



■ Katri Paukkonen



■ Jari Luostarinen



■ Jukka Asp



■ Antti Asikainen

Katri Paukkonen, Jari Luostarinen, Jukka Asp ja Antti Asikainen

Koivusahatavaran muodon- ja värinmuutokset kuivauksessa

Paukkonen, K., Luostarinen, J., Asp, J. & Asikainen, A. 1999. Koivusahatavaran muodon- ja värinmuutokset kuivauksessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/1999: 227–238.

Tutkimuksessa selvitettiin erilaisten kuivauskaavojen vaikutusta koivusahatavaran muodonmuutoksiin sekä kuivausolojen vaikutusta puuaineen väriin. Koepuut kaadettiin kahdelta eri kasvupaikalta. Tutkitut laudat sahattiin eri osista runkoa käyttäen sekä tukin pinnan että ytimen suuntaista sahaustapaa. Kaksi lautaerää kuivattiin sääkaapissa eri kuivauskaavoilla, yksi erä sisällä normaaleissa huoneoloissa. Lisäksi yksi erä kuivattiin kamarissa. Laudoista mitattiin muodonmuutokset kuivauksen aikana, heti kuivauksen päätyttyä sekä työstökokeiden jälkeen. Kuivauksen jälkeen höylätyistä laudoista mitattiin heijastusspektrit spektrofotometrillä ja niistä laskettiin värikoordinaatit.

Tukin pinnan suuntaisesti sahatut laudat vääntyivät vähemmän kuin ytimen suuntaisesti sahatut laudat. Eri tavoin kuivattujen lautojen muodonmuutokset ja väri erosivat selvästi toisistaan. Huoneoloissa kuivatut laudat säilyivät väriltään hyvin vaaleina, kun taas sääkaapissa kuivatut laudat tummuivat. Tummuneet laudat sisälsivätkin selvästi vähemmän proanthosyanidiineja kuin vaaleina säilyneet laudat. Etenkin laudat, joiden lape oli säteen suuntainen, kieroutuivat ja vääntyivät voimakkaasti, mutta hajonta oli suuri sekä eri kuivauksien välillä että yksittäisissä kuivauksissa. Huoneoloissa kuivatut laudat säilyttivät parhaiten alkuperäisen muotonsa, mutta ne kutistuivat eniten. Havupuusahatavaraa varten standardoidut muotovikojen mittausten menetelmät osoittautuivat huonosti sopiviksi koivulle.

Asiasanat: koivu, sahatavara, kuivaus, värinmuutos, muodonmuutos

Yhteystiedot: *Paukkonen, Luostarinen ja Asikainen*, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu; *Asp*, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, Metsä- ja puutalousala, Väisälänkatu 4, 80160 Joensuu. Faksi (013) 251 3590, sähköposti katri.paukkonen@joensuu.fi

Hyväksytty 27.1.1999

1 Johdanto

Hies- ja rauduskoivu muodostavat kolmanneksi suurimman osan Suomen metsävaroista (n. 20 % puuston tilavuudesta). Järeiden (läpimitta yli 30 cm) koivujen osuus Suomen koivuvaroista on n. 10 %. Perinteisesti pelkästään järeitä koivuja on pidetty mekaanisen metsäteollisuuden raaka-aineeksi sopivina, mutta koivuvarojen järkevän hyödyntämisen kannalta myös pienempien koivujen käyttämistä huonekalujen, sisäverhouksen, parkeetin ym. erikoistuotteiden raaka-aineeksi olisi lisätävä. Koivun etuina huonekalu- ja sisäverhouksmateriaalina ovat sen puuaineen vaaleus sekä suuri kovuus painoon verrattuna. Ongelmia koivun käytössä aiheuttavat kuitenkin puuaineen viat, runkojen lenkous ja mutkikkuus (Heiskanen 1957) sekä kuivauksessa tapahtuvat muodon- ja etenkin värinmuutokset. Lisäksi koivun puuaineen ominaisuudet vaihtelevat kasvupaikan ja lajin mukaan (Heiskanen 1957). Suomessa kasvavista koivuista rauduskoivua (*Betula pendula* Roth) pidetään hieskoivua parempana, sillä se kasvaa kooltaan suuremmaksi, sen oksattoman rungon osuus on suurempi, se on rungoltaan suurempi ja siinä on vähemmän lahovikoja kuin hieskoivussa (*B. pubescens* Ehrh.) (esim. Heiskanen 1957). Hieskoivun puuaine taas on väriltään hieman vaaleampaa kuin rauduskoivun (Salmi 1987).

Koivutukin laatu ja arvo voidaan määrittää rungon koon ja muodon, oksien määrän ja koon, lahovikojen ym. perusteella, mutta näiden ominaisuuksien perusteella ei voida täysin ennustaa sahatavaran laadun säilymistä ja muuttumista kuivauksessa. Keinokuivauksen vaikutusta koivusahatavaran laatuun on tutkittu vähän ja se on keskittynyt halkeiluun (esim. Fjaertoft ja Bunkholt 1994, Jørgensen ym. 1995). Vain Johansson (1996) on tutkinut koivun puuaineen värinmuutosta, joka on vaikein ja jopa merkittävin ongelma koivua kuivattaessa. Puuaine tummuu saheiden sisältä sekä rimojen kohdalta. Näiden värivikojen syitä ei tunneta, eikä niitä ole erilaisia kuivauskaavoja kokeilemalla kokonaan pystytty eliminoimaan. Havupuilla puuaineen sisältämien hiilihydraattien ja typhen on todettu aiheuttavan värinmuutoksia kuivauksen aikana (Theander ym. 1993), mutta myös uuteaineiden, esim. feno-

lien, hapettuminen saattaa aiheuttaa värin tummumisen. Fenoliaineista etenkin tanniinit aiheuttavat kasvukunnassa yleisesti värjäytymistä. Kondensoituneiden tanniinien, esim. proanthosyanidiinien, polymerisoituminen kuumissa ja happamissa oloissa tuottaakin liukenemattomia punasävyisiä yhdisteitä (esim. Hillis 1985). Sokerivaahteralla on havaittu värjäävien yhdisteiden kerääntyvän puuaineen elävään solukkoon, parenkyymiin (ydinsäteet ja pitkittäisparenkyymi). Näitä yhdisteitä ei ole kuitenkaan tunnistettu (MacMillen 1975).

