Metsätehon raportti 145
31.3.2003

Sellupuun laadun säilyttäminen

Markku Mäkelä
Stefan Achren

Sellupuun laadun säilyttäminen

Markku Mäkelä
Stefan Achren

Metsätehon raportti 145
31.3.2003

Ryhmähanke: Järvi-Suomen Uittoyhdistys, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Stora Enso Oyj ja UPM-Kymmene Oyj

Asiasanat: varastointi, puuaineen säilyminen, kasteluvarastointi, vesivarastointi, kylmävarastointi

© Metsäteho Oy

Helsinki 2003

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ....4

JOHDANTO....5

1 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS....5

1.1 Menetelmät, kohteet ja puuaineen laadun seuraaminen....5

1.2 Varastoitujen puiden ominaisuuksia....8

1.3 Sellun valmistus ja ominaisuuksien määritykset....8

2 TULOKSIA....9

2.1 Puuaineen muuttuminen....9

2.2 Sellunkeittokokeet....22

3 KOKEILTUJEN LAADUN SÄILYTTÄMISTAPOJEN KUSTANNUKSET JA SAAVUTETTU TALOUDELLINEN HYÖTY....27

4 YHDISTELMÄ TULOKSISTA....28

5 PÄÄTELMIÄ....29

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin talvikaatoisen sellunvalmistukseen tarkoitetun puun laadun säilyttämismahdollisuuksia kesäaikaisessa varastoinnissa. Varastoidut puut olivat mäntyä, kuusta ja koivua. Kokeiltavat menetelmät olivat vesi- (vain männyllä), kastelu- ja kylmävarastointi.

Talvikaatoisia puita varastoitiin keväästä syys-lokakuun vaihteeseen asti. Varastoinnin lopussa määritettiin puiden laatu aiemmissa lahopuututkimuksissa käytetyllä menetelmällä. Tämän jälkeen puuerät kuorittiin ja haketettiin tehtaalla. Hakkeesta otettiin näytteet, jotka toimitettiin sellunkeittokokeisiin.

Varastoinnin aikana puissa tapahtui puuainesmuutoksia, joita olivat sinistymä sekä kova ja pehmeä laho. Lisäksi muuttuivat kosteudet.

Männyllä puuaineksessa tapahtuneet muutokset olivat vähäisimmät runsaassa kasteluvarastoinnissa. Vesi- ja kylmävarastoinnissa puuaines säilyi myös varsin vähäisin muutoksin. Suurin osa muutoksista oli kovaa lahoa. Kosteudet säilyivät kaikissa varastointimuodoissa lähellä kaatotuoreen puun kosteutta, kastelussa kosteus jopa nousi kastelun aikana.

Kuusella kylmävarastointi säilytti puun laadun varsin vähäisin muutoksin. Kastellussa puussa muutokset olivat hieman suuremmat kuin kylmävarastoinnissa. Kuusen kastelu oli kokeilussa liian vähäistä, mikä vaikutti tuloksiin. Kokeilumenetelmissä puiden kosteudet olivat suuremmat kuin vertailupuissa, mutta alhaisemmat kuin samalla tavalla varastoiduilla männyillä.

Koivulla puuaineessa tapahtuu varastointimuodosta riippumatta enemmän muutoksia kuin havupuilla. Tämä johtuu siitä, että kasvavan koivun kosteus on tasolla, jossa sienet pystyvät kasvamaan. Kylmävarastointi ja runsas kastelu vähensivät huomattavasti koivussa tapahtuvia puuainemuutoksia. Yleisin muutos puuaineessa oli kovan lahon ilmaantuminen. Puun kosteus pysyi varastoinnin aikana koivulla samana tai jopa hieman suurentui.

Sellunkeittokokeiden näytteenotto epäonnistui. Puulajipuhtaiden koe-erien joukossa oli jopa vieraiden puulajien haketta. Kun hakenäytteiden edustavuudesta ei voitu olla varmoja, ei tuloksien oikeellisuuteen voida luottaa.

Puuaineessa tapahtuneiden muutosten vaikutukset jalostusarvoon määritettiin aiemmista tutkimuksista saatujen puuainemuutosten ja jalostusarvojen riippuvuuksista. Kullekin puutavaraerälle laskettiin arvonalentuminen keskimääräisen tehdashinnan perusteella. Näin päädyttiin seuraaviin paremmasta puun laadun säilymisestä johtuviin kustannushyötyihin, joissa on otettu huomioon eri varastointimenetelmistä aiheutuneet varastoinnin lisäkustannukset. Vertailutaso on tavanomainen tienvarsivarastointi.

