

Joonas Huovila


PYÖREÄN PUUN
VARASTOIMINEN
VÄHÄHAPPISIIN OLOSUHTEISIIN
Foliovarastointi

Opinnäytetyö
Metsätalouden koulutusohjelma


Maaliskuu 2012



KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 30.1.2012
Tekijä Joonas Huovila	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Metsätalouden koulutusohjelma Metsätalous	
Nimeke Pyöreänpuun varastoiminen vähähappisiin olosuhteisiin – Foliovarastointi		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö käsittelee foliovarastointia, sekä Suomessa käytettäviä pyöreän puun varastointimenetelmiä. Foliovarastoinnissa puut säilötään polyetyleenistä valmistettujen lakanoiden alle ilmatiiviiseen pakettiin. Folioiden reunat suljetaan hitsaamalla ne yhteen rullahitsauskoneella ja hitsauspihdeillä. Ne liimaavat muovisen folion reunat yhteen lämmön vaikutuksesta. Tämän jälkeen varastoitujen puiden omat solut ja paketin sisälle jääneet hyönteiset kuluttavat kaiken hapen paketista. Näin saadaan luotua hapeton ilmasto, jossa voidaan säilyttää puiden hyvä laatu.</p> <p>Foliovarastointi on kehitetty Saksassa ja se on yleistynyt viime vuosina muissa Keski-Euroopan maissa. Ensimmäiset kokeilut varastoinnin onnistumisesta tehtiin 1990-luvun alussa. Menetelmän etuna on varastoida puita ilman vettä, sekä mahdollisuus säilyttää puiden hyvä laatu jopa yli 3 vuotta. Varastoinnin aikana puiden laatua on voitu jopa parantaa, koska halkeamien määrä on pienentynyt. Tämä johtuu folion sisällä vallitsevasta erittäin kosteasta ilmastosta.</p> <p>Foliovarastoinnin kustannukset vaihtelevat välillä 7,5–15 €/m³ ja varastoinnin aikana foliopaketteja pitää tasaisesti tarkastaa, sekä mitata samalla paketin sisällä olevan ilmaston happi- ja hiilidioksidipitoisuudet. Näin pystytään kontrolloimaan varastoinnin onnistumista. Suurin riski varastoinnin aikana on että folio menee rikki ja foliopaketin sisälle pääsee happea. Foliota vaurioittavat tavallisesti eläimet ja tuuli. Foliopaketit ovat olleet alttiita myös vandalismille.</p> <p>Foliovarastointia ei ole käytetty Suomessa ja sen käyttämiseen pitää ostaa lisenssi. Menetelmä pyöreän puun varastoinnista vähähappisiin olosuhteisiin on patentoitu Eurooppa-patentilla (patentti PCT / DE 97/02966 patentin Nro 0946340).</p>		
Asiasanat (avainsanat) Puun varastoiminen, puuaineen vioittajat, folio, hapeton varastointi		
Sivumäärä 31 s.	Kieli Suomi	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn201283784
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Timo Leinonen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin ammattikorkeakoulu	

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis January 30th, 2012
Author Joonas Huovila	Degree programme and option Degree Programme in Forestry	
Name of the bachelor's thesis Preservation of Round Wood in a Non-oxygen Atmosphere: Foil preservation method		
Abstract <p>The thesis deals with a foil preservation method and a traditional round wood storage methods in Finland. In the foil storage method wood is stored under the polyethylene sheets which create an airtight package. The package is closed with welding devices which use high temperature to seal the foil edges together. The oxygen inside the package is consumed by the wood cells and insects. This creates a non-oxygen atmosphere inside the package.</p> <p>The foil preservation method has been invented in Germany and it has become general storage method also in other Middle-European countries. The first experiments of this method were done in early 90s. The advantages of this method are storing wood without water and possibility to maintain a good wood quality over 3 years. The wood quality has even become better because the amount of checks has decreased during the storage. That has happened because there is very high humidity inside the package.</p> <p>The foil storage costs are between 7,5–15 € per cubic meter. During the storage the foil packages must be checked evenly and at the same time the O₂ and CO₂ levels are measured with a gas analyser. This is the only way to control that the foils are undamaged and the storage method is working properly. The biggest risk during the storage is that the foils are damaged. The foils are usually damaged by animals and the wind. Also some vandalism has occurred during the storage.</p> <p>The foil preservation method has not been used in Finland. The licence must be bought for using this method. The method of preservation of fresh wood in a non-oxygen atmosphere is protected by European Patent Institute (patent number PCT / DE 97/02966 patent. Nr 0946340).</p>		
Subject headings, (keywords) Wood storage, wood damagers, foil, storage in a non-oxygen atmosphere		
Pages 31 p.	Language Finnish	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn201283784
Remarks, notes on appendices		
Tutor Timo Leinonen	Bachelor's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences	

SISÄLTÖ

KUVAILULEHDET

1	JOHDANTO	1
2	PUUHUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT VARASTOINNIN AIKANA	2
2.1	Puiden puolustautumismekanismit	2
2.2	Pyöreän puun vioittajat	3
2.3	Halkeamat	3
2.4	Kemiallinen värjäytyminen	4
2.5	Sinistyminen	5
2.6	Lahottajat	5
2.7	Hyönteiset	6
2.8	Bakteerit.....	7
3	PERINTEISET VARASTOINTIMENETELMÄT SUOMESSA	7
3.1	Vesivarastointi	7
3.1.1	Vesivarastoinnin toteutus.....	7
3.1.2	Kustannukset ja hyödyt.....	9
3.2	Kasteluvarastointi	10
3.2.1	Kasteluvarastoinnin toteutus.....	10
3.2.2	Kasteluvarastoinnin soveltuvuus eripuulajeille	10
3.2.3	Kustannukset ja hyödyt.....	11
3.3	Kylmävarastointi.....	12
3.3.1	Kylmävarastoinnin toteutus	12
3.3.2	Menetelmän ongelmat ja monipuolisuus	13
3.3.3	Menetelmän soveltuvuus tukkien varastointiin	14
3.3.4	Kustannukset ja hyödyt.....	14
4	FOLIOVARASTOINTI	15
4.1	Varastointimenetelmän idea	15
4.2	Varastopaikan vaatimukset.....	16
4.3	Foliovaraston rakentaminen.....	17

4.4	Kaasujen määrän mittaaminen.....	21
4.5	Suojakaasujen käyttäminen	22
4.6	Foliovarastoinnin kustannukset	23
4.7	Foliovarastoinnilla saavutettavat hyödyt	24
4.8	Varastointimenetelmän heikkoudet	25
5	POHDINTA	27
	LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

Suomen metsäteollisuus kuluttaa vuosittain paljon puuta tuotannossaan. Kaikki metsäteollisuuden käyttämä raaka-aine varastoidaan joksikin aikaa. Puiden varastointi voi olla pelkästään lyhyt aikaista tien varressa tapahtuvaa varastointia, tai sitten pidempi aikaista varastointia, vaikka tehtaan varastokentällä. Hakkuun jälkeen tienvarteen varastoidun pyöreän puun laatu alkaa heiketä. Silloin puun omat puolustusmekanismit eivät voi enää toimia, oli puun terveydellinen tila kuinka hyvä tahansa ennen hakkuuta. Mitä pidempään puita säilytetään varastossa, sitä suuremmaksi kasvaa riski, että niihin syntyy hyönteisten ja sienien aiheuttamia laatuviikoja. Puiden laadun heikkene- mistä voidaan estää ajoittamalla korjuut talvikaudelle ja kuljettamalla puut mahdollisimman nopeasti metsästä jatkojalostettaviksi. (Maier 2005, 1.)

Puuta täytyy kuitenkin korjata tasaisesti ympäri vuoden, koska metsäteollisuus tarvitsee jatkuvasti tuoretta raaka-ainetta. Korjuun ja kuljetuksen yhteydessä raaka-aineeseen sitoutunut pääoma voi olla huomattava, joten on tärkeää että se voidaan hyödyntää mahdollisimman tarkasti (Kärkkäinen 2005, 16–17). Arvokkaiden puiden säilyttäminen ennen jalostamista onkin hyvä tehdä huolella, jotta niihin sitoutunut pääoma saadaan tehokkaasti hyödynnettyä. Ennen puiden jalostamista on tärkeätä valita oikea varastointimenetelmä. Oikean menetelmän valinnan lisäksi on varastoinnissa onnistumisella myös suuri merkitys puiden laadun säilyttämisessä.

Opinnäytetyössäni käydään läpi puun laatua heikentäviä tekijöitä varastoinnin aikana sekä Suomessa käytettäviä perinteisiä varastointimenetelmiä. Vanhimmat varastointimenetelmät ovat vesi- ja kasteluvarastointi, joita on käytetty puun laadun säilyttämiseen jo vuosikymmeniä. Uusin Suomessa käytössä oleva varastointimenetelmä on ollut kylmävarastointi, jonka avulla on pääasiassa säilytetty raaka-ainetta mekaanisen massan valmistamista varten.

Uusia varastointimenetelmiä ei ole Suomessa onnistuttu kehittämään vaikka joitakin tutkimuksia niiden suhteen onkin tehty. Keski-Euroopassa on yleistynyt viimeisen kymmenen vuoden aikana perinteisistä menetelmistä poikkeava keino puiden pitkäaikaiseen säilyttämiseen. Hapeton varastointimenetelmä on kehitetty Saksassa ja sillä on saatu hyviä tuloksia puiden laadun säilyttämisessä. Menetelmän etuna on ollut mahdollisuus säilöä puita useita vuosia. Lisäksi hapettoman varastoinnin suurin ero Suo-

nessa käytettäviin menetelmiin verrattuna on, että varastointiin ei tarvitse käyttää vettä. Työssäni perehdyn hapettoman varastointimenetelmän toteutukseen ja sillä saatiin tuloksiin. Lisäksi otan kantaa sen käyttömahdollisuuksiin Suomessa.