Kuivauslaadultaan hyvän koivusahatavaran tuottaminen on hankala ongelma sahoilla (esim. Verkasalo 1997). Kokeilemalla luodut kuivauskaavat saattavat yllättäen pettää ja tuottaa etenkin väriltään huonolaatuista sahatavaraa. Syitä laadun alenemiseen ei kuitenkaan ole selvitetty. Tässä tutkimuksessa selvitettiin kasvupaikan, puuaineen sijainnin rungolla pituus- ja paksuussuunnassa, tukin sahaus suunnan (ytimen ja pinnan suuntainen), ja vuosiluston orientaation laudassa vaikutusta kuivauslaatuun. Niitä on verrattu kolmen lämpötilaltaan ja ilman suhteelliselta kosteudelta erilaisen kuivauskaavan suhteen. Tavoitteena oli alustavasti selvittää, mitkä muuttujat ovat tärkeitä ja mitkä merkityksettömiä jatkotutkimusten kannalta. Sahausmenetelmien toimivuutta arvioitiin, ja havusahatavaranle standardoitujen muotovikojen mittaamenetelmien soveltuvuutta testattiin koivulle.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Aineisto

Koivut kaadettiin kahdelta pohjoiskarjalalaiselta 1800-luvun puolivälin tienoilla kasketulta kasvupaikalta (*Oxalis-Myrtillus*-tyyppi OMT ja *Vaccinium*-tyyppi VT) lokakuun lopussa, minkä jälkeen sää pysyi kuivana ja ilman lämpötila oli $-3...-5$ °C. Kummaltakin paikalta tutkimukseen valittiin suoria, järeitä ja latvukseltaan elinvoimaisen näköisiä koivuja. Kaikissa kaadetuissa puissa rungon sisäosa oli kuitenkin tummunut. Pehmeää lahoa sisältävät puut hylättiin. Valtapuu OMT-metsässä oli kuusi, männyn osuus oli n. 5 % ja hieskoivun samoin n. 5 %. VT-metsikkö oli hakattu kaksi vuotta

aikaisemmin ja samalla maa oli aurattu. Pystyyn oli jätetty vain rauduskoivusiemenpuut, joista tutkimusaineisto otettiin.

Kummaltakin kasvupaikalta katkottiin kymmenen koepuuta tukeiksi heti kaadon jälkeen. Tutkittavat tukit otettiin 2,5–5,0 m:n ja 10,0–12,5 m:n korkeudelta. Tukkeja varastoititiin metsässä kaksi viikkoa. Tiheys ja kosteus määritettiin kunkin tukin yläpuolelta otetuista puunäytteistä. Pintapuun kuivatiheydeksi saatiin n. 480 kg/m³ ja lähellä ydintä sijaitsevan terveen puuaineen kuivatiheydeksi n. 450 kg/m³ sekä OMT:llä että VT:llä. Pintapuun kosteusuhde oli n. 84 % ja ytimen lähellä sijaitsevan terveen puuaineen kosteusuhde n. 95 % kummallakin kasvupaikalla.

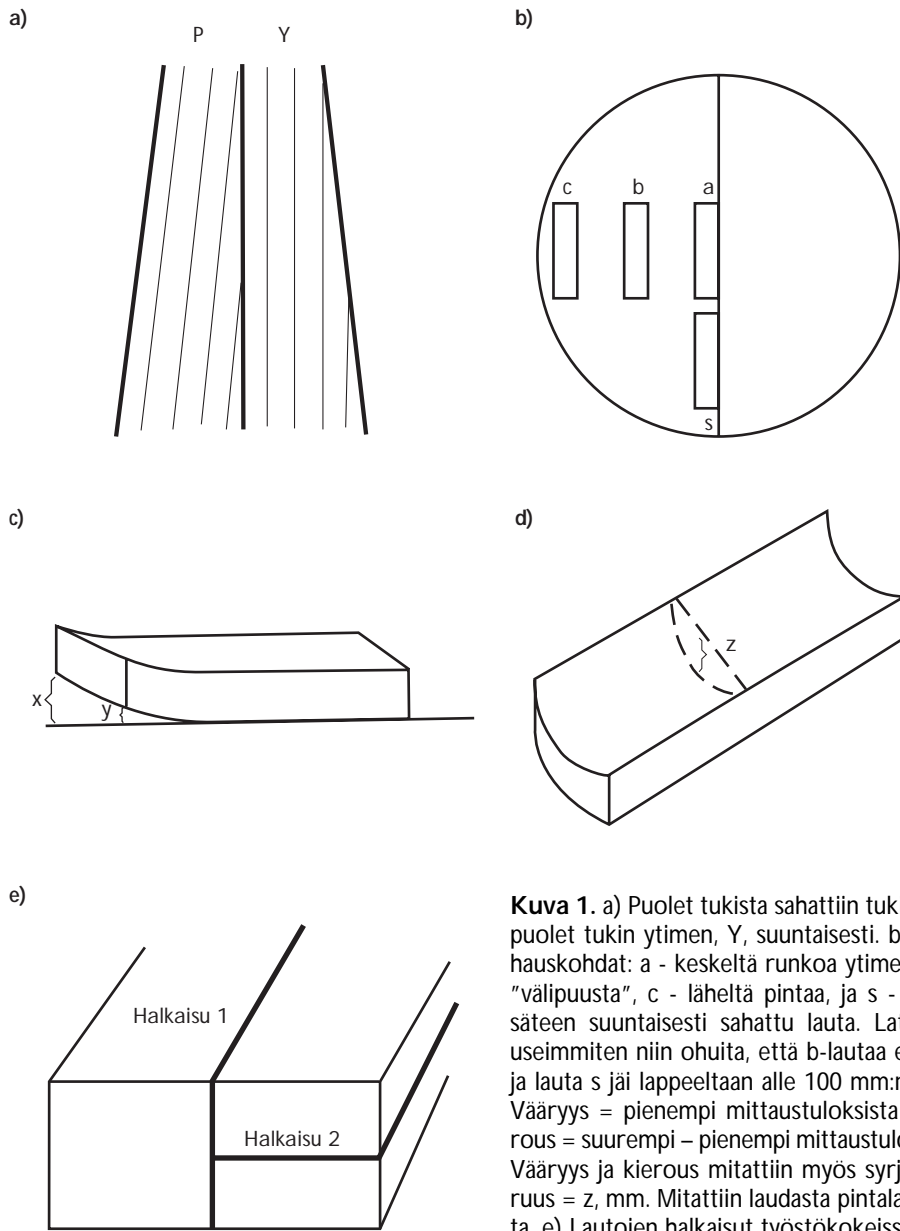
2.2 Sahaus ja kuivaus sekä muodonmuutosmittaukset

Kolme viikkoa kaadon jälkeen sahattiin neljä tukkia kummaltakin kasvupaikalta tuoremitoiltaan 25 mm × 105 mm × 2500 mm:n laudoiksi sekä tukin pinnan että ytimen suuntaisesti ja eri etäisyyksiltä ytimestä (kuvat 1a, b). Näitä lautoja käytettiin vertailuaineistona samalla kaavalla sääkaapissa kuivatuihin 670 mm:n mittaisiin lautoihin (ks. seuraava kappale). Kuivaus suoritettiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun kamarikuivaamossa. Sahatavara kuivatitiin n. 8 %:n loppukosteuteen Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun puukaupallisen insinöörilinjan opiskelijoiden kehittämällä kaavalla, jossa tavoitteena oli hyvä kuivaustulos (kuva 2). Ennen kuivausta lautoihin merkittiin latvapää tyvi- ja latvapään halkeiluherkkyyden vertaamiseksi. Lautojen päät peitettiin maalarinteipillä päistä tapahtuvan veden haihtumisen vähentämiseksi. Kuivauksen jälkeen teipit poistettiin, päähälkeamat laskettiin ja niiden pituudet mitattiin yksitellen digitaalisella Mitutoyo-työntömitalla. Myös lautojen pinnan halkeilu huomioitiin terveestä puuaineesta. Paksuus ja leveys mitattiin joka kymmenennestä laudasta, kummastakin päästä ja keskeltä digitaalisella Mitutoyo-työntömitalla. Mittaukset suoritettiin sekä tuoreille että kuivatuille laudoille. Kutistumisprosentti määritettiin tuoreen ja loppukosteuteen kuivatun laudan mittojen perusteella.