TAULUKKO 1 Tutkituista varastointimuodoista saadut kustannushyödyt

Puulaji/varastointi	Erä	Valmistus	Laatu	Jalostus
		Hyöty, €/m^3		
Vesivarastointi				
Mänty	veteen toukokuussa	2,1	5,3	6,7
	veteen heinäkuussa	1,4	2,5	3,2
Kasteluvarastointi				
Mänty	kastelu	2,8	8,1	9,9
Koivu	kastelu	4,8	3,0	5,9
Sellukuusi	kastelu	0,2	0,0	0,4
Lahokuusi	kastelu	0,6	3,3	3,5
Kylmävarastointi				
Mänty	kylmävarastoitu	0,4	2,1	2,5
Koivu	kylmävarastoitu	0,7	0,7	1,5
Kuusi	kylmävarastoitu	0,6	5,4	5,7

Tulokset voidaan tiivistää seuraavasti:

- ***Männyllä*** vesivarastointi ja runsas kastelu olivat selvästi kannattavia. Kylmävarastoinnilla ei puolestaan saavutettu mitään etua.
- ***Koivulla*** runsas kastelu oli kannattavaa. Kylmävarastoinnissa olivat kustannukset etuja suuremmat.
- ***Kuusella*** kylmävarastointi oli kannattavaa, jopa sellun tekoa ajatellen. Vähäinen kastelu paransi tulosta lahokuusella, muttei sellukuusella.

JOHDANTO

Sellupuun laatumuutokset kesäaikaisessa varastoinnissa aiheuttavat tutkimusten mukaan 6 - 10 euron menetykset varastoitua puukuutiometriä kohti. Tässä tutkimuksessa pyrittiin löytämään ja kokeilemaan käytännön mittakaavassa menetelmiä varastoida sellupuuta siten, että puuainemuutosten aiheuttamat menetykset pienenisivät.

1 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

1.1 Menetelmät, kohteet ja puuaineen laadun seuraaminen

Puutavaran säilytysolosuhteet varastoinnin aikana vaikuttavat puutavaran laadun säilymiseen. Tavoitteena tutkimuksessa oli kokeilla varastointimenetelmiä, joissa puutavaralle luodaan sellaiset olosuhteet, etteivät hometta, värivikaa tai lahoa puuainekseen aiheuttavat sienet pysty toimimaan tai toiminta on hyvin vähäistä.

Puru-lumimenetelmällä toteutettu kylmävarastointi on käytännössä hyväksi osoittautunut menetelmä säilyttää puuaineen laatu kesän ajan lähes kaato-ajankohdan kaltaisena. Menetelmää käytetään laajalti hiomopuun ja jossain määrin myös tukkien laadun säilyttämisessä.

Sellupuun säilytysmenetelmiä pohdittaessa lähdettiin siitä, että yleisemmin käytössä olevat kylmävarastointimenetelmät ovat liian työläitä ja kalliita, kun otetaan huomioon sellupuun suuret kesäiset varastomäärät. Tutkittavat menetelmät valittiin siten, että niillä olisi laajat toteuttamismahdollisuudet sekä edulliset varastointikustannukset.

Kokeiltaviin varastointimenetelmiin ja näiden vertailueriin pyrittiin saamaan laadultaan mahdollisimman samankaltaista ja samantyyppisistä kasvuolosuhteista peräisin olevaa kotimaista puuta. Kokeiltavat menetelmät olivat:

- vesivarastointi
- kasteluvarastointi sekä
- kevytrakenteinen kylmävarastointi, jota käytetään alkukesällä käyttöön otettavan kuusikuitupuun varastoinnissa.

Lisäksi seurattiin tuontikoivun muuttumista korkeiden ja isojen varastopinojen eri osissa.

Kutakin varastointitapaa varten kerättiin ko. menetelmällä varastoitava kasa talvikaatoista puutavaraa. Kasan viereen tehtiin samankokoinen vertailukasa (maavarastointi), jossa puita ei mitenkään suojattu. Varastokasojen (erien) koot vaihtelivat 400 – 1 000 m³. Varaston tekovaiheessa otettiin näytteet vastaavankokoisesta ja samanlaatuisesta tuoreesta puuerästä sellunkeiton tuorepuuvertailuun.

Varastointikokeet järjestettiin seuraavasti:

Vesivarastointipuut kerättiin pohjoiskarjalaisesta talvikaatoisesta männystä Enoon. Ensimmäinen erä laitettiin veteen toukokuun puolivälissä (16.5.) ja toinen erä heinäkuun alkupuolella (9.7.). Samoista eristä jätettiin vertailupuut maavarastoon veteenlaittopaikalle. Näistä määritettiin puuainemuutokset pölkyistä (10 cm:n etäisyydelle pölkyn päästä) kesäkuun loppupuolella. Lopullinen puuaineen muuttumistarkastelu tehtiin lokakuun alussa. Vesivarastopuut hinattiin elokuun lopulla Joutsenoon Metsä-Botnian tehtaalle. Näistä tehtiin välitarkastelu elo-syyskuun vaihteessa ja lopullinen tarkastelu varastoinnin päätyttyä lokakuun alussa. Molemmat vesivarasto- sekä vertailuerät kuorittiin ja haketettiin ja niistä otettiin hakenäytteet sellunkeittokokeisiin syys-lokakuun vaihteessa.

