintikorkeuden vaikutus oli vähäinen.

Kuvassa 11 (ylh.) on esitetty sahatavaran suurimman elävän oksan keskimääräinen paksuus tukkien oksaisuuslaadun ja latvaläpimitan mukaan. Saha-tavaran oksien paksuus kasvoi hieman seka- ja mustaoksisilla sekä oksat-tomilla tukeilla latvaläpimitan kasvaessa, muilla tukkilaaduilla latvaläpimitalla ei ollut vaikutusta. Alemmassa kuvassa on vastaava tarkastelu kuolleille oksil-le. Sahatavaran suurimman kuolleen oksan paksuus kasvoi kaikissa tukki-luokissa latvaläpimitan kasvaessa. Kaikki tukkilaadut huomioon ottaen kasvu oli latvaläpimitaluokkien 12 ja 19 cm välillä noin viisi millimetriä. Suurimpia kuolleet oksat olivat oksakyhmyisistä tukeista sahatussa sahatavarassa, tosin tasoerot eri tukkilaatujen välillä olivat vähäisiä.

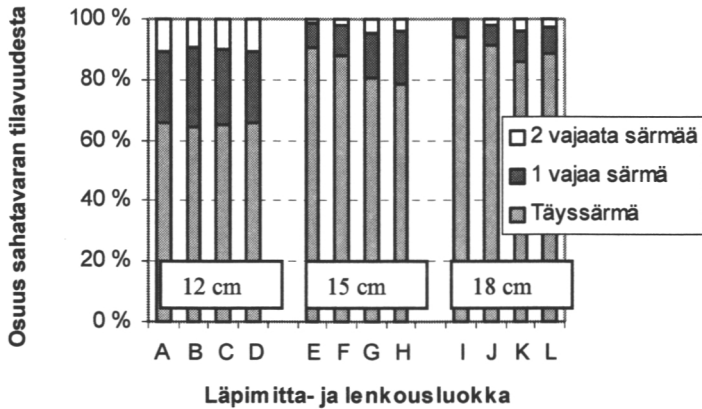
3.6 Tukkien geometrian vaikutukset käytännön sahaustu-lokseen

Kuvissa 12–15 on tarkasteltu täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran osuuksia yhtäältä tukkien läpimitan ja toisaalta tukkien muotoa kuvaavien tunnuslukujen suhteen. Tulokset on laskettu sahan tukkimittarilla mitattujen tunnusten sekä koesahausten jälkeen sahatavarasta visuaalisesti määritetyn vajaasärmäisyyden perusteella. Kussakin läpimitaluokassa (12, 15 ja 18 cm) sahaustulos riippui lähinnä sahausasetteesta. Näin ollen täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran osuuksia ei ollut perusteltua verrata toisiinsa eri läpimitaluokkien välillä, vaan pää-telmät oli syytä rajata kunkin läpimitaluokan sisälle tukin muotoa kuvaaviin tunnuslukuihin.

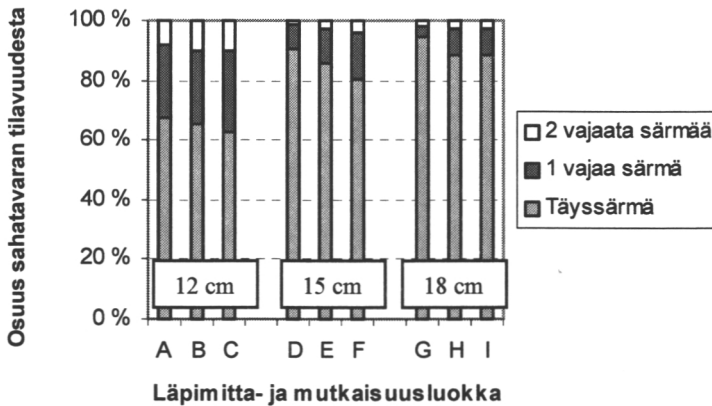
Kuvassa 12 sahaustulosta on tarkasteltu läpimitaluokittain tukin lenkouden suhteen. Läpimitaluokassa 12 cm täyssärmäisen sahatavaran osuus oli vakio lenkoudesta riippumatta. Läpimitaluokassa 15 cm täyssärmäisen sahatavaran osuus pieneni 13 prosenttiyksikköä lenkouden kasvaessa alle 5 millimetristä yli 15 millimetriin metrillä. Läpimitaluokassa 18 cm täyssärmäisen sahatavaran osuuden muutos lenkouden suhteen oli samansuuntainen vaihteluvälin ollessa eri lenkousluokkien välillä suurimmillaan kahdeksan prosenttiyksikköä.

Kuvassa 13 sahaustulosta on tarkasteltu tukkien mutkaisuuden ja läpimitan suhteen. Täyssärmäisen sahatavaran osuus pienentyi mutkaisuuden kasvaessa kaikissa läpimitaluokissa 5–10 prosenttiyksikköä sekä yhden että kahden sär-män vajaasärmäisyyden lisääntyessä samanaikaisesti

Kuvassa 14 sahaustulosta on tarkasteltu tukkien kartiokkuuden ja kuvassa 15 tukkien soikeuden suhteen. Tukkien kartiokkuus vaikutti täyssärmäisen sahatavaran osuuteen vain pienimmässä läpimitaluokassa, jossa sahausasete oli myös tiukin vajaasärmäisyyden määrällä mitattuna. Tässäkin läpimitaluokassa sahaustulos parani vasta kartiokkuuden kasvaessa yli 15 millimetriin metrillä. Täyssärmäisen sahatavaran osuus kasvoi kaikissa tukkien läpimitaluokissa soikeuden kasvaessa. Tämä on johdonmukainen tulos silloin, kun tukkien läpi-mittalajittelun perusteena on käytetty nimenomaan minimiläpimittaa.

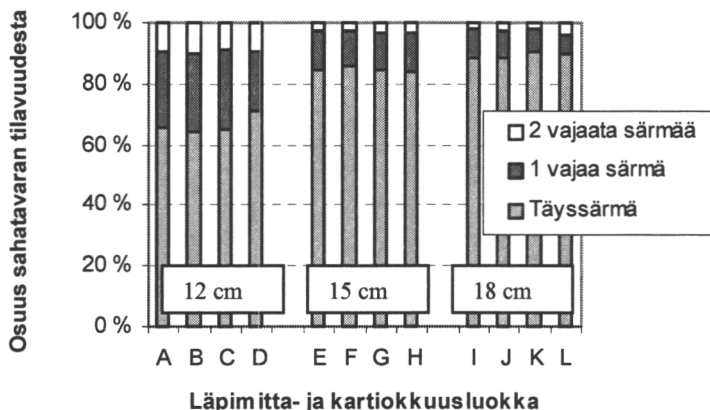


Kuva 12. Täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran osuudet tukkien latvaläpimitta- ja lenkousluokittain. Lenkousluokat kussakin läpimittaluokassa (vasemmalta oikealle): alle 5 mm/m, 5–10 mm/m, 10–15 mm/m, yli 15 mm/m.

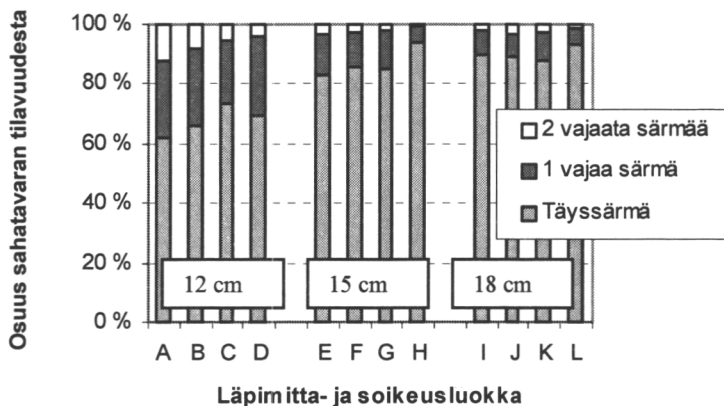


Kuva 13. Täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran osuudet tukkien latvaläpimitta- ja mutkaisuusluokittain. Mutkaisuusluokat kussakin läpimittaluokassa (vasemmalta oikealle): alle 10 mm/m, 10–15 mm/m, yli 15 mm/m.

Kuvassa 16 on esitetty tukkien käyttösuhteet sahatavara-aihioiden (kaiken sahatavaran) ja täyssärmäisen sahatavaran mukaan tukkien läpimitta- ja lenkousluokittain. Käyttösuhteiden laskennassa käytettiin tukeista sahan tukkimittarilla mitattuja kuorellisia tilavuuksia, sahatavaran tilavuudet laskettiin sahatavaran nimellismittojen (kuivamitat) ja pituuden tulona. Käyttösuhteet olivat kohtalaisen alhaisia 12 cm:n läpimittaluokassa ja kasvoivat vain hieman lenkouden kasvaessa, kun tarkasteltiin sahatavara-aihoita. Tässä läpimittaluokassa käyttösuhteet olivat täyssärmäisen sahatavaran perusteella korkeita, mistä voidaan päätellä vajaasärmäisen sahatavaran osuuden olleen korkean.

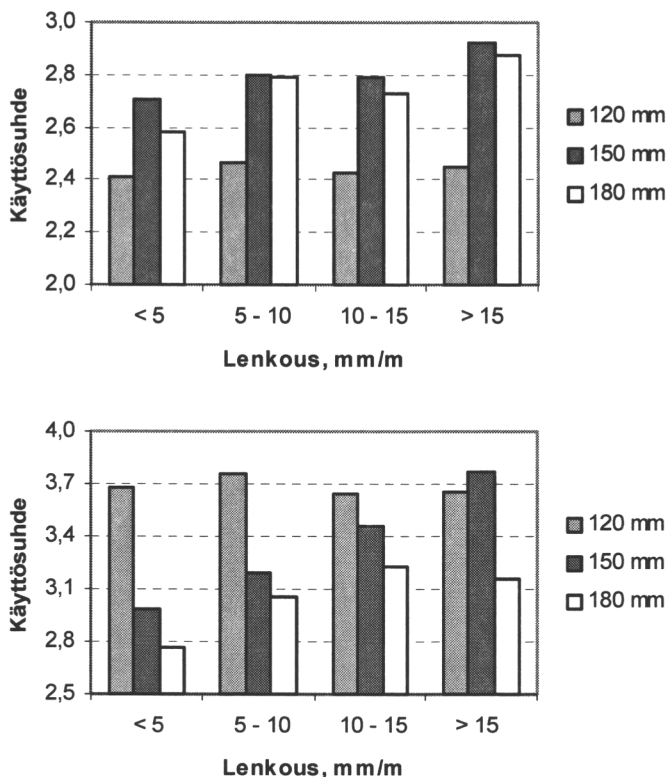


Kuva 14. Täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran osuudet tukkien latvaläpimitta- ja kartiokkuusluokittain. Kartiokkuusluokat kussakin läpimittaluokassa (vasemmalta oikealle): alle 5 mm/m, 5–10 mm/m, 10–15 mm/m, yli 15 mm/m.



Kuva 15. Täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran osuudet tukkien latvaläpimitta- ja soikeusluokittain. Soikeusluokat kussakin läpimittaluokassa (vasemmalta oikealle): alle 5 mm, 5–10 mm, 10–15 mm, yli 15 mm. Soikeus tässä suurimman ja pienimmän kuorellisen läpimitan erotus.

Läpimittaluokissa 15 ja 18 käyttösuhteet kasvoivat lenkouden kasvaessa. Sahatavaran aihiotilavuuteen suhteutettu käyttösuhte kasvoi pienimmän ja suurimman lenkousluokan välillä noin 8 % 15 cm:n läpimittaluokassa ja noin 11 % 18 cm:n läpimittaluokassa. Täyssärmäisen sahatavaran tarkastelussa käyttösuhteet kasvoivat pienimmän ja suurimman lenkousluokan välillä 15 cm:n läpimittaluokassa noin 26 % ja 18 cm:n läpimittaluokassa noin 14 %.

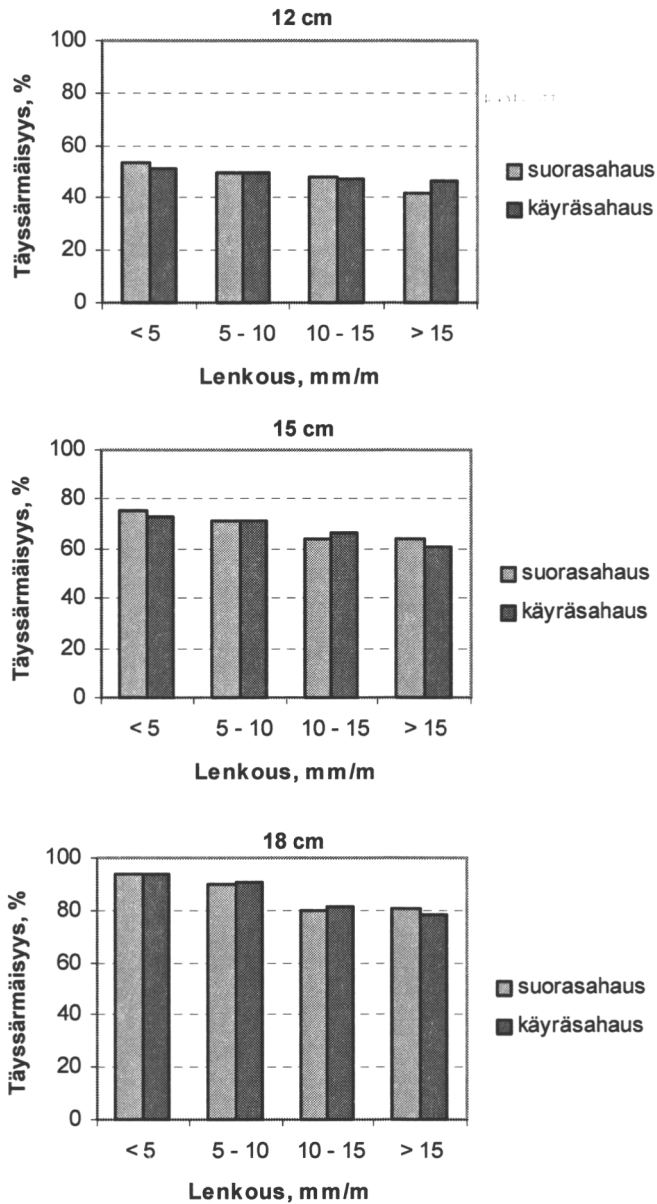


Kuva 16. Tukkien käyttösuhteet eri latvaläpimitta- ja lenkousluokissa sahatavara-aihioiden (ylh.) ja täyssärmäisen sahatavaran (alh.) perusteella. Laskennassa on käytetty sahatavaran kuivamittoja.

