



Hanna Kaurala



Henrik Heräjärvi



Erkki Verkasalo

Hanna Kaurala, Henrik Heräjärvi ja Erkki Verkasalo

Sahakoivun laatu puhtaissa koivikoissa ja kuusi–koivusekametsiköissä

Kaurala, H., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2004. Sahakoivun laatu puhtaissa koivikoissa ja kuusi–koivusekametsiköissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2004: 129–143.

Tutkimuksen tavoitteena oli verrata puhtaissa hies- ja rauduskoivikoissa ja kuusi–koivusekametsiköissä kasvaneiden koivurunkojen teknistä laatua viljavilla kivennäismailla. Laatua kuvaavat muuttujat valittiin metsikkö-, runko-, rungonosa- ja sahatavarakappaletasoilta. Metsikkötyyppien erojen lisäksi tutkittiin puuston tiheyden ja koon vaikutusta koivun laatuun. Kuusivaltaisten seka-metsiköiden hieskoivut olivat vähäoksisempia kuin puhtaiden koivikoiden hieskoivut. Rauduskoivuissa erot olivat pienempiä. Hieskoivujen runkotilavuus (414–421 dm³) oli selvästi pienempi kuin rauduskoivujen (462–645 dm³), mutta muut tutkitut ominaisuudet eivät eronneet toisistaan merkitsevästi koivulajien välillä. Rungon pikkutukkiosan (läpimitta 12–18 cm) pituus vaihteli eri metsikkötyypeissä välillä 4,6–7,0 metriä, tilavuus 72–114 dm³ ja osuus rungon tilavuudesta 15,6–24,8%. Pikkutukkiosassa oli tyypillisesti sekaisin terveitä, kuivia ja lahoja oksia, mutta kuivat ja lahot oksat olivat pienempiä kuin tukkiosassa. Koska tutkimus kohdistui päätehakkuikäisiin metsiköihin, pikkutukit olivat peräisin koivujen latvaosista ja poikkesivat siten oksikkusrakenteeltaan pieniläpimittaisista koivuista ja harvennusleimikoista saatavista pikkutukeista. Rungon ulkoisesti oksattomassa osassa noin puolet sahepinnan pituudesta oli oksatonta myös 50 mm:n etäisyydellä ytimestä, loppu jakaantui lähes tasan kuivaoksisen ja kuivia sekä terveitä oksia sisältäneen sahepinnan kesken.

Asiasanat: hieskoivu, koivusahatavara, koivutukki, rauduskoivu, sahaus, sekapuusto, tekninen laatu, vaneri

Yhteystiedot: Metla, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu

Sähköposti: henrik.herajarvi@metla.fi

Hyväksytty 13.2.2004

I Johdanto

Rauduskoivusekoitus lisää metsikön kokonaiskiertoajan tuotosta puhtaaseen havumetsikköön ja erityisesti kuusikkoon verrattuna (Mielikäinen 1980, 1985, Raulo 1981, Hägg 1988). Koivu järeyytyy toisten puulajien kilpailun takia kuusisekametsikössä hitaammin ja säilyttää kasvukykynsä kauemmin kuin puhtaassa koivikossa (Mielikäinen 1985). Rauduskoivut kasvavat myös mustikatyyppin viljavuustason mäntysekametsiköissä (koivun osuus 30%) paremmin kuin puhtaissa koivikoissa (Mielikäinen 1980). Lievä rauduskoivusekoitus lisää sekä kiertoajan kokonaiskasvua että tukkipuun tuotosta. Hieskoivusekoitus aiheuttaa kasvutappioita puhtaaseen kuusikkoon verrattuna (Mielikäinen 1985), mutta joskus se on ainoa vaihtoehto vajaapuustaisen kuusikon täydentäjäksi.

Lehtomainen kangas sopii kivennäismaista parhaiten vähäoksaisen ja korkealaatuisen rauduskoivun kasvatukseen. Lajittunut hietamaa sekä hiekka- ja hietamoreeni ovat oksaisuuslaadun kannalta rauduskoivun parhaita kasvupaikkoja, mutta niillä esiintyy usein tyvimutkia ja lenkoutta (Niemi ym. 1997). Verkasalon (1997) mukaan hieskoivun vaneripuuksi kasvatukseen soveltuvat parhaiten tuoret ja lehtomaiset kankaat. Vaneripuun kertymä voi olla huomattava myös osassa ruohoisten turvemaiden ja kuivahkojen kankaiden hieskoivumetsiköitä (Verkasalo 1997, Heräjärvi 2001).

Puun käyttökelpoisuutta heikentävät viat voidaan jaotella runko- eli ulkovioiksi, joita havaitaan koko rungossa tai sen osassa, ja puuaineessa esiintyviksi sisävioiksi. Ulkoista laatua voidaan kuvata järeyyden, oksaisuuden ja rungon suoruteen liittyvillä jatkuvilla muuttujilla tai esimerkiksi teknisen laadun luokittelulla. Tässä tutkimuksessa teknisellä laadulla tarkoitetaan tärkeimpiä puusta saatavien tuotteiden saantoon, laatuun ja arvoon vaikuttavia tekijöitä, kuten järeyttä, oksikkuutta tai mutkaisuutta.

Runkojen sahapuulaatu muodostuu järeiden, oksikkuuden, rungon muodon sekä laho- ja pintavikojen yhteisvaikutuksesta (esim. Luostarinen ja Verkasalo 2000, Heräjärvi 2001). Sahatavaran laatuun vaikuttavat ulkonäkötekijät sekä fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet, joiden keskinäinen tärkeysjärjestys määräytyy tuotteen käyttökohteen

mukaan.

Koivutukkia sahataan Suomessa noin 150 000–200 000 m³ vuodessa huonekalujen, julkiskalusteiden, parkettien, liimalevyjen ja sisustuspaneelien valmistukseen. Koivun laatua heikentävät runkojen ja tukkien pieni koko sekä mutkaisuus, lenkous ja epäpyöreys. Puutuoteteollisuuden kannalta ongelmallisia ovat myös oksaisuus sekä laho- ja värivikojen yleisyys. Koivua käyttävän huonekaluteollisuuden merkittävimmät raaka-aineongelmat ovatkin riittävän korkealaatuisen sahatavaran saatavuus ja puutavaran kuivaus (mm. Kataikko 1996, Kivistö ym. 1999).

Suomessa valtaosa järeästä koivusahatuksesta kasvaa nykyisin sekametsiköissä, mutta tulevaisuudessa yhä suurempi osuus tukeista hankitaan puhtaista viljellyistä tai luontaisesti syntyneistä koivikoista. Tämän vuoksi on syytä tutkia koivujen laatueroja puhtaissa koivikoissa ja sekametsiköissä. Tässä artikkelissa esitetään tuloksia tutkimuksesta, jossa määritettiin koepuuaineistojen avulla päätehakkui-ikäisten koivujen ominaisuuksia ja niiden vaihtelua luontaisesti syntyneissä puhtaissa koivikoissa ja kuusi–koivusekametsiköissä viljavilla kivennäismailla Etelä- ja Keski-Suomessa. Tutkimus perustuu Metsäntutkimuslaitoksen toimeksiannosta tehtyyn opinnäytetyöhön (Kaurala 2000). Tutkimuksen tavoitteina oli määrittää:

- 1) raudus- ja hieskoivurunkojen koon, runkomuodon, oksikkuuden ja sahapuulaadun erot sekametsiköissä ja puhtaissa koivikoissa,
- 2) hies- ja rauduskoivujen erot em. muuttujien osalta,
- 3) puuston tiheyttä ja kokoa kuvaavien taustatekijöiden (runkoluku, pohjapinta-ala, keskiläpimitta) vaikutus puhtaiden koivikoiden ja sekametsiköiden sekä koivulajien välisiin eroihin,
- 4) kohdassa 1 mainittujen muuttujien vaihtelua koivurunkojen tukki- (läpimitta yli 18 cm) ja pikkutukki-osalla (läpimitta 12–18 cm).

Tutkimusongelmaa lähestyttiin mittaamalla esimerkkimetsiköistä valituista koepuista ne ominaisuudet joista oltiin kiinnostuneita, sahaamalla rungot tukeiksi ja läpisaheiksi, ja mittaamalla saheista niiden laatua kuvaavat tunnuksat. Ominaisuuksien eroja koivulajien, puhtaiden koivikoiden ja kuusi–koivusekametsiköiden sekä eri rungonosien välillä tutkittiin tilastollisten testien avulla.