Kasteluvarastointikokeilu toteutettiin Lappeenrannassa ja Pietarsaaressa. *Lappeenrannassa* kasteltiin eteläkarjalaista talvikaatoista koivu- ja mäntykuitupuuta jatkuvalla kastelulla toukokuun lopusta (29.5.) alkaen. Samanlaatuiset vertailupuut varastoitiin näiden välittömään läheisyyteen ilman kastelua. Kastelu oli jatkuvaa ja määrältään varsin runsasta. Kaukaan Tutkimuskeskus ja Metsäteho seurasivat varastoinnin aikana puuaineessa tapahtuneita muutoksia. Kaukaan Tutkimuskeskus otti näytteitä kuukausittain

(toukokuu – syyskuu). Se määritti erikokoisista näytepölkyistä kosteudet (hakkeesta) sekä kuiva- ja tuoretiheydet. Metsäteho seurasi väri- ja lahovikojen osuuksia pölkkyjen päistä. Varastoinnin lopussa tehtiin puuaineen laatumääritykset kustakin varastoerästä. Erät kuorittiin ja haketettiin syys-lokakuun vaihteessa UPM-Kymmenen Kaukaan tehtaalla ja hakkeista otettiin näytteet sellunkeittokokeisiin.

Toinen kastelukokeilupaikka oli *Pietarsaari*. Siellä puu oli sekä tervettä sellukuusta että tyvilahoista kuusta. Sellukuusi oli peräisin Pohjanmaalta, tyvilahoinen kuusi Hämeestä. Kastelu oli Pietarsaaressa satunnaista ja selvästi vähäisempää kuin Lappeenrannassa. Kastelun määrää lisättiin hieman juhannuksen jälkeen. Metsäteho seurasi puuainemuutoksia pölkkyjen päistä kesäkuun puolessa välissä ja elokuun loppupuolella. Varastoinnin päätyttyä tehtiin puuaineen laatumääritykset kustakin varastoidusta erästä. Varastoidut erät kuorittiin ja haketettiin syys-lokakuun vaihteessa Wisa Forestin Pietarsaaren tehtaalla ja hakkeista otettiin näytteet sellunkeittokokeisiin.

Kylmävarastoinnissa puut pyritään säilyttämään kylmän avulla niin kosteana, etteivät sienet pääse aloittamaan toimintaansa puuaineessa. Valittu ”kevyt” kylmävarastointimenetelmä on kehitetty lähinnä kuusikuitupuun keskikesään päättyvään varastointiin. Kauemmin jatkuvaan hiomopuun varastointiin käytetään tehokkaampia menetelmiä.

Kokeilu toteutettiin Enon *Uimaharjussa*. Kylmävarastoitu mänty-, kuusi- ja koivukuitupuu oli Pohjois-Karjalasta talvella hakattua puuta. Kylmävarasto tehtiin ns. mökkimuotoon, jossa keskelle laitettiin laadun säilymistä tarvitsevat puut. Ympärille ja varastokasan katteeksi tehtiin suojapinot koivukuitupuusta. Kasan valmistuttua sitä jäädytettiin ruiskuttamalla vettä varastomuodostelman päälle. Vertailupuut varastoitiin kylmävaraston viereen. Kylmävarasto purettiin syyskuun lopussa. Erät kuorittiin ja haketettiin Stora Enson Uimaharjun tehtaalla ja hakenäytteet toimitettiin sellunkeittokokeisiin. Kaikista eristä määritettiin kosteudet ja puuaineen muuttuminen.

Korkeiden ja isojen varastojen vaikutusta puuaineen säilymiseen selvitettiin Imatralla Stora Enson Pelkolan terminaalissa. Talvikaatoinen tuontikoivukuitupuu oli varastoitu lopputalvella noin kahdeksan metrin korkuisiin satoja metrejä pitkiin pinoihin. Aukean laidalla olevasta pinosta määritettiin kesäkuun lopussa puuainemuutokset ja kosteudet kolmelta eri korkeudelta. Lopulliset puuaineen muutokset määritettiin lokakuussa kahdesta vierekkäisestä laita- ja sisäpinosta. Laitapino oli sama kuin kesäkuussa, sisäpino sijaitsi suojaisessa paikassa muiden pinojen välissä. Näistä puista ei tehty sellunkeittokokeita.

1.2 Varastoitujen puiden ominaisuuksia

Varastoiduista puueristä kylmävarastopuita lukuun ottamatta mitattiin koko- ja kasvutietoja.

TAULUKKO 2 Varastoitujen puiden ominaisuuksia

Varastointitapa/erä	Läpimitta, cm keskim.	Kasvu, mm/a
Vesivarastointi, mänty	16,9	2,5
Kasteluvarastointi:		
- mänty, kastelu	12,8	3,0
- mänty, vertailu	12,9	3,0
- koivu, kastelu	13,3	. .
- koivu, vertailu	12,6	. .
- sellukuusi, kastelu	12,0	2,0
- sellukuusi, vertailu	13,3	2,2
- lahokuusi, kastelu	26,2	2,0
- lahokuusi, vertailu	23,0	1,6

Tyvilahoa sisältäneiden kuusipölkkyjen lahon aiheuttajia ja määriä selvitettiin sahaamalla pölkkyjen päistä pois tummunut ja kuivanut osa. Tuoreesta sahauspinnasta määriteltiin puuaineen vian aiheuttaja. Taulukon luvut esittävät osuuksia puuerien kokonaistilavuuksista.

