

Veikko Tarvainen, Jukka Pietilä & Matti Serenius

Puun öljykuivaus, öljykyllästys ja värjäys



Puun öljykuivaus, öljykyllästys ja värjäys

Veikko Tarvainen

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Jukka Pietilä & Matti Serenius

MTT Vakola



ISBN 951-38-5800-6
ISSN 1235-0605

ISBN 951-38-5801-4 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2001

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Rakennusmateriaalit ja -tuotteet sekä puuteknikka, Puumiehenkuja 2 A,
PL 1806, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7027

VTT Bygg och Transport, Byggnadsmaterial och -produkter, träteknik, Träkarlsgränden 2 A, PB 1806,
02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7027

VTT Building and Transport, Building Materials and Products, Wood Technology,
Puumiehenkuja 2 A, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7027

Toimitus Kerttu Tirronen

Otamedia Oy, Espoo 2001

Tarvainen, Veikko, Pietilä, Jukka & Serenius, Matti. Puun öljykuivaus, öljykyllästys ja värjäys [Drying of timber in hot oil]. Espoo 2001, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2083. 65 s. + liitt. 9 s.

Avainsanat wood, round timber, drying, hot oil, vegetable oil, coloring, moisture content, pigments, economic evaluation, dyeing, cracking

Tiivistelmä

Puu kuivuu tehokkaasti, kun se upotetaan lämpötilaltaan yli 100 °C:seen öljyyn. Menetelmä soveltuu parhaiten nopeasti kuivuville puulajeille. Projektissa tutkittiin männyn ja kuusen kuivausta ja värjäystä kuumassa kasviöljyssä. Materiaali oli pääosin pienläpimittaista sorvattua ensiharvennuspuuta. Lisäksi kuivattiin sahatavaraa ja käsiteltiin kuivaa puuta kuumaan öljyyn upottamalla. Tutkittuja öljyjä olivat pellava- ja rypsiöljyt sekä kolme erilaista mäntyöljyä. Värjäyskokeita tehtiin useilla kaupallisilla väriaineilla.

VTT:n kokeissa selvitettiin sopivat kuivausolosuhteet. MTT:ssä suunniteltiin ja rakennettiin 2 m pitkien puiden kuivaukseen soveltuva laitteisto, jolla tehtiin suurin osa kuivauksista. Käyttökelpoisimmaksi menettelyksi osoittautui tuoreelle sorvatulle ensiharvennuspuulle upottaminen suoraan noin 130 °C:n lämpöiseen öljyyn. Tässä lämpötilassa puun pintahalkeilu on vähäistä. Lisäksi pienet halkeamat sulkeutuvat, kun puun pinta kostuu kuivauksen jälkeen normaaliolosuhteissa. Sisähalkeilua esiintyy, mutta se on kohtuullisen vähäistä eikä haitallista, mikäli puu käytetään kokonaisena loppukohteessaan. Kuivattaessa puuta korkeammissa lämpötiloissa sisähalkeilun määrä lisääntyy.

Osa puista kuivattiin VTT:ssä alipaineessa. Menetelmän suurin etu oli puun värin pysyminen vaaleana. Mikäli vaalea väri ei ole välttämätön, on kuivaus normaalissa paineessa suositeltavaa laitteistojen yksinkertaisuuden ja edullisen hinnan vuoksi.

Ohuet, 100 mm paksut pyöreät puut kuivuivat 127 °C:n lämpöisessä öljyssä 4–7 %:iin 24 tunnissa. Paksummat, läpimitaltaan 150 mm puut saavuttivat saman kosteuden 48 tunnin kuivauksella. Nopeassa kuivauksessa puiden ominaisuuksien vaihtelu aiheuttaa suuria eroja kuivumisnopeuteen. Jos puut halutaan jättää kuivauksessa yli 10 % keskikosteuteen, jotkut ovat hyvin kuivia, kun taas joku puu voi olla kosteudeltaan 15–20 %. Mikäli vaihtelusta ei ole haittaa, kuten esim. piharakenteiden tolmissa, kuivausaikaa voidaan selvästi lyhentää.

Kuivaa puuta voidaan öljykäsittellä esimerkiksi 110 °C:n lämpötilassa pari tuntia. Tällöin puu ei vielä paljoa kuivu, mutta imee suojaavan öljykerroksen.

Öljyn imeytyminen puuhun vaihteli paljon etenkin puun ominaisuuksien mukaan. Myös eri öljyjen imeytymisominaisuuksissa on eroja. Öljy imeytyy pääosin pintapuuhun. Suurin osa öljystä on 10 mm paksulla vyöhykkeellä pinnasta lukien. Seuraavassa 10 mm:n vyöhykkeessä öljyä on vähän. Taloudellisuusarvioihin käytettiin kulutusta 30 kg/m³ laskettuna koko puumäärälle.

Lopputuotteen haluttu väri saadaan aikaan öljyn sopivalla pigmentoinnilla, lämpötilatasolla ja käsittelyn kestolla. Osa käytetyistä väriaineista ei imeytynyt puun sisään vaan värjäsi vain pinnan. Väriaineet, jotka tunkeutuvat puun sisään, takaavat värin pysymisen, vaikka pinta käytössä naarmuuntuu. Osa näistä väreistä aiheutti lopputuotteeseen kirjavuutta, koska puu imi väriä eri kohtiin eri tavalla. Sitä vastoin öljyyn sekoitettu, puuhun tunkeutumaton oksidipasta muodosti väriltään tasaisen pinnan. Lopputuloksena puu oli maalatun näköinen. Oleellista on, että väri sitoutuu pinnalle kuivuvaan öljyyn niin, että väri ei tahraa pintaa koskettaessa.

Kuivausprosessi muuttaa öljyn ominaisuuksia. Aivan tuoreella öljyllä kuivattujen puiden pinta kuivui huomattavasti nopeammin kuin jonkin aikaa käytössä olleella öljyllä käsiteltäessä. Öljyt hapettuvat ja niissä tapahtuu muita kemiallisia muutoksia lämmön ja ilman tai vesihöyryn vaikutuksesta. Lisäksi puusta irtoavat aineet, lähinnä pihka, saattavat osaltaan muuttaa öljyn ominaisuuksia.

Säärasituskokeessa öljykuivatuista puista tehdyt aidat menestyivät halkeilun suhteen hyvin. Kuivaushalkeamat eivät vuoden säärasituksessa laajentuneet. Vertailupuissa jo kuivauksen jälkeen olleet leveät halkeamat pysyivät leveinä.

Öljykuivattua puuta ei kannata käsittelyn jälkeen työstää, jotta suojaava pintakerros säilyisi. Öljykuivaus ei sovellu tuotteille, joilta vaaditaan hyvää mittatarkkuutta, koska kuivauskutistumista on vaikea tarkkaan ennakoida ja se vaihtelee varsin paljon.

Kuivauskustannukset muodostuvat työstä, lämmitysenergiasta ja puuhun imeytyvästä öljystä sekä laitteiston pääomakustannuksista. Laitteisto on toteutettavissa varsin pienin kustannuksin esim. maatilayrittäjien käyttöön. Keskimääräiseksi kuivauskustannukseksi arvioitiin 1 000–1 200 mk/m³ pientuotannossa (100 m³/a). Aiemmassa projektissa on arvioitu pyöreäksi sorvatun tolpan kokonaiskustannukseksi 1 300 mk/m³. Teollisessa mittakaavassa puita sorvattaessa on kuivaamattoman sorvatun tangon hinta noin 750 mk/m³. Kuivauskustannusten voidaan arvioida olevan 400–500 mk/m³. Tarkat kustannuslaskelmat on tehtävissä vasta tapauskohtaisesti.

Öllykuivaus on tehokas tapa tuottaa yhdessä prosessivaiheessa sorvatusta tolpastä osia tuotteisiin ja rakenteisiin, jotka eivät tule suoraan maakosketukseen. Myös kuivattujen ja valmiiksi työstettyjen puutuotteiden käsittelyllä kuumassa öljyssä saadaan ulkokäyttöön hyvin soveltuvaa materiaalia.

Tarvainen, Veikko, Pietilä, Jukka & Serenius, Matti. Puun öljykuivaus, öljykyllästys ja värjäys [Drying of timber in hot oil]. Espoo 2001, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2083. 65 p. + app. 9 p.

Keywords wood, round timber, drying, hot oil, vegetable oil, coloring, moisture content, pigments, economic evaluation, dyeing, cracking

Abstract

Wood dries fast in hot oil. The aim of this project was to study how to dry small diameter pine and spruce timber in vegetable oil and tall oil in order to achieve effective drying and a good drying quality. The effect of colouring wood with dyes or pigments mixed into the drying oil was also studied.

The most suitable drying method was immersing small round timber pieces in 130°C hot oil. Only small surface cracking occurs and the cracks disappear when the surface moisture content increases in ambient air after drying. Some inner cracks appeared but this is not a disadvantage if the wood is not machined after drying.

Round ($D = 100$ mm) timber was dried at 127°C for 24 hours to 4–7% moisture content (MC). The time taken was doubled when the diameter was 150 mm. Drying time can be reduced when the target MC is higher but the MC deviation also increases.

Immersing conventional dried timber in 110°C hot oil for a couple of hours gives a protective oil treatment without excessive drying of the product.

The absorption of oils in wood varied with variations in wood properties. However, oil characteristics also affect the oil absorption. Most of the oil is found in the first outer 10 mm layer under the surface. Average oil content in 100 mm thick poles was 30 kg/m³ of whole timber.

Adding pigments in the drying oil produces timber that looks as if it has been painted. Dyes penetrating deep into the wood affect a deep colouring. However, due to the varying permeability of wood, the colour of the surface and inner parts of the wood is not uniform.

The properties of drying oil change in the process. Oxidation and other chemical reactions will occur in oils when heated and exposed to air and water vapour. Furthermore, extractives in the wood modify the oil to some extent. Used oils dry faster and produce a more uniform surface than fresh oils.

Oil-dried timber should be used as whole. Milling exposes the untreated surface and diminishes weather resistance. A natural weathering test did not enlarge the small cracks on the surface. When no pigment was used the surface turned grey in exterior use.

Drying costs including labour, energy, oil and capital costs in a small-sized production cost 1 000–1 200 FIM/m³ (~600–700 Euro/m³). The costs of large-scale production are less than half of those of the small-scale production.

Drying in hot oil is an effective method of producing dried, oil-protected and coloured timber in one process for constructions and products that are not in contact with the ground. Also, treating conventional dried wood in hot oil produces timber for various exterior applications.

Alkusanat

Usean maan yhteisessä EU-projektissa "Pieniläpimittaisen pyöreän puun käyttö rakentamisessa" selvitettiin sorvatus puun käyttömahdollisuuksia erilaisissa rakenteissa. Projektissa tutkittiin mm. ensiharvennuspuun lujuusominaisuudet. Tutkimus osoitti, että pyöreä tasapaksuksi sorvattu puu on erinomainen materiaali pienimuotoiseen rakentamiseen sekä lujuusominaisuuksiltaan että ulkonäöltään.

Hankkeen jatkona päätettiin tutkia tarkemmin projektissa syntynyttä ideaa valmistaa yhdessä prosessivaiheessa sorvatusta puusta käyttövalmis tuoteaiho. Kuivaamalla puut kuumassa kasvisöljyssä, johon on lisätty väripigmentejä, saadaan kerralla valmis pintakäsitelty materiaali mm. piharakenteisiin ja ulkokalusteisiin. Tutkimuksessa käytettiin MTT Vakolassa (Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimus) kasvatetun rypsin ja pellavan siemenistä puristetuttuja öljyjä sekä erilaisia mäntyöljyjä, jotka olivat pääasiassa Ekopine Oy:n jalostamia.

Projekti toteutettiin Tekesin tavoitetutkimuksena, johon osallistui kaikkiaan seitsemän osapuolta VTT:n lisäksi: MTT Vakola, Lappset Group Oy, Ekopine Oy, Kaupin Puutarvaliike Ky, Puupalvelu V. Nykyri Ky, Museovirasto sekä Metsähallitus. Tutkimus toteutettiin VTT Rakennustekniikassa, MTT Vakolassa sekä Ekopine Oy:ssä.

Haluamme kiittää johtoryhmää aktiivisesta osallistumisesta projektiin. Samoin kiitämme muita projektin tekoon ja tämän raportin eri osien muokkaamiseen ja kommentointiin osallistuneita henkilöitä. Leila Vanhatalo kirjoitti osan kohdasta pigmentit, Paavo Kontinen teki pääosan alipainekokeista ja Antti Nurmi antoi arvokasta tietoa mm. eri öljyistä. MTT Vakolassa Lippo Sundberg toteutti pääosin puiden öljykuivaukset ja -käsitelyt.

Veikko Tarvainen

Jukka Pietilä

Matti Serenius

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	6
Alkusanat	8
1. Johdanto	11
2. Puun kuivaus ja käsittely kuumassa öljyssä	12
2.1 Öljykuivauksen periaate	12
2.2 Hager K -prosessi.....	13
2.3 Royal-prosessi.....	14
2.4 Kuivan puun käsittely kuumassa öljyssä	15
3. Puun käsittelyyn sopivat öljyt, värit ja suoja-aineet.....	17
3.1 Öljyt	17
3.2 Pigmentit.....	18
3.3 Suoja-aineet homehtumista ja lahoamista vastaan.....	19
3.4 Kuivikkeet.....	20
4. Tutkimuksen osaprojektit ja niiden tavoitteet	21
5. Tutkitut öljyt.....	23
6. Kuivauskokeet.....	24
6.1 Kokeet paineettomassa astiassa lyhyillä koekappaleilla.....	24
6.1.1 Koekuivaukset ja niiden tulokset	24
6.1.2 Kuivauskaavasuositukset avoimelle keitolle	31
6.2 Kokeet alipainesylinterissä	32
6.3 MTT Vakolan kokeet paineettomalla laitteella	34
6.3.1 Laitteiston rakenne ja toiminta.....	34
6.3.2 Puutavara.....	37
6.3.3 Kuivaus	37
6.3.4 Tulokset.....	38
6.3.4.1 Loppukosteus	38
6.3.4.2 Öljyjen vaikutus ja imeytyminen	39
6.3.4.3 Puun halkeilu	39
6.3.4.4 Puun kuivumisnopeus	39
6.3.4.5 Lautojen kuivaus	40
6.3.5 Arvio kuivauskustannuksista	40

6.3.6	Johtopäätökset MTT Vakolan laitteistolla tehdyistä kokeista	42
7.	Säärasituskokeet	44
7.1	Säärasituskokeet VTT:ssä.....	44
7.2	Säärasituskokeet MTT Vakolassa.....	45
7.3	Säärasituskokeet Liesjärvellä.....	46
8.	Värjäyskokeet.....	48
9.	Käsiteltyjen puiden ominaisuudet ja mahdolliset käyttökohteet.....	50
9.1	Öljyn kiinnittyminen ja tahraavuus.....	50
9.2	Ölgykuivatun puun käyttökohteita	51
10.	Näkemyksiä öljykuivaukseen soveltuvista laitteistoista	53
10.1	Käsittelyallas kansineen.....	53
10.2	Öljyn varastointisäiliöt.....	55
10.3	Öljyn siirtopumppu ja -putkistot.....	55
10.4	Valuma-allas ja öljyn talteenotto	56
10.5	Lämmitysjärjestelmä.....	56
10.6	Öljyn lämpötilan säätö	56
10.7	Puiden käsittelylaitteet.....	57
10.8	Öljyn puhdistusjärjestelmä	57
10.9	Öljyn kierrätyslaitteisto	57
10.10	Laitteistoehdotus	58
10.11	Työturvallisuus ja ympäristönsuojelu.....	58
10.12	Paloturvallisuuden huomioiminen	59
11.	Päätelmät ja suositukset	61
12.	Yhteenveto	62

LIITTEET

- A Säärasituskokeet VTT:ssä
- B Viittakokeet Liesjärvellä

1. Johdanto

Vuonna 1998 päättyneessä EU-projektissa FAIR-CT95-0091 "Pieniläpimittaisen pyöreän puun käyttö rakentamisessa" kehitettiin ensiharvennuksista saatavan puun käyttöä rakentamisessa. Lähtökohta on metsänhoidollisen hyödyn saavuttaminen ja maaseudun työllisyyden parantaminen lisäämällä harvennuspuun käyttöä rakentamisessa. Laatuvaatimukset täyttävää harvennuspuuta arvioidaan saatavan Suomessa 1,7 Mm³ vuosittain. Suomessa potentiaalinen markkina rakentamisessa on projektin tulosten mukaan 250 000 m³ vuodessa. Tutkimus osoitti, että pyöreä tasapaksuksi sorvattu puu on erinomainen materiaali pienimuotoiseen rakentamiseen sekä lujuusominaisuuksiltaan että ulkonäöltään. Käyttöä rajoittaviksi tekijöiksi ovat osoittautuneet pyöreän puun runsas halkeilu kuivauksessa, puunsuojausmenetelmien puutteet ja korkea hinta. Halkeilu rajaa käyttöä ulkonäöltään vaatimattomampiin kohteisiin kuten esimerkiksi aitatolppiin. Tämän tutkimuksen mukainen öljykäsittely on tarkoitettu korkealaatuisten puutuotteiden valmistukseen esimerkiksi piharakentamiseen.

Toisessa samoin v. 1998 päättyneessä EU-projektissa FAIR-CT95-0089 "Luonnonhartsit puunsuoja-aineena" tutkittiin luonnonhartsien toimivuutta puunsuoja-aineena. Projektin tulokset antavat hyvän tiedollisen lähtökohdan tämän tutkimuksen kyllästysmenetelmille.

Hankkeiden jatkona päätettiin tutkia tarkemmin ideaa valmistaa yhdessä prosessivaiheessa sorvatusta puusta käyttövalmis tuoteaihiot. Kuivaamalla puut kuumassa kasvisöljyssä, johon on lisätty väriaineita, saadaan kerralla valmis pintakäsitelty materiaali mm. piharakenteisiin ja ulkokalusteisiin. Tehdyt esikokeet antoivat lupaavia tuloksia. Lisäksi ne osoittivat, että haluttuun lopputulokseen pääsemiseksi on selvítettävä kokeellisesti monia seikkoja.

Tärkeimpiä kysymyksiä itse kuivausprosessin lisäksi on eri öljyjen soveltuvuus. Tuotteenhan tulee olla mahdollisimman säänkestävä, tahraamaton sekä värin kestoaltaan hyvä. Lisäksi pintakäsittelyn pitää säilyä tasaisena. Esikokeissa todettiin nimittäin, että puun soluonteloihin jäänyt vapaa kovettumaton öljy aiheutti ulkorasituksessa pinnan "kuplimista" auringon lämmön vaikutuksesta.

2. Puun kuivaus ja käsittely kuumassa öljyssä

2.1 Öljykuivauksen periaate

Puun kuivaus kuumassa öljyssä on kauan tunnettu menetelmä. Kollman (1952) toteaa sen soveltuvan etenkin nopeasti kuivuville puulajeille. Kuivattavan puun upottaminen kuumaan, yli 100 °C:n öljyyn on erittäin nopea tapa nostaa puun lämpötila esimerkiksi kuumakuivaukseen verrattuna. Pintakerroksen kuumeneminen johtaa myös sen nopeaan kuivumiseen. Mikäli puun permeabiliteetti on suuri, siirtyy puun sisältä tehokkaasti kosteutta pintaosiin, jolloin puuhun ei pääse syntymään suurta kosteusgradienttia aivan välitöntä pintaa lukuun ottamatta (Rosenkilde ja Arfvidsson 1997). Tällöin puu on kuivatavissa tehokkaasti ilman voimakkaita kuivumisjännityksiä. Tämän ehdon täyttää erittäin hyvin paljon pintapuuta sisältävä ensiharvennuspuu, sekä mänty että kuusi. Kun puu käytetään pyöreänä, öljy on kosketuksissa pelkästään pintapuun kanssa. Tätä voidaan pitää etuna verrattuna sahatavaraan, jossa kuivaushalkeilun kannalta kriittisessä kohdassa lappeella on usein jo sydänpuuta.

Tavalliseen lämminilma- ja kuumakuivaukseen verrattuna öljykuivaus poikkeaa siinä, että puuta ympäröivän tilan kosteutta ei voi yksiselitteisesti säätää. Puun pinnan kosteus määräytyy öljyn lämpötilan ja puun permeabiliteetin perusteella.

Kuumaan öljyyn upotetun puun lämpötila pysyy normaalissa ilmanpaineessa aluksi 100 °C:ssa, kunnes vapaa vesi on haihtunut. Sen jälkeen puun lämpötila kohoaa kosteuden aletessa kohti öljyn lämpötilaa.

Puu myös kutistuu kuivuessaan, minkä seurauksena pyöreän puun kehälle syntyy tangentin suuntainen vetojännitys. Se pyrkii halkaisemaan puuta. Vetojännitys aiheuttaa myös puun virumista. Sopivissa kuivausolosuhteissa puu ei halkea vaan pintaosa viruu riittävästi. Kuivumisen edetessä myös keskiosa kuivuu ja kutistuu. Ulkokehän ollessa viruneessa tilassa on suuri vaara, että keskiosaan syntyy kuivaushalkeamia, mikäli puun sisäosa ei pysty virumaan riittävästi. Näin on asianlaita etenkin silloin, kun puun keskiosa jätetään kuivauksessa kosteaksi, ja sen kuivuminen ja kutistuminen tapahtuu vasta puun jäähtyttyä. Siten sopiva kuivauskaava on tasapainoilua pinta- ja sisähalkeilujen välttämiseksi. Koska pieniläpimittainen pyöreä puu käytetään useimmiten sellaisenaan, ei lievistä sisähalkeilusta ole haittaa.

Öljykuivauksessa puusta pintaan tihkuva pihka liukenee öljyyn. Tästä on se etu, että pintaan ei jää samalla tavalla pihkan aiheuttamaa laikkuisuutta kuin tapahtuu perinteisessä kuivauksessa korkeissa lämpötiloissa (Sailer ym. 2000a ja 2000b). Öljyyn liennut pihka muuttaa jossain määrin myös öljyn ominaisuuksia. Pihkan sisältämät

aineosat saattavat parantaa luonnonöljyjen, kuten pellava- ja rypsiöljyn puuta suojaavia ominaisuuksia.

Öljykuivausta on käytetty kyllästysteollisuudessa puun esikuivaamiseen kyllästystä varten. Yhdysvalloissa on kyllästysteollisuudessa yleistynyt nk. Boulton-prosessi, jossa puu kuivataan öljyssä ja alipaineessa, jolloin vesi kiehuu jo matalissa lämpötiloissa (Esping 1996). Ruotsissa on kehitetty etenkin suolakyllästettyjen puiden kuivaukseen nk. Hager K -prosessi. Siinä puut kuivataan alipaineessa mineraaliöljyssä, joka poistetaan kuivauksen jälkeen puusta alipaineessa höyrystämällä (ks. kohta 2.1). Menetelmä on kehitetty nk. Royal-prosessista, joka on paineastiassa tehtävä öljykyllästys ja -värjäysmenetelmä (ks. kohta 2.2). Samaa kuivausmenetelmää käyttää tanskalainen IWT (Skovmand 2000). Laitteisto on nimeltään IWT Moldrup – Hotoil dryer.

2.2 Hager K -prosessi

Bror Hägerin alkuperäinen keksintö 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alussa oli kyllästys-kuivaus-värjäys-prosessi, joka nimettiin Royal-prosessiksi (ks. kohta 2.1). Siitä kehitettiin pelkkä kuivausprosessi, joka sai nimekseen Hager K -prosessi (Bystedt 1988). Menetelmä on kehitetty suolakyllästettyjen puiden jälkikuivaukseen. Seuraavassa on esitetty menetelmän ominaisuudet Bystedin (1988) mukaan.