2 Aineisto ja menetelmät

Aineisto sisälsi tyyppitapauksia erilaisista pääte-hakkuuikäisistä koivumetsiköistä. Koemetsiköistä kaksi oli puhtaita rauduskoivikoita (osite 1), kaksi puhtaita hieskoivikoita (osite 2), kaksi kuusi–rauduskoivusekametsiköitä (osite 3) ja kaksi kuusi–hieskoivusekametsiköitä (osite 4). Metsiköt olivat viljavuudeltaan lehtomaisia kankaita (OMT) tai tuoreita kankaita (MT), luontaisesti syntyneitä ja uudistuskypsiä eli vähintään 60-vuotiaita. Koemetsiköt valittiin maastokäyntien perusteella, ja niiltä edellytettiin talousmetsälle tyyppillistä metsänhoidollista tilaa (harvennukset tehty yleisten ohjeiden mukaisesti, ei yli-ikäisiä), vähintään 0,5 hehtaarin pinta-alaa sekä sekametsäkohteissa puuston yksijaksoisuutta. Metsiköt sijaitsivat Etelä-, Keski- ja Itä-Suomessa Metsäntutkimuslaitoksen ja yksityisten metsänomistajien mailla.

Kuhunkin puhtaaseen koivumetsikköön sijoitettiin viisi suorakaidekoealaa. Reunavaikutuksen välttämiseksi koealat olivat vähintään puuston valtapituuden etäisyydellä toisistaan ja kuvion reunasta. Koealan koko määräytyi puuston tiheyden mukaan. Jokaisella koealalla oli oltava vähintään 30 rinnankorkeudelta yli 8 cm:n paksuista koivua. Käytännössä koealat olivat kooltaan joko 20×30 tai 30×40 metriä. Koealan metsätyyppi määritettiin pintakasvillisuuden perusteella Cajanderin luokituksen mukaisesti (esim. Kuusipalo 1996).

Puuston pohjapinta-ala määritettiin relaskooppi-mittauksin, keskiläpimitta ja keskipituus mitattiin puulajeittain pohjapinta-alamediaanipuusta. Puulajin keski-ikä arvioitiin silmämääräisesti; kaatokoepuista mitattiin laboratoriotyönä myös vuosirenkaiden lukumäärä. Koealan puiden runkoluku laskettiin puulajeittain. Taulukossa 1 on esitetty keskimääräisiä puustotunnuksia ositteittain.

Puhtaista koivikoista kultakin koealalta mitattiin runkolukusarja, johon luettiin kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 14 cm:n koivut. Läpimitan mukaan järjestetty runkolukusarja jaettiin kolmeen yhtä suureen osaan, joista kustakin arvottiin yksi puu koepuiksi. Menettelyllä pyrittiin saamaan edustava näyte kaikista kokonsa puolesta sahauskelpoisista koivuista. Sekametsiköistä koepuiksi arvottiin vastaavalla tavalla mutta koko kuvion alu-

eelta mitatusta runkolukusarjasta yksittäisiä koivuja, joiden saman latvuserroksen naapuripuista vähintään kaksi lähintä oli kuusia. Näin koepuiksi saatiin koivuja, jotka olivat kasvaneet sekapuuvaikutuksen alaisina.

Ennen kaatoa koepuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja tyven lenkous. Lenkous määritettiin suoran mittakepin suurimpana sivuviivapoikkeamana neljän metrin tyviosalta juurenniskasta lähtien rungon lengoimmalta puolelta. Koepuista arvioitiin silmävaraisesti muoto-, pinta- ja lahoviat, niiden todennäköisin syy ja vian esiintymiskorkeus. Lisäksi mitattiin kolme oksarajaa:

- Kuivaoksaraja; alimman yli 5 mm paksun kuivan tai lahon oksan korkeus.
- Terveoksaraja; alimman yli 5 mm paksun elävän oksan korkeus.
- Elävän latvuksen raja; yhtenäisen elävän latvuksen alkamiskohta (elävän oksan yläpuolella enintään yksi kuollut oksa ennen seuraavaa elävää oksaa).

Jos alimman elävän oksan yläpuolella oli korkeintaan kaksi yli 5 mm:n läpimittaista kuivaa tai lahoa oksaa, terveoksaraja tulkittiin myös elävän latvuksen rajaksi.

Koepuut kaadettiin ja niistä mitattiin pituus ja 24, 20, 18, 14, 12, 10 ja 7 cm:n läpimittoja vastaavat korkeudet koko rungon ja puutavaralaatuja vastaavien rungon osien tilavuuksien määrittämiseksi. Läpimitaltaan vähintään 24 cm olevasta rungon osasta on käytettyjen laatuvaatimusten (taulukko 2) mukaan mahdollista tehdä E-laatuluoan tukki, 20 cm käytetään joskus sahatukin vähimmäisläpimittana, 18 cm on normaali saha- ja vaneritukin vähimmäisläpimitta, 14, 12 ja 10 cm ovat pikkutukin mahdollisia vähimmäisläpimittoja ja 7 cm on yleinen koivukuitupuun vähimmäisläpimitta.

Tämän jälkeen rungot karsittiin pinnanmyötäisesti ja niistä määritettiin silmävaraisesti teoreettiset optimikatkaisukohtat sahatukeiksi käyttäen laatu-luokkia E, A, B ja C (taulukko 2). Koska tutkittiin koivun käyttöä sahapuuna ja edelleen esimerkiksi huonekaluteollisuudessa, jossa käyttökelpoiset kappaleet voivat olla lyhyitä, apteerauksessa ei käytetty kaupallisia tukkipituuksia vaan tukkilaatujen vähimmäismittana oli 0,5 m ilman muita pituusvaatimuksia. Käytännössä rungot katkottiin apteerauksesta välittämättä kahden tai neljän metrin pölkkyiksi.

Taulukko 1. Eräiden metsikkömuuttujien koealamittausten perusteella lasketut keskiarvot ositteittain. Pituus ja rinnankorkeusläpimitta ovat koealan mediaanipuiden keskiarvoja.

	Hieskoivu	Kuusi–hieskoivu		Rauduskoivu	Kuusi–rauduskoivu	
Ainespuita, kpl/ha	341	450		570	506	
Kokonaisppa, m ² /ha	18,5	24,8		31,7	30,6	
		Koivu	Kuusi		Koivu	Kuusi
Osuus ppa:sta, %	92	31	65	96	41	52
Keski-ikä, a	73	79	78	79	86	78
Pituus, m	21,6	24,9	25,1	25,7	24,9	22,5
d _{1,3} , cm	25,8	24,1	26,6	23,1	27,4	31,2

Pareittain rinnankorkeusläpimitan mukaan peräkkäisistä puista toinen katkottiin neljän ja toinen kahden metrin pölkyiksi.

Pölkystä laskettiin vähintään 5 mm paksut kuivat, lahot ja terveet oksat sekä pysty- ja vesaokset (leposilmuista rungon pintaan syntyneet oksat) ja mitattiin kunkin oksatyypin paksuimpien oksien läpimitat. Oksat luokiteltiin niiden laadun perusteella:

- Kuiva oksa; oksan kehästä vähintään puolet on irti ympäröivästä puuaineesta.
- Laho oksa; oksan puuaine tummassa osassa on pehmeää ja lahoista.
- Terve oksa; oksan kehästä yli puolet on kiinni ympäröivässä puuaineessa.

Rungon oksikkuusvyöhykkeet määritettiin pinnanmyötäisesti karsittujen oksien perusteella:

- Oksaton osa kaatoleikkauksesta alimpaan oksakymmyyn tai oksaan.
- Mustaoksainen osa alimmasta kuolleesta oksasta alimpaan terveeseen oksaan.
- Sekaoksainen osa alimmasta terveestä oksasta ylimpään kuolleeseen oksaan.

Loppuosa rungosta kirjattiin terveoksaiseksi. Musta- ja terveoksaisten vyöhykkeiden pituuksia määritettäessä yksittäisiä, yli metrin etäisyydellä muista samanlaatuisista oksista olleita oksia ei otettu huomioon. Muoto-, pinta- ja lahovioista kirjattiin niiden laji ja korkeus ja lahoista lisäksi niiden todennäköisin aiheuttaja. Latvaläpimitaltaan yli 12 cm:n pölkkyt kuljetettiin sahattaviksi.

Pölkkyt sahattiin sydänkeskeisenä läpisahauksena. Jotta rungoille voitiin saheiden perusteella muo-

dostaa systemaattinen sisärakenne, kaikki samasta rungosta saadut pölkkyt sahattiin samassa suunnassa, tyvipölkyn muodon perusteella arvioidun optimisahaussuunnan mukaan. Pölkkyt sahattiin tuorepaksuudeltaan 25 mm:n läpisaheiksi. Saheisiin merkittiin pölkyn tunnistenumero ja puoli (vasen tai oikea tukin latvasta sahaussuuntanuoli ylöspäin katsoen) sekä saheen järjestysnumero ytimeistä laskettuna. Saheista laskettiin oksien lukumäärät oksatyypeittäin ja mitattiin kunkin oksatyypin paksuimman oksan läpimitta ja sijainti. Lahoista mitattiin niiden alkamis- ja päättymiskorkeudet sekä todennäköiset aiheuttajat. Toinen sydäntavarasahe luokiteltiin sekä ytimen että pinnan puolelta, muut pelkästään pinnan puolelta eli kaikki leikkauspinnat tutkittiin.