2 PUUHUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT VARASTOINNIN AIKANA

2.1 Puiden puolustautumismekanismit

Terveet ja elävät puut pystyvät puolustautumaan tehokkaasti tuholaisia ja mekaanisia vioituksia vastaan kasvukautena. Lepokautena puiden puolustuskyky ei ole niin aktiivista, vaikka silloinkin jotkut sienitaudit voivat kasvaa. (Uotila & Kankaanhuhta 2003, 27–28.) Suomessa metsäpuiden kasvukausi alkaa toukokuun lopulla ja päättyy elokuussa (MetINFO, 2011). Havupuilla ensimmäinen puolustautumisreaktio on voimakas pihkaneritys. Puut reagoivat elävän kuoren tai nilan vioituksiin muodostamalla vauriokohtaan uutta solukkoa. Tämä solukko läpäisee huonosti vettä ja patogeenejä. Vioituksen aiheuttajasta riippumatta puolustussolukot kehittyvät samalla periaatteella. Lepokauden aikana tapahtuneeseen vaurioon solukko muodostuu vasta seuraavana kasvukautena, kun taas muuten solukon muodostuminen kestää noin viikon vaurion aiheutumisesta. (Uotila & Kankaanhuhta 2003, 27–28.)

Elävän pintapuun vioitusten ja puun kuolevien alaoksien ympärille muodostuu reaktiovyöhyke. Vyöhyke syntyy pintapuussa olevien elävien tylppysolujen kuollessa, jolloin samalla kohtaan erittyy sienten kasvua estäviä kemikaaleja. Alaoksien ympärille muodostuva reaktiovyöhyke estää lahon leviämisen oksasta suoraan sydänpuuhun. Sydänpuu ei puolustaudu aktiivisesti, koska se on jo kuollutta solukkoa. Sydänpuusolukon ominaisuudet vaihtelevat puulajeittain ja esimerkiksi männyllä sen kemiallinen koostumus on lahottajille epäedullinen. (Uotila & Kankaanhuhta 2003, 28.)

Puiden rakenteelliset ominaisuudet tekevät tuhosisienien leviämisen sivuttais- ja syvyssuunnassa sienille hitaaksi. Tällöin sienirihmasto joutuu hajottamaan puun soluseiniä tai kiertelemään huokoisempien puun osien kautta syvemmäksi puuaineeseen. Pystysuuntainen lahon leviäminen on huomattavasti nopeampaa riippumatta siitä onko sieni nilassa vai puuaineessa. Varsinkin koivut ovat erittäin alttiita pystysuuntaiselle

lahon leviämislle. Kyky puolustautua lahoa vastaan kuitenkin vaihtelee puulajeittain. (Uotila & Kankaanhuhta 2003, 28.)

2.2 Pyöreän puun vioittajat

Puun vikojen määrittely ei ole aivan yksinkertaista. Niiden määrittely sisältää ajatuksen normaalista puusta, joka kelpaa mihin tahansa käyttötarkoitukseen. Tällaisen puun voi löytää luonnosta, mutta määritelmä normaalista puusta on kuitenkin lähempänä teoriaa. Lisäksi normaali puu ei ole samanlainen eri puulajeilla. Vikaisuuden määrittelyyn vaikuttaa suuresti puun käyttötarkoitus. (Kärkkäinen 2007, 256.) Puun käyttäjät määrittelevät tavallisesti heille kelpaavien puiden vikojen määrän ja laadun.

Pyöreätä puuta vahingoittavat hakkuun jälkeen monet tuholaiset. Puuaineen vikojen aiheuttajat voidaan jakaa abioottisiin ja bioottisiin tekijöihin. Abioottisia vikoja ovat halkeamat sekä väriviat. Bioottiset vikojen aiheuttajat voidaan jakaa edelleen hyönteisiin, sieniin ja bakteereihin. (Maier 2005, 2.)

Pyöreän puun viat voidaan puolestaan jakaa käyttötarkoituksesta riippumatta runkovikoihin ja puuaineen vikoihin. Runkovikoja ovat puun kasvun aikana syntyneet viat, kuten lenkous ja mutkat. (Kärkkäinen 2007, 257.) Runkovikoja ei oteta huomioon varastoinnin aikana aiheutuvina vikoina. Varastoinnin aikana vikoja muodostuu ainoastaan puuaineeseen. Puuaineen vikoja käsitellään tässä yleisesti, ilman että niitä on sidottu koskemaan jotakin tiettyä metsäteollisuuden toimialaa. Varastoinnin aikana aiheutuvia vikoja määritellään edempänä koskien havupuita ja koivua, koska ne ovat taloudellisesti merkittävimmät puulajit Suomessa.

2.3 Halkeamat

Halkeamat voidaan luokitella niiden sijainnin, muodon tai aiheuttajan perusteella. Tavallisimpia halkeamia ovat rengashalkeamat, sydänhalkeamat, hiushalkeamat sekä kuivumishalkeamat. Puuaineeseen muodostuu tavallisesti halkeamia kaadon aikana tai sen jälkeen. Halkeamiseen liittyy osittain puun kasvamisen aikana muodostuneet kasvujännitykset. Kasvujännityksiä puissa on rungon pituus ja leveyssuunnassa. Säteen suuntaiset jännitykset ovat heikompia kuin pituussuuntaiset jännitykset. Lehtipuilla jännitykset ovat suuremmat, mikä osittain näkyy koivujen suurempana halkeiluna

kaadon aikana ja heti sen jälkeen. Varastointiaikana kasvujännityksillä voi olla osittain vaikutusta puiden halkeiluun pinossa. Tukkien päiden halkeilua voidaan estää lyömällä niihin rautoja tai laittamalla niiden ympärille pantoja. (Kärkkäinen 2007, 302–305.)

Varastoinnin aikana varsinkin avoimella ja tuulisella paikalla puut alkavat kuivua nopeasti. Kuivumisesta aiheutuva halkeilu on tavallista, jos puita säilytetään varastopaikalla pitkiä aikoja. Halkeamia syntyy puun pintaan, koska kosteustasapaino vaihtelee tukin sisällä voimakkaasti. Tukkien päät ja pintaosat kuivuvat huomattavasti nopeammin kuin tukin sisäosat. Tämä aiheuttaa jännityksiä puun eriosien kesken ja kun ne kasvavat suuremmaksi kuin puuaineen lujuus, niin muodostuu halkeama. Kuivumisesta aiheutuvaa halkeilua voidaan estää kontrolloimalla kuivamista ja toteuttamalla se riittävän hitaasti ja tasaisesti. Halkeamia voi muodostua kuivumisen vuoksi myös puun sisälle. Silloin puun pintaosat ovat kuivaneet liian nopeasti ja puu on sisältä vielä märkä. Kun puun sisäpuoli kuivuu, niin se samalla kutistuu. Nopeammin kuivunut pintaosa kuitenkin aiheuttaa jännitteen myöhemmin kutistuvan osan välille, mikä johtaa sisäisen halkeaman muodostumiseen. (Kärkkäinen 2007, 306–307.)

Halkeamien muodostumien eri puulajien kesken on erittäin vaihtelevaa. Halkeilun määrään vaikuttaa puuaineen biologinen ja kemiallinen rakenne. Ilman kosteuden muutokset aiheuttavat aina kutistumista vähänkin halkeilevilla puulajeilla. (Kärkkäinen 2007, 306–308.) Halkeamat ovat haitallisia puun jatkojalostuksen kannalta, mutta ne edes auttavat myös sinistäjäsiemien tarttumista puuhun (Maier 2005, 2–5).

2.4 Kemiallinen värjäytyminen

Puun väriasiat ovat yleisiä bakteerien ja sienten aiheuttamina, mutta niitä voi muodostua puihin myös kemiallisen reaktion vaikutuksesta tai uuteaineiden värjäytymisenä. Uuteaineista tanniinin aiheuttama värjäytyminen on tavallista varsinkin kuusella. Värimuutos voi ulottua muutamasta millimetristä useita senttimetrejä syvälle puun sisään. Tanniini värjää kuusen pintapuuta varsinkin kun puita varastoidaan pitkään märissä olosuhteissa. Liika kosteus irrottaa kuoresta tanniinin lisäksi muita aineita, jotka voivat aiheuttaa puuaineen tummumista. (Maier 2005, 3, Kärkkäinen 2007, 323.) Aurin-
gonvalo ja hapen vaikutus voivat lisätä tanniinin aiheuttaman värjäytymisen voimakkuutta. (Maier 2005, 3.) Nykyään kuusen kosteuden aiheuttama värjäytyminen on

ongelma lähinnä hiokkeen ja hierteen valmistuksessa, koska väriastian poistaminen kuluttaa enemmän valkaisuaineita. Kärkkäinen toteaa tanniinivian valkaisemisen olevan vaikeampaa kuin muun sinistymän valkaiseminen. (Kärkkäinen 2007, 323.)

2.5 Sinistyminen

Varastoinnin aikana puihin voi iskeytyä sinistäjäsieneä. Ne levittyvät puutavaraan ilmateitse itiöinä tai kulkeutuvat puun pinnoille hyönteisten mukana. Sinistäjäsieneiden lajisto on runsas ja sinistymisen voimakkuus riippuu suuresti sienilajista. (Kasanen 2009, 26–27; Uotila & Kankaanhuhta 2003, 209.) Sienien aiheuttama väriavika on tavallisesti väriltään harmaa tai sininen. Sienten kasvulle optimilämpötila on +25–30 °C, mutta ne voivat kasvaa jopa alle +5 °C lämpötilassa. Sinistymisen on havaittu olevan voimakkaampaa mänyllä kuin kuusella. Tämä voi vaikuttaa kesällä varastoitujen puiden kuljettamisjärjestykseen metsästä käyttöpaikalle. (Kärkkäinen 2007, 321–322.)

Sinistäjäsieneet eivät varsinaisesti pilaa puutavaraa, koska ne käyttävät ravintonaan tavallisesti tärkkelystä ja sokereita. Sienillä ei ole vaikutusta puun mekaanisiin ominaisuuksiin, ainoastaan niiden aiheuttama värihaitta on koettu vikana jalostuksessa. Sinistynyttä puuta voitaisiin hyvin käyttää kohteissa, joissa ei ole merkitystä puun ulkonäöllä. (Kärkkäinen 2007, 321; Kasanen 2009, 26.) Sinistyminen on kuitenkin koettu haittana niin sahateollisuudessa kuin selluteollisuudessa. Tämä johtuu sahatavaran puhtausvaatimuksista sekä sinistymän aiheuttamasta suuremmasta valkaisuainekemikaalien menekistä sellun tuotantoprosessissa. (Kärkkäinen 2007, 321.)

2.6 Lahottajat

Puuainetta lahottavat erilaiset sienet. Laholla tarkoitetaan sienten aiheuttamaa puun kemiallista tai fysikaalista muutosta. (Kärkkäinen 2007, 324.) Lahottajien aiheuttama puumassan häviäminen aiheuttaa tappiota metsäteollisuudelle, jos niiden toimintaa ei yritetä estää. Kärkkäinen (2007, 324) toteaa laboratorio-oloissa tehokkaan lahottajan pystyneen aiheuttamaan yli 50 % puumassan häviämisen puolen vuoden aikana.

