

# Koivun kuivausmenetelmät 2000-vuosituhaannelle

## Seminaaripäivän esitelmät

Mika Riekkinen ja Timo Kärki (toim.)





16.07.01

**METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 810**

**KOIVUN KUIVAUSMENETELMÄT 2000-VUOSI-  
TUHANNELLE**

**Seminaaripäivän esitelmät**

**Mika Riekkinen ja Timo Kärki (toim.)**

**JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS  
2001**

**Riekkinen, M. ja Kärki, T. (toim.) 2001.** Koivun kuivausmenetelmät 2000-vuosituhannelle. Seminaaripäivän esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 810.

Puunkuivausmenetelmien periaateratkaisut ovat olleet tunnettuja jo pitkään. Monet kuivaustavat eivät kuitenkaan ole yleisesti käytössä, ja siinä mielessä voidaan puhua uusista menetelmistä. Todellista uutuutta on myös teknologiassa, jonka tarjoamat mahdollisuudet ovat kehittyneet nopeasti. Lisäksi ajankohtaiset näkökulmat muuttuvat vuodesta toiseen. Lopputuotteen laatu ja toiminnan ekotehokkuus ovat päivän teemoja ja ne vaikuttavat myös käytettävään kuivausteknologiaan.

Usein sanotaan, että varsinaiset vaikeudet koivun mekaanisessa jalostuksessa ovat kuivauksessa. Etenkin paksun koivutavaran kuivaaminen on ollut vaikeaa lämminilmakuivaamoissa, kun lämpötila on ollut alle 100 °C. Koivun kuivausvicioista selvästi yleisin on puuaineen värinmuutos (punertuminen, tummuminen, kellastuminen), mikä on usein vielä epätasaista ja ilmenee etenkin saheidin sisäosissa. Pintaan jää usein muutaman millimetrin paksuinen hyvin vaalea kerros, minkä vuoksi lopputuotteisiin voi syntyä raidallisuutta. Kuivausrimat voivat aiheuttaa tummat jäljet sahatavaran pintaan ja metallikorroosio voi aiheuttaa sinistymää kuivaamoissa. Koivutavara on kuivattava hitaasti ja varovaisesti, kuivaus kestää pitempään kuin havupuilla, ilma- ja keinokuivauksen yhdistäminen tuottaa vaikeuksia ja kuivauskaavat on jouduttu opettelemaan empiirisesti.

Tiedonannossa olevissa esitelmissä on esitetty muutamia tällä hetkellä menossa olevia tutkimushankkeita, joilla on pyritty löytämään ratkaisuja koivun kuivauksen ongelmiin. Lisäksi julkaisussa on selvitetty alipaine-kuivauksen, alipaine-suurtaajuuskuivauksen ja kuumakuivauksen mahdollisuuksia koivun kuivauksessa.

**Avainsanat:** koivu, sahatavara, viilu, kuivaus, huonekaluteollisuus, osaamiskeskus

**Kirjoittajien yhteystiedot:** Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu, puhelin (013) 251 4000, faksi (013) 251 4111, sähköposti [etunimi.sukunimi@metla.fi](mailto:etunimi.sukunimi@metla.fi)

**Julkaisija ja tilaukset:** Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus.

## Alkusanat

Käsissänne olevan seminaarijulkaisun tarkoitus on kerätä yhteen koivun kuivauksen kannalta jo tiedossa olevaa relevanttia uusinta tutkimustietoa sekä esittää muutamien käytännön esimerkkien avulla ongelmia ja kehittämistarpeita koivun kuivaustutkimuksen suuntaamiseksi. Koivun lämminilmakuivauksessa ovat hankalimpina ongelmina kuivauksen aikana puussa tapahtuvat värinmuutokset, etenkin sisäosien tummuminen ja rimajäljet. Värinmuutoksia, jotka aiheutuvat kemiallisista reaktioista kosteuden ja lämpötilan muuttuessa kuivauksen aikana, on tutkittu vain vähän eikä niiden perussyitä tunneta. Väriasiat näkyvät helposti lakatuissa tai muulla kuultavalla pintakäsittelyaineella käsitellyissä vaaleissa koivutuotteissa, esim. huonekaluissa, parketissa, tai ne jopa korostuvat pintakäsittelyjen yhteydessä heikentäen lopputuotteen laatua.

Yleisesti käytössä olevat koivun kuivausmenetelmät vaativat pitkän kuivausajan. Siltikin lopputulos on joskus yllättävän huono ja kuivatut saheet ovat sisältä tummuneita. Pelkkä kaavojen kokeilu ei kuitenkaan enää tuo uutta tietoa, vaan on tutkittava myös uusia kuivaustapoja (esim. alipainekuivaus, mikroaaltokuivaus), sillä koivupuun suurin etu on sen tasainen vaaleus ja on ensiarvoisen tärkeää myös säilyttää koivu sellaisena kuivauksessa. Siten nykyisessä lehtipuun kuivaustutkimuksessa on pyritty lähestymään ongelmia uusien menetelmien avulla, joita esitellään myös tässä seminaarijulkaisussa.

Kyseinen tiedonsiirtoseminaari on järjestetty Puutuotealan osaamiskeskuksen ja Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimuskeskuksen yhteistyönä. Puutuotealan osaamiskeskus on maanlaajuinen yhteistyöverkosto, joka välittää yrityksille yliopistojen ja tutkimuslaitosten puualan osaamista. Verkostossa ovat alueellisella tasolla mukana myös ammattikorkeakoulut ja kaikkiaan verkostossa on 45 toimijaa. Metlan Joensuun tutkimuskeskus on yksi keskeisistä toimijoista tässä kokonaisuudessa. Käytännössä Puutuotealan verkostomallinen osaamiskeskus välittää yrityksille ja kehittäjille täsmäosaamista, joka on tiedonsiirtoa, uuden osaamisen kehittämistä ja puurakentamisen esimerkkikohteiden edistämistä.

Joensuussa toukokuussa 2001

Toimittajat



## SISÄLLYS

KOIVUN KUIVAUS – JATKOJALOSTUKSEN PULLONKAULAKYSYMYKSI? .....	7
Erkki Verkasalo	
UUDET KUIVAUSMENETELMÄT – MITEN JA MIKSI? .....	9
Alpo Ranta-Maunus	
PUUN KUIVAUS KORKEISSA LÄMPÖTILOISSA .....	15
Antti Hanhijärvi	
PUUN KEMIALLISTEN KOOSTUMUKSEN MUUTTUMINEN LÄMPÖKÄSITTELYSSÄ JA TUOTTEEN LAADUNVALVONTA .....	19
Risto Kotilainen	
VÄRINMUUTOKSET KOIVUN KUIVAUKSESSA .....	21
Antti Asikainen, Veikko Möttönen ja Kirsi Mononen	
KOIVUN ALIPAINEKUIVAUS .....	27
Timo Lahtinen	
KOIVUN ALIPAINESUURTAAJUUSKUIVAUS (HFV-KUIVAUS) .....	31
Esa Auvinen	
KOIVUN KUUMAKUIVAUS; TAUSTAA JA KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSIA .....	35
Heikki Sonninen	
KOIVUN ALIPAINEKUIVAUS SAHAAJAN KANNALTA .....	41
Osmo Niemi ja Matti Kontro	
KOIVUN SUURIMITTAKAAVAINEN KUIVAUS .....	47
Jukka Peltoranta	
HUONEKALUVALMISTAJAN VAATIMUKSET KOIVUN KUIVAUKSELLE .....	49
Olavi Isomäki	





# KOIVUN KUIVAUS – JATKOJALOSTUKSEN PULLONKAULAKYSYMYS?

Professori Erkki Verkasalo  
Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus  
PL 68, 80101 Joensuu  
puh. (013) 251 4143, faksi (013) 251 4111, [erkki.verkasalo@metla.fi](mailto:erkki.verkasalo@metla.fi)

Koivun kaupallinen sahaus saavuttaa Suomessa 100 000 sahatavara-m<sup>3</sup>:n rajapyykin kuluvana vuonna. Samalla sahatun tukin määrä lähestyy 300 000 kuutiometriä. Käytön lisäys on yhtäältä perinteistä järeää koivua, mutta ennen kaikkea harvennushakkuista saatavaa pikkutukkia. Suurin osa koivun sahauksesta on Itä-Suomessa ja valtaosa yrityksistä on ainakin kokeillut tuontikoivun sahausta. Iso koivutukki ja harvennuksista tai tukkipuiden latvaosista saatava pikkutukki ovat kokemusten mukaan tyystin erilaisia materiaaleja sekä sahaus- ja jatkojalostustekniikan että puuaineen ominaisuuksien mahdollistamien tuotteiden suhteen. Myöskään kotimaasta hankitun ja tuontikoivun eroja ei tunneta paljoakaan.

Usein sanotaan, että varsinaiset vaikeudet koivun mekaanisessa jalostuksessa ovat kuivauksessa. Etenkin paksun koivutavaran kuivaaminen on ollut vaikeaa lämmينilmakuivaamoissa, kun lämpötila on ollut alle 100 °C. Koivun kuivausvioletta selvästi yleisin on puuaineen värinmuutos (punertuminen, tummuminen, kellastuminen), mikä on usein vielä epätasaista ja ilmenee etenkin saheidien sisäosissa. Pintaan jää usein muutaman millimetrin paksuinen hyvin vaalea kerros, minkä vuoksi lopputuotteisiin voi syntyä raidallisuutta. Kuivausrimat voivat aiheuttaa tummat jäljet sahatavaran pintaan ja metallikorroosio voi aiheuttaa sinistymää kuivaamoissa. Polyesterilakkaus voi aiheuttaa laikkuisuutta ja höyrytys hallitsematonta kellertymistä tai punertumista. Koivutavara on kuivattava hitaasti ja varovaisesti, kuivaus kestää pitempään kuin havupuilla, ilma- ja keinokuivauksen yhdistäminen tuottaa vaikeuksia ja kuivauskaavat on jouduttu opettelemaan empiirisesti.

Koivun kuivauksessa vääntyilyä ja kieroutumista aiheuttavia jännitteitä ei myöskään pystytä aina poistamaan ja epätasaiseksi jäänyt loppukosteus saattaa jopa aiheuttaa hankalia lisäjännityksiä. Halkeilua esiintyy harvemmin, lähinnä paksun sahatavaran päätyhalkeiluna. Muita kuivausvirheitä voivat olla pintakovuus ja oksien irtoaminen. Kieroutumiseen ja halkeiluun voidaan vaikuttaa sahausuunnalla. Järeät tukit sahataan puusepän- ja huonekaluteollisuuden materiaaliksi yleensä läpisahaten, koska näin voidaan hidastaa kuivumista ja estää kieroutumista ja vääntyilyä sekä halkeilua sivulappeessa. Tämä myös nopeuttaa sahausta, parantaa saantoa ja antaa suurimmat mahdollisuudet käyttää laadukas, oksaton ja virheetön pintapuu tarkasti. Pikkutukeilla pyritään nopeaan, tehokkaaseen sahaukseen tavoitteena hyödyntää mahdollisimman hyvin pölkyn terveoksainen osa.

Koivuissa esiintyy yleisesti vetopuuta lenkojen ja mutkaisten runkojen sekä oksien epäkeskeisesti kasvaneella yläpinnalla. Vetopuun työstössä on vaikeuksia ja se halkeilee ja vääntyilee kuivattaessa tavallista enemmän suurehkon pitkittäis-

suuntaisen kutistumisen vuoksi. Vetopuu myös säilyy kuivauksessa muuta puuta vaaleampana aiheuttaen omalta osaltaan kirjavuutta puuaineeseen.

Perinteiset järeän koivun sahaajat ovat hankkineet tarvitsemansa tiedot ja taidot kuivaamisesta omin kokeiluin. Vasta 1990-luvun puolivälistä on tutkimus- ja kehittämisorganisaatioissa ryhdytty selvittämään systemaattisesti koivun kuivaukseen liittyviä kysymyksiä. Käytettävissä on jo jossain määrin tuloksia koivun kuivauksen mahdollisuuksista, haasteista, ongelmista ja niiden ratkaisukeinoista. Lisäksi kuivaamovalmistajille ja koivua jalostaville yrityksille on kertynyt vielä lyhyeen kehitystyön kauteen nähden runsaasti omia kokemuksia. Tutkimus- ja kehitystyö jatkuu ja muutaman vuoden sisällä tiedämme varmasti paljon enemmän näistäkin mekaanisen puunjalostuksen kysymyksistä.

# UUDET KUIVAUSMENETELMÄT – MITEN JA MIKSI?

Tutkimusprofessori Alpo Ranta-Maunus  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
PL 1806, 02044 VTT

puh. (09) 456 5536, faksi (09) 456 7027, Alpo.Ranta-Maunus@vtt.fi

## 1 JOHDANTO

Puunkuivausmenetelmien periaateratkaisut ovat olleet tunnettuja jo pitkään. Monet kuivaustavat eivät kuitenkaan ole yleisesti käytössä, ja siinä mielessä voidaan puhua uusista menetelmistä. Todellista uutuutta on myös teknologiassa, jonka tarjoamat mahdollisuudet ovat kehittyneet nopeasti. Lisäksi ajankohtaiset näkökulmat muuttuvat vuodesta toiseen. Lopputuotteen laatu ja toiminnan ekotehokkuus ovat päivän teemoja ja ne vaikuttavat myös käytettävään kuivausteknologiaan.

Puuta kuivataan sen säilyvyyden (sinistymisen, home, laho) ja työstöpinnan parantamiseksi, liimauksen mahdollistamiseksi ja loppukäytön aikaisen kosteuselämisen minimoimiseksi. Kuivauslaadulle asetettavat vaatimukset ilmaistaan tavoitearvoina loppukosteudelle ja sen tasaisuudelle sekä kuivausvirheiden hyväksyttävyydelle asetettavina rajoina, jotka riippuvat tuotteen loppukäytöstä. Rakennussahatavaralle riittää oikea loppukosteus ja kohtuullinen suoruus. Rakennuspuusepänteollisuuden käyttöön tulevan sahatavaran tulee olla lisäksi ehjää ja tasaannutettua siten, että siinä ei ole haitallisia jännityksiä ja kosteusgradientteja. Huonekaluteollisuudessa otetaan muita teollisuuden aloja suuremmalla painolla huomioon ulkonäköseikat kuten värin tasaisuus.

## 2 ERI KUIVAUSMENETELMIÄ

### 2.1 Lautatarhakuivaus

Lautatarhakuivauksessa puu kuivuu varsinkin keväällä, kun kuiva ilma kiertää tapulissa ja kuljettaa pois puusta haihtuneen kosteuden. Vakava puute lautatarhakuivauksessa on sen riippuvuus säästä ja säätömahdollisuuksien puuttuminen. Lautatarhakuivausta nykyaikaisempi kuivausmenetelmä on aurinkoenergialla toimiva kuivaamo, jota kehitetään Etelä-Euroopassa.

### 2.2 Lämminilmakuivaus

Ilman kiertoon perustuvassa keinokuivauksessa eli lämminilmakuivauksessa sekä ilman kiertonopeutta että kosteutta voidaan kontrolloida. Lisäksi ilman lämpötila voidaan nostaa halutuksi. Lämminilmakuivaamot voidaan jakaa kahteen pääryhmään, kanava- ja kamarikuivaamoihin.

Kanavakuivaamoja on käytössä pääasiassa suurilla vientisahoilla. Kanavakuivauksessa säätömahdollisuudet ovat varsin vähäiset. Pääasia kanavakuivauksessa onkin suurten volyymien kuivaaminen kustannustehokkaasti. Kaksivaiheinen kanavakuivaamo on tuonut selvän laadullisen parannuksen normaaliin kanavakuivaukseen verrattuna.

Kamarikuivauksessa voidaan säätää ilman lämpötilaa, kosteutta ja kierto nopeutta, mikä mahdollistaa halutun laadun tuottamisen. Havusahatavaralla korkeampi lämpötila merkitsee nopeampaa kuivumista, vähemmän halkeilua pinnassa ja vähäistä värin tummumista.

## 2.3 Kuumakuivaus

Puun kuivumista voidaan lämminilmakuivaukseen verrattuna nopeuttaa nostamalla lämpötila yli veden kiehumispisteen (100 °C). Tällöin puhutaan kuumakuivauksesta. Kuumakuivaus on yleistä USA:ssa, Australiassa ja Uudessa-Seelannissa. Kuumakuivausta on alettu käyttää esimerkiksi Ruotsissa sahatavaran kuivauksessa ja Suomessa hirsien kuivauksessa.

Kuumakuivaus voidaan jakaa periaatteessa kahteen menetelmään. Kuumailmakuivauksessa voidaan käyttää ilmanvaihtoa kuten lämminilmakuivauksessa. Varsinaisessa kuumakuivauksessa kuivaamoon ei sen sijaan oteta raitista ilmaa, vaan kosteus poistuu paineella (höyrynä) kuivaamosta. Kuumakuivauksen sovellutus on myös kuivaus kuumassa öljyssä, jolloin kuivuminen nopeutuu entisestään ja puulle saadaan öljyinen pinta (kuva 1).