Laadutettujen tukkiosien tilavuudet laskettiin pölkyn tyven, keskiosan ja latvan poikkileikkauspinta-alojen ja pölkyn pituuden perusteella Newtonin kaavalla (ks. Kangas ja Päivinen 1996). Tarvittavien läpimittojen laskemiseksi kullekin rungolle muodostettiin pituuteen ja mitattuihin läpimittoihin perustuva splinitasoitettu runkokäyräyhtälö.

Koepuiden laatutunnusten analyysi kohdistui runkojen kokoa, oksikkuutta ja muotoa kuvaileviin muuttujiin, sahatukkien laatujaumiin ja saheiden oksaisuuslaatuihin. Vertailevat analyysit tehtiin yhtäältä koivulajien ja toisaalta sekametsiköiden ja puhtaiden koiviköiden välillä. Runkojen kokoa kuvattiin rinnankorkeusläpimitalla ja koko rungon todellisella kuorellisella tilavuudella. Tilavuus laskettiin Laasasenahon (1982) rinnankorkeusläpimitaan, pituuteen ja yläläpimitaan perustuvalla regressiomallilla.

Oksikkuutta, rungon muotoa ja tukkiosan kokoa

Taulukko 2. Yhdistetty sahakoivun laatuluokitus. Laadut E ja A: Vilkon Oy (1998), B ja C: Keinänen ja Tahvanainen (1995).

Luokka	E	A	B	C
Tukin mitat ¹⁾ ja laatu	Latvaläpimitta 24 cm	Oksaton tyvi- tai välitukki	Tyvi-, väli- tai latvatukki	Oksainen, järeä- tai pikkutukki
Lenkous	<1 cm / 15 dm	2 cm / 15 dm	2 cm / 15 dm	Järeä tukki: 3 cm / 15 dm Pikkutukki: 2 cm / 15 dm
Korot	–	–	–	Ei rajoiteta
Mutkat	–	–	Lieviä sallitaan	Ei rajoiteta
Oksien määrä	–	–	5 kpl / 15 dm	6 kpl / 15 dm
Tuore oksa	–	Pieniä terveitä	3 kpl / 7 cm	3 kpl / 10 cm
Kuiva oksa	–	–	5 kpl / 3 cm	3 kpl / 5 cm
Laho oksa	–	–	–	2 kpl / 5 cm
Halkeamat	–	–	–	Ei rajoiteta
Väriavika	Enintään 4 cm	Enintään 4 cm	Lievää sallitaan	Sallitaan
Kova laho	Enintään 4 cm	Enintään 1 cm	Enintään 5 cm	1/2 läpimitasta

¹⁾ A-, B- ja C-laatuun minimiläpimitanta pidettiin tässä tutkimuksessa 12 cm.

tutkittiin erikseen jokaisen rungon tukkiosalla ja pikkutukkiosalla. Tukkiosalla tarkoitettiin kaatoleikkauksen ja 18 cm:n läpimitan korkeuden välistä rungon osaa ja pikkutukkiosalla 18 ja 12 cm:n läpimittojen välistä rungon osaa. Oksikkuutta kuvaavat oksarajat muutettiin suhteelliseksi korkeuksiksi rungon pituudesta. Ulkoisten oksikkuusvyöhykkeiden pituuksia tutkittiin niiden osuuksina tukkiosan pituudesta.

Runkojen muotoa kuvattiin pystykoepuista mitatulla tyvitukin lenkoudella, rungon metriä kohti lasketulla kapenemisella kaatoleikkauksesta 12 cm:n läpimitan korkeuteen sekä rungon suhteellisella epäpyöreydellä neljän metrin korkeudessa (kuorellisen maksimi- ja minimiläpimitan erotus / maksimiläpimitta).

Runkojen sisälaadun tutkimiseksi laskettiin keskimääräiset oksaisuusvyöhykkeiden pituudet 0, 25, 50, 75 ja 100 mm:n etäisyydellä ytimestä. Tämän jälkeen laskettiin oksaisuusvyöhykkeiden pituusosuudet tukki- ja pikkutukkiosan yhteenlasketusta pituudesta em. etäisyyksillä ytimestä. Samoin laskettiin rungoissa esiintyneiden lahojen pituusosuudet. Runkojen sisälaadua tutkittiin siis yhtenäisenä kaatoleikkauksesta 12 cm:n läpimitaan saakka.

Ositteiden välisiä tilastollisia eroja tutkittiin varianssianalyysillä erottelematta koemetsiköitä ositteiden sisällä. Keskiarvojen erojen paikallistamiseksi käytettiin Tukeyn testiä. Tässä tutkimuksessa raportoidaan seuraavien parien keskiarvojen välisistä eroista:

- Puhdas hieskoivikko – kuusi–hieskoivusekametsikkö
- Puhdas rauduskoivikko – kuusi–rauduskoivusekametsikkö
- Puhdas hieskoivikko – puhdas rauduskoivikko
- Kuusi–hieskoivusekametsikkö – kuusi–rauduskoivusekametsikkö.

Koska tavoitteena oli tutkia myös taustatekijöiden vaikutusta kasvupaikkojen ja koivulajien eroihin, käytettiin kovarianssianalyysia, jossa pyritään taustoittamaan ominaisuuksien keskiarvoja ottamalla huomioon taustatekijöiden niihin aiheuttama vaihtelu. Taustatekijät eli kovariaatit valittiin seuraavista tiedossa olleista metsikkötunnuksista: puuston kokonaispohjapinta-ala, ainespuiden runkoluku ja koelan lukupuiden mediaanirinnankorkeusläpimitta. Niille muuttujille, jotka muodostuivat jollakin tavalla rinnankorkeusläpimitasta, kovariaattina käytettiin ainespuiden runkolukua. Muilla muuttujilla valinta kohdistui siihen taustatekijään, joka korreloi voimakkaimmin kyseisen muuttujan kanssa.

Kovarianssianalyysissä alkuperäisiä havaintoja korjataan kovariaatin saaman arvon perusteella. Näin saatuihin muunneltuihin arvoihin sovitetaan käytetyn koejärjestelyn mukaista mallia, jossa selittävinä muuttujina olivat kovariaatin lisäksi neliluokainen osite ja kaksiluokkainen latvuskerros sekä satunnaismuuttujana metsikkö. Lisäksi malleihin sisällytettiin metsikön ja ositteiden sekä ositteiden ja

Taulukko 3. Rinnankorkeusläpimitan ja rungon tilavuuden havaitut ja runkoluvulla korjatut keskiarvot, a: hieskoivikot, b: kuusi–hieskoivusekametsät, c: rauduskoivikot, d: kuusi–rauduskoivusekametsät.

	a (n=30)	b (n=24)	c (n=30)	d (n=41)	a / b	Erot		c / d
						a / c	b / d	
Havaitut arvot								
d _{1,3} , cm	25,6	25,2	25,4	28,4	–	–	**	**
Tilavuus, dm ³	530,1	576,4	608,7	763,1	–	–	**	**
Korjatut arvot								
d _{1,3} , cm	23,2	23,6	26,1	26,6	–	–	**	–
Tilavuus, dm ³	375,7	465,7	612,8	624,2	*	**	**	–

** = merkitsevä ero, $p < 0,05$.

* = suuntaa antava ero, $0,05 < p < 0,15$.

– = ei eroa.

latvuskerrosluokan väliset yhdysvaikutukset. Näin tulivat otetuiksi huomioon latvuskerrosluokan vaikutus ja ositteiden sisäinen satunnaisvaihtelu, joka johtui siitä, että kuhunkin ositteeseen tuli koepuita kahdesta eri metsiköstä.

Regression avulla estimoitiin, millaisia tutkittavan muuttujan arvot olisivat olleet, jos käytetyllä kovariaatilla olisi ollut vakioarvo. Korjatut ositekeskiarvot ovat alkuperäisiä vertailukelpoisempia, sillä niissä kovariaatin ositteita sekoittava vaikutus on poistettu ja ositteiden väliset erot saatu ”puhtaampina” esiin (Ranta ym. 1994). Korjattujen keskiarvojen parivertailuihin käytettiin LSD-menetelmää (pienin merkitsevä ero). Niille muuttujille, joiden arvot erosivat hyvin vähän ositteiden välillä, ei tehty kovarianssianalyysiä, koska mittausvirhe tai ennusteen virhe voi olla suurempi kuin ositteiden todellinen ero. Testeissä ja analyyseissä merkitsevän vaikutuksen rajana pidettiin $p_{hav} < 0,05$ ja suuntaa antavan vaikutuksen rajana $0,05 < p_{hav} < 0,15$.