Lahottajasieneet jaetaan kolmeen ryhmään: valko-, rusko- ja katkolahottajiin. Valkolahottajat lahottavat yleensä lehtipuita, mutta lahottajia tavataan myös havupuista. Ruskolahottajat ovat taas lähinnä havupuiden lahottajia. Katkolahottajia tavataan lehti- ja

havupuista, mutta niiden lahotusnopeus on huomattavasti hitaampaa verrattuna aikaisemmin mainittuihin lahottajiin. Lisäksi ne voivat menestyä äärimmäisissä olosuhteissa, missä muut lahottajat eivät voi elää. Niitä on tavattu esimerkiksi painekyllästetystä puusta. (Kärkkäinen 2007, 324–326; Kasanen 2009, 21–25; Kurkela 1994, 266–268.)

Lahottaj sienet tarvitsevat kasvaakseen happea, ravinteita ja kosteutta. Lisäksi sienien rihmastot tarvitsevat riittävästi lämpöä kasvamiseen. (Kärkkäinen 2007, 324–325, Kasanen 2009, 21.) Jotkin sienet voivat kasvattaa rihmastoja lämpötilan ollessa lähellä nollaa astetta, mutta nopeinta rihmastojen kasvu on +15–25 °C:n välillä. Lämpötilaan vaikuttamalla voidaan puita varastoida sienien kannalta epäedullisissa olosuhteissa. Lämpötilan ohella myös kosteudella on iso merkitys sienien kasvun kannalta. Liiallinen kosteus puussa on sienien kannalta haitallista, koska tällöin ne eivät saa käyttöönsä riittävästi happea. Kosteuden säätely on lämpötilan ohella toinen keino estää sienien toiminta puussa. Toisaalta sienien laajan lajiston ansiosta lähes jokaiseen kosteusolosuhteeseen löytyy lahottaja, joka voi menestyä kyseisessä olosuhteessa. (Kasanen 2009, 21.)

2.7 Hyönteiset

Hyönteiset, jotka aiheuttavat tuhoja varastoidulle puulle tarvitsevat yleensä lisääntyäkseen tuoretta puuta. Hyönteiset aiheuttavat vikoja kaivamalla keväällä puuhun toukkakäytäviä. Käytävät voivat sijaita kuoren alla tai puuaineessa. Aikuisten hyönteisten puuhun kaivamat emokäytävät eivät varsinaisesti pilaa puuta käyttökelvottomaksi. Sahatavarana puu ei kuitenkaan välttämättä kelpaa enää kaikille käyttäjille, kuten ulkomaille vientiin. Aikuisten mukanaan levittämät sinistäjä sienet ovat puiden käytön kannalta suurempi vika. Hyönteiset levittävät sieniä, koska niiden toukat käyttävät sienten rihmastoja ravintonaan. (Maier 2005, 4; Uotila & Kankaanhuhta 2003, 48–56.)

Hyönteisten aiheuttamia tuhoja voidaan torjua useilla keinoilla. Metsässä olevia varastokasoja voidaan peittää, jotta hyönteiset eivät pääse munimaan puihin. Pidempi aikaisessa varastoinnissa kasoja voidaan kastella, koska liiallinen kosteus haittaa hyönteisten lisääntymistä. Kasoja voidaan mahdollisesti myös myrkyttää torjunta-aineella. (Uotila & Kankaanhuhta 2003, 48–56.)

2.8 Bakteerit

Bakteerit tarvitsevat toimiakseen paljon vettä, koska ne käyttävät sitä liikkumiseen. Puussa on riittävästi vettä kaatotuoreena tai varastoitaessa puita veden avulla. Bakteerien määrä lisääntyy puussa varsinkin jos puita varastoidaan samassa vedessä pitkään, tai jos samaa vettä kierrätetään varastoinnissa jatkuvasti. Ravinteikas vesi edesauttaa bakteerien kasvua puussa, mutta ne tarvitsevat toimiakseen myös sopivan lämpötilan. (Kärkkäinen 2007, 338–339.)

Puussa bakteerien aiheuttamat muutokset ovat hitaita. Ne pystyvät hajottamaan puussa olevia yleisiä aineita, jopa selluloosaa. Hidas selluloosan hajoaminen heikentää pitkäaikaisessa vesivarastoinnissa puun lujuutta 10–15 %. Lisäksi bakteerien aiheuttamat muutokset saattavat vaikuttavat puun jatkokäsittelyyn. Tämä ei kuitenkaan aina ole välttämättä huonoasia, koska esimerkiksi puun kyllästettävyyys paranee. (Kärkkäinen 2007, 338–339.) Kärkkäinen (2007, 338) sanoo bakteerien vaikuttavan sieniin. Bakteerit voivat mahdollistaa joidenkin lahottaja sienien tarttumisen puuhun. Varsinkin katkolahottajien leviämiseen bakteerit voivat olla ratkaisevassa asemassa. Ne voivat puussa hajottaa erilaisia käsittelyaineita, mikä voi mahdollistaa sienten leviämisen käsiteltyyn puuhun. (Kärkkäinen 2007, 338–339.)

3 PERINTEISET VARASTOINTIMENETELMÄT SUOMESSA

3.1 Vesivarastointi

3.1.1 Vesivarastoinnin toteutus

Vesivarastointi on ollut yleinen varastointimenetelmä jo kauan, koska Suomessa on pitkä uittoperinne. Vesivarastoinnin etuna on ollut sen helppous uiton päättyessä ja varastointikustannusten pienuus. Vesivarastointi on yleistä kuusi- ja mäntykuitupuulle sekä koivutukeille, joita uitetaan enemmän tehtaille. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 14.) Suomessa uitettiin vuonna 2009 tehtaille puuta noin 1,2 milj. m³ (Metsäntutkimuslaitos 2010).

Pyöreää puuta varastoidaan maavarastossa ennen vesivarastointia tai uittoa. Varastoinnilla parannetaan niiden uimiskykyä kuivattamalla puuta varastopaikalla, mutta samalla niiden jalostusarvo heikkenee. Maavarastossa varsinkin mäntyihin muodostuu sinistymää ja mahdollisesti kovaa lahoa ennen kuin puut ehditään siirtää vesivarastoon. Suurimmat laatutappiot maavarastointi saattaa aiheuttaa tukeille. Puiden kuivumiseen vaikuttaa suuresti kaatoaika, koska puiden tuorepaino vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Raskainta puu on kasvukauden ulkopuolella. Sään puolesta kuivuminen on tehokkainta loppupalvella ja keväällä, jolloin ilma on kuivaa. (Uittopuun uimiskyky ja laatumuutokset 2005, 3–9.)

Vedessä puiden laadun heikkeneminen hidastuu pinnan alla olevassa osassa, mutta pinnan yläpuolella olevissa puissa se jatkuu. Veden yläpuolella olevia puuta voidaan suojata tuhoilta järjestämällä niille säännöllinen kastelu. Tämä saattaa kuitenkin johtaa puunippujen uppoamiseen varsinkin koivulla, joka on painavampaa kuin havupuut. (Uittopuun uimiskyky ja laatumuutokset 2005, 9.) Nippujen uppoamista on estetty käyttämällä nippujen päällä korkkipuita, jotka ovat muuta puulajia. Korkkipuina on käytetty esimerkiksi haapaa. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 22–23.)

Vesivarastoinnissa veden lämpötilan pitäisi olla alhainen, jotta varastointi olisi mahdollisimman tehokasta. Muutokset puuaineessa käynnistyvät helpommin lämpimässä vedessä. Myös veden puhtaus on tärkeätä, koska puihin voi muodostua likaisessa vedessä värivikaa. Jos vesivarastointia on käytetty useita vuosia samassa paikassa tai jos samaa vettä käytetään uudelleen puiden varastointiin, siihen voi kehittyä oma bakteerikanta. Bakteerit nopeuttavat tukeissa tapahtuvia värimuutoksia varastoinnin aikana. Havutukkeja voidaan varastoida veteen lyhyeksi aikaa (kuva 1). Mäntytukeilla maksimi varastointiaika on 4 viikkoa yli 15 asteisessa vedessä ja kuusitukeilla 6 viikkoa. Pidempi varastointiaika aiheuttaa puuaineessa solumuutoksia ja puuaineen huokoisuus heikkenee. Huokoisuudella on merkitystä puutavaran värjäytymiseen sahauksen jälkeen, esimerkiksi maalaamalla. Koivutukeilla varastoinnilla säilytetään hyvin puiden kosteuspitoisuus ja estetään värivian muodostumista. Koivulla pidempi vesivarastointi ei aiheuta samanlaisia ongelmia kuten havupuilla. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 18–23.)

Havupuilla vesivarastointi aiheuttaa puun kuoresta johtuvia värivikoja, jotka estävät esimerkiksi kuusikuitupuun pitkän varastoinnin (Uittopuun uimiskyky ja laatumu-

tokset 2005, 9). Lisäksi varastoinnin seurauksena havupuiden kuorinta voi vaikeutua, koska märkä kuori mahdollisesti tukkii kuljettimet (Puun laadun säilyttäminen 2004, 18). Vesivarastoinnin aikana tapahtuvat puuaineen värimuutokset eivät juuri aiheuta ongelmia koivu- ja mäntykuitupuun sellunkeitossa, mutta kovan lahon esiintyminen haittaa valmistusprosessia lievästi (Uittopuun uimiskyky ja laatumuutokset 2005, 9).



KUVA 1. Vesivarastointia kuusitukilla.

3.1.2 Kustannukset ja hyödyt

Vesivarastointi on edullinen vaihtoehto varastointimenetelmäksi uiton päätteeksi. Jos vesivarastointi tehdään tehtaalla autokuormista tai junasta purkamalla, niin puiden veteen laittamisesta ja pois nostamisesta syntyy ylimääräinen kustannus. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 14.) Tämän kustannuksen suuruus on noin $1,5 \text{ €/m}^3$ (Mäkelä & Achren 2003, 27). Vesivarastoinnissa lisäkustannus muodostuu myös puiden mahdollisesta kastelusta. Vesivarastointi maksaa noin 2 €/m^3 , jos ei oteta huomioon ylimääräisiä kustannuksia tai uittoa. (Water Storage 2004, 10.) Vesivarastointi on kannattavaa kuitupuulle, jos sitä joudutaan varastoimaan kesän yli. Jos puut laitetaan veteen toukokuussa, niin mäntykuidulle saatu hyöty lokakuuhun asti varastoiduissa puissa on $5,2 \text{ €/m}^3$. Heinäkuussa veteen laitetuille mäntykuiduille ei saa enää kuin 1,7 euron

hyödyn kuutiometrille vastaavana aikana. Hyöty johtuu puiden laadun säilymisestä korkeampana kuin mitä se olisi ilman varastointia. Tukkién kannalta vesivarastoinnin kustannushyöty tulee nopeammin vastaan, koska tukeilla on suurempi jalostusarvo. (Mäkelä & Achren 2003, 27.)

