

Kuusi- ja mäntysahatavaran värinmuutokset kuivauksessa

Jaakko Repola, Pekka Saranpää ja Veikko Tarvainen

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 804, 2001

Kuusi- ja mäntysahatavaran värinmuutokset kuivauksessa

Jaakko Repola, Pekka Saranpää ja
Veikko Tarvainen

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS

Repola, J., Saranpää, P. ja Tarvainen, V. 2001. Kuusi- ja mäntysahatavaran värinmuutokset kuivauksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 804. 29 s + 1 liites. ISBN 951-40-1774-9. ISSN 0358-4283.

Sahatavaran kuivauksen tavoitteena on sahatavaran säilyvyyden ja käyttöominaisuuksien parantaminen. Mitä nopeampaa kuivauskaavaa käytetään ja mitä alhaisempaan loppukosteuteen puutavara kuivataan sitä herkemmin syntyy kuivausvikoja. Kuivausviat voivat näkyä heti kuivauksen jälkeen tai vasta myöhemmin jatkokäsittelyssä. Sahatavaran keinokuivauksessa on viime vuosina käytetty entistä korkeampia kuivauslämpötiloja. Samalla myös kuivausviat, mm. väriviät ovat yleistyneet.

Väriviät syntyvät yleensä kuivauksen alkuvaiheessa, jolloin veden haihtuminen puusta on nopeaa. Värivikojen aiheuttajina on pidetty erilaisten uuteaineiden rikastumista saheen pintaan. Uuteaineiden kertyminen saheen pintaan on sitä voimakkaampaa mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa käytetään ja mitä korkeampi on puun uuteainepitoisuus. Pintapuussa uuteaineet ovat lähinnä ravinteita ja sydänpuussa erilaisia pihka-aineita.

Tutkimuksessa selvitettiin sekä kuivauslämpötilan ja -tavan, puun kaatoajankohdan, kasteluvarastoinnin että kasvupaikan viljavuuden vaikutusta mänty- ja kuusisahatavaran kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin. Kuivauslämpötiloja oli neljä (50, 70, 90 ja 110 astetta). Puun kaatoajankohdat olivat talvi, kevät ja syksy.

Kuivauslämpötila oli merkittävin värimuutosten aiheuttaja. Etenkin tummuminen oli sitä voimakkaampaa mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Kuivauslämpötilan nosto lisäsi värimuutoksen voimakkuutta sekä saheen pinnassa että saheen sisällä. Korkeat kuivauslämpötilat merkitsivät myös epätasaisempaa lopputulosta eli väri vaihtelu sekä saheessa että saheiden välillä kasvoi. Tasalaatuisin lopputulos saatiin käyttämällä alhaisia, 50 ja 70 asteen kuivauslämpötiloja.

Kuivauksessa syntynyt värikerros ulottui sitä syvemmälle saheeseen mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa käytettiin. Korkeissa ja matalissa lämpötiloissa kuivattujen saheiden väliset värierot eivät kokonaan hävinneet edes 2 millimetrin höyläyksellä.

Pintasaheiden värimuutokset olivat sydänsaheita voimakkaampia. Pintasaheissa voimakkaat värimuutokset tulivat esille myös alhaisemmissa lämpötiloissa kuin sydänsaheissa. Kuivauksessa syntynyt värikerros oli sydänsaheissa aivan saheen pinnassa (0,5 mm), mutta pintasaheissa kuivauslämpötilan merkitys värikerroksen paksuuteen oli voimakkaampi.

Alipaine-kuivauksessa saheiden väriviät olivat vähäisempiä kuin kamarikuivauksessa. Myös puristus-kuivauskokeet korkeassa 140 asteen lämpötilassa antoivat myönteisen kuvan menetelmän soveltuvuudesta. Puun kaatoajankohdan sekä kasteluvarastoinnin merkitys saheiden värimuutoksiin oli käytännön kannalta vähäinen. Höyläämättömässä pinnassa värierot olivat osittain vielä havaittavissa, mutta eivät enää höylätyssä pinnassa. Kasvupaikan viljavuudella ei ollut merkitystä saheiden kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin.

Avainsanat: kuusi, mänty, sahatavara, kuivauslämpötila, värimuutos, kamarikuivaus, alipaine-kuivaus

Kirjoittajien yhteystiedot:

Jaakko Repola (jaakko.repola@metla.fi) ja *Pekka Saranpää* (pekka.saranpaa@metla.fi),
Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa; puh. 09-857051
Veikko Tarvainen (veikko.tarvainen@vtt.fi) VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka,
PL 1806, 02044 VTT; puh. 09-4565551

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, hanke 3211

Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 13.2.2001

Sisältö

Esipuhe	4
1 Johdanto.....	5
2 Aineisto ja menetelmät	7
3 Tulokset	12
3.1 Sahatavaran pinnan värimuutokset	12
3.1.1 Pintasaheet	12
3.1.2 Sydänsaheet	14
3.2 Värimuutosten vähentäminen höyläyksellä	16
3.2.1 Pintasaheet	16
3.2.2 Sydänsaheet	19
3.3 Värimuutokset alipainekuivauksessa	21
3.3.1 Pintasaheet	21
3.3.2 Sydänsaheet	22
3.4 Puristinkuivaus	23
4 Tulosten tarkastelua.....	23
4.1 Arvio käytetyistä menetelmistä	23
4.2 Tutkittujen tekijöiden vaikutus värimuutoksiin	24
4.3 Puulajien vertailu	27
Lähdeluettelo	28

Esipuhe

Sahatavaran keinokuivauksessa on viime vuosina käytetty entistä korkeampia kuivauslämpötiloja. Samalla myös kuivausviat, etenkin värimuutokset ovat yleistyneet. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää korkealaatuisen ja -hintaisten puusepänsahatavaran optimaalinen kasvupaikka, varastointiolosuhteet ja kuivaus. Tässä julkaisussa on koottu yhteen Metsäntutkimuslaitoksen (Vantaan tutkimuskeskus) ja VTT:n (Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka) yhteistyönä tehdyt mänty- ja kuusisahatavaran värimuutos-tutkimukset. Metla vastasi raaka-aineen hankinnasta ja VTT sahatavaran koekuivauksista. Metlassa vastuuhenkilönä toimi Pekka Saranpää ja VTT:ssä Alpo Ranta-Maunus.

Tutkimus on osa metsä-alan tutkimusohjelmaa WOOD WISDOM (1998–2001), joka on Tekesin, Suomen Akatemian, maa- ja metsätalousministeriön ja kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittama monitieteinen klusteritutkimusohjelma. Tutkimus on konsortion osahanke, jossa tutkittiin sahatavaran ja siitä valmistettävien lopputuotteiden laatuominaisuuksien riippuvuutta männyn ja kuusen kasvupaikasta ja puutavaran käsittelystä. Hankkeen koordinaattorina toimi Pekka Saranpää. Esitämme kiitokset rahoittajille, hankkeiden vetäjille sekä ohjausryhmän jäsenille.

Tämän tutkimuksen tekoon ovat osallistuneet useat eri henkilöt. Aineiston hankkimiseen osallistuivat Metsäntutkimuslaitoksen Vesijaon tutkimusalueen henkilökunta: Pekka Helminen, Markku Pastila ja Keijo Leppänen sekä Pentti Pastila, joille esitämme erityiset kiitokset. Tukkien huolellisesta sahauksesta kiitos Tuomo Hännikäiselle. Koemateriaalin käsittelystä ja mittauksista kiitos Tapio Nevalaiselle ja Tapio Järviselle (Metla) sekä värimittauksista Soili Takalalle (VTT). Essi Puranen ja Maija Heino (Metla) hoitivat kirjan viimeistelyn kiitettävällä ammattitaidolla.

Vantaalla 28.2.2001

Jaakko Repola Pekka Saranpää Veikko Tarvainen

1 Johdanto

Kuivauksen tavoitteena on sahatavaran säilyvyyden ja käyttöominaisuuksien parantaminen. Puun kosteuden alentaminen vaikuttaa mm. puun lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin, työstettävyyteen, liimattavuuteen, kyllästettävyyteen, pintakäsittelyominaisuuksiin ja sähköjohtokykyyn. Keinokuivauksessa kuivauskaavan avulla säädetään ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta kuivauksen eri vaiheissa. Tarkoituksena on kuivata sahatavara mahdollisimman nopeasti haluttuun kosteuteen. Mitä nopeampi kuivaus on ja mitä alhaisempaan loppukosteuteen puutavara kuivataan sitä herkemmin syntyy myös kuivausvikoja. Kuivausviat voivat näkyä heti kuivauksen jälkeen tai myöhemmin jatkokäsittelyssä. Kuivausvikoja ovat halkeamat, muodonmuutosviat, väärä ja epätasainen loppukosteus, pintakovuus sekä väriviat. Halkeamat ovat yleisin ja taloudellisesti merkittävin kuivausvika. Halkeamat ja pintakovuus syntyvät yleensä kuivauksen alkuvaiheessa. Muodonmuutosviat lisääntyvät sitä enemmän mitä alhaisempaan loppukosteuteen kuivaus suoritetaan (Paajanen ym. 1996, Tarvainen ja Hukka 1997).

Väriviat syntyvät kuivauksen alkuvaiheessa, jolloin veden haihtuminen puusta on nopeaa. Korkea lämpötila ja korkea alkukosteus lisäävät värivikojen syntyä. Värivikoja aiheuttavat mm. pihkan sulaminen ja tummuminen. Väriviat ovat yleisempiä männyllä kuin kuusella (Paajanen ym. 1996).

Yhtenä syynä pintapuun värimuutoksiin on pidetty erilaisten vesiliukoisten uuteaineiden kuten sokereiden, tärkkelyksen ja typpiyhdisteiden rikastumista saheen pintaan kuivauksen aikana (Sehlstedt-Persson 1995, Terziev 1996). Theander ym. (1993) mukaan männyllä ravinteiden rikastuminen kuivauksessa saheen pintaan aiheuttaa keltaisen värin aivan saheen pintaan (0–1 mm). Samanlaisia päätelmiä on esittänyt Boutelje (1990).

Ravinteiden rikastuminen saheen pintaan on sitä voimakkaampaa mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa käytetään. Männyllä pintaosan sokeripitoisuudet nousevat kuivauksessa jopa 5–6- ja typpipitoisuus 2–3-kertaisiksi. Ravinteiden rikastuminen hidastuu, kun saavutetaan puun syiden kyllästymispiste (28–32 %), eli kun vapaa vesi on haihtunut soluonteloista. Ilmakuivauksessa ravinteiden rikastuminen saheen pintaan on selvästi vähäisempää kuin kamarikuivauksessa. Ilmakuivatuissa saheissa ravinteiden rikastumiskerros on kuitenkin paksumpi (Terziev 1996).

Ravinteiden rikastuminen saheen pintaa on sitä voimakkaampaa, mitä korkeampi on puun ravinnepitoisuus hakkuuhetkellä. Ravinnepitoisuus vaihtelee sekä rungossa että runkojen välillä. Vaihtelua aiheuttaa mm. vuodenaika (Boutelje 1990, Terziev 1996). Se on merkittävin ravinteiden määrän vaikuttava tekijä pintapuussa. Lyhytketjuisten sokerien määrä on suurimmillaan syksyllä ja talvella (Höll 1985, Fischer & Höll 1992). Tällöin sokeripitoisuudet ovat männyllä jopa nelinkertaiset kevääseen ja kesään verrattuna (Terziev 1996). Tärkkelyksen määrä puolestaan lisääntyy kasvukauden alussa ja laskee syksyllä. Sokerien ja tärkkelyksen määrän vaihtelun välillä saattaa olla yhteys. Hakkuun jälkeen ja kuivauksen aikana osa tärkkelyksestä saattaa pilkkoutua lyhytketjuisiksi sokereiksi (Terziev 1996). Typpiyhdisteiden määrässä ei ole havaittu

merkittävää eroa eri vuodenaikoina (Helmisaari & Siltala 1989, Terziev 1996). Ravinteiden määrän vuosittainen vaihtelu on sen sijaan vähäistä (Terziev 1996).

Ravinteiden määrä puussa vaihtelee enemmän puun säteen kuin pituuden suunnassa. Ravinteiden määrä mantopuussa kasvaa pintaa kohti. Sydänpuussa ja pintapuun sisäosissa ei ole merkittäviä määriä vesiliukoisia uuteaineita (Helmisaari & Siltala 1989, Saranpää & Höll 1989, Fischer & Höll 1992, Terziev 1996). Sydänpuun muodostumisen myötä rasvaliukoisten uuteaineiden määrä kasvaa puun ytimessä. Sydänpuussa on huomattavasti enemmän vapaita rasvahappoja, hartsihappoja ja fenoleita kuin pintapuussa (Saranpää ym. 1995).