Kuumakuivaukselle on tyypillistä puun lujuuden aleneminen ja sisähalkeamien syntymisen riski. Kuumakuivattu puutavara on väriltään selvästi ”normaalisti” kuivattua puutavaraa tummempaa. Lämpökäsittelyn esivaiheeksi on kehitetty pikakuivaus korkealaatuisen kuivaustuloksen varmistamiseksi.



**Kuva 1.** Öljykuivauksen koelaitteisto (MTT / VAKOLA).

## 2.4 Alipainekuivaus

Jos kuivauslämpötilaa ei haluta nostaa, voidaan kuivausta nopeuttaa suorittamalla se alipaineessa. Kuivaamossa vallitsevan alipaineen suuruudesta riippuen vesi kiehuu jo 40 – 80 °C:ssa. Alipainekuivaus on nopea kuivausmenetelmä. Jos kuivaaminen tapahtuu matalassa lämpötilassa, ei usein haitallisia värimuutoksia juurikaan esiinny. Alipainekuivaus soveltuu erityisen hyvin vaikeasti kuivattavien lehtipuiden ja muun arvokkaan laatu puun kuivaamiseen. Potentiaalisia käyttökohteita ovat myös paksu havusahatavara ja hirret.

## 2.5 Suurtaajuuskuivaus

Nopea menetelmä kuivata puutavaraa on lämmittää se sähkökentässä. Käytössä on sekä radiotaajuuteen (RF) että mikroaaltoihin (MW) perustuvia menetelmiä, tosin laajassa, teollisessa mittakaavassa suurtaajuuskuivaus ei ole käytössä.

Menetelmän kantavana ajatuksena on se, että lämmitetään puussa olevaa vettä eikä itse puuta. Tällöin puu kuivuu nopeasti, koska vesi höyrystyy puun sisällä ja työntää paineella kosteutta ulos. Periaatteessa tämä on myös laadullisesti paras menetelmä, sillä lämpö siirtyy suoraan puun sisälle eikä pinta kuivu ensimmäisenä kuten ilmakeuhäusmenetelmissä. Yksittäisessä puussa kuivuminen on tasaisempaa ja halkeiluriski on huomattavasti pienempi kuin ilmakeuhäusmenetelmissä. Kosteuserot saheiden välillä voivat kuitenkin jäädä suuriksi. Suurtaajuuskuivatun puun pinta on kuumakuivattua puuta vaaleampi.

Suurtaajuuskuivauksen haittapuolena ovat suuret energiakustannukset. Sähkökentän muodostamiseen kuluu paljon energiaa eikä energialähteenä voida suoraan käyttää esimerkiksi kuoren polttamisesta syntyvää energiaa. Energiakustannusten alentamiseksi voidaan suurtaajuusmenetelmä yhdistää alipainekuivaukseen.

## 2.6 Suurtaajuus-alipainekuivaus (HFV-kuivaus)

HFV-kuivauksessa on yhdistetty suurtaajuus- ja alipainekuivauksen vahvuudet. Puukuorman kuivuminen tapahtuu elektrodien välissä alipainekammiossa. Kanadassa on käytössä HFV-kuivauksen teollisuusmittakaavan koelaitteisto.

HFV-kuivauksen pääperiaate on sama kuin suurtaajuuskuivauksessa, tässä vain hyödynnetään alipaineella saavutettava veden matalampi kiehumispiste. HFV-menetelmällä puutavara saadaan kuivattua erittäin nopeasti. Tosin kosteushajonta kuivatussa puutavarassa on suuri. Suuret energiakustannukset ovat HFV-kuivauksen ongelma.

## 2.7 Puristinkuivaus (Case: Teknopuu Hottinen)

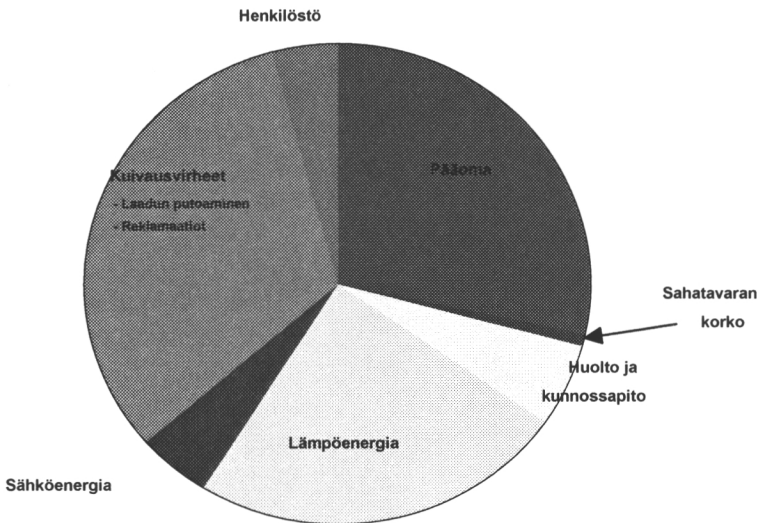
Pienpuusta sahatun huonekalujen raaka-aineen kuivaukseen on kehitetty lupaavalta näyttävä puristinkuivaus. Puristinkuivauksessa saheet ovat rei'itettyjen kennolevyjen välissä. Ilma kiertää kennolevyjen läpi, lämmittää levyt ja kuljettaa kosteuden pois. Menetelmän kehittäjän mukaan puristinkuivauksessa lämpötila on 140 °C ja kuivausaika 6 tuntia sulalla ja 9 tuntia jäisellä puutavaralla (38 mm mänty). Puuta-

varan loppukosteus on 6 – 8 %. Puristinkuivattu puutavara on suoraa, jolloin höy-  
läysvarat voidaan jättää perinteistä pienemmiksi.

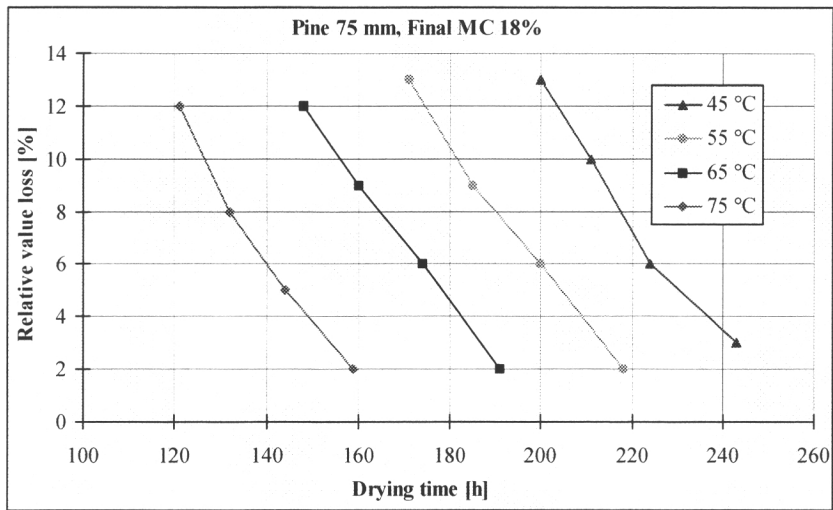
### 3 KUIVAUSTULOKSEN PARANTAMINEN

Sahatavaran kuivauskustannuksista reilusti yli 25 % johtuu kuivausvirheistä (laa-  
dun alentuminen, reklamaatiot) (kuva 2). Kuivaustuloksen parantamiseksi on käy-  
tettävissä monia keinoja, jotka soveltuvat vaihtelevasti käytettäviksi eri kuivaus-  
menetelmien yhteydessä. Höyryä voidaan käyttää monin eri tavoin. Höyryn käyttö  
alkulämmityksessä estää mikrohalkeilun, joka myöhemmin kasvaa näkyväksi hal-  
keiluksi. Lopputasaannutuksessa höyry poistaa kosteusgradientin, kuivumisjänni-  
tykset ja niistä aiheutuvat muodonmuutostaipumukset. Höyryllä voidaan myös  
vaikuttaa puun pehmenemiseen tai halutun värin aikaansaamiseen ennen kuivausta.

Kuivaustulosta voidaan parantaa myös kuivauskaavaa muuttamalla. Kuvassa  
3 on esimerkki suhteellisesta arvonalennuksesta kuivausajan ja –lämpötilan funk-  
tiona optimaalisessa mäntysahatavaran kuivauksessa. Kuivauslämpötilan nostami-  
nen pienentää hieman suhteellista arvonalennusta. Toisaalta kuivausajan lyhentä-  
minen suurentaa arvonalennusta huomattavasti. Kuivauskaavaa suunniteltaessa on  
huomioitava, että eri kohdissa kuivaamoä vallitsee erilainen kuivauskaava.



**Kuva 2.** Esimerkki sahatavaran kuivauskustannusten jakautumisesta.



**Kuva 3.** Suhteellinen arvonalennus (relative value loss, %) lämpötilan ja kuivausajan (drying time, h) funktiona optimaalisessa sahatavaran kuivauksessa. Kuivatava sahatavara on 75 mm:n mäntyä ja loppukosteus on 18 %.

## 4 KIRJALLISUUTTA

Tamásy-Bánó, M. (toim.) 2000. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Cost E15 -Workshop on "Quality drying of hardwood". University of West Hungary.





# PUUN KUIVAUS KORKEISSA LÄMPÖTILOISSA

Erikoistutkija Antti Hanhijärvi  
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
PL 1806, 02044 VTT  
puh. (09) 456 5980, faksi (09) 456 7027, Antti.Hanhijarvi@vtt.fi

## 1 JOHDANTO

Kuivauksella "korkeissa lämpötiloissa" (engl. high temperature) tarkoitetaan kuivausta, jossa lämpötila nousee yli 100 °C:n erotuksena perinteisestä lämminilmakuivauksesta, jossa lämpötila on tavallisesti enintään 80 °C. Korkea lämpötila ja erityisesti siirtyminen veden kiehumispisteen yläpuolelle merkitsevät sitä, että veden liikettä puun sisällä alkavat ohjata hyvin toisenlaiset mekanismit kuin perinteisessä kuivauksessa. Suurin muutos on se, että veden höyrystymisestä johtuvat paine-erot alkavat "työntää" höyryä ja joissain olosuhteissa myös nestemäistä vettä liikkeelle ja ulos puusta. Tämä merkitsee huomattavasti tavanomaista nopeampaa kuivausta, mutta edellyttää myös paljon tarkempaa kuivauksen ohjausjärjestelmää. Haasteita kuivauksen ohjaukselle tuottavat lämmitysvaiheen aikainen pinnan halkeilu, jos pinta pääsee kuivahtamaan liian nopeasti, kuivauksen ja tasaannutuksen aikaiset olosuhteet, jotta saadaan tasainen ja halkeilematon lopputulos, sekä lopetuksen oikea ajoitus, jotta vältetään ylikuivaus. Kuivauksen kaikkien osa-alueiden tarkka hallinta korostuu korkeassa lämpötilassa, koska virheet aiheuttavat kuivaustuloksen laadun alenemisen nopeasti.

## 2 LÄMPÖTILAN VAIKUTUS KUIVAUKSEEN

Perinteisessä lämminilmakuivauksessa veden liike puun sisällä ja puusta ulos perustuu *diffuusioon*. Diffuusio tarkoittaa periaatteessa sitä, että ilma- ja vesimolekyylit pyrkivät normaalin molekyylien lämpöliikkeen takia sekoittumaan ja kosteuserot tasoittumaan. Tällöin saheen keskimääräistä kosteammista keskikohdista siirtyy vesimolekyylejä kuivempaan pintaan enemmän kuin niitä tulee takaisin. Vastaavasti ilmamolekyylejä näihin kohtiin tulee pinnalta enemmän kuin näitä poistuu, ja puu kuivuu.

Diffuusio on kosteuden siirtymisen kannalta hidas prosessi varsinkin alhaisissa lämpötiloissa. Korkeampi lämpötila nopeuttaa kylläkin diffuusiota ja lämpötilan nosto jo esim. 40 °C:sta 80 °C:een nopeuttaa kuivumista. Huomattavasti suurempi kuivumista nopeuttava tekijä syntyy kuitenkin vasta siirryttäessä kiehumispisteen yläpuolelle, jolloin syntyy höyrynpainetta, joka aikaansaa suoraa *virtausta*. Tällöin kuivuminen ei enää johdukaan pelkästään ilma- ja vesimolekyylien sekoittumisesta vaan siitä, että vesi kuumetessaan puun sisällä 100-asteiseksi alkaa höyrystyä, laajeta ja synnyttää höyryvirtausta. Sama voidaan aikaansaada alhaisemmissakin lämpötiloissa, jos kuivaamoon synnytetään alipainetta.

Veden liikkeen lisäksi myös puuaineen ominaisuudet muuttuvat lämpötilan kohotessa, mm. kuumana puusta tulee selvästi plastisempaa. Toisaalta monet puun ominaisuudet (esim. kimmo-ominaisuudet) ovat vielä enemmän riippuvaisia kosteudesta kuin lämpötilasta ja näiden yhteisvaikutuksesta tulee siten ratkaiseva. Siksi kuivauksen lopputuloksen kannalta ei ole lainkaan yhdentekevää, mitkä kosteus-lämpötila -yhdistelmät kuivauksen aikana saavutetaan ja missä järjestyksessä. Tämä on kuivauksen ohjauksen perusasetelma: löytää mahdollisimman suotuisa olosuhdeyhdistelmä eli kuivauskaava. Korkea lämpötila asettaa vielä ankarammat vaatimukset kuivauksen ohjaukselle: koska kuivaus on nopea, tehtyjen virheiden seuraukset näkyvät myös nopeammin.

### 3 KUIVAUKSEN OHJAUksen HAASTEITA

Kuivauksen ohjauksessa tulee hallita kaikki kuivauksen vaiheet: lämmitys, varsinainen kuivausvaihe sekä kuivauksen lopetus ja tasaannutus.

Lämmitysvaiheen suurimpana ongelmana on se, että jos puun pinta kuivahdaa ja halkeilee jo sitä lämmitettäessä (ns. mikrohalkeilu), ei halkeilua enää voi kunnolla estää myöhemmässä vaiheessa tai sen välttäminen on ainakin vaikeaa. Monet seikat puoltavatkin puun lämmittämistä ennen kuivattamista. Ensinnäkin lämpimänä kostea puu on plastisempaa kuin kylmänä eikä se halkeile kuivumiskuitumisen takia niin helposti. Toiseksi ns. hygroterminen muodonmuutos vaikuttaa kuivumisjännityksiä vähentävästi, mutta tämä ilmiö tapahtuu vain lämmitettäessä märkää puuta. Kolmanneksi kosteassa puussa vesi liikkuu paremmin, koska solujen väliset huokokset eivät ole aspiroituneet (sulkeutuneet). Toisaalta lämmitys kuivamatta on vaikeaa, koska kuuman ilman suhteellinen kosteus on aina normaalioloissa pieni. Tähän hyväksi ratkaisuksi on todettu höyryn käyttö. Sekään ei aina ole yksinkertaista, sillä höyrykin voi tietyissä olosuhteissa eli tulistettuna olla ”kuivaa”.

Varsinaisen kuivausvaiheen tavoitteena on tasainen ja halkeilematon loppu-tulos mahdollisimman lyhyessä ajassa. Haasteena on saada puu kuivumaan tasaisesti kuivaamon eri osissa ja niin etteivät yksittäisen puun sisäiset kosteuserot kasva liian suuriksi aiheuttaen halkeilua. Kuivauksen ohjauksen on kyettävä oikea-aikaisesti kuivausolosuhteiden muutoksiin. Tämä tarkoittaa kuivumisen hidastamista, kun ollaan lähellä halkeiluriskiä ja nopeuden lisäämistä, kun halkeiluvaaraa ei ole.

Kuivauksen lopetuksen haasteena on oikea-aikainen kuivauksen hidastaminen silloin, kun nopeimmin kuivuneet kappaleet alkavat lähestyä loppukosteutta. Näin vältetään ylikuivuminen ja puiden väliset kosteuserot tasoittuvat. Varsinainen tasaannutus tulisi tehdä sellaisissa olosuhteissa, joissa puun pintaan saadaan nopeasti imeytymään kosteutta pinnan ja sisäosan kosteuserojen vähentämiseksi ja jäännösjännitysten poistamiseksi. Höyry on osoittautunut hyväksi tavaksi siirtää kosteutta puun pintaan myös tasaannutuksessa.

## 4 KUIVAUKSEN SIMULOINTI

Kuivauksen simuloinnin perusajatuksena on saada fysiikan lakien tuntemus kuivauskaavan kehittäjän avuksi tietokoneella tehtävän laskennan avulla. Laskenta mahdollistaa monimutkaisten ilmiöiden seurausten saattamisen helposti ymmärrettäviksi tuloksiksi, joilla kuivauskaavaa voidaan kehittää. Simuloinnissa laskeaan puun kuivuminen, kun tunnetaan ne olosuhteet, joihin se kuivauksen aikana joutuu. Laskentatuloksia ovat:

- kosteus kuivauksen kuluessa, myös loppukosteus,
- lämpötila puun sisällä, tarvittaessa myös sen aikaansaamat vaikutukset, esim. värinmuutokset ja
- puun jännitykset sekä niistä seuraava halkeiluriski (pinta- ja sisähalkeilu).