3 Tulokset

3.1 Rungon, tukki- ja pikkutukkiosan koko

Koska tutkittiin hoidettuja päätehakkuumetsiköitä, suurin osa koepuista oli päävaltapuita. Keskiarvojen perusteella sekametsiköiden rauduskoivut poikkesivat tässä aineistossa muista ositteista siten, että rinnankorkeusläpimita ja rungon tilavuus olivat suurempia. Kun keskiarvot tasoitettiin runkoluvulla,

sekametsiköiden rauduskoivujen ero puhtaiden koivikoiden rauduskoivuihin poistui miltei kokonaan. Havaitut ja kovariaatilla korjatut keskiarvot on esitetty taulukossa 3. Päävaltapuut olivat lisävaltapuita merkitsevästi suurempia ($p = 0,001$). Runkoluvulla oli kovarianssianalyysin mukaan negatiivinen vaikutus runkojen tilavuuteen ($p = 0,035$). Rauduskoivut olivat LSD-menetelmän mukaan sekä puhtaissa koivikoissa että sekametsiköissä suurempia kuin hieskoivut. Hieskoivut olivat puolestaan sekametsiköissä suurempia kuin puhtaissa koivikoissa.

Tukin ja pikkutukin tilavuuden ja tilavuusosuuden kovariaattina käytettiin ainespuiden runkolukua. Muuttujen havaitut ja kovariaatilla korjatut keskiarvot on esitetty taulukossa 4. Koko tukkiosan osuus rungon tilavuudesta ei vaihdellut ositteittain.

Tukkiosan tilavuus oli sekä havaittujen että tasoitettujen keskiarvojen osalta sekametsiköiden rauduskoivuissa suurempi kuin sekametsiköiden hieskoivuissa tai puhtaiden koivikoiden rauduskoivuissa. Kovarianssianalyysin mukaan runkoluvulla ei ollut vaikutusta tukkiosan tilavuuteen ($p = 0,553$).

Pikkutukkiosan oli Tukeyn testin mukaan puhtaissa rauduskoivikoissa tilavuudeltaan suurempi kuin puhtaissa hieskoivikoissa tai sekametsiköiden rauduskoivuissa. Runkoluvulla ei kovarianssianalyysin mukaan ollut vaikutusta pikkutukkiosan tilavuuteen ($p = 0,368$). Pikkutukkiosan tilavuus oli päävaltapuilla pienempi kuin lisävaltapuilla ($p = 0,001$).

Taulukko 4. Tukki- ja pikkutukkiosan tilavuuden ja tilavuusosuuden havaitut ja ainespuiden runkoluvulla korjatut keskiarvot ositteittain, a: hieskoivikot, b: kuusi–hieskoivusekametsät, c: rauduskoivikot, d: kuusi–rauduskoivusekametsät.

	a	b	c	d	a / b	a / c	Erot	
							b / d	c / d
Tukkiosia, havaitut arvot								
Tilavuus, dm ³	421	414	462	645	–	–	**	**
Tilavuusosuus, %	73,9	67,9	68,0	77,7	–	–	*	*
Pikkutukkiosia, havaitut arvot								
Tilavuus, dm ³	72	88	114	84	–	**	–	**
Tilavuusosuus, %	17,3	18,3	24,8	15,6	–	–	–	*
Tukkiosia, korjatut arvot								
Tilavuus, dm ³	373	326	457	525	–	–	**	–
Tilavuusosuus, %	72,1	61,7	66,5	71,0	*	–	*	–
Pikkutukkiosia, korjatut arvot								
Tilavuus, dm ³	78	94	103	87	–	–	–	–
Tilavuusosuus, %	21,3	20,6	19,1	14,8	–	–	*	–

** = merkitsevä ero, $p < 0,05$.

* = suuntaa antava ero, $0,05 < p < 0,15$.

– = ei eroa.

3.2 Ulkoiset oksarajat

Alin kuollut oksa oli puun pituuteen suhteutettuna puhtaissa hieskoivikoissa alempana kuin sekametsiköissä. Kovarianssianalyysin mukaan puuston pohjapinta-alalla ja latvuserrosluokalla ei ollut vaikutusta alimman kuolleen oksan suhteelliseen korkeuteen ($p = 0,954$ ja $0,606$). Sekametsiköissä alin kuollut oksa oli hieskoivuissa suhteellisesti korkeammalla kuin rauduskoivuissa; tilastollisesti ero oli vain suuntaa antava.

Puun pituuteen suhteutettuna alin terve oksa oli puhtaissa rauduskoivikoissa ylempänä kuin puhtaissa hieskoivikoissa ja sekametsiköiden hieskoivuissa ylempänä kuin puhtaiden koivikoiden hieskoivuissa. Tukeyn testin mukaan puun pituuteen suhteutettu latvusraja oli sekametsiköiden hieskoivuissa ylempänä kuin puhtaiden koivikoiden hieskoivuissa. Puuston kokonaispohjapinta-alalla oli negatiivinen vaikutus latvusrajan suhteelliseen korkeuteen ($p = 0,090$).

Sekametsiköiden hieskoivujen oksattoman tukin pituus oli noin 75 % tukin koko pituudesta. Muissa ositteissa tukin pituudesta noin 40 % oli oksatonta. Täysin terveksaista tukkia ei juurikaan saatu, kun taas sekaoksaisen tukin osuus oli enimmillään hieskoivikoissa lähes 30 prosenttia. Tukkiosan ulkoisten

oksikkuuslaatujen pituusosuuksien (taulukko 5) hajonnat olivat kaikissa ositteissa suuria. Koska puhtaasti terveoksaisen tukin pituusosuus oli kaikissa ositteissa hyvin pieni, sitä ei käsitelty kovarianssianalyysillä.

Sekä Tukeyn testin että LSD-menetelmän mukaan oksattoman tukin pituusosuus oli sekametsiköiden hieskoivuissa suurempi kuin sekametsiköiden rauduskoivuissa tai puhtaiden koivikoiden hieskoivuissa. Oksattoman tukin pituusosuus oli toisaalta lisävaltapuissa päävaltapuita suurempi ($p = 0,013$). Mustaoksaisen tukin pituusosuus oli sekametsiköiden hieskoivuissa pienempi kuin sekametsiköiden rauduskoivuissa. Sekaoksaisen tukin pituusosuus oli Tukeyn testin mukaan pienin sekametsiköiden hieskoivuissa. Päävaltapuissa sekaoksaisen tukin pituusosuus oli suurempi kuin lisävaltapuissa ($p = 0,002$). Terveoksaisen tukin pituusosuus ei eronnut ositteiden välillä. Koko puiden elävän latvuksen osuus oli rauduskoivuissa 25 metrin keskipituudella 60 % ja hieskoivuissa 21 metrin keskipituudella 63 %.

3.3 Oksien läpimitta ja lukumäärä

Mustien (= kuivat + lahot) oksien läpimitan kovariaatiksi valittiin puuston pohjapinta-ala, lahojen ja

Taulukko 5. Oksikkuusvyöhykkeiden keskimääräinen osuus tukkiosan pituudesta, havaitut ja mediaanirinnan-korkeusläpimitalla korjatut keskiarvot ositteittain, a: hieskoivikot, b: kuusi–hieskoivusekametsät, c: rauduskoivikot, d: kuusi–rauduskoivusekametsät.

	a	b	c	d	a / b	Erot		
						a / c	b / d	c / d
Havaitut arvot								
Tukkiosan pituus, dm	96,7	101,7	107,4	132,9	–	–	**	**
Oksaton, %	39,8	75,7	44,4	42,4	**	–	**	–
Mustaoksainen, %	24,7	15,7	30,2	29,3	–	–	**	–
Sekaoksainen, %	29,4	8,6	21,3	23,0	**	–	**	–
Terveoksainen, %	2,2	0,0	0,5	1,1	–	–	–	–
Korjatut arvot								
Tukkiosan pituus, dm	90,9	91,2	107,6	108,6	–	–	**	–
Oksaton, %	41,9	78,8	44,9	50,4	**	–	**	–
Mustaoksainen, %	25,2	14,5	33,7	32,7	–	–	**	–
Sekaoksainen, %	30,7	7,3	21,2	15,6	**	–	–	–

** = merkitsevä ero, $p < 0,05$.

* = suuntaa antava ero, $0,05 < p < 0,15$.

– = ei eroa.