Loput tukit katkaistiin n. 1 m:n mittaisiksi ja sa-

hattiin kolmessa erässä. Kuhunkin erään kuului kahden puun tukit kummaltakin kasvupaikalta (yht. 8 tukkia). Laudat sahattiin tuoremittoihin 25 mm × 105 mm × 670 mm kunkin tukin tyvipäästä. Ennen kuivauksen aloittamista lautojen päät tasattiin, liimattiin PVAc-liimalla ja liimaus suojattiin paperilla päiden kuivumisen hidastamiseksi. Kaksi lauterää (n = 36) kuivatitiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun Arctest 120-40 -sääkaapissa: 1. erän (Kuivaus 1) kuivaus aloitettiin n. 4 vk ja 2. erän (Kuivaus 2) n. 6 vk kaadon jälkeen. Lisäksi yhden erän (Kuivaus 3) (n = 36) kuivaus aloitettiin 4,5 vk kaadon jälkeen sisällä laboratorioissa normaaleissa huoneoloissa, ts. lämpötila oli n. 20 °C, ilman suhteellinen kosteus n. 30 % eikä ilman kierrätystä järjestetty. Ensimmäinen erä (Kuivaus 1) kuivatitiin samalla kaavalla kuin kamarissa kuivatut laudat (kuva 2). Toisessa kuivauserässä (Kuivaus 2) käytettiin muutoin samaa kaavaa, mutta alkuun lisättiin ilman lämpötilan nosto n. 105-asteiseksi, jossa se pidettiin niin kauan, että lautojen sisälämpötila ehti nousta lähes sataan (n. 4 tuntia). Lämpötilan nostolla haluttiin selvittää hyvin korkean lämpötilan vaikutus puuaineen väriin sekä myös muodonmuutoksiin. Puun plastisuus lisääntyy lämpötilan noustessa, mikä saattaa vaikuttaa saheiden halkeiluun ja lopulliseen vääntymiseen (esim. Paajanen 1973). Tapulit pinottiin mäntyrimoin (25 mm × 25 mm) niin, että lautojen syrjät asetettiin kiinni toisiinsa. Sekä sääkaapissa että laboratorioissa tapulin päälle asetettiin paino, ja tavoitteena oli n. 8 %:n loppukosteus.

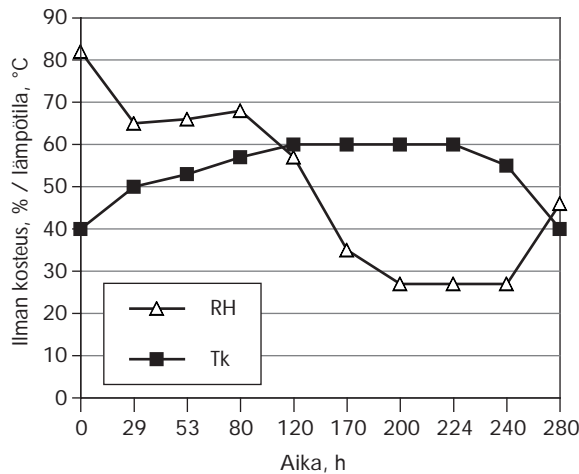
Juuri ennen kuivauksen aloittamista kuivauserien 1–3 laudoista mitattiin muodonmuutokset itse kehitetyin menetelmin, sillä havusahatavaralle standardisoidut muotovikojen mittauserämenetelmät (esim. Pohjoismainen ... 1994) osoittautuivat huonosti soveltuviksi koivulle. Muodonmuutokset mitattiin digitaalisella Mitutoyo-työntömitalla (tarkkuus 0,01 mm) niin, että laudan toisen pään molemmat kulmat tuettiin suoraa alustaa vasten ja toisen pään molemmista kulmista mitattiin laudan kohoaminen alustasta (kuva 1c). Väärydeksi katsottiin sekä lappeen että syrjän pituussuuntainen kohoaminen suorasta alustasta laudan toisessa päässä niin, että vääryys mitattiin siitä kulmasta, joka kohosi alustasta vähemmän. Kieroutena mitattiin sekä lappeen että syrjän kierremäinen poikkeama tasosta. Kierous



Kuva 1. a) Puolet tukista sahattiin tukin pinnan, P, ja puolet tukin ytimen, Y, suuntaisesti. b) Lautojen sahauskohdat: a - keskeltä runkoa ytimen vierestä, b - "välipuusta", c - läheltä pintaa, ja s - läheltä pintaa säteen suuntaisesti sahattu lauta. Latvatukit olivat useimmiten niin ohuita, että b-lautaa ei voitu sahata ja lauta s jäi lappeeltaan alle 100 mm:n levyiseksi. c) Vääryys = pienempi mittaustuloksista (y, mm); kierous = suurempi - pienempi mittaustulos (x - y, mm). Vääryys ja kierous mitattiin myös syrjältä. d) Koveruus = z, mm. Mitattiin laudasta pintalappeen puolelta. e) Lautojen halkaisut työstökokeissa.

määritettiin enemmän alustasta kohoavan kulman mukaan niin, että mittaustuloksesta vähennettiin vastaava lappeen tai syrjän suuntaisen vääryyden määrä. Koveruus mitattiin Mitutoyo-mittakellolla (tarkkuus 0,01 mm) laudan keskeltä pintalappeen puolelta (kuva 1d). Koveruudesta ei voitu mittakel-

lon rakenteen vuoksi mitata alle 95 mm:n levyisistä laudoista, joihin lukeutui suurin osa s-laudoista. Vuosilustojen orientaatio määritettiin lautojen a ja s lappeessa säteen ja syrjässä tangentin suuntaiseksi kun taas b- ja c-laudoissa (kuva 1a) syrjä määritettiin säteen ja lape tangentin suuntaiseksi. Kaikis-



Kuva 2. Kuivauskaava. RH - ilman suhteellinen kosteus, Tk - kuivalämpötila.

ta neljästä eri kohdasta sahattuja lautoja käsiteltiin erikseen vain määritettäessä puuaineen iän vaikutusta muodonmuutoksiin. Kuivauskaavoja vertailtaessa osoittautui järkeväksi yhdistää a- ja s-laudat yhdeksi ja b- ja c-laudat toiseksi ryhmäksi niin, että vääryys ja kierous ilmaistaan säteen ja tangentin suuntaisina, ei lappeen ja syrjän vääryytenä ja kieroutena. Lisäksi mitattiin kustakin kuivauserästä viiden laudan leveys ja paksuus kummastakin päästä ja keskeltä. Em. mittaukset sekä punnitus toistettiin sääkaapissa kuivatuille laudoille 2–3 kertaa kuivauksen aikana sekä heti kuivauksen päätyttyä lopukosteudessa. Laboratoriossa kuivuneet laudat mitattiin yhteensä kahdeksan kertaa, sillä niiden kuivausaika oli huomattavasti pidempi (51 päivää).

Muodonmuutosmittaukset uusittiin höyläys- ja halkaisukokeiden jälkeen. Laudat höylättiin heti laboratoriuokivauksen päätyttyä (muiden kuivauksien päättymisestä n. 5 ja 7 viikkoa) 19 mm × 95 mm:n kokoisiksi. Höyläyksestä vuorokauden kuluttua tehtiin samat mittaukset kuin kuivauksen aikanakin. Tämän jälkeen laudat halkaistiin kahdesti, ensin lappeen keskeltä, sitten ensimmäisessä halkaisussa saadun puolikkaan syrjän keskeltä (kuva 1e). Kieroutuminen ja vääryys mitattiin toisesta puolikkaasta heti kummankin halkaisun jälkeen, kovertumista ei voitu mitata mittakellon rakenteen vuoksi.