Laskennan avulla voidaan helposti kokeilla erilaisten olosuhteiden vaikutusta kuivauksen lopputulokseen ja tällä tavoin optimoida kuivauskaava.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka on kehittänyt kuivauksen laskennallista mallinnusta ja simulointiohjelmia pitkäjännitteisesti ja tuloksellisesti 1980-luvun loppupuolelta lähtien. Tärkein saavutus on LAATUKAMARI-simulointiohjelma, jolla voidaan optimoida kuusi- ja mäntysahatavaran lämminilmakuivauksen olosuhteet hyvän kuivauslopputuloksen saamiseksi, kuitenkin minimoiden kuivaukseen tarvittava aika. Koska mielenkiinto ja tarve räätälöityjen kuivausmenetelmien käyttöön lisääntyy, olemme aloittaneet kuivauksen laskennallisten mallinusten sovellusalueen laajentamisen myös ei-tavanomaisiin kuivausmenetelmiin. Suomen Akatemian ja VTT:n rahoittamassa ja käynnissä olevassa projektissa "Uusien puunkuivausmenetelmien mallinnus" kehitetään laskennallinen simulointivalmius ainakin kuumakuivaukselle, alipainekuivaukselle ja öljykuivaukselle.

Laskennallinen kuivauksen simulointi voi auttaa sellaisten ongelmien ratkaisussa kuten:

- Miten kuivauskaavaa voidaan optimoida mahdollisimman lyhyen kuivausajan ja vähäisen halkeilun aikaansaamiseksi?
- Missä kuivauksen vaiheessa kuivaustehoa tulisi alkaa vähentää, jotta nopeimmin kuivuneet kappaleet eivät ylikuivuisi?
- Miten kuivauskaavaa tulee muuttaa, kun kuivattavan sahatavaran dimensio ja sahausasete muuttuvat?

Kuitenkin silloin, kun kehitetään uutta kuivaustekniikkaa, laskennalliset tarkastelut eivät koskaan voi täysin korvata koekuivauksia. Tällöin paras toimintatapa on laskennallisen tarkastelun kehittäminen yhtäaikaaisesti koekuivausten kanssa. Näin kokeiden suunnittelussa voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa tietoa laskennan kautta ja toisaalta koetulosten avulla jatkuvasti parantaa laskennan luotettavuutta.

## 5 KIRJALLISUUTTA

- Hukka, A. 1996. Puun kuivumisen matemaattinen mallintaminen korkeissa lämpötiloissa. VTT Julkaisuja – Publikationer; 815. Espoo. 50 s. + liitt. 1 s.
- Hukka, A. & Tarvainen, V. 1997. Höyryn käyttö sahatavaran kuivauksessa. VTT Julkaisuja – Publikationer; 826. Espoo. 45 s. + liitt. 11 s.
- Ranta-Maunus, A., Forsen, H., Hanhijärvi, A., Hukka, A. & Partanen, J. 1995. Sahatavaran kuivauksen simulointi. VTT Julkaisuja – Publikationer; 805. Espoo. 62 s. + liitt. 50 s.
- Tarvainen, V. 1994. Sahatavaran kuumakuivaus. Esiselvitys. VTT Julkaisuja – Publikationer; 797. Espoo. 94 s. + liitt. 32 s.
- Tarvainen, V., Forsen, H. & Hukka, A. 1996. Männyn ja kuusen kuumakuivauskaavojen kehittäminen ja kuivatun sahatavaran ominaisuudet. VTT Julkaisuja – Publikationer; 812. Espoo. 99 s. + liitt. 9 s.
- Tarvainen, V. & Hukka, A. 1994. Kuivauksen taloudellisuuteen ja laatuun vaikuttavia tekijöitä laatukamarisimulointimallilla tarkasteltuna. Puumies, vol. 39 (1994) 10, s. 10 – 13.

# PUUN KEMIALLISEN KOOSTUMUKSEN MUUTTUMISEN LÄMPÖKÄSITTELYSSÄ JA TUOTTEEN LAADUNVALVONTA

FT Risto Kotilainen  
Jyväskylän yliopisto, Soveltavan kemian osasto  
PL 35, 40351 Jyväskylä  
puh. (014) 260 2577, faksi (014) 260 2581, rkotilai@jyu.fi

## 1 JOHDANTO

Koivun puuaineen kemiallinen koostumus on keskimäärin seuraava:

- selluloosa 41,0 %
- hemiselluloosat 32,4 %
  - arabiinoglukuroniksyylaani 27,5 %
  - galaktoglukomannaanit 2,3 %
  - muut polysakkaridit 2,6 %
- ligniini 22,0 %
- uuteaineet 3,2 %
- epäorgaaniset yhdisteet 0,3 %

Puun kemiallinen koostumus muuttuu lämpökäsittelyprosessin aikana. Lämpökäsittelyn puun kemiallinen tutkimus antaa perustietoutta rakenteen muuttumisesta, selittää puutuotteen parantuneita ominaisuuksia ja tarjoaa lisäksi varteenotettavan mahdollisuuden lämpökäsittelyn puun laadunvalvontaan. Lisäksi kemiallinen tutkimus mahdollistaa valmistusprosessin optimoinnin ja lopputuotteiden laadunvalvonnan (kemiallisen tiedon ja käytännön tuoteominaisuuksien väliset korrelaatiot) sekä tuotteen elinkaaren arvioinnin (valmistus, käyttö ja hävittäminen).

Lämpökäsittely toteutetaan tavallisesti kolmivaiheisesti – kuivaus, lämpökäsittely, tasaannutus. Suojakaasuna käytetään tyypillisesti vesihöyryä. Käsittelylämpötilat vaihtelevat puulajin ja tuotteen käyttökohteen mukaan 150 °C:n ja 230 °C:n välillä. Teollisessa mittakaavassa toimivia lämpökäsittelylaitoksia on Suomessa kymmenkunta ja niiden yhteenlaskettu vuotuinen tuotanto on noin 50 000 m<sup>3</sup>.

## 2 TERMOKEMIALLISET MUUTOKSET PUUN KOOSTUMUKSESSA LÄMPÖKÄSITTELYN AIKANA

Jo alle 100 °C:n lämpötiloissa vapaata ja sitoutunutta vettä alkaa poistua puusta. Lisäksi puun alkuperäisiä uuteaineita haihtuu ja kemiallisten sidosten hajoaminen

alkaa. Lämpötiloissa 100 – 200 °C puusta vapautuu hiilimonoksidia ja –dioksidia, orgaanisia pienimolekyylisiä yhdisteitä sekä reaktiovettä. Puun rakennekomponenteista (selluloosa, hemiselluloosat ja ligniini) hemiselluloosat termisesti heikoimpina alkavat pilkkoutua ensimmäisinä; niiden polymeroitumisaste laskee ja niistä lohkeaa vettä, metanolia sekä muurahais- ja etikkahappoa. Kyseiset yhdisteet kiihdyttävät edelleen hemiselluloosien hajoamista ja reaktiotuotteina syntyy erilaisia furaaniyhdisteitä, hydroksihappoja jne. Seuraavaksi alkaa selluloosan pilkkoutuminen johtaen mm. erilaisten anhydrosokerien ja furaaniyhdisteiden syntyyn.

Ligniinin merkittävä hajoaminen alkaa vasta yli 200 °C:n lämpötiloissa samalla kun hiilihydraattien hajoaminen kiihtyy. Ligniinin polymeerirakenne pilkkoutuu pienempiin yksiköihin ja tuotteina syntyy lukuisa joukko erilaisia aromaattisia yhdisteitä. Uuteaineiden termokemiallinen muuttuminen on tutkimuksen kannalta kaikkein monimutkaisin alue, mikä johtuu suuresta ja hyvin heterogeenisestä uuteainejakeesta. Yleisesti voidaan sanoa, että uuteaineet läpikäyvät haihtumisen (mm. terpeenit) lisäksi myös erilaisia pilkkoutumis- ja isomeroitumisreaktioita (mm. sterolit ja hartsihapot). Uuteaineiden pitoisuudet tasoittuvat puumateriaalissa (sydänpuu vs. pintapuu) lämpökäsittelyn aikana.

Lämpökäsittelyn yhteydessä puusta haihtuu vesihöyryä, hiilimonoksidia ja –dioksidia, alifaattisia happoja, alkoholeja, aromaatteja (esimerkiksi fenolit ja furaanit), rasva- ja hartsihappoja sekä terpeenejä ja lisäksi joukko muita yhdisteitä.

Käsittelyllä saavutetaan puutavaran muotopysyvyys (puun hydrofiilisyyden heikkeneminen), parempi lahonkesto, kaunis väri ja parantunut lämmöneristyskyky. Lisäksi lämpökäsittely parantaa tuotteiden ekologista arvoa (suolakyllästeet vs. lämpökäsittely).

### 3 LÄMPÖKÄSITELTYJEN TUOTTEIDEN LAADUNVALVONTA

Lämpökäsittelyn puun kemiallinen tutkimus tarjoaa varteenotettavan mahdollisuuden lämpökäsittelyn puun laadunvalvontaan. Nopeasti mitattavat ja helposti toteutettavat spektroskopiset mittaukset (mm. FTIR ja UV/Vis) yhdistettynä nykyaikaisiin monimuuttuja-analyysityökaluihin (PCA, PLS ja PCR) tarjoavat mahdollisuuksia kehitettäessä luotettavaa ja nopeaa tuotteen laadunvalvontamenetelmää.

### 4 KIRJALLISUUTTA

Glazer, A. N. & Nikaido, H. 1998. *Microbial biotechnology: fundamentals of applied microbiology*. New York: Freeman. 662 s.

Sjöström, E. 1992. *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*. Academic Press, San Diego, California. 293 s.

# VÄRINMUUTOKSET KOIVUN KUIVAUKSESSA

Professori Antti Asikainen<sup>1</sup>, tutkija Veikko Möttönen<sup>1</sup>, tutkija Kirsi Mononen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta

<sup>2</sup>Joensuun yliopisto, kemian laitos

PL 111, 80101 Joensuu

puh. (013) 251 4429, faksi (013) 251 3590, etunimi.sukunimi@joensuu.fi

## 1 JOHDANTO

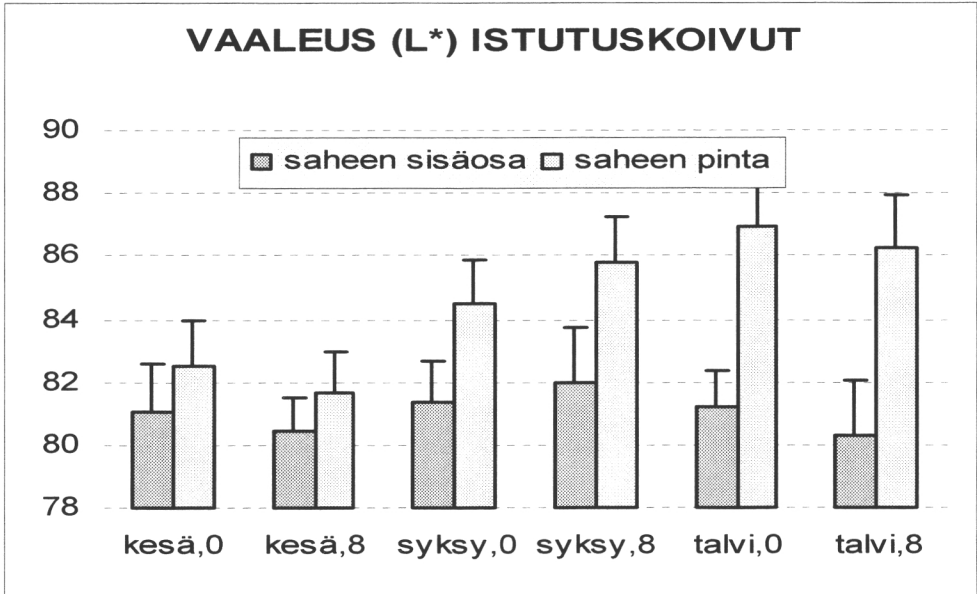
Koivun kuivauksessa syntyy sahatavaraan helposti värivikoja, jotka alentavat raaka-aineen laatua ja siten sahatavarasta maksettavaa hintaa. Väri viat aiheuttavat myös reklamaatioita ja lisäävät lajittelutarvetta ja raaka-ainehävikkiä. Jalostusarvon kannalta haitallisinta on värin epätasaisuus saheessa tai kuivauserässä. Esimerkiksi saheen pintaosa voi olla varsin vaaleaa, mutta sisäosissa on tapahtunut tummumista ja punertumista.

Joensuun yliopisto on johtanut koivun värinmuutoksia tutkivaa hankekon-sortiota metsäalan tutkimusohjelmassa Wood Wisdom vuodesta 1998. Hankkeen tavoitteena oli selvittää koivun kaatoajankohdan ja kasvupaikan sekä tukkien varastoinnin vaikutus värinmuutoksiin. Lisäksi tutkittiin värinmuutoksien sijaintia saheessa, värinmuutosten taustalla olevien yhdisteiden ja kemiallisten reaktioiden tunnistamista sekä selvitettiin lämminilma- ja alipaine kuivauksen eroja värinmuutosten kannalta. Jatkohankkeen tavoitteena on selvittää puun vaalennuskäsittelyn vaikutukset värin tasaisuuteen ja sävyyn sekä pinnan rakenteeseen ja pintakäsittelyvyyteen. Lisäksi tutkitaan vaalennuskäsittelystä seuraavaa kellastumista.

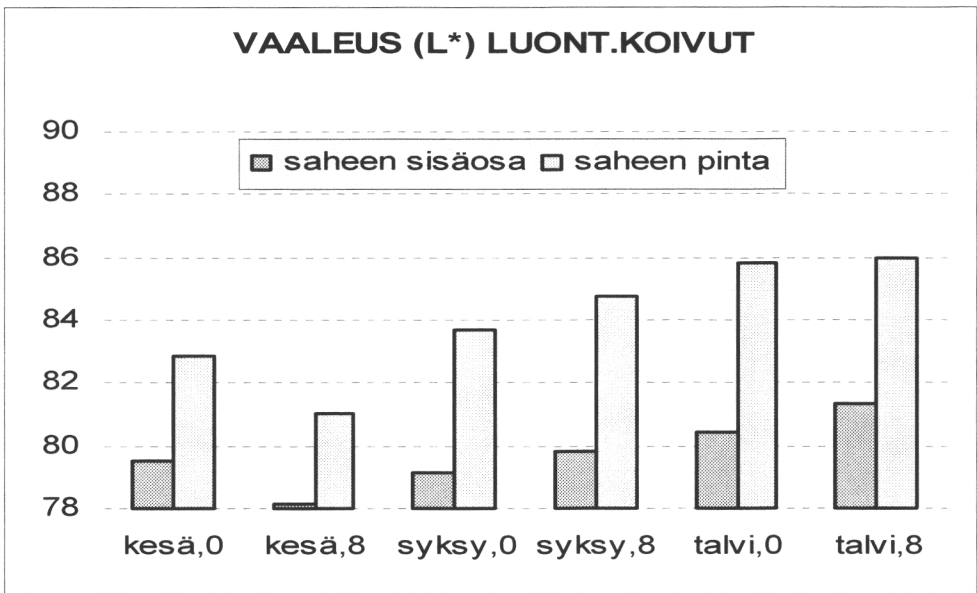
## 2 KASVUPAIKAN, KAATOAJANKOHDAN JA VARASTOINTIAJAN PITUUDEN VAIKUTUS VÄRINMUUTOKSIIN

Istutuskoivuissa saheen pintaosa on tummin kesällä kaadetuista puista saatavassa sahatavarassa. Suurin väriero saheen pinnan ja sisäosan välillä on kuitenkin talvikaatoisten puiden saheissa. Syksyllä varastointi voi vaalentaa puuta, talvella ja kesällä varastointi tummentaa puuta (kuva 4). Vaikka karulla kasvupaikalla kasvanut koivu on hieman tummempaa ennen kuivausta kuin viljavilla kasvupaikoilla kasvanut koivu, värierot tasoittuvat kuivauksen aikana.

Luontaisesti syntyneissä koivuissa saheen pintaosa on tummin kesäkaatoisilla puilla. Kesällä varastointi tummentaa puuta, syksyllä ja talvella varastointi voi vaalentaa puuta (kuva 5).



**Kuva 4.** Saheiden sisäosan ja pinnan vaaleus istutuskoivuissa kaatoajankohdan (kesä, syksy, talvi) ja varastointiajan (0 = ei varastoitu tukkina, 8 = noin 2 kk varastointi tukkina) funktiona. Janat kuvaavat vaaleuden keskihajontaa.