Taulukko 6. Tukki- ja pikkutukkiosan paksuimpien oksien läpimittojen havaitut ja kovariaateilla korjatut keskiarvot eri ositteissa, a: hieskoivikot, b: kuusi–hieskoivusekametsät, c: rauduskoivikot, d: kuusi–rauduskoivusekametsät.

	a	b	c	d	a / b	Erot		
						a / c	b / d	c / d
Tukkiosia, havaitut arvot								
Paksuun kuiva oksa, mm	16,7	14,3	20,1	23,6	–	–	**	–
Paksuun laho oksa, mm	16,4	17,2	13,4	16,7	–	–	–	–
Paksuun musta oksa, mm	21,1	19,8	22,8	27,2	–	–	–	–
Paksuun terve oksa, mm	38,9	19,0	29,0	37,4	**	–	**	–
Pikkutukkiosia, havaitut arvot								
Paksuun kuiva oksa, mm	8,0	16,6	19,7	13,9	**	**	–	**
Paksuun laho oksa, mm	7,1	15,4	12,0	8,5	–	–	–	–
Paksuun musta oksa, mm	13,1	19,5	23,7	17,1	–	**	–	–
Paksuun terve oksa, mm	39,1	40,8	35,1	43,3	–	–	–	**
Tukkiosia, korjatut arvot								
Paksuun kuiva oksa, mm	11,4	10,5	20,1	19,9	–	–	**	–
Paksuun laho oksa, mm	14,2	15,5	17,0	10,3	–	–	–	–
Paksuun musta oksa, mm	21,3	13,9	22,9	24,2	–	–	**	–
Paksuun terve oksa, mm	39,4	21,6	32,9	23,5	*	–	–	–
Pikkutukkiosia, korjatut arvot								
Paksuun kuiva oksa, mm	9,8	18,1	21,3	15,9	**	**	–	**
Paksuun laho oksa, mm	6,9	15,5	14,9	11,2	*	*	–	–
Paksuun musta oksa, mm	20,5	21,9	26,9	17,2	–	–	–	*
Paksuun terve oksa, mm	38,1	41,5	36,8	38,7	–	–	–	–

** = merkitsevä ero, $p < 0,05$.

* = suuntaa antava ero, $0,05 < p < 0,15$.

– = ei eroa.

terveiden oksien läpimitan kovariaatiksi mediaanirinnankorkeusläpimitta. Tukki- ja pikkutukkiosalla käytettiin samaa kovariaattia. Havaitut ja kovariaatilla korjatut keskiarvot on esitetty taulukossa 6.

Paksuin musta oksa oli päävaltapuissa suurempi kuin lisävaltapuissa ($p = 0,040$). Pikkutukkiosan kuolleet oksat olivat sekametsiköissä puhtaita koivikoita yleisempiä ja suurempia, ja rauduskoivuissa hieskoivuja yleisempiä ja suurempia. Pikkutukkiosan paksuin musta oksa oli Tukeyn testin mukaan puhtaissa rauduskoivikoissa suurempi kuin puhtaissa hieskoivikoissa. Kovarianssianalyysin mukaan puuston kokonaispohjapinta-alalla oli positiivinen vaikutus pikkutukkiosan paksuimman mustan oksan läpimitaan ($p = 0,073$). Rauduskoivujen pikkutukkiosan paksuin musta oksa oli puhtaissa koivikoissa suurempi kuin sekametsiköissä ja päävaltapuissa pienempi kuin lisävaltapuissa.

Sekä havaittu että tasoitettu paksuimman terveen oksan läpimitta oli puhtaiden hieskoivikoiden puissa suurempi kuin sekametsiköissä, lisäksi paksuin terve oksa oli sekametsiköiden hieskoivuissa pienempi kuin sekametsiköiden rauduskoivuissa. Mediaanirinnankorkeusläpimitalla oli positiivinen vaikutus paksuimman terveen oksan läpimitaan ($p = 0,019$) ja paksuin terve oksa oli päävaltapuissa suurempi kuin lisävaltapuissa ($p = 0,031$). Pikkutukkiosan paksuin terve oksa oli rauduskoivuissa Tukeyn testin mukaan puhtaissa koivikoissa pienempi kuin sekametsiköissä. Pikkutukkiosassa paksuin musta oksa oli kaikissa ositteissa pienempi ja paksuin terve oksa suurempi kuin tukkiosassa.

Rauduskoivuissa oli sekametsiköissä enemmän pystyoksia pikkutukkimetriä kohden kuin puhtaissa koivikoissa. Puhtaissa koivikoissa hieskoivuissa oli pikkutukkimetrillä enemmän pystyoksia kuin rauduskoivuissa.

Tukeyn testi ei paljastanut eroa mustien oksien lukumäärissä tukkimetriä kohti ositteiden välillä, kovarianssianalyysin mukaan myöskään runkoluvulla tai latvuserrosluokalla ei ollut vaikutusta ($p = 0,443$ ja $0,250$). Tasoitettuja keskiarvoja tarkasteltaessa sen sijaan puhtaissa hieskoivikoissa oli enemmän mustia oksia tukkimetrillä kuin kuusi–hieskoivusekametsiköissä.

Hieskoivujen tukkiosalla oli rauduskoivuja enemmän terveitä oksia. Puhtaiden hieskoivikoiden puissa oli sekä Tukeyn testin että LSD-menetel-

män mukaan enemmän terveitä oksia tukkimetrillä kuin sekametsiköiden hieskoivuissa tai puhtaiden koivikoiden rauduskoivuissa. Samoin sekametsiköiden rauduskoivuissa oli enemmän terveitä oksia tukkimetrillä kuin sekametsiköiden hieskoivuissa. Kovarianssianalyysin mukaan runkoluvulla ei ollut vaikutusta terveiden oksien lukumäärään tukkimetrillä ($p = 0,792$).

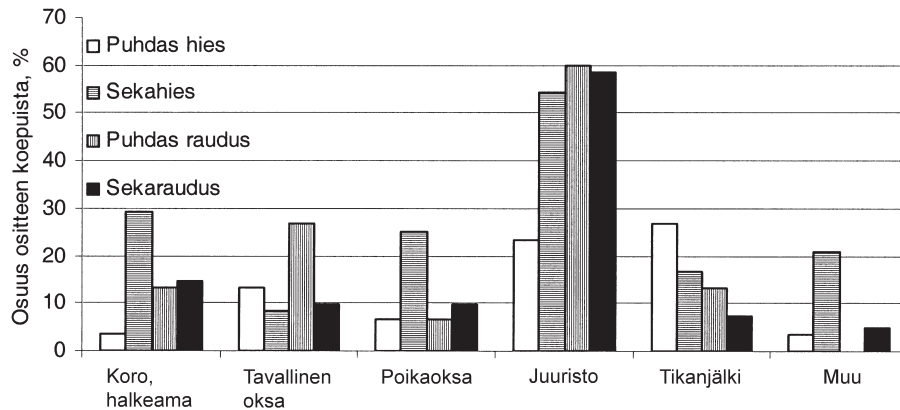
Hieskoivuissa oli sekä havaittujen että tasoitet-
tujen keskiarvojen mukaan sekametsiköissä enemmän mustia oksia pikkutukkimetrillä kuin rauduskoivuissa. Puhtaissa hieskoivikoissa mustien oksien lukumäärä pikkutukkimetriä kohden oli pienempi kuin sekametsiköissä. Runkoluku ei vaikuttanut mustien oksien lukumäärään pikkutukkimetrillä ($p = 0,192$).

Terveiden oksien lukumäärä pikkutukkimetrillä ei Tukeyn testin mukaan eronnut ositteiden välillä eikä runkoluvulla ollut siihen kovarianssianalyysin mukaan vaikutusta. Sekametsiköiden rauduskoivuissa oli LSD-menetelmän mukaan enemmän terveitä oksia pikkutukkimetrillä kuin hieskoivuissa. Päävaltapuissa oli pikkutukkimetrillä enemmän terveitä oksia kuin lisävaltapuissa ($p = 0,001$).

3.4 Runkomuoto

Neljän metrin tyviosan yläpuolelta hieskoivut olivat mutkaisia kasvuolosuhteista riippumatta. Koivulajien runkomuotoerot olivat neljän metrin tyviosan yläpuolella selvempiä kuin tyviosassa. Väli- ja latvatukkiosa oli rauduskoivuissa suora useammin kuin hieskoivuissa, jotka olivat usein monivääriä tai haaraisia. Noin 20% rauduskoivujen väli- ja latvatu-
keista arvioitiin suoriksi. Suoria runkoja oli eniten puhtaissa rauduskoivikoissa ja vähiten kuusi–hieskoivusekametsiköissä. Suorien tyvien osuus oli kaikissa ositteissa alle puolet kokonaisrunkoluvusta. Sekä hies- että rauduskoivuilla suorita tyviä oli puhtaissa koivikoissa enemmän kuin sekametsiköissä. Rauduskoivujen tyvet olivat erityisesti sekametsiköissä hieskoivujen tyviä suurempia.