3.2 Kasteluvarastointi

3.2.1 Kasteluvarastoinnin toteutus

Kasteluvarastoinnissa puut puretaan junasta tai autosta kastelukentälle. Kentälle on rakennettu sadetusjärjestelmä, jonka avulla puita voidaan kastella tasaisesti. Kastelun tarkoituksena on ehkäistä sienien ja abioottisten tekijöiden aiheuttamien laatuviikojen muodostuminen. Samalla estetään hyönteisten aiheuttamat tuhot pitämällä puiden kosteus riittävän suurena. Menetelmää käytetään yleisesti kuitupuun ja tukkién varastoinnissa. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 14.)

3.2.2 Kasteluvarastoinnin soveltuvuus eripuulajeille

Tukkién kannalta kasteluvarastointi on hyvä menetelmä säilöä puita lyhyitä aikoja. Tukkién kastelu on järkevää, koska se estää tehokkaasti tukkién halkeilun ja pitää erityisesti koivutukit kosteina vanerinvalmistusprosessia varten. Lisäksi menetelmällä voidaan estää haitallisten värivikojen muodostumista tukkeihin. Kuitupuista kuusi-kuidun laadun säilyttämiseksi kastelulla on suuri merkitys kesä kautena, koska niiden liiallinen kuivuminen on erittäin riskialtista. Jos kuusen tuorepaino laskee liikaa, se ei enää kelpaa hiokkeeksi, vaan menee selluksi. Ilman kastelua kuivumisesta johtuva laadun heikkeneminen voidaan välttää puiden nopealla käyttöönotolla tehtaalla. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 14–22.)

Havupuiden liiallinen kastelu lisää tanniinivärin irtoamista puiden kuoresta. Väriainetta irtoaa myös liian pitkään jatkuneen varastoinnin seurauksena. Tanniinivärin poistaminen kuusikuitupuusta valmistettavasta mekaanisesta massasta on valkaisussa ongelmallista. Toisaalta liian vähäinen kastelu ei suojaa puita tarpeeksi sinistäjäsieniä vastaan. Havutukkién kuoresta irtoava tanniiniväri ei ole sahauksen kannalta yleensä ongelma, koska värjäytyneet pintaosat päätyvät tavallisesti hakkeeksi. Liiallista kastelua on kuitenkin vältettävä kuten kuitupuillakin, koska se voi aiheuttaa tukeissa solu-

vaurioita. Soluvauriot vaikuttavat myöhemmin puutavaran värjäytymiseen. Koivulla kastelun onnistuminen on ollut vaihtelevaa, koska välillä väriviat on pystytty estämään kokonaan, mutta välillä värivikaa ja lahoa on muodostunut runsaasti tukkien päihin. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 14–22.) Hietasen (2007, 27) mukaan 20–40 mm/vrk olisi optimaalinen kasteluveden määrä, koska se vastaa päivittäistä haihduntaa kesän aikana. Elokuun puolivälin jälkeen haihdunta pienenee ja kastelu voidaan varastokentällä lopettaa.

Kastelussa käytettävällä veden laadulla on suuri merkitys, jotta kastelu onnistuisi hyvin ja puiden laatu pysyisi mahdollisimman hyvänä. Veden pitäisi olla kylmää, koska sen lämpötilalla on vaikutusta havupuiden tanniinivärjäytymiseen. Kastelussa voidaan aiheuttaa puutavaralle vahinkoa, jos vesi sisältää runsaasti ravinteita. Ne voivat luoda hyvän kasvualustan bakteereille ja sienille. Veden mukana puihin kulkeutuvat epäpuhtaudet lisäävät bakteereille sopivan kasvualustan kehittymistä. Veden bakteerien ja epäpuhtauksien määrä kasvaa, jos samaa vettä kierrätetään kastelujärjestelmässä. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 14–22.)

Kasteluvarastossa olevia puita kannattaa ottaa käyttöön niiden hakkuuajankohdan mukaan, koska se vaikuttaa suuresti puiden säilyvyyteen. Keväällä hakattu puu säilyy huonommin kuin talvella hakattu, joten keväiset puut kannattaa käyttää varastosta ensin pois. Keskikesällä varastoa voidaan täyttää tuoreella puulla ja talvella hakatut puut otetaan tehtaan käyttöön. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 15.)

3.2.3 Kustannukset ja hyödyt

Kasteluvarastoinnin kustannukset muodostuvat kastelujärjestelmästä ja varastointialueesta (kuva 2). Kustannukset muodostavat veden pumppaaminen, kastelun valvonta, kastelujärjestelmän huolto ja ylimääräiset puun siirrot. Lisäksi kustannuksiin vaikuttaa suuresti veden ja sähkön hinta, sekä jäteveden käsittely. Kasteluvarastoinnin keskimääräisten kustannusten voidaan sanoa olevan noin 1,5 €/m³. Kasteluvarastoinnin kustannuksiin voidaan vaikuttaa varaston koolla, sijainnilla ja sen muodolla. (Wetting 2004, 10.)

Jos talvella hakattua mänty- ja koivukuitua pitää varastoida lokakuuhun saakka, niin kastelulla saadaan männylle 8,4 euron hyöty kuutiometrille ja koivulle 4,4 euron hyö-

ty kuutiometriä kohden. Kastelulla saatu hyöty muodostuu puun paremmasta laadusta verrattuna maavarastoituun puuhun, johon on tullut enemmän lahoa ja värivikaa. (Mäkelä & Achren 2003, 27–28.) Hiomokuusen osalta käyttökapasiteetti on kesällä ollut tavallisesti korkea ja saatavuus heikko, joten hakatut puut ovat menneet mahdollisesti suoraan käyttöön. Viime vuosina Suomessa tapahtuneet kuusikuitua käyttäneiden tehtaiden sulkemiset ovat kuitenkin mahdollisesti vaikuttaneet kuusikuitupuun tarpeeseen. Tämän takia kasteluvarastoinnin merkitys hiomokuuselle voi vaihdella vuodenaikaisesta saatavuudesta riippuen.



KUVA 2. Sadetin vesivaraston puiden kastelua varten.

3.3 Kylmävarastointi

3.3.1 Kylmävarastoinnin toteutus

Vuodenaikainen puunhankinnan epätasapaino vaikuttaa erityisesti kuusikuitupuun saatavuuteen, koska sitä hakataan enemmän talvella kuin kesällä. Tämän takia varsinkin loppukesästä kuidusta on voinut olla jopa pulaa tehtailla. Kylmävarastointi on kehitetty turvaamaan tehtaiden tasainen raaka-aineen saanti kesän lopulla. Menetelmän avulla puuaines säilyy vaaleana ja kosteana kesän yli, joten puut pysyvät laadultaan

hyvinä. (Mäkelä ym. 2001, 4.) Varasto voidaan rakentaa erilaisilla menetelmillä, mikä vaikuttaa varastointi kuluihin. Varastoinnissa puut ladotaan tiiviisti kentälle kasaksi ja se peitetään lumella. Lumi tykitetään kasan päälle tai peittämisessä voidaan käyttää luonnonlunta. Lumella peittämisen jälkeen kasan päälle levitetään tyypillisesti eristekerros. Ennen eristekerrosta puiden päälle voidaan laittaa suojakankaita, joilla pyritään pitämään puut puhtaana. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 4.)

Kylmävarasto kannattaa olla mahdollisimman lähellä käyttökohdetta, jotta kuljetuksista ei aiheudu lisäkustannuksia. Paras kohde varaston tekoon on varjainen asfaltti kenttä, joka on mahdollisimman paljon tuulen suojassa. Sijainnin lisäksi varaston tekemisen kannattavuuteen vaikuttaa suuresti myös varaston koko. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 4.)

3.3.2 Menetelmän ongelmat ja monipuolisuus

Kylmävarastointi ei kuitenkaan ole aivan helppoa, koska varaston tekeminen ja sen purkaminen voivat huonontaa puuaineen laatua. Varaston tekemisessä purun ja luonnonlumen käyttäminen lisäävät puissa kiviaineen määrää ja lisäksi luonnonlumen saatavuus voi muodostua ongelmaksi. Lumen tykittämisellä voidaan ratkaista tarvittavan lumen saaminen, mutta se kuluttaa runsaasti vettä ja lisää kustannuksia. (Mäkelä ym. 2001, 4.)

Purun levittäminen ei välttämättä aina onnistu hyvin, koska se pölisee ja sen vuoksi kasaa voi joutua mahdollisesti kastelemaan levittämisen aikana. Jos purua kulkeutuu paljon varastoinnin jälkeen puiden mukana tehtaalle, se voi aiheuttaa ongelmia tehtaan vesikierrossa. Purun aiheuttamia ongelmia voidaan ehkäistä harsolla tai viiralla, jotka estävät purun pääsyn pölkkyjen päälle ja parantavat samalla puiden kosteutta varastoinnin aikana. Lisäpeitteen käyttö kuitenkin estää purun levittämisen työntämällä kasan päälle. Purun korvaamien puun kuorella on hyvä vaihtoehto, koska kuori ei tartu pölkkyihin kiinni ja se muodostaa kantavamman kerroksen niiden päälle. Kuori ei myöskään valu lumen sulamisen aikana puiden rakoihin ja puuaineen säilyvyys on yhtä hyvä kuin käytettäessä purua. (Mäkelä ym. 2001, 4.)

Kylmävarastoinnin käytettävyyttä rajoittaa suuresti sen käyttöaika, vaikka se on varmin menetelmä puun laadun säilyttämiseen. Varaston tekoaika on joulukuun ja maa-

liskuun välissä, koska marraskuussa puuta ei yleensä vielä riitä varastoitavaksi ja maaliskuussa talvikausi päättyy. Kylmävaraston tekemisen aikana pitää lämpötilan olla pakkasen puolella, jotta lumetus lumitykillä olisi mahdollista. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 4.)