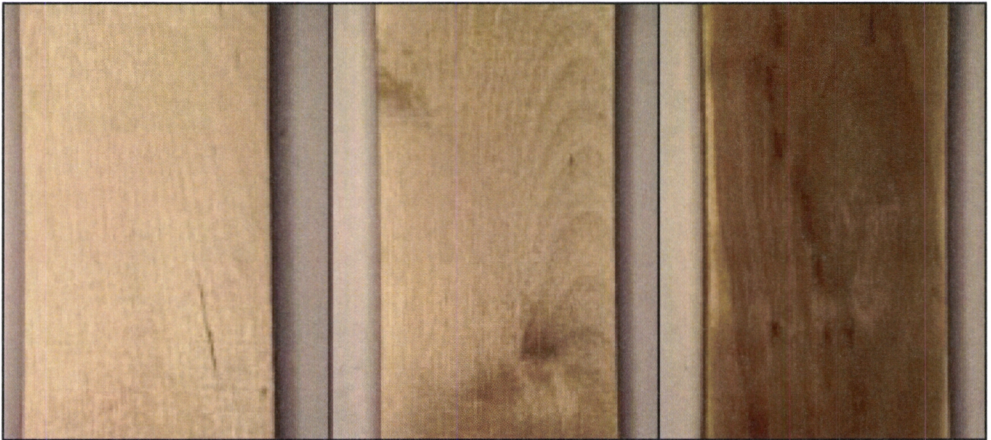
**Kuva 5.** Saheiden sisäosan ja pinnan vaaleus luontaisesti syntyneissä koivuissa kaatoajankohdan (kesä, syksy, talvi) ja varastointiajan (0 = ei varastoitu tukkina, 8 = noin 2 kk varastointi tukkina) funktiona.



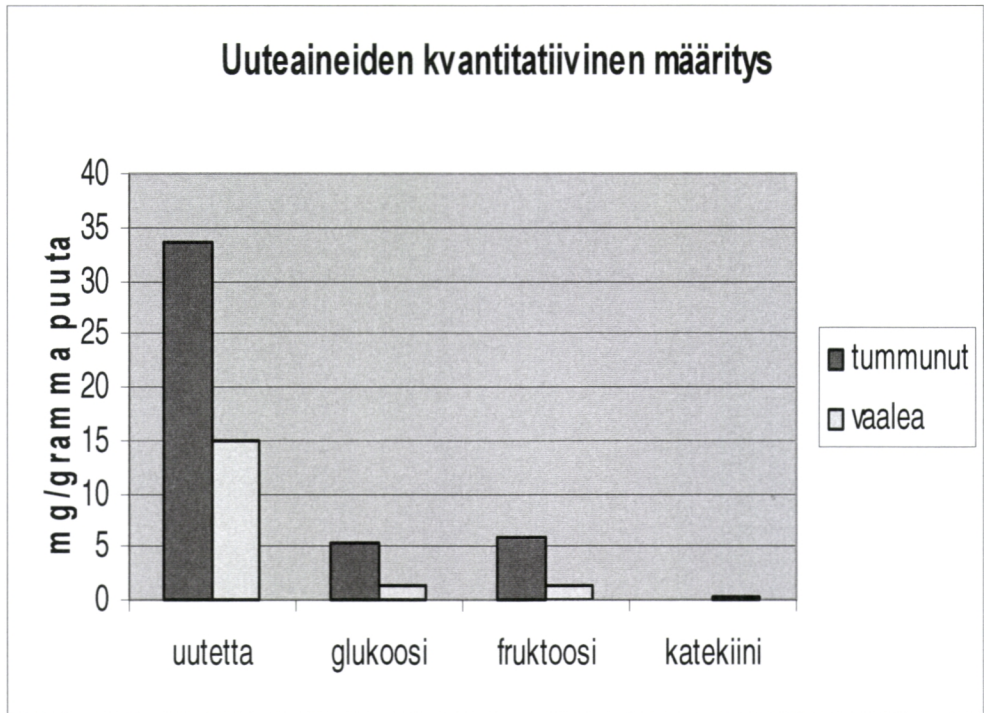
### 3 VÄRINMUUTOKSEN SYNTYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA PUUAINEN VÄRINHALLINTA

Koivun puuaineen värinmuutoksen voimakkuus riippuu käytettävästä kuivaustavasta. Vähäisin värinmuutos tapahtuu kuivaamalla puutavara hitaasti huoneenlämmössä; käytettäessä korkeampia lämpötiloja ja siten lyhyempiä kuivausaikoja värinmuutos voimistuu huomattavasti (kuva 6).

Joensuun yliopiston kemian laitoksella on tutkittu puun värjäytymisen syitä. Tummuneista ja vaaleina pysyneistä puunäytteistä on määritetty uuteainepitoisuudet <sup>13</sup>C NMR –spektroskopiolla. Uuteainepitoisuuksissa on selvät erot tummuneen ja vaalean näytteen välillä (kuva 7). Tutkimuksissa on havaittu, että tummentuneessa näytteen osassa katekiinin (fenolinen yhdiste, flavonoidi) pitoisuus on selvästi alhaisempi kuin vaaleassa. On olemassa viitteitä siitä, että katekiini olisi reagoinut jonkin toisen yhdisteen kanssa, minkä seurauksena värinmuutos syntyy. Tummuneessa saheen osassa myös sokeripitoisuudet (glukoosi ja fruktoosi) olivat moninkertaiset verrattuna vaaleaan osaan (kuva 7). Jatkossa selvitetään tarkemmin katekiinille tyypillisiä reaktioita ja niiden yhteyttä värin muuttumiseen puuainessa.

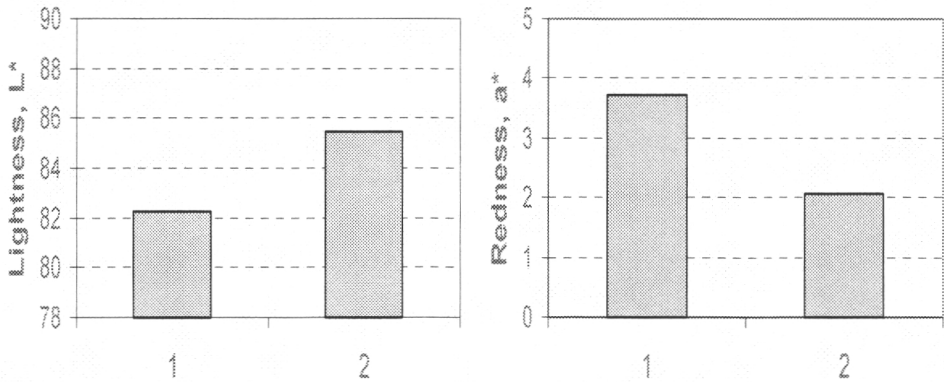


**Kuva 6.** Koivun värinmuutos eri kuivaustavoilla, vasemmalla hidas kuivuminen huoneenlämmössä, keskellä keskinopea lämminilmakuivaus ja oikealla nopea lämminilmakuivaus.



**Kuva 7.** Koivun uuteaineiden määrä (mg / gramma puuta) tummuneessa ja vaaleana pysyneessä puunäytteessä.

Puun pintaväriä voidaan varsinaisen kuivauksen jälkeen säätää vaaleampaan suuntaan. Vaalennuskäsittely tehdään juuri ennen lopullista pintakäsittelyä happi-  
valkaisutekniikalla. Vaalentava aine ruiskutetaan aerosolina eli ilman tai jonkin  
muun kaasun ja siihen täysin sekoittuneiden nestepisaroiden tai hiukkasten muo-  
dostamana seoksena puutuotteen, esimerkiksi parketin tai liimalevyn, pinnalle. Tä-  
män jälkeen pinta kuivataan, jonka jälkeen se pintakäsitellään normaalisti. Alusta-  
vien tutkimusten mukaan näin käsitellyn puuaineen pintakovuus paranee lakkauk-  
sen jälkeen. Vaalennuskäsitellyn puun vaaleus (lightness,  $L^*$ ) on suurempi ja pu-  
naisuus (redness,  $a^*$ ) pienempi kuin käsittelemättömän puun (kuva 8).



**Kuva 8.** Koivun puuaineen vaaleus (lightness, vasemmalla) ja punaisuus (redness, oikealla) käsittelemättömässä (1) ja vaalennuskäsitellyssä (2) saheessa.

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ TUTKIMUKSEN TÄSSÄ VAIHEESSA

Kaatoajankohta vaikuttaa koivusaheiden loppuväriin: on selvää, että talvikaato ja myöhäinen syyskaato johtavat vaaleaan pintaväriin. Riski saheen pinnan ja sisäosan värieroihin on suurin talvella. Varastointi tummentaa puuta hieman kesällä, toisaalta syksyllä ja talvella varastoinnilla on jopa päinvastainen vaikutus.

Hyvän kuivaustuloksen saaminen vaatii veden keskeytyksetöntä poistamista sahatavarasta. Tämä saavutetaan tasaisessa kuivauksessa, jolloin veden imu ei katkea. Näin veden mukana kulkeutuvat yhdisteet saadaan rikastumaan sahatavaran pintaan, josta ne on helposti poistettavissa esimerkiksi höyläämällä. Mikäli sokeita ja fenoleja pääsee rikastumaan saheen keskelle tai liian kauas pinnasta kuivauksen alkuvaiheessa, värinmuutoksen riski kasvaa, kun kuivauslämpötiloja nostetaan kuivauksen loppuvaiheessa. Jatkotutkimuksessa on selvitettävä sokerien ja katekiinien mahdollisten reaktioiden riippuvuus lämpötilasta ja kosteudesta.

Koivusaheen pintasävyä voidaan säätää laajoissa rajoissa kuivauksen jälkeen suoritettavalla happivalkaisulla.

## 5 KIRJALLISUUTTA

Luostarinen, K. & Verkasalo, E. 2000. Birch as sawn timber and in mechanical further processing in Finland. A literature study. *Silva Fennica Monographs* 1/2000. 40 s.

Luostarinen, K., Möttönen, V., Asikainen, A. & Luostarinen, J. 2001. Effect of environmental factors and wood location in the trunk on discolouration of birch (*Betula pendula*) wood during drying. Submitted to *Holzforschung*.



# KOIVUN ALIPAINEKUIVAUS

Projektipäällikkö Timo Lahtinen  
Mikkelin ammattikorkeakoulu / YTI-tutkimuskeskus  
PL 181, 50101 Mikkelä  
puh. (015) 355 6342, faksi (015) 355 6365, timo.lahtinen@mikkeliyamk.fi

## 1 JOHDANTO

Tavallisimmat koivun käyttökohteet mekaanisessa puunjalostuksessa ovat huonekalut ja muut puusepäntuotteet, puulattiat ja parketit sekä vanerit ja viilut. Tavallisimpia koivun kuivaustapoja ovat lautatarhakuivaus, lämminilmakuivaus, lauhdekuivaus ja alipainekuivaus. Koivun kuivausta vaikeuttavat värinmuutokset, muodonmuutokset (eläminen), paksun koivusahatavaran päätyhalkeilu ja koivusahatavaran hidas kuivuminen.

Lautatarhakuivaus on hidas ja hallitsematon, säästä riippuvainen kuivausmenetelmä. Koivun väri pysyy lautatarhakuivauksessa yleensä melko vaaleana. Alhaisiin loppukosteuksiin lautatarhakuivauksella ei päästä.

Lauhdekuivaus on verrattain hidas erityisesti paksun koivun kuivauksessa ja kuivattaessa alhaisiin loppukosteuksiin. Lauhdekuivauksen alhainen kuivauslämpötila vähentää värinmuutosriskiä.

Lämminilmakuivaus soveltuu hyvin koivun kuivaukseen. Lauhdekuivaukseen verrattuna lämminilmakuivaus on nopeampi toteuttaa, sillä lämminilmakuivauksessa voidaan käyttää korkeampia lämpötiloja. Jos halutaan vähentää värinmuutoksia, joudutaan käyttämään alhaisia lämpötiloja. Tällöin kuivumisaika luonnollisesti pitenee huomattavasti.

Alipainekuivaus soveltuu myös hyvin koivun kuivaukseen. Puun sisään syntyvän ylipaineen vaikutuksesta vesi liikkuu tehokkaasti puun sisästä pintaan kohti. Alipainekuivaus on suhteellisen nopea kuivaustapa alhaisillakin lämpötiloilla. Kuivatun puutavaran halkeilu on vähäistä. Alhaiset kuivauslämpötilat, veden suhteellisen nopea poistuminen sekä ilman vähäinen osuus vähentävät merkittävästi kuivattavan puutavaran värjäytymisriskiä.

## 2 ALIPAINEKUIVAUKSEN YLEINEN PERIAATE

Korkea lämpötila parantaa kosteuden johtuvuutta puussa. Tällöin kosteuden virtaus puun sisästä pintaan nopeutuu. Jos lämpötila on veden kiehumispisteen yläpuolella, tehostuu kosteuden virtaus, sillä puun sisäosan ja ulkopinnan välinen paine-ero kasvaa. Puun sisään syntyvää ylipaineilmiötä käytetään hyväksi alipainekuivauksessa.

Vesi kiehuu (ja höyrystyy) normaalissa ilmanpaineessa vasta yli 100 °C:n lämpötilassa. Alipainekuivauksessa ulkoinen paine on kuivauskammion sisällä normaalia ilmanpainetta pienempi. Tällöin veden kiehumispiste saavutetaan huo-

mattavasti alemmassa lämpötilassa kuin normaalissa ilmanpaineessa. Verrattuna tavalliseen lämminilmakuivaukseen kosteuden poistuminen on alipainekuivauksessa huomattavasti tehokkaampaa. Lyhyesti esitettynä alipainekuivaamolaitos toimii seuraavasti (kuva 9):

- Kammioon synnytetään alipaine imemällä pumpun avulla ilmaa pois.
- Kammiossa oleva puutavara lämmitetään (lämmitys voidaan vaihtoehtoisesti tehdä ennen alipaineistusta).
- Kammion olosuhteita (lämpötila, kosteus, paine) säädellään erälle sopivan kuivauskaavan mukaisesti.
- Puusta haihtuva kosteus poistetaan kammiosta.

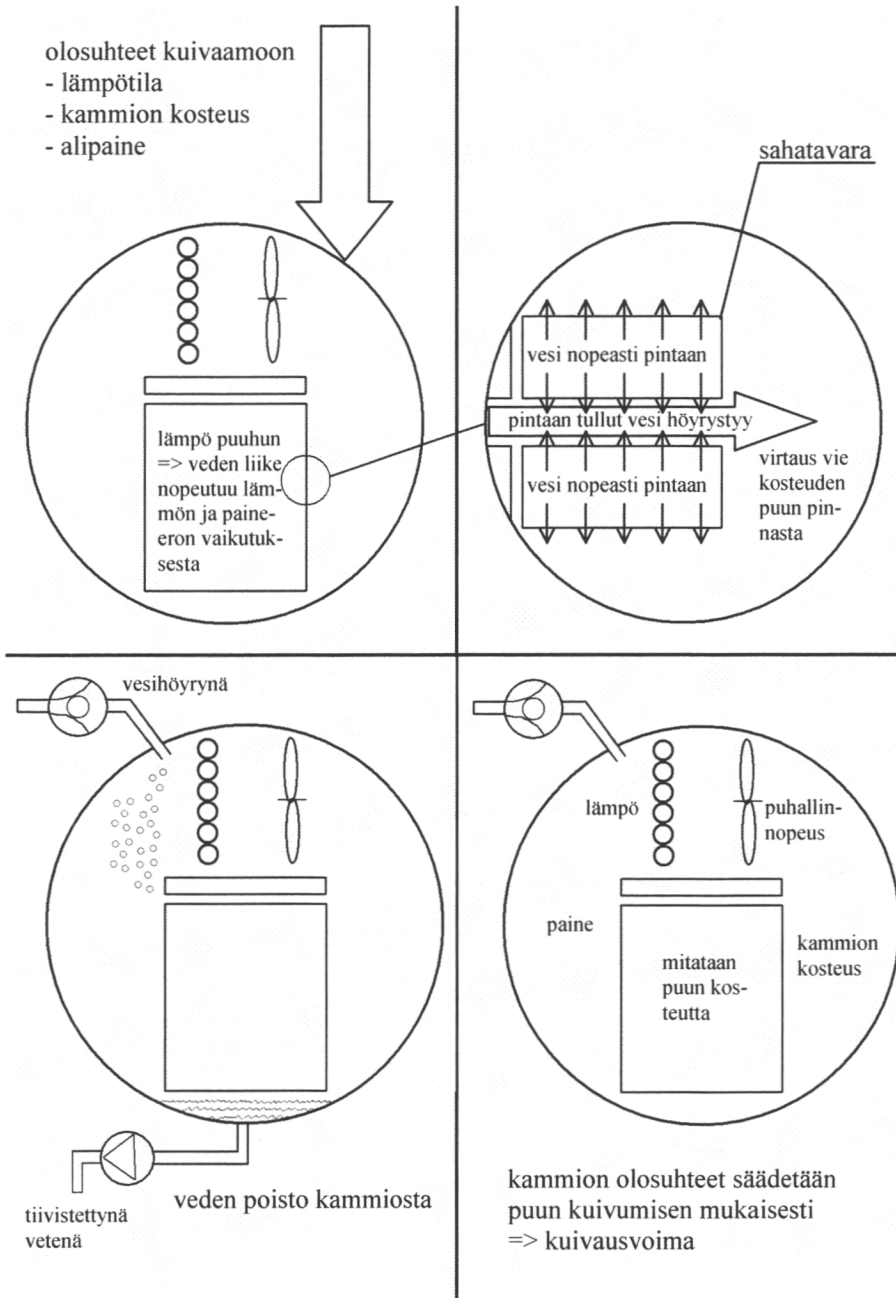
### **3 ALIPAINEKUIVAUKSEN SOVELTUVUUS KOIVUN KUIVAUKSEEN**

Alipainekuivauksen parhaat puolet eli nopeus, vähäinen halkeilu ja pienet värinmuutokset tulevat esiin, kun kuivataan paksua kovapuuta, kuten koivua, pyökkiä, tammea tai saarnia alhaisiin loppukosteuksiin. Vähäinkin halkeilu saattaa aiheuttaa huomattavia hukkakustannuksia ja lämminilmakuivauksessa kuivausajat venyvät hyvin pitkiksi. Jos yritys käyttää tuotannossaan paljon lehtipuuta, Suomessa yleisesti koivua, alipainekuivaus on hyvin varteenotettava kuivausmenetelmä.