Kuivausprosessi

Kuivattava puu upotetaan kokonaan öljyyn, jonka lämpötila pidetään 80 °C:ssa. Öljy on mineraalitärpättiä, jonka kiehumispistealue on 190–212 °C. Paine lasketaan 20 kPa:iin, jossa veden kiehumispiste on 60 °C. Puutavara on öljyssä nippuna ilman rimoitusta. Veden kiehumisen saa öljyn kiertämään hyvin tehokkaasti. Höyrystynyt vesi kondensoidaan. Mukana tulee myös öljyä, joka saadaan erotetuksi kondensointisäiliöstä veden pinnalta. Puuhun imeytynyt ylimääräinen öljy imetään pois alipaineella.

Kuivauksen jälkeen öljy pumpataan säiliöön. Sylinteriin imetään 95–99 %:n alipaine, jolloin puussa oleva öljy höyrystyy. Höyrystyslämpö saadaan puuhun varastoituneesta lämmöstä. Puuhun jää öljyä vain noin 0,5 kg/m³.

Kondenssisäiliössä öljy kohoaa veden pinnalle, josta se on helppo kerätä talteen uudelleen käytettäväksi.

Kuivausaika ja -kapasiteetti

Kuivauskokeissa on Bystedtin (1988) mukaan kuivattu 25 x 100 mm:n ja 50 x 100 mm:n sahatavaraa 12 tunnissa vientikuivaksi (18 %). Pintalautojen sydänpuuosuus oli 15 % ja sydäntavaran 60 %. Mikäli lautojen sydänpuuosuus on suuri, riittää 8 tunnin kuivausaika. Kosteuden hajonta oli samaa suuruusluokkaa kuin vientikuivauksessa kamarissa. Kuivaamon, johon mahtuu neljä kpl 4 m³:n sahatavarapakettia kerrallaan, kapasiteetti on 7 200 m³ / a kuivattaessa viitenä päivänä viikossa ja noin 10 000 m³ / a kuivattaessa joka päivä 45 vko/a.

Kuivausmenetelmän edut

1. Rimoitusta ei tarvita, mikä vähentää käsittelykustannuksia.
2. Energiankulutus on pieni hyvän lämpöeristyksen ja lämmöntalteenoton ansiosta (höyrystyslämpö lauhdutusveteen).
3. Lyhyt kuivausaika sekä siitä seuraavat pienet pääomakustannukset ja tuotannon joustavuus ja lyhyet toimitusajat.
4. Pienet kuivauksen kokonaiskustannukset.
5. Kuivaamon pieni koko mahdollistaa pientenkin erien kuivaamisen. Eli kuivaamoon ei tarvitse laittaa eri dimensioisia ja laatuksia puita samanaikaisesti.
6. Ympäristöystävällinen.

2.3 Royal-prosessi

Tri Stefan Breynen (1999) mukaan Royal-prosessi käsittää kaksi vaihetta:

1. Kyllästys vesiliukoisella suoja-aineella Lowry-menetelmällä (paineekyllästys ilman edeltävää alipainevaihetta).

Kyllästysaineen pääkomponenttina on kuparisuola. Verrattuna tavanomaiseen alipainepaineekyllästykseen tunkeutuu puuhun Lowry-menetelmässä vain noin puolet kyllästysliuosta. Siksi menetelmässä käytetään vastaavasti korkeampaa kyllästysainekonsentraatiota tarvittavan suoja-ainemäärän saavuttamiseksi. Jotta puun pinta saataisiin mahdollisimman kuivaksi, imetään ylimääräinen liuos pois alipaineella.

2. Öljykuivaus-kyllästys kuumennetulla Royal-öljyllä alipaineessa

Öljyn lämpötila on noin 80 °C. Alipaineessa vesi höyrystyy. Paksuudeltaan 28 mm:n sahatavara kuivuu 6 tunnissa reilusti alle puun syiden kyllästyskosteuden. Öljy tunkeutuu Breynen mukaan noin 3 mm:n syvyydelle.

Käsittely tehdään heti Lowry-kyllästyksen jälkeen. Siksi vesiliukoisen kyllästeen hyvä kiinnittyminen on tärkeää. Suoja-aineiden liukenemista öljyyn ei voida kuitenkaan täysin välttää, joten käytetyn öljyn tulee sietää kyseisiä aineita.

Käsittelyn jälkeen puut varastoidaan vuorokaudeksi katoksen alla, jolloin puu jäähtyy ja ylimääräinen öljy tippuu pois.

Royal-prosessi on käytössä tällä hetkellä yhdessä tanskalaisessa ja kahdessa norjalaisessa yrityksessä. Näillä laitoksilla käsitellään menetelmällä yhteensä 8 000–9 000 m³ mänty- ja kuusitavaraa vuosittain. Menetelmää edustaa ja kehittää nykyään Dr. Wolman GmbH Sinzheimissa Saksassa. Paul Scharf & Sohn GmbH u. Co. Bassumissa edustaa menetelmään tarvittavia laitteistoja.

Breynen (1999) mukaan öljy suojaa puuta kosteusvaihteluilta ja siten haitallisilta muodonmuutoksilta, ja suolakyllästys antaa suojan mikro-organismeja vastaan. Lisäksi öljy vähentää (99 %) suoja-aineen huuhtoutumista ympäristöön. Royal-käsittely vähentää myös veden imeytymistä. Viisiviikkoisessa vesiliotuksessa käsittelemättömien männyn pintapuukappaleiden paino lisääntyi 32 %. Royal-käsitellyillä painon lisäys oli vain 5 %.

Royal-prosessin vaiheet on aineiden puhtaanapysymisen kannalta syytä tehdä eri kyllästyslaitteistoilla. Öljynkulutus on Breynen mukaan noin 30 l/m³ ja öljykustannukset 4,5–6,5 mk/l.

2.4 Kuivan puun käsittely kuumassa öljyssä

Lyhytaikaisessa kuivan puun upotuksessa kuumaan kasvisöljyyn saavutetaan osittain samanlaiset vaikutukset kuin öljykuivauksessa. Puuhun imeytyvä öljy antaa kosteutta hylkivän pinnan ja öljyn aineosat suojaavat jossain määrin lahoamiselta. Parantunut lahonkesto perustuu kuitenkin pitkälti juuri veden hylkivyyteen ja puun pysymiseen käsittelemätöntä puuta kuivempana.

Sailer ym. (2000a ja 2000b) ovat verranneet kuumassa öljyssä (180–220 °C) tehdyn lämpökäsittelyn vaikutusta saman lämpöisessä ilmassa saatuun tulokseen. Öljykäsittely

paransi kestävyyttä *Coniophora puteana* -sientä vastaan. Öljykäsitellyn pinnan väri oli tasainen verrattuna pihkavuotojen aiheuttamaan laikukkuuteen kuumailmakäsittelyssä.

3. Puun käsittelyyn sopivat öljyt, värit ja suoja-aineet

Erilaisia öljyjä käytetään hyvin paljon sellaisenaan tai modifioituina tai pintakäsittelyaineiden osana puun suojaukseen ja pintakäsittelyyn. Puun pintaan imeytyvä öljy antaa vettä ja myös likaa hylkivän pinnan. Sen sijaan kuumen öljyn käyttö kuivauksessa on harvinaisempaa. Puun kuivaukseen on käytetty sekä mineraaliöljyjä että kasvisöljyjä sekä näiden modifioituja versioita.

3.1 Öljyt

Tunnetuin mineraalipohjainen puunsuojaöljy on kreosootti. Se on osoittautunut erittäin hyväksi mm. sähköpylväiden lahonkestävyyden kannalta. Myös mm. suolakyllästetyn puun kuivaukseen käytetyssä Hager K -menetelmässä käytetään mineraaliöljypohjaista kristalliöljyä (Bystedt 1988) eli mineraalitäpättiä. Royal-menetelmässä käytetään modifioitua pellavaöljyä (Breyne 1999). Erilaisilla ruokaöljyillä saadaan puiset keittiövälineet, mm. leikkuulaudat, vettä hylkiväksi ja helposti puhdistettaviksi.

Yleisimmät Suomessa saatavilla olevat öljyt ovat rypsi-, pellava- ja soijaöljyt, joista kahta ensimmäistä myös tuotetaan Suomessa. Lisäksi saatavilla on erilaisia mäntyöljytuotteita. Perusöljyjen ongelmana on niiden hidas kuivuminen. Etenkin rypsi- ja soijaöljy kuivuvat hyvin hitaasti, jos ollenkaan. Öljyjen kiinnittyminen tai kovettuminen puussa niin, etteivät ne tahraa, kestää ilman lisäaineita tai -kuivausta usein liian kauan. Syynä on kaksoissidosten suuri määrä. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan modifioimalla öljyjä esimerkiksi hapettamalla (puhaltamalla) ja lisäaineiden avulla. Happi ja erilaiset kuivikkeet reagoivat kaksoissidosten kanssa. Eräs modifioitu puunkyllästysöljy on Royal-öljy. Vernissa on keitettyä pellavaöljyä, johon on lisätty metallikuivikkeita. Pellavaöljy koostuu mm. tyydyttämättömistä rasvahapoista, kuten oleiini-, linoleeni-, linoleniini- ja steariinirasvahaposta, ja se kovettuu valon ja ilman hapen vaikutuksesta. Ongelmaksi jää puun sisällä oleva, varsin kauan kovettumattomana pysyvä öljy, joka kuplii pinnalle puuta lämmitettäessä. Ajan oloon pellavaöljy kuivuu ja kovettuu puussa hyvinkin kovaksi. Öljyt polymeroituvat vähitellen kuumennettaessa yli 80 °C:n lämpötilassa. Siten puiden jälkikäsittely lämmöllä nopeuttaa kuivumista. Toisaalta öljyn jatkuva kuumentaminen kuivausprosessissa aiheuttaa polymeroitumista ja parantaa lopputuotteenkin kuivumista.

Kasvipohjainen öljy on uusiutuva ja ympäristöystävällinen raaka-aine, edellyttäen, että siihen ei ole lisätty myrkyllisiä aineita, kuten esimerkiksi raskasmetalleja sisältäviä kuivikkeita. Toisin kuin mineraaliöljyjä ei kasvisöljyjä käsiteltäessä tarvitse yleensä varsinkaan pienimuotoisessa yritystoiminnassa tehdä kalliita maaperän suojarakenteita.

VTT:ssä on patentoitu menetelmä puun kyllästämisestä raakamäntyöljyllä tai mäntyöljyn ja maleiinihappoanhydridin seoksella. Puu kyllästetään näiden aineiden ja etanolin seoksella. Kovettumis- ja kiinnittymisreaktio tapahtuu 160–180 °C:n lämmössä uunissa (Paajanen ym. 1999). Menetelmässä öljy saadaan kovettumaan, mutta se ei kiinnity kemiallisesti puuhun. Menetelmällä saadaan tahraavuusongelmat ratkaistuksi. Maleiinihappoanhydridi on terveydelle vaarallinen. Teollisessa tuotannossa aineiden käsittely voidaan järjestää niin, että työturvallisuus on kunnossa. Sen sijaan pienimuotoisessa käytössä maaseutuyrityksessä terveysriskit ovat liian suuret.

Varsinaisen öljykuivauksen aikana ei mäntyöljy-maleiinihappoanhydridiseoksen kovettumisreaktiota tapahdu, jos lämpötilataso on vain 120–140 °C. Selvittämättä on kuitenkin, kuinka nopeasti seos vanhenee näissä lämpötiloissa. Öljykuivauksen jälkeinen kovettaminen yli 160 °C:n lämpötilassa lisää prosessin vaatimaa laitekantaa merkittävästi ja siten tuotteen kokonaiskustannuksia.

Öllyjen modifioinnilla on mahdollista tehdä hyvin paljon erilaisia tuotteita, joilla on tiettyyn kohteeseen halutut ominaisuudet. Luonnonöljyjä on jalostettu sekä maaliteollisuudelle sideaineeksi että sellaisenaan puun käsittelyyn käytettäväksi. Yleensä tuotteet käytetään matalissa lämpötiloissa (huone- ja ulkoilma). Yhtenä poikkeuksena on kreosoottiöljy, joka kuumennetaan ennen kyllästystä. Öljykuivaukseen soveltuvia aineita tulee kehittää sopiviksi kuivauskäsittelyyn sekä nopeaan jälkikuivumiseen ja kovettumiseen puussa.

3.2 Pigmentit

Kuivaus- ja kyllästysprosessiin sopiville väripasteille tai pigmenteille asetetaan useita vaatimuksia. Niiden tulee dispergoitua hyvin öljyyn. Syväväriäyksessä niiden tulee tunkeutua puuhun yhtä hyvin kuin käytetyt öljyt. Pigmenttien pitää olla lisäksi säänkestäviä. Värijätyllä öljyllä kuivatun puun värin tulisi säilyä useita vuosia haalistumatta. Esimerkiksi paperiteollisuudessa käytettävät öljyliukoiset värit saattavat soveltua hyvin puun väriäykseen tunkeutuvuutensa ansiosta, mutta useimmat haalistuvat auringonvalossa samoin kuin monet värijätyt paperit.

Pigmenttien tehtävänä on antaa haluttu väri, kiilto ja peittävyys. Pigmentit voidaan jakaa valkoisiin ja värillisiin pigmentteihin sekä metallijauheisiin ja -pölyihin. Värilliset pigmentit voivat olla joko epäorgaanisia tai orgaanisia. Pigmenttien ominaisuudet määräävät niiden käyttötarkoituksen öljyssä. Näitä ominaisuuksia ovat mm. partikkelikoko ja partikkelikoon jakauma, valonkesto, väri ja peittokyky. Keskimääräinen pigmenttien partikkelikoko vaihtelee 0,01 - 0,1 µm halkaisijaltaan.

Puun läpivärjäyksen perusedellytys on, että pigmenttien koko on niin pieni, että ne mahtuvat tunkeutumaan öljyn kanssa puun sisään. Royal-prosessissakin käytetään pigmenttejä, ja niiden tunkeutumissyvyys riittää useimpiin tarkoituksiin. Mikäli pigmenttien partikkelikoko on suurempi kuin puun huokosten koko, pigmentit jäävät puun pinnalle. Käytetyn öljyn ja pigmentin mukaan voi pigmenttien pysyvyys puun pinnalla muodostua ongelmaksi. Pigmentit saattavat irrota pinnasta ja aiheuttaa värjäytymistä.

Samoin kuin perinteisissä maaleissa täytyy pigmentoitua öljyä käytettäessä huolehtia riittävästä sekoittamisesta niin, että pigmentit eivät saostu käsittelyaltaan pohjalle. Tämä voidaan järjestää esimerkiksi pumppaamalla öljyä tai sekoittamalla sitä riittävän tehokkaalla sekoittajalla.

3.3 Suoja-aineet homehtumista ja lahoamista vastaan

Tässä projektissa tutkittavat öljyt eivät varsinaisesti suojaa puuta homehtumiselta tai lahoamiselta. Öljyt vähentävät puun kostumista ja voivat hidastaa home- ja lahottajasienten kasvua. Toisin sanoen öljyjen suojausvaikutus perustuu öljyjen veden hylkivyyteen. Puurakenteet tulee homehtumiselle ja lahoamiselle alttiissa olosuhteissa suojata fungisidilla, joka lisätään joko kuivausöljyyn, tai puu käsitellään suoja-aineella erikseen ennen tai jälkeen kuivauksen. Ensin mainittu vaihtoehto olisi prosessin kannalta huomattavasti parempi. Öljyyn sekoittaminen asettaa puunsuoja-aineelle kuitenkin kovia vaatimuksia: aine ei saa kuumennettaessa höyrystyä eikä aiheuttaa terveyshaittoja, ja sen tulisi tunkeutua samalla tavoin kuin käytetyn öljyn.

Lisäksi fungisidien katsotaan muodostavan EU:n biosididirektiivin 98/8/EY (Biocidal Products Directive 98/8/EC) mukaan öljyyn sekoitettuna uuden tuotteen, joka tulee erikseen hyväksyttäväksi puunsuoja-aineeksi raskaalla menettelyllä. Siten käytännössä realistinen ja toteutettavissa oleva vaihtoehto on suojaus ennen tai jälkeen öljykäsittelyyn. Tehokas ja tunnettu tapa (Royal-prosessi) on painekyllästä puu ja kuivata se sitten öljyllä. Tämä tapa soveltuu teolliseen tuotantoon, mutta ei esim. maaseutuyrittäjälle. Siten mahdollisesti tarvittava lisäsuojaus hometta ja lahoa vastaan tulee ainakin pienissä yrityksissä tehdä öljykuivauksen jälkeen. Suojakäsittely voidaan tehdä sivelemällä, upottamalla tai ruiskuttamalla. Suojakäsittelyaine voi olla joko pelkkä fungisidiliuos tai varsinainen pintakäsittelyaine: maali, lakka tai kuullote (joko kalvon muodostava tai muodostamaton).

3.4 Kuivikkeet

Hapettumalla kuivuvien öljyjen kuivumista voidaan nopeuttaa kuivikkeiden eli sikkatiivien avulla. Ne toimivat katalyyttisinä hapen kuljettajina ja lyhentävät kuivumistahtumaa. Kuivikkeet ovat linoleeni-, abietiini-, nafteeni- tai oktaanihapon metallisuoloja. Metalleina käytetään kobolttia, lyijyä, mangaania, zirkoniumia, kalsiumia ja sinkkiä. Kuivikkeita lisätään öljyyn 0,1–1 %. Kuivikkeet voivat sisältää raskasmetalleja, joilla saattaa olla haitallisia ympäristövaikutuksia, vaikka käytetyt määrät ovat vähäisiä.

Ongelmana kuivikkeiden käytössä öljyyn sekoitettuna on öljyn "vanheneminen" käsittelyaltaassa liian nopeasti. Lisäksi sikkatiiveja tarvitaan huomattavan paljon, jotta ne olisivat riittävän tehokkaita.

4. Tutkimuksen osaprojektit ja niiden tavoitteet

Projekti jaoteltiin seuraaviin osakokonaisuuksiin.

1. Laboratoriokokeet VTT:ssä

VTT Rakennustekniikassa tehtiin lyhyillä koepuilla kuivauskokeita avoimessa astiassa ja kyllästyssylinterissä kuivausprosessin selvittämiseksi sekä eri öljyjen vertailemiseksi (pellavaöljy, rypsiöljy, mäntyöljypohjaiset hartsit). Tutkimus keskittyi pyöreään puuhun. Sahatavaran kyllästystä ja värjäystä tutkittiin pyöreällä puulla sopiviksi osoittautuneilla aineilla.

A. Kuivaukset paineettomassa altaassa lyhyillä koekappaleilla

Kokeissa käytettiin kuumennettavaa allasta, jonka pituus on 60 cm, leveys 40 cm ja korkeus 40 cm. Siinä tutkittiin öljykuivaukseen ja värjäykseen soveltuvat kuivauskaavat ja -ajat. Tavoitteena oli hyvän kuivauslaadun lisäksi mahdollisimman pieni öljynkulutus ja perustietämys isommalla MTT Vakolan koelaitteistolla tehtäviin kokeisiin.

B. Kuivaukset alipaineessa

Käytettyyn painesylinteriin mahtui 80 cm pitkiä puita. Sylinterin halkaisija oli 40 cm. Kokeissa tutkittiin öljyn tunkeutuvuus puuhun, kyllästysmäärät ja kuivauskaavat sekä kuivausajat alipaineessa. Tavoitteena oli toisaalta täysi öljyn tunkeuma ja toisaalta mahdollisimman pieni öljynkulutus. Lisäksi oleellisina tavoitteina olivat mahdollisimman hyvä kuivauslaatu ja sopivat kuivauskaavat teollisuusmittakaavaiselle laitokselle. Kylästyslaitteistoa täydennettiin öljyn esilämmitys- ja varastosäiliöllä.

2. Öljykuivauksen simulointi

Kuumassa öljyssä tapahtuvaa kuivausta mallinnettiin kuumakuivauksen simulointiin tarkoitettulla laskentaohjelmistolla. Mallia muokattiin pyöreän puun laskentaan soveltuvaksi. Kosteudensiirtoparametreja täsmennettiin öljykuivaukseen sopiviksi. Tavoitteena oli tutkia mallin avulla eri kuivaustekijöiden vaikutusta puun kuivumiseen ja käyttää ohjelmaa uusien kuivauskaavojen laskentaan. Projektin aikana mallia ei kuitenkaan saatu niin valmiiksi, että tavoitellut laskelmat olisi voitu tehdä. Mallin kehitystyö jatkuu toisen projektin puitteissa.

3. Kokeet pellava-, rypsi- ja mäntyöljyillä MTT Vakolassa

MTT Vakolassa rakennetulla koelaitteistolla voidaan käsitellä kerrallaan 5–7 kpl pyöreää puuta ($D = 15$ cm, pituus = 2 m). Kokeissa käytettiin MTT:ssä kasvatetusta rypsiä ja pellavasta puristettuja öljyjä sekä Ekopine Oy:n jalostamia mäntyöljyjä. Laitteistolla kuivattiin puita luvussa 1 sopivaksi osoittautuneilla tavoilla. Käsittelyn jälkeen tutkittiin kuivauksen laatu sekä öljyn tunkeutuma ja menekki. Metsähallitukselle kuivattiin ja käsiteltiin laudasta tehtyjä viittoja. Museovirastolle kuivattiin mm. Seurasaaren ulkomuseon vesikatossa käytettäviä pyöreitä painopuita. Eri tavoin käsitellyistä puista kerättiin koeaineisto säärasituskokeisiin.

4. Kokeet mäntyöljyhartsella Ekopine Oy:ssä

Ekopine Oy:ssä kuivattiin ja suojattiin pyöreitä puita mäntyöljypohjaisilla tuotteilla. Käsittelyt tehtiin kuumennettavassa altaassa mm VTT:llä kehitetyillä kaavoilla. Puutavarasta määritettiin öljyn tunkeutuvuus ja menekki sekä kuivauksen laatu. Ekopine toimitti Tuusulan asuntomessujen Villa 2000 -taloon kuistin lattiaan mäntyöljyllä käsiteltyä puuta.

5. Säärasituskokeet

MTT:ssä pyöreänä ja halkaistuna kuivattuja koepuita pantiin sekä VTT:ssä että MTT:ssä säärasituskokeisiin. Väriin ja halkeilun sekä pinnan tahraavuuden kehitystä seurattiin projektin kuluessa.

Säänkestoa testataan myös metsähallituksen kohteissa. Liesjärven kansallispuistossa on eri tavoin käsiteltyjä laudasta tehtyjä opasviittoja. Vertailuaineistona on käsittelemätöntä puuta sekä lämpökäsiteltyä puuta öljykäsiteltynä ja ilman lisäkäsittelyä. Lisäksi Liesjärvellä on pystytetty maahan öljykäsiteltyjä tolppia.

6. Kaupallisen prosessin kehitys

Tutkimustulosten perusteella laadittiin suosituksia eri käyttökohteisiin tulevan puun öljykuivauksesta, -kylästyksestä ja värjäyksestä.

Tuloksena saatiin myös erikokoisten laitteistojen käsittelykapasiteetit ja -kustannukset sekä öljyjen menekit. Erityyppisten käsittelyjen kokonaiskustannukset kuutiometriltä laskettiin.