3.3.3 Menetelmän soveltuvuus tukkien varastointiin

Tukkien säilyttäminen kylmävarastoinnilla antaa hyvät tulokset, mutta niiden varastointi on monimutkaisempaa kuin kuiduilla. Tukkien varastoinnissa ongelmia tuottaa suuri pituusvaihtelu ja koivutukkien mutkaisuus. Tukeista tehdyn kylmävaraston purkaminen on hidasta, koska tiettyjä tukkilaatuja sahataan kerrallaan ja osa tukeista voi joutua olemaan suojaamattomana varastossa pitkään. Tämä voi altistaa tukit homeille ja värimuutoksille, jolloin varastoinnin hyödyt menetetään. Tukkeja ei kannata kylmävarastoida, jos ei tiedetä tarkalleen, että ne tullaan käyttämään vasta loppukesällä tai syksyllä. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 18–22.)

3.3.4 Kustannukset ja hyödyt

Varastointikustannukset muodostuvat varaston rakentamisesta, sen tarkkailusta, purkamisesta ja ylimääräisistä puiden siirto- ja käsittelykuluista. Varaston rakentamisessa kulut ovat suunnilleen 2–3,5 €/m³. Kuluihin kuuluvat varaston peittäminen lumella ja lumen tiivistäminen sekä eristyskerroksen tekeminen. Varaston avaaminen käyttöä varten maksaa noin 1 €/m³. Lisäkustannuksia aiheuttaa varaston koko ja varaston rakentamiseen käytetty menetelmä. (Cold storage 2004, 12.) Kylmävarastoinnin kustannukset ovat suunnilleen 2,75 €/m³ hiomokuuselle, jos käytetään lumi-purumenetelmää. Lumen tykittäminen varaston päälle lisää myös osaltaan hieman kustannuksia. Varastoinnista saatava hyöty hiomokuuselle on 2,5 €/m³. Kylmävarastointi onkin kannattavin menetelmä hiomokuusen pitkäaikaiseen varastointiin. Koivu- ja mäntykuitupuulle saadut kustannushyödyt ovat männyllä vähäiset ja koivulla tulos on negatiivinen. Niiden kylmävarastointi ei ole kovin järkevää rahallisesti ajateltuna, vaikka puuaines säilyykin erinomaisesti. (Mäkelä & Achren 2003, 27–28.)

4 FOLIOVARASTOINTI

4.1 Varastointimenetelmän idea

Suomessa käytettävillä perinteisillä varastointimenetelmillä puuta ei voida säilyttää varastossa pitkiä aikoja. Kylmävarastoinnilla puuta voidaan säilyttää varastossa yhtäjaksoisesti pisimmän aikaa. Tämän vuoksi varsinkin kuusikuidun varastointiin on tutkittu suojakaasujen käyttämistä eli vähähappisia olosuhteita. Hapen puuttuminen estäisi bakteerien ja sienien lisääntymisen puuaineessa. Suojakaasuina on käytetty typpeä ja hiilidioksidia sekä niiden yhdisteitä. Suojakaasuja käytetään yleisesti elintarvikkeiden säilömiseen, mikä on johtanut ajatukseen, että niitä voitaisiin käyttää myös puiden varastointiin. Tutkimukset suojakaasujen käytöstä ovat osittain olleet negatiiviset. Tulokset ovat kuitenkin viitanneet, että menetelmä olisi mahdollinen, jos siihen liittyy mukaan viileyden. (Puun laadun säilyttäminen 2004, 16.)

Menetelmä foliovarastoinnista perustuu idealle, jossa puut varastoidaan vähähappisiin olosuhteisiin. Varastointi-idea on lähellä Suomessa tehtyä tutkimusta suojakaasujen käytöstä. Foliovarastoinnissa hapeton olosuhde luodaan pakkaamalla puut ilmatiiviiseen pakettiin. Puiden paketoimiseen käytetään polyetylenei lakanoita, joilla varastoidaan myös eläinten rehua. (Wood-Packer 2004). Paketin sisällä puiden omat solut ja sisäpuolelle jääneet hyönteiset kuluttavat nopeasti sisälle jääneen hapen ja sen tilalle muodostuu hiilidioksidia. Paketin sisällä hapen määrä laskee alle yhden prosentin, joten olosuhteista muodostuu erittäin vähähappiset. Kun hyönteisillä ja sienillä ei ole käytettävinsä happea, niin ne eivät voi elää varastoiduissa puissa. (Solař 2012, 2–3; Wood-Packer 2004; Nagel 2006, 10.) Tuoreiden puiden varastointiin folion sisään tuo ilmatiiviiseen pakettiin mukanaan kosteutta. Folio estää kosteuden poistumisen paketista. Tämä aiheuttaa ilmakosteuden nousun paketin sisällä yli 100 prosentin, mikä taas estää puiden kuivumisesta johtuvan halkeilun. (Solař 2012, 2.)

Foliovarastointimenetelmää ei ole vielä käytetty Suomessa puiden varastointiin. Varastointimenetelmä on kehitetty Saksassa ja se on suojattu Eurooppa-patentilla (patentti PCT / DE 97/02966 patentin Nro 0946340). Siten tämän menetelmän käyttämiseen tarvitaan lisenssi. (Maier 2005, 179.) Foliovarastoinnin kehittäminen on ollut Keski-Euroopassa tarpeen, koska siellä on tarvittu uusi tehokas menetelmä puun varastointiin. Keski-Euroopassa puun varastointi on haasteellisempaa kuin Suomessa,

koska siellä on käytettävissä vähemmän vettä varastointia varten. Foliovarastointia on käytetty jo pitkään hyvin tuloksin Saksassa, Sveitsissä ja Itävallassa. Tällä hetkellä myös Tšekki on kiinnostunut varastointimenetelmästä ja siellä on tehty omia selvityksiä menetelmän käytettävyydestä ja varastoinnilla saatavista tuloksista. (Solař 2012, 2-3.)

Ensimmäisiä kokeita foliovarastoinnista tehtiin Saksassa vuonna 1991 tapahtuneiden myrskytuhojen seurauksena. Silloin varastoinnista saatiin jo hyviä tuloksia. Vuonna 2000 Saksassa varastointiin Lothar myrskyn jälkeen puuta folion sisään yli 40 000 m³. Menetelmällä varastointiin useita eri puulajeja kuten kuusta, mäntyä ja pyökkiä. (Odenthal-Kahabka 2005.) Tšekissä innostus foliovarastointiin johtuikin osittain viime vuosina tapahtuneista suuremmista myrskytuhoista, jotka ovat kaataneet puita yhdellä kerralla enemmän kuin maan metsäteollisuus pystyy käyttämään (Solař 2012, 2).

4.2 Varastopaikan vaatimukset

Foliovaraston rakentaminen aloitetaan varastopaikan valinnalla. Varastopaikan sijainnilla on suuri merkitys kustannuksiin varaston rakentamisessa, varastoinnin aikana ja sen jälkeen. Varastot rakennetaan pitkäaikaisiksi ja niiden on oltava paikoillaan koko varastoinnin ajan. Tämä voi tarkoittaa jopa yli kolmea vuotta. Pitkän varastointiajan vuoksi varasto kannattaa sijoittaa paikkaan, jolla on vähän käyttöä. Varastopaikalle on tärkeää että se on hyvien kulkuyhteyksien varrella ja että tiestö on varastolle kantavaa myös huonolla kelillä. Varaston rakentamisen kannalta maaston pitää olla tasaista, joten parhaiten varastointiin sopii asfaltti- tai betonikentät. (Odenthal-Kahabka 2005.)

Pehmeälle paikalle, kuten pellolle tai niitylle, varaston rakentaminen on riskialtista. Tällöin puut voivat upota pehmeään maahan, mikä johtaa folion repeämiseen. Lisäksi folioiden sulkeminen voi rakennusvaiheessa vaikeutua kasan painuessa maan sisään. Niityillä ja pelloilla elävät hiiret voivat myös muodostua ongelmaksi varastoinnin aikana vahingoittamalla foliota. Varaston pitäisi olla sijainniltaan varjoisa ja tuulelta suojassa, koska auringon säteily haurastuttaa folioita ja tuuli voi aiheuttaa folion repeämisen. Varastopaikan olisi hyvä olla suljetulla alueella, koska kasat voivat kärsiä vandalisista. (Odenthal-Kahabka 2005.) Paras sijainti varastopaikalle olisi sahan varastokentän syrjäinen ja varjoisa nurkka. Varastopaikan kriteerit ovat foliovarastoinnissa melkein samanlaiset kuin kylmävarastoinnissa.

4.3 Foliovaraston rakentaminen

Varaston rakentaminen aloitetaan puhdistamalla varastopaikalta kivet ja muut esteet, jotka voisivat rikkoa kasan pohjalle asetettavat foliot (Odenthal-Kahabka 2005). Varastoinnissa voidaan käyttää erilaisia menetelmiä suojaamaan foliota. Suojaverkkojen ja lisäkankaiden käyttäminen riippuu varaston sijainnista ja varastoitavasta puulajista. (Wood-Packer 2004.) Varastopaikan puhdistamisen jälkeen maahan levitetään ensimmäisenä suojaverkko, jonka silmäkoko on noin 2 mm (kuva 3). Suojaverkko on muovipäällystettyä metalliverkkoa, jonka tarkoitus on estää jyrsijöitä ja muita eläimiä rikkomasta foliota. Samalla se antaa suojaa myös mekaanisia vaurioita vastaan. Suojaverkon pitää olla niin iso, että reunoille jää noin 2 m ylimääräistä verkkoa. Tämä ylimääräinen osa nostetaan viimeisenä suojaamaan paketin reunoja. (Solař 2012, 4; Winter ym. 2009, 8–9.)



KUVA 3. Suojaverkon ja alusta folioiden levittäminen (Solař 2012).

Suojaverkon päälle levitetään kaksi kerrosta ilmatiivistä foliota siten, että valkoinen puoli jää ulkopuolelle ja musta sisälle. Tarvittavan folion määrä riippuu varastoitavasta puumäärästä ja niiden pituudesta. Foliorullan pituus vaihtelee 25–50 metriin ja leveys 6–16 metriin. Yksi foliokerros riittäisi hapettoman ilmaston luomiseen paketin sisälle, mutta toinen folio toimii lisäsuojana mekaanisia vaurioita vastaan varastoinnin aikana. (Maier 2005, 30.) Folioiden jälkeen maahan levitetään kuitukangas liuskoja,

joiden päälle asetetaan aluspuut. Kuitukangas toimii suojana foliolle, jotta aluspuiden asettaminen ei riko niitä. (Solař 2012, 4; Winter ym. 2009, 8–9.) Aluspuut kannattaa loveta päistään ennen asettamista folioiden päälle, jotta kasasta tulee vakaampi. Lisäksi niihin voidaan asentaa metalliset tuet, jotka estävät puiden vierimisen kasasta (kuva 4). (Solař 2012, 4.)