2.3 Värimittaukset ja proanthosyanidiinien määrittäminen

Kuivauserien 1–3 jokaisen laudan väri mitattiin Minolta CM2002 -spektrofotometrillä sekä säteen tangentin suuntaiselta höyläpinnalta. Arvot määritettiin jokaisesta kappaleesta lappeelta viiden ja syrjältä kolmen (kirjattiin ylös säteen ja tangentin suuntaisina pintoina) mittauksen keskiarvona (mittausalan halkaisija 11 mm). Heijastusspektreistä määritettiin $L^*a^*b^*$ -värikoordinaatit, jossa L^* :n suuret positiiviset arvot (max. 100) osoittavat värin kirkkautta, a^* :n positiiviset luvut osoittavat punaista ja negatiiviset vihreää sekä b^* :n positiiviset arvot keltaista ja negatiiviset sinistä (Hunt 1991, Precise color ... 1994).

Värin syntymisen kemialla selvitettiin määrittämällä kondensoituneisiin tanniineihin kuuluvien proanthosyanidiinien pitoisuudet kuivauksen jälkeen otetuista näytteistä. Värittömät proanthosyanidiinit analysoitiin A. Hagermanin (1995) modifioimalla Porterin ym. (1986) kehittämällä menetelmällä, jossa ne hydrolysoidaan happamassa butanolissa värikköiksi syanidiineiksi. Niiden konsentraatio voidaan määrittää spektrofotometrillä mittaamalla absorptiota 550 nm:n kohdalta. Näissä analyyseissä menetelmän testaus oli pääasia, ja saadut tulokset edustavat vain 1–2 lautaa kustakin kuivauserästä. Tulokset kuitenkin esitetään, sillä erot pitoisuuksissa olivat erittäin selvät.

2.4 Aineiston käsittely tilastollisesti

Puuaineen sijainnin, sahaussuunnan sekä kuivausolojen vaikutusta muodon- ja värinmuutoksiin analysoitiin SPSS-tilasto-ohjelmiston varianssianalyysillä sekä osittain Kruskal-Wallis testillä parametrittomalla varianssianalyysillä (Ranta ym. 1989, SPSS for Windows... 1993a,b).

3 Tulokset

3.1 Sahaus- ja mittausmenetelmät

Tukin sahaus niin, että toinen puoli sahattiin pinnan ja toinen ytimen suuntaisesti, onnistui hyvin

mutta se sujui hitaasti: yhden tukin sahaus vei n. 10–15 minuuttia. Lyhyiden tukkien (n. 1 m) sahaus vaati yhtä paljon aikaa kuin pitkien tukkien sahaus. Kuitenkin lyhyiden tukkien sahaaminen haluttuihin mittoihin oli epävarmempaa kuin pitkien, sillä ne pääsivät helpommin siirtymään pois paikaltaan pyörörsahan pöydällä. Lyhyiden (67 cm), päistään liimattujen lautojen kuivuminen loppukosteuteen vei sääkaapissa koko kuivausajan, mikä todettiin seuraamalla lautojen massan alenemista kuivauksien ajan. Lautojen päiden syiden tukkiminen liimaamalla oli helpompi ja luotettavampi keino kuin niiden peittäminen maalarinteipillä.

Koivulautojen muotovikojen mittaaminen havusahtavaralle standardoiduin menetelmin (esim. Pohjoismainen ...1994) osoittautui hankalaksi, sillä koivusahtavarassa yleiset oksat, vaihtelevan suuntaiset syyt ja vuosilustojen orientaatio laudassa väänsivät lautoja erittäin monimuotoisesti. Pelkkä lappeen ja syrjän mukainen muodonmuutosten mittaaminen ei ollut riittävää, vaan säteen ja tangentin suuntautuminen laudassa oli otettava mittaauksissa huomioon. Standardimenetelmiä ei siten suoraan käytetty, sillä etenkin kieroutumista mitattaessa laudan vääryys sekä tangentin että säteen suuntaan saattoivat aiheuttaa melko suurenkin virheen kieroutu-

mistulokseen. Myös vääryys sekä säteen että tangentin suuntaan täsmälleen standardin mukaisesti mitattuna oli hankalaa lautojen hyvinkin epämääräisen muodon vuoksi.

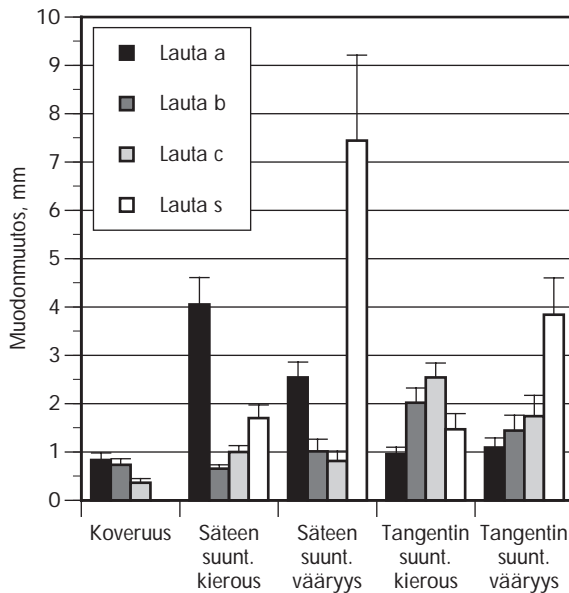
3.2 Kasvupaikka ja puuaineen ikä

OMT:n hies- ja VT:n rauduskoivujen puuaineen muodonmuutoksissa havaittiin eroa vain toisen halkaisun jälkeen (taulukko 1a). Eri kasvupaikoilla kasvaneiden hies- ja rauduskoivun puuaineiden välillä ei havaittu eroa kuivauksen jälkeen.

Kuivauksessa tapahtuvat muodonmuutokset erosivat eri ikäisissä puuaineissa. Lähes samansuuntaisesti leikkautuneiden lautojen b ja c väliset muodonmuutoserot olivat pienet kaikissa mitatuissa tapauksissa (kuva 3), kun taas a- ja s-lautojen välillä havaittiin selvästi suuremmat erot etenkin säteen-suuntaisissa muodonmuutoksissa (kuva 3). Kuitenkin laudalla a, joka sisälsi nuorpuuta, vain säteen suuntainen kierous oli suurinta, mutta muut muodonmuutokset olivat suhteellisen pieniä. Tyvi- ja latvatukeista sahattujen lautojen muodonmuutoksissa havaittiin eroa vain toisen halkaisun jälkeen (taulukko 1b). Lisäksi laudan tyvi- ja latvapään keski-

Taulukko 1. Muodonmuutoserot toisen halkaisun jälkeen a) kasvupaikoittain ja b) sijainneittain rungossa (mm ± SE). c) Sahaussuunnan (pinnan vs. ytimen suuntainen sahaus) vaikutus päässä esiintyvien kuivaushalkeamien pituuteen.