3.7 Käyrä- ja suorasahauksen erot sahauksen simuloinnissa

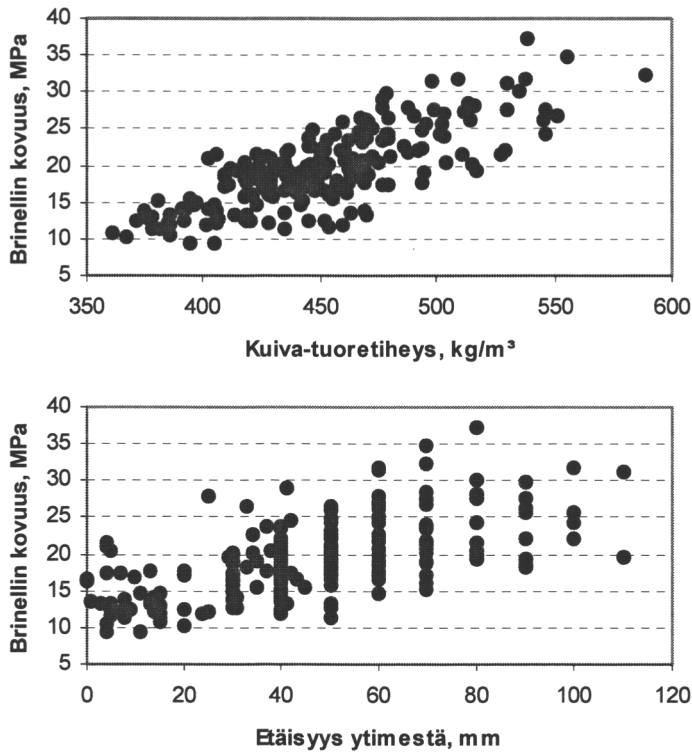
Koetukien kolmiulotteiset mallit mahdollistivat sahauksen simuloinnin tukinmittausjärjestelmän ohjelmistolla. Simuloinnit toteutettiin koesahauksia vastaavilla aseteilla käyttäen ensimmäisessä simuloinnissa ns. suorasahausta ja toisessa käyräsahausta (15 mm/m). Ohjelman parametreihin voitiin määrittää raja-arvot täys- ja vajaasärmäisyydelle. Simuloinnin tuloksena saatiin täyssärmäisen sahatavaran tilavuus sekä ns. aihiotilavuus, joka sisältää sekä vajaa- että täyssärmäisen sahatavaran.

Kuvassa 17 on esitetty täyssärmäisen sahatavaran osuus sahatavaran aihio-tilavuudesta tukkien lenkousluokittain sekä suora- että käyräsahauksessa. Yläkuvassa on tarkasteltu täyssärmäisen sahatavaran osuuksia 12 cm:n latvaläpimittaluokan tukeilla. Osuudet olivat kaikissa lenkousluokissa hieman alhaisempia kuin tehdyissä koesahauksissa. Sahaustulos heikkeni lenkouden lisää-



Kuva 17. Täyssärmäisen sahatavaran osuudet simuloidussa suora- ja käyräsahauksessa tukin lenkousluokittain. Tukin latvaläpimittaluokat: 12 cm (yläkuva), 15 cm (keski-kuva) ja 18 cm (alakuva).

tyessä sekä 12 cm:n että 15 ja 18 cm:n läpimittaluokissa. Sen sijaan sahaustapojen välillä ei ollut havaittavissa johdonmukaista eroa.



Kuva 18. Sahatavaran Brinellin kovuus kuiva-tuoretiheyden (ylh.) ja ytimen sijainnin (alh.) mukaan.

Taulukko 14. Sahatavaran puuaineen pinnankovuuden ja kuiva-tuoretiheyden keskiarvot ja keskihajonnat aineistoissa 1 ja 2.

Aineisto	n	Brinell-kovuus, MPa		Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³	
		keskiarvo	keskihajonta	keskiarvo	keskihajonta
Aineisto 1	73	18,0	4,5	445	26
Aineisto 2	154	20,0	5,3	454	46
Koko aineisto	207	19,4	5,1	451	41

3.8 Sahatavaran puuaineen kovuus

Sahatavaran puuaineen pinnankovuuksia (Brinell-kovuus) määritettiin verraten nopeakasvuisista istutuskoivikoista hankituista aineistoista. Näytteiden pinnankovuuksien ja kuiva-tuoretiheyksien keskitunnukset on esitetty taulukossa 14. Sekä pinnankovuus että kuiva-tuoretiheys olivat aineistossa 2 keskimäärin hieman alhaisempia kuin aineistossa 1.

Taulukko 15. Sahatavaran puuaineen pinnankovuutta (Brinell-kovuus) selittävät regressiomallit.

Regressiomalli	Muuttuja	Kerroin	Kertoimen keskivirhe	t-arvo	p-arvo
malli 1					
SEE: 3,342	vakio	-24,8	2,6	-9,714	0,000
R ² : 0,594	X ₁	9,814*10 ⁻²	0,006	17,397	0,000
malli 2					
SEE: 4,136	vakio	13,2	0,623	21,234	0,000
R ² : 0,378	X ₂	0,133	0,012	11,243	0,000

X₁ : kuiva-tuoretiheys, kg/m³

X₂ : etäisyys ytimestä, mm

Kuvassa 18 on esitetty pinnankovuushavainnot näytteen kuiva-tuoretiheyden suhteen ja mittauspisteen sijainnin suhteen. Pinnankovuus kasvoi selvästi puuaineen kuiva-tuoretiheyden kasvaessa. Regressiomallissa 1 (taulukko 15) kuiva-tuoretiheydellä pystyttiin selittämään 60 % kovuuden vaihtelusta. Regressiomallin kulmakertoimen perusteella voidaan päätellä pinnankovuuden kasvavan noin 1 MPa kun kuiva-tuoretiheys kasvaa 10 kg/m³.

Puuaineen pinnankovuus kasvoi etäisyyden puun ytimestä kasvaessa. Tämä oli odotettua, sillä näytteen etäisyydellä ytimestä ja kuiva-tuoretiheydellä havaittiin positiivinen riippuvuus ($r = 0,51$). Regressiomallissa 2 (taulukko 15) kovuuden selittäjänä on käytetty mittauspisteen etäisyyttä ytimestä. Mallin selitysasteeksi saatiin 38 %. Regressiosuoran kulmakertoimesta voidaan todeta pinnankovuuden kasvavan noin 1,3 MPa, kun etäisyys ytimestä kasvaa 10 mm.

4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys

Tämän tutkimuksen pystymetsikköinventoinneissa kerättiin kattava aineisto nykyisistä harvennusköivumetsistä Suomen keskeisillä köivalueilla. Metsikköotanta ositettiin Itä- ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueille köivun vuosien 1995-2005 hakkuumahdollisuuksien perusteella 8. valtakunnan metsien inventoinnin aineiston mukaan (METINFO, 15.8.2001). Koko otanta-alueen tasolla aineisto ositettiin edelleen kolmeen tyypilliseen harvennusköivun lähteeseen köivun tyypillisillä kasvupaikoilla: istutusraudusköivikot (viljavat metsämaat ja metsitetyt pellot), luonnonsyntyiset puulajipuhtaat köivikot (enimmäkseen hiesköivua, viljavat metsämaat ja ojitetut korvet), luonnonsyntyiset köivun ja kuusen sekametsiköt (enimmäkseen raudusköivua, viljavat

metsämaat ja ojitetut korvet). Aineisto on laajin ja kattavin suomalaisen harvennuskoivun sahapuukelpoisuutta käsitelleistä tähänastisista tutkimuksista. Aiemmin on tehty kaksi erillistä suppeahkoa tutkimusta Etelä- ja Itä-Savossa (Rantanen ym. 2000, Lehtimäki 2002, Lehtimäki ym. 2002) ja muutamia maakunnallisia ja alueellisia kehittämiselvityksiä esim. Pohjois-Karjalassa (Tikka & Saramäki 2001). Mittaukset ja arvioinnit tehtiin systemaattisesti samalla menetelmällä Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusta varten yhtenäisesti koulutettujen maastoryhmien toimesta, jolloin mittaajasta johtuva vaihtelu voidaan sivuuttaa tulosten tarkastelussa.

Tulosten soveltamisen kannalta sinänsä mielenkiintoinen jaottelu ensiharvennusmetsiköihin ja myöhempien harvennusten metsiköihin ei ollut käytännössä mahdollista, koska koivua sisältävien metsiköiden kehitysvaihe ei ollut yksiselitteisesti ja yhteismitallisesti määriteltävissä: useimmissa metsiköissä oli merkkejä eriasteisista ei-kaupallisista, usein toistetuista lievistä harvennuksista, ilmeisesti lähinnä polttopuun hakkuista. Tätä puutetta kompensoitiin analysoimalla ja raportoimalla päätulokset rungon läpimittaluokittain, jolloin oli mahdollista tehdä suuntaa antavia arvioita myös eri kehitysvaiheen harvennusmetsiköiden sahapuun hakkuukertymistä.

Aineisto kuvastaa vähintään tyydyttävästi hoidettuja metsiköitä, joista oli mahdollista saada silmävaraisen arvion perusteella ainakin jossain määrin sahattavaa pieniläpimittaista, tukkina 11–25 cm:n koivua. Tätä järeysluokkaa oleva koivu ei ole vaneriteollisuutta ensisijaisesti kiinnostavaa raaka-ainetta, lukuun ottamatta ehkä yli 20 cm:n tukkiluokkia ja vanerikoivun ajoittaisia niukkuuskausia. Puumassateollisuus lienee sitä vastoin kiinnostunut ainakin ensiharvennuksia myöhempien harvennusten koivusta, päätellen kotimaisen koivukuitupuun täydennykseksi useissa yhteyksissä mainitun tuontikoivun runsaasta käytöstä (METINFO, 15.8.2003).

4.2 Tulosten arviointi ja vertailu muihin tutkimuksiin

Koivusahapuun harvennusleimikoista hankinnan kannalta pidettiin etukäteen kiinnostavimpina istutusrauduskoivikoita. Niissä puusto osoittautuikin hieman järeämmäksi kuin luontaisissa koivikoissa tai koivu-kuusisekametsiköissä. Suuremmasta runkoluvusta johtuen puuston kokonaistilavuudet olivat luontaisissa koivikoissa tosin hieman korkeammat kuin istutuskoivikoissa. Tämä on tyypillistä varsinkin ensiharvennusvaiheen koivikoille ja koivua sisältäville sekametsiköille (esim. Rantanen ym. 2000).

Harvennuskoivupuuston pieni järeys asettaa erityisvaatimuksia niistä hakattavien sahatukkien suorudelle. Runkojen muotoviat olivat selvästi yleisimpiä sahapuun apteerausta rajoittavia tekijöitä, istutuskoivikoissa erityisesti runkojen tyvi- ja keskiosan mutkaisuus. Sinänsä haitallisinta monivääryyttä esiintyi yleisimmin luontaisissa koivikoissa ja sekametsiköissä. Myös Rantasen ym. (2000) tutkimuksessa mutkaisuus (yli 1 cm/m) alensi poistuman harvennuskoivurunkojen pikkutukkiosuutta yli kolmessa rungossa neljästä; muut vaikuttavat viat olivat laho ja runkovauriot (8 %), lenkous (6 %),

haaraisuus (4 %) ja liian paksut oksat (2 %). Poistettavista, rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 12 cm:n koivuista pikkutukiksi vähimmäismittojen puolesta mahdollinen rungonosuus oli täysimääräisesti sahapuukelpoinen vain kahdessa prosentissa (rauduskoivu 6 %, hieskoivu 1 %), osittain sahapuukelpoinen 37 prosentissa (rauduskoivu 45 %, hieskoivu 35 %) ja kokonaan sahauskelvoton 57 prosentissa (rauduskoivu 45 %, hieskoivu 59 %). Hieskoivuista viidessä prosentissa oli mahdollista saada vaneritukkia, mutta ei tämän jälkeen enää pikkutukkia.

Tutkimuksessa tehdyissä koko pystypuuston koeapteerauksissa sahapuuosuus vaihteli metsikkötyypeittäin välillä 15–25 %. Sahapuuosuus oli suurin ja sahapuuosuuden alenema pienin istutuskoivikoissa verrattaessa poistumaa koko puustoon. Täten puusto oli istutuskoivikoissa varsin tasalaatuista luontaisiin koivikoihin ja sekametsiköihin nähden. Istutuskoivikoita voidaan pitää sekä hehtaarikohtaisen hakkuukertymän että poistuman sahapuuosuuden perusteella potentiaalisimpina sahapikkutukin hankintakohteina. Näistä taas varttuneet kasvatusmetsiköt ovat houkuttelevampi vaihtoehto kuin ensiharvennusmetsiköt, kun tarkastellaan runkojen keskimääräisen läpimitan ja läpimittajakauman vaikutusta tulokseen.

Tulokset hakkuukertymästä ja sahapuuosuudesta harvennuskoivuleimikoissa olivat yhdenmukaisia käytännön kokemusten kanssa, tosin yksittäisissä hakkuukohteissa sahapuun kertymä ja osuus voivat nousta saatuja tuloksia huomattavasti suuremmiksikin. Koehakkuissa sahapuuta oli keskimäärin noin kolmannes kertymästä, kun samoilla leimikoilla arvioitiin pystymittauksen perusteella saatavan sahatukkia neljänneksen verran kokonaiskertymästä. Ero selittyi sahapuun tiukoilla laatuvaatimuksilla pystymittauksessa. Tämä ero oli edelleen esitettyä pienempi, kun hakkuissa toteutuneesta sahapuukertymästä vähennettiin laadultaan sahapuun vähimmäisvaatimuksia heikompien hylkytukkien osuus. Samansuuntainen ero harvennuskoivuleimikoiden sahapuun kertymässä on havaittu myös Lehtimäen ym. (2002) tutkimuksessa vertailtaessa silmävaraisen pystymittauksen tuloksia hakkuussa toteutuneisiin.

Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimuskeskuksessa toteutettiin vuosina 1998–2001 tutkimushanke Kotimaisen koivun ja harmaalepän ominaisuudet mekaanisessa puunjalostuksessa, niiden ennustaminen ja hallinta. Kyseisen hankkeen osana oli harvennuskoivun korjuuta, hakkuukertymiä sekä sahatavaran laatua ja saantoa selvittänyt tutkimus (Lehtimäki 2002, Lehtimäki ym. 2002). Se toteutettiin tätä tutkimusta huomattavasti pienemmillä aineistoilla mutta vertailukelpoisia tutkimusmenetelmiä soveltaen. Harvennuskoivurunkojen vikojen esiintymisyleisyydet olivat molemmissa tutkimuksissa oksavikojen osalta samalla tasolla, sen sijaan mutkien ja monivääryyden esiintymiselle määritetyt frekvenssit olivat tässä tutkimuksessa selvästi korkeampia kuin Lehtimäellä. Osin tämä selittyi metsikkötyyppien erilaisella jakaumalla aineistoissa, mahdollisesti myös pystymittaukset tehneiden henkilöiden sahapuun laaturajojen arviointiperusteiden erilaisuudella. Molemmissa tutkimuksissa havaittiin luontaisten koivikoiden oksattoman runkopuun osuus huomattavasti muita metsikkötyyppejä suuremmaksi. Sahapuun kertymät ja sahapuuosuudet

olivat Lehtimäellä ym. (2002) samalla tasolla kuin tässä tutkimuksessa, 4–22 m³/ha ja 14–30 %.

Rantasen ym. (2000) tutkimuksessa harvennuskoivikoiden sahapuun kertymä ja sahapuuosuus vaihtelivat metsiköittäin välillä 2–27 m³/ha ja 3–23 %. Tässä erityyppisten koivua sisältäneiden kasvatusmetsiköiden tutkimuksessa koivusahapuun hankinnan kannalta parhaimpia olivat kaksijaksoisten metsiköiden koivuylispuustot ja selvästi heikoimpia luontaisesti syntyneet hieskoivikot.