KUVA 4. Ensimmäisten puiden asettaminen lovettujen aluspuiden päälle (Solař 2012).

Varastoitavat puut kasataan tiiviisti aluspuiden päälle. Tämän jälkeen kasan ylimmäisten puiden reunat pitää tasata moottorisahalla (kuva 5). Samalla puista poistetaan mahdollisesti hakkuussa jääneet oksan tyngät. Tämä on tärkeätä, jotta päällimmäinen folio pysyy ehjänä varastoinnin aikana. (Solař 2012, 4; Tomiczek & Steyrer 2007, 10–11.) Lisäksi ylimpien puiden tasatut reunat suojataan kuitukankaalla folion vaurioiden välttämiseksi. Suojaavien toimenpiteiden jälkeen kasa peitetään kahdella foliokerroksella. Foliot asetetaan kasan päälle yksitellen, koska ne pitää sulkea erillisiksi pusseiksi. Folioiden levittäminen voidaan tehdä joko käsin tai hydraulisella nosturilla. Pääasia on, ettei folioita rikota niiden asettamisen aikana. (Solař 2012, 4.)



KUVA 5. Tukkien päiden tasaaminen moottorisahalla (Solař 2012).

Kun ensimmäinen folio on asetettu paikoilleen, kasaan asetetaan kaasuletku. Letkuun voidaan yhdistää kaasujenanalysointilaitte, jolla seurataan suljetun paketin sisällä olevien kaasujen tasapainoa. Letkussa on hyvä olla itsestään sulkeutuva venttiili, jotta sen kautta ei voi päästä happea foliopussin sisälle. Letku on hyvä asettaa kasassa tarpeeksi korkealle. Pussin sisälle varastoinnin aikana kertyvä vesi voi tukkia letkun, jos se asetetaan kasan pohjalle. Tämä estäisi kaasujen kontrollimittaukset. Letkun asettamisen jälkeen ensimmäisen folion reunat yhdistetään kasan alla olevaan folioon hitsaamalla. Hitsaaminen tapahtuu erillisillä laitteilla, jotka tuottavat lämpöä sulattaen folioiden saumat ilmatiiviiksi. Rullahitsauskonetta käytetään sivujen sulkemiseen ja nurkat hitsataan kiinni hitsauspihdeillä. Pihtejä käytetään myös folion reikien paikkaamiseen varastoinnin aikana. (Winter ym. 2009, 9; Solař 2012, 4.)

Ennen foliopussin lopullista sulkemista, sieltä imetään ulos ylimääräinen ilma teollisuuspölynimurilla (kuva 6). Ylimääräisen ilman imeminen nopeuttaa hapen määrän vähenemistä sulkemisen jälkeen. Lisäksi folio ei kärsi varastoinnin aikana niin suurta mekaanista rasitusta tuulen ja sateen takia, kun folio on tiiviisti puiden ympärillä. Ensimmäisen foliokerroksen hitsaamisen jälkeen kasan päälle asetetaan toinen kerros foliota. Myös tämä foliokerros suljetaan samalla menetelmällä kuin ensimmäinenkin.

Näin saadaan tehtyä kaksi erillistä ilmatiivistä pussia puiden ympärille. (Winter ym. 2009, 9; Solař 2012, 4.)



KUVA 6. Ilman imeminen folion sisältä ja reunan sulkeminen hitsaamalla (Solař 2012).

Folioiden jälkeen kasan päälle asetetaan lintuverkko, joka yhdistetään kasan alla olevaan metalliverkkoon. Metalliverkon ylimääräiset osat nostetaan suojaamaan kasan reunoja (kuva 7). Lintuverkon tarkoitus on suojata kasaa ja pitää foliota painollaan paikoillaan. (Tomiczek & Steyrer 2007, 10–11.)

Foliovaraston rakentaminen on mahdollista tehdä erilaisilla materiaaliratkaisuilla. Lehtipuille käytetään tavallisesti kahta foliokerrosta, mutta havupuille varastoja on tehty myös yhdellä foliokerroksella. Havupuiden päälle on toisen foliokerroksen sijasta laitettu sama metallinen suojaverkko kuin kasan alle. Tällöin metalliverkolla saadaan foliolle kestävämpi suoja kuin lintuverkolla. (Wood-Packer 2004.)



KUVA 7. Suojaverkon nostaminen paketin reunoille ja sen yhdistäminen ylimpään suojaverkkoon (Solař 2012).

4.4 Kaasujen määrän mittaaminen

Folion sulkemisen jälkeen tärkeintä on tarkkailla foliopussin sisällä olevan ilman koostumusta. Hiilidioksidi- ja happipitoisuuksia tarkkaillaan tasaisesti koko varastoinnin ajan, koska niiden muutokset ilmaisevat folion rikkoontumisesta. Varastoinnin alussa tarkkailua tehdään useammin, koska folion hitsaamisessa on voinut jäädä reikiä saumoihin. Myöhemmin tarkastuksien välejä voidaan pidentää jopa 8 viikon mittaisiksi. Hapen ja hiilidioksidin määrän analysointiin käytetään molemmille kaasuille eri mittaria. Mittauspiste on asetettu kasan sisällä noin 2 m korkeudelle. Varastointimenetelmää tutkittaessa mittauksia on tehty myös kasan pohjalta. Tällä varmistettiin että hiilidioksidi raskaampana kaasuna kuin ilma ei rikastu folion sisällä kasan pohjalle. (Maier 2005, 36–37.) Varastoinnin aikana hapen määrän pitäisi pysyä alle yhden prosentin, mutta yleensä sen määrä on nollassa. Hiilidioksidin määrä sen sijaan vaihtelee varastoinnin aikana. Sen vaihteluun vaikuttavat varastointi aika, puulaji ja lämpötila. Kesällä hiilidioksidin määrät ovat pussin sisällä huomattavasti suuremmat kuin talvella. (Maier 2005, 78–80.)



KUVA 8. Paketin sisälle asennettu letku kaasujen kontrollimittauksia varten (Solař 2012).

4.5 Suojakaasujen käyttäminen

Suojakaasua voidaan käyttää hyväksi varaston rakentamisessa. Hiilidioksidilla pyritään poistamaan mahdollisimman paljon happea foliopaketin sisältä ja saavuttamaan mahdollisimman korkea hiilidioksidipitoisuus. Tällöin saadaan ilmatiiviin pussin sisälle nopeammin hapeton tila, mikä heikentää varastoinnin alussa tuholaisien mahdollisuuksia huonontaa puiden laatua. (Maier 2005, 34–36.) Kaasuttaminen on hyvä tehdä muutama päivä folion sulkemisen jälkeen, koska sitä ennen pitää varmistua kaasujen mittauksella, että foliopussi on ilmatiivis (Maier 2005, 68). Suojakaasu kaasutetaan folion sisälle pienestä reiästä letkun avulla. Samalla toiselle puolelle pakettia avataan noin 25 cm pitkä viilto, josta poistuva ilma pääsee ulos. Kaasuttamisen jälkeen reiät suljetaan uudelleen hitsauspihdillä. (Maier 2005, 34–36.)

Maierin tutkimuksissa 13 päivää varastoitujen puiden hiilidioksidin määrä ennen kaasuttamista oli noin 6 % ja hapen määrä noin 10 %. Kaasuttamisen jälkeen pussin sisällä oleva hiilidioksidin määrä vaihtelee 70–80 prosentin välillä ja hapen määrä 0,1–4 prosentin välillä. Korkea hiilidioksidipitoisuus kuitenkin laskee lyhyen ajan jälkeen, eikä kaasutetun hiilidioksidin määrällä ei ole vaikutusta luonnollisesti muodostuvan

hiilidioksidin lisääntymisen nopeuteen paketin sisällä. Kaasutuksen jälkeen folion sisälle jäänyt happi häviää muutaman päivän kuluessa. (Maier 2005, 68–70.) Ilman kaasuttamista hapen määrän tippuminen noin 21 prosentista nolnaan kestää nopeimmillaan vain muutaman päivän. Pisimmillään hapen häviäminen pussista kestää vähän yli kuukauden. Hapen määrän pienenemisen nopeuteen vaikuttaa suuresti puulaji sekä puun kaatoaika. Talvella hakattu puu saa huomattavasti hitaammin kulutettua hapen pois pussista kuin kesällä hakattu puu. Tämä johtuu puusolujen heikommasta biologisesta aktiivisuudesta. Havupuut pystyvät kuluttamaan happea huomattavasti nopeammin kuin pyökki varastoinnin alussa. (Maier 2005, 74–80.)

4.6 Foliovarastoinnin kustannukset

Varastointimenetelmän kustannuksiin vaikuttaa useat tekijät. Ennen varastointia pitää investoida varaston rakentamiseen tarvittaviin laitteisiin, kuten hitsausvälineisiin ja kaasujen analysointilaitteisiin. Kaasujen analysointilaitteet maksavat noin 16 000 €. (Maier, 2005, 175.) Suurin osa kustannuksista muodostuu varaston rakentamisessa. Varaston rakentamiskustannukset vaihtelevat välillä 7,5–15 €/m³. Tämä summa sisältää puiden ylimääräisen liikuttelun, työvoiman palkat ja varastointimateriaalit, kuten folion ja suojaverkot. (Maier 2005, 175; Odenthal-Kahabka 2005; Solař 2012, 11.) Summan suureen vaihteluväliin vaikuttaa varaston koko, sen muoto ja varastoa rakentavan työvoiman osaaminen. 16 metriä leveä folio maksaa noin 3,3 €/m. (Odenthal-Kahabka 2005.) Suojakaasujen käyttämisestä aiheutuvia kuluja ei ole huomioitu varaston rakentamisessa aiheutuneisiin kustannuksiin.