a)						
Muodonmuutos	OMT	VT	χ^2	df	p	
Vääntyminen tangentin suuntaan, mm (± SE)	2,8 (0,29)	2,2 (0,33)	4,833	1	0,0279	
Kieroutuminen säteen suuntaan, mm (± SE)	0,8 (0,10)	0,6 (0,10)	5,182	1	0,0228	
b)						
Muodonmuutos	Tyvitukki	Latvatukki	χ^2	df	p	
Kieroutuminen tangentin suuntaan, mm (± SE)	0,8 (0,10)	0,6 (0,11)	4,789	1	0,0286	
c)						
Vikaantumisen	Pinta	Ydin	F	df	p	
Halkeaman pituus laudan latvapäässä, mm (± SE)	12,6 (1,84)	15,2 (2,69)	9,182	1	0,039	



Kuva 3. Muodonmuutokset (mm ± SE) eri paikoista runkoa sahatuissa laudoissa. Laudan s koveruus jätetty pois, sillä sitä ei mittakellon rakenteen vuoksi voitu mitata valtaosasta s-lautoja.

määräinen kutistuminen poikkesivat toisistaan, mutta hajonta oli suuri. Puuaineen iän ei havaittu vaikuttavan sen värin muuttumiseen kuivauksessa.

3.3 Sahaussuunta ja kuivauskaavat

Pinnan- ja ytimen suuntaisesti sahattujen lautojen päät halkeilivat kamarikuivauksessa eri tavoin. Halkeaman keskipituus oli suurempi ytimen kuin pinnan suuntaisesti sahatuissa laudoissa (taulukko 1c). Lautojen pinnassa terveessä puuaineessa ei havaittu ollenkaan halkeamia. Pintahalkeamia havaittiin vain ytimen ympäristön tummuneessa puuaineessa. Ytimen suuntaisesti sahattujen lautojen muodonmuutokset olivat höyläyksen ja toisen halkaisun jälkeen hieman suurempia kuin pinnan suuntaisesti sahattujen lautojen, mutta ero ei ollut merkitsevää. Ensimmäinen halkaisu ei aiheuttanut eroa muodonmuutoksiin pinnan ja ytimen suuntaisesti sahattujen lautojen välille.

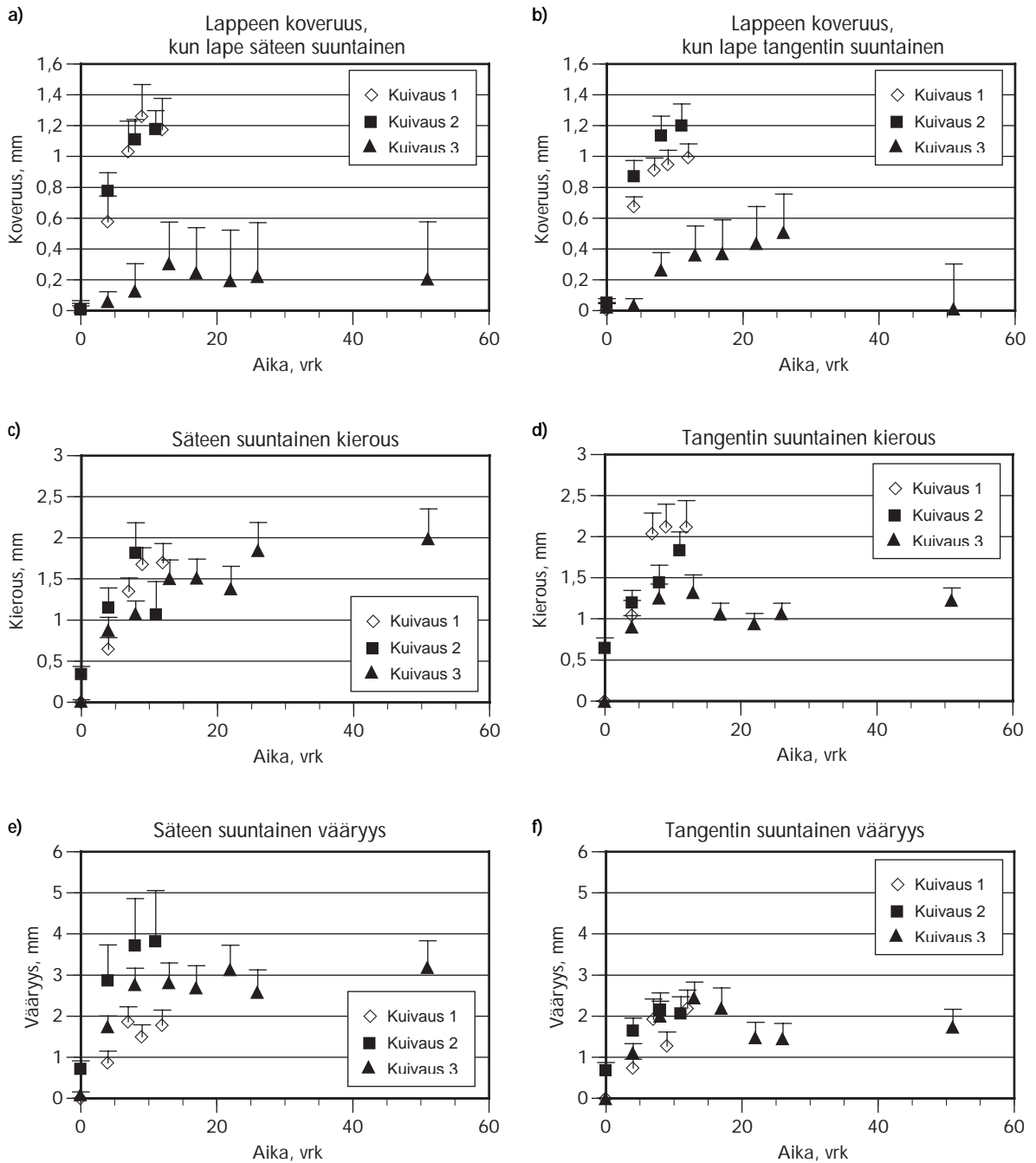
Eri kuivauskaavat vaikuttivat eri tavoin muodonmuutosten syntyymiseen. Mikään kuivauskaavoista

ei ollut muodonmuutosten suhteen selkeästi paras tai huonoin (kuva 4). Useimmissa tapauksissa kuitenkin muodonmuutokset olivat pienimpiä huoneilma-kuivauksessa (etenkin ulkolapteen kovertuminen mutta myös tangentin suuntaiset vääryys ja kierous, jotka saattoivat jopa hieman palautua kaksi viikkoa kuivauksen aloittamisen jälkeen, jolloin puun kosteussuhde oli n. 20 %) (kuva 4). Uunikuivaus normaalissa kuivauslämpötilassa (Kuivaus 1, $T_{max} = 60\text{ °C}$) aiheutti vähiten vääristymistä ja kieroutumista säteen suuntaan. Nimenomaan säteen suuntaisessa vääristymisessä havaittiin muutoinkin suurin hajonta sekä kuivauksien välillä että niiden sisällä. Lape kovertui jotakuinkin yhtä paljon huolimatta sen sahaussuunnasta.