Ositteiden väliset erot tyvitukin lenkoudessa (44–53 mm / 4 m) ja neljän metrin korkeudelta määritetyssä rungon epäpyöreyydessä (92–93%) olivat pieniä. Erityisesti lenkoudessa keskihajonnat olivat kuitenkin suuria (19–32 mm / 4 m). Tyvitukin



Kuva 1. Koepuiden lahovikojen aiheuttajat ositteittain. Havainnot on tehty tukeista kaadon, karsinnan ja katkonnan jälkeen.

lenkous ja neljän metrin korkeudelta määritetty rungon epäpyöreys eivät Tukeyn testinkään mukaan eronneet ositteiden välillä. Kapeneminen oli Tukeyn testin mukaan puhtaissa hieskoivikoissa suurempaa kuin puhtaissa rauduskoivikoissa tai hieskoivuilla sekametsiköissä. Kapeneminen metriä kohti vaihteli ositteittain yhdeksästä yhteentoista millimetriin.

3.5 Pinta- ja lahoviat

Tukeista määritetyt yleisimmät pintaviat olivat avo- ja umpikoro, pintahalkeamat ja tikanjäljet. Kummallakin koivulajilla puhtaiden koivikoiden puissa oli lukumääräisesti enemmän pintavikoja kuin sekametsiköiden koivuissa.

Lahovikojen esiintymisyleisyys koepuissa on esitetty kuvassa 1 lahonaiheuttajittain ja ositteittain. Puhtaita hieskoivikoita lukuun ottamatta lahon yleisin syy oli juuristo, joka oli aiheuttanut 50–60 prosenttiin koepuista lahovian. Juuriston aiheuttamalla laholla tarkoitettiin yleensä jo tyvellä esiintynyttä ydinlahoa, johon ei ollut muuta selvää syytä, kuten halkeamaa tai koroa. Pystyoksat aiheuttivat lähes yhtä usein lahoa kuin tavalliset oksat. Muihin lahoihin kirjattiin esim. korjuuvaurioista alkaneet lahot.

3.6 Runkojen laatuluokkarakenne

Rungon tilavuuteen suhteutettuna parhaita tukkilaituja saatiin eniten hieskoivuista. Rauduskoivuissa valtaosa tukeista oli B- ja C-laatuja. Laatuluokkien tilavuusosuuksien hajonnat olivat suuria kaikissa ositteissa. Kummallakaan koivulajilla ei havaittu eroa puhtaiden koivikoiden ja sekametsiköiden välillä. Yksityiskohtaiset tarkastelut eroista ositteiden välisissä tukkilaitujen tilavuusosuuksissa on esitetty taulukossa 7. Laatuluokkien tilavuusosuuksien korvaattina käytettiin koealan puiden runkolukua.

Hieskoivurunkojen tukkitilavuudesta noin puolet oli E- ja A-laatuja ja B- ja C-laatujen osuus oli keskimäärin 16%, kun vastaavasti noin puolet rauduskoivun tukkitilavuudesta oli B- ja C-laatuja ja E- ja A-laatujen osuus oli keskimäärin vain 22%. Tukiksi kelpaamattoman rungon osan tilavuusosuus oli hieskoivuissa noin 28% ja rauduskoivuissa noin 23%. Hieskoivuissa se koostui lähes yksinomaan tyveysistä; rauduskoivuissa leikkojen ja latvavähennysten osuus oli tyveysten osuutta suurempi.

Koivulajien tukkilaitujakaumien välinen ero korostui sekametsiköissä. Kuusen kilpailuvaikutus näkyi voimakkaammin hies- kuin rauduskoivujen oksikkuudessa. Hieskoivuista ei kuitenkaan saatu rauduskoivuja merkittävästi enempää parasta E-tukkilaitua. Tämä siksi, että hieskoivut olivat rauduskoivuja pienempiä ja niistä jouduttiin tekemään enemmän tyveysiä. Rauduskoivujen pikkutukkiosia oli laadultaan hieskoivuja parempi; hieskoivujen

Taulukko 7. Tukkilaatujen havaitut ja ainespuiden runkoluvulla korjatut keskimääräiset osuudet rungon tukki-tilavuudesta ositteittain, a: hieskoivikot, b: kuusi–hieskoivusekametsät, c: rauduskoivikot, d: kuusi–rauduskoivusekametsät.

Laatu, %		a	b	c	d	Erot			
						a / b	a / c	b / d	c / d
Havaitut arvot									
E	Tukki	19	13	5	9	*	**	–	–
	Pikkutukki	–	–	–	–	–	–	–	–
A	Tukki	37	38	18	19	–	**	**	–
	Pikkutukki	10	3	9	3	–	–	–	–
B	Tukki	11	15	19	23	–	–	–	–
	Pikkutukki	13	9	19	22	–	–	**	–
C	Tukki	7	4	36	23	–	**	**	–
	Pikkutukki	7	11	15	10	–	–	–	–
Hylky	Tukki	28	30	24	27	**	**	–	–
	Pikkutukki	70	77	57	65	–	–	–	–
Korjatut arvot									
E	Tukki	12	8	8	7	–	–	–	–
	Pikkutukki	–	–	–	–	–	–	–	–
A	Tukki	47	45	6	18	–	**	**	*
	Pikkutukki	14	5	8	5	*	–	–	–
B	Tukki	5	10	28	27	–	*	**	–
	Pikkutukki	16	12	21	23	–	–	*	–
C	Tukki	8	4	34	25	–	**	**	*
	Pikkutukki	0	10	24	13	*	**	–	**
Hylky	Tukki	28	33	24	23	**	*	*	*
	Pikkutukki	69	74	48	59	–	*	*	*

** = merkitsevä ero, $p < 0,05$.* = suuntaa antava ero, $0,05 < p < 0,15$.

– = ei eroa.

pikkutukkiosasta lähes 80 % oli tukiksi kelpaamatonta. Tukki- ja pikkutukkiosan yhteenlaskettu tukki vähennys oli hieskoivuissa 37 % ja rauduskoivuissa 32 %.

Tyveysten yleisin syy oli laho tai värivika, välileikkojen yleisimmät syyt olivat mutka ja oksien lukumäärä. Hieskoivuista 20 prosentille ja rauduskoivuista 77 prosentille tehtiin tyveys puhtaissa koivikoissa. Sekametsiköissä puolet hieskoivuista ja kolmannes rauduskoivuista tyvettiin. Kokonaisuhylyosuus oli pienimmillään puhtaissa rauduskoivikoissa n. 23 % ja suurimmillaan kuusi–hieskoivusekametsiköissä n. 30 %.

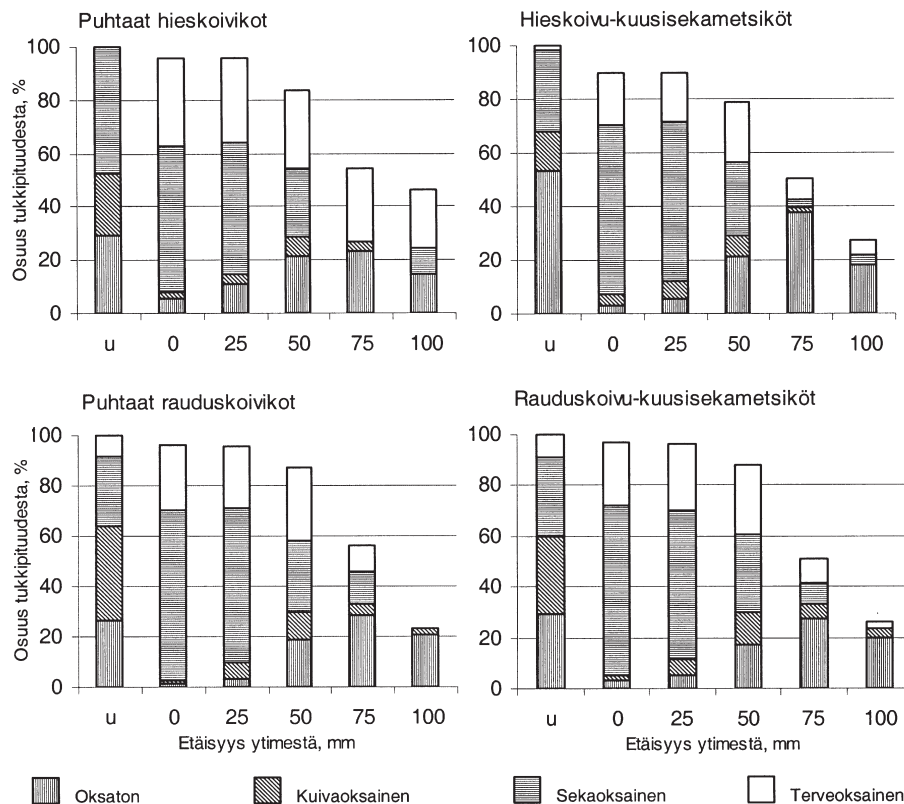
E-laadun tilavuusosuus oli puhtaissa hieskoivikoissa suurempi kuin sekametsiköiden hieskoivuissa ja päävaltapuissa suurempi kuin lisävaltapuissa ($p = 0,015$). Rungon pikkutukkiosalta saatiin jonkin verran A-, B- ja C-laatujen tukkeja. Kaikissa ositteissa yli puolet pikkutukkiosasta oli kuitenkin tukiksi kelpaamatonta. Sekametsiköiden hieskoivuja lukuun

ottamatta suurin osa laadutetuista pikkutukkiosan tukeista oli B-laatua. A-laadun tilavuusosuudessa ei Tukeyn testin mukaan ollut eroja ositteiden välillä. Pikkutukkiosalla A-laadun tilavuusosuus oli lisävaltapuissa päävaltapuita suurempi ($p = 0,016$). Pikkutukin hylkyosan tilavuusosuus oli hieskoivuissa systemaattisesti suurempi kuin rauduskoivuissa ja päävaltapuissa suurempi kuin lisävaltapuissa ($p = 0,002$).