Runsaiden kuivauskokeilujen pohjalta voidaan sanoa, että alipainekuivaus soveltuu koivulle hyvin. Lisätutkimusta vaativa osa-alue on värinmuutosten nykyistä tehokkaampi estäminen tuoreen, suhteellisen paksun (yli 38 mm) koivun kuivauksessa. Verrattuna varovaisiin lämminilmakuivauskaavoihin on varovainen alipainekuivaus noin 2 – 4 kertaa nopeampaa riippuen sahatavaran paksuudesta, kuivauslaadusta ja tavoitellusta loppukosteudesta. Jos koivusahatavara on ilma-kuivunutta tai esikuivattua, värinmuutosten vaaraa ei juurikaan ole ja kaavat ovat hyvinkin tehokkaita. Alipainekuivauksessa kuivuminen ei hidastu sidotun veden alueella, eli silloin, kun puun kosteus on pienempi kuin puunsyiden kyllästymispiste, läheskään yhtä voimakkaasti kuin lämminilmakuivauksessa. Esimerkiksi 50 mm:n koivusahatavara saadaan kuivattua alipainekuivauksella 20 %:n alkukosteudesta 6 – 7 %:n loppukosteuteen noin 2 – 3 vuorokaudessa.

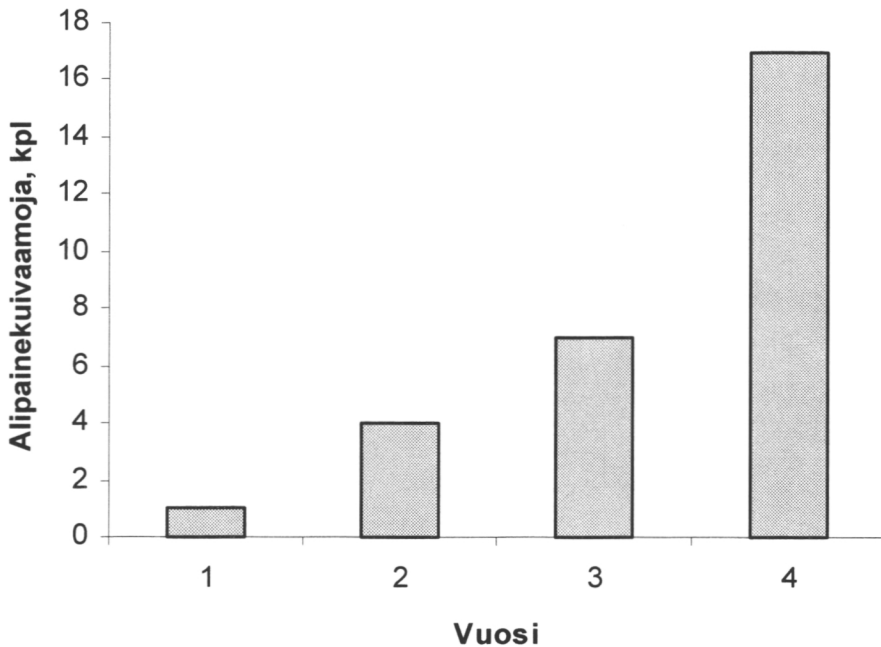
### **4 ALIPAINEKUIVAUS SUOMESSA**

Alipainekuivaus ja kiinnostus siihen on lisääntynyt Suomessakin viime vuosina huomattavasti. Aluksi alipainekuivausta pidettiin vain erikoiskuivaustapana esimerkiksi jalopuille. Nykyisin alipainekuivaamoja käytetään tavallisen suomalaisen sahatavaran kuivaukseen. Kiinnostus on edelleen voimakkaassa kasvussa. Suomessa oli 1990-luvun alussa vain muutama alipainekuivauslaitos, tällä hetkellä teollisuuskäytössä olevia laitoksia on yli 15 (kuva 10).



**Kuva 9.** Periaatekuva alipainekuivauksen kulusta.

Suomessa alipaine kuivauksen julkinen tutkimus on ollut vielä melko vähäistä. Keväällä 1998 hankittiin Ympäristötekniikan Instituutin käyttöön Mikkeliin laboratorioalipaine kuivaamo, jolla tehtiin tutkimusprojekteihin liittyviä koekuivauksia, mm. koivun kuivaukseen liittyvä projekti 1998 – 2001. Yhtenä tavoitteena YTI:n tutkimuksessa on tutkia alipaine kuivauksen soveltuvuutta eri kuivaustarpeisiin ja tuoda alipaine kuivaus tutummaksi puualan yrittäjille.



**Kuva 10.** Alipaine kuivaamojen lukumäärä Suomessa vuosina 1985 – 2000.



# KOIVUN ALIPAINESUURTAAJUUSKUIVAUS (HFV-KUIVAUS)

Projektipäällikkö Esa Auvinen  
Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan laitos, ympäristöyksikkö  
Linnaistentie 33, 15150 Lahti  
puh. (03) 828 3086, faksi (03) 828 3065, Esa.Auvinen@lpt.fi

## 1 YLEISTÄ HFV-KUIVAUKSESTA

Puun kuivauksen teoriaa on tutkittu paljon, mutta alipaine-suurtaajuuskuivauksen eli HFV-kuivauksen olosuhteet tuovat selitettäviksi uusia ilmiöitä. Perinteisessä kuivauksessa lämmitetään puuta ja saadaan näin vesi höyrystymään. HFV-kuivauksessa lämmitetään puussa olevaa vettä, joka saadaan näin höyrystymään. HFV-kuivaus on tarkoitettu sovellettavaksi esimerkiksi aihoiden kuivauksessa. Aihiot voidaan valmistaa ilmakeivästä tai tuoreesta puusta. Tarkoituksena on, että aihoiden valmistus voidaan hajauttaa eri alihankkijoille ja kuivaus voidaan hoitaa keskitetysti. HFV-kuivauksella voidaan kuivata myös esimerkiksi pyöreää pienpuuta tuotantoaihioksi, esimerkiksi sydänkeskeinen puutavara voidaan kuivata sorvausaihioksi.

## 2 HFV-KUIVAUKSEN TEORIAA

HFV-kuivauksessa kuivaaminen tapahtuu alipainekammiossa. Paine kammiossa on alle 50 mbar, joka on alle 5 % normaalista ilmanpaineesta. Tällaisessa alipaineessa vesi alkaa kiehua alle 35 °C:n lämpötilassa. Kuivattava puutavara on elektrodien välissä ja elektrodit muodostavat kammioon sähkökentän (radio- tai mikroaaltoja). Puuhun sitoutuneet vesimolekyylit alkavat liikkua sähkökentän vaikutuksesta ja näin puussa oleva vesi lämpenee. Olennaista on, että menetelmässä energia vietään veteen eli lämmitetään puussa olevaa vettä eikä suoranaisesti itse puuta. Höyrystyvä vesi kulkeutuu puusta ulos. Se työntää mukanaan puusta ulos myös höyrystymätöntä vettä. Puusta poistunut vesi tiivistyy alipainekammion viileään vaippaan ja kerääntyy kammion pohjalle, josta se voidaan poistaa.

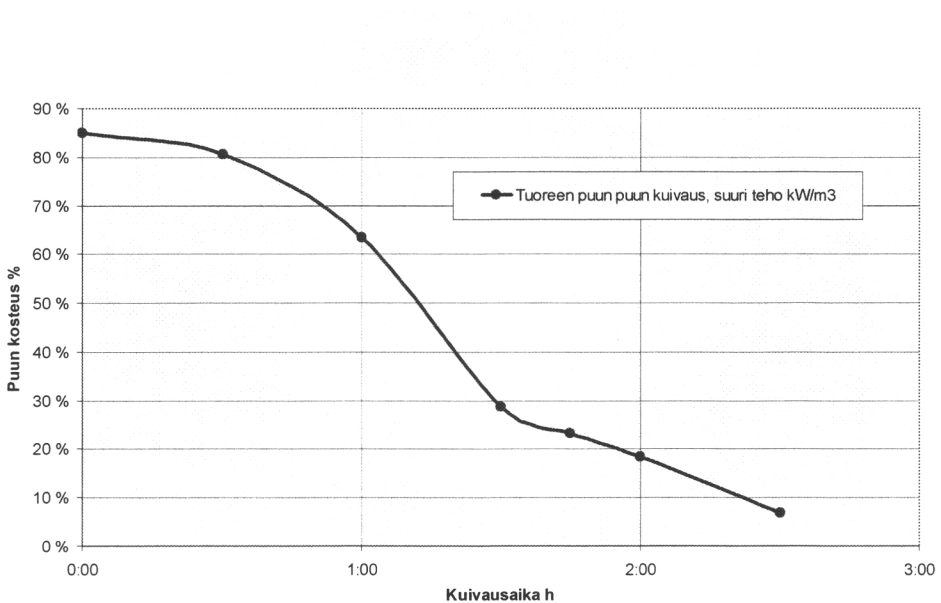
Puun kuivumisesta aiheutuvan kutistumisen suhdeluku tangentin suunnassa on 3 säteen suuntaiseen kutistumiseen verrattuna. Perinteisessä kuivauksessa puu kuivuu ensin pinnasta, jonka vuoksi puutavaraan syntyy halkeamia. HFV-kuivauksen aikana kiehuminen on voimakkainta siellä, missä vettä on eniten. Näin ollen kosteus tasaantuu puussa kuivaustapahtuman aikana ja pysyy tasaisena poikkileikkauksen alueella.

## 3 HFV-KUIVAUKSEN TARKASTELUA

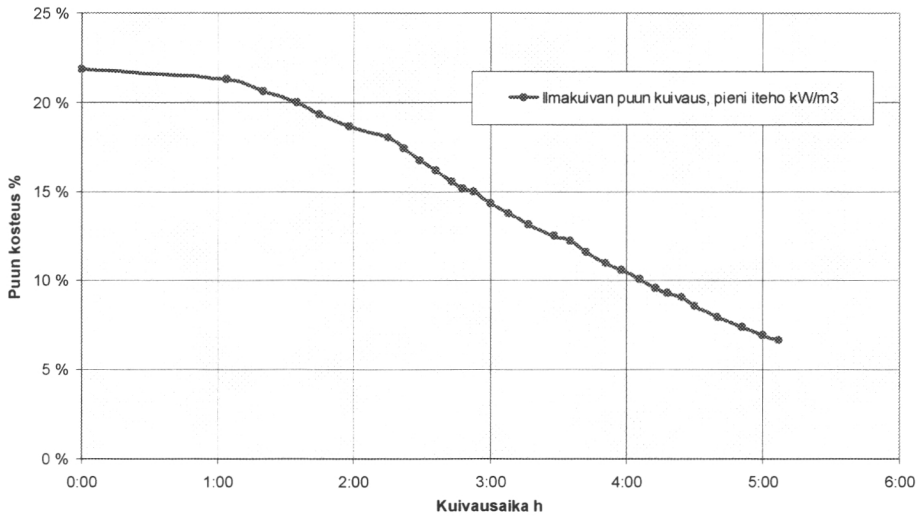
### 3.1 Kapasiteetti

Oletetaan, että HFV-kuivaamon kapasiteetti on 1 m<sup>3</sup>. Koivusahatavarakuorman kuivausaika on 3 – 6 tuntia, joten vuorokaudessa voidaan kuivata 4 annosta. Jos vuodessa on 300 kuivauspäivää, kuivaamon kapasiteetti on yhteensä 1 200 m<sup>3</sup> koivusahatavaraa vuodessa.

Oletetaan edelleen, että HFV-kuivauksessa kuivataan lautatarhakuivasta puusta valmistettuja koivuaihioita. Jos aihiovalmistuksen hukka on 50 %, tarvitaan koivulankkua 2 400 m<sup>3</sup>. Perinteisellä tavalla koivun kuivausaika on 15 päivää. Vuodessa tarvitaan siis 20 kuivausuunillista koivulankkua. Kuvassa 11 on esimerkki tuoreen koivun kuivausajasta ja kuvassa 12 esimerkki ilma-kuivan koivun kuivausajasta HFV-kuivauksella.



**Kuva 11.** Esimerkki tuoreen koivun kuivausajasta HFV-kuivauksella.



**Kuva 12.** Esimerkki ilmakeiuvan koivun kuivausajasta HFV-kuivauksella.

### 3.2 Kustannukset ja kannattavuus

Taulukossa 1 on esitetty karkea laskelma koivun HFV-kuivauksen kustannuksista.

HFV-kuivauksen kannattavuus on tapauskohtainen kysymys. Menetelmä ei kilpaile suurimittakaavaisten sahatavarakuivaamoiden kanssa. HFV-kuivaus tuo kuitenkin mahdollisuuksia tuotantoprosessien kehittämiseen:

- aihiointi tuoreena tai vientikuivana (kuivaus aihioina)
- erikoispuiden kuivaus
- kuivaus pyöreänä puutavarana
- nopeus ja kokoon nähden suuri kapasiteetti

**Taulukko 1.** Esimerkki koivun HFV-kuivauksen kustannuksista, mk / m<sup>3</sup>.

alkukosteus %	sähkö	ilmajähdytys 2 kWh	yhteensä mk / m <sup>3</sup>	todellinen mk / m <sup>3</sup>	
90	259	23	282	282	P
85	235	20	275	275	P
22	107	10	117	59	A
22	125	22	147	74	A

Kustannukset on laskettu sähkön hinnalla 0,375 mk / kWh.

P = pyöreän koivun kuivaus, A = koivuaihion kuivaus

Todellinen kustannus on saatu vertaamalla koivun aihiokuivausta kanttaamattoman koivulankun kuivaukseen.

Laskelmassa saannon hyötysuhteena on 0,50.

### 3.3 HFV-kuivatun puutavaran ominaisuuksia

HFV-kuivaamojen kehityksen alkuvaiheissa kosteusvaihtelut kuivatussa puutavarassa olivat varsin suuria. Kosteus saattoi vaihdella puutavarassa jopa yli  $\pm 3$  %-yksikköä. Nykyään kosteusvaihtelua on saatu pienennettyä. Kosteusvaihtelu saadaan pieneksi, kun kuivattavan puutavaran alkukosteus on tasainen. Kosteusvaihteluita voidaan minimoida kuivaamalla hieman alikuivaksi ja muokkaamalla kuivausohjelmaa. Myös elektrodien muotoilu vaikuttaa lopputulokseen.

Ylikuivaus ilmenee puutavaran tummumisena. Tummuminen johtuu siitä, että paikallinen lämpötila puussa nousee liian suureksi eli puutavaraa kuivataan liian kauan. Alustavien selvitysten mukaan HFV-kuivatun koivun taivutuslujuus ei poikkea perinteisellä tavalla kuivatun puun taivutuslujuudesta. Myöskään muiden mekaanisten ominaisuuksien muuttumista ei ole havaittu. Puun työstettävyys säilyy HFV-kuivauksessa normaalina. HFV-kuivatun puun hygroskooppiset ominaisuudet voivat muuttua kuivauksen yhteydessä, varsinkin jos puu kuivataan liian kuivaksi.

# KOIVUN KUUMAKUIVAUS; TAUSTAA JA KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSIA

Toimitusjohtaja Heikki Sonninen  
Tekma Kuivaamot Oy  
Svinhufvudinkatu 19, 15100 Lahti  
puh. (03) 816 330, faksi (03) 816 3310, heikki.sonninen@tekmawood.fi

## 1 KUIVAUSTAPOJEN MÄÄRITELMIÄ

Yleisesti alalla käytettyjen määritelmien mukaan lämminilmakuivauksessa kuivalämpötila on alle 80 °C. Korotetun lämpötilan kuivauksessa kuivalämpötila on 80 – 100 °C. Kuumailmakuivauksessa kuivalämpötila on yli 100 °C ja märkälämpötila alle 100 °C, eli käytössä on koneellinen ilmanvaihto. Varsinaisessa kuumakuivauksessa kuivalämpötila on yli 100 °C ja märkälämpötila noin 100 °C, eli kuuma-kuivauksessa ei käytetä koneellista ilmanvaihtoa.

## 2 KUUMAKUIVAUS

### 2.1 Kuumakuivauksen historiaa ja nykypäivää

Ensimmäinen patenti kuumailmakuivaukselle myönnettiin vuonna 1857. Varsinainen kuumakuivaus on patentoitu vuonna 1918 ja höyrykuivaus vuonna 1944. Kuumakuivaus yleensä kuumailmakuivauksena on ilmeisesti yleisin käytössä oleva kuivausmenetelmä maailmassa. Se on käytössä Pohjois- ja Etelä-Amerikassa, Australiassa ja Uudessa Seelannissa sekä Kaukoidässä. Kuumakuivaus on sotien jälkeen ollut yleisessä käytössä myös Suomessa, missä sitä on käytetty lähinnä huonekaluteollisuudessa ja rakennuspuusepänteollisuudessa sekä rimalevyjen tuotannossa.