5. Tutkitut öljyt

Tutkimuksessa käytettiin rypsiöljyä, pellavaöljyä sekä mäntyöljyjä. Rypsi ja pellava on viljelty MTT:ssä. Öljy kylmäpuristettiin. Mäntyöljyt on jalostanut Ekopine Oy, joka toimitti projektin käyttöön neljää eri mäntyöljyyn perustuvaa öljyä. Niiden tuotetunnukset ovat: PS510, PS526, PS042 ja PS542. Projektin aikana Ekopine Oy jatkoi intensiivistä tuotekehitystä. Yhdeksi referenssikohteeksi tuli Tuusulan asuntomessujen Villa 2000 -talo. Sen terassilaudat on käsitelty pigmentoidulla öljyllä (PS 593), jossa epäorgaaninen pigmentti on liitetty öljymolekyyliin. Talon ulkoseinän rimoitus on käsitelty 20 minuuttia 110 °C:isessä öljyssä (PS 542), johon on sekoitettu runsaasti keltaista maavärijauhetta. Pigmenttiä oli niin runsaasti, että kaikki ei sekoittunut öljyyn, vaan sitä oli myös saostuneena altaan pohjalla. Sieltä sitä nousi öljyyn sopivassa määrin. Keiton jälkeen seurasi pinnan harjaus. Mahdollista tahraavuutta olisi voitu vähentää vielä jälkisivelyllä kirkkaalla kuivuvalla öljyllä. Sitä ei tässä kohteessa kuitenkaan tehty.

Varsinaisten öljyillä tehtyjen kuivaus- ja käsittelykokeiden lisäksi kokeiltiin kuivausta Royal-öljyssä ja Arizona Chemicalsin mäntyöljyjakeessa (DTO).

Kylmäpuristetut pellava- ja rypsiöljyt sisältävät vaihtelevasti epäpuhtauksia ja ovat verrattain herkkiä homehtumaan. Ne eivät itsessään sisällä fungisidejä, vaan niiden lahonkestävyyttä parantava vaikutus perustuu veden hylkimiseen ja puun pysymiseen käsittelemättömiä kappaleita kuivempana. Jatkuvasti kosteissa oloissa pidettävät puut tarvitsevat lisäaineita suojakseen.

Modifioitujen mäntyöljyjen sekä pellava- ja rypsiöljyn homehtumistaipumuksesta ei ole tarkkaa tietoa, joten asia tutkittiin kenttäkokein.

6. Kuivauskokeet

Kuivauskokeet jaettiin kolmeen ryhmään. Avoimessa astiassa lyhyillä koepuilla (55 cm ja 80 cm) tehdyt kokeet, alipainekuivauskokeet (puiden pituus 80 cm) sekä isolla avoimella laitteella tehdyt kokeet (puiden pituus 2 m). Kaksi ensiksi mainittua koesarjaa tehtiin VTT Rakennustekniikassa ja kolmas MTT Vakolassa Vihdissä. MTT:n laitteisto on tässä projektissa suunniteltu ja rakennettu.

Tavoitteena oli tuottaa pienellä avoimella altaalla tehdyillä kokeilla peruskaavat MTT:n laitteistoa varten.

Väriainekäsittelyt ja kokeet Royal-öljyllä ja Arizona Chemicalsin öljyllä tehtiin 3 ja 9 litran maaliastioissa. Öljyn lämmityksen säätöön rakennettiin PID-pohjainen ohjausyksikkö.

6.1 Kokeet paineettomassa astiassa lyhyillä koekappaleilla

Kokeisiin käytettiin aluksi avointa haudonta-allasta, jonka lämpötilaa voitiin säätää termostaatin avulla. Kerrallaan altaaseen mahtui 3 kpl halkaisijaltaan 100 mm olevaa ja 55 cm pitkää puuta. Projektin loppupuolella "avoimen astian" kokeet tehtiin alipainekuivaukseen käytetyssä kyllästysylinterissä, johon oli yhdistetty uusi öljyn esilämmityssäiliö.

Kokeiden ensisijaisena tavoitteena oli löytää MTT Vakolassa tehtäviin kokeisiin sopiva kuivauskaava eli öljyn lämpötila ajan funktiona.

6.1.1 Koekuivaukset ja niiden tulokset

Kuivauksissa kokeiltiin seuraavanlaisia perusratkaisuja puun lämmitys- ja kuivausvaiheille.

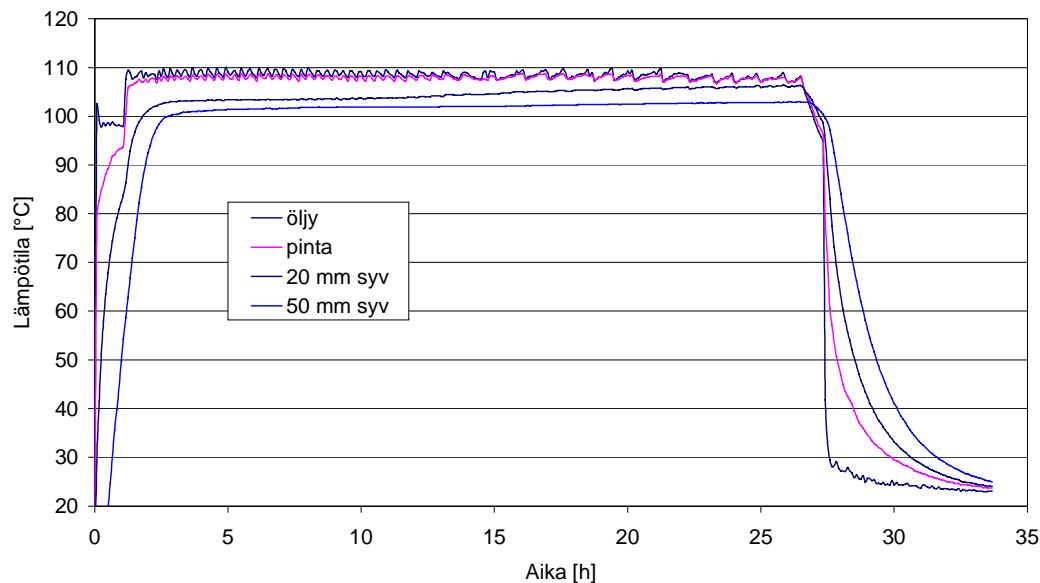
1. Öljyn ja puun lämmittäminen hitaasti kuivauslämpötilaan (yli 100 °C).
2. Öljyn ja puu lämmittäminen nopeasti kuivauslämpötilaan (yli 100 °C).
3. Puun laittaminen suoraan kuivauslämpötilassa olevaan öljyyn.
4. Kuivaus alle veden kiehumispisteen lämpötilassa.
5. Kuivaus aluksi alle 100 °C:ssa ja lämpötilan kohotus vähitellen maksimiarvoonsa.

Seuraavassa on esitetty eri tavoin toteutettujen tyypillisimpien koekuivausten tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset. Taulukossa 1 on kokeiden tunnuslukuja.

Taulukko 1. Joidenkin pienellä avoimella astialla tehtyjen kokeiden kuivausolosuhteet, alku- ja loppukosteudet sekä halkeilu (ks. teksti).

Koe nro	Puu	Vaihe nro	Lämpötila °C	Kesto h	Alkukost. %	Loppukost. %	Halkeilu
4	mä jäinen	1	99	1	93	16,6	runsasta
		2	108	26			
5	ku	1	82	1	40	16,5	1-3 isoa
		2	95	5			
		3	108	25			
6	ku jäinen	1	38	6		40 - 66	ei halkeilua (märkä)
		2	55	16			
		3	55 - 85	7			
		4	85	65			
7	ku	1	65	18	33	13,6	kaikki halki
		2	65 - 104	6			
		3	103	20			
		4	107	45			
8	ku 10 °C	1	84	22	60	12,1	kaikki halki
		2	102	24			
			104	91			
10	mä jäinen	1	135	1	44 ja 92	3,7	pintahalkeamat kiinni sisähalkeilua
		2	110	16			
		3	135	24			

Kuvassa 1 on esitetty kokeen 4 öljyn lämpötilan ja puun lämpötilan kehitys puun pinnalla, 20 mm:n syvyydessä sekä puun keskellä. Puut pantiin kylminä suoraan 100 °C:n öljyyn. Tunnin alkulämmityksen jälkeen lämpötila nostettiin 108 °C:seen, jossa se pidettiin 26 h. Tätä seurasi jäädytys alle 100 °C:seen ja nostaminen kuivumaan. Alkukosteudeltaan 136 % ollut puu kuivui 27 tunnissa 16,5 %:iin. Halkeilu oli runsasta.

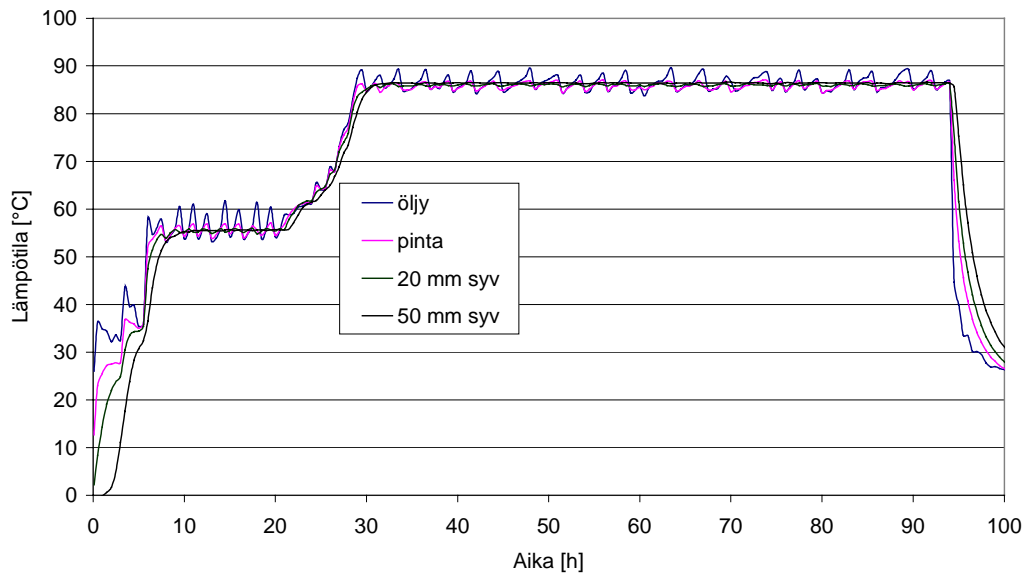


Kuva 1. Mäntypölliin ($d = 100 \text{ mm}$, $l = 55 \text{ cm}$) kuivausolosuhteet ja puun lämpötilan kehitys kokeessa 4.

Kokeessa 5 kuivattiin kuusipöllejä, jotka olivat saman kokoisia kuin kokeessa 4. Puiden alkukosteus oli vain 40 % eli puu oli pääosin sydänpuuta. Kuivauskaava oli sama kuin kuvassa 1 lukuun ottamatta 6 h kestänyttä lämmitystä alle 100 °C:ssa. Puut olivat kuivauksen jälkeen täysin haljenneita siten, että niissä oli 1–3 isohkoa halkeamaa kussakin.

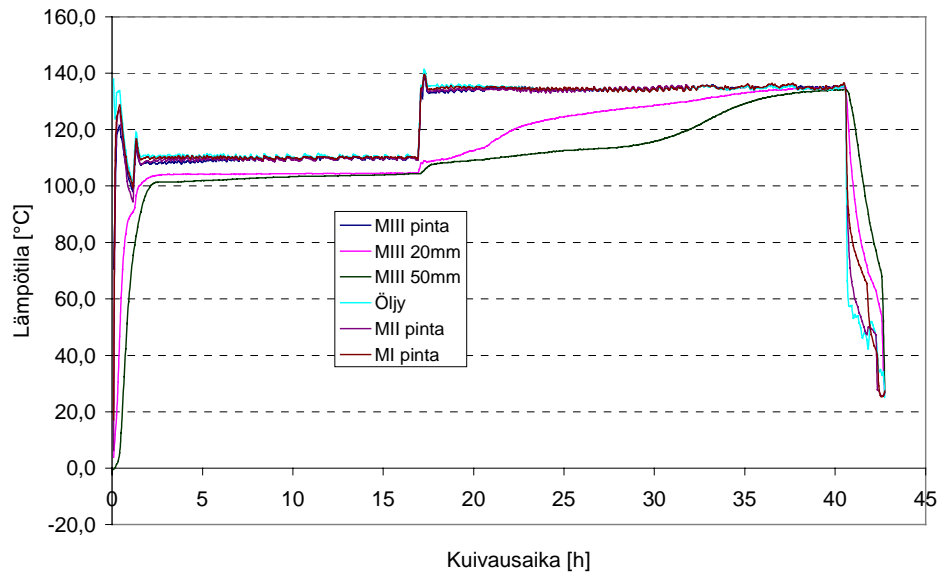
Kokeessa 7 pidettiin puita ensin n. 24 h lämpötilaltaan 60–100 °C olevassa öljyssä. Seuraavaksi lämpötila nostettiin 103 °C:seen, jossa sitä pidettiin 20 h. Tämän vaiheen jälkeen kaikki puut olivat jo halki. Loppuosa kuivauksesta lämpötila pidettiin 107 °C:ssa. Kokonaisaika oli 71 h. Puu kuivui 33 %:sta 13,6 %:iin. Puiden voimakas halkeilu osoitti tässäkin kokeessa, että varovaisellakaan kuivauksella ei halkeilua voi välttää. Kokeessa 8 päädyttiin samaan tulokseen. Siinä korkein lämpötila oli 104 °C ja kokonaisaika 137 h.

Kokeessa 6 kuivattiin 3 kuusipölliä 85 °C:ssa 65 h kuvan 2 mukaisella kaavalla. Käytännössä puut eivät kuivuneet ollenkaan. Loppukosteudet olivat 40–66 %. Suuren loppukosteuden takia ei puissa ollut halkeilua. Koe todisti, että öljyn hydrostaattisen paineen takia kuivaus alle veden kiehumispisteen lämpötilan on erittäin hidasta.



Kuva 2. Kuusipölliin ($d = 100 \text{ mm}$, $l = 55 \text{ cm}$) kuivausolosuhteet ja puun lämpötilan kehitys kokeessa 6.

Kokeessa 10 mäntypölliä pantiin aluksi jäisinä suoraan 135 °C :n öljyyn. Tämän "alkusokin" jälkeen lämpötila laskettiin 110 °C :seen, josta se nostettiin kuvan 3 mukaisesti 135 °C :seen.



Kuva 3. Mäntypölliin ($d = 100 \text{ mm}$, $l = 55 \text{ cm}$) kuivausolosuhteet ja puun lämpötilan kehitys kokeessa 10.

Puiden mitatut alkukosteudet olivat 44 ja 92 %. Loppukosteus oli noin 4 %. Puun pinnalle syntyneet halkeamat olivat menneet kiinni ja sisähalkeamat ovat selvästi nähtävissä, ks. kuva 4.



Kuva 4. Kuvan 3 mukaisella kaavalla kuivattuja mäntypöllejä.

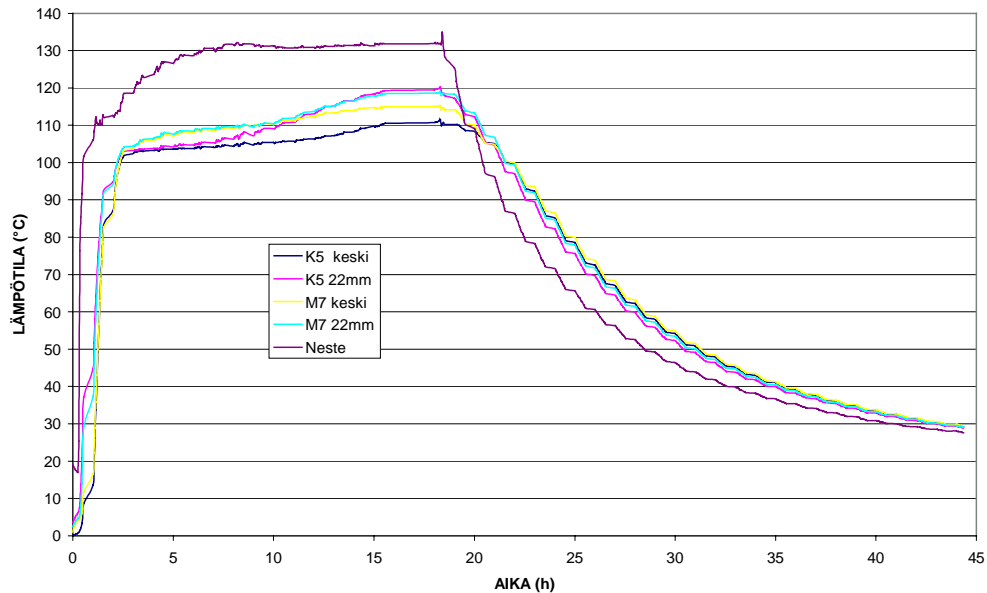
Kokeet osoittivat, että puun kuivuminen on erittäin hidasta lämpötilan ollessa alle 100 °C. Tämä johtuu öljyn hydraulisesta paineesta, joka estää vesihöyryn kulkeutumisen pois puun pinnalta. Siten vaiheen, jossa öljyn lämpötila on alle 100 °C, tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Mikäli puun ei haluta kuivuvan ennen kuin se on läpeensä lämmennyt, se voidaan panna aluksi noin 100 °C:n lämpöiseen öljyyn ja nostaa lämpötilaa vasta puun lämmentyä.

Pyöreän puun kuumakuivauksessa hyväksi havaittu tapa kuivata puuta aluksi nopeasti mikrohalkeilun aikaansaamiseksi voidaan toteuttaa panemalla puu suoraan reilusti yli 100 °C:n lämpötilaan (esim. 135 °C). Mikäli puun ulkokerrosta halutaan viruttaa näkyvän halkeilun minimoimiseksi lopputuotteessa, lämpötilaa voidaan välillä laskea joksikin aikaa lähelle 100 °C:tta (esim. 105 °C:seen). Tämän jälkeen nostetaan lämpötilaa ja puu kuivataan loppukosteuteen.

Pyrittäessä halkeilemattomaan puuhun on teoriassa mahdollista kuivata niin varovasti, että puu vähän kerrassaan viruu riittävästi kuivumisjännitysten vaikutuksesta eikä halkea. Tämä on kuumakuivauksokokeissa osoittautunut mahdolliseksi, mutta aina vain osa puista onnistutaan kuivaamaan ilman halkeilua. Loput halkeavat sitäkin enemmän eli niihin syntyy 1–3 leveää halkeamaa. Siten on parempi tehdä puuhun hallitusti mikrohalkeamia ja hyväksyä lievä sisähalkeilu kuin tyytyä pieneen onnistuneiden puiden saantoon.

Uuden alipaine kuivausjärjestelmään liitetyn öljyn esilämmitys säiliön valmistuttua tehtiin laitteistolla sekä "avoimen" astian kokeita että käsittelyjä alipaineessa. Öljynä oli Ekopine Oy:n PS 542 mäntyöljy.

Edellisten kokeiden perusteella sopivaksi havaittu lämpötilataso 130 °C osoittautui edelleen hyväksi puun halkeilun kannalta. Mahdolliset pienet pinnan halkeilut ovat sulkeutuneet ja sisähalkeilun määräkin on kohtuullinen. Lämpötilan nosto 150 °C:seen aiheutti näkyvämpää, joskin vähäistä pinnan halkeilua ja myös sisähalkeilua. Esimerkki kuivausolosuhteista ja puun lämpötilan kehityksestä on kuvassa 5.



Kuva 5. Öljyn ja puun lämpötilan kehitys kuivauksessa kyllästysylinterissä normaali-paineessa.

Kuivan puun käsittelyyn soveltuu hyvin 110 °C. Puuhun imeytyy öljyä ja väriä 1–2 tunnin käsittelyllä, mutta puu ei kuitenkaan oleellisesti kuivu.

Puun väri riippui kuivusasteesta. Puusepäнкуivatut puut olivat tummimpia, "vientikuivatut" vähän vaaleampia 130 °C:ssa. Korkeampi lämpötila (150 °C) lisäsi tummuutta. Sen sijaan alle 100 °C:ssa alipaineessa "kuivatut" puut olivat selvästi vaaleampia, joskin niistä suurin osa jäi märäksi.

Puun pinta oli tummunut selvästi enemmän kuin hionnan jälkeen paljastunut puu. Hyvin kevyt hionta aiheuttaa laikkuja. Tasaisemman värin saavuttaminen edellyttää voimakasta hiontaa. Menettelyssä poistettaisiin eniten öljyä sisältävä ja siten puuta parhaiten suojaava kerros.

Pinta on kuivauksen jälkeen niin kuiva, että siinä ei ole "vapaata" öljyä. (vrt. tuore PS526, joka jätti siirappimaisen pinnan). Pinta likaa kuitenkin vaalean kankaan tai paperin sillä pyyhittäessä. Kevyen hionnan jälkeen pinta tahraa edelleen, mutta vähemmän. Heti kuivauksen jälkeen pintaan tarttuvat pöly ja muu lika helposti. Pintaa puhdistava ja kiillottava harjaus vähentäne ongelmia. Varastoinnissa pinta kuivahtaa edelleen ja tahraavuus vähenee. Ekopine suosittelee pinnan käsittelyä harjauksen jälkeen vielä kuivuvalla öljyllä.

Loppukosteus riippuu vakiolämpötilassa lähinnä kuivausajasta ja puun ominaisuuksista. Taulukossa 2 on yhteenveto öljyn esilämmityssäiliöllä täydennetyssä alipaine-laitteistossa tehtyjen kokeiden tuloksista. Laitteistossa oli normaali ilmanpaine.

*Taulukko 2. Kuivausajan ja lämpötilan vaikutus männyn ja kuusen loppukosteuteen. Mäntyöljy PS 542. * = maksimilämpötilan kesto aika. Kokeet on tehty normaalissa ilmanpaineessa. Öljypitoisuus on määritetty 10 mm paksusta puun uloimmasta vyöhykkeestä ja saatu luku on kerrottu luvulla 0,36 (pintavyöhykkeen osuus koko poikkileikkauksesta). Todellinen öljyn kulutus on jonkin verran ko. lukua suurempi.*

Tmax °C	Aika h	Mänty		Kuusi		Halkaisija / dimensio mm / mm x mm
		kost. %	öljyä kg/m ³	kost. %	öljyä kg/m ³	
132	19 (12*)	8,1	22	7,7	10	100
135	17	7,5	34	8,0	6	100
147	6	16,3	15	15,5	11	100
120	26	15,2				100 x 180

Avoimessa keitossa näyttää öljyn imeytymismäärä varsin kohtuulliselta. Se on niin suuri, että se suojaa puun pintaosia kosteudelta, mutta kuitenkin niin pieni, että sen vaikutus lopputuotteen hintaan ei ole liian suuri. Imeytymismäärät vaihtelevat melkoisesti puun sydänpuuosuuden ja muiden ominaisuuksien vaihtelujen mukaan.

Halkeilun vähentämiseksi on hyvä kuivata puut alle niiden tulevan käyttökoosteuksen. Tällöin mahdolliset halkeamat menevät puun pinnan kostuessa korkeintaan tiukemmin kiinni. Toisaalta sisähalkkeilua ei synny lisää, kun keskiosa ei oleellisesti kuivu käyttökohteessa.

Tutkitulle 100 mm paksulle sorvipuulle soveltuu vajaan 12 tunnin kuivauskäsittely 130–135 °C:n lämpötilassa. Näin vuorokaudessa voitaisiin kuivata kaksi erää kyseistä materiaalia.