TAULUKKO 3 Tyvilahojen kuusipölkkyjen sisältö

Puuaines	Kasteltu erä, % tilavuudesta	Vertailuerä, % tilavuudesta
Tervettä	66	68
Värivikaista	15	10
Kovaa lahoa	10	10
Pehmeää lahoa	4	6
Pystyyn kuivanutta	5	6
Yhteensä	100	100

1.3 Sellun valmistus ja ominaisuuksien määritykset

Hakenäytteet toimitettiin Pulp Centerin tutkimusyksikköön 30 litran suljetuissa muovisäkeissä. Kunkin näyte-erä sisälsi 200 litraa haketta. Tutkittavia hakenäytteitä oli kaikkiaan 26 kappaletta.

Vastaanoton jälkeen hakenäytteet pakastettiin välittömästi noin –18 °C:een sellaisenaan. Hakenäytteet sulatettiin huoneenlämmössä 3 vrk ennen hakkeen homogenisointia. Sulatetut hakenäytteet homogenisoitiin rumpusekoituksella. Hakkeen palakokojakauma, kuiva-ainepitoisuus ja kuivatuoretiheys määritettiin SCAN-standardin mukaan.

Keitot tehtiin 33 litran laboratoriokeittimellä konventionaalisen eräkeiton reseptillä. Kustakin näytteestä (26 kpl) tehtiin kaksi rinnakkaista laboratoriokeittoa eli yhteensä 52 keittoa. Jokaisesta keitosta analysoitiin jäännösalkalipitoisuudet keiton eri vaiheissa, kappaluku, viskositeetti, ISO-vaaleus, saanto sekä lajittelurejekti. Tarvittavat seokset rinnakkaiskeitoista valkaisukokeita varten valmistettiin ja analysoitiin.

Ruskeamassaseoksista (26 kpl) tehtiin yksinkertaisia valkaisukokeita. Valkaisukokeissa analysoitiin vaiheiden kemikaalikulutukset, kappaluku, viskositeetti sekä vaaleus lähtömassasta ja EO-vaiheen jälkeen. Viskositeetti ja vaaleus mitattiin loppumassasta.

Kaikista hake-eristä valmistetuista ja valkaistuista selluista määritettiin vaaleustasoista 89 - 90 % ISO-fysikaaliset ominaisuudet viiden pisteen PFI-laboratoriojauhatuksella sekä lujuus- ja optisten ominaisuuksien testauksella. Energiatasot valkaistulla havusellulla olivat 0, 250, 1 000, 2 500 ja 4 000 ja valkaistuilla koivuselluilla 0, 250, 500, 1 000 ja 2 500 kierrosta. Lisäksi analysoitiin kuidunpituus ja pituusmassa Kajaani FS-200 -mittarilla. Kuitulajianalyysit suoritettiin havumassanäytteillä.

2 TULOKSIA

2.1 Puuaineen muuttuminen

Varastoinnin aikana tapahtuneisiin puuainemuutoksiin ei pölkyn koolla ollut pääsääntöisesti vaikutusta. Poikkeuksen muodostivat värivian suurempi osuus pienillä koivuilla sekä kovan lahon runsaampi esiintyminen pienillä männyillä. Muita riippuvuuksia ei pienistä eräkohtaisista aineistoista voitu tehdä.

Uitto eli vesivarastointipuu pidetään yleensä maavarastossa kuivumassa ja saamassa lisää kellumiskykyä kesäkuun loppupuolelle. Puiden säilyttäminen maalla keväällä ja alkukesällä ennen veteenpanoa on kuitenkin otollinen puuaineessa tapahtuvien muutosten alkamiselle.

Kesäkuun loppupuolella oli maavarastossa veteenpanoa odottaneiden mäntypölkkyjen päiden pinta-alasta sinistynyt keskimäärin runsas 12 %. Pölkkykohtainen vaihtelu oli suurta. On kuitenkin muistettava, että näytteenottokohdassa eli pölkyn päässä muutokset ovat suurempia kuin pölkyn keskiosissa.

Puiden saavuttua Joutsenoon elo-syyskuun vaihteessa tarkkailtiin puuaineessa tapahtuneita muutoksia. Puuaineessa oli värivikaa ja kovaa lahoa.

Varastoinnin päätyttyä syyskuun lopussa puuaineen hakkeesta määritetty kosteus oli toukokuussa veteen laitetussa erässä 52 % ja heinäkuun erässä 50 %. Vertailuerissä kosteus oli 36 – 40 %.

VESIVARASTOINTIPUU SYYS-LOKAKUUN VAIHTEESSA

Valokuvat Metsäteho Oy

Vesivarastoitua puuta

Maavarastoitua vertailupuuta

Männyn kasteluvarasto

Kastelussa ollutta puuta syys-lokakuun vaihteessa

Maavarastoitua vertailupuuta syys-lokakuun vaihteessa

Koivun kasteluvarasto

Kastelussa ollutta puuta syys-lokakuun vaihteessa

Maavarastoitua vertailu-puuta syys-lokakuun vaihteessa

Kuusen kasteluvarasto

Kastelussa ollutta sellukuusta syys-lokakuun vaihteessa

Maavarastoitua sellu-kuusta (vertailu) syys-lokakuun vaihteessa

Tyvi- ja varastolahoa. Keskellä kasvunaikaista tyvilahoa ja reunoilla varastolahoa. Varastolaho tuhoaa pintakerroksessa olevat parhaat kuidut.

Kastelussa ollutta tyvilahoa kuusta syys-lokakuun vaihteessa.