Puiden kuljetus varastopaikalle voi olla ylimääräinen kulu, jos niitä ei varastoida käyttöpaikan omalle varastokentälle, koska niiden siirtäminen välivarastosta tehtaalle varastoinnin päätyttyä aiheuttaa lisäkustannuksia. On mahdollista että varastopaikasta voi myös joutua maksamaan vuokraa varastoinnin aikana. (Odenthal-Kahabka 2005.) Maier (2005, 175) toteaa varastoinnin aikana aiheutuvan kuluja foliopakettien tarkistuksista, tarkistusmittauksista ja folion korjauksista. Korjauskuluja on vaikea eritellä, koska niiden määrä on osittain suhteessa varastointipaikkaan. Ne voivat kuitenkin olla huomattava kuluerä varastoinnin aikana. (Odenthal-Kahabka 2005.) Varastoinnin jälkeen aiheutuvat kustannukset ovat noin 0,5-2 €/m³. Näihin kuuluu folion hävittäminen. (Maier 2005, 175.) Kustannus varastoitua kuutiometriä kohden nousee korkeim-

millaan noin 20 euroon kuutiometriä kohden, jos varastoinnin aikana aiheutuu paljon lisäkustannuksia.

4.7 Foliovarastoinnilla saavutettavat hyödyt

Foliovarastoinnin aikana puille aiheutuu vain vähän laadun heikkenemistä, jos foliot pysyvät ehjänä koko varastoinnin ajan. Varsinkin kuusen varastointi tällä menetelmällä on tuottanut hyviä tuloksia. Varastoinnin aikana yli vuoden folion sisällä olleille puille on aiheutunut ainoastaan hieman kellertävää värjäytymistä. Tätä on havaittu myös kasteluvastoinnin yhteydessä. Männyllä yli vuoden mittaiset varastointikokeet ovat myös antaneet hyviä tuloksia. Puut eivät olleet kärsineet juurikaan laatutappioita varastoinnin aikana. Myös sinistymisen oli pystytty estämään, vaikka sen muodostuminen on erittäin tavallista männyllä. Lehtipuista varastointia on tehty pyökille, mutta ei koivulle. Pyökillä saadut tulokset ovat olleet hyviä ja varastointi on aiheuttanut vain vähän värjäytymistä puiden pintaan. (Wood-Packer 2004.) Varastointimenetelmän suurimpia hyötyjä onkin, että puiden laatu voidaan varastoinnilla säilyttää hyvänä pitkiä aikoja. Kuusia on varastoitu menetelmällä korkeintaan neljä vuotta ja pyökkiä yli vuoden. Vuosia kestäneen varastoinnin aikana kuusille ei ollut aiheutunut suuria laatutappioita (Maier 2005, 146.)

Varastoinnilla saadut hyvät tulokset johtuvat menetelmällä luodusta hapettomasta tilasta. Folio estää tehokkaasti tuhonaiheuttajien iskeytymisen puihin ja siten se säilyttää puiden laadun korkeana. Paketin sisällä voi olla varastoinnin aikana useita sienilajeja, bakteereja ja jopa hyönteisiä. Niiden kyky toimia paketissa olevassa ilmastossa hidastuu kuitenkin erittäin merkittävästi tai lakkaa kokonaan varastoinnin ajaksi. (Maier 2005, 149–151.) Samanlaiseen tilanteeseen päästään ainoastaan kylmissä olosuhteissa, jossa ilman lämpötila pysyy jatkuvasti pakkasen puolella.

Pitkät varastointiajat eivät ole muille varastointimenetelmille mahdollisia, koska niihin vaikuttaa suuresti sää, ilmasto ja veden tarve. Foliovarastointi on niistä täysin riippumaton ja siten sitä voidaan soveltaa hyvin erilaisiin olosuhteisiin. Erityisesti jos veden saatavuuden kanssa on ongelmia, foliovarastointi voi olla puiden säilyttämiseen hyvä ratkaisu. (Odenthal-Kahabka 2005.) Lisäksi varastoja voidaan tehdä vesiensuojelualueiden lähelle, koska varastoinnista ei aiheudu maaperän pilaantumista. Tämän

takia varastointiin ei myöskään tarvita erillistä lupaa, mutta vesi- ja kasteluvarastoinnissa sellainen voidaan vaatia. (Maier 2005, 173.)

Tuoreen puun kuivuminen näkyy puiden päissä tavallisesti halkeiluna, koska rungon kosteustasapaino on erilainen rungossa. Kuivumisesta aiheutuvat halkeamat heikentävät puiden laatua ennen sahausta, mutta folion sisällä puille käy päinvastoin. Paketissa puiden kosteus pysyy koko varastoinnin ajan korkealla, koska vesi ei pääse pois ilmatiiviistä pussista. Kesän aikana vettä jopa tiivistyy pussin pohjalle lämpötilan vaihtelujen vaikutuksesta. Paketissa puiden kosteus tasoittuu, mikä johtaa halkeamien pieneen varastoinnin aikana. Tämä on näkynyt varastointimenetelmästä tehdyissä tutkimuksissa puiden laadun parantumisenä. (Maier 2005, 147–149.)

Varastoinnissa käytetty folio ei sisällä haitallisia aineita, joten se voidaan kierrättää tai polttaa varastoinnin jälkeen. Poltettaessa foliota muodostuu pelkästään hiilidioksidia ja vettä. Polyetyleenifoliota voidaan valmistaa kierrätysmateriaaleista, joten sen käyttäminen on ekologista verrattuna muihin vastaaviin muovisiin materiaaleihin. Ehjät suojaverkot voidaan käyttää uudelleen seuraavalla varastointi kerralla. (Maier 2005, 174.)

4.8 Varastointimenetelmän heikkoudet

Varastoinnista tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että varastoinnin aikana havupuille aiheutuu hieman tanniinivärjäytymistä. Tämä ei kuitenkaan ole ollut haitta sahauteollisuudelle, koska väriä on imeytynyt puuhun vain noin 1 cm syvyydelle. (Maier 2005, 152–153.) Varastoinnin aikana tapahtuva kemiallinen värjäytyminen estää tämän menetelmän käytön kuusikuitupuulle, koska se haittaa mekaanisen massan valmistusta. Folion rikkoutumisen seurauksena puille on aiheutunut huomattavia laatuviikoja, jotka ovat olleet esimerkiksi sinistäjäsenien aiheuttamia. Pyökillä on havaittu folion avaamisen jälkeen pintapuuhun muodostuneen hapen vaikutuksesta harmaata väriä. Tämä voidaan estää sahaamalla ja kuivaamalla puut mahdollisimman nopeasti varaston avaamisen jälkeen. Havupuiden laatu säilyy paremmin folion avaamisen jälkeen, mutta ne kannattaa myös jalostaa ja kuivata nopeasti. Havupuiden ongelmana ovat sienet varastoinnin jälkeen. (Wood-Packer 2004.)

Varaston avaamisen jälkeen havupuiden pintaan muodostuu valkoista homeetta. Home on parhaimmillaan peittänyt puiden pinnat kokonaan (kuva 9). Homeen aiheuttaa sieni nimeltään *Gliocladium solani* ja sillä ei ole puiden laatuun mitään vaikutusta. Sienen aiheuttama haitta on ainoastaan esteettinen. Se tarvitsee menestyäkseen yli 95 % il-
mankosteuden, kostean kasvualustan, lämpöä ja vähän happea. Home häviää puista ilman vaikutuksesta nopeasti parin päivän aikana. (Maier 2005, 164–165; Solař 2012, 11.) Varastoa avattaessa on kuitenkin hyvä käyttää suojaimia, koska homeella voi olla haitallisia vaikutuksia terveydelle. Lisäksi on mahdollista että varastoinnin aikana folion sisällä kasvaa muitakin homeita. (Odenthal-Kahabka 2005.)



KUVA 9. Homeen peittämät puut varastoinnin jälkeen (Solař 2012).

Foliovarastointi on kallis menetelmä säilyttää puiden hyvä laatu. Korkea kustannus rajoittaa suuresti menetelmän käytettävyyttä. Foliovarastointi ei ole kannattavaa kuin arvokkaimmille puille, mikä sulkee pois kuitupuiden varastoinnin tällä menetelmällä. Kustannusten lisäksi varaston rakentaminen on monimutkaista. Tämä heikentää varastoinnilla saatavia tuloksia, jos varastoa ei osata rakentaa oikein. Lisäkustannuksia aiheutuu helposti folion korjaamisesta varastoinnin aikana. Folion rikkoutuminen onkin yksi suurimmista riskeistä varastoinnissa, koska se voi aiheuttaa puiden laadun nopean heikkenemisen. Foliopaketti pyritään suojaamaan hyvin varastoinnin ajaksi, mutta silti niihin on tullut mekaanisia vaurioita. Varsinkin vandalismi on ollut ongelma, jos varastoja on tehty metsään tai pelloille. (Odenthal-Kahabka 2005; Nagel 2006, 10.) Jos

foliota ei pystytä korjaamaan, niin silloin puut on otettava käyttöön tai paketointi pitää tehdä kokonaan uudelleen (Maier 2005, 173).

Foliovarastoja ei voida rakentaa mihin tahansa, koska vaatimukset varastopaikalle ovat korkeat. Varastopaikan vaatimukset täyttäviä alueita ei välttämättä löydy tai sopivista alueista voi joutua maksamaan vuokraa. (Solař 2012, 11.) Ylimääräiset kustannukset voivat tehdä varastoinnin kannattamattomaksi kulujen noustessa liian korkeiksi. Foliovarastojen heikkoutena on myös niiden kiinteä sijainti, koska niitä ei voi liikutella varastoinnin aikana. Puiden siirtely aiheuttaisi välittömästi folion rikkoutumisen.

Folion sisälle ei voida varastoida suuria puumääriä, koska folion koko ei mahdollista isoja puukasvoja. Folion koon lisäksi varastoinnin aikana aiheutuneiden vaurioiden paikallistaminen ja korjaaminen muuttuu vaikeammaksi, jos foliopaketit ovat liian isoja. Suurin mahdollinen määrä puuta, jota yhteen foliopussiin mahtuu, on noin 600 m³. Tavallisesti yhdessä folioon varastoidussa puukasassa on puuta noin 300 m³. Kerralla varastoitavan puumäärän kasvattamisella voitaisiin pienentää varastoinnin kustannuksia. Se aiheuttaa kuitenkin enemmän riskejä varastoinnin aikana, joten kustannushyöty voi mennä hukkaan varaston rakentamisen jälkeen. (Maier 2005, 170.)

Varastoinnissa käytetyn folion läpi ei voi nähdä, joten varastoinnin onnistumista ei voi tarkkailla visuaalisesti. Tämä johtaa siihen että varastointia analysoidaan pelkästään kaasujen mittaamisella. Toistuvat mittaukset ja folioiden silmämääräinen tarkastelu aiheuttavat ylimääräistä työtä varastoinnin aikana. (STODAFOR 2005, 62; Arnold 2003, 23.)