Sahaustapa vaikuttaa myös ravinteiden rikastumiseen saheen pintaan kuivauksessa. Sokerien rikastuminen pintaan kuivauksessa on suurempaa särmäämättömissä kuin särmätyissä laudoissa. Tukkosalla ei ole havaittu olevan merkittävää eroa ravinteiden rikastumisessa (Terziev 1996).

Kasvupaikan viljavuudella ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta puun ravinnemääriin (Terziev 1996). Puun iällä puolestaan on merkitystä. Sokerien ja typhen määrät lisääntyvät puun vanhetessa (Terziev 1996).

Puun kosteudella saattaa olla merkitystä vesiliukoisten ravinteiden rikastumisessa saheen pintaan kuivauksessa (Boutelje 1990). Sekä männyn että kuusen pintapuun kosteus on selvästi korkeampi kuin sydänpuun kosteus. Kosteus vaihtelee myös eri vuodenaikoina. Suurimmillaan puun kosteus on kasvukauden ulkopuolella (Hakkila 1962). Pintapuun kosteuden ja kuivatuoretiheyden välillä on myös riippuvuus. Pintapuun kosteus on sitä alhaisempi mitä tiheämpää puuaine on (Tamminen 1964). Puuaineen tiheys vaikuttaa myös veden liikkuvuuteen kuivauksessa.

Tukkien kasteluvastointi vaikuttaa puun ravinnemääriin. Sokerit ja tärkkelys hajoavat hitaasti, ja saattavat hävitä männyn uloimmasta pintapuusta kokonaan. Myös erilaiset pihka-aineet kuten hartsihapot vähenevät. (Saranpää ym. 1995). Kasteluvastoinnilla on havaittu vaikuttavan puun läpäisevyyteen eli permeabiliteettiin, ja tätä kautta myös ravinteiden rikastumiseen pintapuussa (Boutelje 1990).

Sahatavaran kuivauksessa syntyviä värimuutoksia on yritetty vähentää usealla eri tavalla. Kuivauskaavan ja -tavan valinnalla voidaan vähentää värimuutoksia, mutta ei poistaa niitä. Kuivauslämpötila on yksi merkittävämpiä tekijöitä, jolla voidaan säädellä saheen väriavien syntyä. Kuivauksessa päästään parempaan lopputulokseen käyttämällä alhaisia kuivauslämpötiloja (Kreber & Haslett 1997). Myös erilaisia kuivauslämpötilojen yhdistelmiä on kokeiltu. Käyttämällä alhaista lämpötilaa kuivauksen alkuvaiheessa ja nostamalla lämpötilaa asteittain on päästy parempaan lopputulokseen radiatamännyn kuivauksessa. (Laytner 1995). Myös suomalaisen männyn ja kuusen kuivauksessa lämminilmakuivauksen ja kuumakuivauksen yhdistelmällä on voitu vähentää värimuutoksia (Tarvainen 1994). Väriavioja on voitu vähentää myös säätelämällä kuivauksen aikana ilman kosteutta ja kiertoilman nopeutta. Alipainekuivauksella, jossa happipitoisuus on pienempi ja veden kiehumispiste normaalia alhaisempi, on voitu myös vähentää värimuutoksia kamarikuivaukseen

verrattuna (Wastney ym. 1997). Yleensä alipainekuivauksessa käytetään alempia lämpötiloja kuin kamarikuivauksessa, mikä vähentää värimuutoksia.

Sahatavaran käsittelyllä ennen kuivausta on voitu myös vähentää kuivauksessa syntyviä värvikoja. Saheen pinnan kuivumista ja ravinteiden rikastumista pintaan voidaan hidastaa mm. rikkomalla pintasolujen rakenne painerullilla (compression rolling). Saheiden käsittelyllä erilaisilla kemikaaleilla ennen kuivausta on voitu myös vähentää kuivauksessa syntyviä värimuutoksia (Shields ym. 1973, Kreber ym. 1996).

Värimuutoksien synty kuivauksessa vaihtelee eri puulajeilla. Tutkimustyö on kohdistunut puulajeihin, joissa värimuutokset ovat ongelmallisia. Esimerkiksi radiatamännillä ruskea värikerros ”brown stain” syntyy aivan pinnan alle ja värikerros (1,5–2 mm) paljastuu vasta höyläyksessä (Kreber ym. 1996). Tutkimuksia radiatamännyn kuivauksessa syntyvistä värimuutoksista on julkaistu useita. Suomessa sahatavaran värimuutostutkimuksia ei ole aikaisemmin julkaistu. Ruotsissa on tutkittu jonkin verran sekä männyn että kuusen värimuutoksia (Terziev 1996, Wiberg 1996).

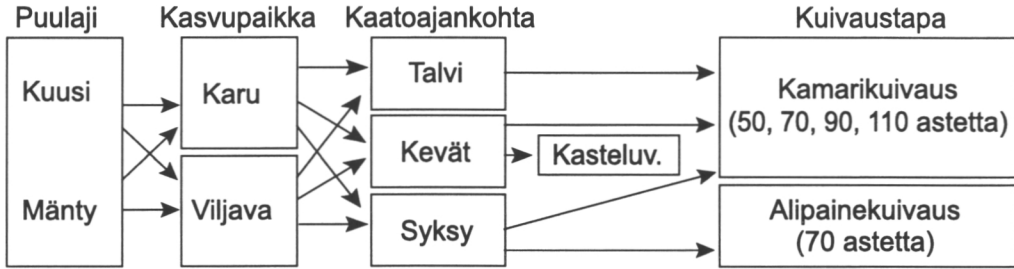
Tutkimuksen tavoitteena on selvittää puun kaatoajankohdan, kasvupaikan viljavuuden ja puutavaran varastoinnin, kuivaustavan sekä kuivauslämpötilan vaikutusta kuusi- ja mäntysahatavaran värimuutoksiin kuivauksessa sekä sen merkitystä jatkojalostuksen kannalta. Puuteollisuus voi tutkimuksen tulosten perusteella valita sellaisen puun kuivaustavan ja -lämpötilan, jolla saavutetaan asiakkaan haluama väritaso.

2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa selvitettiin eri tekijöiden vaikutusta kuusi- ja mäntysahatavaran kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin (kuva 1). Värimuutoksen voimakkuutta tarkasteltiin sekä saheen pinnassa että syvemmillä saheessa.

Puun kaatoajankohdan, kasteluvastoinnin, kasvupaikan viljavuuden sekä kuivauslämpötilan vaikutusta kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin tutkittiin kamarikuivauskokeilla (kuva 1). Kamarikuivauskokeet tehtiin VTT:n Vaniceck koekuivaamossa. Kuivauslämpötiloja oli neljä; 50, 70, 90 ja 110 astetta. Koemateriaali kerättiin sekä viljavalta että karulta kasvupaikalta. Puun kaatoajankohtia oli kolme: talvi, kevät ja syksy. Kasteluvastoinnin puut kaadettiin keväällä. Varastointi kesti kuusi viikkoa.

Kuivaustavan vaikutusta sahatavaran värimuutoksiin tutkittiin alipaine-, puristin- ja kamarikuivauskokeilla. Alipainekuivauksessa kuivauslämpötila oli 70 astetta. Kuivaus tehtiin Mikkeliissä Ympäristötekniikan instituutin YTI:n Hildebrandt alipainekuivaamolla. Koemateriaali oli peräisin syksyllä kaadetuista puista. Puut olivat peräisin sekä karulta että viljavalta kasvupaikalta.



Kuva 1. Kaavio koejärjestelyistä.

Puristinkuivauskokeet tehtiin Teknopuu Hottisen kehittämällä ja valmistamalla kerrospuristinkuivaamolla. Puut olivat rei'itettyjen kennolevyjen välissä. Kuivausilma kiersi kennolevyjen läpi kuumentaan levyt ja vieden puusta irtoavan vesihöyryn pois. Kuivauslämpötila oli 140 astetta. Aineisto koostui mäntysaheista, joiden koko oli 38 x 100 mm. Puut oli kaadettu talvella. Saheiden alkuperästä ja käsittelystä ennen kuivausta ei ollut tietoa.

Väriin syvyyttä saheessa tutkittiin höyläyskokeilla. Kuivatun saheen pinnasta höylättiin ensin 0,5 mm ja sitten 1,5 mm. Värimittaus tehtiin sekä ennen höyläystä että höyläyskertojen jälkeen. Aineisto valittiin siten, että jokaisesta kaato- ja kuivauserästä valittiin yksi sydän- ja pintapuukappale puittain ja kasvupaikoittain.

Kasvupaikka

Koeleimikoiksi valittiin kaksi kuusi- ja mäntymetsikköä Metsäntutkimuslaitoksen Vesijaon tutkimusalueelta. Toinen metsiköistä valittiin karulta ja toinen viljavalta kasvupaikalta. Kuusen kasvupaikat olivat tuore ja lehtomainen kangas. Männyn kasvupaikat olivat kuivahko ja tuore kangas. Kasvupaikkojen viljavuusero arvioitiin sekä kasvillisuuden että pituusbonitoinnin avulla (taulukko 1).

Koepuiden valinta ja kaatoajankohta

Koepuiksi hyväksyttiin vain terveet ja laadultaan moitteettomat valtapuut. Metsiköittäin kaadettiin yhteensä kahdeksan puuta (2 runkoa/hakkuuajankohta). Talvikaato tehtiin 22.2., kevätkaato 6.5. ja syyskaato 2.10.1999. Kasteluvastointipuut (kaksi runkoa kustakin metsiköstä) kaadettiin keväällä ja varastointi kesti kuusi viikkoa. Runkojen apterauksessa käytettiin Metsäliiton ABC-laatuoluokitusta. Tukkien ja kuitupölkkyjen päistä sahattiin 5 cm paksuiset kiekot puuaineen ominaisuuksien mittausta varten. Taulukoissa 2, 3 ja 4 on esitetty mitattuja koepuutunnuksia kasvupaikoittain ja kaatoajankohdittain.

Taulukko 1. Koemetsiköiden kasvupaikat.

Puulaji	Ikä	Metsätyyppi	H ₁₀₀
Mänty	107	VT	21,7
Mänty	80	OMT	30,2
Kuusi	93	MT/VT	22,2
Kuusi	60	OMT	32,2

Taulukko 2. Koepuiden keskilämpimitat ja -pituudet.

Puulaji	Kasvupaikka	N	D _{1.3} , cm	H, m
<i>Mänty</i>	Viljava	8	29,7	25,7
	Karu	8	28,5	22,9
<i>Kuusi</i>	Viljava	8	28,1	24,1
	Karu	8	27,0	21,9

Taulukko 3. Koepuiden keskimääräiset kuivatuoretiheydet kasvupaikoittain.

Puulaji	Kasvupaikka	Tiheys, kg/m ³	Pintapuu kg/m ³	Sydänpuu kg/m ³
<i>Mänty</i>	Viljava	446	467	407
	Karu	463	460	469
<i>Kuusi</i>	Viljava	355	356	352
	Karu	414	420	405

Taulukko 4. Koepuiden sydänpuuosuudet sekä kosteudet eri hakkuuajankohtina.

Pl	Kp	Sp %	Kosteus %, pintapuu			Kosteus %, sydänpuu		
			Talvi	Kevät	Syksy	Talvi	Kevät	Syksy
<i>Mänty</i>	Viljava	37,1	115,5	120,0	104,9	51,4	31,3	35,6
	Karu	34,4	117,1	121,8	123,5	47,1	31,8	38,0
<i>Kuusi</i>	Viljava	28,4	163,2	170,8	157,5	89,5	64,8	49,3
	Karu	36,5	128,2	139,4	104,1	41,7	46,3	36,0

Sahaus

Osa tukeista sahattiin tuoreena; osa keväällä kaadetuista tukeista vasta kuuden viikon kasteluvuoraston jälkeen. Sahaus tehtiin kenttäsiirrellä nelisahauksena. Sivulaudat särmättiin. Pintalautojen nimellispaksuus oli 25 mm ja sydäntavaran 38 mm. Saheiden leveys oli 100 mm.