Maavarastoitua tyvilahoa kuusta syys-lokakuun vaihteessa

Kylmävarasto kesäkuussa (koivut suojapuita)

Kylmävarastoitua mäntyä syys-lokakuun vaihteessa

Maavarastoitua vertailumäntyä syys-lokakuun vaihteessa

Korkea koivuvarasto

Reunapinon puuta syys-lokakuun vaihteessa

Sisäpinon puuta syys-lokakuun vaihteessa

Puuaineessa tapahtuneet keskimääräiset muutokset olivat varastoinnin jälkeen keskimäärin seuraavat:

TAULUKKO 4 Vesivarastoidun puun raaka-ainesisältö varastoinnin päätyttyä

Erä	Sinistymää	Kovaa lahoa	Pehmeää lahoa	Tervettä puuta
	Osuus, % tilavuudesta			
Toukokuussa veteen*	1,4	7,1	0,0	91,5
Heinäkuussa veteen*	11,8	8,5	0,7	79,0
Vertailu, maavarastointi	11,0 - 21,0	24,0 – 29,0	0,0	56,0 – 60,0

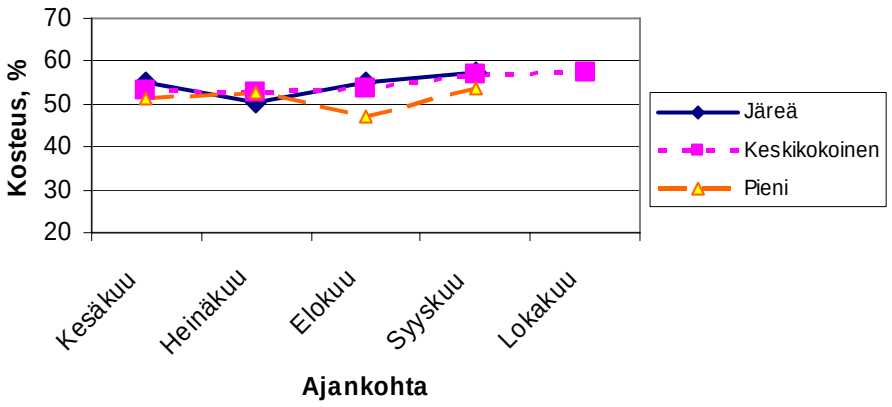
* painotettu veden pinnan ala- ja yläpuolella olleiden puiden osuuksilla

Vedenpinnan yläpuolella olleet vesivarastopuut olivat selvästi kuivempia ja niiden laadussa oli tapahtunut huomattavasti enemmän muutoksia kuin vedessä olleissa puissa.

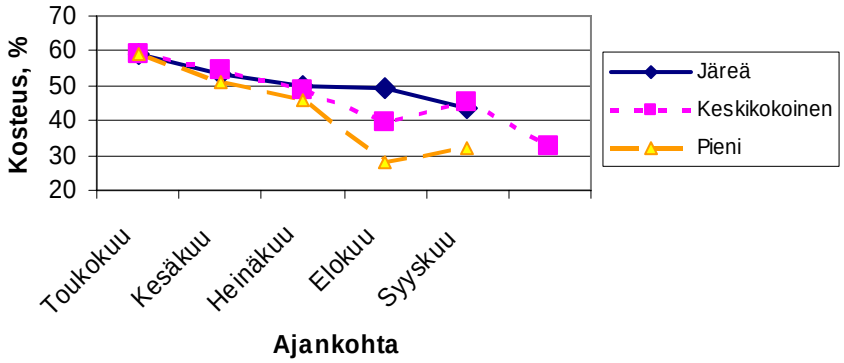
Kasteluvarastoissa Lappeenrannassa mänty- ja koivupuu saivat jatkuvaa tehokasta kastelua, jossa kaikki puut kastuivat varsin tasaisesti. Kastelu alkoi toukokuun lopussa, jolloin puun laadussa ei ollut ehtinyt tapahtua ainakaan suuria muutoksia.

Kaukaan Tutkimuskeskus määritti varastoitujen puiden puuaineen kosteudet kuukausittain erikokoisista näytepuista tehdystä hakkeesta. Kosteus edustaa tällöin koko puuaineen keskimääräistä kosteutta. ***Männyn*** alkukosteus 59 % alentui kastelluilla puilla kesäkuukausiksi noin 5 prosenttiyksiköllä palautuen syksyllä lähes alkukosteuteen. Maavarastoidussa vertailupinossa kosteus alentui kuukausittain päätyen 33 prosenttiin syyskuun lopussa. ***Koivulla*** alkukosteus oli 43 %. Kastellussa koivupuussa kosteus nousi vähitellen varastoinnin aikana. Syyskuun lopussa loppukosteus oli 47 %. Vertailupinossa kosteus laski syys-elokuun vaihteeseen asti päätyen 29 prosenttiin. Syyskuussa se sitten nousi hieman.