Puunkorjuun ja puunhankinnan kannattavuuden kannalta tarkastellen riittävän suuret leimikkokohtaiset sahapuuosuudet ja –kertymät harvennus-hakkuissa edellyttävät riittävää tavaralajien pituus- ja läpimittavaliokimaa. Pieniläpimittaisen harvennuskoivun sahattavaksi soveltuvat rungonosat ovat tyypillisesti melko lyhyitä, jolloin sahatukkien katkonta edellyttää erityisesti lyhyitä tukkipituksia. Tämän tutkimuksen koeapteerauksissa tukkipituksien vähentäminen kahdesta yhteen pienensi sahapuuosuutta jopa kolmanneksen. Yhtä olennainen tekijä runkojen katkonnan joustavuudessa oli kuitupuun pituus. Jos kuitupuulla sallittiin vain yksi määräpituus, sahatukkien apteeraus oli usein mahdotonta. Likipituisen (10 %:n pituustoleranssi) ja vapaapituisen kuitupuun tekemahdollisuus lisäsi sahapuun apteerauksen mahdollisuuksia. Näiden kuitupuun apteeraussääntöjen välillä ei kuitenkaan havaittu eroa runkojen sahapuuosuuksissa.

Runkojen pieni tilavuus on toinen merkittävä tekijä, joka asettaa rajoitteita sahatukkien apteeraukselle harvennuskoivikoissa. Sahapuuosuudet kohosivat 13 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokasta aina 17 cm:n luokkaan saakka ja vakiintuivat tämän jälkeen likimäärin vakiotasolle, kun sahatukkien minimiläpimitta oli 11 cm. Jos harvennuksessa poistettavien runkojen valintaa tarkastellaan vain sahapuun kertymän kannalta ottamatta huomioon metsänhoidollisia näkökohtia, tulisi hakkuussa poistaa em. läpimittaisia ja niitä järeämpiä runkoja.

Sahatavaran laadun ennustaminen tukkien laadun perusteella on koivun kyseessä ollessa erityisen vaikeaa, ellei mahdotonta. Pieniläpimittainen koivu ei ole varsinaisesti erikoispuutavaralaji ja sahauksen kannattavuus aikaansaadaan ennemminkin sopivalla tukkien lajitteilla, oikein valituilla sahausaseteilla ja kohtalaisen tehokkaalla sahauslinjalla kuin tukkien yksilöllisellä sahauksella. Mikäli tavoiteltu sahatavaran laatu on esimerkiksi oksatonta tai terveoksaista, voidaan hyödyntää tietoa kyseisten sahatavaraalajien esiintymisen yleisyydestä eri tukkilaaduissa ja -läpimitoissa. Laatujaakamatietoa voidaan käyttää laadittaessa sahatukkien apteeraus- ja laatuohjeita, mutta hyötynäkökohtia voisi olla jopa sahausasetteiden laadinnassa ja tukkien lajitte- lussa halutun sahatavaraaladun osuuden maksimoimiseksi.

Tässä tutkimuksessa oksatonta sahatavaraa saatiin luonnollisesti useimmin oksattomista tukeista, hieman näitä vähemmän oksakyyhmyisistä tukeista ja selvästi vähemmän kaikista oksaisista tukkilaaduista. Pieniläpimittaista koivua ei voida kuitenkaan pitää lupaavana oksattoman sahatavaran raaka-ainelähteenä, vaikka käytännön sahaustoiminnassa on saatu tässä suhteessa odotettua parempiakin tuloksia (Varis 2002). Oksattoman koivusahatavaran käyttö-

kohteet ovat näissä tapauksissa olleet lähinnä huonekalumateriaalit sekä lattialaudat ja –parketit, mutta uutta kysyntää odotetaan sisustuspaneeleiksi ja –listoiksi. Koivupuun lämpö- ja puristuskäsittely vaativat käytännössä myös oksattoman raaka-aineen niissä käyttökohteissa, joihin näin käsiteltyä koivua on tähän asti käytetty.

Pieniläpimittaisesta koivusta saatavat ensisijaiset tuotteet ovatkin oksaiset sahatavaralaadut. Tässä tutkimuksessa terveoksaista sahatavaraa saatiin yleisimmin ja eniten oksaisista tukeista, hieman vähemmän oksakyhmyisistä tukeista mutta jo huomattavasti vähemmän oksattomista tukeista. Käytännössä toteuttamiskelpoisena ohjeena runkojen apterauksessa ja tukkien lajittelussa voidaan pitää sahauksen kohdentamista oksaisiin tukkeihin tavoiteltaessa terveoksaisten sahatavaran suurta osuutta. Oksien laadulla tukin pinnalla (elävä, kuiva, laho) ei ollut vaikutusta sahatavaran laatumuutokseen. Mikäli rungon pinnalla näkyvää oksikkuutta ei voida hyödyntää apterauksen ohjauksessa (esim. koneellinen hakkuu), voidaan tukeutua tukin sijaintikorkeuden ja sahatavaran laadun väliseen yhteyteen: terveoksaisten sahatavaran osuus kasvoi noin 50 %, kun sahattiin tyvitukkien sijasta välitukkeja yli kolmen metrin korkeudelta rungossa. Tukkien sijaintikorkeudella ja latvaläpimitalla oli vaikutusta myös sahatavaran oksien kokoon. Vaikutus oli kuitenkin niin vähäinen, ettei em. tunnuksia ole tältä kannalta tarpeellista ottaa huomioon apterauksessa.

Koesahauksissa selvitettiin tukkien järeyden ja muodon vaikutuksia käytännön sahaustulokseen käyttösuhteiden ja täyssärmäisen sahatavaran osuuk-sien perusteella. Mutkaisuus ja monivääryys ovat koivulle ominaisia piirteitä varsinkin runkojen latvaosissa. Varsinaista määritelmän mukaista tasaista lenkoutta koivulla esiintyy melko vähän, mutta tunnus on silti mitattavissa. Verrat-taessa ja huomattavan lenkojen koivutukkien (lenkous yli 15 mm/m) sahaustulosta suorana pidettävien koivutukkien (lenkous alle 5 mm/m) sahaus-tulokseen täyssärmäisen sahatavaran osuus tuotannosta laski jopa lähes 15 %-yksikköä. Täyssärmäisen sahatavaran väheneminen ilmeni suurimmaksi osaksi yhdeltä särmältään vajasärmäisen sahatavaran osuuden lisääntymisenä. Yhdeltä särmältään vajasärmäinen sahatavara-aiho on vielä osin hyödynnet-tävissä esim. liimalevyllamellien valmistuksessa, mutta raaka-ainehävikki ja sahauksen käyttösuhteet kasvavat joka tapauksessa tukkien lenkouden kas-vaessa.

Täyssärmäisen sahatavaran osuudet ja käyttösuhteet riippuvat paljolti sahausasetteen laadinnasta ja käytettävissä olevista tuotedimensioista. Tässä tutkimuksessa asetteet eivät olleet tältä kannalta tarkoituksenmukaisia kaikissa tukkien läpimittaluokissa, joten läpimittaluokkien välinen vertailu ei ollut tässä suhteessa perusteltua. Samasta syystä on syytä olla varovainen tulkittaessa arvioita sahauksen käyttösuhteiden absoluuttisista arvoista. Selvää on kuitenkin sahauksen käyttösuhteen nouseminen hyvinkin korkeaksi yhtäältä pieniläpi-mittaisimmissa tukkiluokissa ja toisaalta muotovikojen lisääntyessä tukeissa. Vaikka monet nykyiset sahaustekniikat mahdollistavat latvaläpimitaltaan alle 100 mm:n tukkien sahaamisen, koivuraaka-aineen käytön ja sahauksen tuotantotalouden kannalta järkeväksi minimiläpimitaksi on käytännön kokemusten

perusteella havaittu 140–150 mm (Pekka Solla, suull.). Tätä käsitystä tukevat tämän tutkimuksen koesahauksissa havaitut korkeat käyttösuhteet pienimpien läpimittaluokkien tukkien sahauksessa, tosin on muistettava tutkimuksen näiltä osin tapauskohtainen luonne.

Lehtimäen (2002) määrittämät pieniläpimittaisen koivun sahauksen käyttösuhteet olivat selvästi korkeampia kuin tässä tutkimuksessa, keskimäärin $3,3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ kaiken tuotetun sahatavaran perusteella ja $4,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ nelisahatun täyssärmäisen sahatavaran perusteella (ks. myös Lehtimäki ym. 2002). Ero johtui selvästi suuremmasta tukkien läpimittaluokkien ja sahausaseteluokkien lukumäärästä tässä tutkimuksessa. Variksen (2002) tutkimuksessa, jossa pieniläpimittaista koivua sahattiin tämän tutkimuksen tavoin veistosahalla mutta ilmeisesti varustettuna tarkemmalla tukin keskityslaitteistolla, tukkien käyttösuhteet olivat varsin lähellä tämän tutkimuksen tuloksia. Pienimmissä tukin läpimittaluokissa (90–109 mm) käyttösuhde oli huomattavan korkea ($3,7\text{--}4,0 \text{ m}^3/\text{m}^3$), mutta se laski selvästi läpimitan noustessa. Läpimittaluokassa 140–149 mm käyttösuhde oli enää luokkaa $3,0 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Sahauksen käyttösuhteet riippuvat edellä todetun mukaisesti käytetyistä asetteista ja muista koejärjestelyistä sekä tukkien laadusta, joten tulosten vertailuissa on syytä olla varovainen.

Käyräsahaustekniikalla toteutettavassa sahauksessa kyetään seuraamaan tukin tasaista, suurimmillaan 1,5 %:n lenkoutta. Tässä tutkimuksessa käyrä- ja suorasahauksen sahaustulosta verrattiin samojen koetukkien sahauksen simuloineilla. Täyssärmäisen sahatavaran osuudessa ei havaittu eroja suora- ja käyräsahauksen välillä. Tämän perusteella käyräsahaustekniikasta ei näyttäisi olevan juurikaan hyötyä sahattaessa koivupikkutukkeja, jotka puulajille ominaisesti ovat useimmiten mutkaisia tai monivääriä.

Mekaaniset ominaisuudet eivät yleensä rajoita koivupuun käyttöä sille tyypillisissä käyttökohteissa huonekalu- ja puusepänteellisyydessä. Eniten merkitystä on puuaineen kovuudella. Hyvä kovuus on eduksi esimerkiksi hyvää kulutuskestävyyttä, tasaisena säilyvää pintaa, helppoa puhdistettavuutta ja joskus hyvää iskunkestävyyttä vaativien huonekalumateriaalien, lattialautojen ja parkettien sekä erilaisten käyttöesineiden valmistuksessa. Nykyisin on puunkäsittelyyn kuitenkin tarjolla erilaisia kaupallisia pinnoitekemikaaleja, joilla puumateriaalien pintakovuus voidaan moninkertaistaa alkuperäisestä. Tämä pienentää olennaisesti puuaineen luontaisen pinnankovuuden merkitystä varsinkin arvokkaimpien, sisustuksessa ja erilaisissa käyttöesineissä käytettävien materiaalien valinnassa. Kovuus kulkee fysikaalisena suureena käsi-kädessä haurauden kanssa. Täten puuaineen liiallinen kovuus voi olla jopa haitallista sen työstettävyyden ja mekaanisten liitosten teon kannalta. Tosin on muistettava, että puuaineen leikkauslujuus on tässä suhteessa vaikuttavampi tekijä kuin kovuus.

Brinell-kovuus kuvaa puuaineen kykyä vastustaa kiinteiden kappaleiden tunkeutumista puun sisään. Harvennuskoivusta sahattujen ja höylättyjen näytteiden mittaustulosten perusteella puuaineen pinnankovuus kasvoi säännönmukaisesti kuiva-tuoretiheyden kasvaessa. Koska kuiva-tuoretiheys kasvaa rungon ytimestä pintaan siirryttäessä, korreloivat myös pinnankovuus ja mittauspisteen etäisyys ytimestä. Käytännön sovellusten kannalta etäisyys

ytimeistä on mitattavuutensa vuoksi tiheyttä parempi pinnankovuuden arviointiperuste. Edellä mainitusta johtuen sahatavaran ulkolapteen voidaan myös olettaa olevan sisälapetta kovempi. Teoriassa tätä tietoa olisi mahdollista hyödyntää hyvää kovuutta vaativien tuotteiden valmistuksessa tai koivurungon eri osista saatavien sahatuotteiden käyttökohteiden valinnassa. Hyvä koivuraaka-aine on kuitenkin puutuoteteollisuudessa niukkuustekijä, jonka käytön määräävät ominaisuudet ovat tavallisesti visuaalisia. Puuhävikin pitämiseksi järkevällä tasolla ei raaka-aineen valikointi saati hylkääminen pinnankovuuden perusteella liene mahdollista.

Wagenführin (1996) esittämien kirjallisuustietojen mukaan eurooppalaisen koivun Brinell-kovuus on 22–49 MPa. Heräjärven (2002) mukaan järeän päätehakkuukäisen rauduskoivun keskimääräinen Brinell-kovuus on Suomessa 23,4 MPa. Tämä on noin 20 % korkeampi kuin tässä tutkimuksessa pieniläpimittaisen rauduskoivun puuaineelle määritetty keskiarvo. Sen sijaan järeän hieskoivun keskimääräinen kovuus oli Heräjärvellä (2002) kohtalaisen lähellä tämän tutkimuksen pieniläpimittaisen rauduskoivun kovuutta. Järeän koivun puuainetta voidaan siis pitää harvennuskoivun puuaineeseen nähden parempana hyvää pinnankovuutta vaativissa kohteissa. Tämä oletus kuitenkin edellyttää puulajien erottelemista, sillä hies- ja rauduskoivun välinen ero näyttää olevan tässä suhteessa tukiin järeyttä merkittävämpi tekijä.

4.3 Jatkotutkimusten ja kehittämistyön tarpeita

Mikäli tämän tutkimuksen tulosten perusteella halutaan tehdä alueellisia tai maakunnallisia arvioita sahattavan koivun mahdollisista hakkuukertymistä on otettava huomioon myös muut kuin metsänhoidollisesti tyydyttävät harvennuskoivikot ja päätehakkuukoivikoiden latvapikkutukki, edellyttäen että niiden korjuu on teknis-taloudellisesti kannattavaa. Tällaiset laskelmat soveltuvat hyvin metsäkeskusten ja suurten metsänhoitoyhdistysten tehtäviksi. Todennäköisesti koivikoiden metsänhoidollinen tila on myös erilainen yksityismetsissä, valtion metsissä ja metsäyhtiöiden metsissä. Mikäli myös koivun eri käyttötarkoitusten välinen kilpailu halutaan ottaa huomioon, saattavat ratkaiseviksi tekijöiksi arvioissa muodostua eri puutavaralajien jalostusarvot, lisäpuutavaralajien hankinnasta ja lajittelusta aiheutuvat ylimääräiset kustannukset ja puun kysynnän ja tarjonnan alueelliset tasapainotekijät.

Pieniläpimittaisen koivun korjuussa, kuljetuksessa ja lajittelussa sahapuuki voidaan ainakin periaatteessa soveltaa hakkuupalstalla tehtävän valmiille sahatukkipituuksille apterauksen sijaan sahattavien pölkyjen poimintaa ja lajittelua erilleen kuitupuun hakkuuta jäljittelevän hakkuumenetelmän jälkeen joko tienvarsi-, terminaali- tai tehdasvarastolla. Tällaista koivusahapuun lajittelua on kokeiltu käytännössä Venäjältä tuotavalla koivukuitupuulla tehdasvarasto-oloissa (Suomen Kehityskeskus Oy 2000). Järeiden ja ulkoisen laadun perusteella sahauskelpoisen puutavaran osuus on ollut tällöin kuitenkin vain noin 10 %, vaikka tuontikoivukuitupuun on käytännössä keskimäärin

järeämpää kuin kotimainen koivukuitupuu. Koko kuitupuuerän ylimääräisestä lajittelusta aiheutuvien kustannusten voidaan päätellä kohdistuvan täysimääräisesti erilleen lajiteltavalle tavaralajille ja täten kohottavan olennaisesti sahaukseen ohjattavan puun tehdashintaa.