Koeaineiston valmistus ja kuivaus

Tutkimusmateriaaliin otettiin mukaan vain tyvitukin saheet. Saheet katkottiin 120 cm pitkiksi koekappaleiksi. Suurimmasta osasta saheita saatiin kolme täysmittaista koekappaleita, pisimmistä neljä. Koekappaleita oli kaikkiaan 685 kpl, josta pintasaheita oli 439 kpl ja sydänsaheita 246 kpl. Kappaleet jaettiin viiteen erään siten, että niissä oli saman verran molempien puulajien pinta- ja sydänsaheita molemmilta kasvupaikoilta. Kunkin saheen koekappaleet jaettiin eri kuivauseriin. Kustakin puusta saatiin pääsääntöisesti 3–4 pintasahekappaleita ja kaksi sydänsahekappaleita kuivauslämpötilaa kohti. Tukeista saatujen saheiden määrät vaihtelivat jonkin verran, joten vastaavasti kuivauserien kappalemäärissä oli pientä vaihtelua. Yhteensä kuivauserään tuli 12–15 pintalautakappaleita ja 7–8 sydäntavarakappaleita kumpaakin puulajia. Koekappaleet paketoitiin ennen kuivausta muovikalvolla tiiviisiin nippuihin ja varastoitiin pakkahuoneessa. Pakastusvaiheessa lämpötila pidettiin muutaman vuorokauden ajan -10 °C:ssa. Tällöin myös paketin keskiosassa olevat puut jäähtyivät lähelle 0 astetta. Tämän jälkeen lämpötila pidettiin -3 ja -1 °C:een välillä. Menettelyllä estettiin puiden homehtuminen ja sinistymisen sekä minimoitiin pakkaskuivuminen, joka on voimakkainta matalissa lämpötiloissa.

Kamarikuivauksessa lämpötiloja oli neljä: 50, 70, 90 ja 110 °C. Kuivauskaavaksi valittiin kullakin lämpötilatasolla 38 mm paksulle mäntysahatavarakkeelle sopiva kaava (taulukko 5). Saheet kuivattiin puusepäнкуivaksi, 8–12 prosentin loppukosteuteen.

Höyläys

Osa saheista höylättiin värimuutoksen syvyyden selvittämiseksi. Höyläys ulottui kussakin mittauskohdassa ensin 0,5 mm syvyydelle. Toisella työstökerralla höylättiin lisää 1,5 mm. Muodonmuutosten takia höyläyssyvydet vaihtelivat kappaleiden muissa kohdissa.

Taulukko 5. Tutkimuksessa käytetyt kamarikuivauskaavat.

Lämpötila 50 °C			Lämpötila 70 °C		
Aika H	T _{kuiva} °C	T _{märkä} °C	Aika H	T _{kuiva} °C	T _{märkä} °C
0	20	16	0	20	16
6	50	46	6	70	65
14	50	46	9	70	65
32	50	45	24	70	57
43	50	37	54	70	57
87	50	37	55	70	64
90	50	42	67	70	64
102	50	42			
Lämpötila 90 °C			Lämpötila 110 °C		
Aika H	T _{kuiva} °C	T _{märkä} °C	Aika H	T _{kuiva} °C	T _{märkä} °C
0	35	32	0	28	25
8	90	86	6	100	96
18	90	79	8	110	98
20	90	78	24	110	98
38	90	78	30	70	65
40	90	85	34	70	65
56	90	85	Jäähd.	35	

Taulukko 6. Männyn pinta- ja sydänsaheiden väriarvot ennen kuivausta. Hajonnat sulkeissa.

	Talvi	Kevät	Kasteluv.	Syky
<i>Pintasheet</i>				
Vaaleus, L*	77,5 (2,9)	81,1 (2,9)	77,8 (3,0)	79,7 (1,9)
Punaisuus, a*	7,2 (1,4)	5,8 (1,3)	7,2 (1,5)	6,5 (1,3)
Keltaisuus, b*	25,2 (2,8)	26,1 (2,3)	28,8 (2,1)	27,0 (2,3)
<i>Sydänsheet</i>				
Vaaleus, L*	80,7 (2,8)	83,5 (2,9)	81,7 (3,0)	83,8 (1,8)
Punaisuus, a*	5,9 (1,8)	4,3 (2,1)	5,4 (2,0)	4,2 (1,3)
Keltaisuus, b*	29,1 (2,6)	27,0 (2,0)	28,2 (2,4)	27,8 (1,9)

Taulukko 7. Kuusen pinta- ja sydänsaheiden väriarvot ennen kuivausta. Hajonnat sulkeissa.

	Talvi	Kevät	Kasteluv.	Syksy
<i>Pintasaheet</i>				
Vaaleus, L*	76,1 (4,1)	80,2 (3,1)	79,2 (3,9)	81,2 (2,7)
Punaisuus, a*	6,5 (1,7)	4,9 (1,3)	5,4 (1,8)	4,8 (1,2)
Keltaisuus, b*	24,3 (2,6)	24,2 (2,8)	26,1 (3,1)	24,1 (2,4)
<i>Sydänsaheet</i>				
Vaaleus, L*	83,1 (3,0)	85,4 (1,7)	84,3 (1,2)	86,2 (1,3)
Punaisuus, a*	3,6 (1,4)	2,8 (0,8)	3,3 (0,7)	2,6 (0,7)
Keltaisuus, b*	25,2 (3,0)	24,2 (2,5)	24,8 (1,8)	23,7 (1,7)

Värimittaus

Koekappaleiden väri mitattiin värimittarilla ennen kuivausta, kuivauksen jälkeen sekä kummankin höyläyksen jälkeen. Värimittauspisteitä oli 6 kpl koekappaletta kohti. Poikkeuksena talvella kaadetussa aineistossa lämpötilatasoilla 50 ja 70 astetta värimittauspisteitä oli vain kolme koekappaletta kohti. Mittauspisteitä oli latvapäässä 30 cm:n matkalla 3 ja tyviosassa samoin 3 kappaletta. Lyhyen osuuden ensimmäinen mittauskohta sijoitettiin väliriman kohdalle. Muut mittauspisteet olivat kuivauksessa vapaina (ei väliriman kohdalla). Mittauskohdat valittiin siten, että niissä ei ollut mitään vikaisuuksia, ja että ne edustivat pinnan keskimääräistä väriä. Taulukoissa 6 ja 7 on esitetty koekappaleiden keskimääräiset väriarvot ja hajonnat ennen kuivausta.

Värimittaukset tehtiin Minoltaan spektrofotometrillä (500 sarja). Tulokset esitetään CIELAB-menetelmän mukaisen väriavaruuden arvoina L, a* ja b*. L tarkoittaa vaaleusastetta. Täysin valkoinen kappale (heijastaa kaiken valon takaisin) saa arvon 100 ja täysin musta kappale arvon 0. Kappaleen ollessa täysin vihreä saa komponentti a* arvon -60 ja sen ollessa täysin punainen on arvo +60. Vastaavasti pinnan ollessa täysin sininen on b* arvo -60 ja sen ollessa täysin keltainen on arvo +60. L* komponenttia nimitetään vaaleudeksi, a* komponenttia punaisuudeksi ja b* komponenttia keltaisuudeksi. Nimitykset ovat perusteltuja, koska tutkituilla puilla sekä a* ja b* ovat aina positiivisia. Mitattua lukusarjaa (L, a*, b*) voidaan kuvata esitettyjen kolmen komponentin muodostamana väriavaruuden vektorina. Tutkittaessa värin muutosta (tai kappaleiden värieroa) voidaan tarkastella kunkin komponentin muutosta erikseen sekä laskea kokonaisvärinmuutos ΔE (kansainvälinen standardi ISO 7724/3-1984(E)):

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

ΔE = kokonaisvärimuutos

L_1 = vaaleus ennen kuivausta

L_2 = vaaleus kuivauksen jälkeen

a_1 = punaisuus ennen kuivausta

a_2 = punaisuus kuivauksen jälkeen

b_1 = keltaisuus ennen kuivausta

b_2 = keltaisuus kuivauksen jälkeen

Laskenta

Laskentayksikkönä oli koekappale (1,20 m). Värikomponenttien arvot (L^* , a^* , b^*) ja niiden muutokset sekä kokonaisvärimuutos määritettiin ensin värimittauspisteittäin. Koekappaleelle vastaavat arvot laskettiin mittauspisteiden keskiarvoina. Tulokset laskettiin erikseen pinta- ja sydänsaheille. Lisäksi laskettiin eri käsittelyjen väliset värierot saheiden välillä kuivauksen jälkeen.

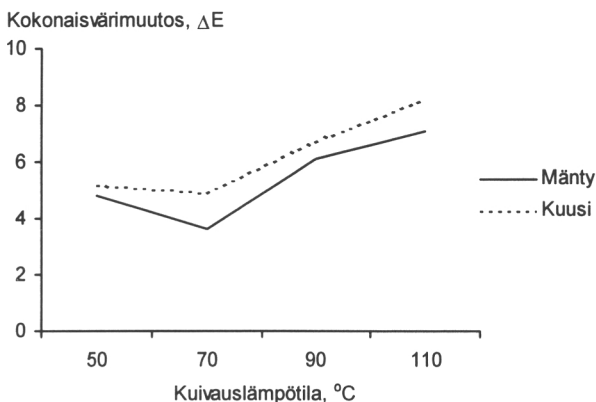
3 Tulokset

3.1 Sahatavaran pinnan värimuutokset

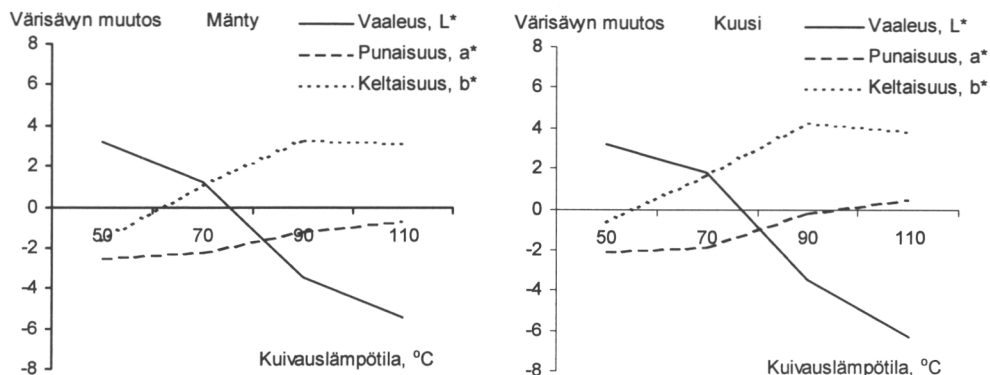
3.1.1 Pintasaheet

Kuivauslämpötila oli merkittävin tekijä sekä männyn että kuusen pintasaheiden värimuutoksissa. Värimuutokset olivat pääsääntöisesti sitä suurempia mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa käytettiin. Korkean lämpötilan käyttö ei lisännyt pelkästään saheiden värimuutosta, vaan myös saheiden välistä värihajontaa. Kuusen värimuutokset olivat hieman suurempia kuin männyn (kuva 2). Männyn pintasaheissa värimuutokset olivat keskimäärin 5,5 yksikköä ja kuusen 6,4 yksikköä. Kuusen hieman suurempia värimuutokset johtuivat saheiden voimakkaammasta kellastumisesta kuivauksessa.

Kuivauslämpötila muutti voimakkaimmin saheiden vaaleutta ja keltaisuutta (kuva 3). Saheiden tummuminen lisääntyi tasaisesti 110 asteen kuivauslämpötilaan saakka ja saheiden kellastuminen 90 asteen kuivauslämpötilaan saakka. Huomattavaa oli, että 50 asteessa kuivatuilla saheilla värimuutos oli lähinnä vaalenemista, sekä keltaisuuden ja punaisuuden vähenemistä tuoreeseen saheeseen verrattuna. Jo 70 asteessa pintasaheiden tummuminen ja kellastuminen lisääntyivät selvästi verrattuna 50 asteen kuivauslämpötilaan. Kuivauslämpötilan nosto 110 asteeseen lisäsi lähinnä saheiden tummumista. Kuivauksen jälkeen 50 ja 70 asteessa kuivattujen pintasaheiden välinen väriero oli keskimäärin 3,8 yksikköä, mikä on myös silmin havaittava (liite). Väriero 50 ja 90 asteessa kuivattujen saheiden välillä oli jo 8,9 yksikköä. Lämpötilojen 50 ja 110 astetta välinen väriero oli 10,7 yksikköä.



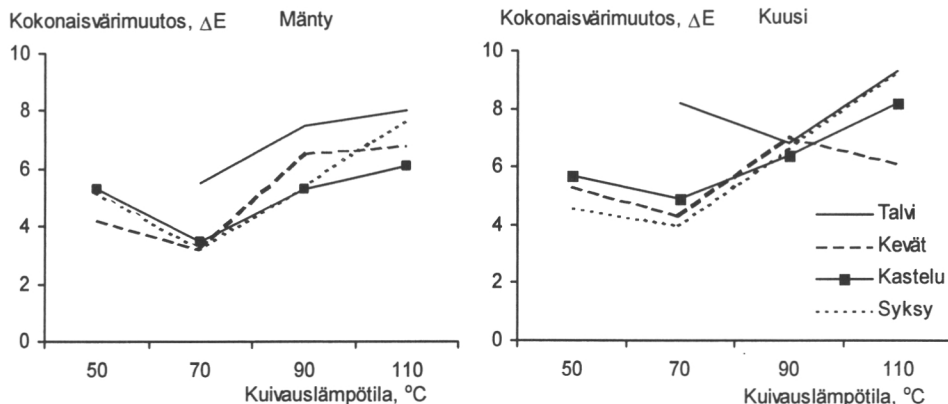
Kuva 2. Männyn ja kuusen pintasaheiden värimuutokset eri kuivauslämpötiloissa.