Kuumakuivaus on sittemmin lähes hävinnyt Suomesta. Pääasiassa paineastiamääräykset ( $T > 120$  °C,  $p > 3$  bar) poistivat höyrykattilat käytöstä; määräysten tultua voimaan paineestioita alettiin katsastaa ja käyttäjien pätevyyttä ruvettiin valvomaan entistä tiukemmin. Kuumakuivauksen käytön vähenemiseen ovat vaikuttaneet myös laatuvaatimukset bulkkituotannossa, jossa myyntivalttina on ollut puun vaaleus ja jossa toimituskosteus on 18 – 20 % ("vientikuiva"). Kuuma-kuivattu puutavara on ollut bulkkituotantoon ulkonäöltään sopimatonta esimerkiksi pihkan valumisen ja kuivien oksien irtoamisen vuoksi. Kuumakuivauksen ongelmia ovat lisäksi olleet puutavaraan kuivauksen aikana syntyvät sisähalkeamat ja vientikuivauksessa suuri kosteushajonta.

Kuumakuivaus on tullut uudelleen ajankohtaiseksi 1990-luvulla. Se on oleellinen osa lämpökäsittelyprosessia ja lämpökäsittelyyn liittyen kuumakuivauksesta on tehty uusia tutkimuksia ja saatu uusia käyttökokemuksia. Paineastiamääräykset ovat keventyneet, nyt voidaan käyttää kuumavesi- (180 °C, 16 bar) ja kuu-

maöljyjärjestelmiä. Kuumavesijärjestelmät eivät nosta oleellisesti kattilalaitoksen hintaa ja kuumaöljyjärjestelmät puolestaan ovat hyvin tavallista tekniikkaa esimerkiksi lastulevyteollisuudessa. Uusi ohjaustekniikka parantaa myöskin kuumakuivauksen käytettävyyttä, kun kuumakuivaamon toiminta voidaan muuttaa täysin automaattiseksi. Kuivausta voidaan ohjata puun lämpötilan perusteella, jolloin lähtökosteus ei vaikuta kuivauskaavaan. Menetelmästä on saatu hyviä kokemuksia lämpökäsittelylaitoksissa.

## 2.2 Kuumakuivaamon laitevaatimukset

Kuumakuivaamossa on oltava ilmatiivis, ruostumaton (AISI304) kamari, sillä kuivauksen aikana kamariin ei saa päästä happea. Tällä vähennetään puuaineen värinmuutoksia ja minimoidaan kuivaamon palovaaraa. Lehtipuista, varsinkin esimerkiksi pyökistä ja haavasta tulee kuivaamoihin suuri ”korroosiokuormitus”, minkä vuoksi kuivaamon rakenteiden on oltava ruostumattomia. Lämmönlähteenä kamarissa on oltava erikoisrakenteiset rst-lämmityspatterit, joissa lämmönsiirto perustuu joko kuumaan veteen tai öljyyn. Erityishuomiota tulee kiinnittää ovien tiivisteisiin ja ilmanvaihtopeltien tiivyyteen ja kamarin rakenteissa on huomioitava lämpölaajenemisen vaikutukset.

Kuumakuivaamossa pyritään puutavaran nopeaan kuivaukseen ja siten suureen höyrystysnopeuteen. Tämän vuoksi puhallussyvyyden on oltava pieni eli kuivauskuormat on asetettava kuivaamoon pitkittäin. Puhaltimien moottorit eivät kestä käytettäviä lämpötiloja, joten ne on asennettava kuivauskamarin ulkopuolelle. Rakenteissa on otettava huomioon voimansiirron häviöt, laakerien kestävyys ja huollettavuus.

Kuumakuivaamo vaatii oman, erikoistuneen ohjausjärjestelmän. Märkälämpötilan mittaaminen on hankalaa, sillä perinteisesti mittauksessa käytetty märkäsukka kuivuu helposti. Toisaalta elektronisten lämpötila-antureiden käytöstä ja toiminnasta on vähän kokemuksia. Myös puun kosteuden mittauksessa on ongelmia, kun puun lämpötila on yli 100 °C.

Kuumakuivaamon lämmönlähteeksi soveltuu esimerkiksi kuumavesikattila, joko 160 °C / 10 bar tai 180 °C / 16 bar; tällä painealueella toimiva KPA-laitos ei ole oleellisesti kalliimpi kuin tavallinen 3 barin laitos. Oheislaitteet (etupesä, polttoainevarasto, kuljettimet ym.) ovat samat kuin normaalissa lämminvesikattilalaitoksessa, joten kuumavesilaitoksen kokonaishinta on noin 3 – 5 % korkeampi (Sermet Oy). Lisäksi kuumakuivaamoissa on huomattava, että putkiston ja varusteiden erikoisvaatimukset vaativat A-luokan asennusryityksen. Kuumavesikattila asettaa erikoisvaatimuksia myös käytön valvojalle, mutta käyttö ei vaadi kuitenkaan kokopäivätoimista konemestaria. Kuumavesikattiloiden laitevaatimusten asiantuntijoita ovat lämmityskattilatoimittajat (esimerkiksi Sermet Oy, Termopoint Oy, VKK Oy).

## 2.3 Uusimpia kokemuksia kuumakuivauksesta

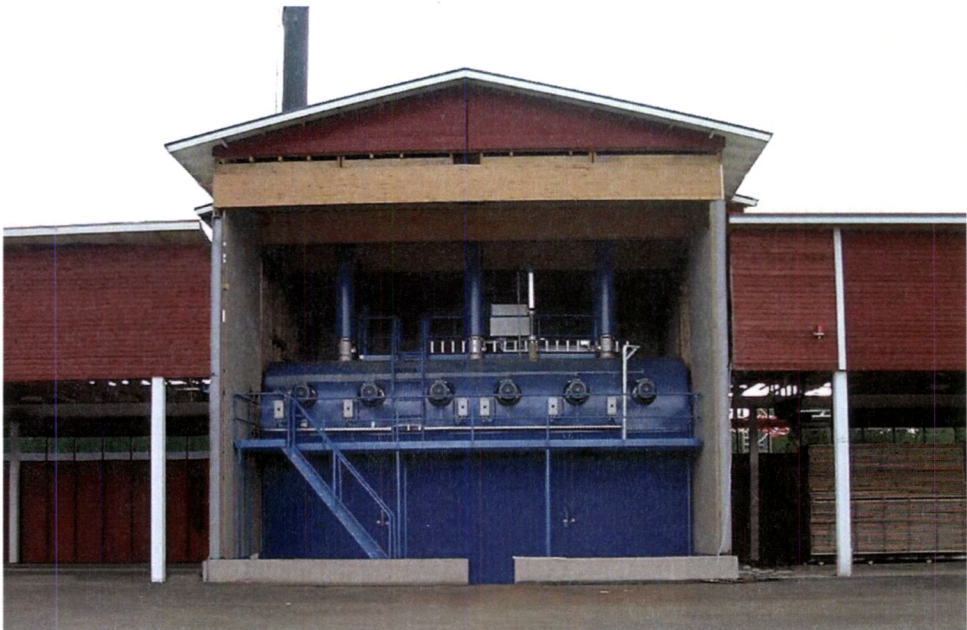
Järeän havupuutavaran (pääosin hirssiä) kuumakuivausta on tutkittu hiljattain tehdyssä DI-työssä. Tutkimuksen tulokset ovat kokonaisuudessaan lupaavia. Kuivaus-

ajat tuoreesta puutavarasta 18 %:n kosteuteen vaihtelivat 2 – 3 vuorokauden välillä. Kuivauksessa syntyneet halkeamat olivat pieniä ja ne olivat tasaisesti jakautuneita. Kokeiltavana on myös ratkaisu pyöreän puutavaran kuivaukseen ilman välirimoitusta.

Koivun kuumakuivausta on tutkittu YTI:n yhden kuutiometrin lämpökäsittelykamarissa. Tämän tutkimuksen tulokset ovat olleet myös lupaavia. VTT:llä on tutkittu höyryn käyttöä kuivauksessa, sillä höyryn käytön hallinta on oleellista puun värjäytymisen kannalta (vrt. pyökin värjäys höyryttämällä).

Ikipuu Oy:n 40 m<sup>3</sup>:n lämpökäsittelylaitoksella (kuva 13) on tehty koivun kuumakuivauskokeita tuotantomittakaavassa. Yhteensä koivua on kuivattu yli 200 m<sup>3</sup>. Kuivausaika sahatuoreesta 6 %:n kosteuteen on ollut noin 20 tuntia, kun sahatavaran paksuus on 32 mm, ja noin 40 tuntia, kun sahatavaran paksuus on 50 mm. Tosin haluttu kosteushajonnan pienuus vaikuttaa voimakkaasti tarvittavaan tasaanutusajkaan ja siten myös kokonaiskuivausaikaan. Lisäksi koeajot tehtiin loppukesästä, jolloin lähtökosteudet olivat ilmeisesti normaalia alhaisempia. Kuivatun sahatavaran kosteushajonta on ollut pääosin EDG:n (European Drying Group) suositusten / normien mukainen. Kosteusgradientit ja kuivausjännitykset ovat olleet riittävän pieniä, tosin tieteellisesti mitattuja ja tilastoituja tuloksia ei ole, vaan asiaa on kokeiltu jatkojalostuksessa.

Tutkimustuloksista voidaan yleisesti sanoa, että kuumakuivaus ei merkittävästi vaikuta puun ominaisuuksiin (lujuus, maalattavuus). Puun ominaisuudet (esimerkiksi kosteuseläminen) alkavat muuttua, kun lämpötila on yli 150 °C (vrt. lämpökäsittely). Oleellisin ero lämminilmakuivaukseen on se, että kuumakuivatun puutavaran ulkoasu muuttuu kuivausajasta riippuen enemmän tai vähemmän.



**Kuva 13.** Ikipuu Oy:n 40 m<sup>3</sup>:n lämpökäsittelykamari. Tekma Kuivaamot Oy.

## 2.4 Kuumakuivauksen käyttökustannuksiin vaikuttavia tekijöitä

Kuumakuivauksessa tarvitaan energiaa alle 1 kWh / kg vettä. Energiaa säästetään ilmanvaihdon energiankulutuksessa. Säästö on noin 20 – 40 % kovapuiden kuivauksessa ja se riippuu kuivauslämpötilasta ja -kaavasta. Puhallinenergiantarve on noin 30 – 50 kWh / m<sup>3</sup>, joka on noin 30 % pienempi kuin tavallisessa lämminilma-kuivauksessa. Käytettävät puhallintehot ovat suuremmat, mutta kuivausaika on vain 10 – 20 % lämminilma-kuivauksen kuivausajasta. Konvektio (lämmön siirtyminen) kamarin seinien läpi on lyhyen kuivausajan ansiosta pienempää kuin lämminilma-kuivauksessa, mutta sen vaikutus on pieni, vain alle 5 %.

Rimoituksen on kuumakuivauksessa oltava ensiluokkainen ja riittävän tiheä, sillä puu plastisoituu yli 90 °C:n lämpötilassa. Painojen ja / tai puristuksen käyttö kuivauksen aikana on suositeltavaa. Painot voivat olla paikoillaan myös lopputasannutuksen ja jäädytyksen aikana. Esimerkiksi Australiassa painoja pidetään kuivauskuorman päällä 24 tuntia loppuhöyrytyksen jälkeen.

Kuumakuivaamon toiminta on täysautomaattista. Hälytykset voidaan ohjata suoraan käsipuhelimeen ja kuivaamon toimintoja voidaan seurata ja tarvittaessa muokata etäkäyttönä kotikoneelta: vaihtojen suorittamiseen tarvitaan henkilökuntaa vielä nykytekniikallakin, tosin nekin voidaan haluttaessa automatisoida. Eri kuivausmenetelmien kustannuksia on vertailtu koivulla taulukossa 2.

Kuumakuivauksen energiakustannuksia voidaan pienentää käyttämällä jatkuvatoimista kuivausprosessia (kuvat 14 ja 15). Monivaiheisessa kamarissa voidaan toteuttaa kuivaushöyryn sisäinen kierto ja energian talteenotto. Kuivauskuormien sulatus ja esilämmitys voidaan hoitaa kuivauksen poistohöyryillä, mistä aiheutuu huomattava energiansäästö. Kuivaushöyryä voidaan hyödyntää myös lopputasannutuksessa.

Monivaiheisen, jatkuvatoimisen lämpökäsittelylaitteiston kapasiteetti on suuri, esimerkiksi 30 000 – 40 000 m<sup>3</sup> / a sahatuoreesta valmiiksi tuotteeksi. Monivaiheisessa kamarissa haittana on tuotannonohjauksen jäykkyys eli dimensioiden muutokset ovat tavallista hankalampia toteuttaa. Lisäksi menetelmä soveltuu vain sahatavaran kuivaukseen puusepäнкуivaksi, jolloin loppukosteus on 6 – 8 %.

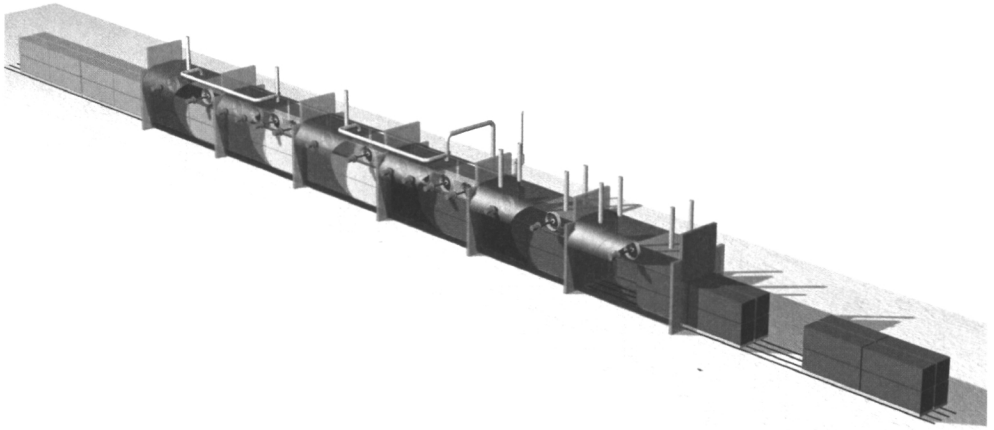


**Taulukko 2.** Esimerkkilaskelma eri kuivausmenetelmien kustannuksista. Laskennassa on oletettu, että kuivattava puulaji on koivu, vuosittainen kuivausmäärä on 10000 m<sup>3</sup> ja kuivaus tapahtuu 60 %:n kosteudesta 10 %:n kosteuteen. Arvot ovat ohjeellisia ja ne on kerätty sekalaisista lähteistä.