6.1.2 Kuivauskaavasuositukset avoimelle keitolle

Tehtyjen kokeiden perusteella päädyttiin suosittamaan isommalla laitteella Vakolassa tehtäviin kokeisiin seuraavaa kuivausmenettelyä. Öljy pidetään vakiolämpötilassa (130–135 °C). Kuivattavat puut upotetaan siihen ja annetaan kuivua, kunnes haluttu loppukosteus on saavutettu. Ohuilla puilla (D~100 mm) riittää vuorokauden kuivausaika ja paksuilla (D~150 mm) kuivausaika on noin 2 vuorokautta. Kuivausajan optimipituus

selviää MTT Vakolan laitteella tehtävillä kokeilla. Lisäksi koetulosten avulla optimoidulla simuloinnilla on mahdollisuus laskea sopiva kuivausaika, kun puun alkukosteus, tiheys ja halkaisija sekä öljyn lämpötila tunnetaan.

Kuivauksen jälkeen puita kannattaa pitää öljyastian yläpuolella lämpimässä tilassa niin kauan, että ylimääräinen öljy pääsee valumaan pinnalta pois.

6.2 Kokeet alipainesylinterissä

Alipaineen käytön etuna avoimessa altaassa keittoon nähden on nopea kuivuminen matalissa lämpötiloissa veden kiehumispisteen alenemisen vuoksi. Perinteisen sahatavaran alipainekuivauksen etuna on mahdollisuus välttää korkeissa lämpötiloissa tapahtuvat puun värinmuutokset ja silti kuivata puu nopeasti. Etenkin lehtipuilla, kuten tammella, on alipainekuivaus huomattavan paljon nopeampaa kuin perinteinen lämminilma-kuivaus. Havupuilla alipainekuivaus soveltuu etenkin paksujen dimensioiden kuivaukseen. Ohuet dimensiot on helppo kuivata virheettömästi ja nopeasti ja alipainekuivausta taloudellisemmin lämminilma-kuivauksella.

Öljykuivauksessa alipaineen käytön etuna on lisäksi mahdollisuus vaikuttaa öljyn tunkeutumamääriin, mikä on ratkaisevaa öljykuivauksen taloudellisuuden kannalta.

Alipainekuivauskokeissa käytetyt puulajit olivat mänty ja kuusi. Pöllien pituus oli 800 mm ja niiden halkaisija oli 100 mm. Muutamia kokeita tehtiin myös puolikaspölleillä.

Kokeissa käytetty lämpötila oli 70–80 °C. Lämpötilaa säädettiin niin, että se oli mahdollisimman korkea, mutta ettei voimakasta öljyn kuohumista tapahtunut. Jos lämpötila oli liian korkea, niin öljy kuohui ja öljyä meni poistoputkeen. Jos lämpötila oli taas liian alhainen, niin kuivumista ei tapahtunut.

Taulukossa 3 on yhteenveto tehdyistä kokeista. Pöllien loppukosteudet vaihtelivat paljon ja vain muutamassa tapauksessa pöllit onnistuttiin kuivaamaan riittävän kuiviksi ilman halkeilua.

Viimeksi tehdyssä kokeessa selvisi, mistä kuivumisen epätasaisuus johtuu. Selityksenä on se, kuinka paljon pöllä on öljyn pinnan alapuolella. Mitä syvemällä öljyssä pöllä on, sitä vähäisempää on sen kuivuminen.

Pölleihin imeytyneet öljymäärät vaihtelevat myös melko paljon.

Taulukko 3. Alipainekuivauskokeiden yhteenveto. Halkeilu on merkitty vain alle 20 % kuivuneisiin kappaleisiin. Kosteiksi jääneet kappaleet eivät ole halkeilleet. Lämpötilataso oli 70–80 °C.

Koe nro	Paine bar	Puu nro	Kuiv.aika h	Alkukost. %	Loppukost. %	Öljymäärät kg/m ³		Halkeilu
						pintapuu	sydänpuu	
1	0,7–0,8	mä1	48	129	10	71	22	ei
		mä2		110	26	258	17	
		mä3		147	54	203	17	
2	0,7–0,72	mä4	50	120	40	68	54	
		mä5		120	20	170	34	
		mä6		120	40	227	45	
3	0,7–0,72	mä7	68	62	22	143		
		mä8		93	34	214		
		mä9		138	75	128		
4	0,72	ku1	52	119	71	207		ei
		ku2		119	24	228		
		ku3		71	13	46		
5	0,72	ku4	56	78	56			ei
		ku5		58	32			
		ku6		53	36			
		ku7A halk.		39	11			
		ku7B halk.		39	10			
		ku8A halk.		35	9			
ku8B halk.	35	12						
6	0,74	mä1	72	79	n. 25			
		mä2		127	> 30			
		ku10		114	25–30			
		ku11		90	> 30			
		ku12		120	25–30			

Tehdyt kokeet osoittivat, että tasaiseen loppukosteuteen ja hallittuun lopputulokseen päästään vain, jos painetta voidaan laskea tai lämpötilaa nostaa niin paljon, että kaikki puut öljyn hydrostaattisesta paineesta huolimatta ovat selvästi yli veden kiehumispisteen olevassa lämpötilassa.

Uuden öljyn esilämmitysvälin valmistuttua voitiin edellä mainittu kuohuminen siirtää kyllästysylinteristä kyseiseen öljysäiliöön. Siinä kuohuntatila on runsaasti. Alipaine imetään pumpulla lauhduttimen ja öljysäiliön kautta sylinteriin. Siten itse sylinterissä ei ole kuohaa kuivauksen aikana. Vesihöyryn mukana kuohana lähtevä öljy kondensoituu lauhduttimessa ja vesi erottuu öljystä keräyssäiliöön. Öljy voidaan panna takaisin prosessiin ja vesi lasketaan viemäriin.

Hyvästä periaateratkaisusta huolimatta alipainekuivauskokeet eivät tuottaneet tavoiteltua tulosta. Syynä oli se, että laitteistoon saatiin imettyä parhaimmillaan vain noin 75 % alipaine. Tässä lämpötilassa veden kiehumislämpötila on noin 65 °C. Käytettäessä 20 °C korkeampaa öljyn lämpötilaa on veden höyrystyminen tehokasta. Mutta pitkistä kuivausajoista ja korkeista loppukosteuksista päätellen lämpötilaero ei ollut riittävän suuri puun tehokkaaseen kuivaamiseen.

Uudella öljysäiliöllä täydennetyllä laitteistolla tehdyissä kokeissa kuivauslämpötilat ja -ajat olivat 87 °C 7 h ja 94 °C 15 h. Kummassakin tapauksessa puiden kosteus jäi korkeaksi. Ensimmäisessä männyn loppukosteus oli noin 40 % ja kuusen yli 60 %. Jälkimmäisessä kuivauksessa männyn loppukosteus oli 23 % ja kuusen 20 %. Puut kuivuvat nopeammin korkeammassa lämpötilassa ilman alipainetta. Alipaine kuivauksen nopeus paranee painetta alentamalla tai lämpötilaa nostamalla. Jos lämpötilaa nostetaan, on perusteltua siirtyä normaaliin öljykuivaukseen ilman alipainelaitteistoja.

6.3 MTT Vakolan kokeet paineettomalla laitteella

MTT Vakolassa rakennettiin koelaitteisto, jolla voidaan kuivata 2 m pitkiä puita. Pituus riittää eliminoimaan päätyvaikutuksen merkityksen. Lisäksi pituus riittää moneen käyttökohteeseen. Tätä suuremman laitteiston käyttö ei enää olisi koetoinnassa joustavaa, sillä tarvittavat öljymäärät ja siten myös öljyn kustannukset kasvavat huomattavan suuriksi.

6.3.1 Laitteiston rakenne ja toiminta

Koelaitteiston materiaalina käytettiin normaalia koneenrakennusterästä. Laitteiston säiliö kantattiin 4 mm:n pellistä ja runko vahvistettiin rhs-putkilla. Säiliön ulkopinta eristettiin 50 mm:n kovavillalla ja pellitettiin ohuella 0,5 mm paksulla muovipinnoitetulla pellillä, joka toimii samalla ulkokuorena. Säiliön päälle on rakennettu lisäksi sadekatos ja sivuille verkkokaide, jolla estetään kuumasta öljystä johtuvien vaaratilanteiden syntyminen laitteiston kannen ollessa auki. Laitteiston alapuolella on valuma-astia, johon mahtuu säiliön rikkoutumistapauksessa koko säiliön öljymäärä.

Öljyn lämmitys toteutettiin kolmella 5 kW -sähkövastuksella, joka riittää 500 litran öljymäärän lämmitykseen muutamassa tunnissa. Sähkövastukset eristettiin öljystä sijoittamalla ne teräsputkien sisään. Vastuksien sijoittelulla saatiin riittävä luonnollinen kierto öljylle, joten erillistä öljypumppua öljyn kierrätykseen ei tarvita. Öljy pysyy tasalämpöisenä joka puolella säiliötä. Yhden 16 ampeerin pistokkeen taakse voitiin kytkeä kaksi 5 kW -vastusta eli koelaitteistoon tarvittiin kaksi pistorasiaa.

Kuvassa 6 on MTT Vakolassa suunniteltu ja rakennettu öljykuivauslaitteisto.



Kuva 6. MTT Vakolan koelaitteisto.

Esimerkkilaskelma:

Lämmitetään 500 litraa pellavaöljyä 20 °C:sta 120 °C:seen.

Laskentakaava:

$$Q = m * c * (t_2 - t_1)$$

$$\rightarrow 500 \text{ kg} * 1,88 \text{ kJ/kg} * ^\circ\text{C} * 100 ^\circ\text{C} = 94 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ kWh on } 3,6 \text{ MJ eli } 100 \text{ MJ} = 26,1 \text{ kWh}$$

$$\text{Koneen teho } 3 * 5 \text{ kW} = 15 \text{ kW}$$

eli lämmitys kestää

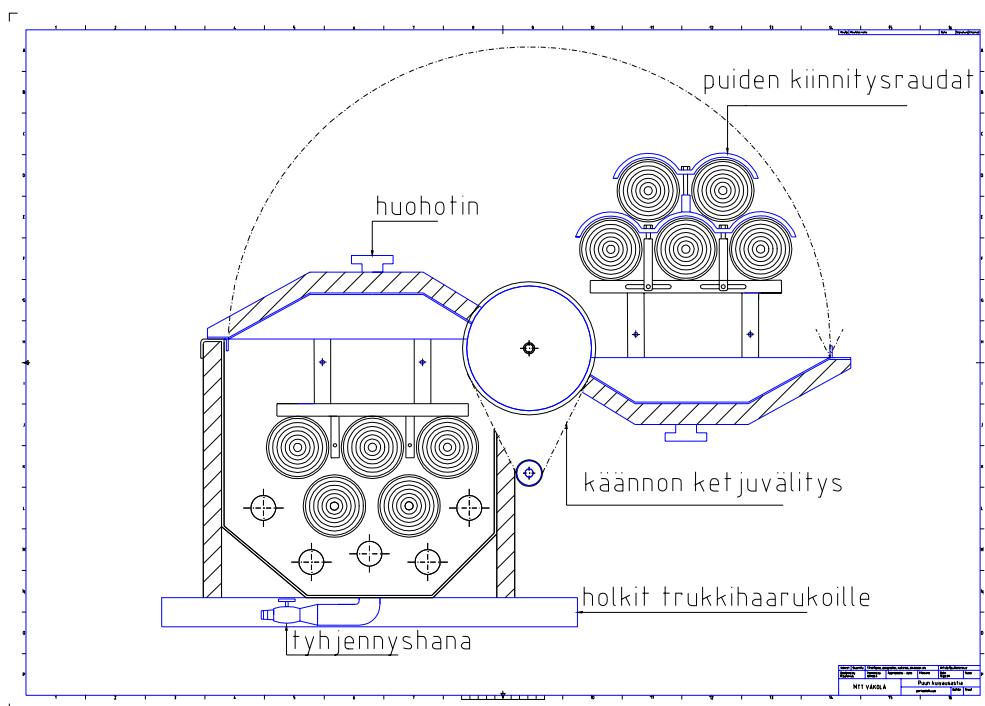
$$26,1 \text{ kWh} / 15 \text{ kW} \cong \mathbf{1h 45min}$$

Esimerkkilaskelma on teoreettinen, mutta käytännössä lämmitysaika ei eroa tästä kovinkaan paljon, koska eristyksen vuoksi laitteen lämpöhäviöt ovat pienet.

Lämpövastuksia ohjataan erikseen säätötermostaattilla ja ylikuumenemissuojalla. Lämpötilaa voidaan säätää yhden asteen portain. Ylikuumenemissuojalla estetään öljyn liiallinen kuumeneminen ja mahdollinen palovaara vikatilanteessa. Lämpötilan säätömekanismi rakennettiin toimimaan seuraavasti. Kun asetettu lämpötila saavutetaan, vastusten lämmitys lakkaa, ja kun öljyn lämpötila laskee säädetyn astemäärän verran

alle asetetun lämpötilan, vastuksista yksi kytkeytyy päälle. Sitä lämmitetään kunnes asetettu lämpötila on taas saavutettu.

Koelaitteiston kannen kääntö toteutettiin hydraulimoottorilla ja sopivalla ketjuvälityksellä (kuva 7). Näin kansi saatiin toimimaan sopivan hitaasti ja aukeamiskulma saatiin riittäväksi. Hydraulimoottoria käytettiin erillisellä hydraulikkayksiköllä sekä myös tavallisella maataloustraktorilla. Kannessa on lisäksi lukitussalvat varmistamassa kannen kiinnipysyminen voimakkaan öljyn kuohunnan aikana. Laitteistoon ei pääse tulemaan varsinaisesti painetta, koska kannessa on huohotinreiät. Koelaitteiston kanteen rakennettiin kiinnitysraudat, joihin kuivattavat puut voidaan kiinnittää.



Kuva 7. Rakennekuva koelaitteistosta.

Laitteiston öljyn täyttö hoidettiin trukin avulla. Öljytynnyri kaadettiin kuormalavalle makuulle ja lava nostettiin trukilla koelaitteiston yläpuolelle, jolloin öljy voitiin laskea tynnyrin sulkuhanasta suoraan laitteistoon. Myös tyhjennyksessä käytettiin trukkia apuna. Koelaitteistoon rakennettiin nostopaikat trukin nostohaarukoille, ja laitteiston pohjaan tehtiin tyhjennyshana. Laitteistoa nostettiin tyhjennettäessä trukilla tynnyrin yläpuolelle ja pohjahanasta voitiin laskea öljy takaisin tynnyriin. Tämän kokoiselle laitteistolle kuvatut tyhjennys- ja täyttöjärjestelmät sopivat hyvin.

6.3.2 Puutavara

Kuivauskokeissa kuivattiin pyöreäksi sorvattuja mänty- ja kuusipölkkyjä. Puiden halkaisijat olivat 100 ja 150 mm ja niiden pinta sileä. Osa puista kuivattiin halkaistuna. Kuivauksen alkaessa puut olivat luonnonkosteita. Puut hakattiin ja sorvattiin keväällä, ja ne säilytettiin pakkasvarastossa muoviin käärittynä kuivausta odottamassa. Ennen astiaan panoa puut sulatettiin pitämällä niitä ulkona noin vuorokausi edelleen muoviin käärittynä.

Ennen kuivausta määritettiin puiden kosteus. Kosteusnäyte otettiin joko kiekkona tai puista porattiin näyte pinnasta ytimeen, minkä jälkeen näyte kuivattiin. Puista määritettiin myös sydänpuuosuus sekä tiheys, joka laskettiin massan, tilavuuden ja kosteuden avulla.

Mäntyjen ja kuusten, joiden halkaisija oli 100 mm, kosteus ennen kuivausta oli 30–130 % ja kuivatiheys 426 kg/m^3 . Sydänpuuosuus oli keskimäärin 30 %. Suurempien puiden kosteus ennen kuivausta oli vain 30–45 %, koska niiden sydänpuuosuus oli suuri.

Varsinaisen öljykuivauksen lisäksi käsiteltiin öljyssä myös kuivaa puuta. Lappset Oy toimitti kokeisiin leikkipaikkakalusteiden höylättyjä runkopylväitä, joiden dimensio oli 100 x 100 mm. Osa niistä oli yhdestä puusta höylättyjä, osa kahdesta soirosta liimattuja. Metsähallitus toimitti kuivatusta puusta höylättyjä viittakylttejä, joihin oli kaiverrettu teksti. Viittojen dimensio oli noin 22 x 125 mm ja pituus noin 1 m. Lisäksi käsiteltiin ulkokuivaa 22 x 100 mm:n mäntylautaa.

6.3.3 Kuivaus

Puuta kuivattiin rypsi- ja pellavaöljyillä sekä kahdella mäntyöljyllä. Rypsi- ja pellavaöljy kylmäpuristettiin omista siemenistä. Mäntyöljyt toimitti oululainen Ekopine Oy. Öljyjen tyypit olivat PS 510 ja PS 526.

Puut kuivattiin siten, että ulkolämpöiset puut (noin 20 °C) upotettiin öljyyn, jonka lämpötila oli 110, 127 tai 150 °C. Kun lämpöastian termostaatti oli säädetty arvoon 127 °C, niin kuivauksen aikana öljyn lämpötila vaihteli välillä 125–127 °C. Paksumpia puita kuivattiin 45 tuntia ja ohuempia 24 tuntia. Kokeiden perusteella voidaan sanoa, että puun öljykuivauksessa noin 130 °C:n lämpötila on käyttökelpoisiin.

Tuoreita viittakylttejä kuivattiin 12 tuntia 127 °C:n lämpötilassa. Kuivia puita käsiteltiin 6 tuntia sekä 127 °C että 97 °C:n lämpötiloissa.

Kuivauksen jälkeen puut otettiin astiasta pois. Niiden annettiin valua ja tasaantua 10 tuntia ennen punnitusta ja kosteudenmäärittystä. Lisäksi puista mitattiin mahdollinen halkeilu. Haljenneena pidettiin puuta, jossa oli yli 2 mm leveä rako, jonka pituus oli vähintään 10 cm.

Jokaista kuivattua puutyyppiä asetettiin ulos säärasituskokeisiin. Vasta usean vuoden jälkeen voidaan lopullisesti sanoa, miten halkeamattomina puut säilyvät ja miten ne muutoin kestävät säärasitusta.

6.3.4 Tulokset

6.3.4.1 Loppukosteus

Kuivauslämpötilan ollessa 110 °C puiden kosteus laski 24 tunnin kuivauksessa 15–20 %:iin. Kosteustaso on joihinkin ulkokäyttökohteisiin sopiva, mutta on sisäkäyttöön liian korkea.

Kun öljyn lämpötila oli 127 °C, 24 (ohuet puut) ja 45 tunnin (paksut puut) öljykuivauksella saatiin suurin osa puista kuivumaan 4–7 % kosteuteen. Pölkyn alkukosteus, läpimitta tai sydänpuuosuus ei vaikuttanut loppukosteuteen. Poikkeuksena muutama puu, joiden loppukosteus oli noin 15 %. Syytä suurempaan loppukosteuteen ei keksitty.

Myös tuoreet viittakyltit kuivuivat ilmeisesti yhtä kuiviksi kuin pyöreät puut. Kuivumisen vuoksi kyltit kupertuivat.

Puut kuivuivat 150 °C:n lämpötilassa erittäin kuiviksi, sillä niiden loppukosteus oli 2–4 %.

Mikäli öljyn lämpötila on 130 °C, puun kuivuminen kestää 24 tuntia. Ohuemmat puut kuivuivat vuorokaudessa 5 %:n kosteuteen, mutta suuremmat puut vaativat tähän kaksi vuorokautta. Mikäli näin alhaista loppukosteutta ei haluta, kuivausaikaa voidaan lyhentää. Tällöin vaikeutena on kuitenkin se, että puut kuivuvat eri nopeuksilla. Kuvassa 8 on esitetty ajan vaikutus puun kuivumiseen. Kuivatuissa puissa oli myös selvä kosteusgradientti, puiden pinta oli noin 5 prosenttiyksikköä kuivempi kuin keskiosa.

Kuivan sahatavaran käsittelyssä todettiin, että puu kuivui ainakin pinnaltaan jonkin verran sekä 127 että 95 °C:n käsittelylämpötilassa sillä lauta kupertui.

6.3.4.2 Öljyjen vaikutus ja imeytyminen

Puun kuivumiseen tai kuivauksen loppukosteuteen ei vaikuttanut se, mitä öljyä käytettiin. Kaikilla kokeilluilla öljyillä saatiin samanlainen tulos. Käytetty öljy ei vaikuttanut myöskään halkeilun määrään. Öljyalaatu ei vaikuttanut siihenkään, paljonko öljyä kuivauksen aikana imeytyi puuhun.

Mikäli kuivauslämpö on 110 tai 150 °C, niin puihin imeytyy öljyä vähän, 0–20 kg/m³. Käytettäessä kuivausöljyn lämpötilana 130 °C, öljyä imeytyi mäntyyn enemmän kuin kuuseen. Pyöreään sorvattuun mäntyyn öljyä imeytyi 30–180 kg/m³ ja kuuseen samoissa oloissa 20–60 kg/m³. Lappsetin kuiviin mäntytolppiin öljyä imeytyi 20–60 kg/m³. Koesarjan lopuksi kuivattiin homeisia puita. Näihin imeytyi erittäin vähän öljyä, mutta puut kuivuivat.

Öljy imeytyi suurimmaksi osaksi puun pintakerrokseen, sillä lähes kaikki öljy oli 20 mm:n vyöhykkeessä puun pinnalta lähtien. Syynä lienee se, ettei öljyn paine riitä syvempään tunkeutumiseen käytetyllä keittoajalla ja se, ettei öljy tunkeudu sydänpuuhun.

6.3.4.3 Puun halkeilu

Öljyssä kuivatut pyöreät puut halkeavat merkittävästi vähemmän kuin ilmakeivatut. Puihin ei synny pintahalkeamia, vaan puut halkeilivat sisäisesti. Kuivauksen alkuvaiheessa puihin syntyi pieniä ulkoalkeamia. Kuivauksen edistyessä ulkoalkeamat umpeutuivat ja puihin syntyi sisäalkeamia, jotka näkyivät hyvin puun poikkileikkauksessa. Pieniläpimittaisista puista 10 %:iin jäi käyttöä haittaava pintahalkeama. Sen sijaan halkaisijaltaan 150 mm:n puissa halkeilu oli yleisempää. Noin kolmasosaan näistä jäi pintahalkeama.

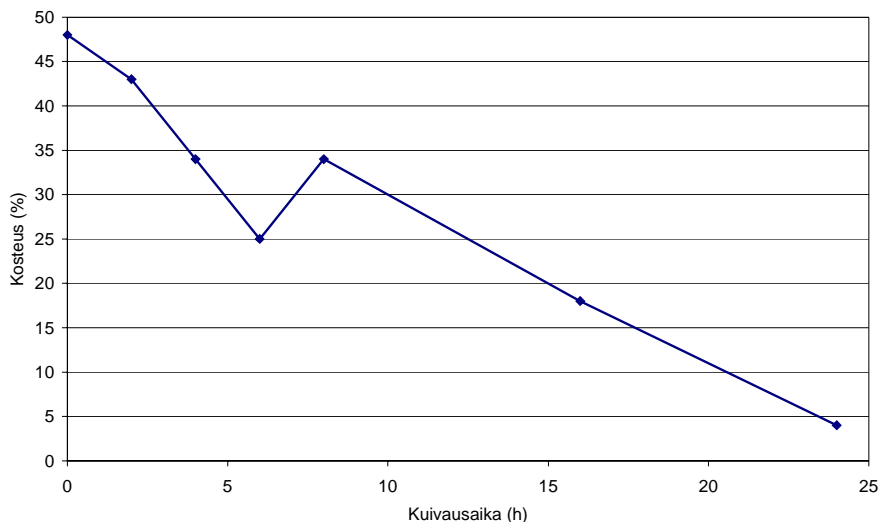
Vinosyiset puut halkeilivat suorasyisiä enemmän. Halkaisijaltaan suuremmista puista ne, joissa sydänpuuosuus oli suuri, halkeilivat muita voimakkaammin.