Kuva 3. Männyn ja kuusen pintasaheiden vaaleuden (L*), punaisuuden (a*) ja keltaisuuden (b*) muutos kuivauksessa. Vertailutasona saheiden väriarvot ennen kuivausta.

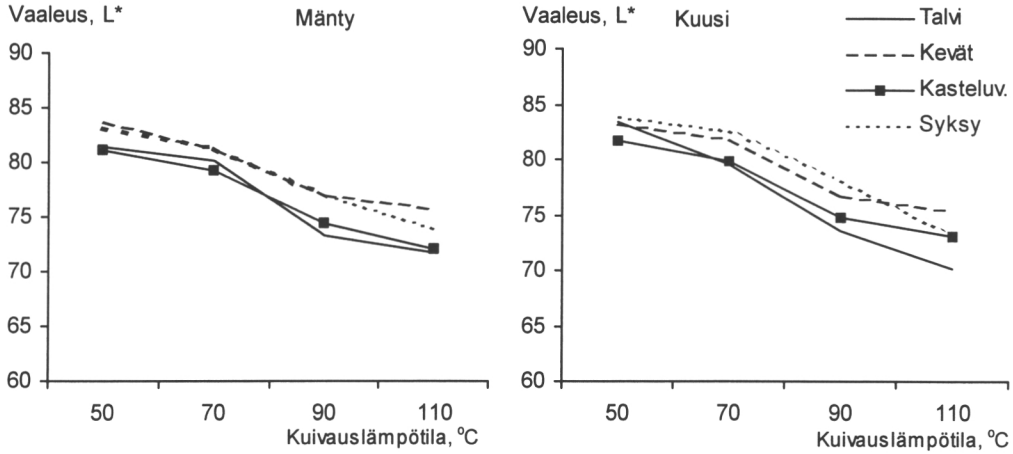
Kaatoajankohta ja kasteluvarastointi

Puun kaatoajankohdan sekä kasteluvarastoinnin vaikutus sekä männyn että kuusen pintasaheiden kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin oli vähäinen. Talvella kaadetuissa puissa värimuutokset olivat 1–1,8 yksikköä muita kaatoeriä suuremmat (kuva 4). Värimuutosero syntyi talvella kaadettujen puiden voimakkaammasta kellastumisesta kuivauksessa. Syksyllä ja keväällä kaadettujen sekä kasteluvarastoitujen puiden väliset värimuutoserot olivat vähäiset.



Kuva 4. Männyn ja kuusen pintasaheiden värimuutokset eri kuivauslämpötiloissa.

Kuivauksen jälkeen eri kaatoerien saheiden värisävyt (L*, a*, b*) poikkesivat toisistaan. Talvella kaadetut sekä kasteluvarastoidut puut olivat hieman, 2–3 yksikköä, muita tummempia kuivauksen jälkeen (kuva 5). Vastaava vaaleusero oli jo ennen kuivausta, ja saheiden tummumisessa kuivauksessa ei ollut eroja eri kaatoerien välillä. Talvella kaadetut ja kasteluvarastoidut puut, etenkin kuusisaheet, olivat myös muita kaatoeriä keltaisempia ja punaisempia kuivauksen jälkeen. Kasteluvarastoinnissa kellastumista oli tapahtunut varastoinnin aikana, ja talvikaato lisäsi puolestaan hieman saheiden kellastumista kuivauksessa. Talvella kaadettujen puiden väriero kuivauksen jälkeen muihin kaatoeriin verrattuna vaihteli 0,3–4,4 yksikköön, mikä on ihmissilmän erotuskyvyn rajoilla (2–3 yksikköä).



Kuva 5. Männyän ja kuusen pintasaheiden vaaleus kuivauksen jälkeen.

Kasvupaikka

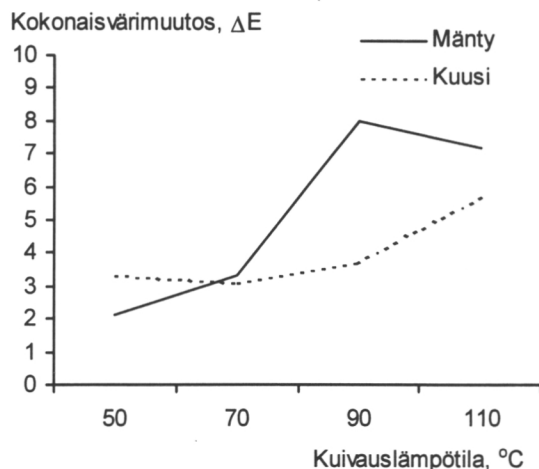
Kasvupaikan viljavuuden merkitys sekä männyän että kuusen pintasaheiden kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin oli vähäinen (taulukko 8). Viljavan kasvupaikan puissa värimuutokset olivat männyllä keskimäärin 5,6 ja karun kasvupaikan puissa 5,5. Kuusella viljavan kasvupaikan saheissa värimuutokset olivat hieman suuremmat kuin karun kasvupaikan saheissa (taulukko 8). Pintasaheiden värisävyt eivät poikenneet toisistaan myöskään kuivauksen jälkeen kasvupaikkojen välillä.

Taulukko 8. Männyän ja kuusen pintasaheiden värimuutokset kasvupaikoittain eri kuivauslämpötiloissa (hajonnat sulkeissa).

Kasvupaikka	50 astetta	70 astetta	90 astetta	110 astetta
<i>Mänty</i>				
Viljava	4,9 (1,5)	3,6 (1,3)	6,2 (1,5)	7,5 (1,7)
Karu	4,8 (1,5)	3,9 (1,5)	6,2 (1,7)	6,7 (1,6)
<i>Kuusi</i>				
Viljava	5,2 (2,0)	6,1 (3,2)	7,0 (2,5)	8,2 (2,8)
Karu	5,2 (1,6)	4,4 (1,9)	6,4 (2,9)	8,2 (2,8)

3.1.2 Sydänsaheet

Kuivauslämpötila oli merkittävin tekijä sekä männyän että kuusen sydäntavaran kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin. Männyllä sydänsaheiden värimuutokset olivat keskimäärin 5,2 ja kuusella 3,9 yksikköä. Vielä 50 ja 70 asteen kuivauslämpötiloissa värimuutokset olivat lieviä. Männyän sydänsaheissa voimakkaimmat värimuutokset syntyivät 90 asteen kuivauslämpötilassa, jossa koekappaleiden välinen hajonta oli myös suurin (kuva 6). Värimuutospiikki ilmeni kaikissa värisävyissä. Vastaavanlaista värimuutospiikkiä kuusen sydänsaheissa ei esiintynyt, vaan kuusella vaaleus, punaisuus ja keltaisuus muuttuivat tasaisemmin kuivauslämpötilan kasvaessa (kuva 6).

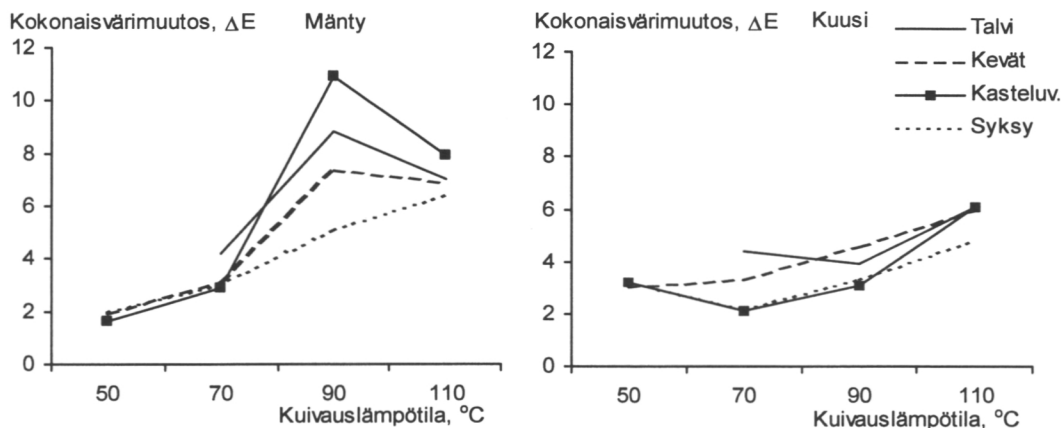


Kuva 6. Männyn ja kuusen sydänsaheiden värimuutokset (ΔE) eri kuivauslämpötiloissa.

Voimakkaat värimuutokset ilmenivät kuusella vasta 110 asteen kuivauslämpötilassa. Väriero 50 ja 70 asteessa kuivattujen sydänsaheiden välillä oli kuusella vain 2,0 yksikköä ja männyllä jo silmin havaittava eli 3,8 yksikköä (liite). Väriero 50 ja 90 asteessa kuivattujen saheiden välillä oli männyllä 10,0 ja kuusella 5,5 yksikköä. Vastaava väriero 110 asteessa molemmilla puulajeilla oli noin 7 yksikköä.

Kaatoajankohta ja kasteluvarastointi

Puun kaatoajankohdan ja kasteluvarastoinnin vaikutus männyn ja kuusen sydänsaheiden värimuutoksiin oli vähäinen. Eri kaatoerien välisten erot olivat sekä männyllä että kuusella alle 1,5 yksikköä. Männyllä talvikaato ja kasteluvarastointi lisäsivät hieman sydänsaheiden värimuutoksia (kuva 7). Männyllä selvin ero kaatoerien välillä ilmeni 90 asteen kuivauslämpötilassa, jossa muutamilla sydänsaheilla ilmeni selvästi muita voimakkaampia, jopa 20 yksikön värimuutoksia.



Kuva 7. Männyn ja kuusen sydäntavaran värimuutokset eri kuivauslämpötiloissa.

Kuivauksen jälkeen eri kaatoerien saheiden värisävyt poikkesivat toisistaan. Talvella kaadetut sekä kasteluvarastoidut männyn ja kuusen sydänsaheet olivat kuivauksen jälkeen kevät- ja syyskaadon saheita tummempia. Vaaleuseroero oli jo ennen kuivausta, ja ero säilyi samalla tasolla myös kuivauksen jälkeen. Eli kaatoajankohdalla ja kasteluvarastoinnilla ei ollut vaikutusta saheiden tummumiseen kuivauksessa. Talvikaato ja kasteluvarastointi lisäsivät sekä männyn että kuusen sydänsaheiden keltaisuutta. Punaisuuserot olivat vähäisiä. Talvella kaadettujen puiden väriero kuivauksen jälkeen muihin kaatoeriin verrattuna vaihteli 1,4–4,5 yksikköä.

Kasvupaikka

Kasvupaikan viljavuuden merkitys sekä männyn että kuusen sydänsaheiden kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin oli vähäinen. Männyllä karun kasvupaikan puissa värimuutokset olivat hieman suuremmat kuin viljavan kasvupaikan puissa (taulukko 9). Suurin ero kasvupaikkojen välillä oli 90 asteen kuivauslämpötilassa, jossa karun kasvupaikan saheissa esiintyi voimakkaita värimuutoksia, etenkin kellastumista. Kuusella puolestaan viljava kasvupaikka lisäsi hieman sydänsaheiden värimuutoksia kuivauksessa.

Taulukko 9. Männyn sydäntavaran värimuutokset ja keskihajonnat kasvupaikoittain eri kuivauslämpötiloissa. Keskihajonnat sulkeissa.