Laadutettujen pikkutukkien osuus rungon kokonaistukki-tilavuudesta oli kaikissa ositteissa kymmenen prosentin luokkaa. Puhtaissa rauduskoivikoissa suurin osa tukki-tilavuudesta oli C-laatua ja kuusi–rauduskoivusekametsiköissä B-laatua. Kokonaistukki vähennys oli keskimäärin 33 % ja se jakaantui lähes tasan tukki- ja pikkutukkiosan kesken (taulukko 8). Kokonaistukki vähennystä laskettaessa ei otettu huomioon niitä tukki- ja pikkutukkiosia, joiden pituus oli alle kaksi metriä.

Taulukko 8. Kokonaistukkivähennyksen jakaantuminen tukki- ja pikkutukkiosan kesken eri ositteissa.

	Hieskoivu	Kuusi-hieskoivu	Rauduskoivu	Kuusi-rauduskoivu
	\bar{x} (s)			
D _{1,3} , cm	25,6 (4,1)	25,2 (3,1)	25,4 (4,4)	28,4 (5,4)
Tilavuus, dm ³	466 (176)	502 (164)	541 (248)	685 (286)
	Tukkivähennys, %			
Tukkiosa	23,8 (12,6)	22,0 (16,4)	18,0 (15,7)	23,3 (18,3)
Pikkutukkiosa	12,1 (7,6)	15,1 (11,9)	16,4 (21,4)	10,0 (9,5)
Yhteensä	34,6 (11,8)	37,1 (20,3)	29,5 (16,6)	32,1 (18,6)

**Kuva 2.** Oksaisuusvyöhykkeiden keskimääräiset pituusosuudet eri ositteissa, u kuvaa ulkoisia oksikkuusvyöhykkeitä.

3.7 Runkojen sisäinen laatu

Runkojen kokoerojen vuoksi saheidin määrät ja pituudet eri etäisyyksillä puun ytimestä vaihtelivat ositteittain. Vaihtelu otettiin huomioon tutkimalla oksaisuusvyöhykkeitä suhteellisina pituuksina tukki- ja pikkutukkiosan yhteenlasketusta pituudesta (kuva 2). Oksaisuusvyöhykkeiden pituusosuuksien

kovariaattina käytettiin puuston kokonaispohjapinta-alaa.

Oksattoman ja kuivaoksaisten osien pituusosuudet eivät Tukeyn testin mukaan eronneet ositteiden välillä. Oksaton osa oli kuitenkin lisävaltapuilla päävaltapuista suurempi ($p = 0,002$) ja sekaoksainen osa päävaltapuilla lisävaltapuista suurempi ($p = 0,001$). Kokonaispohjapinta-alalla ja latvuskerrosluokalla

ei kovarianssianalyysin mukaan ollut vaikutusta kuivaoksaisten osan pituusosuuteen ($p = 0,776$ ja $0,638$). Terveoksaisten osan pituusosuus oli Tukeyn testin mukaan hieskoivuissa puhtaissa koivikoissa suurempi kuin sekametsiköissä.

Jokaisessa koeapuuna olleessa rauduskoivussa havaittiin ainakin vähäinen kova ydinlaho. Hieskoivuissa kovaa ydinlahoa oli etenkin puhtaissa koivikoissa rauduskoivuja harvemmin. Tätä selittää hieskoivujen keskimäärin pienempi ikä. Rungon muissa osissa kovaa lahoa oli noin kahdessa kolmasosassa koeputia. Vaikka lahoa esiintyi paljon, ei sen osuus saheiden pituudesta ollut suuri. Puhtaita hieskoivikoita lukuun ottamatta kovan ydinlahon osuus ydinsaheissa (tyveltä pikkutukkiosan päättymiseen asti) ylitti kymmenen prosenttia, muuten lahojen pituusosuudet olivat muutaman prosentin luokkaa.

4 Tulosten tarkastelu

Koska tutkimusaineisto oli metsikkötasolla tarkastellen pieni, ei puhtaiden koivikoiden ja kuusi–koivusekametsiköiden koivujen laadun eroista voi tehdä yleistettävää johtopäätöksiä vaan tuloksia on käsiteltävä esimerkkitapauksina. Aineisto rajoittui viljaville kivennäismaille päätehakkuikaisiin metsiköihin. Suuri osa hieskoivuista kasvaa kuitenkin luontaisesti turvemilla (Peltola 2002), joissa puiden laatu on yleensä kivennäismaita huonompi (esim. Verkasalo 1997, Heräjärvi 2001). Tutkimuksessa käytetty koivusahatukkien laatuluokitus oli käytössä ensimmäistä kertaa. Apteerauksen tulosta ei voida verrata aikaisempiin tuloksiin eikä saha- tai vaneripölkkyjen laatuajakaumiin, koska tässä tutkimuksessa pyrittiin määrittämään rungon maksimiarvo ja hyväksyttiin siksi lyhyet, jopa 0,5 metrin pituiset pölkkyt.

Sekametsiköiden ja puhtaiden koivikoiden runkojen ominaisuudet erosivat tässä tutkimuksessa enemmän hieskoivujen kuin rauduskoivujen kohdalla. Saman havaitsi oksikkuuden osalta myös Heräjärvi (2001). Yksi syy eroon on se, että sekametsissä hieskoivut olivat kuusten kanssa samanikäisiä, kun taas rauduskoivut olivat kuusia vanhempia. Koska hieskoivut ovat rauduskoivuja hidaskasvuisempia, ne olivat ilmeisesti kasvaneet kuusten kanssa samaa

vauhtia ja niihin oli kohdistunut suurempi kilpailu kuin kuuseen nähden nopeampikasvuisiin rauduskoivuihin.

Rauduskoivuissa sekametsiköiden ja puhtaiden koivikoiden väliset erot olivat selvimpiä runkojen kokoa kuvaavissa tunnuksissa. Kun runkoluvun vaikutusta ei otettu huomioon, rauduskoivut olivat sekametsiköissä läpimitaltaan sekä rungon ja tukki-osan tilavuudeltaan suurempia kuin puhtaissa koivikoissa. Tulos on looginen, koska sekametsiköissä kasvatetaan tavallisesti vain parhaat koivuyksilöt kuusten tai mäntyjen seassa, puhtaissa koivikoissa kaikki koivut eivät yleensä edusta parasta laatua.

Kokonaisuudessaan rauduskoivujen tukkiprosentti oli sekametsiköissä hieman puhtaita koivikoita suurempi. Sekametsiköissä rauduskoivun tukkiprosentti (n. 70) vastasi Mielikäisen (1980, 1985) tuloksia. Sekametsiköissä rauduskoivun tukkiosan tukkivähennys oli 23 %. Mielikäisen (1985) tutkimuksessa rauduskoivun tukkivähennys oli kuusivaltaisissa sekametsiköissä 40 vuoden iällä 8 % ja 80 vuoden iällä 3 %, siis huomattavasti vähemmän kuin tässä tutkimuksessa. Puhtaissa rauduskoivikoissa tukkivähennys oli Mielikäisen (1980) tutkimuksessa 15 % ja Verkasalon (1997) tutkimuksessa ikäluokasta riippuen 13–25 %. Mielikäisen (1985) sekametsikötutkimuksessa rauduskoivuista lähes 70 % oli laadultaan normaaleja – selvästi enemmän kuin tämän tutkimuksen sekametsiköissä.

Pikkutukkiosa oli päävaltapuilla lisävaltapuita pienempi ja huonolaatuisempi mm. suuremman hylkytilavuusosuuden perusteella. Oksaton tukki oli lisävaltapuilla puun pituuteen suhteutettuna pidempi kuin päävaltapuilla, sama ilmeni myös Verkasalon (1997) ja Heiskasen (1957) tutkimuksissa.