6.3.4.4 Puun kuivumisnopeus

Öljyn lämpötila vaikuttaa selvästi puun kuivumisnopeuteen. Mitä kuumempaa öljy on, sitä nopeammin puu kuivuu. Kuivattava puulaji tai kuivauksessa käytetty öljy ei vaikuttanut puun kuivumisnopeuteen. Eri puuyksilöillä on eroja kuivumisnopeudessa. Tämä tekee kuivausajan optimoinnin vaikeaksi. Vaikuttavia tekijöitä ovat mm. tiheys ja sydänpuun osuus. Yksi tekijä on puun alkukosteus, märemmän puun kuivuminen kesti

kauemmin. Tehdyissä kokeissa puusta poistui vettä lähes lineaarisesti, kuva 8. Tämä tekee mahdolliseksi hyvinkin tarkan kuivausajan ja loppukosteuden valinnan, mikäli puut saataisiin ryhmiteltyä alkukosteuden ja muiden kuivumiseen vaikuttavien tekijöiden perusteella jollakin tarkkuudella.

Kuivausaika (h)	0	2	4	6	8	16	24
Kosteus (%)	48	43	34	25	34	18	4



Kuva 8. Puun kosteuden muutos öljykuivauksessa ajan funktiona. Öljyn lämpötila oli 130 °C ja puiden halkaisija 100 mm.

6.3.4.5 Lautojen kuivaus

Lautojen öljykuivausta selvitettiin vain vähän. Lautojen öljykuivaus onnistuu, mutta näiden kupertuminen on ongelma, koska myös laudat kuivuvat erittäin kuiviksi. Laudat voidaan sitoa tiiviiksi nipuksi, mutta öljy tunkeutuu siitä huolimatta jokaiseen lautaan. Niputtamisella ei kuitenkaan voida estää kupertumista.

6.3.5 Arvio kuivauskustannuksista

MTT Vakolan laitteistolla öljyn lämmitykseen kului sähköä keskimäärin 65 kWh/erä (24 h). Laskennallisesti puussa olevan veden irrottaminen, kuumentaminen ja höyrystäminen vaativat viidesosan energiamäärästä ja loppu kului öljyn lämmön ylläpitoon.

Kuivauskustannusten laskemiseksi oletetaan, että kuivausastia rakennettaisiin 30 000–40 000 mk:lla. Astian käyttöikä on 5–7 vuotta ja jäännösarvo on 10 %:a alkuhinnasta. Käytetään 4 %:n korkoa. Astiaan mahtuu noin 15 kpl halkaisijaltaan 100 mm:n ja pituudeltaan 2 m:n puita. Tällöin erässä kuivuu 0,235 m³ puuta. Oletetaan kuivausöljyn kulutukseksi 50 l/m³ ja hinnaksi 10 mk/l. Erän kuivaus vaatii tunnin työn, á 100 mk. Puiden kuivausaika on 24 h/erä, sähkönkulutus on 65 kWh ja hinta 50 p/kWh.

Astian kustannus 35 000 mk (H)

Astian arvioitu pitoaika 6 vuotta (n)

Astian jäännösarvo 3 500 mk (J)

Laskentakorko% 4

Vuotuinen poisto on $S = 1/n \times (H-J) = 1/6 \times (35\,000 - 3\,500) = 5\,250$ mk/vuosi

Vuotuinen korko on $K = p/200 \times (H+J) = 4/200 \times (35\,000 + 3\,500) = 770$ mk/vuosi

Kiinteät kustannukset (KK) ovat siis 6 020 mk/vuosi.

Kuivauserän muuttuvat kustannukset (MK) muodostuvat sähkönkulutuksesta, öljyn kulutuksesta ja työstä:

Sähkönkulutus on 65 kWh x 0,5 mk/kWh = 32,5 mk/erä

Öljynkulutus on 50 l/m³ x 10 mk/l x 0,235 m³ = 117,5 mk/erä

Työkustannus 100 mk/h x 1 h/erä = 100 mk/erä

Muuttuvat kustannukset yhteensä ovat = 250 mk/erä

Kuivataan a) 100 erää/vuosi, b) 200 erää/vuosi, c) 300 erää/vuosi.

Kuivauserän kuivauskustannus tapauksessa

a) = $KK/100 + MK = 60 + 250 = 310$ mk/erä = 1 320 mk/m³

b) = $KK/200 + MK = 30 + 250 = 280$ mk/erä = 1 191 mk/m³

a) = $KK/300 + MK = 20 + 250 = 270$ mk/erä = 1 150 mk/m³

Kustannuksista suurin osa on muuttuvia kustannuksia, työtä ja öljyä. Työkustannuksiin ei voitane pienen mittakaavan tuotannossa paljoa vaikuttaa, mutta öljyn imeytymisen vähentäminen lienee mahdollista ja siihen pitäisi panostaa öljykuivauksen kilpailukyyn parantamiseksi. Öljynkulutuksen ollessa 30 kg/m³ ja öljyn hinnan 7 mk/kg ovat öljykustannukset 210 kg/m³ edellä olevan laskelman 500 mk/m³ asemesta. Kaikki edellä olevat luvut on ilman arvonlisäveroa.

Aikaisemman tutkimuksen perusteella sorvatus puun tuotantokustannukset ovat noin 1 300 mk/m³. Tämä hinta koskee pienmittakaavaista tuotantoa esimerkiksi maatalousyrittäjissä. Sen sijaan suurituotannossa kustannukset ovat oleellisesti alhaisemmat. Esimerkiksi Iivari Mononen Oy:n (Ari Mononen) mukaan 100 mm paksun sorvatus tangon kuutiohinta on 750 mk (ALV = 0 %).

Teollisessa tuotannossa ovat energiakustannukset selvästi pienemmät kuin sähköllä lämmitettäessä, jos on käytettävissä korkeapaineista höyryä öljyn lämmittämiseen. Lämmön hinnaksi voidaan arvioida tällöin 20 p/kWh. Tällaista edullista energiaa on saatavilla kuitenkin varsin harvassa paikassa.

Suurtuotannossa myös työkustannukset kuivattua tuotekuutiometriä kohden ovat mainittua lukua pienemmät. Seuraavassa laskelmassa on työkustannukseksi oletettu 100 mk/m³ ja pääomakustannuksiksi on arvioitu 60 mk/m³.

Edellä esitettyjen lukujen perusteella saadaan öljykuivatun pyöreän puun tuotantokustannuksiksi: PK+ÖK+EK+TK= 60 + 210 + 56 + 100 mk/m³ = 426 mk/m³. Jos puun hankintahinta on 750 mk/m³, ovat valmiin öljykuivatun tangon keskimääräinen kustannus noin 1 200 mk/m³ laitoksella, jolla on käytettävissään edullista korkea-paineista höyryä ja tuotanto ainakin 1 000 m³/a. Vastaavasti maaseutu-yrityksessä, jossa puut sorvataan itse ja kuivataan sähköenergialla, kustannukset ovat jopa 2 400 mk/m³ vuotuisen tuotannon ollessa noin 100 m³. Öljykuivatun pyöreäksi sorvatun puun tuotanto-kustannukset ovat jossain näiden arvojen (1 200 ja 2 400 mk/m³) välissä riippuen loppukosteudesta, öljyn kulutuksesta ja hinnasta, energiamuodosta ja sen hinnasta sekä tarvittavasta työmäärästä tuotettua kuutiometriä kohden.

Iwotech'in laskelmien mukaan alipainesylinterissä tapahtuvan kyllästetyn 38 mm paksun sahatavaran öljyllä tapahtuvan vientikuivauksen kustannukset (loppukosteus 20 %) ovat 122 mk/m³ ja öljykustannukset 128 mk/m³, kun kulutus on 20 l/m³.

6.3.6 Johtopäätökset MTT Vakolan laitteistolla tehdyistä kokeista

Paineettomalla öljykuivauksella pyöreä puu voidaan kuivata siten, että se ei halkeile. Vanhimmat kokeissa olleet puut ovat olleet kaksi vuotta kuivattuina, eivätkä niiden halkeamat ole merkittävästi lisääntyneet. Puita on pidetty sekä sisällä että ulkona. Tosin halkeilemattomuus varmistuu lopullisesti vasta usean vuoden kuluttua.

Kuivauskustannuksissa kiinteiden kustannusten osuus on pieni. Kuivauksen kilpailukykyyn vaikuttavat eniten muuttuvat kustannukset, josta työn ja öljyn osuudet ovat merkittävimmät.

Sorvattavan puun laatuun on kiinnitettävä huomiota. Halkeamien välttämiseksi puun on oltava suoraa. Lengosta puusta saadaan sorvaamalla suoraa, mutta tällöin tuote on vinosyinen ja helposti halkeileva. Myös sorvauksen laatuun pitää kiinnittää huomiota. Mikäli puussa on sorvaamattomia kohtia, öljy ei kiinnity kunnolla ja puun pinta jää näiltä kohdin tahmeaksi. Mikäli tavoitteena on pelkkä puun kuivaus, niin 110 tai

150 °C:n lämpötila on suositeltavin. 110 °C:n kuivaus on niin hidas, että puut eivät juuri halkeile, mutta vuorokaudessa puut eivät ehkä kuivu riittävästi, mikä lisää kattilatilan tarvetta. Puihin ei myöskään imeydy öljyä, mikä vähentää kuivauskustannuksia. Öljykustannusten väheneminen voi korvata lisääntyneen kattilatilan aiheuttaman kustannuksen.

Puihin ei myöskään imeydy juuri öljyä, mikäli kuivauslämpö on 150 °C, ja kuivausaika on lyhyt. Vaikeutena on kuitenkin se, että öljy kuohuu runsaasti kun puut lisätään kuumaan öljyyn ja öljy valuu astiasta pois. Puut myös halkeilevat enemmän kuumassa öljyssä ja puiden sisähalkeamat ovat suurempia.

Koska öljy imeytyy lähes kokonaan puun pintaan, puut pitäisi työstää valmiiksi ennen öljykäsittelyä. Tämä voi aiheuttaa vaikeuksia kappaleiden käytössä, mikäli valmiin kappaleen mitoille tai muodoille asetetaan tarkkoja vaatimuksia.

Jotta kuivausta, lähinnä öljyn imeytymisen hallintaa, voisi kehittää edelleen, pitäisi optimoida öljyn määrä. Optimimäärään vaikuttavat öljykustannukset, haluttu puun loppukosteus, suvaittu halkeamien määrä, kuivauskustannukset, puunsuojauksen ja säänkeston sekä muun käyttökelpoisuuden vaatimukset.

7. Säätuskokeet

Öljykuivattuja puita asetettiin säätuskokeisiin VTT:n koetaloueelle, MTT:n kentälle sekä Liesjärven kansallispuistoon. VTT:n kokeissa tehtiin koeaitoja eri öljyillä sekä kokonaisena että halkaistuna MTT:ssä kuivatuista tolppista. Ne kaivettiin kärjestään maahan. MTT:ssä koeput laitettiin nojaamaan vapaasti verkkoaitaa vasten. Liesjärvellä kaivettiin tolppia kärjestään lehtomaiseen maahan sekä kiinnitettiin eri tavoin käsiteltyjä laudasta työtettyjä viittoja telineisiin järven rantaan.

7.1 Säätuskokeet VTT:ssä

VTT:n säätuskokeet tehtiin Otaniemessä Kehä I:n tuntumassa olevalla koekentällä. MTT:ssä kuivatuista puista valmistettiin koeaitoja. Kussakin aidanpätkässä oli kaksi pyöreää pystytolppaa sekä kaksi halkaistuna kuivattua vaakapuuta. Kokeeseen otettiin sekä mäntyä että kuusta kuivattuna seuraavilla öljyillä: pellava-, rypsi- sekä mäntyöljyt PS 510 ja PS 526. Kaksi ilmakeivatuista materiaalista tehtyä aitaa asetettiin vertailua varten. Puut kuivattiin tuoreessa öljyssä 127 °C:n lämpötilassa. Myöhemmin havaittiin, että öljy on tuoreena erilaista kuin jonkin aikaa kuivauskokeissa käytettynä. Useassa kuumennuksessa öljy hapettuu ja sen epäpuhtaudet saostuvat. Jossain määrin öljyyn vaikuttavat myös puusta lähtevät aineet.

Rypsiöljyssä kuivatussa puussa oli keiton jälkeen pinnalla tummaa sakkaa. Pellavaöljyssä keitettyjen puiden pinnalle ei muodostunut ylimääräistä saostumaa. Mäntyöljyssä PS 526 kuivattu puu oli pinnaltaan tahmea. PS 510 jätti varsin kuivan pinnan.

Öljykuivatuissa aitatolppissa ja vaakapuissa ei maahan pantaessa ollut avoimia halkeamia. Kuivauksessa syntyneet halkeamat olivat menneet kuivauksen loppuvaiheessa kiinni. Vertailumateriaaliksi pannuissa ilmakeivatuissa puissa oli alusta lähtien selvää halkeilua. Liitteessä A on kesällä ja syksyllä 2000 tehtyjä havaintoja koeputista sekä aitojen valokuvia syksyllä 2000.

Ainoastaan pellavaöljyssä kuivatut puut olivat kuivauksen jälkeen ja vuosi säätuskokeen jälkeen jokseenkin moitteettomia. Pinta oli kuiva, tasaisesti harmaantunut ja siinä oli pientä minihalkeilua. Vertailukappaleet olivat alusta lähtien halkeilleita eivätkä halkeamat säätuksessa kasvaneet tai sulkeutuneet oleellisesti. Rypsiöljyllä kuivatut puut olivat alusta pitäen plakin peitossa. Se näyttää säätuksessa vähän voimistuneen. Ilmiötä ei havaittu vanhennetulla rypsiöljyllä (Vakolan kokeet). PS 526 -mäntyöljyllä käsitellyt puut olivat alusta lähtien tahmean kerroksen peitossa. Siihen tarttui roskia. Pinta ei kovettunut koeaikana. PS510:ssa kuivatun puun pinnalle

on kenttäkokeessa hapettunut harmaa, jauhemainen kerros. Kummassakaan vanhennetussa mäntyöljyssä ei esitettyjä ongelmia esiinny.

Puiden lahonkestävyyttä tutkittiin standardin EN 252 mukaan. Siinä maan sisässä ollutta puuta painellaan terävällä piikillä. Painuman syvyyden ja pehmentyneen alueen laajuuden perusteella määrytyy lahoamislukka. Puu, joka ei ole pehmentynyt yhtään saa arvon 0 ja pehmentyneen puun luokitus on 1–4. Huonoimmassa luokassa (4) puu katkeaa painon vaikutuksesta.

Runsas vuoden rasitusjakso on varsin lyhyt tuotteiden lahonkestävyyden testaamiseksi. Kaikki käsitellyt puut saivat arvon 0. Vertailupuista, joita oli kaksi kuusi- ja kaksi mäntytolppaa, kummankin puulajin toinen tolppa sai arvon 1 ja toinen arvon 0. Tämän perusteella öljykuivaukset ovat ainakin vähän parantaneet lahonkestoa. Aineiden väliset mahdolliset erot tulevat esille vasta myöhemmin.

7.2 Säärasituskokeet MTT Vakolassa

Öljykuivatuista ja -käsitellyistä puista osa asetettiin kentälle säärasituskokeeseen lähes pystyasentoon nojaamaan aitaa vasten. Vajaan vuoden kentällä olleiden puiden pinnoissa voidaan havaita selviä muutoksia. Sen sijaan käsiteltyjen puiden halkeamat eivät ole juurikaan lisääntyneet. Puut ovat harmaantuneet. Puista erottaa selvästi auringossa olleen puolen ja varjossa olleen puolen. Puiden pinnan vedenhylkimiskyky on osin säilynyt, sillä pinnalle tullut vesi pisaroituu eikä leviä tasaisesti puun pinnalle.

Tuoreella PS 526 -mäntyöljyllä käsitellyissä puissa pinta oli edelleen tervamaisen tahmea. Siihen oli tarttunut roskia. Sen sijaan vanhennetulla eli 2–3 kertaa kuumennetulla öljyllä kuivattujen puiden pinta oli tasainen ja kuiva.

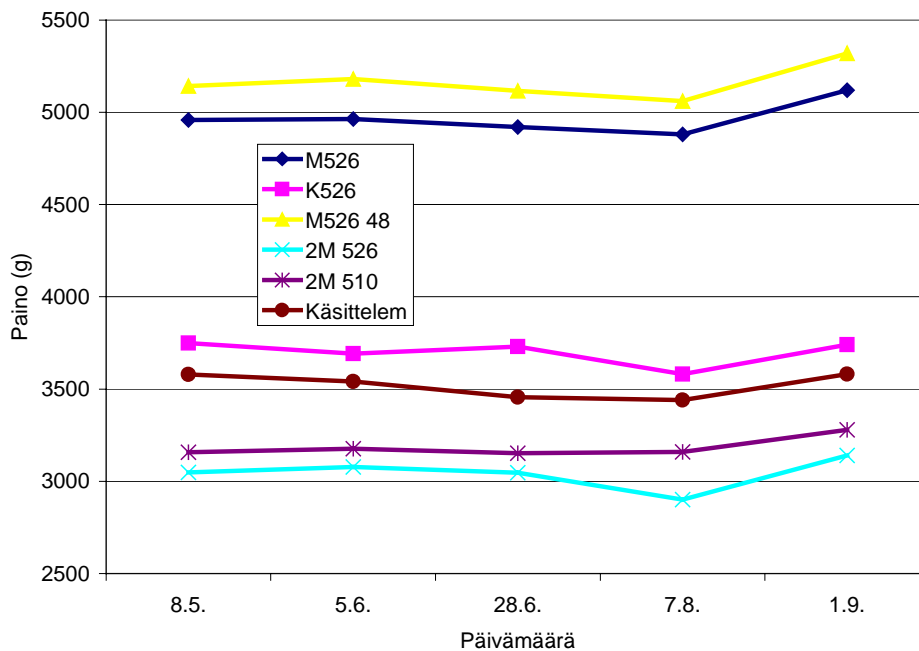
Vastaavasti kuivattaessa tuoreella PS 510 -mäntyöljyllä muodostui puun pinnalle kenttäkokeessa kerros, joka pyyhittäessä lähtee jauheena irti. Syynä on öljyn tihkuminen pintaan ja öljyn hapettuminen. Tarkasteltaessa vanhemmalla PS 510 -öljyllä kuivattuja puita kyseistä liituuntunutta kerrosta ei havaittu.

Samantyyppinen ilmiö esiintyi myös rypsiöljyllä. Ilmeisesti öljy ei aluksi ollut riittävän hyvin puhdistettua, koska puiden pinnalle jäi karstaa kuivauksessa. Kentällä muodostui karstan lisäksi kerros, joka vastaa PS 510 -öljyn hapettunutta kerrosta.

Siten kaikki öljyt kannattaa vanhentaa esimerkiksi parin vuorokauden kuumennuksella 130 °C:ssa ennen varsinaisia kuivauksia. Mikäli öljyssä on ollut epäpuhtauksia, jotka ovat esikäsitelyssä saostuneet altaaseen, saostumat kannattaa poistaa myös ennen

puiden öljykäsittelyä. Samoin säilytysastioita tyhjennettäessä pohjalla oleva sakka pitää jättää tyhjentämättä käsittelyaltaaseen.

Kenttäkokeissa mitattiin myös käsiteltyjen puiden kosteudenmuutoksia kesän aikana. Kokeissa havaittiin, että puiden massan muutos oli samansuuntainen sekä käsitellyillä että käsittelemättömillä puilla, kuva 9. Käsitellytkin puut kostuivat ja kuivuivat samalla tavalla kuin käsittelemättömät, mutta niiden kosteus ei lisääntynyt pysyvästi ainakaan yhden kesän aikana. Mikäli puut säilyvät näin kuivina pysyvästi, niiden lahonkestävyys kasvaa.



Kuva 9. Käsittelemättömän ja käsiteltyjen puiden massan vaihtelu kesän 2000 aikana MTT Vakolan koekentällä.

7.3 Säärasituskokeet Liesjärvellä

Liesjärven kansallispuistoon järven rannalle pystytettiin syksyllä 1999 Metsähallituksen viittakoetelineet. Osa koeviitoista pantiin telineisiin syksyllä 1999 ja loput kesällä 2000. Koeaineisto on metrin pituisia 25 x 100 mm²:n laudasta tehtyjä viittoja. Niihin on ennen höyläystä työstetty jyrsimällä käsittelyä koskevat numerotunnukset. Osa puiden numeropinnoista on maalattu. Höyläyksen jälkeen vain jyrsimyksissä numeroissa on maalia.

Osa viitoista tehtiin tuoreesta puusta ja kuivattiin öljyssä, osa raaka-aineesta oli kuivaa lautta, jota ainoastaan öljykäsiteltiin upottamalla kuumaan öljyyn. Tuoreita viittakylttejä kuivattiin 12 tuntia 127 °C:n lämpötilassa. Kuivia puita käsiteltiin 6 tuntia sekä 127 °C:n että 97 °C:n lämpötiloissa.

Viittojen materiaali ja käsittelyt on esitetty liitteen B taulukossa. Liitteessä B on lisäksi 19.9.2000 viitoista otettuja valokuvia.

Viittojen lisäksi Liesjärvelle pystytettiin lehtomaiseen maahan eri tavoin kuivattuja tolppia 23.8.00. Niiden lahonkestoja kannattaa arvioida ensimmäisen kerran vuoden 2001 syksyllä.

8. Värjäyskokeet

Värjäyskokeita tehtiin sekä keittämällä tuoretta puuta että käsittelemällä kuivaa puuta värjätyssä kuumassa öljyssä. Kokeet tehtiin mäntyöljyllä PS510 sekä rypsiöljyllä.

Ensimmäisenä väriaineina käytettiin Nordsjön punaista oksidiväripastaa, tuote nro 41652, sekoitussuhde 0,6 % (suositus maks. 6 %). Mäntytolpan pätkiä (D = 100 mm) kuivattiin värjätyssä mäntyöljyssä yksi vuorokausi. Öljyn lämpötila nousi 100 °C:sta 135 °C:een melko lineaarisesti kokeen aikana. Puu värjäytyi punamullan väriseksi.

Puu kuivui ilman näkyvää halkeilua. Puun pinta värjäytyi varsin tasaisesti. Väri jäi kuitenkin aivan puun pinnalle, vaikka öljyä tunkeutui syvemmälle. Pintakerrosta raaputtamalla puu paljastuu aivan samoin kuin, jos pinta olisi maalattu. Pigmentit olivat niin suurikokoisia, että väri ei päässyt tunkeutumaan puuhun. Toisin sanoen pigmenttejä käyttäen saadaan öljykuivauksessa sama tulos kuin kuivauksessa ja erillisessä maalauksessa, kuitenkin pienemmällä työmäärällä, kun maalausvaihe jää pois.