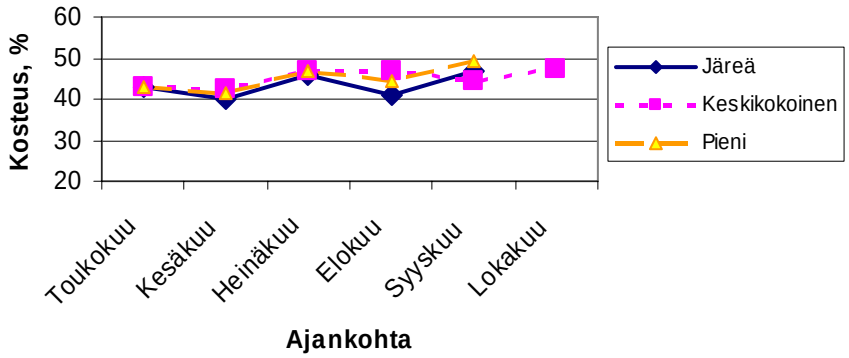
Kosteusmuutokset erikokoisilla puilla on esitetty kuvissa 1 – 4.



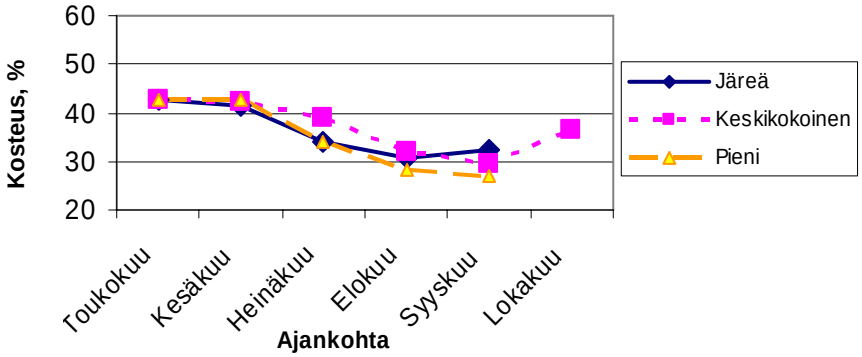
Kuva 1. Kosteuden vaihtelu erikokoisissa pölkyissä. Kaukas, kasteltu mänty



Kuva 2. Kosteuden vaihtelu erikokoisissa pölkyissä. Kaukas, vertailumänty



Kuva 3. Kosteuden vaihtelu erikokoisissa pölkyissä. Kaukas, kasteltu koivu



Kuva 4. Kosteuden vaihtelu erikokoisissa pölkyissä. Kaukas, vertailukoivu

Kasteluvarastointi säilytti mäntykuitupuun keväisen kosteuden. Koivulla kosteus jopa nousi keväisestä.

Lappeenrannan kastelupuiden puuaineessa tapahtuvia näkyviä muutoksia seurattiin melko tiiviisti varastointikauden aikana. Havaintoja tehtiin noin 10 cm:n syvyydeltä pölkkyjen päistä. Männyissä ei tapahtunut koko varastointiaikana minkäänlaisia muutoksia puuaineessa. Koivuun tuli sen sijaan melko nopeasti ensin ruskeaa värivikaa ja myöhemmin kovaa lahoa.

Varastoinnin päätyttyä puuaineksessa eri erien välillä oli melkoiset erot.

TAULUKKO 5 Kasteluvarastoidun puun raaka-ainesisältö varastoinnin päätyttyä (Lappeenranta)

Erä	Värivikaa	Kovaa lahoa	Pehmeää lahoa	Tervettä puuta
	Osuus, % tilavuudesta			
Mänty, kastelu	0,9	0,9	0,0	98,1
Mänty, vertailu	9,7	42,0	0,4	47,9
Koivu, kastelu	9,4	21,5	0,2	69,0
Koivu, vertailu	20,1	60,5	7,1	12,3

Kastelulla oli Lappeenrannassa erittäin tehokas vaikutus puuaineessa varastoinnin aikana tapahtuvien muutosten estämisessä. Männyllä kasteltu puu säilyi muuttumattomana. Koivulla tapahtui vähäisiä muutoksia.

Pietarsaaressa kasteltiin sekä sellukuusta että tyvilahoa sisältävää järeää kuusta. Kastelu oli kestoltaan satunnaista ja vähäistä. Kesä oli Pietarsaaressa kuitenkin selvästi viileämpi ja sateisempi kuin Lappeenrannassa, mikä lisäsi sekä kastelu- että vertailuerien kosteuksia.

Kesäkuun lopulla ei pölkkyjen päissä ollut havaittavissa muutoksia. Elokuun lopulla puuainemuutokset olivat käynnistyneet. Pölkkyjen päissä oli lähinnä kovaa lahoa, muutamassa pölkyssä oli myös hieman värivikaa.

Varastoinnin päätyttyä kosteudet olivat kastelluissa erissä sellukuusella 41 % ja tyvilaholla kuusella 37 %, mikä oli 3 – 7 prosenttiyksikköä enemmän kuin kastelemattomissa vertailuerissä. Puuaineen sisältö oli tällöin keskimäärin:

TAULUKKO 6 Kasteluvarastoidun puun raaka-ainesisältö varastoinnin päätyttyä (Pietarsaari)

Erä	Sinistymää	Kovaa lahoa	Pehmeää lahoa	Tervettä puuta
	Osuus, % tilavuudesta			
Sellukuusi, kastelu	2,8	24,7	1,3	71,2
Sellukuusi, vertailu	2,0	28,8	3,2	66,0
Tyvilaho kuusi, kastelu	3,8	5,6	0,0	90,6
Tyvilaho kuusi, vertailu	9,9	15,9	0,0	74,2

Vähäinenkin kastelu paransi jonkin verran kuusen puuaineen laadun säilymistä. Kastelun vaikutus oli selvästi pienempi kuin Lappeenrannassa.