Koivun elävän latvuksen alarajan ja kuivaoksarajan on todettu olevan sitä ylempänä, mitä tiheämpänä puusto on kasvanut (esim. Niemistö 1991, Niemistö 1995, Niemistö ym. 1997). Elävä latvus oli tässäkin tutkimuksessa tiheissä metsiköissä ylempänä kuin harvemmassa kasvaneissa metsiköissä ja latvussuhde pieneni puuston pohjapinta-alan lisääntyessä. Havaittu latvusraja oli pidemmissä ja tiheämmässä kasvaneissa rauduskoivuissa noin kaksi metriä korkeammalla kuin hieskoivuissa.

Mielikäisen (1985) tutkimuksessa latvussuhde oli viljavien kivennäismaiden hieskoivuilla keskimäärin 53 % ja rauduskoivuilla 51 %, tässä tutkimuksessa

sekametsiköiden hieskoivuilla 55 % ja rauduskoivuilla 59 %. Puhtaiden hieskoivikoiden latvusraja oli tässä tutkimuksessa keskimäärin metrin alempana kuin Verkasalon (1997) tutkimuksessa.

Niemistö ym. (1997) havaitsivat oksien suuren läpimitan hidastaneen koivun karsiutumista eniten, karsiutumista hidasti myös puuston harva tilajärjestys. Tässä tutkimuksessa puhtaat hieskoivikot olivat kuusi-hieskoivusekametsiköitä harvempia.

Alin terve oksa ja latvusraja olivat rauduskoivuilla ylempänä kuin hieskoivuilla, mikä johtui todennäköisesti rauduskoivujen suuremmasta kasvatustiheydestä. Myös Verkasalon (1997) tutkimuksessa terveoksa- ja latvusrajat olivat kivennäismaiden rauduskoivuilla ylempänä kuin hieskoivuilla, kummallakin koivulajilla kuitenkin hieman nyt havaittua korkeammalla. Hieskoivun on usein todettu sietävän varjostusta rauduskoivua paremmin (mm. Atkinson 1984, Niemistö 2000).

Tässä tutkimuksessa suoria runkoja oli huomattavasti vähemmän kuin Mielikäisen (1985) tutkimuksessa. Heiskanen (1957) otti runkomuotoa tarkastellessaan huomioon koko vaneripuuosan ja havaitsi suorien runkojen osuudeksi 42 %, kuten tässäkin tutkimuksessa.

Sekametsiköiden hieskoivurungoissa oli puhtaita koivikoita enemmän koroja ja pintahalkeamia sekä lahovikoja. Tämän vuoksi myös tyveyksien tilavuusosuus oli sekametsikoissa suurempi. Rauduskoivuissa oli hieskoivuja enemmän koroja ja niistä aiheutuneita lahovikoja, kuten myös oksista ja juuristosta alkaneita lahoja. Tätä tulosta yleistettäessä on syytä pitää mielessä rauduskoivujen hieskoivuja korkeampi keski-ikä tämän tutkimuksen aineistossa. Verkasalon (1997) tutkimuksessa hieskoivut olivat rauduskoivuja harvemmin pintavikaisia, mutta useammin lahovikaisia.

Pääosin runkojen latvaosista tehdyissä pikkutukeissa terveet oksat olivat suurempia ja niitä oli enemmän kuin järeissä tukeissa. Pikkutukkien hylkyosuutta (57–77 %) lisäsi paitsi niiden mutkaisuus ja oksaisuus myös se, että tutkimuksessa käytettyjen laatuluokkien oksarajoitukset oli tehty varsinaisesti järeille sahatukeille. Vaikka terveoksaissa pikkutukeissa sallittaisiin normaalia enemmän oksia, on selvää, että latvaosia apteerattaessa hylkyosuus pysyy korkeana, koska koivun latvaosat ovat tavallisesti mutkaisia.

Puutuoteteollisuuden raaka-ainehuollon kannalta keskeisimmät havainnot koskivat pikkutukin hyödyntämisen tarjoamia mahdollisuuksia raaka-aineen hankintaan varttuneista raudus- ja hieskoivikoista. Etenkään sekametsikoissa suurimmat päävaltapuut eivät aina edusta parhaita tukin tai pikkutukin lähteitä, runkomuoto- ja oksikkuuslaadultaan jopa päävaltapuita parempaa raaka-ainetta voidaan saada pienemmistä lisävaltapuista. Sekametsiköiden koivujen keskimääräinen oksikkuus- ja oksaisuuslaatu on kuitenkin parempi kuin puhtaiden koivikoiden puissa.

Kiitokset

Tutkimus perustuu Kauralan (2000) Metsäntutkimuslaitoksen toimeksiannosta Joensuun yliopistossa tekemään pro gradu -työhön, jonka ohjaajina ja suunnittelijoina Heräjärvi ja Verkasalo toimivat. Kirjoittajien lisäksi maastotöissä, koisahauksissa ja saheiden mittaamisessa työskentelivät Hannu Koivunen, Jukka Lehtimäki, Raino Lievonen, Juha Metros, Erkki Salo, Veijo Salo, Markku Tiainen ja Tapio Ylimartimo Metsäntutkimuslaitoksesta. Valtaosan koisahauksista teki Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulun metsätalouden yksikön Utran sahalla laboratoriomestari Keijo Silfsten. Metsäntutkimuslaitos luovutti tutkimuksen tarpeisiin paitsi edellä mainittujen henkilöiden työaika, myös työtiloja ja -välineitä sekä koepuita. Osa koepuista hankittiin yksityismetsänomistajien mailta; tässä apuna toimivat Kiihtelysvaaran ja Kiteen metsänhoitoyhdistykset. Tutkimuksen rahoitti Suomen Akatemia Metsäalan tutkimusohjelman WOOD WISDOM kautta. Esitämme lämpimät kiitokset kaikille edellä mainituille henkilöille ja organisaatioille.

Kirjallisuus

- Atkinson, C.J. 1984. Quantum flux density as factor controlling the rate of growth, carbohydrate partitioning and wood structure of *Betula pubescens* seedlings. *Annals of Botany* 54: 397–411.
- Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 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.
- Hägg, A. 1988. Lönsamheten av björkinblandning i barrskog. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 201. 62 s. + liitteet.
- Kangas, A. & Päivinen, R. 1996. Metsän mittausta. *Silva Carelica* 27. 195 s.
- Kataikko, M.-S. 1996. Huonekaluvalmistajien tarpeet sahaamisen lähtökohdista. Muotoilualan artemonityö, Kuopion käsi- ja taideteollisuusakatemia, taito- ja tutkimuskeskus Taitemia. Julkaisu 5. 116 s. + liitteet.
- Kaurala, H. 2000. Sahakoivun ominaisuudet ja laatu puhtaissa koivikoissa ja kuusi–koivusekametsiköissä. Pro gradu -tutkielma. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 82 s. + liitteet 11 s.
- Keinänen, E. & Tahvanainen, V. 1995. Pohjolan jalot puut. Erikoispuiden mitta-, laatu- ja käsittelyopas. Taitemiasarja. Kuopio. 160 s.
- Kivistö, J., Sipi, M., Kantola, A. & Niemelä, T. 1999. Koivun, haavan sekä terva- ja harmaalepän mekaaninen jalostus ja lopputuotteet Suomessa vuonna 1999. Postikysely- ja haastattelututkimuksen tulosten yhteenveto. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 20. 71 s.
- Kuusipalo, J. 1996. Suomen metsätyypit. Kirjayhtymä. 144 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 174 s.
- Luostarinen, K. & Verkasalo, E. 2000. Birch as sawn timber and in mechanical further processing in Finland. A literature study. *Silva Fennica Monographs* 1. 40 s.
- Mielikäinen, K. 1980. Mänty–koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(3). 82 s.
- 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 133. 79 s.
- Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemilla. *Folia Forestalia* 782. 36 s.
- 1995. Influence of Initial Spacing and Row-to-row Distance on the Crown and Branch Properties and Taper of Silver Birch (*Betula pendula*). *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 235–244.
- 2000. Hieskoivun kasvatusta – paljon kuitupuuta vähin kustannuksin. Downy birch in Finnish forestry – plenty of pulpwood at low cost. *Sorbifolia* 31(3): 99–108.
- , Hukki, P. & Verkasalo, E. 1997. Kasvupaikan ja puuston tiheyden vaikutus rauduskoivun ulkoiseen laatuun 30-vuotiaissa istutuskoivikoissa. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1997(3): 349–374.
- Peltola, A. 2002. (toim.). Metsätalustollinen vuosikirja. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2002. 378 s.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1994. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. Viides painos. Yliopistopaino, Helsinki. 569 s.
- Raulo, J. 1981. Koivukirja. Gummerus. 131 s.
- Verkasalo, E. 1997. Hieskoivun laatu vaneripuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 632. 483 s. + liitteet 59 s.
- Vilkon Oy. 1998 Koivusahatavaran, sahakoivun ja erikoiskoivun laatuvaatimuksia. Hirvensalmi. Moniste. 5 s.

23 viitettä