Kasvupaikka	50 astetta	70 astetta	90 astetta	110 astetta
<i>Mänty</i>				
Viljava	1,7 (0,6)	3,1 (1,4)	7,4 (2,1)	7,2 (1,4)
Karu	2,0 (0,7)	3,4 (1,7)	8,9 (5,2)	7,0 (1,7)
<i>Kuusi</i>				
Viljava	3,2 (0,7)	3,5 (2,2)	4,2 (2,5)	6,4 (2,2)
Karu	3,0 (1,0)	2,6 (0,7)	3,2 (0,7)	5,1 (0,9)

3.2 Värimuutosten vähentäminen höyläyksellä

3.2.1 Pintasaheet

Kuivauslämpötila oli merkittävin tekijä sekä männyn että kuusen pintasaheiden kuivauksessa syntyneen värikerroksen paksuuteen. Kuivauksessa syntynyt värimuutos ulottui sitä syvemmälle saheessa mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Alhaisissa lämpötiloissa kuivattujen saheiden värikerros oli selvästi ohuempi kuin 90 ja 110 asteessa kuivattujen (taulukko 10). Höyläyksessä värierot pienenevät eri lämpötiloissa kuivattujen saheiden välillä, mutta eivät hävinneet kokonaan. Matalissa lämpötiloissa, 50 ja 70 asteessa kuivatuilla pintasaheilla 0,5 millimetrin höyläys riitti poistamaan voimakkaimman värikerroksen. Sen sijaan 90 ja 110 asteessa kuivatuissa pintasaheissa väri ulottui syvemmälle ja muuttui selvästi vielä lisähöyläyksessä (0,5–2,0 mm). Kahden millimetrin höyläyksen jälkeen 50 ja 70 asteessa kuivattujen männyn pintasaheiden värierot olivat alle ihmissilmän erotuskyvyn (2–3 yksikköä) eli 1,7 yksikköä (liite). Vastaava väriero 50 ja 90 asteessa kuivattujen saheiden välillä oli jo 4,4 yksikköä sekä 50 ja 110 asteen välillä 6,4 yksikköä. Kuusen pintasaheissa vastaavat värierot olivat hieman pienemmät eli 0,7, 3,9 ja 5,6 yksikköä.

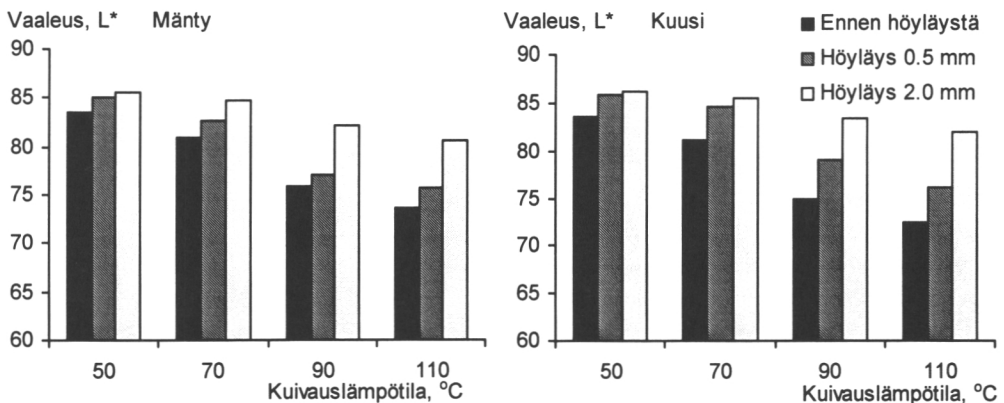
Pintasaheiden vaaleus, punaisuus ja keltaisuus oli muuttunut kuivauksessa sitä syvemmillä saheessa mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Selvimmin tämä näkyi vaaleudessa. Saheiden pinta vaaleni jo 0,5 mm:n höyläyksellä, mutta vaaleuserot olivat vielä selvät eri lämpötiloissa kuivattujen saheiden välillä (kuva 8). Kahden millimetrin höyläyksen jälkeen 50 ja 70 asteessa kuivattujen saheiden välillä vaaleuserot olivat vähäiset. Korkeissa lämpötiloissa, 90 ja 110 asteessa, kuivatut pintasaheet jäivät kuitenkin selvästi tummemmiksi (kuva 8).

Saheiden punaisuuserot eri lämpötiloissa kuivattujen saheiden välillä olivat vähäiset höyläyksen jälkeen. Jo 0,5 mm:n höyläyksen jälkeen 50 ja 70 asteessa kuivattujen saheiden punaisuus oli samaa tasoa. Myös 90 ja 110 asteessa kuivattujen pintasaheiden punaisuus aleni kahden millimetrin höyläyksessä lähes samalle tasolle 50 ja 70 asteessa kuivattujen saheiden kanssa (kuva 9).

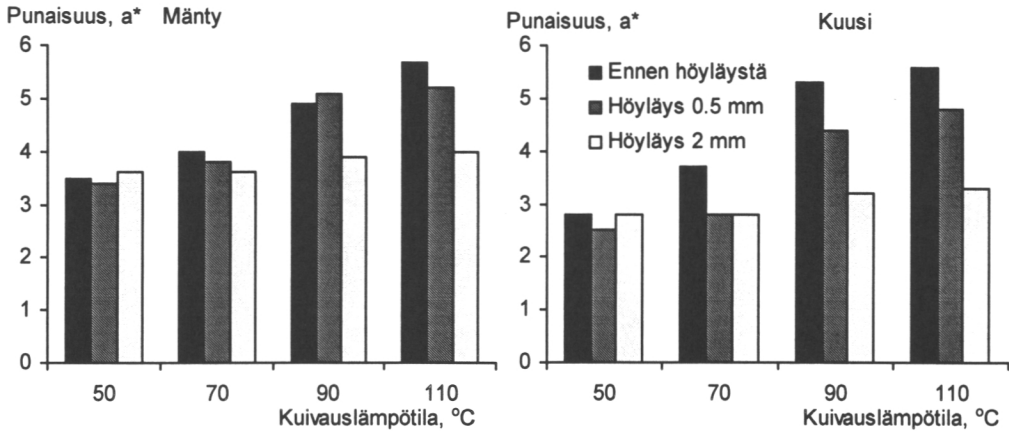
Keltaisuus väheni ensimmäisessä höyläyksessä (0–0,5 mm) voimakkaammin kuin toisessa (0,5–2,0 mm) kuivauslämpötilasta riippumatta (kuva 10). Kahden millimetrin höyläys ei kuitenkaan riittänyt poistamaan keltaisuuseroa kokonaan eri lämpötiloissa kuivattujen pintasaheiden väliltä, vaan saheiden keltaisuus jäi sitä voimakkaammaksi mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty.

Taulukko 10. Männyn ja kuusen pintasaheiden höyläämättömän (kuivauksen jälkeen) ja höylätyn pinnan välinen väriero eri kuivauslämpötiloissa.

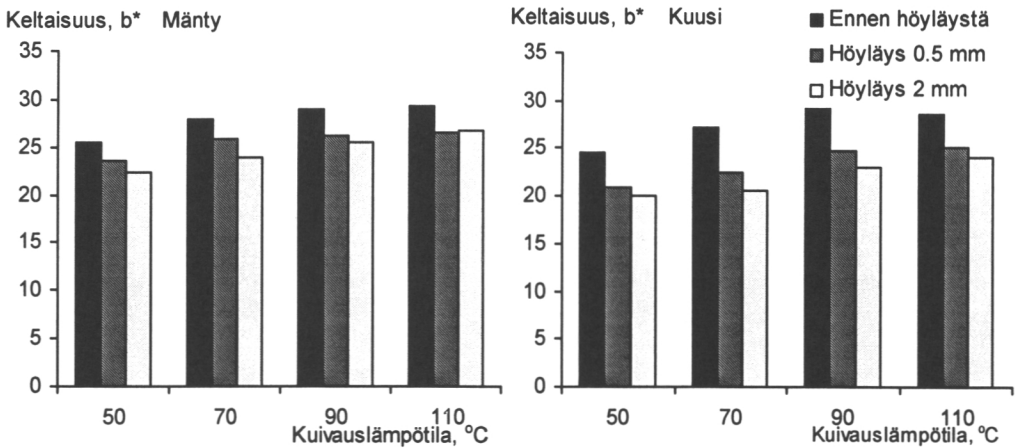
	50 astetta	70 astetta	90 astetta	110 astetta
<i>Mänty</i>				
Höyläys 0.5 mm	2,8	3,1	3,9	4,1
Höyläys 2.0 mm	3,9	5,6	7,7	7,9
<i>Kuusi</i>				
Höyläys 0.5 mm	4,4	6,1	6,5	6,2
Höyläys 2.0 mm	5,4	8,2	11,0	11,1



Kuva 8. Männyn ja kuusen pintasaheiden vaaleus ennen höyläystä ja höyläyksen jälkeen eri kuivauslämpötiloissa.



Kuva 9. Männyn ja kuusen pintasaheiden punaisuus ennen höyläystä ja höyläyksen jälkeen.



Kuva 10. Männyn ja kuusen pintasaheiden keltaisuus ennen höyläystä ja höyläyksen jälkeen.

Puun kaatoajankohdan sekä kasteluvarastoinnin merkitys pintalautojen kuivauksessa syntyneeseen värikerroksen paksuuteen oli vähäinen. Eri kaatoajankohtien sekä kasteluvarastoinnin saheiden värierot pienenevät jo 0,5 millimetrin höyläyksessä, ja kahden millimetrin höyläyksen jälkeen saheiden vaaleus-, punaisuus- ja keltaisuuserot olivat olemattomat. Värierot eri kaatoerien saheiden välillä olivat 0,5 höyläyksen jälkeen vain 0,7–2,1 yksikköä ja 2 mm:n höyläyksen jälkeen selvästi alle ihmissilmän erotuskyvyn eli 0,3–1,0 yksikköä.

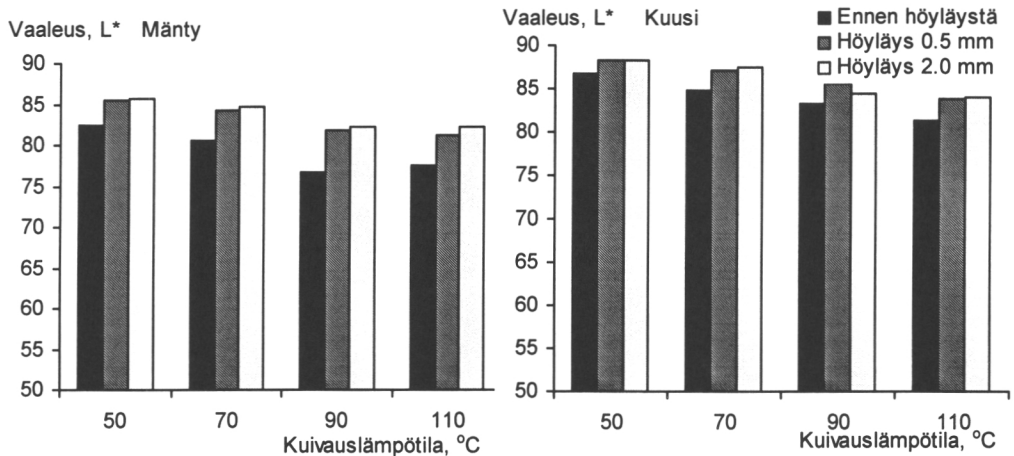
Kasvupaikan viljavuuden merkitys oli vähäinen sekä männyn että kuusen pintasaheiden kuivauksessa syntyneeseen värikerrokseen. Saheiden värierot olivat sekä 0,5 että 2,0 millimetrin höyläyksen jälkeen vain yhden yksikön luokkaa. Karun kasvupaikan saheet olivat molemmilla puulajeilla hieman keltaisempia höyläyksen jälkeen.

3.2.2 Sydänsaheet

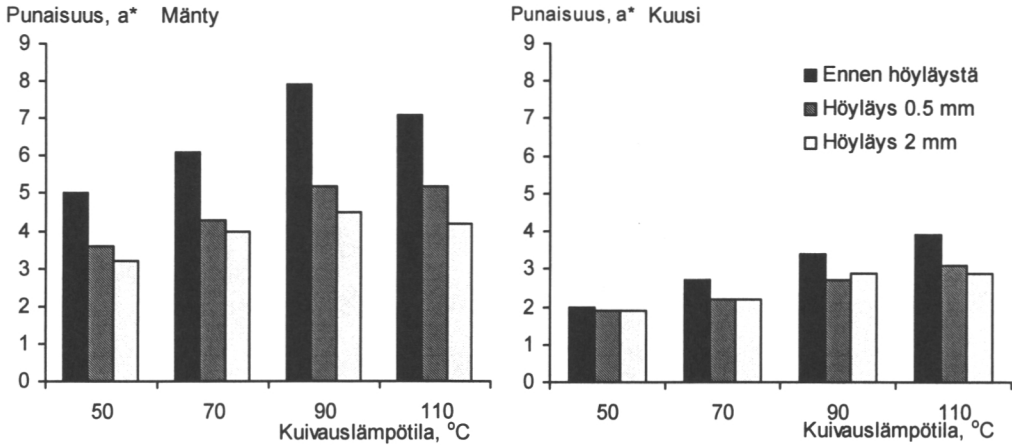
Kuivauksessa syntyvä värimuutos ulottui sekä männyn että kuusen sydänsaheissa sitä syvemmälle mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Korkea kuivauslämpötila lisäsi värimuutoksen voimakkuutta sekä saheen pinnassa että saheen sisässä. Voimakkain värikerros sydänsaheissa oli aivan saheen pinnassa, 0–0,5 millimetrin syvyydellä. Höyläyksen ulottaminen 0,5–2 millimetriin ei juurikaan vaikuttanut lopputulokseen (taulukko 11). Väriserot olivat vähäiset höyläyksen jälkeen 50 ja 70 asteessa kuivattujen sydänsaheiden välillä samoin kuin 90 ja 110 asteessa kuivattujen saheiden välillä. Kahden millimetrin höyläyksen jälkeen 50 ja 70 asteessa kuivattujen männyn sydänsaheiden väriero oli 1,8 yksikköä, mikä on myös alle ihmissilmän erotuskyvyn (liite). Vastaava väriero 50 ja 90 asteessa kuivattujen saheiden välillä oli jo 5,0 yksikköä, sekä 50 ja 110 asteen välillä 5,7 yksikköä. Vastaavat värierot kuusella olivat samaa luokkaa eli 0,9, 5,1 ja 5,6.