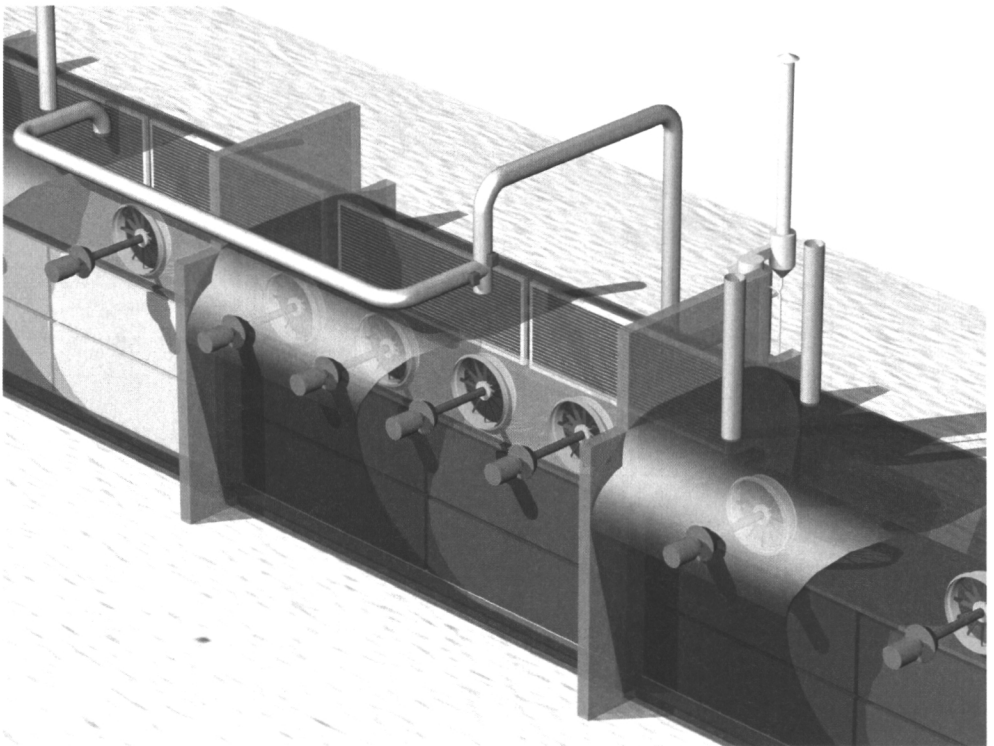
	Lämminilma bioenergia	Lämminilma lauhdutin	Alipaine	Kuuma- kuivaus	HFV	HFV aiho (50 %)
Kuivausaika (h), 60 % => 10 %	288	420	96	24	6	6
Lämpö (p / kWh)	6		6	6,5		
Sähkö (p / kWh)	25	25	25	25	25	25
Lämpö (kWh / m <sup>3</sup> ) teor ~ 300 kg / m <sup>3</sup> x 0,75 kWh / kg	340		240	260		
Sähkö (kWh / m <sup>3</sup> )	60	220	50	40	300	300
<b>Energiakustannus yhteensä (mk / m<sup>3</sup>)</b>	<b>35</b>	<b>55</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>75</b>	<b>38 (brutto-m<sup>3</sup>)</b>
Tarvittava V (m <sup>3</sup> ) (kun 10000 m <sup>3</sup> / a)	360 4x90 m <sup>3</sup>	540 8x70 m <sup>3</sup>	120 4x30 m <sup>3</sup>	30 1x30 m <sup>3</sup>	7,5 3x2,5 m <sup>3</sup>	4 2x2 m <sup>3</sup>
Kuivaamoinvestointi (Mmk)	2,5 + kattila 1,2	5,0	6,0 + kattila 1,2	1,5 + kattila 1,5	4,5	2,8
Puutavaran pääomakust. (2 kmk / m <sup>3</sup> , 6 % p. a.)	36 kmk / a	65 kmk / a	14 kmk / a	4 kmk / a	1 kmk / a	1 kmk / a
Kuivaamon pääomakust. (10 a, 6 % p. a.)	481 kmk / a	650 kmk / a	940 kmk / a	390 kmk / a	585 kmk / a	365 kmk / a
<b>Pääomakustannus yhteensä (mk / m<sup>3</sup>)</b>	<b>52</b>	<b>72</b>	<b>95</b>	<b>40</b>	<b>59</b>	<b>37</b>
<b>Kuivauskustannus yhteensä (mk / m<sup>3</sup>)</b>	<b>87 + rimoitus</b>	<b>127 + rimoitus</b>	<b>123 + rimoitus</b>	<b>67 + rimoitus</b>	<b>134</b>	<b>75 (brutto-m<sup>3</sup>)</b>
<b>Kuivauksen laatakustannus</b>	<b>xx mk</b>	<b>xx mk</b>	<b>xx mk</b>	<b>xx mk</b>	<b>xx mk</b>	<b>xx mk</b>

### 3 YHTEENVETO KUUMAKUIVAUKSESTA

Kuumakuivaus on nopea ja joustava kuivaustekniikka. Kuumakuivaus on energiataloudellisesti edullista, lisäksi sen investointikustannukset kapasiteettiin suhteutettuna ovat edulliset. Kuumakuivaus sopii erityisen hyvin asiakaskohtaiseen kuivaukseen. Asiakkaan on tunnettava ja otettava huomioon jatkojalostuksessa kuivaustekniikkaan liittyvät reunaehdot - puuaineen värinmuutokset, kuivien oksien irtoaminen ja pihkan valuminen. Pihkan valuminen haittaa höyläyksessä, toisaalta pihka ei loppukäytössä nouse enää pintaan maalin läpi auringonvalossakaan. Kuumakuivaus vaatii lisäksi omat erikoislaitteensa sekä kuivaukseen että lämmöntuotantoon.



**Kuva 14.** Havainnekuva monivaiheisesta, jatkuvatoimisesta lämpökäsittelylaitteistosta. Laitoksen kapasiteetti on 30 000 – 40 000 m<sup>3</sup> / a sahatuoreesta valmiiksi tuotteeksi. Tekma Kuivaamot Oy.



**Kuva 15.** Monivaiheisen laitoksen lämpökäsittelykamari. Tekma Kuivaamot Oy.

# KOIVUN ALIPAINEKUIVAUS SAHAAJAN KANNALTA

Puutalousinsinöörit Osmo Niemi ja Matti Kontro  
Mühlböck alipainekuivaamot  
Kertunpolku 5, 15540 Villähde  
puh. (03) 758 0323, faksi (03) 758 0323, osmo.niemi@pp.phnet.fi

## 1 KOIVUN ALIPAINEKUIVAUKSEN LÄHTÖKOHTA JA VAATIMUKSET

Alipainekuivaus on taloudellinen ja varma kuivaustapa varsinkin silloin, kun halutaan toimia asiakaslähtöisesti ja nopeasti ja saada edullisesti haluttua kuivauslaatua. Mitä arvokkaampaa tai vaikeammin kuivattavaa puutavara on, sitä mielekkäämpi ja perustellumpi investointi alipainekuivauslaitteisto on.

Koivua jalostava yritys asettaa puutavaran kuivaukselle omat vaatimuksensa. Vaatimusten mukaisesti koivun kuivaamisessa:

- Pyritään vähentämään raaka-ainehukkaa. Ostetaan vain sellaista raaka-ainetta, jonka jalostusaste on optimaalinen.
- Pyritään pieneen kosteushajontaan ja pieneen kosteuselämiseen. Näin saavutetaan esimerkiksi parempi liimasauma jatkojalostuksessa.
- Pyritään säilyttämään puutavaran luonnollinen väri. Tällöin tuotteet ovat pidempään uuden näköisiä.
- Pyritään nopeisiin asiakas- ja käyttökohtaisiin toimituksiin. Rahankierto nopeutuu ja kannattavuus paranee.
- Pyritään luotettaviin toimituksiin. Yritys ei osta raaka-ainetta varastoon vaan suoraan tuotantoon, raaka-aineen hankintoimi on osa prosessin suunnittelua.
- Pyritään tuotantovarmuuden parantamiseen ja vain sovitun ja käyvän laadun toimittamiseen.

Hyvällä kuivauksella säilytetään hyvä puun laatu, mutta huonoa laatua ei kuivauksen avulla saada parannettua. Sisustus- ja huonekalutuotannossa pyritään tasaiseen väriin tai halutaan tietyt värisävyt. Kuivatun puutavaran laadutus annettujen ohjeiden mukaan tuo kuivaustoiminnalle lisäarvoa. Useilla jatkojalostus- tai käyttökohteilla on omat vaatimuksensa kuivauksen tason eli laadun suhteen.

Järjestelmällisellä kuivauksen läpiviennillä ja hyvällä seurannalla yritys saa lisäarvoa omalle kuivaustoiminnalleen. Seurantaan kuuluu kuivattavan puutavaran alkutarkastus ja mittaus silmämääräisesti: kuivauskaava rakennetaan sen mukaan, mitä ja kenen tarpeeseen kuivataan. Järjestelmällisen kuivauksen seurannan tuloksena:

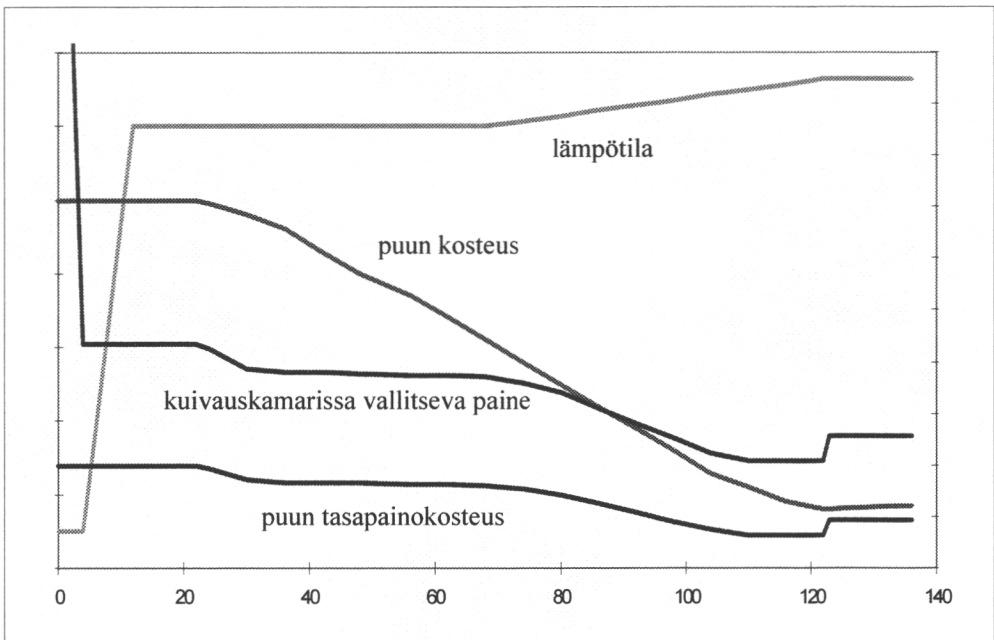
- minimoidaan omat riskit,
- seurataan kannattavuutta,

- parannetaan kuivausohjelmaa ja
- voidaan nopeuttaa rahankiertoa.

Koivun loppukäyttäjät niin kotimaassa kuin viennissäkin haluavat yhä enemmän mahdollisimman pitkälle kuivattua (=jalostettua) ja tarkemmin laadutettua sahatavaraa. Tuoreeseen sahatavaraan verrattuna pitkälle kuivatun sahatavaran kuljetushyöty (määrä ja paino) on myös parempi.

Talouden ja tuotannon kasvu niin Baltiassa kuin Venäjälläkin on lähtenyt nousuun. Baltian ja Venäjän koivutuotteita vastaan suomalaiset valmistajat eivät voi kilpailla tuotantomäärillä (=bulkkituotannolla), vaan suomalaisten kilpailuvalttina on toimittaa laadukkaita, pitkälle jalostettuja tuotteita. Yrityksen on asemoitava itsensä tuotantokentälle ja päätettävä, toimiiko se raaka-aineen, komponenttien vai puolivalmiiden tuotteiden toimittajana.

Esimerkki alipaine-kuivauksen kulusta on esitetty kuvassa 16.



**Kuva 16.** Esimerkki alipaine-kuivauksen kulusta. X-akselilla on esitetty aika tunteina.

## 2 KOIVUN ALIPAINESUUKUIVAUKSEN EDUT

### 2.1 Nopeus

Alipaine-kuivaus on helpommin hallittavissa oleva prosessi kuin muut kuivaustavat. Lämminilmakuivaukseen verrattuna alipaine-kuivaus on joustavampi tekniikka,

sillä se on nopeampi ja kuivausilman kiertoa voidaan siinä hallita paremmin. Alipaine kuivaus soveltuu varsinkin silloin, kun kuivattava puutavara on vaikea kuivata perinteisillä tavoilla, esimerkiksi kun kuivataan lehtipuuta tai paksua sahatavaraa. Paksuilla dimensioilla alipaine kuivaus on jopa viisi kertaa nopeampi kuin lämminilmakuivaus ja lähes kymmenen kertaa nopeampi kuin lauhdekuivaus. Esimerkiksi 50 mm:n koivusahatavara saadaan alipaine kuivauksella kuivattua tuoreesta 6 – 7 %:n kosteuteen 3 – 4 vuorokaudessa (taulukko 3).

Alipaine kuivauksen nopeus ja tavallista pienemmät kuivauserät mahdollistavat erikoiskuivaamisen ja harvinaisempien puulajien, esimerkiksi haavan ja lepän jatkojalostuksen. Kuivauksen nopeus mahdollistaa sahan osallistumisen projektirakentamiseen nopeilla, asiakaslähtöisillä toimituksilla. Loppukosteus voidaan valita loppukäyttäjän tarpeiden mukaan ja voidaan käyttää suoria toimituksia. Sahaaja voi myös toimittaa erikoisia dimensioita ja laatuja.

**Taulukko 3.** Alipaine kuivauksen kuivausaikoja eri puulajeille ja eri dimensioille. Monista tekijöistä riippuen kuivausajat voivat vaihdella huomattavasti.

Puulaji	Kosteus, %		KUIVAUSAIKA, VRK						
	alku	loppu	Sahatavaran paksuus, mm						
			30	50	60	70	80	85	120 x 200
Pyökki	60	10		6				8	
	40	10		4					
	50	8					5		
Tammi	30	10	3						
	25	10		3,6					
	40	10			14				
	60	10				26			
Saarni	25	10			2				
Päärynäpuu	60	10				6			
Koivu	40	10			2				
Leppä	40	10			3				
Vaahtera	55	10						5	
Kuusi	60	12						3	
	Sahatuore	18							4
	34	8					2		
	50	12						2,8	

## 2.2 Laatu

Alipaine kuivauksella puuaineeseen syntyvien halkeamien määrää voidaan rajoittaa. Alipaine kuivauksella voidaan kuivata myös aihioita. Alipaine kuivaus mahdollistaa esimerkiksi 25 mm:n vientikuivan sahatavaran optimoivan katkaisun niin, että eri käyttökohteisiin menevät lopputuotteet voidaan kuivata erikseen katkonnan jälkeen. Alipaine kuivaus mahdollistaa kaikkien sahatavarakappaleiden tehokkaan

markkinoinnin ja voi säästää turhalta ja liialliselta kuivaukselta. Tämä voi merkitä jopa 50 prosentin säästöä kuivauskapasiteetissa.

Puuaineen värinmuutoksista alipainekuivauksessa ei vielä ole täysin varmaa tietoa. Värinmuutoksia syntyy, jos alipainekuivauksen aikana kuivauskammiossa on painevaihteluja. Myös esimerkiksi happi ja kuivauslämpötila ovat puuaineen väriä muuttavia tekijöitä. Värinmuutosta voidaan minimoida hyvällä kuivausohjelmalla.

Sahatavaran vääntyilyä voidaan ehkäistä hyvällä rimoituksella ja kuivauskuorman päälle asetettavilla painoilla. Tällöin saavutetaan parempi saanto, vähemmän hukkaa ja tuloksekkaampi työ verrattuna kuivaukseen ilman painoja.

## **2.3 Lämpöenergiantarve**

Koska alipainekuivauksessa kamarikoko on pieni kuivauskapasiteettiin verrattuna, tarvitaan pieni, edullinen lämpöenergian lähde. Alipainekuivaamo soveltuu muita kuivaamolaitteistoja paremmin mahdollisen jäännös- tai hukkalämmön hyödyntämiseen. Jos halutaan tuottaa esimerkiksi 1 500 m<sup>3</sup> puusepäнкуivua koivua vuodessa, lämmönlähteeksi riittää 100 kW:n lämpökattila. Tämä on noin viidesosa lämmintilma-kuivaamon lämpöenergian tarpeesta.

## **2.4 Rahoitus / investointi**

Rahoitusyhtiöt hyväksyvät alipainekuivaamon vakuutena, koska se on helposti siirrettävissä. Tämä helpottaa kuivaamon hankkimiseen liittyvän rahoituksen järjestämistä.

Alipainekuivaamo voidaan rakentaa ja ottaa käyttöön varsin nopeasti. Yleensä kuivaamo saadaan käyttöön jo 3 – 4 kuukauden kuluttua rakentamis päätöksestä.

## **2.5 Tuotantotekijät**

Alipainekuivauksessa toteutuu nopeampi tuotannon läpivienti kuin muilla kuivaustavoilla. Kuivaamo ei toimi välivarastona, koska tarvittavat tasaannustilat ovat pienet. Menetelmän käyttö mahdollistaa lisäksi erikoistuotteiden valmistamisen ja / tai kuivaamisen pienissä sarjoissa. Alipainekuivaus on varteenotettava kuivausvaihtoehto myös silloin, kun tuotteen jalostusketju on verkostoitunut ja tiivis.

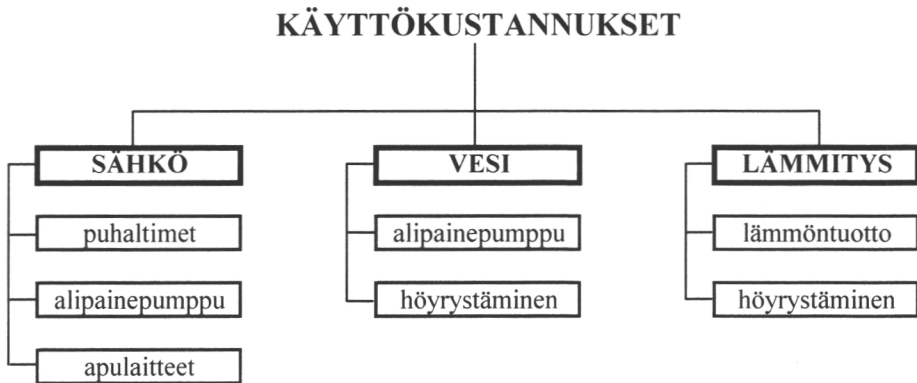
# **3 KOIVUN ALIPAINENUIVAUKSEN HAITAT**

Alipainekuivauksessa vaihtoaikojen merkitys kasvaa, kun kuivataan ohuita, helposti kuivattavia dimensioita. Vaihdot tulee tehdä myös viikonloppuisin ja öisin, jotta suurin kustannustekijä eli pääomakulut saadaan minimoitua. Jos kuivaamon toimintaa ei seurata tarkasti, sen nopeutta ja muita käyttöominaisuuksia ei saada täydellisesti hyödynnettyä.

Alipainekuivaus on näennäisesti kallista. Jos kuivaamon kapasiteettia ei osata hyödyntää, kuivaamo on kallis seisomassa käyttämättömänä. Lisäksi käytettäessä särmäämätöntä koivusahatavaraa täyttösuhde on huono. Kun otetaan huomioon särmätyn sahatavaran hyvä hyötysuhde ja asiakkaiden tarpeet, voidaan päätellä, että alipainekuivaus soveltuu paremmin komponenttitoimittajan kuin volyymituotteiden toimittajan käyttöön.