Toinen periaatteellinen vaihtoehto sahakoivun hankinnan järjestämiseksi uudella tavalla olisi kokorunko- tai tukkiosahankinta, jossa nämä, esimerkiksi 8–12 m:n rungonosat apteerattaisiin ja katkottaisiin puutavaralajeiksi erityisellä katkonta-asemalla (tai tehdasvarastossa). Apteerausta voitaisiin näin ajatella pystyttävän tehostamaan, rungon laaturajoja tarkentamaan ja tukkien mittatarkkuutta parantamaan ja arvosaantoa puuraaka-aineen tilavuusyksikköä kohden täten kohottamaan. Yksi vaihtoehto olisi tällöin myös tehokas halkojen ja pilkkeiden tuotanto sahattavaksi liian huonolaatuisista rungonosista ja sahapuupölkkyjen tasauspätkistä. Harvennuskoivun tukkiosina korjuun mahdollisuuksia tutkittiin Lehtimäen (2002) tutkimuksessa, mutta tulokset eivät olleet erityisen lupaavia sahatavaran saannon ja laatujakauman kannalta (ks. myös Lehtimäki ym. 2002). Kokorunkoina tai tukkiosina korjuu harvennusleimikoissa aiheuttanee tavaralajeina korjuuta enemmän runkovaurioita jäävälle puustolle, asettaa omia vaatimuksiaan ajouraverkolle, edellyttäneen usein erikoiskalustoa auto- ja rautatiekuljetuksessa ja heikentäneen kuormatilan käyttöastetta sekä metsä- että kaukokuljetuksessa. Lisäksi menetelmä edellyttää joko katkonta-aseman rakentamisen tai puun vastaanoton, mittauksen ja muun käsittelyn uudelleen järjestämisen sahalla.

Tämän tutkimuksen koesahaukset osoittivat olennaisia puutteita nykyisessä sahauskalustossa pieniläpimittaisen koivun sahaususta ajatellen. Vastaisessa kehitystyössä on syytä tarkastella tukin syöttöä ja ohjausta sahakoneelle, käyräsahauksen ohjausta ja/tai tukin optimaalisen sahausasennon säätämistä esim. pyörittämällä ja sahattavaan pölkkyyn kohdistuvia jännityksiä. Sahalinjojen nopeutta, tuottavuutta, toimivuutta ja häiriöherkkyyttä, tuotteiden määrä-, laatu- ja arvosaantoa ja tältä pohjalta tuotannon taloudellisuutta ja kannattavuutta on tutkittava kokonaisuutena. Mikäli halutaan käyttää sahapuukertymän ja sahatavaran saannon kannalta edullisia lyhyitä tukkipituuksia olemassa olevilla sahalinjoilla, häiriöiden ja tuotantokatkosten frekvenssit ja kestoajat saattavat muodostua keskeisiksi tekijöiksi tuotantokustannusten kannalta. Havupuun sahauksesta käytännössä saatujen kokemusten perusteella tähän vaikuttaa myös se, mikä on tavallista lyhyempien tukkipituuksien osuus tukkien kappalemäärästä ja sahataanko lyhyitä tukkeja omina erinään vai sekaisin pidempien tukkien kanssa.

Pieniläpimittaisen koivun kuten muunkin järeän ja ohuen lehtipuun sahausstrategioissa voidaan tehdä valintoja tuotelähtöisesti. Suomessa on totuttu järjestämään koivun sahaus tukkeja yksilöinä tarkastellen ja lukuisia erikoissahatavaralaatuja valmistaa jo tukeista lähtien, jolloin tuotantonopeus ja –tehokkuus kärsivät (Verkasalo & Paukkonen 1999). Etuna on ollut arvokkaiden tuotteiden saannon maksimointi. Kun näiden saanto on ollut parhaassa tapauksessakin yleensä vain 30–40 % tuotetun sahatavaran määrästä, määrällisenä vähemmistönä olevan päätuotannon vastapainona on syntynyt suuri määrä heikkolaatuista ja –arvoista, pahimmassa tapauksessa markkina-

kelvotonta sahatavaraa. Lisäksi sahauksen sivutuotteiden eli sahapintojen, hakkeen, purun ja kuoren markkinat ovat olleet rajoitetut. Käytännössä vain kuorituista koivutukeista valmistetulle hakkeelle on ollut vakiintunutta käyttöä puumassa-, lastulevy- ja kuitulevyteollisuudessa, viime aikoina myös sahanpurulle energiapellettien ja –brikettien valmistuksessa. Olisikin hyvin toivottavaa, että laadultaan vaatimattomalle koivusahatavaralle kuten myös sivutuotteille pystyttäisiin kehittämään uusia käyttökohteita.

Itä-Kanadassa sahataan suomalaista hieskoivua ominaisuuksiltaan pitkälti vastaavaa valko- eli paperikoivua strategialla, joka on suunniteltu yksikköhinnaltaan vaatimattomien volyymituotteiden, kuten kuormalava-, pakkaus- ja rakennussahatavaran suurimittakaavaiseen valmistamiseen nopeilla ja tehokkailla sahalinjoilla varsin yksinkertaista tukkilajittelua soveltaen (Clément 2002, Gazo ym. 2003). Sahatavaran lajittelussa otetaan tämän jälkeen talteen arvokkaat huonekalu- ja puusepänlaadut aihoiden ja tuoteosien valmistukseen. Tällä tavalla on saatu 10–25 cm:n koivun sahaus kannattavaksi (Robert Beauregard, suull.). Edellytyksenä ovat tietenkin olleet laajat markkinat täälläkin selvänä määrällisenä enemmistönä oleville halvoille sahatuotteille. Suomen koivusahoilta tällaiset markkinat puuttuvat ainakin toistaiseksi. Mikäli niitä syntyisi, kanadalainen toimintamalli olisi tutkimisen arvoisen myös Suomessa.

KIRJALLISUUS

- Aravuo, K. 1994. Huonekalujen valmistus. Toimialaraportti 1994. KTM Yrityspalvelu. Helsinki. 42 s.
- Bhat, K.M. & Kärkkäinen, M. 1981. Variation in structure and selected properties of Finnish birch wood: IV Fibre and vessel length in branches, stems and roots. Seloste: Suomalaisen koivupuun rakenteen ja eräiden ominaisuuksien vaihtelu IV. Kuitujen ja putkisolujen pituus oksissa, rungossa ja juurissa. *Silva Fennica* 15(1): 10–17.
- Boren, H. 2000. Pienpuun käytön lisääminen mekaanisessa puujalostusteollisuudessa. Esiselvityksen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 761. 58 s.
- Bruun, H.H. & Slungaard, S. 1959. Investigation of porous wood as pulp raw material. *Paperi ja Puu* 41(2): 31–34.
- Clément, C., Beaugard, R., Gazo, R. & Lihra, T. 2002. Modelling of Component Recovery Potential and Analysis of Incidence of Defects in White Birch. IUFRO WP S5.01-04 Fourth Workshop “Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software”, Harrison Hot Springs, British Columbia, Canada, September 8–15, 2002. IUFRO WP S5.01-04, s. 41. INRA, Nancy, France.
- EN 1534: 2000 E. Wood and parquet flooring – Determination of resistance to indentation (Brinell) – test method. European Standard. CEN 2000. 10 s.
- Ferm, A. 1983. Tuloksia koivun kasvatustiheyskokeesta sekä männyn ja koivun sekakasvatuskokeesta turvemaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 120: 13–17.
- 1990. Nuorten vesasyntyisten hieskoivikoiden kehitys ja lahoisuus turvemaalla. *Folia Forestalia* 744. 17 s.
- Gazo, R., Beaugard, R., Lihra, T. & Clément, C. 2003. Evaluating the Remanufacturing Potential of Underutilized Wood Species: The Case of White Birch. Julkaisussa: Proceedings of IUFRO – All Division 5 Conference “Forest Products Research – Providing for Sustainable Choices. Rotorua, New Zealand, 11–15 March 2003, s. 176. Forest Research, Rotorua, New Zealand.
- 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.
- Heikkilä, R., Lilja, A. & Härkönen, S. 1993. Rauduskoivun taimien toipuminen latvan katkeamisen jälkeen. *Folia Forestalia* 809. 10 s.
- Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fennica*. 48(6): 1–99.
- Heräjärvi, H. 2001. Technical properties of mature birch (*Betula pendula* and *B. pubescens*) for saw milling in Finland. *Silva Fennica* 35(4): 469–485.
- 2002a. Properties of birch (*Betula pendula*, *B. pubescens*) for sawmilling and further processing in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 871. 52 s. +liitteet.
- 2002b. Järeä koivu sahauksessa ja jatkojalostuksessa. Julkaisussa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.). Itä-Suomen puunlaatu ja käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 855: 9–22.
- 2002c. Internal knottiness with respect to sawing patterns in *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Baltic Forestry* 8(1): 42–50.
- Hirvelä, H. 1999. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1997–2026 Kymen metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/1999: 587–601.
- , Nuutinen, T. & Salminen, O. 1999. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1996–2025 Keski-Suomen ja Pohjois-Savon metsäkeskusten alueilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/1999: 289–307.
- Hynynen, J., Härkönen, K., Lilleberg, R., Mielikäinen, K., Repola, J. & Siipi-lehto, J. 2002. Koivua Suomesta – koivuvarojen kehitysnäkymät. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 840. 53 s.
- Juva, A. & Ahtorinne, M. 1995. Suomen huonekaluteollisuuden kilpailukyky, mahdollisuudet ja keinot. Suomen ulkomaankauppaliiton julkaisusarja 11/95. 120 s.
- Juvonen, R. & Lahti, J. 1985. Sahapurunkojen apterauksen perusteet ja toteutus. Puun mekaanisen teknologian laboratorio. Teknillinen korkeakoulu. Otaniemi. 28 s.
- Kataikko, M.-S. 1996. Huonekaluvalmistajien tarpeet sahaamisen

lähtökohtana. Artenomintyö. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu, Kuopion käsi- ja taideteollisuusakatemia. Muotoiluala. 115 s.

- Kaurala, H. 2000. Sahakoivun ominaisuudet ja laatu puhtaissa koivikoissa ja kuusi-koivusekametsiköissä. Metsäteknologian ja puutalouden pro gradu. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 82 s. + liitteet 10 s.
- Koponen, H. 1996. Huonekalujen valmistus ja suunnittelu. Teknillinen korkeakoulu. Puunjalostustekniikan osasto. Puutekniikan laboratorio. 147 s.
- Korhonen, K., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 2001. Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1966–2000. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2001: 495–576.
- Kujala, V. 1946. Koivututkimuksia. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 34(1): 1–36.
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. Karisto Oy. Hämeenlinna. 451 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Lehtimäki, J. 2002. Sahauskelpoisen koivun korjuu ja kertymät sekä sahatavaran saanto ja laatu. Metsäteknologian ja puutalouden pro gradu. Metsätieteellinen tiedekunta. Joensuun yliopisto. 63 s. + liitteet 3 s.
- , Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2002. Harvennuskoivu sahauskessa ja jatkojalostuksessa. Julkaisussa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.) Itä-Suomen puunlaatu ja –käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 855: 23–38.
- Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva- tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2001: 411–431.
- Louna, T & Valkonen, S. 1995. Kotimaisen koivuraaka-aineen asema lehtipuiden teollisessa käytössä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 553. 38 s.
- 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. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. *Tiedonantoja* 134: 41–57.

- Lönnberg, B. 1975. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 2. Wood and raw material. *Paperi ja Puu* 57(8): 507–516.
- Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 99 (3): 1–82.
- 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 133: 1–79.
- Mård, H. 1998. Short-term growth effects of whole-tree harvest in early thinnings of birch (*Betula* spp) and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 317–323.
- Niemistö, P. 1993. Rauduskoivun kasvat. Julkaisussa: Hannelius, S. (toim.) 1993. Uusia vaihtoehtoja metsänkasvatukseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 491: 13–18.
- 1997. Varttuneen hieskoivikon harventaminen ja kiertoaika Pohjois-Suomen turvemailla. Julkaisussa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Hieskoivun uudistamisvaihtoehdot ja alikasvosten hyödyntäminen. *Metsäntutkimuspäivät Muhoksella 1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 717: 5–16.
- 1998a. Ruskotäplät istutettujen rauduskoivujen rungoissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1998: 133–149.
- 1998b. Ruskotäplät pelto- ja metsämaan rauduskoivuissa. Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.). Rauduskoivu tänään ja tulevaisuudessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 668: 136–175.
- 1998c. Istutustiheyden ja rivivälin vaikutus rauduskoivun kasvuun ja ulkoiseen laatuun. Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.) *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 668: 17–36.
- , Hukki, P. & Verkasalo, E. 1997. Kasvupaikan ja puuston tiheyden vaikutus rauduskoivun ulkoiseen laatuun 30-vuotiaissa istutusköivöissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1997: 349–371.
- & Poutiainen, E. 1998. Ensiharvennus istutetussa rauduskoivikossa. Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.) *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 668: 47–59.
- Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2001a. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2028. Etelä-Savon

- metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2001: 389–406.
- & –. 2001b. Valtakunnan metsiesn 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2000–2029 Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2001: 577–594.
- Ollinmaa, P.J. 1955. Koivun vetopuun anatomisesta rakenteesta ja ominaisuuksista. *Acta Forestalia Fennica*. 64(3): 1–263.
- Paavilainen, L. 2003. Puukuitu paperinvalmistuksessa. Insko-seminaari, 25.–26.3.2003.
- Pakarinen, T. & Turunen, K. 1999. Puuhuonekalujen ja –huonekaluteollisuuden menestystekijät. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunta, Tiedonantoja 88. 65 s.
- Peltola, A. (toim.) 2002. Metsätilastollinen vuosikirja 2002. SVT. Maa-, metsä- ja kalatalous 2002: 45. Metsäntutkimuslaitos. 378 s.
- Piispanen, R & Saranpää, P. 2001. Rauduskoivun varastoravintoaineet ja puuaineksen värinmuutos kuivauksessa. Julkaisussa: Luostarinen, K., Mötönen, V., Asikainen, A., Pakkanen, T., Saranpää, P. & Tolonen, Y. (toim.). Koivun puuaineksen kemia ja värinmuutokset kuivauksessa. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 13: 7–21.
- Rantanen, A., Jalonen, O.-P. & Pitkänen, P.. 2000. Etelä-Savon lehtipuuvarejojen teknis-taloudellinen hyödyntäminen. Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. Julkaisuja 72. 47 s.
- Ranua, J. 1999. Haavan käyttö paperin raaka-aineena. Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.) Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metsätalouteen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 725: 101–106.
- Raulo, J., Lähde, E. & Rokkonen, J. 1998. Koivun uudistamis- ja kasvatuskokeita ja niiden tuloksia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 669. 61 s.
- Saramäki, J. 1993. Onko hieskoivulla paikkaa metsätaloudessa? Julkaisussa: Hannelius, S. (toim.) Uusia vaihtoehtoja metsänkasvatukseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 491: 19–23.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Kilpeläinen, H. & Salminen, O. (toim.) 1999. ME-LA Handbook 1999 Edition. The Finnish Forest Research Institute. 492 s.
- Tikka, S. & Saramäki, M. 2001. PUUPLAANI-hanke. Lepän, haavan, pihlajan ja muiden erikoispuiden hankinta tuotelähtöisesti terminaaliverkon

avulla Pohjois-Karjalassa. Loppuraportti. 23 s. + liitteet. Pohjois-Karjalan metsänomistajien liitto, Joensuu.

- Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 2001. Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat 1966–2000. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2001: 309–388.
- , Henttonen, H., Korhonen, K., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., & Tuomainen, T. 1999. Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. Metsätieteen aikakauskirja 2B/1999: 389–462.
- , Henttonen, H., Korhonen, K., Aarnio, A., Ahola, A., Ihalainen, A., Heikkinen, J., & Tuomainen, T. 1999. Keski-Suomen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. Metsätieteen aikakauskirja 2B/1999: 309–387.
- , Korhonen, K.T., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Heikkinen, J. 1999. Kymen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1966–1998. Metsätieteen aikakauskirja 3B/1999: 603–681.
- Valkonen, S. 2000. Kuusen taimikon kasvattamisen vaihtoehdot Etelä-Suomen kivennäismailla: Puhdas kuusen viljelytaimikko, vapautettu alikasvos ja kuusi-koivusekataimikko. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 763. 83 s. + liitteet.
- Verkasalo, E. 1993a. Koivu raaka-aineena. Julkaisussa: Hannelius, S. (toim.) Uusia vaihtoehtoja metsänkasvatukseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 491: 24–36.
- 1993b. Koivupuutavaran vikaantumisen pitkittyneessä metsävarastoinnissa ja sen vaikutus viilun saantoon, laatuun ja arvoon. Folia Forestalia 806. 31 s.
- 1997a. Hieskoivun laatu vaneripuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 632. 483 s. + liitteet 59 s.
- 1997b. Varttuneen hieskoivikon ulkoinen ja sisäinen laatu: käyttömahdollisuudet puutuoteteollisuudessa. Julkaisussa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Hieskoivun uudistamisvaihtoehdot ja alikasvosten hyödyntäminen. Metsäntutkimuspäivät Muhoksella 1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 717: 17–38.
- 1998. Koivu, haapa ja leppä mekaanisen puuteollisuuden raaka-aineena: käytön näkymiä ja tutkimuksen ongelmanasettelua. Metsätieteen aikakauskirja 2/1998: 254–257.

- 2002. Resources and utilisation of birch, aspen and alder. Julkaisussa: Hynynen, J. & Sanaslahti, A. (eds.) Management and utilization of broad-leaved tree species in Nordic and Baltic countries – Birch, aspen and alder. Proceedings of the Workshop held in Vantaa, Finland, May 16 to 18, 2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 847: 7–18.
 - & Paukkonen, K. 1999. Koivun ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet sahauksessa ja jatkojalostuksessa Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 751. 91 s.
 - & Rintala, P. 1998. Rauduskoivun pystykarsintavikojen riippuvuus oksien paksuudesta ja karsinnan vuodenajasta. Metsätieteen aikakauskirja 2/1998: 151–178.
- Vilkon Oy. 1998. Sahakoivun ja erikoiskoivutukin laatuvaatimukset, koivutukin lajittelu ja särmäämättömän koivusahatavaran laadut. Moniste. 4 s. Hirvensalmi.
- Ylioja, T. 2000. Relationship between *Phytobia betulae* and the host tree *Betula* spp. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 26 s. + liitteet.

Suulliset tiedonannot:

- Beauregard, Robert. 9.9.2002. Professori, Laval University, Quebec City, Kanada.
- Solla, Pekka. 5.3.2002. Toimitusjohtaja, Koivusaha Solla Oy. Ruokolahi.

Kehittämishankkeen ohjausryhmä:

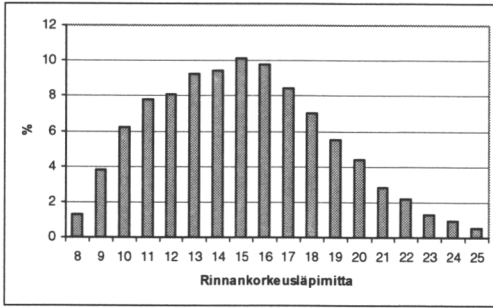
Markku Jalonen, Taso 2002 Oy, Juva
Jukka Kotro, Etelä-Savon TE-keskus, Mikkeli
Timo Kärki, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknologiakeskus Koivu, Imatra
Timo Leskinen, Etelä-Savon metsänomistajien liitto ry, Mikkeli
Erkki Nuutinen, Parlatuote Oy, Rantasalmi
Pekka Solla, Koivusaha Solla Oy, Ruokolahti
Rauno Suoniemi, Veisto Oy, Mäntyharju
Erkki Verkasalo, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus

Projektiryhmä Metlassa:

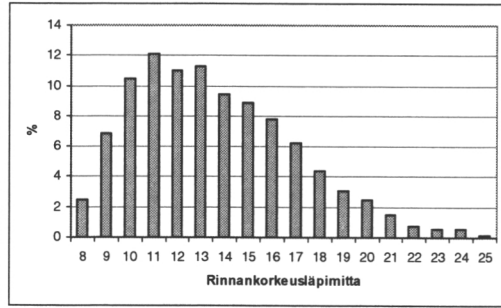
Erkki Verkasalo, professori, hankkeen vastuullinen vetäjä
Jari Lindblad, vanhempi tutkija, hankkeen päätutkija
Jani Lehtimäki, projektitutkija
Vesa Tammiruusu, projektitutkija
Henrik Heräjärvi, varttunut tutkija
Harri Kilpeläinen, tutkija
Juha Metros, metsätalousteknikko
Jukka Lehtimäki, metsätalousinsinööri
Veijo Salo, tutkimusmestari
Hannu Koivunen, metsätalousteknikko

LIITE 2

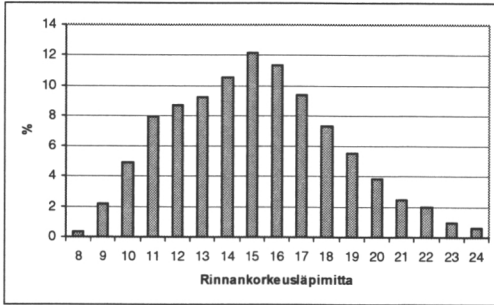
Rinnankorkeusläpimittajakaumat pystymittausaineistossa



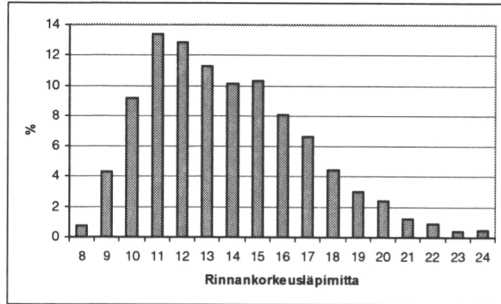
Rinnankorkeusläpimittajakauma pystymittausaineistossa kaikilla rungoilla.



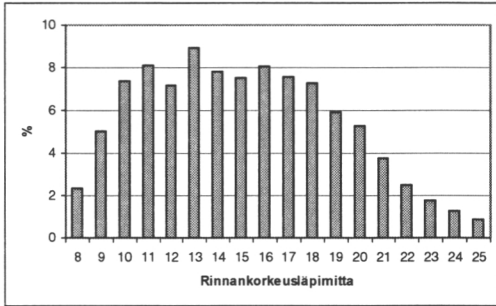
Rinnankorkeusläpimittajakauma harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla koko aineistossa.



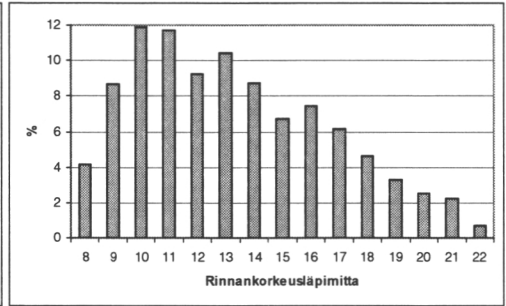
Rinnankorkeusläpimittajakauma istutusköivikoissa koko puustolla.



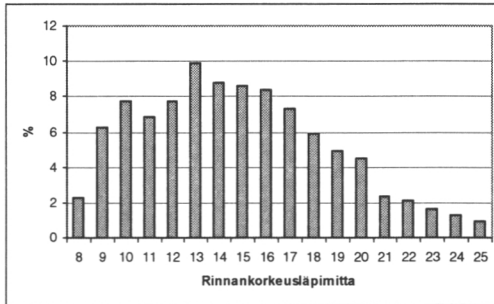
Rinnankorkeusläpimittajakauma istutusköivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



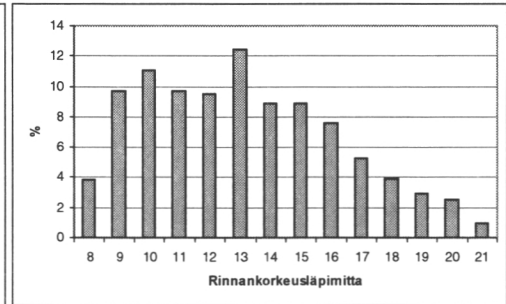
Rinnankorkeusläpimittajakauma luontaisissa koivikoissa koko puustolla.



Rinnankorkeusläpimittajakauma luontaisissa koivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



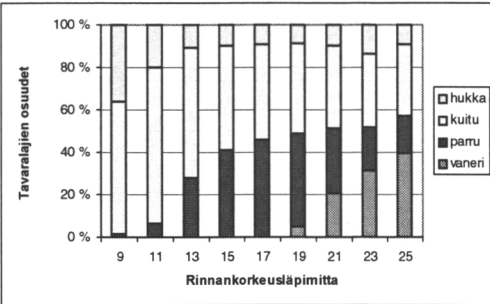
Rinnankorkeusläpimittajakauma sekametsiköiden koivurungoilla.



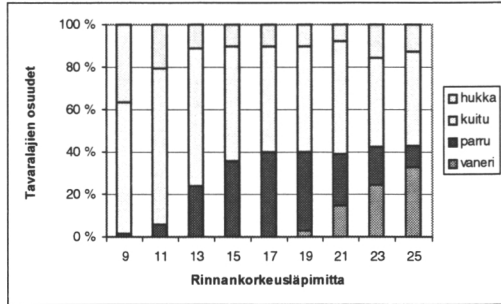
Rinnankorkeusläpimittajakauma sekametsiköissä harvennuksessa poistuviksi arvioituilla koivurungoilla.

LIITE 3

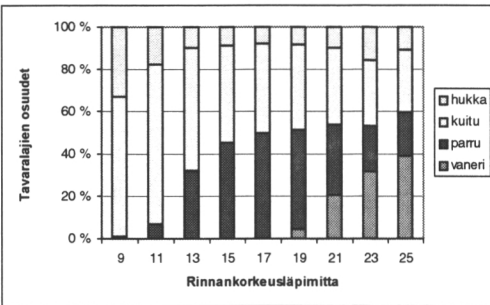
Pystymittausaineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko aineistolla ja molemmilla koivulajeilla. Osuudet määritetty vapailta tavaralajien pituuksilla. Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



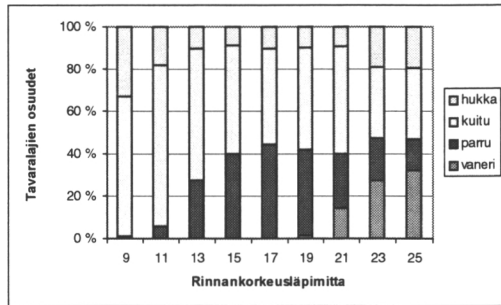
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko pystymittausaineistossa.



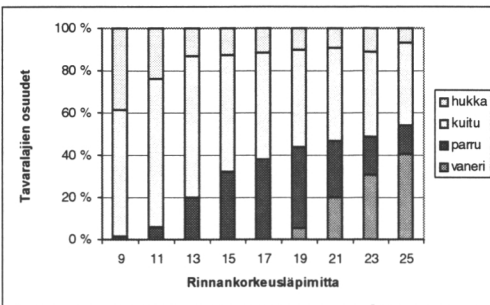
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



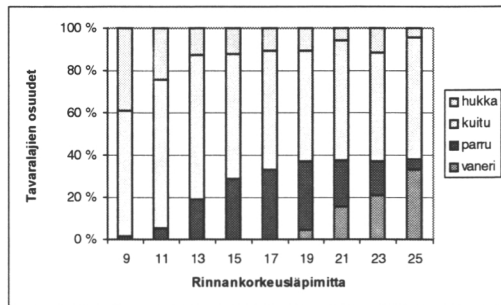
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla rauduskoivuilla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rauduskoivuilla.

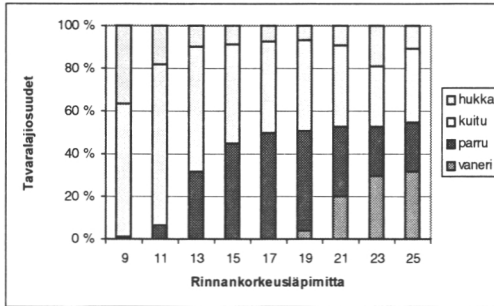


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla hieskoivuilla.

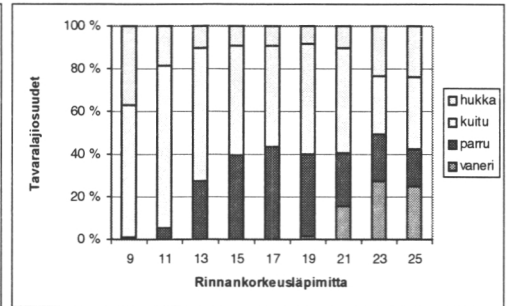


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla hieskoivuilla.

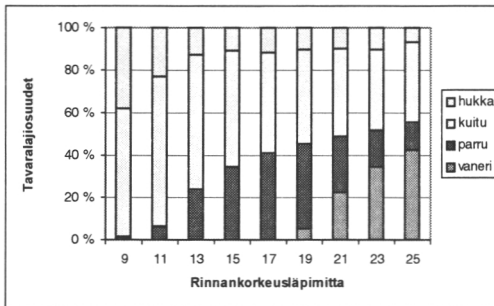
Pystymitta-aineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain eri metsikkötyypeillä. Osuudet määritetty vapailla tavaralajien pituuksilla. Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



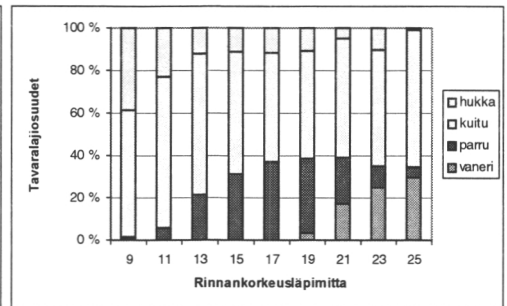
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa koko puustolla.