Kylmävarastoiduista puista lämpötiloja ei seurattu varastoinnin aikana. Vastaavanlaisesti tehtyjen varastojen sisäiset lämpötilat ovat aiemmin olleet toukokuun loppuun asti lähellä nollaa ja nousseet sen jälkeen lähelle vallitsevia lämpötiloja. Suojapuiden sisällä olevat ”kylmävarastopuut” ovat kuitenkin yleensä lämpötilan noususta huolimatta säilyttäneet kosteutensa varsin hyvin.

Varastoinnin aikana tapahtuneet muutokset selvitettiin varaston purkamisen jälkeen lokakuun alussa. Kosteudet olivat tällöin kylmävarastoiduissa puissa melko korkeat.

TAULUKKO 7 Kylmävarastoidun puun loppukosteudet

Varastointitapa	Mänty	Kuusi	Koivu
Kylmävarastointi	52 %	45 %	45 %
Vertailu (maavarastointi)	45 %	38 %	36 %

Puulajeittaiset puuainesmuutokset olivat:

TAULUKKO 8 Kylmävarastoidun puun raaka-ainesisältö varastoinnin päätyttyä

Erä	Värivikaa	Kovaa lahoa	Pehmeää lahoa	Tervettä puuta
	Osuus, % tilavuudesta			
Mänty, kylmävarastointi	3,8,	9,0	0,5	86,7
Mänty, vertailu	13,9	10,5	0,0	75,6
Kuusi, kylmävarastointi	3,4	1,8	0,0	94,9
Kuusi, vertailu	7,9	5,7	0,0	86,4
Koivu, kylmävarastointi	5,0	35,6	5,0	54,4
Koivu, vertailu	9,1	49,1	5,6	36,2

Kylmävarastointi paransi puuaineen laadun säilyttämistä kaikilla puulajeilla. Vertailuna olleiden havupuiden poikkeuksellisen hyvästä säilymisestä johtuen erot kylmävarastoitujen puiden säilymiseen eivät olleet kovin suuret. Koivulla kylmävarastoinnin vaikutus oli hieman havupuita suurempi.

Pinojen koon ja sijainnin vaikutusta koivun säilymiseen tutkittiin Stora Enson Pelkolan terminaalissa Imatralla. Tutkimuskohteina olivat useiden satojen metrien pituiset noin kahdeksan metriä korkeat pinot. Näytepölkyt otettiin eri korkeuksilta sekä reunimmaisesta että muiden pinojen suojassa olleesta pinosta.

Kesäkuun lopulla puuaineessa oli alkanut tapahtua muutoksia. Puuaineessa tapahtuneet muutokset olivat seuraavanlaiset:

TAULUKKO 9 Maavarastoidun koivun raaka-ainesisältö kesäkuun lopulla

Näytteenottokohta	Värivikaa	Kovaa lahoa	Pehmeää lahoa	Tervettä puuta
	Osuus, % tilavuudesta			
Alaosasta	9,5	0,2	0,0	90,3
Keskeltä	21,9	0,0	0,0	78,1
Päällimmäisestä osasta	16,1	0,7	0,0	83,2
Vertailu (pintakerros)	13,3	0,0	0,0	86,7

Kosteudet määritettiin kosteusmittarilla. Absoluuttiset tulokset eivät ole verrattavissa hakkeesta määritettyihin kosteuksiin. Lokakuussa puut olivat reunapinossa kuivempia kuin suojaisessa paikassa olleessa pinossa.

TAULUKKO 10 Maavarastoidun koivun loppukosteudet

Näytteenottokohta	Reunapino	Suojainen pino
Alaosasta	24 %	28 %
Keskeltä	25 %	32 %
Päällimmäisestä osasta	25 %	30 %
Vertailu (pintakerros)	29 %	31 %

Kesäkuun lopun jälkeen loppukesällä varastoidun koivun puuaineessa oli tapahtunut suuria muutoksia.

TAULUKKO 11 Maavarastoidun koivun raaka-ainesisältö varastoinnin päätyttyä

Näytteenottokohta	Värivikaa	Kovaa lahoa	Pehmeää lahoa	Tervettä puuta
	Osuus, % tilavuudesta			
Alaosasta, R/S*	3,5 / 10,7	51,8 / 78,8	22,7 / 7,2	22,0 / 3,3
Keskeltä	8,9 / 1,5	69,2 / 82,4	7,2 / 7,1	14,6 / 9,0
Päällimmäisestä osasta	2,5 / 3,5	70,0 / 81,5	6,9 / 2,3	20,5 / 12,7
Vertailu (pintakerros)	3,1 / 4,2	65,8 / 70,4	8,9 / 8,1	22,2 / 17,3

*R = reunapino, S = suojainen pino

Reunapinoissa oli enemmän tervettä puuainesta kuin suojaisissa pinoissa. Ero ei ollut kovin suuri ja se johtui suojaisen pinon suuremmasta kovan lahon osuudesta.