Seuraavaksi kokeiltiin värjäystä Bayerin valmistamilla värijauheilla Specialrot 3R, Macrolex grün 5B ja Macrolex blau RR. Ensimmäinen eli punainen väri tunkeutui etenkin päätyalueella jonkin verran puun sisään. Imeytyminen oli kuitenkin varsin epätasaista puun luonnollisten läpäisevyyserojen vuoksi. Joihinkin kohtiin väriä imeytyi enemmän, jolloin kohta tuli tummaksi, ja joihinkin imeytyi taas vähemmän, jolloin puu jäi vaaleaksi. Väriin konsentraation lisääminen ja tunkeuman parantaminen painesyylinterissä tekevät pinnan todennäköisesti nyt saatua tummemmaksi ja väri vaihtelut vähäisemmiksi.

Viimeisessä koesarjassa kuivattiin halkaisijaltaan 100 mm olevia puun pätkiä (pituus noin 20 cm) 9 litran astioissa olevassa rypsiöljyssä. Astioihin oli sekoitettu eri valmistajien väriaineita: Cookson Matthey: PW 801 natural red oxide, BASF: Sicoflush* L Rot 2817 C4, Becker: GZ 1000-2000 oil colorant transparent red, Bayer: Specialrot 3R. Lisäksi kuivattiin 3 litran astiassa 120 mm pitkiä 25 x 100 mm laudanpätkiä Royal-öljyssä sekä Arizona Chemicalsin mäntyöljyssä SYLVATAL 25/30V.

Vain Bayerin väri tunkeutui puuhun öljyn mukana muiden värien jäädessä puun pinnalle. Pinnalle jäävien värien tasoittamiseksi öljyä tulee sekoittaa ja kuormata puut niin, että öljy pääsee tasaisesti koko pinnalle.

Kaikille väriaineille ei valmistaja varmaankaan suosittele käytettyä kuumakäsittelyä. Ainakin Beckerin väriaineesta haihtui kuumennettaessa voimakkaanhajuisia komponentteja.

Merkillepantava ominaisuus oli Royal-öljyn melko vähäinen imeytymismäärä 60 kg/m³. Runsaan imeytymisen kannalta materiaali oli parasta mahdollista: lyhyt, ohut puhdas männyn pintapuusahe. Kuivattaessa vastaavanlainen kappale Arizona Chemicalsin mäntyöljyllä oli imeytymämäärä 400 kg/m³. Ratkaisevaa koko prosessin taloudellisuuden kannalta on modifioida öljyt sellaisiksi, että ne imeytyvät puuhun vain rajallisesti. Kuivausolosuhteilla on vain rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa siihen.

Sekä Royal-käsitelty että AC:n öljyllä kuivatut näytteet olivat pinnaltaan kuivia ja lähes tahraamattomia. Sahatavaran väri ei juurikaan muuttunut käsittelyssä. Royal-öljyssä näytti olevan vähän vaaleaa pigmenttiä. Mäntyöljy oli väriaineeton.

Ekopine Oy on toimittanut Tuusulan asunomessujen Villa 2000:een terassilaudat, jotka on käsitelty öljyllä PS 593. Kyseisessä tuotteessa on mäntyöljyyn liitetty epäorgaaninen pigmentti. Öljyllä käsitelty puu on pinnaltaan ruskeaa. Öljy soveltuu pelkän pintakyllästykseen lisäksi hyvin myös puun kuivaukseen pienen tunkeumamääränsä ansiosta. Villa 2000 -talon ulkoseinällä on rimoitus. Sen osat on käsitelty 20 minuuttia runsaasti maavärijauhetta sisältävässä mäntyöljyssä PS 542, jonka lämpötila oli 110 °C. Värijauhetta oli niin runsaasti, että sitä oli altaan pohjalla sakkana. Sieltä se sekoittui sopivasti öljyyn. Keiton jälkeen seurasi pinnan harjaus. Mikäli halutaan täysin varmistua pinnan tahraamattomuudesta, pinta voidaan jälkisivellä kirkkaalla kuivuvalla öljyllä.

Hannu Kokon (Ekopine Oy) mukaan käsittelylaite voisi olla jatkuvatoiminen allas, jonka läpi laudat kulkevat. Öljy tunkeutuu pintaan ja myös halkeamiin ja päätypuuhun, jossa sen kosteussuojavaikutus on tärkeä.

Ulkoilman lämpötiloissa tehtävään huoltokäsittelyyn soveltuu peruskäsittelyssä käytetty öljy, johon on lisätty vähän pineenitärpättiä levitettävyyden parantamiseksi. Yksi litra riittää 5–12 m²:n käsittelyyn.

Värjäyskokeiden perusteella sekä öljyyn liitetty pigmentti että irrallinen värijauhe, joka sekoittuu hyvin öljyyn, soveltuvat puiden värjäykseen öljykuivauksessa tai -käsittelyssä. Tärkeää on, että öljy kuivuu pintaan ja sitoo väriaineen niin, että tuote ei tahraa esimerkiksi vaatteita, jos sitä hangataan. Mikäli tällaista pintaa ei saavuteta tällä käsittelyllä, voidaan pintaan lisätä vielä kirkas kuivuva ja pigmentin sitova öljy.

Royal-öljy ja Ekopine Oy:ssä kehitetyt uusimmat öljyt osoittavat, että öljykuivaus-, kyllästys- ja värjäysprosessiin on kehitettävissä sopivat tuotteet, jotka täyttävät vaativankin asiakkaan tarpeet.

9. Käsiteltyjen puiden ominaisuudet ja mahdolliset käyttökohteet

Öllykuivatuista ja -värjätystä puista voidaan arvioida kuivaustulos eli halkeilu ja loppukosteus sekä puuhun imeytyneen öljyn määrä välittömästi käsittelyn jälkeen. Sen sijaan öljyn ja värin pysyvyys puussa ja mahdollinen tahraavuus muuttuvat vähitellen käsittelyn jälkeen. Tuotteiden käyttökohteet riippuvat ulkonäöstä, tahraavuudesta, kustannuksista sekä säänkestosta ja lahonkestävyydestä.

9.1 Öljyn kiinnittyminen ja tahraavuus

Tutkimuksen alussa käytetyt pellava-, rypsi- ja mäntyöljyt olivat kaikki erittäin hitaasti kovettuvia. Projektin edetessä Ekopine Oy kehitti mäntyöljyjään nopeammin kuivuviksi. Kokeiluun mukaan otettu Royal-öljy on myös modifioitu hyvin kuivuvaksi. Öljyt eivät varsinaisesti kiinnity puuhun, vaan ovat soluseinämän pinnalla ja soluonteloissa. Puun pinnalla oleva hitaasti kuivuva öljy hapettuu vähitellen ilman vaikutuksesta, minkä jälkeen öljykuivatun puun pinta ei enää tahraa. Sen sijaan puun sisällä oleva öljy kuivuu huomattavasti hitaammin. Tämä aiheuttaa sen, että runsaasti öljyä sisältävää puuta lämmitettäessä öljy laajenee ja tihkuu pintaan. Mikäli pinta on jo päässyt kovettumaan, on seurauksena pinnan rakkuloituminen. Näin tapahtuu mm. ulkona auringon paistaessa etenkin tummaksi käsitellylle puulle. Lämpökaapissa 50 °C:n lämpötilassa ollut mäntyöljyssä kuivattu puu tuli öljyn tihkuessa halkeaman kohdalta pinnaltaan tahmeaksi. Tihkumisen välttämiseksi tulisi öljykuivauksessa käyttää vain vähän puuhun imeytyviä öljyjä. Useissa käyttökohteissa kostumista ja likaantumista estävä pintakalvo riittää.

Ylimääräisen öljyn poistamiseksi voidaan painekyllästyslaitteistoa käytettäessä toimia K. Hager -prosessin periaatteen mukaisesti. Siinä haihdutetaan puussa oleva ylimääräinen öljy puun sisältämän lämmön ja tehokkaan alipaineen yhdysvaikutuksella. Menettelyllä päästään haluttuun lopputuotteeseen, ja vähäisen öljynkulutuksen vuoksi tuotantokustannukset pienenevät oleellisesti.

Ulkokäytössä tahraava puupinta hyväksytään rakenteissa, joihin ihmisten ei tarvitse koskea. Tällaisia kohteita ovat mm. hirviaidan tolpat ja sähköpylväät. Näissä kohteissa öljykuivattu ja kyllästetty puu on kilpailukykyinen vaihtoehto, jos painekyllästettyä puuta ei saa tai sitä ei haluta ympäristösyistä käyttää. Ympäristövaikutusten merkitys kasvaa jatkuvasti, joten tämän projektin tavoitteena olevien tuotteiden merkitys lisääntyy.

Tässä projektissa pellava- rypsi- ja mäntyöljyillä kuivattujen puiden pinnat olivat puolen vuoden sisävarastoinnin jälkeen tarkastettuna tahraamattomia. Poikkeuksen muodostivat puut, jotka oli kuivattu punaisella oksidivärillä värjättyssä öljyssä. Öljy ei kuivuessaan ollut sitonut oksidiväriä tahraamattomaksi vaan sitä oli vapaana pinnalla. Kangas värjäytyi punaiseksi pintaa pyyhkäistäessä.

Yli puoli vuotta sisätiloissa säilytetyistä puista sahattiin pätkiä, jotka laitettiin kolmeksi vuorokaudeksi lämpökaappiin. Lämpötila oli 70 °C. Puun pinta tuli osalla puista nihkeäksi pinnalla olevan kalvon pehmetessä lämmön vaikutuksesta. Pinta ei kuitenkaan ollut tahraava, eikä puun sisältä tihkunut lämmön vaikutuksesta uutta öljyä pinnalle.

Yksi pellavaöljyn modifioitu versio on vernissa. Se soveltuu hyvin öljykuivaukseen ja -värjäykseen. Pinta kuivuu nopeasti ja syntyvä kalvo sitoo väripigmentin. Suurin ongelma on pinnan kupliminen, jos puussa on runsaasti vapaata kuivumatonta vernissaa. Mikäli puu ei joudu kuumiin olosuhteisiin, ei sisällä oleva öljy tihku pintaan vaan kovettuu vähitellen, joskin hyvin hitaasti.

9.2 Öljykuivatun puun käyttökohteita

Projektin ensisijaisena tavoitteena on saada aikaan korkealaatuinen tuote, joka soveltuu vaativallekin asiakkaalle. Tämä tarkoittaa ulkonäöltään ja teknisesti hyvää tuotetta. Pinnan tulee olla tahraamaton, väriltään tasainen eikä siinä saa olla häiritseviä halkeamia. Tuotteiden vaatimustasoa laskemalla ei useinkaan saavuteta niin suurta kustannussäästöä, että kannattavuus paranisi. Puun työstön ja öljykuivaus-, kyllästys- sekä mahdollisien värjäyskäsittelyn kustannussäästöjä voidaan saavuttaa 1) nopealla, karkealla työstöllä pinnanlaadun kustannuksella, 2) lyhyellä kuivauksella, jolloin kosteus jätetään suureksi ja halkeiluriski lisääntyy tai 3) käyttämällä mahdollisimman halpaa öljyä, mikä saattaa aiheuttaa tahraavuutta. Alempi laatutaso vähentää mahdollisia käyttökohteita merkittävästi.

Taulukossa 4 on esitetty öljykuivatun puun käyttökohteita pinnan tahraavuuden mukaan luokiteltuna sekä millä aineilla ja öljykustannuksilla tuotteet on valmistettavissa.

Taulukko 4. Öljykuivatun puun ominaisuudet ja käyttökohteet.

	Tahraamaton pinta	Lievästi tahraava	Tahmea, mahd. likaava
Kohteet	<ul style="list-style-type: none"> - puutarhakalusteet - leikkipaikkavälineet - ulkoverhous - ovat ja ikkunat - pyöreät tolpat sisällä - ulkovajat 	<ul style="list-style-type: none"> - piha-aidat - opaskyltit - terassilattiat - ulkovajat 	<ul style="list-style-type: none"> - meluaidat - riista-aidat
Aineet	<ul style="list-style-type: none"> - modifioidut pellavaöljyt kuten Royal - modifioitu mäntyöljy - vernissa 	<ul style="list-style-type: none"> - pellavaöljy - modifioitu mäntyöljy 	<ul style="list-style-type: none"> - tuore mäntyöljy - rypsiöljy - soijaöljy
Öljyn kulutus	30 kg/m ³	30 kg/m ³	30 kg/m ³
Öljykustannukset	5 — 10 mk / kg 150 — 300 mk/m ³	5 — 10 mk / kg 150 — 300 mk/m ³	4 — 7 mk / kg 120 — 210 mk/m ³

Käytetty öljyn kulutusluku on osoittautunut tehtyjen kuivauskokeiden perusteella pyöreälle, 100 mm halkaisijaiselle pienpuulle sopivaksi mitoitusarvoksi. Kuivattaessa esimerkiksi ohutta pintalautaa tulee varautua suurempaan kulutukseen. Kokeet osoittivat myös, että eri öljyjä imeytyy puuhun eri määriä, joten kuivaustoimintaa suunniteltaessa kannattaa kokeilla vaihtoehtoisten öljyjen imeytymismäärät.

10. Näkemyksiä öljykuivaukseen soveltuvista laitteistoista

Seuraavassa on esitetty näkemyksiä öljykuivausprosessin vaatiman laitteiston ominaisuuksista ja muista huomioitavista seikoista. Toimivuuden, luotettavuuden ja kustannustehokkuuden lisäksi tärkeitä tekijöitä ovat mm. työturvallisuus ja ympäristön suojelu. Lopuksi on esitetty näiden tekijöiden ja tutkimuksessa rakennetun koelaitteiston käytössä saatujen kokemusten perusteella Matti Sereniuksen suunnittelema uusi laitteisto.

Öljykuivauslaitteiston pääosat ovat

- käsittelyallas kansineen
- öljyn varastointisäiliöt
- öljyn siirtopumppu ja -putkisto
- valuma-allas ja öljyn talteenotto
- lämmitysjärjestelmä
- öljyn lämpötilan säätöyksikkö
- puiden käsittelylaitteet
- öljyn puhdistusjärjestelmä ja
- öljyn kierrätyslaitteisto.

Laitteistoratkaisuihin vaikuttaa, minkälaisia puita käsitellään ja miten ne on tarkoituksenmukaisinta laittaa kuivaukseen prosessin muun sujumisen kannalta ja ottaa sieltä pois. Vakolan tutkimuslaitteistossa puut kiinnitetään saranoituun kanteen, ja kun kansi käännetään kiinni, puut painuvat öljyyn. Puiden poisotossa kansi avataan ensin osittain, niin että puut ovat ilmassa ja ylimääräinen öljy valuu pois. Lisäksi puut jähtyvät tällöin ja pinta kuivahtaa.

10.1 Käsittelyallas kansineen

Allas

Laitteiston koon ja muodon määrittävät käsiteltävän tavaran pituus ja määrä. Altaan sisäpituuden tulisi olla ainakin 50 cm tavaran pituutta suurempi, jotta nippujen epätasaisuudet eivät haittaa eikä nipun kohdistaminen altaaseen tule liian hankalaksi. Altaan tulee olla niin korkea, että puiden upottamisen jälkeen öljyn pinnasta yläreunaan on vähintään 0,5 m vapaata tilaa. Puiden lämmentyä veden kiehumapisteeseen syntyy voimakas vesihöyryn aiheuttama kuohunta, mikä johtaa matalassa astiassa ylivuotoon.

Altaan yläreunaan sen ulkopuolelle kannattaa hitsata koko allasta kiertävä kouru, johon mahdollinen ylivuotoöljy valuu. Kourusta öljy on johdettavissa letkulla ylivuoto-säiliöön.

Allasmateriaalin tulee olla ruostumatonta. Öljy suojaa altaan vain siltä osin, kun se on öljyssä. Kansi ja altaan yläosa ovat käsittelyn aikana ja niiden välilläkin kosteita ja korroosiolle alttiita.

Laitte tulee lämpöeristää energiahukan minimoimiseksi ja tehokkaan lämmityksen aikaansaamiseksi. Vakolan laitteiston 5 cm:n eristys tuntuu riittävältä, kun laitetta käytetään vain lämpimänä vuodenaikana. Ympärivuotiseen käyttöön tulevaan laitteistoon suositellaan ainakin 10–15 cm paksua mineraalivillaeristystä.

Kansi

Kansi toimii sekä lämpöhäviöiden vähentäjänä että roiskesuojana käsittelyn aikana. Kannessa tulee olla reilunkokoiset höyrynpistoaukot. Kansi voidaan periaatteessa tehdä niin tiiviiksi, että mahdollinen reunan yli kiehuva öljy ei vuoda ulos. Käytössä tiivisteet saattavat kuitenkin rikkoutua, jolloin öljy pääsee valumaan reunan yli kannen alta. Tällöin ylivuotokouru estää hallitsemattoman valumisen.

Höyrynpistoaukkoihin voidaan laittaa putket, joilla höyry johdetaan lauhduttimen läpi. Tällöin saadaan puusta haihtuvan veden määrä selville ja vesi voidaan johtaa viemäriin. Vesihöyryn mukana tulee jonkin verran myös öljyä. Jos vesi kerätään säiliöön ennen viemäriin laskua, öljy voidaan erottaa pinnalta ja ottaa takaisin prosessiin.

MTT Vakolan laitteen saranoitu kansi, johon käsiteltävät puut kiinnitetään, on osoittautunut pienien puumäärien käsittelyssä hyväksi. Kansi avataan traktorista voimansa saavalla hydraulikalla. Työturvallisuudenkin kannalta järjestelmä on hyvä.

Kansi voidaan tehdä myös niin, että se nostetaan suoraan ylöspäin esimerkiksi hissimekanismin avulla, jossa vastapainot tekevät noston kevyeksi tai ketjutaljojen avulla. Kansi tulee nostaa niin korkealle, ettei se häiritse puiden sisäänpanoa eikä poisottoa. Suuremmissa laitteissa kannen avaukseen on syytä käyttää hydraulisylintereitä. Sylintereiden tarvitsema hydraulikka voidaan ottaa esimerkiksi puunippujen käsittelyyn käytettävästä trukista tai traktorista.

Kannessa voi olla korkeudeltaan säädettävissä olevat paininraudat, jotka pitävät puut öljyn pinnan alla käsittelyn ajan. Mikäli kansi on kevytrakenteinen, tulee puiden aiheuttama noste ottaa huomioon. Kuivan puun tiheyden ollessa 500 kg/m^3 ja öljyn noin 850 kg/m^3 on noste noin 350 kp/m^3 puuta.

10.2 Öljyn varastointisäiliöt

Yksinkertaisinta on varastoida öljyt niiden kuljetusastioissa, esimerkiksi 200 l:n tynnyreissä tai 1 m³:n säiliöissä. Suuremmassa tuotannossa voidaan käyttää isompia, mm. polttoöljyn varastoinnissa käytettyjä säiliöitä.

10.3 Öljyn siirtopumppu ja -putkistot

Aivan pienimuotoisessa tuotannossa öljyjä voidaan siirtää tynnyristä kaatamalla joko suoraan käsittelyaltaaseen tai ensin pienempään astiaan ja sillä altaaseen. Yksi vaihtoehto on käyttää käsikäyttöistä pumppua. Kuitenkin vähänkään laajemmassa tuotannossa on tarkoituksenmukaista käyttää sähkökäyttöisiä öljypumppuja, joilla öljy on helppo siirtää käsittelyaltaaseen ja sieltä tarvittaessa käytetyn öljyn säiliöön. Koska pumppua käytetään normaalisti vain säiliön täyttöön ja tyhjennykseen, sen käyttötuntimäärät ovat varsin pienet.

Pumppua ja putkistomateriaalia valittaessa tulee ottaa huomioon öljyn ominaisuudet, lämpötilataso sekä vesihöyryn ja veden osittainen mukanaolo. Normaalisti ei ole tarvetta siirtää pumpulla kuumaa öljyä, joten tiivisteelle ei aseteta siltä osin erityisvaatimuksia. Tiivisteet täytyy valita kuitenkin syövyttäviä öljyjä kestäviksi. Erittäin hyvin kestävät mm. piikarbiditiivisteet, jotka kestävätkin ainakin 180 °C:n lämpötilan. Ekopine Oy:n jalostamien mäntyöljyjen happoluku, joka kuvaa aineen syövyttävää ominaisuutta on 15–20, kun se raakamäntyöljyllä on peräti 200. Ruostumattomasta teräksestä tehdyt putket ja pumpun osat kestävätkin hyvin kyseeseen tulevia öljyjä. Pallografiittivalurautainenkin pumppu toimii kyseeseen tulevilla öljyillä riittävän hyvin. Pumppua valittaessa tulee ottaa huomioon lisäksi, että esimerkiksi mäntyöljyn voiteluominaisuudet ovat huonot. Esimerkiksi lohkoroottoripumppu ei vaadi pumpattavalta nesteeltä voitelukykyä, ja se voi käydä kuivanakin. Pumppu toimii siten hyvin silloinkin, kun öljyyn lisätään väripigmentejä. Yksi pumppuvaihtoehto on paineilmatoiminen kalvopumppu. Se voi käydä myös tyhjänä ja sietää hiovia aineosia, kuten pigmenttejä.

VTT:n laitteistoon, jossa öljy lämmitetään erillisessä säiliössä ja kierrätetään pumpulla sieltä käsittelysylinteriin, valittiin lohkoroottoripumppu. Siinä on piikarbiditiivisteet, joiden ansiosta laitteistolla voidaan käsitellä tavanomaista kuumempia (180 °C) öljyjä.

Öljyn siirtämiseen tynnyristä tai muusta säiliöstä soveltuvat erinomaisesti myös nk. tynnyripumput. Ne ovat joko ruuvipumppuja tai keskipakoispumppuja. Ne ovat hinnaltaan edullisia: ensinmainitut noin 6 000–7 000 mk ja jälkimmäiset 4 000–5 000 mk.

Lohkoroottoripumppujen hinnat ovat 13 000–18 000 mk ja erikoistiivisteiden kanssa noin 2 000 mk kalliimmat.

Mikäli käytettävissä on paineilmaa, ovat yhtenä vaihtoehtona paineilmakäyttöiset kalvopumput. Ne sopivat mm. viskoottisten ja pigmentoitujen öljyjen käsittelyyn. Kalvopumpun saa myös tynnyripumppuversiona.

Keskipakopumppu soveltuu öljyn siirtoon ja kierrätykseen, mutta se ei pysty imemään öljyä esim. kuljetussäiliöstä.

10.4 Valuma-allas ja öljyn talteenotto

Laitteiston alla on syytä olla valuma-allas, johon käsittelyssä eri syistä tippuva ja vuotava öljy kerääntyy. Valuma-altaassa voi olla kallistus ja öljyn valutushana. Höyryn mukana kulkeutuvan öljyn talteenotto on esitetty kohdassa 9.1. Koska kyseessä ovat kasvipohjaiset luonnossa hajoavat öljyt, ei varsinaisia turva-altaita tarvita.

10.5 Lämmitysjärjestelmä

Öljyn lämmitys on yksinkertaisinta hoitaa altaan pohjalla olevilla sähkövastuksilla. Tiivistysongelmilta vältytään, jos altaan pohjalla on putket, joihin sähkövastukset voidaan ulkopuolelta asentaa. Putkille, joihin vastukset sijoitetaan, on syytä varata tilaa lämpölaajenemista varten, jotta vältytään vastusten tai laitteiston säiliön repeämiseltä. Tämä periaate on toiminut hyvin Vakolassa.