5 POHDINTA

Työni tavoitteena oli perehtyä puiden vähähappiseen varastointimenetelmään ja samalla tukea Aleř Solařia kirjoittamaan englanninkielinen artikkeli Silva Fennicaan hänen omien tutkimustulostensa pohjalta liittyen kyseiseen varastointimenetelmään. Halusin samalla tehdä arviota vähähappisen varastointimenetelmän käyttökelpoisuudesta Suomen metsäteollisuudelle. Oli erittäin mielenkiintoista päästä perehtymään uuteen mahdollisuuteen varastoida puita ja samalla tutustua aiheita käsittelevään vie-

raskieliseen kirjallisuuteen. Opinnäytetyöni ohella pääsin tutustumaan paremmin koulumme vaihto-opiskelijoihin ja heidän kulttuuriinsa.

Foliovarastointiin liittyy paljon riskejä ja epäonnistumisen mahdollisuus on suuri varastoinnin aikana. Kallis varastointikustannus on merkittävä tekijä, joka heikentää varastoinnin mahdollisuuksia menestyä Suomessa. Perinteiset Suomessa käytetyt varastointimenetelmät ovat tällä hetkellä huomattavasti kustannustehokkaampia kuin foliovarastointi, mikä heikentää sen kiinnostavuutta metsäteollisuuden kannalta. Lisäksi menetelmän käyttämiseen tarvitsee ostaa lisenssi.

Varastointimenetelmänä foliovarastointi on kuitenkin kokonaisuudessaan erinomainen, koska sillä voidaan saavuttaa hyvä tulos varastoitujen puiden laadun säilyttämisessä. Folion avulla puita voidaan varastoida vähähappisissa olosuhteissa pitkiä aikoja ja menetelmää voidaan kehittää käytössä lisää. Ilmatiivis foliopaketti ja tasaiset hapen ja hiilidioksidin mittaukset varastoinnin aikana takaavat menetelmän toimivan luotettavasti. (Wood-Packer 2004.)

Foliovarastointi tulee varmasti tulevaisuudessa yleistymään Keski-Euroopassa, koska siellä perinteisten varastointimenetelmien käyttäminen on haastavampaa. Tämä johtuu lähinnä vähäisemmistä vesivaroista. Keski-Euroopassa tapahtuvat luonnontuhot voivat kaataa metsää enemmän kuin metsäteollisuus pystyy hyödyntämään, joten silloin on järkevää varastoida arvokkaimpia puulajeja huomattavasti kalliimmallakin varastointimenetelmällä. Suomessa vastaavia myrskyjen aiheuttamia tuhoja on tapahtunut viimeisen kymmenen vuoden aikana jo useamman kerran, mutta silti meillä ei ole ollut tarvetta pitkäaikaiseen puiden varastoimiseen. Suomessa metsäteollisuus on pystynyt hyödyntämään myrskyjen kaatamat puut tehokkaasti ja puiden varastoimiseen on riittänyt perinteisillä menetelmillä saavutettavat varastointiajat. Kuitenkin mahdollisuus puiden pitkäaikaiseen varastointiin on hyvä olla tiedossa, koska on mahdollista, että myrskyt lisääntyvät tulevaisuudessa tai metsäteollisuuden tarvitsemat raaka-aineen määrät muuttuvat. Tällöin on mahdollista että kaikkia puita ei saada teollisuudessa käytettyä, jolloin niillä on vaarana pilaantua.

Sahateollisuudelle foliovarastoinnista voi olla tulevaisuudessa hyötyä, jos tukkien varastoimiseen käytettävän veden saanti vaikeutuu tai veden käyttämiseen tulee rajoituksia tai kieltoja. Keski-Euroopassa luonnon- ja ympäristösuojelulait vaikuttavat pui-

den varastoimisen mahdollisuuksiin ja tämä on vaikuttanut osaltaan siihen, että ekologinen foliovarastointi on siellä kannattavaa. Suomessa foliovarastoinnin käyttöönotaminen vaatisi huomattavaa menetelmän varastointikustannusten alentumista. Tällöin tukkeja voitaisiin harkita varastoitavan folion sisään. Kustannuksia pystytään todennäköisesti laskemaan, kun varastointiin kuluva työaika saadaan laskettua. Varsinkin kaasujen kontrollimittausjärjestelmän automatisoiminen auttaisi varastointiin kuluvan työajan menekkiä.

Selluteollisuudelle foliovarastointi ei ole todennäköisesti koskaan kannattavaa. Ainoastaan kuusikuitupuuta käyttävät hiomot ja hiertämöt voisivat tulla tilanteeseen, jossa tarvittaisiin uusi tapa varastoida raaka-ainetta. Tämä johtuu raaka-aineen korkeista laatuvaatimuksista ennen jalostamista. Kesän aikana, kun kuusikuitupuun tarve on ollut suuri, riittävän raaka-aineen saaminen tehtaille on ollut haastavaa. Tehtaiden raaka-aineen tarpeeseen on kuitenkin viime vuosina vaikuttanut pienentävästi kuusikuitupuuta käyttävien laitosten sulkeminen. Tehtaiden sulkemiseen on johtanut toiminnan kannattamattomuus kilpailun kiristytessä markkinoilla. Kuusikuitupuun varastointi foliomenetelmällä on tästä johtuen arveluttavaa, koska tuotannon kannattamattomuus lisääntyisi korkeiden varastointikustannusten myötä.

Foliovarastointi on muihin varastointimenetelmiin verrattuna varsin uusi ja sillä voi olla puiden varastoimisessa vielä merkittävä rooli tulevaisuudessa. Vuotuisten ääri-ilmiöiden lisääntyminen voi lisätä menetelmän tarvetta Euroopassa. Uusien tutkimusten ja innovaatioiden avulla menetelmää voidaan kehittää lisää, mikä auttaisi tekemään siitä kustannustehokkaamman.

LÄHTEET

- Arnold, Martin 2003. Rundholzlagerung Erfahrungen nach dem Orkan 'Lothar' (1999). WWW-dokumentti. http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/23993/---/l=1. Ei päivitystietoja. Luettu 26.1.2012.
- Cold Storage 2004. Wood quality preservation info pack: Cold storage. Metsätehon kalvosarja. Metsäteho Oy.
- Hietanen, Matias. 2007. Hiokkeen laatuvaihteluja aiheuttavat tekijät ja vaihteluiden vaimentamismahdollisuudet. Diplomityö. WWW-dokumentti. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30186/TMP.objres.645.pdf?sequence=1>. Päivitetty 5.7.2007. Luettu 9.11.2010.
- Kasanen, Risto 2009. Metsäpuiden sienitaudit. Metsäkustannus Oy.
- Kurkela, Timo 1994. Metsän taudit: Metsäpatologian perusteet. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- Kärkkäinen, Matti 2005. Maailman metsäteollisuus. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Kärkkäinen, Matti 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Maier, Thomas 2005. Konservierung von Rundholz unter Sauerstoffabschluss Folienkonservierung. Väitöskirja. WWW-dokumentti. <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2442/>. Päivitetty 20.4.2006. Luettu 26.1.2012.
- MetInfo 2011. Metsäntutkimuslaitos MetInfo- Puiden ja metsien kasvu. WWW-dokumentti. <http://www.metla.fi/metinfo/kasvu/paivittainen/panta-lisatietoja.htm>. Päivitetty 7.6.2011. Luettu 30.1.2012.
- Metsäntutkimuslaitos 2010. Metsätilastollinen vuosikirja 2010. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Mäkelä, Markku & Stefan, Achren. 2003. Sellupuun laadun säilyttäminen. Metsätehon raportti 145. Helsinki: Metsäteho Oy.
- Mäkelä, Markku, Varhimo, Antero & Pennanen, Olavi. 2001. Talvikaatoisen kuusikuitupuun kylmävarastointi. Metsätehon raportti 107. Helsinki: Metsäteho Oy.
- Nagel, M 2006. Möglichkeiten zur Konservierung von Sturmwurfholz. WWW-dokumentti. http://www.holzwirtschaft.org/exkursionen/sueddeutschland_2006/referate/2006_06_26_160647_nagel_konservierung_sturmwurfholz.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 20.1.2012.
- Odenthal-Kahabka, J 2005. Handbuch Sturmschadensbewältigung. WWW-dokumentti. http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/lagerung/fva_folienlagerung/index_EN?redir=1. Päivitetty 22.12.2010. Luettu 25.1.2012.

- Puun laadun säilyttäminen. 2004. Metsäteho Oy. WWW-dokumentti.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Puun_laadun_sailyttaminen_opas_SUO MI.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 15.11.2010.
- Solař, Aleř 2012. Application of the foil method of storage in the Czech Republic, evaluation of the method with consideration of the quality of the wood mass. Julkaisematon lehtiartikkeli. Päivitetty 18.12.2011. Luettu 26.1.2012.
- STODAFOR 2005. Storm damaged forest: Efficient and safe harvesting and log conservation methods. WWW-dokumentti. <http://www.ctba.fr/stodafor/index.htm>. Päivitetty 16.2.2005. Luettu 25.1.2012.
- Tomiczek, Christian & Steyrer, Gottfried 2007. Folienverpackung von Rundholz zur Qualitätssicherung und Borkenkäfer-Bekämpfung. WWW-dokumentti.
http://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_41_4.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 23.1.2012.
- Uittopuun uimiskyky ja laatumuutokset. 2005. Metsäteho Oy. WWW-dokumentti.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Uittopuun_uimiskyky_ja_laatumuutokset.pdf. Päivitetty 14.1.2005. Luettu 15.11.2010.
- Uotila, Antti & Kankaanhuhta, Ville 2003. Metsätuhojen tunnistus ja torjunta. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Water Storage 2004. Wood quality preservation info pack: Water storage. Metsätehon kalvosarja. Metsäteho Oy.
- Wetting 2004. Wood quality preservation info pack: Wetting. Metsätehon kalvosarja. Metsäteho Oy.
- Winter, H, Patt, R, Maier, Thomas, Harzen, V, Gabriel, S, Bösner, J-P, Schabel, S 2009. Einfluss der Lagerungsbedingungen von Papierholz auf die Holzstoffqualität unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte (Folienkonservierung). WWW-dokumentti.
http://epub.zellcheming.de/index.php?timestamp=1327592446&do=download&document_id=339. Ei päivitystietoja. Luettu 25.1.2012.
- Wood-Packer 2004. Preservation of round wood. WWW-dokumentti.
<http://www.folienkonservierung.de/html/eng/index.html>. Päivitetty 1.4.2004. Luettu 26.12.2012.