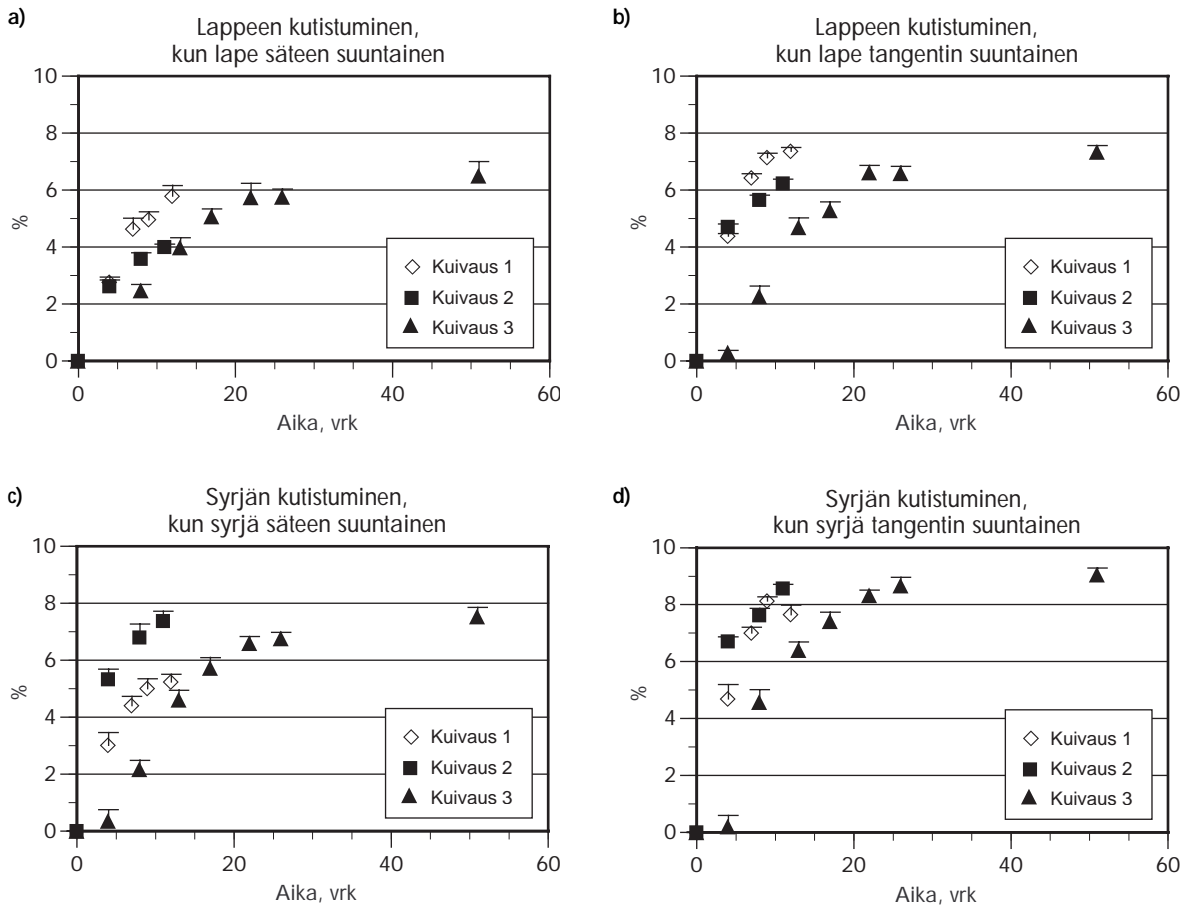
Kutistuminen (tässä: mittojen muutos tuoreesta loppukosteuteen) erosi selkeästi kuivauserissä 1–3 (kuva 5). Suurimmillaan se oli huoneenlämmössä kuivatuilla kappaleilla (kosteussuhde kuivauksen lopussa n. 8 %), ja sääkaapissakin kuivattujen kahden erän kutistumismäärät poikkesivat toisistaan. Kuumennuksen sisältäneen kuivauksen (Kuivaus 2, kosteussuhde kuivauksen lopussa n. 10 %) laudat kutistuivat lappeelta vähiten riippumatta siitä, oliko lape säteen vai tangentin suuntainen. Vastaavasti syrjä kutistui Kuivaus 1:ssä vähiten (kosteussuhde kuivauksen lopussa n. 8 %). Kamarissa kuivatut laudat (loppukosteus n. 8 %) kutistuivat molempiin suuntiin yhtä paljon kuin vastaavalla kaavalla kuivatut laudat sääkaapissa (Kuivaus 1).

Kamarikuivatut laudat tummuivat kuivauksen aikana hieman kuten sääkaapissa samalla kaavalla kuivatut laudat. Sääkaapissa kuivattaessa puuaineen väri tummui Kuivauksessa 2 enemmän kuin Kuivauksessa 1, kun taas huoneoloissa kuivuneet laudat säilyivät hyvin vaaleina (kuva 6). $L^*a^*b^*$ -värikoordinaatistolla mitattuna etenkin kirkkaus (L^*) väheni sääkaapissa kuivattaessa (Kuivaus 1 ja 2), kun taas sekä keltaisen (b^*) että punaisen (a^*) sävyt lisääntyivät. Keltaisen hajonta oli suuri tangentin suuntaisilla pinnoilla johtuen lustojen kuvioinnista, mutta eri suuntaisten pintojen keskimääräiset värit eivät eronneet toisistaan kuivauksen jälkeen.

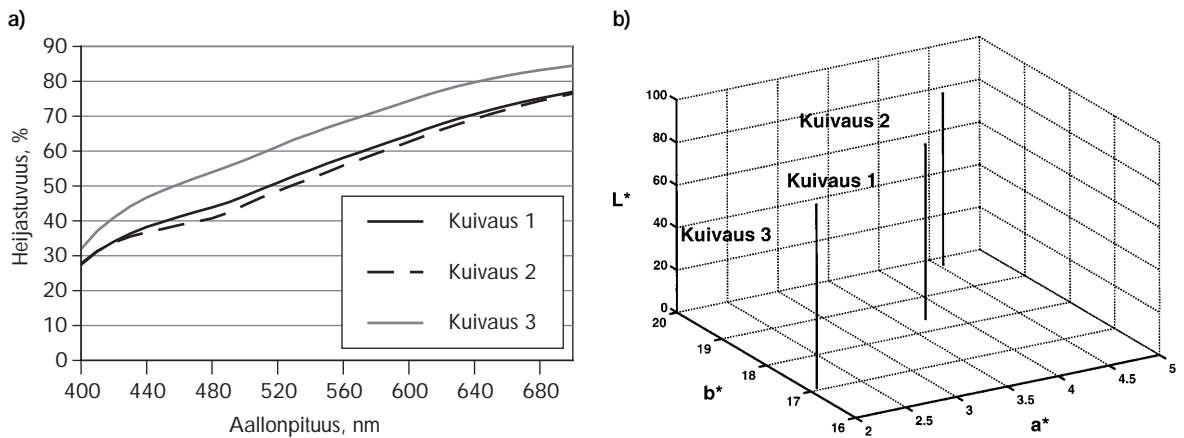
Proanthosyanidiinien pitoisuus oli suurin huoneoloissa kuivatuissa vaaleina säilyneissä laudoissa ja pienin eniten tummuneen kuivauserän 2 laudoissa (kuva 7).