Taulukko 11. Männyn ja kuusen sydänsaheiden höyläämättömän ja höylätyn pinnan välinen väriero eri kuivauslämpötiloissa. (N=15–17/kuivauslämpötila).

	50 astetta	70 astetta	90 astetta	110 astetta
<i>Mänty</i>				
Höyläys 0,5 mm	5,0	6,1	8,2	5,4
Höyläys 2,0 mm	5,1	6,2	8,3	5,9
<i>Kuusi</i>				
Höyläys 0,5 mm	2,7	4,7	4,4	4,3
Höyläys 2,0 mm	2,6	5,2	4,0	3,8



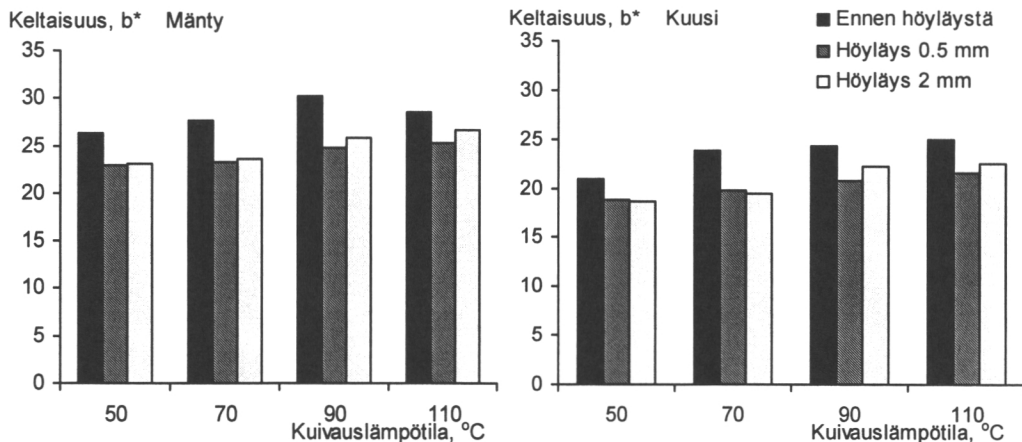
Kuva 11. Kuusen sydänsaheiden vaaleus kuivauksen jälkeen ja höyläyksen jälkeen.



Kuva 12. Männyn ja kuusen sydäntavaran punaisuus ennen höyläystä ja höyläyksen jälkeen eri kuivauslämpötiloissa.

Värimuutos syvemmillä saheessa näkyi kaikissa väriarvoissa (L^* , a^* b^*). Selvimmin tämä näkyi saheiden vaaleudessa ja keltaisuudessa. Vaaleuserot 50 ja 70 asteessa kuivattujen sydänsaheiden välillä olivat vähäiset höyläyksen jälkeen (kuva 11). Sen sijaan korkeammissa lämpötiloissa, 90 ja 110 asteessa, kuivatut saheet jäivät molempien höyläyskertojen jälkeen tummemmiksi kuin 50 ja 70 asteessa kuivatut saheet. Huomattavaa oli, että korkeissa lämpötiloissa kuivatut saheet eivät saavuttaneet kahden millimetrin höyläykselläkään 50 asteessa kuivattujen saheiden höyläämättömän pinnan vaaleustasoa.

Männyn ja kuusen sydäntavaran punaisuus väheni selvästi jo 0,5 millimetrin höyläyksessä, ja erot tasoittuivat eri lämpötiloissa kuivattujen koekappaleiden välillä (kuva 12). Männyn sydänsaheissa punaisuuden muutos höyläyksessä oli suurempi kuin kuusen sydänsaheissa.



Kuva 13. Männyn ja kuusen sydäntavaran keltaisuus ennen höyläystä ja höyläyksen jälkeen eri kuivauslämpötiloissa.

Männyn ja kuusen sydänsaheiden keltaisuus väheni selvästi 0,5 mm:n höyläyksessä. Höyläyksen ulottaminen kahteen millimetriin ei juurikaan vaikuttanut lopputulokseen, vaan keltaisuus jopa lisääntyi 0,5 mm:n höyläyspintaan verrattuna (kuva 13). Keltaisuuserot olivat vähäiset höyläyksen jälkeen 50 ja 70 asteessa kuivattujen sydänsaheiden välillä samoin kuin 90 ja 110 asteessa kuivattujen saheiden välillä.

Kaatoajankohdan ja kasteluvarastoinnin sekä kasvupaikan merkitys sydänsaheiden värimuutoksen syvyyteen oli vähäinen. Talvikaadon sekä kasteluvarastoinnin aiheuttama saheiden voimakkaampi tummuus ja keltaisuus hävisi 0,5 millimetrin höyläyksessä. Värierot eri kaatoerien saheiden välillä vaihtelivat höyläyksen jälkeen 0,4–2,5 yksikköön. Karun kasvupaikan sydänsaheet sekä kuusella että männyllä olivat hieman keltaisempia höyläyksen jälkeen kuin viljavan kasvupaikan saheet. Värierot eri kasvupaikkojen saheiden välillä olivat höyläyksen 1,2–1,6 yksikköä.

3.3 Värimuutokset alipainekuivauksessa

3.3.1 Pintasaheet

Sekä männyn että kuusen pintasaheissa värimuutoserot 70 asteen lämpötilassa alipaine- ja kamarikuivauksen välillä olivat vähäiset. Alipainekuivauksessa saheiden värimuutos oli molemmilla puulajeilla keskimäärin 0,4 yksikköä suurempi kuin kamarikuivauksessa. Molemmilla kuivaustavoilla saheet olivat hieman vaaleampia kuivana kuin tuoreena. Alipainekuivauksessa vaaleneminen oli hieman voimakkaampaa, mikä aiheutti värimuutoseron kuivaustapojen välillä. Kuivauksen jälkeen eri värisävyjen erot olivat myös pienet kuivaustapojen välillä (taulukko 12). Alipainekuivaus vähensi saheiden keltaisuutta ja tummuutta kamarikuivaukseen verrattuna. Eri värisävyjen avulla laskettu saheiden väriero kuivaustapojen välillä oli keskimäärin vain 1,3–1,6 yksikköä, joka on myös alle ihmissilmän erotuskyvyn. Höylättyssä pinnassa saheiden värierot kuivaustapojen välillä pienenevät tästäkin (taulukko 13).

Taulukko 12. Männyn ja kuusen pintasaheiden väriarvojen keskiarvot kuivauksen jälkeen.

	Kamarik. 70 astetta	Alipainek. 70 astetta
<i>Mänty</i>		
Vaaleus, L*	81,1	82,3
Punaisuus, a*	4,3	4,2
Keltaisuus, b*	28,1	27,1
<i>Kuusi</i>		
Vaaleus, L*	82,3	83,5
Punaisuus, a*	3,3	3,0
Keltaisuus, b*	25,0	24,7

Taulukko 13. Kuivaustavan vaikutus männyn ja kuusen pintasaheiden eri värisävyihin 0,5 ja 2,0 mm:n höyläyksen jälkeen.

	Tummuus 0,5 mm	Tummuus 2,0 mm	Punaisuus 0,5 mm	Punaisuus 2,0 mm	Keltaisuus 0,5 mm	Keltaisuus 2,0 mm
<i>Mänty</i>						
Kamari	82,7	84,7	3,8	3,7	25,2	23,3
Alipaine	84,7	85,8	3,2	3,4	24,0	22,2
<i>Kuusi</i>						
Kamari	85,1	85,5	2,6	2,8	20,0	20,1
Alipaine	85,7	86,4	2,6	2,8	20,9	20,3

3.3.2 Sydänsaheet

Sekä männyn että kuusen sydäntavarassa värimuutoserot alipaine- ja kamarikuivauksen välillä olivat vähäiset. Männyn sydäntavaran värimuutokset olivat alipainekuivauksessa hieman pienemmät kuin kamarikuivauksessa. Alipainekuivauksessa saheiden keskimääräinen värimuutos oli 2,1 ja kamarikuivauksessa 3,0 yksikköä. Kuusen sydänsaheissa värimuutos oli alipainekuivauksessa keskimäärin 2,2 ja kamarikuivauksessa 3,1 yksikköä. Alipainekuivauksessa vaaleneminen oli hieman voimakkaampaa, mikä aiheutti kuusella värimuutoseron kuivaustapojen välillä. Kamarikuivatut saheet olivat olivat molemmilla puulajeilla kuivauksen jälkeen tummempia, keltaisempia ja punaisempia kuin alipainekuivatut saheet (taulukko 14). Eri värisävyjen avulla laskettu väriero kuivaustapojen välillä oli männyllä 3,6 yksikköä ja kuusella alle ihmissilmän erotuskyvyn, vain 1,0 yksikköä. Höylätyn pinnan välinen väriero kuivaustapojen välillä oli merkityksetön (taulukko 15).

Taulukko 14. Männyn ja kuusen sydänsaheiden värisävyjen keskiarvot kuivauksen jälkeen.

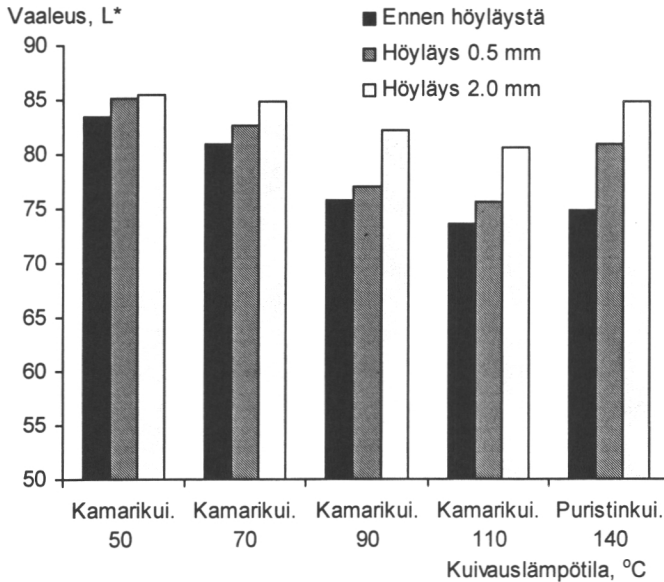
	Kamarik. 70 astetta	Alipainek. 70 astetta
<i>Mänty</i>		
Vaaleus, L*	82,1	84,3
Punaisuus, a*	5,2	3,8
Keltaisuus, b*	27,9	25,4
<i>Kuusi</i>		
Vaaleus, L*	86,2	87,0
Punaisuus, a*	2,2	1,9
Keltaisuus, b*	21,8	21,3

Taulukko 15. Kuivaustavan vaikutus männyn ja kuusen sydäntavaran eri värisävyihin 0,5 ja 2,0 mm:n höyläyksen jälkeen.

	Tummuus 0,5 mm	Tummuus 2,0 mm	Punaisuus 0,5 mm	Punaisuus 2,0 mm	Keltaisuus 0,5 mm	Keltaisuus 2,0 mm
<i>Mänty</i>						
Kamari	84,1	84,5	4,5	4,2	23,0	23,2
Alipaine	85,3	85,1	3,7	3,8	23,0	23,4
<i>Kuusi</i>						
Kamari	87,8	87,7	2,1	2,1	18,8	19,2
Alipaine	88,1	87,8	2,0	2,1	19,0	19,6

3.4 Puristinkuivaus

Puristinkuivauksen jälkeen mäntysaheiden pinta oli kirjava ja karkea. Saheiden vaaleus, punaisuus ja keltaisuus vastasivat 90 ja 110 asteessa kamarikuivattujen saheiden arvoja. Puristinkuivauksessa voimakkain värikerros oli sydänsaheissa myös ohuempi kuin pintasaheissa. Jo 0,5 millimetrin höyläyksellä saavutettiin sama väritaso mikä oli 90 ja 110 asteessa kamarikuivattujen väritaso kahden millimetrin höyläyksen jälkeen. Kahden millimetrin höyläyksen jälkeen puristinkuivattujen saheiden väriarvot (L^* , a^* , b^*) vastasivat 70 °C:ssa kamarikuivattujen höylätyn (2 mm) pinnan arvoja (kuva 14).