Mikäli käytettävissä on korkeapaineista höyryä, kannattaa lämmitys tehdä altaassa kiertävällä höyryputkistolla. Muussa tapauksessa lämmön tuotto muutoin kuin sähköllä aiheuttaa merkittävät investointikustannukset.

10.6 Öljyn lämpötilan säätö

Lämpötilan säätöön soveltuu kohtuullisen hyvin aivan yksinkertainen säädin, joka kytkee lämmityksen päälle, kun lämpötila on tietyn määrän (esim. 5 °C) alle tavoitearvon. Lämmitys loppuu, kun tavoitearvo on saavutettu. Mikäli lämmityselementteihin varautuu paljon lämpöä, nousee öljyn lämpötila vielä virran katkaisun jälkeenkin. Tarkempaan säätötulokseen päästään käyttämällä PID-säätöistä yksikkösäädintä, joka saadaan automaattisesti generoimaan sopivat PID-arvot. Säädin on yhtä

helppokäyttöinen kuin perussäädinkin. Riittää, kun siihen laitetaan kulloinkin haluttu öljyn lämpötila. Lämpötila-anturi voi olla termoelementtilanka tai Pt-100 anturi.

10.7 Puiden käsittelylaitteet

Puiden käsittelyratkaisut riippuvat tuotantomääristä ja olemassa olevasta konekannasta. Maatilakäytössä, jossa puita käsitellään muutenkin traktorilla, sillä voidaan hoitaa myös altaan täyttö ja tyhjennys. Puut sidotaan esimerkiksi vajereilla tai ketjuilla sopivan kokoiseen nippuun. Nippu siirretään vajereista tai ketjuista traktorin haarukkaan kiinnitettyihin koukkuihin ripustettuna altaaseen ja vastaavasti altaasta pois. Käsitelystä puusta valuu pois nostettaessa öljyä. Kuormaa voidaan pitää valumisen ajan altaan yläpuolella. Menettely sitoo kuitenkin tarpeettomasti traktorin ja myös kuivauslaitteiston kapasiteettia. Altaan viereen kannattaa rakentaa jäähdytysteline, jonka päälle nippu lasketaan valumaan ja jäähtymään. Telineen alla tulee olla valuma-allas, josta tippuva öljy voidaan edelleen valuttaa keräyssäiliöön. Sieltä se voidaan taas palauttaa käsittelyaltaaseen. Seuraava käsittelyerä voidaan panna kuivumaan heti, kun edellinen on siirretty jäähtymään.

10.8 Öljyn puhdistusjärjestelmä

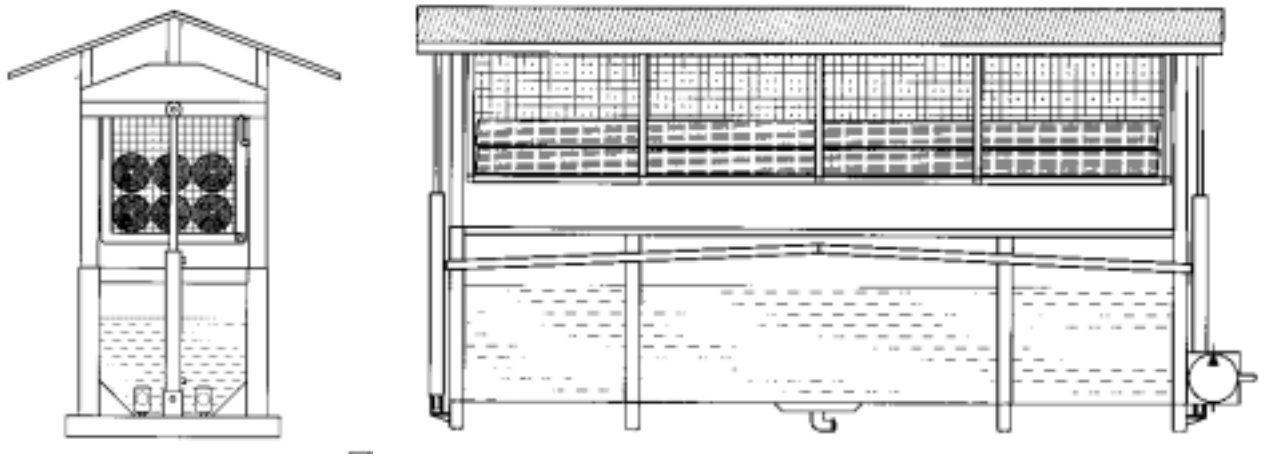
Yksinkertaisimmillaan öljyn puhdistus toimii niin, että öljy pumpataan altaasta säiliöihin ja allas puhdistetaan sinne kertyneestä liasta ja roskista. Altaan pohjalla voi olla syväne, jonne roskat kulkeutuvat ja josta ne on helppo kerätä pois. Altaan pohjalla on hyvä olla myös venttiili, jonka kautta säiliö voidaan myös kokonaan tyhjentää.

10.9 Öljyn kierrätyslaitteisto

Useimmissa tapauksissa erillinen öljyn kierrätysjärjestelmä on tarpeeton. Öljyn lämmityksen ja puusta tulevan vesihöyryn aiheuttaman kuohunnan vuoksi öljy kiertää astiassa varsin hyvin. Tällöin myös lämpötilaerot altaan eri osien välillä pysyvät riittävän pieninä. Mikäli kierto ei ole riittävää rakenneratkaisun takia, sitä voidaan lisätä sähkömoottorikäyttöisillä potkureilla. Tämä voi tulla tarpeelliseksi, jos öljyyn on lisätty helposti pohjalle painuvaa värijauhetta.

10.10 Laitteistoehdotus

Aiemmasta laitteesta saatujen kokemusten perusteella laati Matti Serenius MTT Vakolassa suuremman laitteen suunnitelman. Siinä puunippu siirretään trukilla kehikkoon, joka hissimekanismilla lasketaan kuumaan öljyyn. Käsittelyn jälkeen puut nostetaan hissillä ylös valumaan ja jäähtymään. Puut voivat olla tiiviissä nipussa sillä öljy pääsee kyllä tunkeutumaan kaikkialle. Toisaalta ne voivat olla vapaasti kehikossa. Riittää kun puut painetaan öljypinnan alapuolelle. Laitteessa on verkkokehikko, jotta myös pieniä kappaleita voidaan laittaa mukaan. Lämmitys tapahtuu sähköllä. Kuvassa 10 on esitetty laitteen periaatekuva.



Kuva 10. Periaatekuva öljykuivaukseen soveltuvasta laitteistosta.

Öljyn täyttö ja tyhjennys tapahtuu pumpulla (tuotto yli 100 l/min). Puhdistusta varten laitteessa on myös pohjapropu. Laitteen reunoilla kiertävät kuohuntakourut, joihin mahdollisesti ylikuohuva öljy kerääntyy ja joista johdetaan edelleen keräysastiaan.

Sereniuksen laskelmien mukaan 4 m pitkän tavaran käsittelyyn soveltuvan laitteen materiaalikustannukset ovat noin 22 000 mk. Kokonaiskustannukset töineen ja liikevaihtoveroineen olisivat noin 50 000 mk. Ajatellun pumpun traktorikäytön korvaaminen hydrauliyksiköllä lisää kustannuksia noin 5 000 mk.

10.11 Työturvallisuus ja ympäristönsuojelu

Käytettävät öljyt ovat luonnontuotteita, jotka hajoavat maaperässä. Ne tulee kuitenkin varastoida niin, ettei öljyä pääse luontoon. Jotkut öljyt ovat eri tavoin modifioituja ja sisältävät luonnossa haitallisia ja hajoamattomia komponentteja.

Luonnonöljyjen käsittely ja varastointi ei edellytä erityistä ympäristölupaa. Paras toimintaohje on terve järki. Mahdolliset valumat ympäristöön tulee siivota pois öljyn käyttäjän kustannuksella. Varotoimet öljyn ympäristöön pääsemisen ehkäisemiseksi ovat yleensä paljon halvempia kuin siivouskustannukset vahingon satuttua. Sekä tuoreen että käytetyn öljyn varastointitilan tulisi olla pohjaltaan tiivis ja viemäritön sekä suojattu sadevedeltä. Mahdolliset öljyvalumat tulee olla kerättävissä talteen. Kynnys tai valuma-allas on mitoitettava vähintään suurimman yksittäisen varastointiastian tilavuuden mukaan.

Käytetty, prosessiin kelpaamaton jäteöljy varastoidaan tynnyreissä tai vastaavissa kuljetussäiliöissä. Yksinkertaisinta ja turvallisinta hävittää jäteöljy on lähettää se Ekokem Oy:öön Riihimäelle. Lämmöntuotantoon soveltuvasta jäteöljystä ei Ekokem peri käsittelymaksua.

Tilanne muuttuu oleellisesti, jos öljyä muunnetaan ympäristön kannalta haitallisilla lisäaineilla. Esimerkiksi vernissa on modifioitua pellavaöljyä. Se luokitellaan maaliksi hävittämisen kannalta. Ekokemin käsittelykustannus kyseiselle tuotteelle on suuruusluokkaa 1,80 mk/kg. Minkälainen kustannus öljykuivaustoiminnassa jäteöljyn käsittelystä todellisuudessa tulee, riippuu öljyn likaantumisen- ja vanhenemisnopeudesta. Käsiteltäessä puuta altaassa, jossa on öljyä tilavuudeltaan 3 x puuerän tilavuus ja öljyn kulutuksen ollessa 30 l/m³ puuta on öljyn vaihtuvuus 1 %/kuivaus. Jokaisesta öljystä tulee erikseen määrittää, syntyykö prosessissa varsinaista jäteöljyä vai kuluuko öljyä riittävästi niin, että se pysyy lisäysten ansiosta jatkuvasti prosessikelpoisena.

Öljyjen käsittelyä ja varastointia koskevista asioista vastaavat kuntien kemikaaliviranomaiset. Paloturvallisuusohjeet antaa kunnan palopäällikkö. Työturvallisuutta koskevaa tietoa tulisi olla kunkin öljyn valmistajan tekemässä käyttöturvallisuustiedotteessa.

10.12 Paloturvallisuuden huomioiminen

Luonnonöljyt voidaan luokitella "muiksi palaviksi nesteiksi", joiden leimahduspiste on yli 100 °C. Esimerkiksi Arizona Chemicalsin käyttöturvallisuustiedotteen mukaan yrityksen mäntyöljyn leimahduspiste on yli 200 °C. Mikäli öljyjä modifioidaan sellaisilla lisäaineilla, jotka muuttavat niiden palavan nesteen luokitusta, tulee vastaavasti soveltaa kyseeseen tulevia tiukempia ohjeita. Seuraavassa on lyhyesti esitetty joitakin näkökohtia varasto- ja käsittelytiloista. Öljykuivaustoimintaa suunniteltaessa kannattaa mahdollisimman varhain olla yhteydessä kunnan palo- ja rakennusviranomaisiin, jotta tilat tulevat kerralla oikeaoppisiksi.

Varastotilan seinien ja katon tulee olla materiaaliltaan palon syttymis-/levittämislouokituksestaan 1/1. Lattian tulee olla palamatonta materiaalia. Tilassa saa säilyttää öljyä lattiapinta-alaa kohden korkeintaan 500 kg/m². Varastotilassa öljyä ei saa käsitellä. Varastotilassa tulee olla vähintään 10 cm korkea kynnyks tai allastus niin, että suurin säiliötilavuus mahtuu siihen. Mikäli tilassa on viemärointi, tulee siinä olla öljynerottimet. Varastotilalla tulee olla oma erillinen ilmanvaihto vesikaton yläpuolelle. Ilmanvaihdon tulee olla 1,5 x / h.

Öljyjen käsittelytilassa tulee olla koneellinen poisto, ja ilmanvaihdon määrän tulee olla väh. 6 x / h. Laitteistossa tulee olla hätäsulkimet. Seiniä, lattiaa ja kattoa koskevat samat paloluokitukset kuin varastotilaakin. Minimivaatimus sammutuskalustolle on 1 kpl 6 kg:n jauhesammutinta. Tila täytyy merkitä varoitusmerkillä "avotulen teko ja tupakointi kielletty".

Standardissa SFS 3350 on esitetty palavan nesteen varasto- ja käsittelypaikkaa koskevat vaatimukset. Standardissa SFS 3357 on esitetty sammutuskalustoa koskevat määräykset suurten määrien käsittelyyn (yli 200 m³). Rakennusmääräyskokoelmassa E2 kerrotaan tuotanto- ja varastorakennusten palomääräyksistä. E9 koskee kattilahuoneita.

11. Päätelmät ja suositukset

Etenkin pyöreän pieniläpimittaisen puun kuivaus kuumassa öljyssä onnistui hyvin. Menetelmällä pystytään vähentämään halkeilua merkittävästi ilma-kuivaukseen verrattuna.

Menetelmä soveltuu kohteisiin, joissa puu voidaan työstää pinnaltaan loppukäyttöön soveltuvaksi jo ennen kuivausta. Puun työstö öljykuivauksen jälkeen poistaa nimittäin puuta parhaiten suojaavan kerroksen ja paljastaa kohtia, joihin mahdollisesti käytetty väri ei ole tunkeutunut. Sen sijaan pinnan kevyt hionta tai harjaus on eduksi, paitsi silloin, kun käytetty väri jää prosessissa vain puun pinnalle ja poistuu siitä kevyelläkin käsittelyllä.

Menetelmä soveltuu tuotteille, joissa kuivausmuodonmuutokset eivät haittaa käytössä. Kuivumiskutistuma ja sen epätasaisuus eivät mahdollista suurta mittatarkkuutta edellyttävien tuotteiden tai komponenttien kuivausta. Kieroutuminen ei ole haitta pyöreässä puussa. Sen sijaan sahatavaran kieroutuminen tulee samalla tavoin näkyviin kuin muissakin kuivausmenetelmissä. Mikäli muodonmuutoksia ja huonoa mittatarkkuutta ei voida hyväksyä, on vaihtoehtona öljykäsittely perinteisen kuivauksen jälkeen.

Kuivausprosessi on yksinkertainen toteuttaa sekä teollisesti että esim. maatalousyrityksessä. Siten ensiharvennuspuista sorvatut ja öljyssä kuivatut tolpat soveltuvat erinomaisesti täydentämään maatalayrityksen nykyistä toimintaa ja tuotevalikoimaa. Teollisessa mittakaavassa öljykyllästys voi täydentää kyllästämöiden perinteistä tuotevalikoimaa. Myös puutuotteita valmistaville yrityksille öljykäsittely on perinteisen pintakäsittelyn mahdollinen vaihtoehto.

Jatkohankkeissa tulisi kehittää öljyjä nykyistä nopeammin kuivuviksi ja tahraamattomammiksi. Menetelmän edistämiseksi on avainasemassa demonstraatio-kohteiden toteuttaminen. Tuotantoprosessia tulee kehittää sekä maatalan sivuelinkeinotoimintaan että teolliseen mittakaavaan.

12. Yhteenveto

Projektissa tutkittiin puun kuivausta ja värjäystä kuumassa kasviöljyssä. Kuivattava materiaali oli etupäässä pienläpimittaista sorvattua ensiharvennuspuuta. Lisäksi tutkittiin sahatavaran kuivausta ja myöskin kuivan puun öljykäsittelyä.

Tutkimuksessa käytettiin MTT Vakolassa kasvatetun rypsin ja pellavan siemenistä puristetuttuja öljyjä sekä erilaisia mäntyöljyjä, jotka olivat pääasiassa Ekopine Oy:n jalostamia. Värjäyskokeissa öljyyn sekoitettiin eri valmistajien öljyliukoisia värejä.

VTT Rakennustekniikassa etsittiin kokeellisesti öljykuivaukseen soveltuvat kuivauskaavat. Käyttökelpoisimmaksi menettelyksi osoittautui tuoreelle sorvatulle ensiharvennuspuulle upottaminen suoraan noin 130 °C:n lämpöiseen öljyyn. Tässä lämpötilassa puun pintahalkeilu on vähäistä. Lisäksi pienet halkeamat sulkeutuvat, kun puun pinta kuivauksen jälkeen kostuu normaalioloissa. Sisähalkeilua esiintyy, mutta se on kohtuullisen vähäistä eikä haitallista, mikäli puu käytetään kokonaisena loppukohteessaan. Kuivattaessa puuta korkeammissa lämpötiloissa sisähalkeilun määrä lisääntyy.

Öljykuivaus poikkeaa ilmalla tapahtuvasta kuivauksesta siinä, että puu kuivuu hyvin hitaasti öljyn lämpötilan ollessa alle 100 °C. Öljyn hydrostaattinen paine vastustaa vesihöyryn kulkeutumista pois puusta öljyn läpi.

Osa puista kuivattiin VTT:ssä alipaineessa. Menetelmän suurin etu oli puun värin pysyminen vaaleana. Mikäli vaalea väri ei ole välttämätön, on kuivaus normaalissa paineessa suositeltavaa laitteistojen yksinkertaisuuden ja edullisen hinnan vuoksi. Etenkin maatalousyrityksen käyttöön pienet investoinnit ja mahdollisuus valmistaa itse osa laitteistoista on eduksi.

MTT Vakolassa suunniteltiin ja rakennettiin 2 m pitkien puiden kuivaukseen soveltuva koelaitteisto. Sillä kuivattiin kaikilla projektissa mukana olleilla öljyillä pääasiassa halkaisijaltaan 100 mm olevaa sorvattua ensiharvennusmäntyä ja -kuusta. Jonkin verran kuivattiin myös 150 mm paksua puuta. Lisäksi kuivattiin 22 mm paksua viittakylteiksi työstettyä lautaa sekä öljykäsiteltiin kuivaa 22 mm:n lautaa ja Lappset Oy:n leikki-paikkojen runkotolppia.

Ohuet, 100 mm paksut puut kuivuivat 127 °C:n lämpöisessä öljyssä 4–7 %:iin 24 tunnissa. Paksummat, läpimitaltaan 150 mm:n puut saavuttivat saman kosteuden 48 tunnin kuivauksella. Näin alhaiseen kosteuteen kuivattaessa kosteuden vaihtelu jäi pieneksi. Nopeassa kuivauksessa puiden ominaisuuksien vaihtelu aiheuttaa suuria eroja kuivumisnopeuteen. Jos puut halutaan jättää kuivauksessa yli 10 %:n keskikosteuteen,

jotkut ovat hyvin kuivia ja jonkun puun kosteus voi olla 15–20 %. Mikäli tästä vaihtelusta ei ole haittaa, kuten esim. piharakenteiden tolpissa, kuivausaikaa voidaan selvästi lyhentää.

Öljyn imeytyminen puuhun vaihteli paljon etenkin puun ominaisuuksien vaihtelujen mukaan. Myös eri öljyjen imeytymisominaisuuksissa oli eroja. Öljy imeytyy pääosin pintapuuhun. Suurin osa öljystä on 10 mm paksulla vyöhykkeellä pinnasta lukien. Seuraavassa 10 mm:n vyöhykkeessä öljyä on varsin vähän. Menetelmän taloudellisuus-arvioihin käytettiin kulutusta 30 kg/m^3 laskettuna koko puumäärälle.

Kuivausprosessi muuttaa öljyn ominaisuuksia. Aivan tuoreella öljyllä kuivattujen puiden pinta kuivui huomattavasti nopeammin kuin jonkin aikaa käytössä olleella öljyllä käsiteltäessä. Öljyt hapettuvat ja modifioituvat lämmön ja ilman tai vesihöyryn vaikutuksesta. Lisäksi puusta irtoavat aineet, lähinnä pihka saattavat osaltaan muuttaa öljyn ominaisuuksia. Öljy myös tummuu käytössä. Etenkin väriltään tasalaatuinen puutuote edellyttää, että prosessiin lisätään uutta öljyä sitä mukaa, kun sitä kuluu. Myös käsittelyajan tulisi olla yhtä pitkä eri kerroilla, jotta eri puuerien väri olisi likimain samanlainen.

Lopputuotteen haluttu väri saadaan aikaan öljyn sopivalla pigmentoinnilla, lämpötilatasolla ja käsittelyn kestolla. Suurin osa käytetyistä väriaineista ei juurikaan imeytynyt puun sisään, vaan värjäsi vain välittömän pinnan. Öljyn mukana puuhun tunkeutuneet väriaineet aiheuttivat lopputuotteeseen kirjavuutta, koska puu imi väriä eri kohtiin eri tavalla. Sitä vastoin öljyyn sekoitettu puuhun tunkeutumaton oksidipasta muodosti väriltään tasaisen pinnan. Lopputulos näytti maalatun puun pinnalta.

Osa käytetyistä öljyistä kuivui käsittelyn jälkeen erittäin hitaasti. Tahraamattoman lopputuotteen aikaansaaminen edellyttää nopeasti kuivuvaa öljyä. Esimerkiksi vernissa on hyvä esimerkki modifioidusta pellavaöljystä. Väriin pysyminen puun pinnalla edellyttää myös pigmentin sitovan kalvon muodostumista. Kalvo aiheuttaa kuitenkin ongelmia, jos puuhun on imeytynyt paljon öljyä, joka esim. lämmön vaikutuksesta käytössä pyrkii puristumaan ulos puusta ennen, kuin se on riittävästi kuivunut. Öljyn kuivuminen puun sisällä on paljon hitaampaa kuin pinnalla, koska kuivuminen edellyttää valon ja hapen läsnäoloa.

Säärasituskokeessa eri öljyillä kuivatuista puista tehdyt aidat menestyivät halkeilun suhteen hyvin. Kuivauksessa syntyneet halkeamat eivät laajentuneet vuoden säärasituksessa. Vertailupuissa jo kuivauksen jälkeen olleet leveät halkeamat pysyivät leveinä. Tuoreella öljyllä kuivatut puut olivat selvästi ongelmallisempia kuin pidempään käytössä olleella öljyllä kuivatut. Yhdellä tuoreella mäntyöljyllä kuivattu puu jäi pinnaltaan siirappimaiseksi, eikä tahmeus hävinnyt ensimmäisen seurantavuoden aikana. Toinen mäntyöljy muodosti puun pinnalle kovan, vaalean ja kiteisen kalvon.

Joitakin kertoja kuivausaltaassa kuumennettuna kumpikin öljy kuivui hyvin ja jätti puuhun kuivan ja tasaisen pinnan. Pellavaöljyssä kuivatut puut harmaantuivat ulkona tasaisesti, mikä vastasi pitkälti käsittelemättömän puun pintaa, mutta halkeilemattomampana. Oksidipastalla värjätyllä vernissalla kuivatun puun pinta rakkuloitui osittain, kun puun sisällä ollut kuivumaton aine tuli ulkona pintaan auringon lämmön vaikutuksesta.

Lahonkestosta ei vuoden säärasituksen perusteella voi tehdä juurikaan johtopäätöksiä. Käsittelemättömissä vertailupuissa oli kahdessa neljästä lievää lahoa maan pinnan alla olevalla osuudella. Kaikki öljykuivatut puut olivat täysin kunnossa.

Auringon valo vaikuttaa öljykuivattuihin puihin. Varjossa olleet pinnat jäivät vaaleammiksi eivätkä harmaantuneet siten kuin auringon puolella olleet.

Öljykuivattua puuta ei kannata käsittelyn jälkeen työstää, jotta suojaava pintakerros säilyisi. Näin ollen öljykuivaus ei sovellu tuotteille, joilta vaaditaan hyvää mittatarkkuutta. Kutistumista on vaikea tarkkaan ennakoida, ja se vaihtelee varsin paljon.