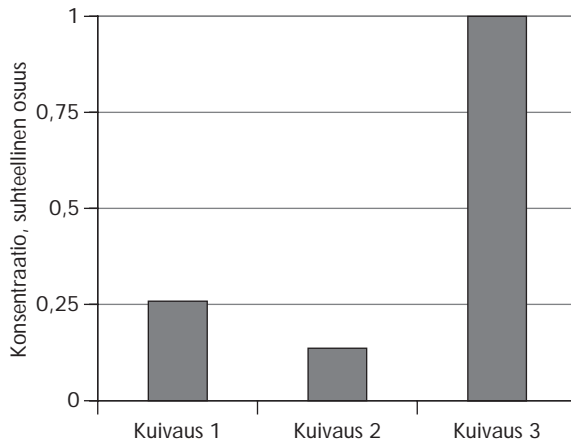
Kuva 4a-f. Tangentin ja säteen suuntaisten muodonmuutosten (mm ± SE) kehittyminen kuivauksen aikana kuivaus-erittäin.



Kuva 5a-d. Lappeen ja syrjän kutistuminen (%) kuivauksen aikana kuivauserittäin.



Kuva 6. a) Kuivauserien 1–3 lautojen heijastusspektrit kuivauksen ja höyläyksen jälkeen. b) Erien 1–3 lautojen väriero esitettyinä L*a*b*-koordinaatistossa.



Kuva 7. Proanthosyanidiinien määrä anthosyanidiini-ekvivalentteina. Huoneoloissa (kuivaus 3) kuivatun puuaineen proanthosyanidiinimäärää kuvataan luvulla 1, johon muiden kuivauksien proanthosyanidiinipitoisuudet suhteutettiin.

4 Tulosten tarkastelu

Havusahatavaralle standardoidut vääryyden ja kierouden mittaukset eivät tämän tutkimuksen mukaan sovellu hyvin koivulle, sillä sekä vääryys että kierous voivat koivulaudassa olla hyvin epäsäännöllisiä. Kierous standardin mukaisesti mitattuna olisi sisältänyt myös vääryyden määrän. Tässä tutkimuksessa käytettiin mittauksia, joiden lopputulokseen lautojen epämääräinen muoto vaikutti vähiten ja joilla vääryys ja kierous pystyttiin erottamaan toisistaan. Kierouden mittaamiseen paras menetelmä olisi kuitenkin sen mittaaminen asteina. Koivulautojen epäsäännöllinen muoto kuivauksen jälkeen johtuu sekä oksista että syiden orientaatiosta. Koivulla syy-suunta voi saheessa vaihdella runsaasti, koska koivu kasvaa sympodiaalisesti (ks. esim. Kalela 1971) ja on siten rungoltaan mutkainen toisin kuin monopodiaaliset mänty ja kuusi. Syy-suuntaan vaikuttaa lisäksi sahausuunta, minkä vuoksi tukin pinnan suuntaista sahaustapaa olisi syytä suosia etenkin voimakkaasti kapenevia tyvitukkeja sahattaessa (Verkasalo 1997). Myös vuosilustojen orientaatio saheessa vaikuttaa muodonmuutosten suuntaan ja määrään (Dahlblom ym. 1996, Ormarsson ym. 1996). Tämä havaittiin tutkituilla koivulautoilla

selvästi. Muodonmuutosten hajonta tosin oli suuri, minkä vuoksi muodonmuutoksia tutkittaessa mitattavien saheiden määrän pitäisi olla suuri. Standardien mukainen käytännön puukauppaan kehitetty tapa mitata lape- ja syrjäväääryyttä ei ole tutkimuksen kannalta riittävän tarkka ainakaan koivun osalta, vaan myös vuosilustojen orientaatio on huomioitava. Vuosilustojen suunnan selkeä vaikutus muodonmuutoksiin ja muodonmuutosten erot eri kuivauskaavoilla kuivattaessa viittaavat siihen, että käytännössä koivusahatavara kannattaa lajitella vuosilustojen orientaation mukaan eri kuivauskuormiin.

Lautojen päiden halkeilun kannalta pinnan suuntainen sahaus oli lievästi parempi kuin ytimen suuntainen sahaus. Käytännön merkitystä päiden halkeilulla ei kuitenkaan ollut, sillä ko. halkeamat olivat erittäin pieniä. Myöskään pintahalkeilu ei ole koivusahatavaralla ongelma toisin kuin havusahatavaralla (Forsén ym. 1993). Pintahalkeamia ei terveessä koivun puuaineessa havaittu ollenkaan, mikä vastaa aiemmin saatuja tuloksia (Jørgensen ym. 1995). Tässä kuten myös Jørgensenin ym. (1995) tutkimuksessa pintahalkeamia esiintyi vain ytimen kohdalla. Ytimen halkeilulla ei ole käytännön merkitystä, koska ytimen ympäristön lähes aina tummunutta puuainetta voidaan käyttää vain kohteisiin, joissa ulkonäöllä ei ole merkitystä, kuten pakkausmateriaaliksi ja polttopuiksi.

Koivun puuaineen kutistumisen määrä näyttää olevan sidoksissa kuivausprosessiin. Erot eri kuivauserien loppukosteuksissa eivät kokonaan selitä kutistumiseroja, sillä kosteimmaksi (n. 10 %) jääneen erän 2 laudat kutistuivat syrjältään enemmän kuin erän 1 laudat (loppukosteus n. 8 %). Sen sijaan lape kutistui erän 2 laudoissa vähiten, mikä on loppukosteuden mukainen tulos. Myös eräällä mäntylajilla on todettu puuaineen kutistuvan sitä vähemmän, mitä kuumemmassa puu kuivattiin (Price ja Koch 1980), kun taas punatammen puuaine on kutistunut vähiten miedoimmissa kuivausoloissa (McMillen 1955). Tässä tutkimuksessa kamarissa kuivatut pitkät laudat ja sääkaapissa samalla kaavalla kuivatut lyhyet laudat kutistuivat yhtä paljon, niiden loppukosteus oli sama ja lyhyiden lautojen kuivuminen kesti kuivauksen loppuun asti. Siksi kuivaustutkimuksessa voidaan käyttää lyhyitä saheita pitkien sijasta etenkin kuivumisen edistymistä ja kappaleiden kutistumista (ks. myös Simpson

ym. 1994) mutta myös värinmuutosta tutkittaessa. Sekä loppukosteuden, kutistumisen että värin häjonnat olivat pienet, joten laboratoriokokoisen kuivausuunin pieni kapasiteetti riittää niiden tutkimiseen.

Erä 2 jäi loppukosteudeltaan mörinäksi, vaikka kuivauslämpötila oli osittain korkeampi kuin erässä 1. Ilmeisesti syynä oli kuivauksen raju alku, joka voi aiheuttaa pintakovuudesta johtuen jännityksiä ja lisäksi hidastaa puun sisäosien kuivumista. Puun pintaan muodostuva lähes kuiva kerros vaikeuttaa lämpöenergian siirtoa kappaleen sisälle sekä katkaisee yhtenäisen kapillaari-imun kappaleen sisäosista ilmaan, joten sisempänä puussa oleva vapaa vesi joutuu höyrystymään kulkeakseen pintakerroksen läpi. Kuiva pintakerros yhdistettynä kuumiin oloihin voi olla myös sisäosien värinmuutoksiin vaikuttava tekijä. Keinokuivatulle koivupuulle on tyypillistä kappaleen kellastuneen ulkopinnan alla oleva muutaman millimetrin paksuinen vaaleana säilynyt pintakerros, jonka sisäpuolelta puu on tummunut. Tummumisaste johtuu paitsi kuivausoloista myös kuivausajan pituudesta (Johansson 1996). Alustavien tulosten mukaan tummuminen voi osittain johtua proanthosyanidiinien polymerisoitumisesta, sillä tummuneesta puusta niitä uutui selvästi vähemmän kuin vaaleana säilyneestä puusta. Kun saheet kuivattiin hitaasti huoneoloissa, värieroa pinnan ja sisäosien välille ei syntynyt, vaan koivupuuta pysyi kauttaaltaan vaaleana. Huoneolot (lämpötila n. 20 °C, ilman suhteellinen kosteus n. 30 %) vastaavat niitä oloja, joiden on kokeellisesti todettu tuottavan myös sokerivaahtera kuivattaessa väriltään halutuinta, hyvin vaaleaa puuta. Tällöin aikaa kuivumiseen kuluu kuitenkin selvästi enemmän kuin kaupallisesti olisi toivottavaa (McMillen 1968, 1976).