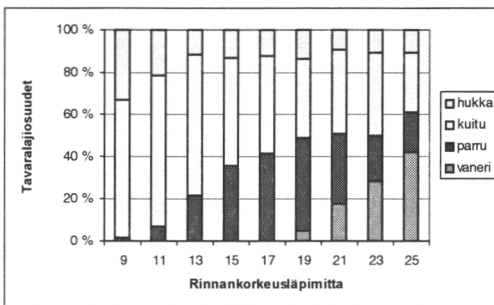
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



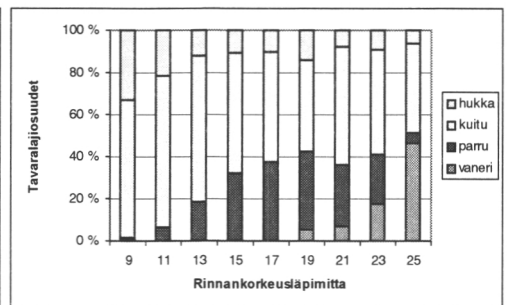
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain luontaisissa koivikoissa koko puustolla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain luontaisissa koivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



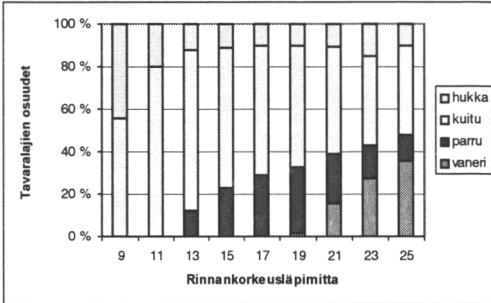
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain sekametsiköissä koko puustolla.



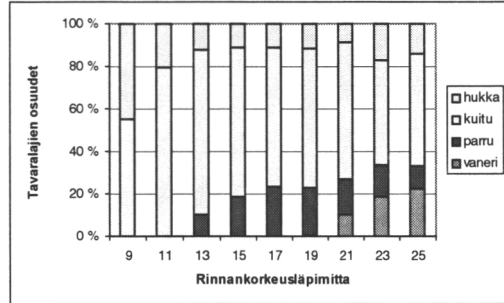
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain sekametsiköissä harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.

LIITE 5

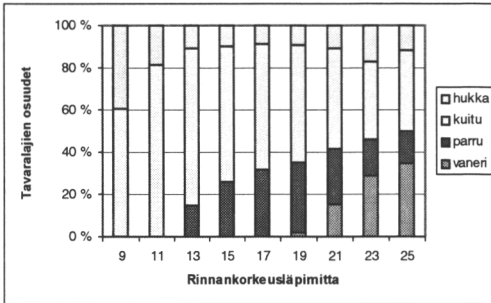
Pystymittausaineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko aineistossa ja molemmilla koivulajeilla, apteraus 1 (tukki 22 ja 33 dm, kuitupuu 27-33 dm). Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



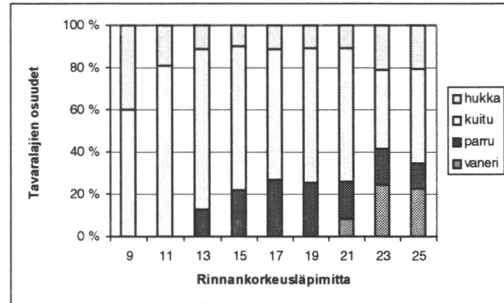
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko pystymittausaineistolla.



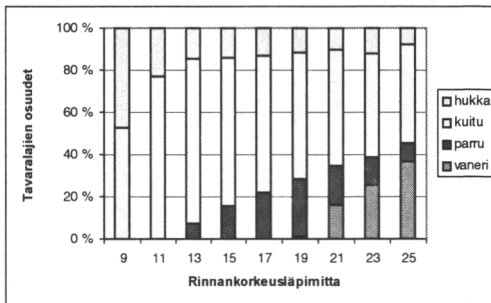
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



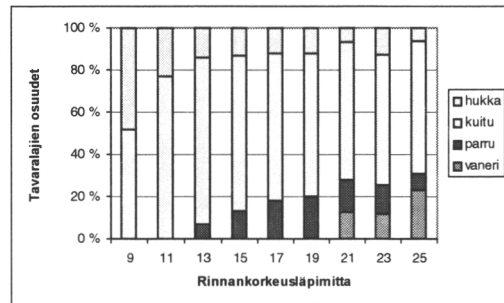
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla rauduskoivuilla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rauduskoivuilla.

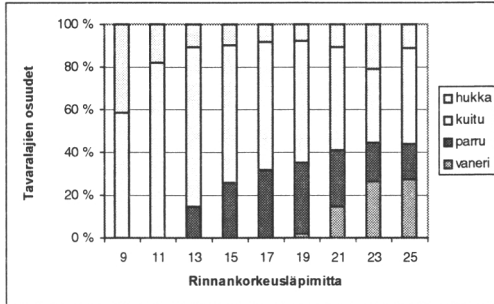


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla hieskoivuilla.

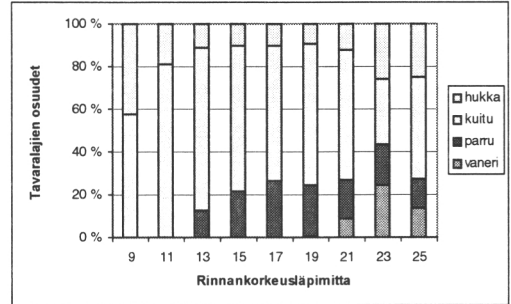


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla hieskoivuilla.

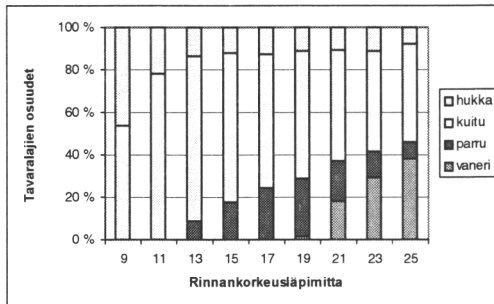
Pystymittausaineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain eri metsikkötyypeillä apteraus 1 (tukki 22 ja 33 dm, kuitupuu 27-33 dm). Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



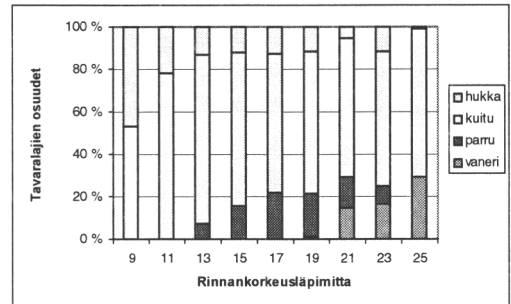
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa koko puustolla.



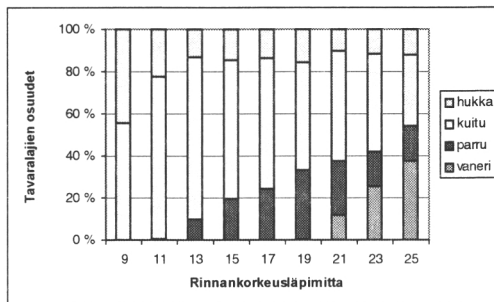
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla.



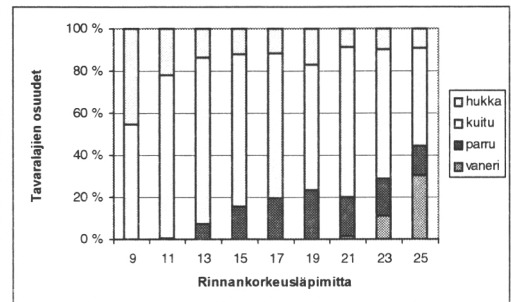
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain luontaisissa koivikoissa koko puustolla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain luontaisissa koivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla.

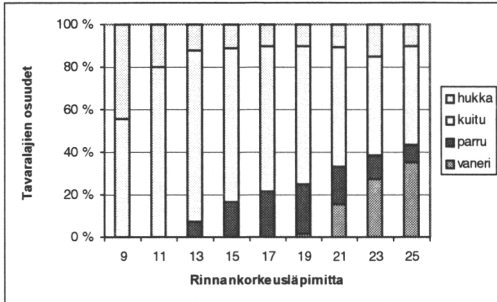


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain sekametsiköissä koko puustolla.

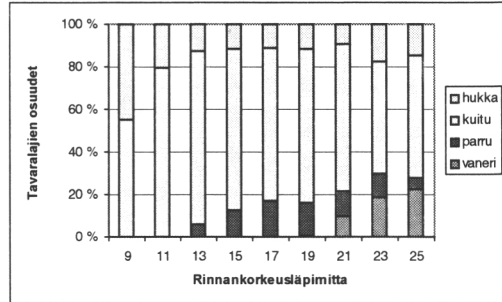


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain sekametsiköissä harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla.

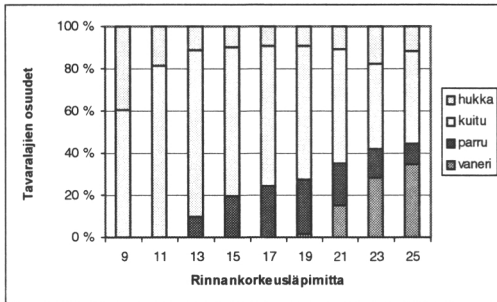
Pystymittausaineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko aineistolla ja molemmilla koivulajeilla, apteraus 2 (tukki 30 dm, kuitupuu 27-33 dm). Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



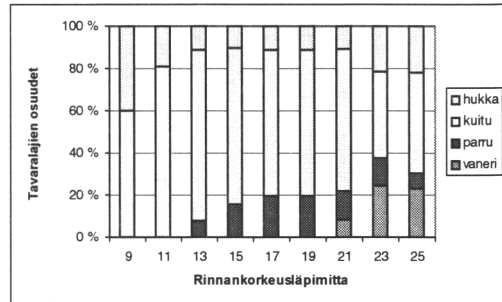
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko pystymittausaineistolla.



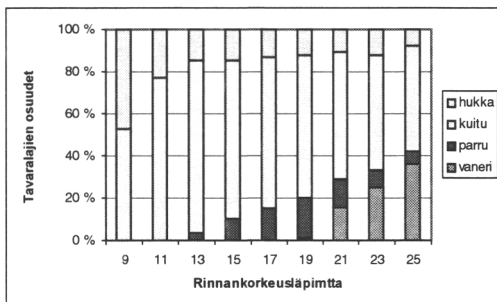
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



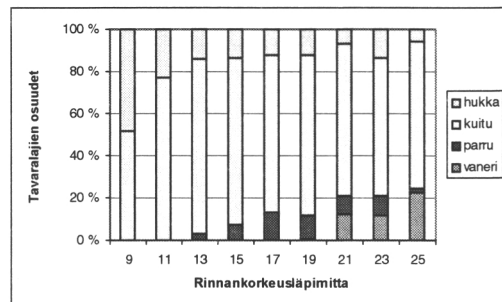
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla rauduskoivuilla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rauduskoivuilla.

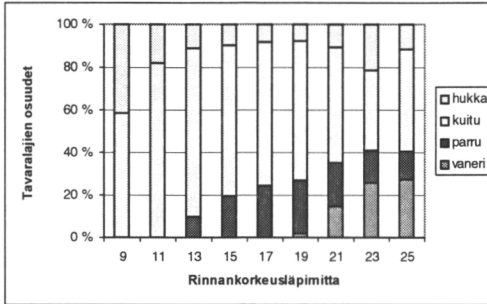


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla hieskoivuilla.

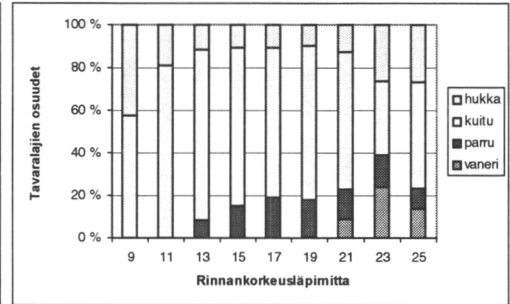


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla hieskoivuilla.

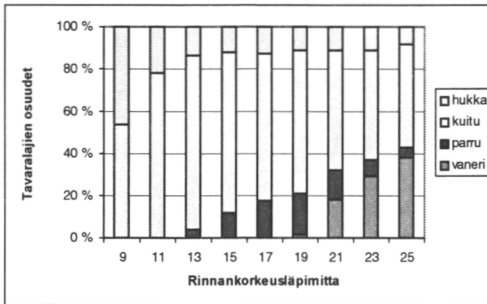
Pystymittausaineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain eri metsikkötyypeillä, apteraus 2 (tukki 30 dm, kuitupuu 27-33 dm). Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



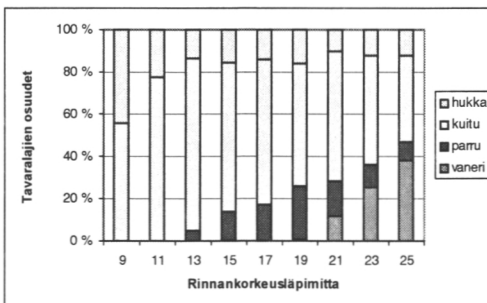
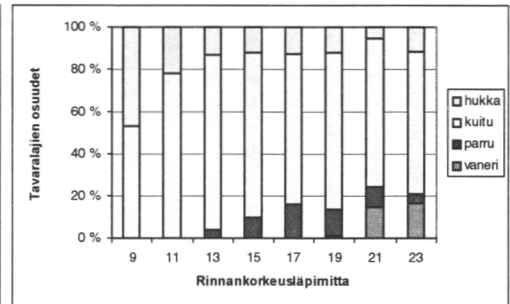
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa koko puustolla.



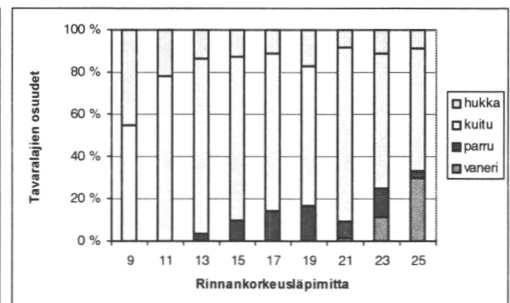
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain luontaisissa koivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla.

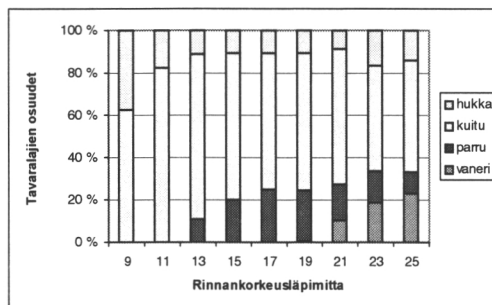
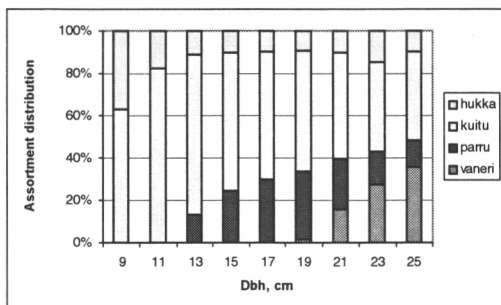


Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla.