## 4 KOIVUN ALIPAINEKUIVAUKSEN KANNATTAVUUS

Koivun alipainekuivauksen käyttökustannusten jaottelu on esitetty kuvassa 17. Taulukossa 4 on esimerkki alipainekuivaamon kustannuserittelystä.



**Kuva 17.** Alipainekuivauksen käyttökustannusten jaottelu.

#### Taulukko 4. Esimerkki alipainekuivauksen kustannuserittelystä.

1 KUIVAUSKAMARIN TILAVUUS	
bruttotilavuus	34,32 m <sup>3</sup>
nettotilavuus (kuorman tilavuus)	21,80 m <sup>3</sup>
2 KUIVAUSAJAT	
kuivauspäiviä	330 vrk / a
kuivausaika / kuorma	2 vrk
kuivauksia	165 kpl / a (pyöristetty)
kuivattua puuta	3 597,54 m <sup>3</sup> / a
3 LÄMMITYSKUSTANNUKSET	
puun sisältämä vesimäärä	183 dm <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>
lämmitysenergian tarve	237,90 kWh / m <sup>3</sup>
kuivauslastuntarve	0,47 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>
hinta	7,02 FIM / m <sup>3</sup>
4 PUHALLINKUSTANNUKSET	
puhaltimien teho	18 kW
sähköenergian kulutus / kuivaus	864 kWh
sähköenergian kulutus	39,63 kWh / m <sup>3</sup>
sähköenergian hinta	10,30 FIM / m <sup>3</sup>
5 TÄYTTÖKUSTANNUKSET	
täyttöön kuluva aika	1 h
tuntihinta	70 FIM / h
täyttökustannukset / kuivauskamari	70 FIM
täyttökustannukset	3,21 FIM / m <sup>3</sup>
6 KÄYTTÖKUSTANNUKSET	
kohdasta 3 lämmityskustannukset	7,02 FIM / m <sup>3</sup>
kohdasta 4 puhallinkustannukset	10,30 FIM / m <sup>3</sup>
kohdasta 5 täyttökustannukset	3,21 FIM / m <sup>3</sup>
<i>käyttökustannukset yhteensä</i>	<i>20,53 FIM / m<sup>3</sup></i>
7 SIJOITUS JA KORKO	
investointikustannukset / kuivauskamari	
investointikustannukset / lämmitys- ja perustustyö	40 000 FIM
asennus	7 500 FIM
vuotuinen takaisinmaksu	115 357 FIM
korko jäävälle pääomalle	25 840 FIM
<i>finanssipanos</i>	<i>39,25 FIM / m<sup>3</sup></i>
8 KOKONAISKUSTANNUKSET	
kohdasta 6 käyttökustannukset yhteensä	20,53 FIM / m <sup>3</sup>
kohdasta 7 sijoitus ja korko	39,25 FIM / m <sup>3</sup>
<b>kokonaiskustannukset yhteensä</b>	<b>59,78 FIM / m<sup>3</sup></b>



# KOIVUN SUURIMITTAKAAVAINEN KUIVAUS

Sahanjohtaja Jukka Peltoranta  
Vilkon Oy  
Otavantie 395, 52550 Hirvensalmi  
puh. (015) 340 900, faksi (015) 340 920, jukka.peltoranta@vilkon.fi

## 1 YLEISTÄ VILKON OY:STÄ

Vilkon Oy on Koskitukki-konserniin kuuluva, mekaanista metsäteollisuutta harjoittava yritys Hirvensalmella. Yritys jalostaa vuodessa noin 49 000 m<sup>3</sup> hyvälaatuista koivutukkia. Raaka-aineen käyttö jakautuu sahan ja viilutehtaan kesken seuraavasti:

- saha 35 000 m<sup>3</sup> / vuosi,
- viilutehdas 14 000 m<sup>3</sup> / vuosi.

Vilkon Oy on toistaiseksi Euroopan suurin koivun sahaaja. Yrityksen koivusahatavaran tuotanto on noin 15 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Vientiin sahatavarasta toimitetaan 7 500 m<sup>3</sup> ja kotimaahan 4 500 m<sup>3</sup>. Vilkon Oy:n oma jatkojalostus käyttää sahatavaraa noin 3 000 m<sup>3</sup> vuodessa.

## 2 SAHATAVARAN KUIVAUS VILKON OY:SSÄ

Kuivattavan sahatavaran osuus Vilkon Oy:n kokonaistuotannosta on 12 500 m<sup>3</sup> vuodessa. Puusepäнкуivaa (kosteus alle 8 %) sahatavaraa yritys valmistaa 6 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Keskimäärin sahatavara kuivataan 11 %:n kosteuteen.

Yrityksellä on käytössä 16 Tekma Oy:n toimittamaa kamarikuivaamoja. Kunkin kuivaamoon mahtuu noin 35 m<sup>3</sup> särmäämätöntä koivusahatavaraa. Kuivausta ohjataan aikaan perustuvilla kuivauskaavoilla; kaavoissa käytettävät lämpötilat ovat kuivauksen alussa noin 40 °C ja kuivauksen lopussa noin 65 – 70 °C. 50 mm:n särmäämätön sahatavara, jonka keskileveys on 250 mm, saadaan kuivattua sahatuoreesta puusepäнкуivaksi 22 – 24 vuorokaudessa. 25 mm:n särmäämätön sahatavara, jonka keskileveys on 150 mm, kuivuu sahatuoreesta puusepäнкуivaksi 8 – 9 vuorokaudessa.

## 3 KOIVUSAHATAVARAN KUIVAUKSEN ONGELMAT

Lämminilmakuivauksessa koivun värinmuutoksien hallinta on osoittautunut haasteelliseksi. Ongelma korostuu kuivattaessa paksuja dimensioita sahatuoreesta puu-

sepänkuivaksi. Ongelmana ovat värin lisäksi myös rیمان jäljet, joita esiintyy pintalaudoissa pääsääntöisesti keväisin.

Ongelmien ratkaisemiseksi Vilkon Oy on panostanut kuivauksen kehittämiseen seuraavasti:

- Alkulämpötiloja on laskettu ja on siirrytty käyttämään uritettuja rimoja.
- Investointi ohjausautomaatiikkaan. Tällä pyritään kuivausolosuhteiden entistä tarkempaan hallintaan ja kuivauskaavojen optimointiin.
- Investointi kamareiden kunnostamiseen. Toimella pyritään parantamaan kuivauskamareissa vallitsevia olosuhteita.
- Särmäämättömän sahatavaran soivotus ennen kuivausta.

# HUONEKALUVALMISTAJAN VAATIMUKSET KOIVUN KUIVAUKSELLE

Tekniikan lisensiaatti Olavi Isomäki  
Lehtimetsänkatu 23, 15240 Lahti  
olavi.isomaki@pp1.inet.fi

## 1 JOHDANTO

Vuosisatamme alkupuolella huonekaluverstaissa kuivattiin puu yleensä versta-tilojen orsilla. Sitten tulivat alkeelliset kamarit, joissa kuivaus tapahtui aihioina. Koska kuivausvirheet aiheuttivat liikaa aihoiden hylkäämisiä, siirryttiin kuivaamaan puuta sahatavarana. Ensimmäiset kuumakuivaamot tulivat 1940-luvulla myös huonekalutehtaille. Aina 1980-lukuun saakka sekä Asko Oy että Isku Oy käyttivät yksinomaan kuumakuivausta. Vaalean puunvärin muotiin tullessa oli pakko siirtyä entistä alhaisempiin lämpötiloihin. Myös siirtyminen höyrykattiloista noin 120 °C:n vesikattiloihin aiheutti siirtymistä tavallisiin kuivauskamareihin.

Huonekaluvalmistuksen tärkeimmät vaatimukset koivun kuivaukselle liittyvät puun väriin, kosteusasteeseen, halkeamiin ja vääntymiin sekä kuivausajan pituuteen.

## 2 HUONEKALUKOIVUN VÄRI

Koivu on erittäin herkkä värinmuutoksille. Sen väri muuttuu kuivauksessa ruskeaksi tai punertavan ruskeaksi. Viime vuosina on suosittu puun luonnollista, vaaleata väriä: mitä vaaleampi puun väri on ollut, sitä parempi. Nyt ollaan jälleen siirtymässä tummempiin sävyihin. Iskulla on ollut käytössä erityinen, EV-luokiteltu koivu.

Koivun puuaineen värin muuttuminen alkaa, kun lämpötila nousee 40 °C:n yläpuolelle. Puun kosteus vaikuttaa värinmuutoksiin siten, että puun kosteuden ollessa puunsiyden kyllästymispisteen alapuolella värin muuttuminen vähenee. Myös ympäröivän ilman kosteus vaikuttaa värinmuutoksiin. Jos kuivaamossa on happea kuivausprosessin aikana, lisää sekin värin tummumista. Kun kuivausaikaa pidennetään, puuaineen värin tummuminen voimistuu. Koivurunkojen yksilöllisillä ominaisuuksilla (esimerkiksi uuteaineet, mineraalit) on oletettavasti vaikutusta värinmuutoksiin.

Useat tekijät vaikuttavat ristiin koivun puuaineen värin muuttumisessa. Kuivauskaavoilla on olennainen vaikutus, kun halutaan kontrolloida kuivattavan sahatavaran väriä. Happea on vähiten läsnä alipainekuivauksessa ja kuumakuivauksessa. Alipainekuivauksessa on lisäksi alhainen lämpötila ja lyhyt kuivausaika.

Paikalliset värivirheet kuivatussa koivusahatavarassa lisäävät raaka-ainehukkaa. Värivirhe voi esiintyä ruskeana renkaana noin 5 – 15 millimetriä pinnan alla. Tällaista esiintyy myös lautatarhakuivatussa koivussa, jos keväällä on sattunut

olemaan lyhyt lämmin jakso. Tämän värivirheen syy on ilmeisesti se, että puu on sulanut ja kuivahtanut pinnasta liikaa. Värivirhe voi olla myös pinnassa isoina tai pieninä läiskinä, joiden syvyys vaihtelee 5 ja 10 millimetrin välillä. Läiskät voivat aiheutua siitä, että puun pinnassa on kuivausta aloitettaessa ollut lunta tai jäätä, joka on sulanut ja hidastanut pinnan lämpenemistä. Syynä voi olla myös se, että sumutusvesi on tullut suurina pisaroina ja tiivistynyt kuivattavan puutavaran pintaan vedeksi.

Värivirheitä voivat aiheuttaa myös kuivauskuormassa olevat välirimat. Rimojen aiheuttamat väriläiskät lisäävät raaka-ainehukkaa. Erityisesti lämminilma- ja lauhdutinkuivaus ovat herkkiä välirimojen aiheuttamille väriläiskille, koska niissä joudutaan käyttämään pitkiä kuivausaikoja. Rimojen aiheuttamia värivirheitä voidaan vähentää käyttämällä hyvin kuivia ja höylämällä uritettuja tai metallista valmistettuja välirimoja.

### **3 RAAKA-AINEEN KOSTEUSVAATIMUKSET HUONEKALUJEN VALMISTUKSESSA**

Valmiiden tuotteiden kosteus käyttöolosuhteissa riippuu lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Jos huoneiden lämpötila on 22 °C ja ilman suhteellinen kosteus 80 %, kuten on kesäaikana, puun tasapainokosteus on 17 %. Talvella huoneilman suhteellinen kosteus on noin 30 %, jolloin puun tasapainokosteus on 6 %. Tehaassa on lämpötila talvella 20 °C ja ilman suhteellinen kosteus 20 %. Tällöin puun tasapainokosteus on 5 %.

Koivu kutistuu tangentin suunnassa noin 0,36 %, kun puun kosteusprosentti pienenee yhdellä. Tällöin tapahtuu muodonmuutoksia, liimauksiin syntyy jännityksiä ja monissa rakenteissa esiintyy esimerkiksi vääntymiä. Erityisesti tuoleissa, joissa liitokset ovat usein kriittinen tekijä, voi esiintyä liitosten irtoamista. Edellä esitettyjen seikkojen vuoksi koivun tavoitekosteuden on huonekaluteollisuudessa oltava 6 – 8 %. Alhainen kosteus vaikeuttaa osaltaan sähköistä kosteuden mittausta. Maissa, joissa ei ole kylmiä talvia eikä huoneissa lämmitystä, tavoitekosteus on 10 – 15 %. Tästä johtuu, että tuontituolien ja -pöytien liitokset usein irtoavat ensimmäisen talven jälkeen.

Kosteushajonnalla on samoja vaikutuksia kuin kuivumisen aiheuttamalla kutistumisella. Usein vaikutukset ovat pahempiakin, sillä suuret kosteushajonnat osuvat usein samaan huonekaluun tai osaan. Kosteushajonnan tavoitteen on oltava  $\pm 1$  % (European Drying Groupin (EDG) luokka E). Kappaleen sisäisen kosteushajonnan vaatimus  $\pm 2$  % (EDG:n luokka E) vaikuttaa käytännön kokemusten perusteella liian suurelta.

## 4 HALKEAMAT JA VÄÄNTYMÄT

Kuivauksen aikana syntyvät halkeamat ja vääntymät lisäävät muutenkin suurta puun hukkaa aihiovalmistuksessa. Lopputuotteessa ei saa olla halkeamia eikä vääntymiä ja vikojen korjaaminen kittaamalla on liian kallista.

Koivu ei ole herkkä halkeamille eikä kovin herkkä vääntymille. Halkeilun ja vääntyilyn riskiä lisää huonekaluvalmistuksen alhainen loppukosteus ja pyrkimys vaaleaan väriin. Kuivauskaavat vaikuttavat olennaisesti vikojen esiintymiseen: alipaine- ja kuumakuivauksessa vikaisuus on vähäistä.

Säteen ja tangentin suuntaisten kutistumien välisestä erosta johtuvaa laudan kovertumista esiintyy kaikilla kuivaustavoilla. Kuivaustapojen välillä voi olla kuitenkin eroja. Kovertumista voidaan aihiokuivauksessa vähentää, jos laudat on pilkottu 20 – 25 prosentin kosteudessa.

## 5 KUIVAUSAJAN LYHENTÄMINEN

Huonekaluvalmistuksen vaikeus lyhentää läpimenoaikoja johtuu pitkistä kuivausajoista. Puutavaran kuivaus vie tuoreesta tavarasta lähettäessä kamarikuivauksessa 2 – 6 viikkoa. Pyrittäessä pieneen hukkaan katkaisu vie helposti 1 – 2 viikkoa. Aikaa kuluu siis yhteensä 1 – 2 kuukautta, ennen kuin varsinainen huonekalun valmistus voidaan aloittaa. Pitkät kuivausajat lisäävät puutavaran läpimenoaikaa ja vaikeuttavat sovituisissa toimitusajoissa pysymistä.

Huonekaluteollisuudessa on siirrytty yleisesti alihankintaan. Alihankkijat valmistavat huonekaluvalmistajille aihioita, joista varsinaiset huonekalut valmistetaan. Alihankinnan käytön myötä pitkän kuivausajan ongelma on siirtynyt alihankkijoille. Suuret kuivan puutavaran varastot voivat lyhentää toimitusaikaa. Toisaalta kuivan, kosteudeltaan noin 6 %:n sahatavaran varastointi on kallista, sillä se vaatii kosteussäätöä varastotilaan. Kuivan sahatavaran kuljetukset ovat lisäksi riskitekiäjiä. Tekemällä aihiot ilmakeivasta tavarasta ja kuivaamalla sitten aihiot suurtaajuus-alipainemenetelmällä 2 – 5 tunnissa, voidaan näitä haittoja olennaisesti vähentää.

## 6 KIRJALLISUUTTA

Lohmann, U. 1991. Holzhandbuch. DRV – Verlag Weinbrenner. 312 s.





Etukannen kuvat:

Ylh. vas.

Ensiharvennettu nuori koivikko.

Kuva: Wood Focus Oy / Puuinfo

Ylh. oik.

Väljennyshakkuvaiheessa  
oleva varttunut koivikko.

Kuva: Wood Focus Oy / Puuinfo

Kesk. vas.

Koivun värinmuutos eri kuivaus-  
tavoilla, vasemmalla hidas kuivumi-  
nen huoneenlämmössä, keskellä  
keskinopea lämminilmakuivaus ja  
oikealla nopea lämminilmakuivaus

Kuva: Antti Asikainen

Kesk. oik.

Liimalevyn valmistukseen käytettävää  
koivusahatavaraa. Oy Carelian  
SER-Wood.

Kuva: Erkki Verkasalo

Alh. vas.

Koivun kuivausmenetelmät  
2000-vuosituhanalle –seminaarin  
osallistujia tutustumassa Kaivospuu  
Oy:n toimintaan Pyhäselän Hammas-  
lahdessa.

Kuva: Timo Kärki

Alh. oik.

Ikipuu Oy:n 40 m<sup>3</sup>:n lämpökäsit-  
telykamari.

Kuva: Tekma Kuivaamot Oy

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 810, 2001

ISBN 951-40-1783-8, ISSN 0358-4283