Kuva 14. Männen pintasaheiden vaaleus kamari- ja puristinkuivauksen jälkeen sekä höyläyksen jälkeen.

4 Tulosten tarkastelua

4.1 Arvio käytetyistä menetelmistä

Tutkimuksessa laskettiin värimuutokset erikseen pinta- ja sydänsaheille. Tulokset eivät kuvaa suoraan pinta- ja sydänpuun värimuutoksia, sillä tukit sahattiin nelisahauksena ja joissakin sydänsaheissa oli mukana myös pintapuuta ja päinvastoin.

Saheen pinnan väri vaihtelu on todellisuudessa suurempaa kuin mittaustuloksista on luettavissa. Värimittauspisteen pinta-ala oli pieni (2x2 cm) ja mittauskohdat valittiin siten, että niissä ei ollut mitään vikaisuuksia, ja että ne edustivat pinnan keskimääräistä väriä. Mittauspisteiden valinnasta johtuen koekappaleen värin vaihtelun ääriarvoja ei määritetty.

Kuivauskaavaksi valittiin 38 mm paksulle mäntysahatavaralle kullakin lämpötilatasolla sopiva kaava. Samaa kuivauskaavaa käytettiin myös pintasaheiden (25 mm) kuivaus-

nessa. Näin ollen pintasaheet kuivuivat alhaisempaan loppukosteuteen kuin sydän-
saheet. Jos pintasaheet olisi kuivattu niille parhaiten sopivalla kaavalla, olisivat niiden
värimuutokset olleet suurella todennäköisyydellä nyt saatuja pienemmät. Kuivaus-
kaavat olivat teollisuudessa toteutettavissa olevia. Ainoastaan lämmitysvaihe on talvi-
olosuhteissa liian lyhyt, jos kuivaamossa ei ole käytettävissä höyrykostutusta.

4.2 Tutkittujen tekijöiden vaikutus värimuutoksiin

Kuivauslämpötila

Kuivauslämpötila oli merkittävin saheiden värimuutoksiin vaikuttava tekijä. Kuivauslämpötilan nosto lisäsi värimuutoksen voimakkuutta sekä saheen pinnassa että saheen sisällä. Korkeat kuivauslämpötilat merkitsivät alempiin lämpötiloihin verrattuna myös epätasaisempaa lopputulosta eli värihajonta sekä saheessa että saheiden välillä kasvoi. Tasalaatuisin lopputulos saatiin käyttämällä alhaisia, 50 ja 70 asteen kuivauslämpötiloja.

Pelkästään saheiden värimuutoksien vertailu eri kuivauslämpötilojen välillä antoi hieman harhaisen kuvan kuivauksen lopputuloksesta. Saheen kokonaisvärimuutos laskettiin eri värisävyjen muutoksina, eli verrattiin tuoreen sahatavaran väriarvoja kuivauksen jälkeisiin arvoihin. Kokonaisvärimuutos ei kuitenkaan kuvaa, mihin suuntaan eri värisävyt muuttuvat. Alhaisissa kuivauslämpötilassa saheet, erityisesti pintasaheet, vaalenivat kuivauksessa, eli saheet olivat kuivattuna vaaleampia kuin tuoreena. Ilmiö esiintyi myös keltaisen ja punaisen värisävyyn kohdalla. Eli vaikka kokonaisvärimuutokset 50 asteessa kuivatuilla pintasaheilla olivat suuremmat kuin 70 asteessa kuivatuilla, niin siitä huolimatta 70 asteessa kuivatut saheet olivat kuivauksen jälkeen tummempia, keltaisempia ja punaisempia.

Kuivauslämpötila vaikutti voimakkaimmin saheiden vaaleustasoon. Saheiden tummuminen lisääntyi kuivauslämpötilan noustessa ja keltaisuus lisääntyi 90 asteen kuivauslämpötilaan saakka. Saheen punainen värisävy muuttui kuivauksessa vähiten. Eri värisävyjen avulla laskettu saheiden väriero kuivauslämpötilojen välillä antoi selkeän kuvan kuivauksen lopputuloksesta. Väriero 50 ja 70 asteessa kuivattujen saheiden välillä oli ihmissilmällä erotettavissa eli keskimäärin 2,0–4,2 yksikköä. Väriero 70 ja 90 asteessa kuivattujen saheiden välillä oli selvempi eli 3,7–6,0 yksikköä. Sen sijaan 90 ja 110 asteen kuivauslämpötilojen välillä saheiden keskimääräinen väriero oli ihmissilmän erotuskyvyn rajoilla, eli vain 1,9–2,9 yksikköä.

Kuivauksessa syntynyt värikerros oli sitä paksumpi mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Eri lämpötiloissa kuivattujen saheiden värierot pienenevät höyläyksessä. Höyläys piti ulottaa sitä syvemmälle mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty, mikäli haluttiin päästä lähelle matalassa lämpötilassa kuivatun saheen väritasoa. Tässä tutkimuksessa kahden millimetrin höyläys riitti poistamaan värierot 50 ja 70 asteessa kuivattujen saheiden välillä, mutta värierot eivät hävinneet korkeimmissa (90 ja 110 astetta) ja matalammissa lämpötiloissa (50 ja 70 astetta) kuivattujen saheiden väliltä. Sen sijaan 90 ja 110 asteessa kuivattujen saheiden värierot olivat vähäiset höyläyksen (2 mm) jälkeen. Huomattavaa oli, että 110 asteessa kuivatut saheet

eivät saavuttaneet kahden millimetrin höyläykselläkään 50 asteessa kuivattujen saheiden höyläämättömän pinnan vaaleustasoa. Korkeissa lämpötiloissa saheen väri muuttuu ilmeisesti kauttaaltaan eli kuivauksessa syntynyttä väriä ei voida kokonaan poistaa höyläämällä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että perinteisissä lämpötiloissa (50–70 astetta) kuivattua sahatavaraa ei tulisi sekoittaa samaan erään korkeammissa lämpötiloissa kuivatun tavaransa kanssa.

Kuivauksessa syntyvän värikerroksen paksuus oli erilainen pinta- ja sydänsaheissa. Sydäntavarassa voimakkain värikerros oli saheen pinnassa (0–0,5 mm). Pintalaudoissa kuivauslämpötilan vaikutus värikerroksen paksuuteen oli voimakkaampi. Matalissa kuivauslämpötiloissa, 50 ja 70 asteessa voimakkain värikerros hävisi pintalaudoista 0,5 millimetrin höyläyksellä, mutta korkeissa lämpötiloissa kuivatuissa saheissa värimuutos, erityisesti tummuminen ulottui syvemmälle saheeseen. Pintalaudoissa keltainen värikerros oli muista värisävyistä poiketen myös korkeissa lämpötiloissa vain saheen pinnassa.

Pinta- ja sydänpuun väriero oli sitä suurempi kuivauksen jälkeen mitä korkeampaa kuivauslämpötilaa oli käytetty. Korkeissa kuivauslämpötiloissa (90 ja 110 astetta) värimuutos ulottui pintasaheissa syvemmälle kuin sydänsaheissa. Tämä merkitsi sitä, että pinta- ja sydänpuun välinen väriero kasvoi 0,5 millimetrin höyläyksessä. Höyläyksen ulottuessa syvemmälle (2 mm) pinta- ja sydänpuun värierot pienenivät selvästi.

Kuivaustapa

Värimuutoserot kamari- ja alipaine-kuivattujen saheiden välillä 70 asteen lämpötilassa olivat vähäiset. Erot kuivaustapojen välillä olivat sekä kuusella että männyllä alle yhden yksikön. Alipaine-kuivaus vähensi hieman saheiden tummuutta, keltaisuutta ja punaisuutta kamarikuivaukseen verrattuna. Saheiden väriero kuivauksen jälkeen oli pääsääntöisesti alle ihmissilmän erotuskyvyn. Suurin väriero, 3,6 yksikköä oli männyn sydäntavaralla. Saheen höylätyssä pinnassa värierot kuivaustapojen välillä olivat merkityksettömät. Alipaine-kuivauksessa värimuutoksen synty ei ole yhtä voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta kuin kamarikuivauksessa, ja kuivaustavan hyöty tulee esiin korkeammissa kuivauslämpötiloissa. (Wastney ym. 1997). Wastneyn ym. (1997) tutkimuksessa alipaine-kuivaus vähensi radiatamännyn pintapuun värimuutoksia kamarikuivaukseen verrattuna erityisesti korkeissa lämpötiloissa. Tässä tutkimuksessa käytettiin alipaine-kuivauksessa yhtä lämpötilaa (70 astetta), joten vastaavanlaista johtopäätöstä ei voitu tehdä.

Kuumailmakuivauksen merkittävänä ongelmana ovat värimuutokset. Tässä tutkimuksessa puristuskuivauskokeet korkeassa 140 asteen lämpötilassa antoivat myönteisen kuvan menetelmän soveltuvuudesta. Kuivauksen jälkeen mäntysaheiden pinta oli tummunut ja kirjava, mutta höyläyksessä nämä haitat poistuivat. Kahden millimetrin höyläyksen jälkeen puristinkuivattujen saheiden väritaso vastasi 70 °C:ssa kamari-kuivattujen höylätyn (2 mm) pinnan väriä. Puristin- ja kamarikuivauksen tulosten vertailtavuutta heikensi se, että koemateriaali oli peräisin eri lähteistä.

Kaatoajankohta ja kasteluvarastointi

Puun kaatoajankohdan sekä kasteluvarastoinnin merkitys saheiden värimuutoksiin oli käytännön kannalta vähäinen. Saheiden höyläämättömässä pinnassa värierot olivat osittain vielä ihmissilmällä havaittavissa, mutta eivät enää höylätyssä pinnassa. Talvikaato lisäsi hieman saheiden värimuutoksia kuivauksessa. Talvikaadon puiden muita korkeammat värimuutokset näkyivät selvimmin pintasaheissa, jotka oli kuivattu alhaisissa lämpötiloissa.

Talvikaadon sekä kasteluvarastoitujen puiden saheet olivat kuivauksen jälkeen muita tummempia ja keltaisempia. Talvikaato lisäsi hieman saheiden kellastumista kuivauksessa ja kasteluvarastoinnissa (6 vko) kellastumista oli tapahtunut varastoinnin aikana. Vaaleuserot olivat jo ennen kuivausta eli kaatoajankohdalla ei ollut vaikutusta saheiden tummumiseen kuivauksessa.

Vastaavanlaisia tuloksia talvikaadon vaikutuksesta värimuutoksiin on esittänyt Terziev (1996), jonka tutkimuksessa talvikaato lisäsi männyn pintasaheiden värimuutoksia kuivauksessa kevätkaatoon verrattuna. Ero oli 0,94 yksikköä. Tässä tutkimuksessa ero oli hieman suurempi. Terzievin (1996) tutkimuksessa talvi- ja kevätkaadon saheiden välillä ei ollut merkittäviä eroja eri värisävyissä kuivauksen jälkeen. Tulosten vertailtavuutta tutkimusten välillä vaikeuttaa mahdolliset kuivauskaavojen erot. Terziev (1996) käytti vain yhtä kuivauslämpötilaa ja tässä tutkimuksessa lämpötilatasoja oli neljä.

Saheiden väriarvot ennen kuivausta erosivat jonkin verran toisistaan eri kaatoajankohtien sekä kasteluvarastoinnin välillä. Kasteluvarastointi lisäsi erityisesti pintalautojen keltaisuutta ja jonkin verran myös tummuutta. Talvikaadon saheet olivat myös ennen kuivausta muita tummempia ja sydäntavarana keltaisuus oli muita voimakkaampaa. Yksi syy väriarvojen eroihin on puun kosteuden vaihtelu. Kosteuden kasvu puussa merkitsee myös vaaleustason pienentymistä (Wiberg 1996). Tuoreen puun kosteus on suurimmillaan kasvukauden ulkopuolella (Hakkila 1964).

Kasvupaikan viljavuus

Kasvupaikan viljavuuden merkitys saheiden värimuutoksiin oli vähäinen. Saheiden värierot olivat sekä höyläämättömässä että höylätyssä pinnassa alle ihmissilmän erotuskyvyn. Kasvupaikan vaikutus värimuutoksiin näkyi ainoastaan männyn sydäntavarassa, jossa pihkan sulaminen aiheutti voimakkaammat värimuutokset karun kasvupaikan puissa.