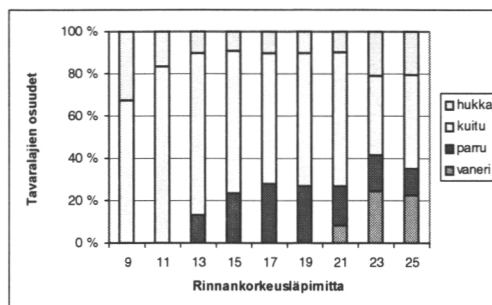
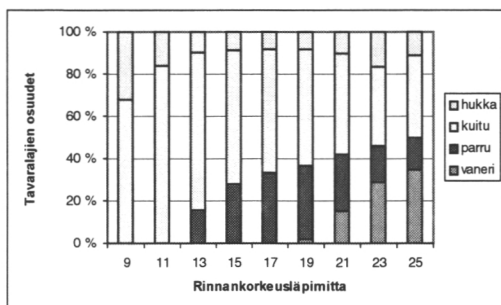
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain sekametsiköissä harvennuksessa poistuviksi arvioiduilla rungoilla.

Pystymittausaineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko aineistolla ja molemmilla koivulajeilla, apteraus 3 (tukki 22 ja 33 dm, kuitupuu 25-50 dm). Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



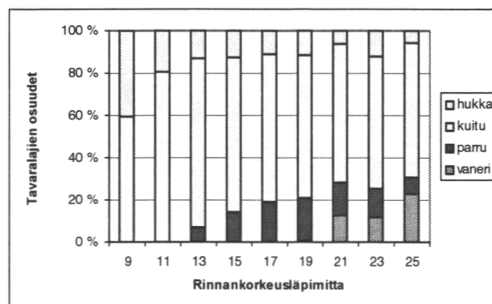
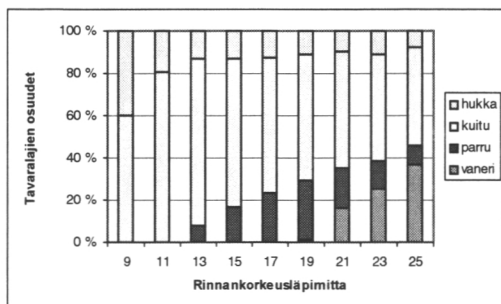
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain koko pystymittausaineistolla.

Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla rauduskoivuilla.

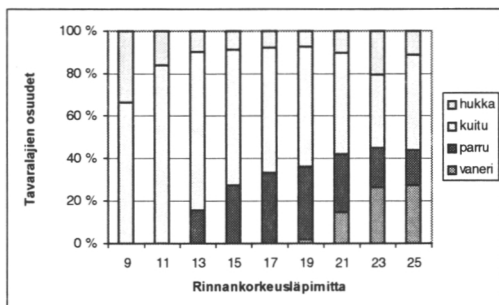
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rauduskoivuilla.



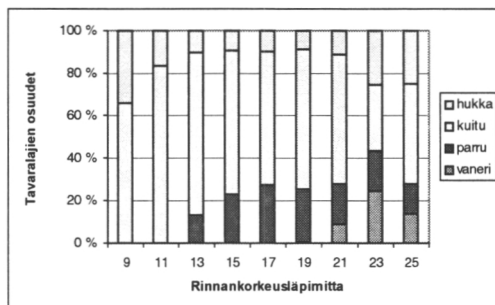
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain kaikilla hieskoivuilla.

Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain pystymittausaineiston harvennuksessa poistuviksi arvioituilla hieskoivuilla.

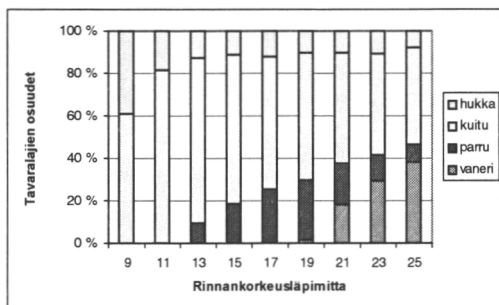
Pystymitta-aineiston tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain eri metsikkötyypeillä, apteraus 3 (tukki 22 ja 33 dm, kuitupuu 25-50 dm).Parru tarkoittaa tässä pikkutukkia.



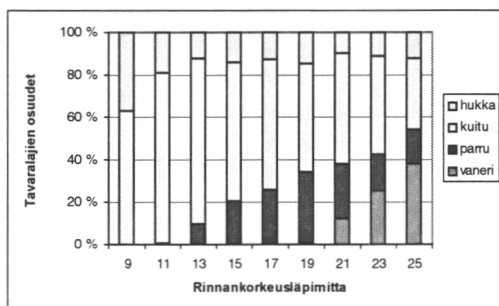
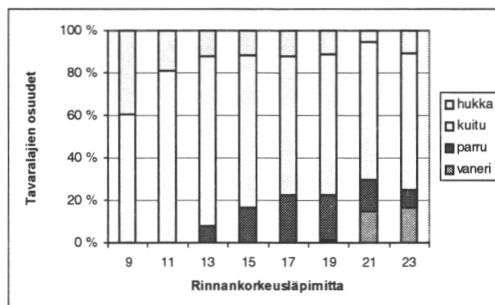
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa koko puustolla.



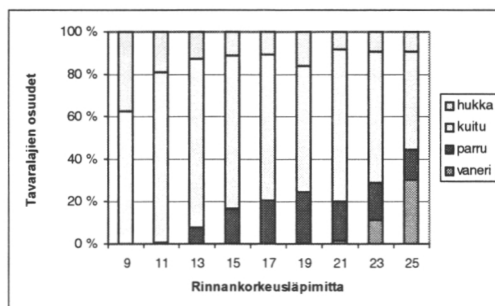
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain istutuskoivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain luontaisissa koivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain luontaisissa koivikoissa harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.



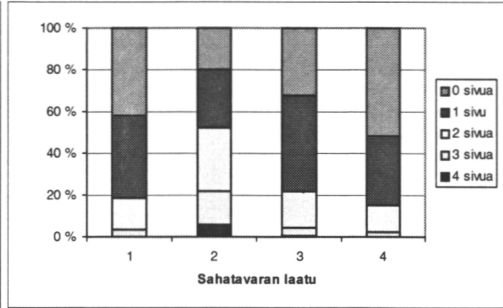
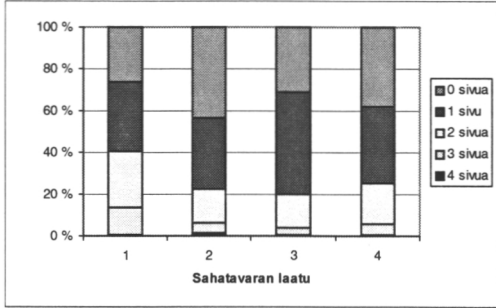
Tavaralajiosuudet rinnankorkeusläpimittaluokittain sekametsiköissä harvennuksessa poistuviksi arvioituilla rungoilla.

LIITE 6

Sahatavaran laatu erilaatuisissa tukinosissa, koko aineisto

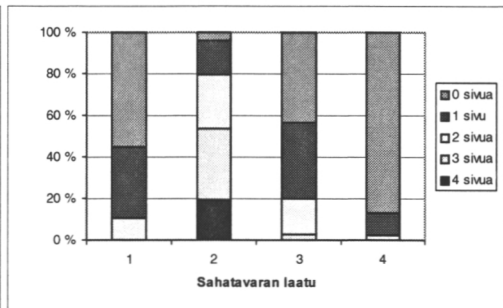
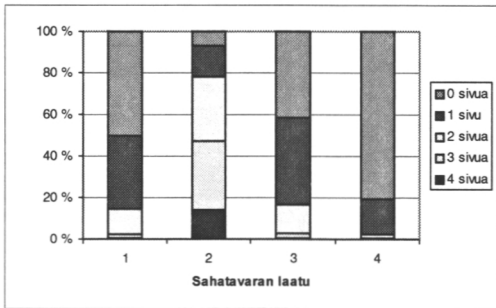
Sahatavaran laatuoluokat:

oksaton = 1, terveoksainen = 2, sekaoksainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3, mustaoksainen (kuolleita oksia) = 4



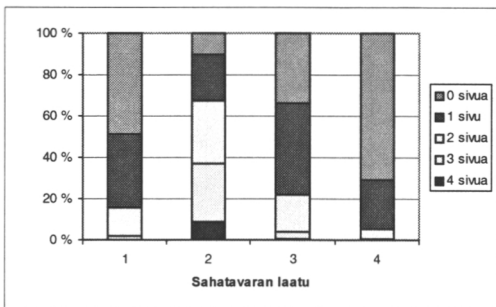
Oksattomat tukinosat

Oksakyhmyiset tukinosat



Terveoksaiset tukinosat

Sekaoksaiset tukinosat (eläviä ja kuolleita oksia)



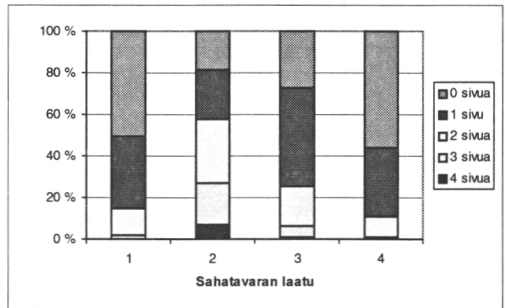
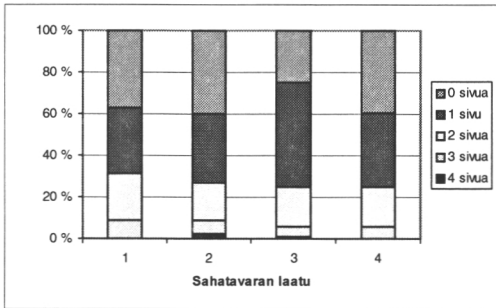
Mustaoksaiset tukinosat (kuolleita oksia)

Sahatavaran (25x75 mm, 52x75 mm) laatu erilaatuisissa tukinosissa

Sahatavaran laatu luokat:

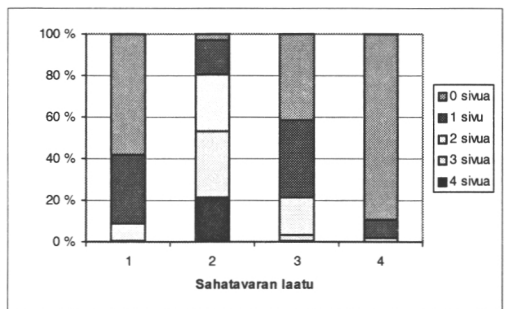
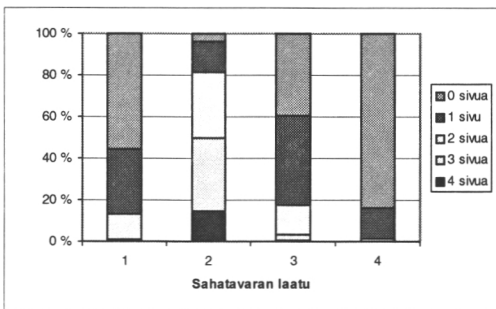
oksaton = 1, terveokksainen = 2, sekaokksainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3,

mustaokksainen (kuolleita oksia) = 4



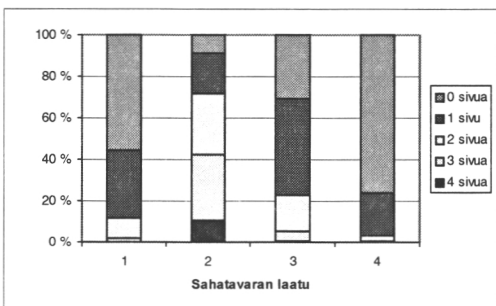
Oksattomat tukinosat

Oksakyhmyiset tukinosat



Terveokksaiset tukinosat

Sekaokksaiset tukinosat (eläviä ja kuolleita oksia)

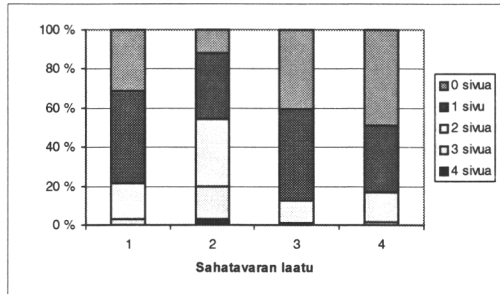
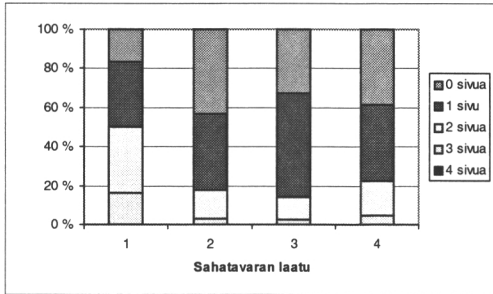


Mustaokksaiset tukinosat (kuolleita oksia)

Sahatavaran (38x100 mm) laatu erilaatuisissa tukinosissa (tukit alle 165 mm)

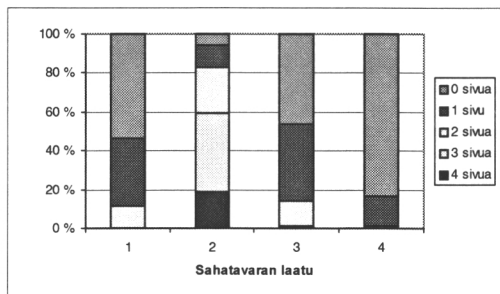
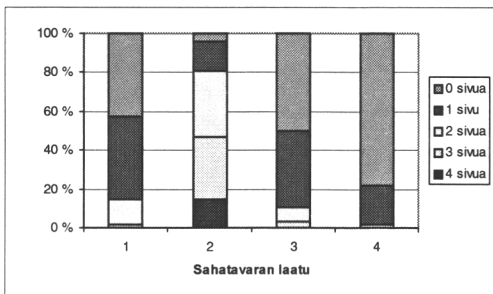
Sahatavaran laatuluokat:

oksaton = 1, terveksäinen = 2, sekaoksainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3, mustaoksainen (kuolleita oksia) = 4



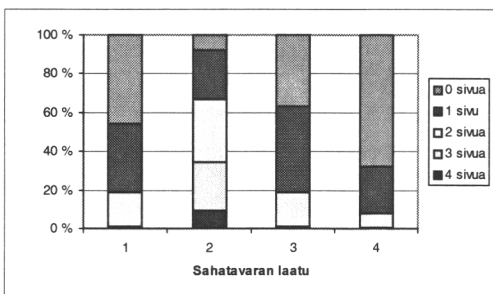
Oksattomat tukinosat

Oksakyhmyiset tukinosat



Terveksaiset tukinosat

Sekaoksaiset tukinosat (eläviä ja kuolleita oksia)



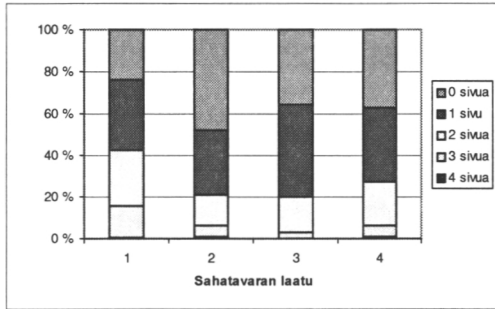
Mustaoksaiset tukinosat (kuolleita oksia)

Sahatavaran (38x100 mm) laatu erilaatuisissa tukinosissa (tukit yli 165 mm)

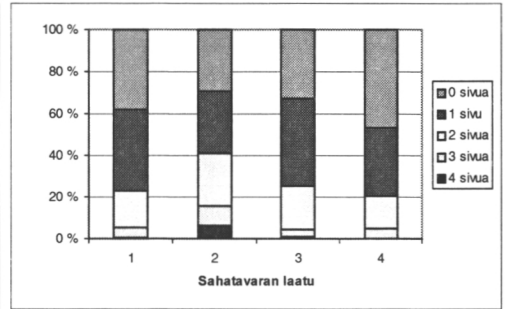
Sahatavaran laatuoluokat:

oksaton = 1, terveoksaainen = 2, sekaoksaainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3,