Kuivattua puuta voidaan öljykäsittellä esimerkiksi 110 °C:n lämpötilassa pari tuntia. Tällöin puu ei vielä paljoa kuivu, mutta imee suojaavan öljykerroksen. Metsähallituksen Liesjärven kenttäkokeessa vuoden olleet koeviitat ovat säilyneet hyvin. Osa viitoista on tuoreesta kuivattuja, osa kuivana käsiteltyjä.

Sorvatun puun öljykuivauskustannukset riippuvat öljynkulutuksesta, työ- ja laitekustannuksista sekä laitekustannuksista. Keskimääräiseksi kuivauskustannukseksi arvioitiin 1 000–1 200 mk/m³ pienen mittakaavan tuotannossa (100 m³/a). Aiemmassa projektissa on arvioitu pyöreäksi sorvatun tolpan kokonaiskustannuksiksi 1 300 mk/m³. Teollisessa mittakaavassa puita sorvattaessa on kuivaamattoman sorvatun tangon hinta noin 750 mk/m³. Kuivauskustannusten voidaan arvioida olevan 400–500 mk/m³. Tarkat kustannuslaskelmat on tehtävä tapauskohtaisesti.

Öljykuivaus on tehokas tapa tuottaa yhdessä prosessivaiheessa sorvatusta tolpasta osia tuotteisiin ja rakenteisiin, jotka eivät tule suoraan maakosketukseen. Myös kuivattujen ja valmiiksi työstettyjen puutuotteiden käsittelyllä kuumassa öljyssä voidaan tuottaa ulkokäyttöön hyvin soveltuvaa materiaalia. Markkinoilla on tällä hetkellä prosessiin hyvin soveltuvia öljyjä, mm. pellavapohjainen Royal-öljy ja projektin kuluessa Ekopine Oy:n jatkokehittämät mäntyöljyt. Kehitystyötä tulisi jatkaa edelleen mm. öljyjen kuivumisen nopeuttamiseksi ja pinnan saamiseksi täysin tahraamattomaksi.

Lähdeluettelo

Breyne, S. 1999. Das Royal-Verfahren, Holzschutz, Dimensionsstabilisierung, Hydrofobierung und Farbgebung. Royal-prosessin esitemateriaalia, Dr. Wolman GmbH, Sinzheim. 4 s.

Bystedt, T. 1988. Hager K-processen - ett nytt system för torkning av impregnerat trä. Torkning av imregnerat trä: Stockholm. Svenska Träskyddsinstitutet, Meddelanden Nr 160. S. 90–97.

Esping, B. 1996. Trätorkning 1b, praktisk torkning. Stockholm: Trätekn. Trätekin julkaisu nro 9610079. S. 397.

Kollmann, F. 1955. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, zweiter Band, Springer-Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg. S. 356–359.

Paajanen, Leena, Koskela, Kyösti & Viitaniemi, Pertti. 1999. Puun kyllästäminen mäntyöljyn ja maleiinihappoanhydridin seoksella. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 75 s. (VTT Julkaisuja–Publikationer 836) ISBN 951-38-5012-9.

Rosenkilde, A. & Arfvidsson, J. 1997. Measuring and Evaluation of Moisture Transport Coefficients During Drying of Wood. *Holzforschung* 51 (1997), 4, s. 372–380.

Skovmand, E. 2000. Oljetorkning av impregnerad trä (IWT / Injecta Osmose Oljetorkning). Pohjoismaiset puunsuojapäivät 9. - 11. 8. 2000, Nordiska Träskyddsrådet. Visby.

Sailer, M., Rapp, A. O. & Leithoff, H. 2000a. Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. Annual meeting of IRG 14-19-May 2000, Kona, Hawaii.

Sailer, M., Rapp, A. O., Leithoff, H. & Peek, R.-D. 2000b. Vergütung von Holz durch Anwendung einer Öl-Hitzebehandlung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 58 (2000) 1/2, s. 15–22.

Liite A: Säätuskokeet VTT:ssä

Havainnot sääätuskokeen puista. 21.6.2000 sekä 14.9.2000 tehdyt lisähavainnot.
Puut laitettiin kentälle 24.8.1999.

<p>1. Kuusi käsittelemätön</p> <p>Puu on tasaisesti harmaantunut, Leveitä halkeamia 1–2 kpl / puu, <i>lisäksi minihalkeilua</i></p>	<p>2. Mänty käsittelemätön</p> <p>Tolpassa leveä halkeama, ylävaakapuu OK, <i>tullut minihalkeilua</i>, alavaakapuussa n. 2 mm leveä halkeama</p>
<p>3. Mänty, rypsiöljy, MR4 tolppa, MR6 vaaka</p> <p>Puut ehjät, vain minihalkeamia. Pinnassa hyvin tummaa "plakkia". Pinta oli kuiva <i>paitsi ylävaakapuun alapinta oli tahmea, pihkaa?</i></p>	<p>4. Mänty, rypsiöljy, MR1 tolppa, MR6 vaaka</p> <p>Ylävaaka: pinta tahmainen <i>roskaantunut</i>, Alavaaka: kuiva <i>tullut tahmeaksi + roskaantunut</i></p> <p>Ei halkeilua</p>
<p>5. Mänty, pellavaöljy, MP2 tolppa, MP22 vaaka</p> <p>Kuiva, minihalkeilua vähän, "luonnollisesti" harmaantunut, <i>Paljon minihalkeilua</i></p>	<p>6. Kuusi, pellavaöljy, KP52 tolppa, PK101 vaaka</p> <p>Kuiva, vähän minihalkeilua, "luonnollisesti" harmaantunut</p>
<p>7. Kuusi, rypsiöljy, 3RK tolppa</p> <p>Plakkia, tahmeita juovia, ei halkeilua, <i>tumma tarttunut roskaa</i></p>	<p>8. Kuusi, rypsiöljy, RK9 tolppa, K4 vaaka</p> <p>Tahmea, <i>tumman</i> harmaaksi hapettunut, vähän minihalkeilua</p>
<p>9. Mänty, mäntyöljy PS 526, M61 tolppa, M32 vaaka</p> <p>Hyvin tahmea, siirappipinta, ylävaakapuu oli alapuolelta kuiva, ei halkeilua</p> <p><i>Tarttunut paljon roskaa</i></p>	<p>10. Mänty, mäntyöljy PS 510, M11 tolppa, M31 vaaka</p> <p>Tahmea, harmaaksi hapettunut, ei halkeilua</p> <p><i>Ei enää tahmea. Hometta + muuta "plakkia"</i></p>
<p>11. Kuusi, mäntyöljy PS 526, MK81 tolppa, K82 vaaka</p> <p>Oksakohdat tahmeita ja valuneet, ei halkeilua</p> <p><i>Oksakohdat kuivuneita ja kirkaspintaisia</i></p>	<p>12. Kuusi, mäntyöljy PS 510, MK11 tolppa, K51 vaaka</p> <p>Kuiva, pölypintainen, <i>hometta + hapettunutta öljyä. Käteen jää jauhomainen tuntu.</i></p>

1. Käsittelemättömät: vasemmalla mänty ja oikealla kuusi



2. Mänty ja rypsiöljy



mänty + rypsiöljy



oikean puolen aita takaa

3. Vasemmalla mänty + pellavaöljy, oikealla kuusi + pellavaöljy



pientä pintahalkeilua

4. Kuusi + rypsiöljy



5. Vasemmalla mänty + mäntyöljy PS 526, oikealla mänty + mäntyöljy PS 510



mänty + mäntyöljy

PS526



mänty + mäntyöljy

PS510

6. Vasemmalla kuusi + mäntyöljy PS 526, oikealla kuusi + mäntyöljy PS 510



Liite B: Viittakokeet Liesjärvellä

Metsähallitus Luontorakennetiimi / Heikki Iisalo

Päivitetty:

2.10.2000

VIITTAKOE 1999

(Eri tavoin käsiteltyjen puisten viittojen kestävyyskoe maasto-olosuhteissa)

Viittakoetta varten työstettävä materiaali

Käsittely	Viitan tekstit ja n:o	Toistot= kpl	Viitan tekstit ja n:o	Toistot kpl	pystysajankohta ja -paikka
Pintakäsittely	Puulaji: Mänty		Puulaji: Kuusi		
Käsitlemätön	VIITTAKOE -99 100	2	VIITTAKOE -99 200	2	23.8.00 L
Terva-pellavaöljykäs.*	VIITTAKOE -99 101	2	VIITTAKOE -99 201	2	23.8.00 L
Mäntyöljy n:o 547* pintakäsit	VIITTAKOE -99 102	2	VIITTAKOE -99 202	2	23.8.00 L
Mäntyöljy n:o 551* pintakäsit	VIITTAKOE -99 103	2	VIITTAKOE -99 203	2	23.8.00 L
Mäntyöljykyllästys n:o 593*	VIITTAKOE -99 104	2	VIITTAKOE -99 204	2	23.8.00 L
Mäntyöljykyllästys n:o 542*	VIITTAKOE -99 105	2	VIITTAKOE -99 205	2	23.8.00 L
		12		12	
Öljykeitettymärästä					
pellavaöljy	VIITTAKOE -99 111	2	VIITTAKOE -99 211	2	12.10.99 L
rypsiöljy	VIITTAKOE -99 112	2	VIITTAKOE -99 212	2	12.10.99 L
Mäntyöljykyllästys n:o 510	VIITTAKOE -99 113	2	VIITTAKOE -99 213	2	12.10.99 L
Mäntyöljykyllästys n:o 526	VIITTAKOE -99 114	2	VIITTAKOE -99 214	2	12.10.99 L
		8		8	
Öljykeitettykuivasta					
pellavaöljy	VIITTAKOE -99 121	2	VIITTAKOE -99 221	2	12.10.99 L
rypsiöljy	VIITTAKOE -99 122	2	VIITTAKOE -99 222	2	12.10.99 L
Mäntyöljykyllästys n:o 510	VIITTAKOE -99 123	2	VIITTAKOE -99 223	2	12.10.99 L
Mäntyöljykyllästys n:o 526	VIITTAKOE -99 124	2	VIITTAKOE -99 224	2	12.10.99 L
		8		8	
Lämpökäsittelypuu	käsittelyaste 220°C, materiaalin paksuus mä n. 25mm, ku n. 22 mm				
Pintakäsitlemätön	VIITTAKOE -99 130	2	VIITTAKOE -99 230	2	23.8.00 L
Vernissakäsittely	VIITTAKOE -99 131	2	VIITTAKOE -99 231	2	23.8.00 L
Mäntyöljy n:o 547* pintakäsit	VIITTAKOE -99 132	2	VIITTAKOE -99 232	2	23.8.00 L
Mäntyöljy n:o 551* pintakäsit	VIITTAKOE -99 133	2	VIITTAKOE -99 233	2	23.8.00 L
		8		8	
Lämpökäsittelypuu	käsittelyaste 220°C, materiaalin paksuus mä n. 38mm, ku n. 50 mm				
Pintakäsitlemätön	VIITTAKOE -99 140	2	VIITTAKOE -99 240	2	23.8.00 L
Vernissakäsittely	VIITTAKOE -99 141	2	VIITTAKOE -99 241	2	23.8.00 L
Mäntyöljy n:o 547* pintakäsit	VIITTAKOE -99 142	2	VIITTAKOE -99 242	2	23.8.00 L
Mäntyöljy n:o 551* pintakäsit	VIITTAKOE -99 143	2	VIITTAKOE -99 243	2	23.8.00 L
		8		8	
Lisäksi kokeen kyltit:	MH, LUONTORAKENNETIIMI		Mäntyöljykyllästys n:o 542*		23.8.00 L
Mäntyöljykyllästys n:o 542*	VIITTAKOE -99				
Kylttimateriaali:	n. 38X150X1100 mm mänty, puuöljykäsittely + lämpökäsittely, L=Liesjärven Leppäniitty				

Yhteensä, kpl: **44**

44

88

* Sively tai upotus; pellavaöljyn oltava kuumennettua (vernissaa). Puuöljykäsittelyt (+ainenumeroinnin) tekee Ekopine Oy

Viittojen koko: Normaalkoko = 1"x5"=25x125 mm:n laudasta työstetty. Pituus n. 1000 mm.

Lämpökäsittelystä puusta kokeillaan myös 1½"=38 mm:n materiaalipaksuutta

Kylttien koko: Normaalkoko = 1½"x6"=38x150 mm:n laudasta työstetty. Pituus 1100 mm.

Viittojen työstö rja muun kuin lämpökäsittelyyn puun materiaalin hankinnan hoitaa Movein Marketing Oy Kainuussa

Öljykeitot hoitaa MTT Vakola Vihdissä

Lämpökäsittely rja siihen tarvittavan materiaalin hankinnan hoitaa VTT Rakennustekniikka Espoossa.

Kokeen kenttäjärjestely hoitaa Metsähallituksen Luontorakennetiimi (VTT:n ja VAKOLAn ohjauksessa)

VTT:n lämpökäsittelyyn hankittu materiaali (uunin pit. max 2,4 m -> vastaa 2 viittaa, pituus ~1 m):

Mänty 125x25 mm: 12x2,4 m=28,8 m max

0,09 m³

Mänty 150x38 mm: 12x2,4 m=28,8 m max

0,164 m³

Kuusi 150x22 mm: 12x2,4 m=28,8 m max

0,095 m³

Kuusi 125x50 mm: 12x2,4 m=28,8 m max

0,18 m³

yht.=0,53 m³

Lisäksi leveämpää materiaalia jonkin verran:

Mänty 6x1"=150X25 mm: 2x2,4 m=4,8 m

0,018 m³

Mänty 6X1½"=150X38mm: 1x2,4m

0,014 m³

Kuusi 6x1"=150X22 mm: 2X2,4 m=4,8 m

0,016 m³

Kuusi 6x2"=150X50 mm: 1X2,4 m

0,018 m³

yht.=0,07 m³

Liite B Viittakokeet Liesjärvellä 19.9.2000.









Tekijä(t) Tarvainen, Veikko, Pietilä, Jukka & Serenius, Matti			
Nimeke Puun öljykuivaus, öljykyllästys ja värjäys			
Tiivistelmä Puu kuivuu tehokkaasti, kun se upotetaan lämpötiltaan yli 100 °C:seen öljyyn. Projektissa tutkittiin männyn ja kuusen kuivausta ja värjäystä kuumassa kasviöljyssä. Materiaali oli pääosin pienläpimittaista sorvattua ensiharvennuspuuta. Lisäksi kuivattiin sahatavaraa ja käsiteltiin kuivaa puuta kuumaan öljyyn upottamalla. Tutkittuja öljyjä olivat pellava- ja rypsiöljyt sekä kolme erilaista mäntyöljyä. Värjäyskokeita tehtiin useilla kaupallisilla väriaineilla. VTT:n kokeissa selvitettiin sopivat kuivausolosuhteet. MTT:ssä suunniteltiin ja rakennettiin 2 m pitkien puiden kuivaukseen soveltuva laitteisto, jolla tehtiin suurin osa kuivauksista. Käyttökelpoisimmaksi menettelyksi osoittautui tuoreelle sorvatulle ensiharvennuspuulle upottaminen suoraan noin 130 °C:n lämpöiseen öljyyn. Tässä lämpötilassa puun pintahalkeilu on vähäistä. Lisäksi pienet halkeamat sulkeutuvat, kun puun pinta kostuu kuivauksen jälkeen normaaliolosuhteissa. Sisähalkeilua esiintyy, mutta se on kohtuullisen vähäistä eikä haitallista, mikäli puu käytetään kokonaisena loppukohteessaan. Kuivattaessa puuta korkeammissa lämpötiloissa sisähalkeilun määrä lisääntyy. Osa puista kuivattiin VTT:ssä alipaineessa. Menetelmän suurin etu oli puun värin pysyminen vaaleana. Mikäli vaalea väri ei ole välttämätön, on kuivaus normaalissa paineessa suositeltavaa laitteistojen yksinkertaisuuden ja edullisen hinnan vuoksi. Ohuet, 100 mm paksut pyöreät puut kuivuivat 127 °C:n lämpöisessä öljyssä 4–7 %:iin 24 tunnissa. Paksummat, läpimitaltaan 150 mm puut saavuttivat saman kosteuden 48 tunnin kuivauksella. Nopeassa kuivauksessa puiden ominaisuuksien vaihtelu aiheuttaa suuria eroja kuivumisnopeuteen. Jos puut halutaan jättää kuivauksessa yli 10 % keskikosteuteen, jotkut ovat hyvin kuivia, kun taas joku puu voi olla kosteudeltaan 15–20 %. Mikäli vaihtelusta ei ole haittaa, kuten esim. piharakenteiden tolmissa, kuivusaikaa voidaan selvästi lyhentää. Kuivaa puuta voidaan öljykäsitellä esimerkiksi 110 °C:n lämpötilassa pari tuntia. Tällöin puu ei vielä paljoa kuivu, mutta imee suojaavan öljykerroksen. Öljyn imeytyminen puuhun vaihteli paljon etenkin puun ominaisuuksien mukaan. Myös eri öljyjen imeytymisominaisuuksissa on eroja. Öljy imeytyy pääosin pintapuuhun. Suurin osa öljystä on 10 mm paksulla vyöhykkeellä pinnasta lukien. Seuraavassa 10 mm:n vyöhykkeessä öljyä on vähän. Taloudellisuusravioihin käytettiin kulutusta 30 kg/m ³ laskettuna koko puumäärälle. Lopputuotteen haluttu väri saadaan aikaan öljyn sopivalla pigmentoinnilla, lämpötilatasolla ja käsittelyn kestolla. Osa käytetyistä väriaineista ei imeytynyt puun sisään vaan värjäsi vain pinnan. Väriaineet, jotka tunkeutuvat puun sisään, takaavat värin pysymisen, vaikka pinta käytössä naarmuuntuu. Osa näistä väreistä aiheutti lopputuotteeseen kirjavuutta, koska puu imi väriä eri kohtiin eri tavalla. Sitä vastoin öljyyn sekoitettu, puuhun tunkeutumaton oksidipasta muodosti väriltään tasaisen pinnan. Lopputuloksena puu oli maalatun näköinen. Oleellista on, että väri sitoutuu pinnalle kuivuvaan öljyyn niin, että väri ei tahraa pintaa koskettaessa. Säärasituskokeissa öljykuivatuista puista tehdyt aidat menestyivät halkeilun suhteen hyvin. Kuivaushalkeamat eivät vuoden säärasituksessa laajentuneet. Vertailupuissa jo kuivauksen jälkeen olleet leveät halkeamat pysyivät leveinä. Öljykuivattua puuta ei kannata käsittelyn jälkeen työstää, jotta suojaava pintakerros säilyisi. Öljykuivaus ei sovellu tuotteille, joilta vaaditaan hyvää mittatarkkuutta, koska kuivauskutistumista on vaikea tarkkaan ennakoida ja se vaihtelee varsin paljon. Kuivauskustannukset muodostuvat työstä, lämmitysenergiasta ja puuhun imeytyvästä öljystä sekä laitteiston pääomakustannuksista. Laitteisto on toteutettavissa varsin pienin kustannuksin esim. maatilayrittäjien käyttöön. Keskimääräiseksi kuivauskustannukseksi arvioitiin 1 000–1 200 mk/m ³ pientuotannossa (100 m ³ /a). Aiemmassa projektissa on arvioitu pyöreäksi sorvatun tolpan kokonaiskustannukseksi 1 300 mk/m ³ . Teollisessa mittakaavassa puuta sorvattaessa on kuivaamattoman sorvatun tangon hinta noin 750 mk/m ³ . Kuivauskustannusten voidaan arvioida olevan 400–500 mk/m ³ . Tarkat kustannuslaskelmat on tehtävissä vasta tapauskohtaisesti. Öljykuivaus on tehokas tapa tuottaa yhdessä prosessivaiheessa sorvatusta tolpastä osia tuotteisiin ja rakenteisiin, jotka eivät tule suoraan maakosketukseen. Myös kuivattujen ja valmiiksi työstettyjen puutuotteiden käsittelyllä kuumassa öljyssä saadaan ulkokäyttöön hyvin soveltuvaa materiaalia.			
Avainsanat wood, round timber, drying, hot oil, vegetable oil, coloring, moisture content, pigments, economic evaluation, dyeing, cracking			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Rakennusmateriaalit ja -tuotteet sekä puuteknikka, Puumiehenkuja 2 A, PL 1806, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5800-6 (nid.) 951-38-5801-4 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero R8SU00620	
Julkaisu-aika Maaliskuu 2001	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivu 65 s. + liitt. 9 s.	Hinta B
Projektin nimi Pienläpimittaisen pyöreän puun käyttö rakentamisessa		Toimeksiantaja(t) EU, Teknologian kehittämiskeskus (Tekes)	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	

Published by



Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
Phone internat. +358 9 4561
Fax +358 9 456 4374

Series title, number and
report code of publication

VTT Research Notes 2083
VTT-TIED-2083

Author(s) Tarvainen, Veikko, Pietilä, Jukka & Serenius, Matti			
Title Drying of timber in hot oil			
Abstract Wood dries fast in hot oil. The aim of this project was to study how to dry small diameter pine and spruce timber in vegetable oil and tall oil in order to achieve effective drying and a good drying quality. The effect of colouring wood with dyes or pigments mixed into the drying oil was also studied. The most suitable drying method was immersing small round timber pieces in 130°C hot oil. Only small surface cracking occurs and the cracks disappear when the surface moisture content increases in ambient air after drying. Some inner cracks appeared but this is not a disadvantage if the wood is not machined after drying. Round (D = 100 mm) timber was dried at 127°C for 24 hours to 4–7% moisture content (MC). The time taken was doubled when the diameter was 150 mm. Drying time can be reduced when the target MC is higher but the MC deviation also increases. Immersing conventional dried timber in 110°C hot oil for a couple of hours gives a protective oil treatment without excessive drying of the product. The absorption of oils in wood varied with variations in wood properties. However, oil characteristics also affect the oil absorption. Most of the oil is found in the first outer 10 mm layer under the surface. Average oil content in 100 mm thick poles was 30 kg/m ³ of whole timber. Adding pigments in the drying oil produces timber that looks as if it has been painted. Dyes penetrating deep into the wood affect a deep colouring. However, due to the varying permeability of wood, the colour of the surface and inner parts of the wood is not uniform. The properties of drying oil change in the process. Oxidation and other chemical reactions will occur in oils when heated and exposed to air and water vapour. Furthermore, extractives in the wood modify the oil to some extent. Used oils dry faster and produce a more uniform surface than fresh oils. Oil-dried timber should be used as whole. Milling exposes the untreated surface and diminishes weather resistance. A natural weathering test did not enlarge the small cracks on the surface. When no pigment was used the surface turned grey in exterior use. Drying costs including labour, energy, oil and capital costs in a small-sized production cost 1 000–1 200 FIM/m ³ (~600–700 Euro/m ³). The costs of large-scale production are less than half of those of the small-scale production. Drying in hot oil is an effective method of producing dried, oil-protected and coloured timber in one process for constructions and products that are not in contact with the ground. Also, treating conventional dried wood in hot oil produces timber for various exterior applications.			
Keywords wood, round timber, drying, hot oil, vegetable oil, coloring, moisture content, pigments, economic evaluation, dyeing, cracking			
Activity unit VTT Building and Transport, Building Materials and Products, Wood Technology, Puumiehenkuja 2 A, P.O.Box 1806, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5800-6 (soft back ed.) 951-38-5801-4 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number R8SU00620	
Date March 2001	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 65 p. + app. 9 p.	Price B
Name of project Pieniläpimittaisen pyöreän puun käyttö rakentamisessa		Commissioned by EU, Technology Development Centre of Finland (Tekes)	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	