Saheen kuivumisnopeus riippuu puuaineen tiheydestä – kevyt puu kuivuu nopeammin (Kanko 1990). Kuivumisnopeus vaikuttaa ravinteiden rikastumiseen ja mahdollisesti myös värimuutoksiin. Tässä tutkimuksessa viljavan kasvupaikan puiden keskimääräiset kuivatuoretiheydet olivat alhaisempia kuin karun. Pintapuun tiheysero kasvupaikkojen välillä oli kuusella peräti 64 kg/m^3 . Männyllä puuaineen tiheyserot kasvupaikkojen välillä olivat pienemmät – pintapuun tiheysero oli jopa hieman, 7 kg/m^3 korkeampi viljavan kasvupaikan puissa. Kun kasvupaikkojen puiden välillä ei ilmennyt värimuutoseroja, voidaan olettaa, että puun kuivatuoretiheydellä ei myöskään ole vaikutusta kuivauksessa syntyviin värimuutoksiin.

Kuivatuoretiheys vaikuttaa puun kosteussuhteeseen. Kuusen kuivatuoretiheyden kasvu merkitsee alhaisempaa kosteussuhdetta pintapuussa (Tamminen 1964). Näin oli myös tässä tutkimuksessa. Tuoreen puun kosteustason on arveltu vaikuttavan sekä ravinteiden rikastumiseen saheen pintaan että myös värimuutoksen voimakkuuteen kuivauksessa (Boutelje 1990). Tässä tutkimuksessa kuusen pintasaheiden värimuutokset olivat samaa luokkaa molempien kasvupaikan puissa, vaikka viljavan kasvupaikan pintasaheissa kosteussuhde oli noin 30 % korkeampi karun kasvupaikan saheisiin verrattuna.

4.3 Puulajien vertailu

Männyn ja kuusen pintasaheiden värimuutoksissa ei ollut merkittäviä eroja. Kuusella värimuutokset olivat hieman suuremmat. Sen sijaan sydänsaheiden värimuutoksissa oli eroja puulajien välillä. Männyn sydäntavaran värimuutokset kuivauksessa olivat selvästi suuremmat kuin kuusen. Suurin ero puulajien välillä oli 90 asteen kuivauslämpötilassa, jossa männyn sydänsaheiden värimuutokset olivat yli kaksinkertaiset kuuseen verrattuna. Kuusen sydänsaheiden värimuutokset lisääntyivät tasaisemmin. Vastaavanlaista värimuutospiikkiä ei esiintynyt. Värimuutosero johtui voimakkaammasta pihkan sulamisesta männyn sydänpuussa. Wibergin (1996) tutkimuksen mukaan männyn sydäntavaran vaaleus vähenee kuivauksessa voimakkaammin kuin kuusen. Ero on sitä suurempi mitä korkeampi kuivauslämpötila on. Vastaavanlaisia tuloksia saatiin myös tässä tutkimuksessa.

Wibergin (1996) tutkimuksen mukaan sekä männyn että kuusen pintasaheet tummuivat kuivauksessa selvästi jo lämpötilan noustessa 50 asteesta 70 asteeseen. Tässä tutkimuksessa tulokset olivat samansuuntaisia, mutta vaaleuserot 50 ja 70 asteessa kuivattujen pintasaheiden välillä olivat pienemmät. Wibergin (1998) tutkimuksessa pintalautojen vaaleus palautui kolmen millimetrin höyläyksellä samalle tasolle kuin se oli ennen kuivausta. Saman tutkimuksen mukaan 70 asteessa kuivatut pintalaudat olivat höyläyksen jälkeen tummempia (2 yksikköä) kuin 50 asteessa kuivatut. Tässä tutkimuksessa 50 ja 70 asteessa kuivattujen pintasaheiden vaaleusero oli vähäisempi jo kahden millimetrin höyläyksen jälkeen. Tutkimusten vertailukelpoisuutta heikentää mahdolliset erot kuivauskaavoissa.

Männyn pinta- ja sydänsaheiden väriero kuivauksen jälkeen kasvoi kuivauslämpötilan noustessa. Männyn pintasaheissa eri värisävyt muuttuivat suhteellisen tasaisesti kuivauslämpötilan kasvaessa, kun taas sydänsaheissa värimuutospiikki esiintyi 90 asteessa. Sydäntavaran punaisuus ja keltaisuus oli pintasaheita voimakkaampaa kaikissa kuivauslämpötiloissa, erityisesti 90 asteessa. Sekä pinta- että sydänsaheiden vaaleus oli samalla tasolla aina 90 asteen kuivauslämpötilaan saakka. Wibergin (1996) mukaan männyn pintasaheet tummuivat sydänsaheita enemmän lämpötilan noustessa 50 asteesta 70 asteeseen. Tässä tutkimuksessa männyn pintasaheiden tummuminen oli voimakkaampaa vasta 110 asteessa.

Kuusen pintasaheissa värimuutokset olivat suuremmat kuin sydänsaheissa. Pintalautojen väri oli voimakkaampi kaikissa kuivauslämpötiloissa. Selvin oli saheiden vaaleusero, joka kasvoi lämpötilan kasvaessa. Wiberg (1996) on esittänyt vastaavan-

laisia tuloksia kuusen pinta- ja sydänsaheiden tummumiseroista kuivauslämpötilan noustessa 50 asteesta 70 asteeseen. Kuusen pintapuun ja sydänpuun väriero kuivauksen jälkeen oli samaa tasoa 50–90 asteen lämpötiloissa. Väriero lähes kaksinkertaistui 110 asteessa. Korkeissa kuivauslämpötiloissa värimuutos ulottui pintapuussa syvemmälle kuin sydänpuussa. Tästä johtuen pinta- ja sydänpuun väriero oli suurempi 0,5 millimetrin syvyydellä kuin saheen pinnassa. Pinta- ja sydänpuun väriero väheni selvästi kahden millimetrin syvyydellä.

Mänty- ja kuusisahatavaran kuivauksessa korkeat lämpötilat eivät osoittautuneet puun jatkojalostuksen kannalta ongelmalliseksi. Puun tummumisesta ei yleensä ole haittaa, mikäli puu kuivataan niin, että värivirheet saadaan höyryäksellä pois. Eri lämpötiloissa kuivattuja puueriä ei kuitenkaan kannata värieron takia sekoittaa keskenään. Kuumakuivauksella voidaan puuta tummentaa esimerkiksi korjausrakentamisen tarpeisiin.

Lähdeluettelo

- Boutelje, J. B. 1990. Increase of the content nitrogenous compounds at lumber surface during drying and possible biological effects. *Wood Sci. Technol.* 24:191–200.
- Fischer, C. & Höll, W. 1992. Wood reserves in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) II Seasonal changes and radial distribution of carbohydrate and fat reserves in pine wood. *Trees* 6: 147–155.
- Hakkila, P. 1961a. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. *Commun. Inst. For. Fenn.* 54(6):1–34.
- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmetsiköt kuitu- ja energianlähteenä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 582.
- Helmisaari, H.-S. & Siltala, T. 1989. Variation in nutrient concentration of *Pinus sylvestris* stems. *Scand. J. For. Res.* 4:443–451.
- Höll, W. 1985. Seasonal fluctuation of reserve materials in the trunkwood of spruce (*Picea abies* L. Karst.) *J. Plant Physiol.* 117:355–362.
- International standard ISO 7724/3–1984(E). *Paints and varnishes-Colorimetry-Part 3: Calculation of colour differences.*
- Kanko, T. 1990. Kuusen kosteusominaisuudet. VTT julkaisuja 682. Espoo. 35 s.
- Kreber, B. A., McDonald, G. & Haslett, A. N. 1996. Research on the cause of kiln brown stain in radiata pine. 1st Progress report. FRI Wood Processing division. 58 s.
- Kreber, B. & Haslett, A. N. 1997. A study of some factors promoting kiln brown stain in radiata pine. *Holz als Roh und Werkstoff* 55.
- Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. 415 s.
- Laytner, F. L. 1995. Tacking problems stains. *NZ Forest industries* 26 (5):31–32.
- Paajanen, T. & Siimes H. Sahatavaran kuivaus. *Mekaaninen metsäteollisuus 2, Sahateollisuus.* Helsinki 1996. 120–146.
- Saranpää, P. & Höll, W. 1989. Soluble carbohydrates of *Pinus sylvestris* L. sapwood and heartwood. *Trees* 3:138–143.
- Saranpää, P., Laakso, T. & Voipio, R. Changes in the amount and composition of sapwood extractives of *Pinus sylvestris* L. during wet storage.
- Sehstedt-Persson, S.M.B. 1995. High-temperature drying of Scots pine. A comparison between HT- and LT-drying. *Holz Roh- Werkstoff.* 53:95–99.
- Shields, J. K., Desai, R.L. & Clarke, M.R. 1973. Control of brown stain kiln-dried Eastern Pine. *Forest Products Journal.* 1973, 23:10,28–30; 7 ref.

- Tamminen, Z. 1964. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. II Grann. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. II Norway spruce. Rapp. Uppsats. Inst. Virkeslära Skogshögsk. 47:1-124.
- Tarvainen, V. 1994. Sahatavaran kuumakuivaus, esiselvitys. VTT Julkaisuja 797. 94s. + liitt. 31 s.
- Tarvainen, V. & Hukka, A. 1997. Sahatavaran kierouden vähentäminen kuivauksen keinoin. VTT Tiedotteita 1861. 36 s.
- Terziev, N. 1996. Low-molecular weight sugars and nitrogenous compounds in Scots pine. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Theander, O., Bjurman, J. & Boutelje, J. B. 1993. Increasing in the content of low-molecular carbohydrates at lumber surface during drying and correlation with nitrogen content, yellowing and mould growth. Wood sci. Technol. 27:381-398.
- Wastney, S., Bates, R., Kreber, B. & Haslett, A. 1997. The potential of vacuum drying to control kiln brown stain in radiata pine. *Holzforschung und Holzverwertung*. 49:3, 56-58; 20 ref.
- Wiberg, P. Colour changes of Scots pine and Norway spruce. A comparison between three different drying treatments. *Holz als Roh und Werkstoff* 54:5,349-354; 16 ref.

LIITE

Mänty- ja kuusisaheiden vaaleus (L^*), punaisuus (a^*) ja keltaisuus (b^*) kuivauksen jälkeen ja höyläyksen (2 mm) jälkeen.

MÄNTY

Ennen höyläystä 50°C 70°C 90°C 110°C

Pintasaheet	L^* 82,30	L^* 80,40	L^* 75,40	L^* 73,30
	a^* 4,20	a^* 4,50	a^* 5,70	a^* 6,00
	b^* 25,00	b^* 28,20	b^* 30,20	b^* 29,60

Sydänsaheet	L^* 83,00	L^* 80,60	L^* 76,30	L^* 77,00
	a^* 4,20	a^* 5,60	a^* 8,10	a^* 7,20
	b^* 25,70	b^* 29,00	b^* 32,00	b^* 30,30

Höyläys 2 mm 50°C 70°C 90°C 110°C

Pintasaheet	L^* 85,50	L^* 84,80	L^* 82,20	L^* 80,70
	a^* 3,60	a^* 3,60	a^* 3,90	a^* 4,00
	b^* 22,40	b^* 23,90	b^* 25,30	b^* 26,60

Sydänsaheet	L^* 85,80	L^* 84,70	L^* 82,30	L^* 82,20
	a^* 3,20	a^* 4,00	a^* 4,50	a^* 4,30
	b^* 23,00	b^* 23,60	b^* 25,70	b^* 26,70

KUUSI

Ennen höyläystä 50°C 70°C 90°C 110°C

Pintasaheet	L^* 83,00	L^* 81,00	L^* 75,80	L^* 73,10
	a^* 3,00	a^* 3,70	a^* 5,20	a^* 5,70
	b^* 23,90	b^* 26,70	b^* 28,80	b^* 28,60

Sydänsaheet	L^* 85,40	L^* 84,50	L^* 82,00	L^* 80,40
	a^* 2,40	a^* 2,70	a^* 3,50	a^* 3,90
	b^* 21,30	b^* 23,30	b^* 25,60	b^* 25,90

Höyläys 2 mm 50°C 70°C 90°C 110°C

Pintasaheet	L^* 86,10	L^* 85,50	L^* 83,40	L^* 82,10
	a^* 2,80	a^* 2,80	a^* 3,20	a^* 3,30
	b^* 20,00	b^* 20,50	b^* 22,90	b^* 24,00

Sydänsaheet	L^* 88,20	L^* 87,50	L^* 84,40	L^* 84,10
	a^* 1,90	a^* 2,20	a^* 2,90	a^* 2,90
	b^* 18,70	b^* 19,40	b^* 22,20	b^* 22,50



ISBN 951-40-1774-9
ISSN 0358-4283
Hakapaino 2001