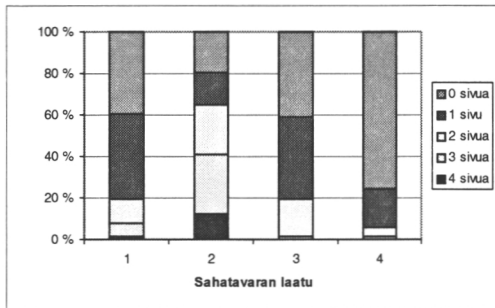
mustaoksaainen (kuolleita oksia) = 4



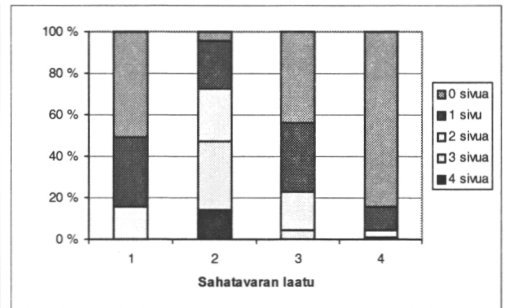
Oksattomat tukinosat



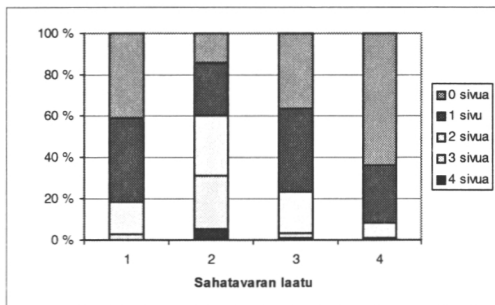
Oksakyhmyiset tukinosat



Terveoksaaiset tukinosat



Sekaoksaaiset tukinosat (eläviä ja kuolleita oksia)



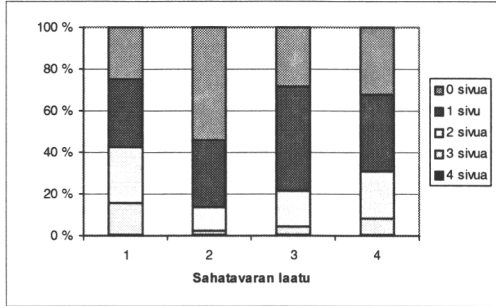
Mustaoksaaiset tukinosat (kuolleita oksia)

Sahatavaran laatu erilaatuisissa tukinosissa (korkeus rungossa 0-30 dm)

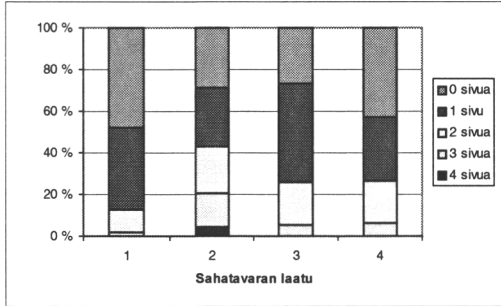
Sahatavaran laatuluokat:

oksaton = 1, terveoksainen = 2, sekaoksainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3,

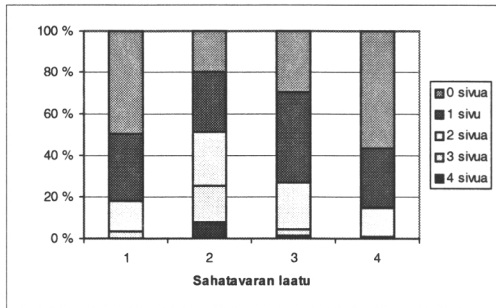
mustaoksainen (kuolleita oksia) = 4



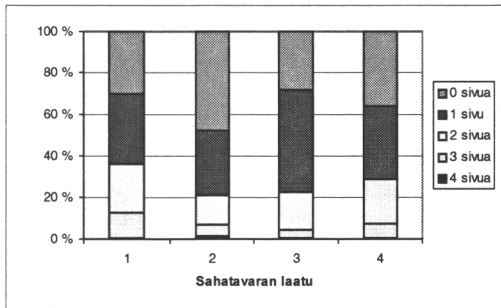
Oksattomat tukinosat



Oksakyhmyiset tukinosat



Mustaoksaiset tukinosat (kuolleita oksia)



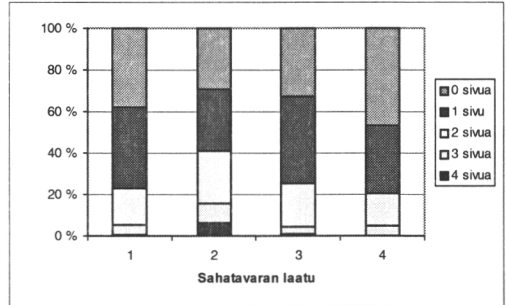
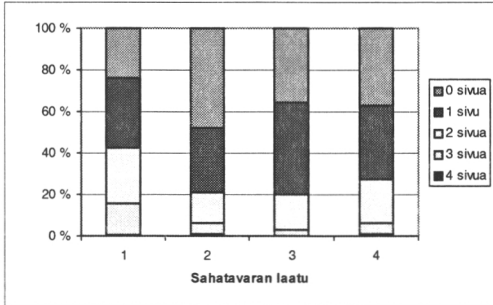
Kaikki tukinosat

Sahatavaran laatu erilaatuisissa tukinosissa (korkeus rungossa 30-60 dm)

Sahatavaran laatuluokat:

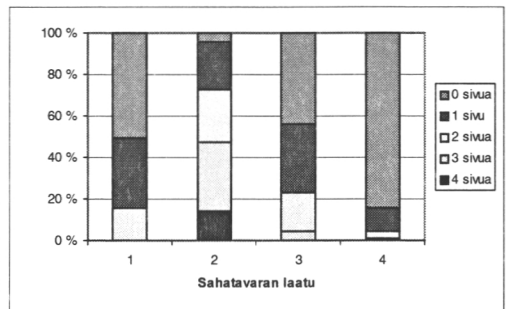
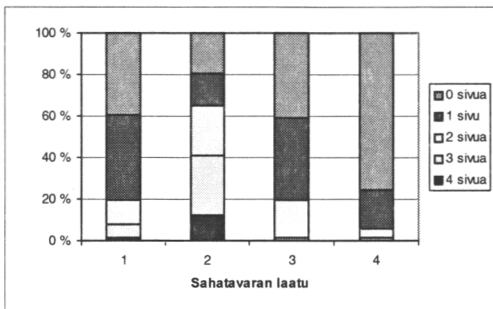
oksaton = 1, terveksäinen = 2, sekaoksainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3,

mustaoksainen (kuolleita oksia) = 4



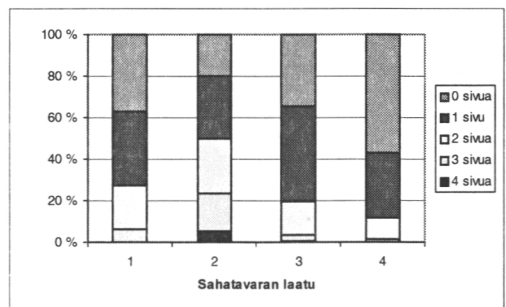
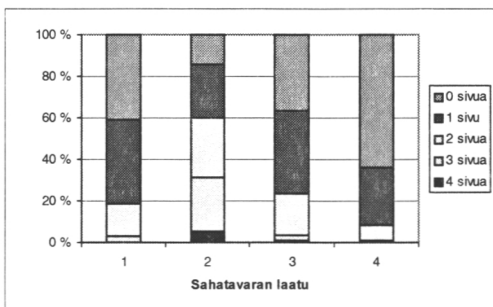
Oksattomat tukinosat

Oksakyhmyiset tukinosat



Terveksaiset tukinosat

Sekaoksaiset tukinosat (eläviä ja kuolleita oksia)



Mustaoksaiset tukinosat (kuolleita oksia)

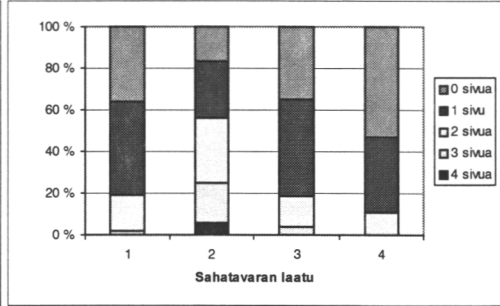
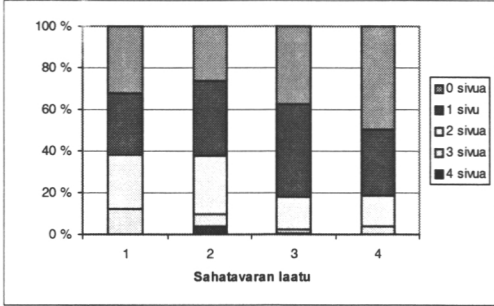
Kaikki tukinosat

Sahatavaran laatu erilaatuisissa tukinosissa (korkeus rungossa 60-90 dm)

Sahatavaran laatuluokat:

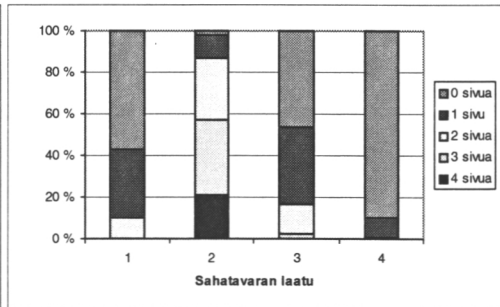
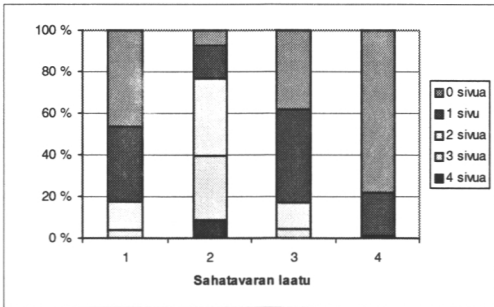
oksaton = 1, terveoksainen = 2, sekaoksainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3,

mustaoksainen (kuolleita oksia) = 4



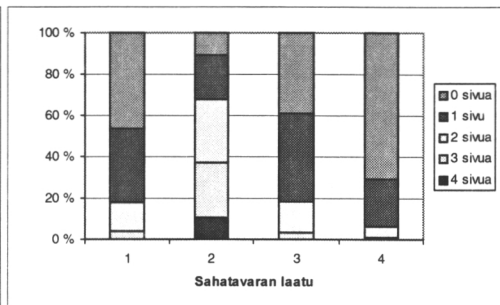
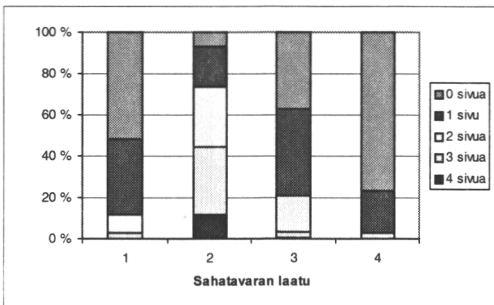
Oksattomat tukinosat

Oksakyhmyiset tukinosat



Terveoksaiset tukinosat

Sekaoksaiset tukinosat (eläviä ja kuolleita oksia)



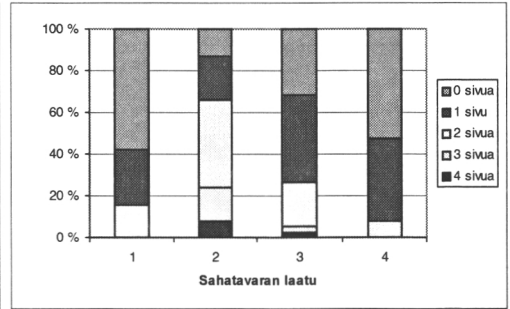
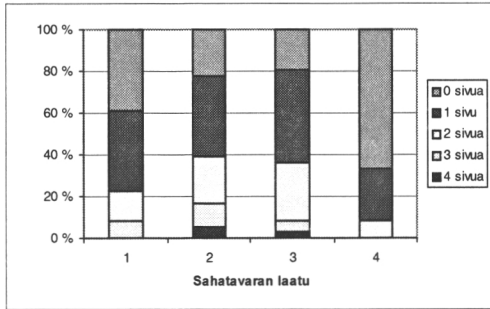
Mustaoksaiset tukinosat (kuolleita oksia)

Kaikki tukinosat

Sahatavaran laatu erilaatuisissa tukinosissa (korkeus rungossa yli 90 dm)

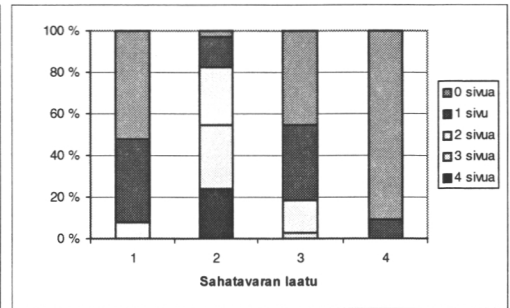
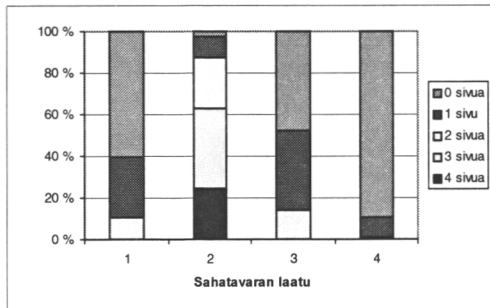
Sahatavaran laatuoluokat:

oksaton = 1, terveksainen = 2, sekaoksainen (eläviä ja kuolleita oksia) = 3, mustaoksainen (kuolleita oksia) = 4



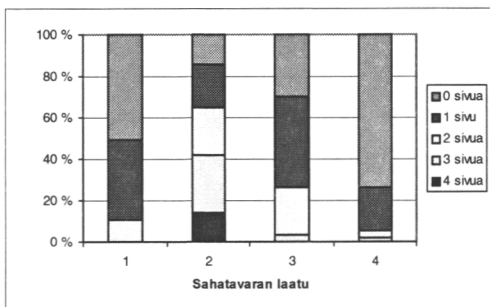
Oksattomat tukinosat

Oksakyhmyiset tukinosat



Terveksaiset tukinosat

Sekaoksaiset tukinosat (eläviä ja kuolleita oksia)



Mustaoksaiset tukinosat (kuolleita oksia)

Etukannen kuvat:

Pääkuva

Oikein ajoitettu harvennus on ensiarvoisen tärkeää koivikon laadun ja kasvun kannalta. Kuvassa metsikkö Rautalahden koivukoetilalla Keski-Suomessa.

Kuva: Erkki Oksanen

Ylh. vas.

Harvennuksista saatavalla koivulla on monia vaihtoehtoisia käyttömahdollisuuksia. Kuvassa hyvälaatuista välitukkia sahaukseen

Kuva: Henrik Heräjärvi

Alh. oik.

Teräsvantein niputettua, täyssärmäistä sahatavaraa harvennuskoivusta.

Kuva: Jari Lindblad

ISBN 951-40-1889-3

ISSN 0358-4283