Koivun kuivaututkimus on toistaiseksi erittäin vähäistä. Siksi tarkka tieto jopa koivun kuivauksen merkittävimmistä ongelmista puuttuu. Tässä tutkimuksessa keskityttiin nimenomaan koivusaheen laatua kuvaavien parametrien määrittämiseen sekä havusahatavaratutkimuksista saatujen kokemusten soveltamiskelpoisuuden arviointiin koivututkimuksessa. Muotovikojen tutkimus vaatii yksityiskohtaisempaa mittausta koivulla kuin havupuilla, sillä lustojen orientaatio saheessa on huomioitava. Kasvu paikan vaikutus puuaineen värinmuutoksiin kui-

vauksessa vaatii lisäselvitystä, samoin kaatoajan kohta ja tukkien varastoinnin ajankohta ja kesto, sillä kasvukauden eri vaiheissa puun sisältämien ravinte- yms. aineiden määrät vaihtelevat. Sahatavaran valmistukseen liittyvien tekijöiden ja kuivauksen yhteisvaikutus koivusahatavaran laadulle on selvitettävä, jotta koivun kuivauslaatu pystyttäisiin pitämään mahdollisimman korkeana.

Kiitokset

Arvokasta tietoa proanthosyanidiinien analyysimenetelmästä antoi FT Riitta Julkunen-Tiitto. Rauni Oksman teki osan proanthosyanidiinianalyysistä. Pekka Laitinen avusti käytännön töissä, ja Keijo Silfsten sahasi tukit ja hoiti kamarikuivauksen Puukaupallisen metsätalousinsinööriin opiskelijoiden tekemällä kuivauskaavalla. Kiitämme heitä kaikkia.

Kirjallisuus

- Dahlblom, O., Ormarsson, S. & Petersson, H. 1996. Simulation of wood deformation processes in drying and other types of environmental loading. *Annales des Sciences Forestières* 53(4): 857–866.
- Fjaertoft, F. & Bunkholt, A. 1994. Sorteringsreglement for tømmer og trelast av bjørk, – resultater fra skurforsøk. Summary: Grading rules for sawlogs of birch, – results of sawing experiments. *Norsk Institutt for Skogforskning, Rapport 18/94*. 22 s.
- Forsén, H., Ranta-Maunus, A., Hakala, J. & Siimes, H. 1993. Sahatavaran halkeilu teollisuuden koekuivauksissa. VTT:n julkaisuja 787. 45 s. + 6 liitettä.
- Hagerman, A.E. 1995. Tannin analysis. Department of Chemistry, Miami Univ., Oxford, Ohio, USA. [A.E. Hagermanin kokoama menetelmämoniste]
- Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 48(6). 99 s.
- Hillis, W.E. 1985. Biosynthesis of tannins. *Julkaisussa: Higuchi, T. (toim.). Biosynthesis and biodegradation of wood components*. Academic Press, USA. s. 325–348.
- Hunt, R.W.G. 1991. Measuring color. *Ellis Horwood series in applied science and industrial technology*. 2. painos. 313 s.

- Johansson, J. 1996. Colour changes from conventional air-drying of birch. M.Sc. thesis, Luleå Tekniska Universitet, Inst. Skellefteå.
- Jørgensen, P.F., Tronstad, S. & Tengs, A. 1995. Tørking av bjørk. KanEnergi ja Norsk Treteknisk Institutt, Rapport 29. Oslo. 46 s + 10 liitettä.
- Kalela, A. 1971. Kasviorganologia. Otavan korkeakoulukirjasto. 180 s.
- McMillen, J. 1955. Drying stresses in red oak: effect of temperature. *Forest Products Journal* 5: 230–241.
- 1968. Prevention of pinkish-brown discoloration in drying maple sapwood. USDA Forest Service, Research Note FPL-0193.
- 1975. Physical characteristics of seasoning discolorations in sugar maple sapwood. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Research Paper FPL-248. Madison, WI. 31 s.
- 1976. Control of reddish-brown coloration in drying maple sapwood. USDA Forest Service, Research Note FPL-0231.
- Omarsson, S., Dahlblom, O. & Petersson, H. 1996. Influence of annual ring orientation on shape stability of sawn timber. Julkaisussa: Cloutier, A., Fortin, Y. & Gosselin, R. (toim.). Quality wood drying through process modelling and novel technologies. 5th Int. IUFRO Wood Drying Conference Proc., Quebec City, Canada, August 13–17, 1996. s. 427–436.
- Paajanen, T. 1973. Sahatavaran kuivausvikoihin, erityisesti halkeiluun, vaikuttavista tekijöistä. VTT, Puulaboratorio, Tiedonanto 4. 22 s.
- Pohjoismainen sahatavara. Lajitteluohjeet. 1994. Suomen sahateollisuusmiesten yhdistys. 64 s. + 16 kuvasivua.
- Porter, L.J., Hrstich, L.N. & Chan, B.G. 1986. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochemistry* 25: 223–230.
- Precise color communication. Color control from feeling to instrumentation. 1994. Minolta Co., Ltd. Osaka, Japani. 49 s.
- Price, E.W. & Koch, P. 1980. Kiln time and temperature affect shrinkage, warp, and mechanical properties of southern pine lumber. *Forest Products Journal* 30: 41–47.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989. *Biometria*. Yliopistopaino, Helsinki. 569 s.
- Salmi, J. 1987. Koivun puuaineen ominaisuudet ja käyttö. *Sorbifolia* 18(3): 123–132.
- Simpson, W.T., Tschernitz, J.L. & Sarfo, J.S. 1994. Short, clear specimens for estimating drying time of sugar maple lumber. *Wood Fiber Science* 26: 171–177.
- SPSS® for Windows™. 1993a. Base system user's guide, release 6.0.1993. SPSS Inc., Chicago, USA.
- SPSS® for Windows™. 1993b. Advanced statistics, release 6.0.1993. SPSS Inc., Chicago, USA.
- Theander, O., Bjurman, J. & Boutelje, J.B. 1993. Increase in the content of low-molecular carbohydrates at lumber surfaces during drying and correlations with nitrogen content, yellowing and mould growth. *Wood Science and Technology* 27: 381–389.
- Verkasalo, E. 1997. Koivun ominaisuudet ja mahdollisuudet saha- ja huonekalupuuna Suomessa. Puuteknologian MMT-opintojen kirjallisuustyö. Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos.

27 viitettä