Kooste sellukokeeseen toimitetusta puusta

Seuraavassa esitettävät tiedot on esitetty jo aiemmin, mutta taulukko helpottanee kokonaisuuden hahmottamista.

TAULUKKO 12 Kooste sellukokeisiin toimitetun puun raaka-ainesisällöstä

Varastointitapa/erä	Kosteus, %	Tervettä puuta, %	Väri-vikaa, %	Kovaa lahoa, %	Pehmeää lahoa, %
Vesivarastointi, mänty					
- toukokuussa veteen	52	93	1	6	-
- heinäkuussa veteen	50	82	10	7	1
- vertailu	36 – 40	56 - 60	12 - 21	24 - 29	-
Kasteluvarastointi, mänty					
- kastelu	55	98	1	1	-
- vertailu	35	48	10	42	0
Kastelu, koivu					
- kastelu	48	69	9	22	0
- vertailu	35	12	20	61	7
Kastelu, kuusi					
- sellukuusi kastelu	41	71	3	25	1
- vertailu	35	66	2	29	3
- tyvilahokuusi kastelu	37	91	4	6	-
- vertailu	35	74	10	16	-
Kylmävarastointi, mänty					
- kylmäpuu	52	87	4	9	1
- vertailu	45	76	14	11	-
Kylmävarastointi, kuusi					
- kylmäpuu	45	95	3	2	-
- vertailu	38	86	8	6	-
Kylmävarastointi, koivu					
- kylmäpuu	45	54	5	36	5
- vertailu	36	36	9	49	6

2.2 Sellunkeittokokeet

Seuraavassa esitetään lyhennelmä sellunkeittokokeiden tuloksista. Sellunkeittokokeiden toteutuksesta ja tuloksista on tehty oma raportti: Stefan Achren, Heikki Öhman (UPM-Kymmene Pulp Center) ”Sellupuun laadun säilyttäminen – sellun valmistus ja ominaisuuksien määritykset”.

Sellunkeitto ja valkaisu

Selluosuuden tuloksia tarkasteltaessa on syytä muistaa näytteenoton osittainen epäonnistuminen.

Mänty

Kaikki mäntyerät keittyivät melko samalla tavalla eikä varastointitapa vaikuttanut keittyvyyteen.

Kasteluvarastointi vaikutti männyllä keiton kokonaissaantoon:
a) Kastelukokeen tuore näyte (alkutilanne) antoi suuremman saannon kuin kastelussa olleiden puiden näytteet.
b) Kastelu hidasti saantohäviötä, koska vertailunäytteen saanto oli alhaisempi.

Vesi- ja kylmävarastointi eivät vaikuttaneet keiton kokonaissaantoon.

Männyllä ei havaittu juuri mitään vaikutuksia massojen valkaistavuudessa.

Kuusi

Kuusierät keittyivät melko samalla tavalla eikä varastointitapa vaikuttanut keittyvyyteen.

Kasteluvarastointi tyvilahokuusella ei vaikuttanut keiton kokonaissaantoon. Sellukuusella kokonaissaanto oli puolestaan parempi.

Kylmävarastointi ei vaikuttanut keiton kokonaissaantoon.

Kuusella ei havaittu mitään vaikutuksia massojen valkaistavuudessa.

Koivu

Koivuerät keittyivät samalla tavalla varastointitavasta riippumatta.

Koivulla ei havaittu mitään vaikutuksia massojen valkaistavuudessa.

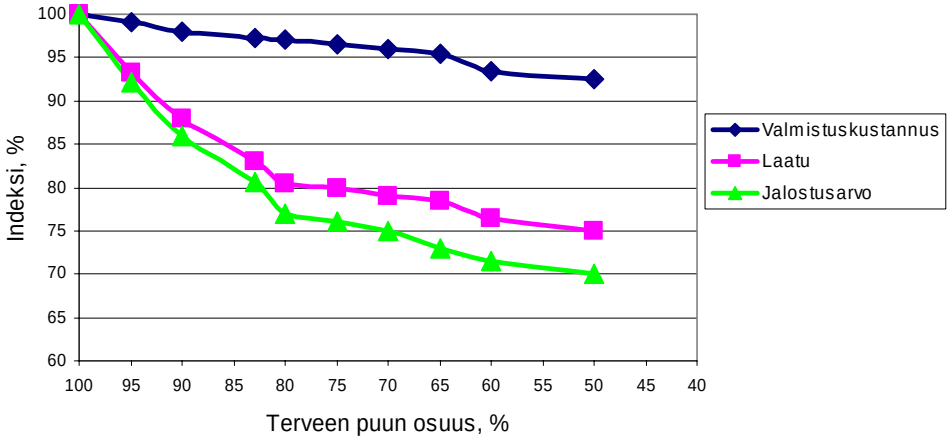
Laatu, valmistuskustannukset ja jalostusarvoindeksit

Sellunkeittotutkimuksessa käytettiin selluasiantuntijoiden suosittelemaa näytteenottomenetelmää. Kukin varastointierä (näyte-erä) oli kooltaan 400 - 1 000 m³. Erien puut ajettiin kuorimarummun kautta haketukseen. Useita hakenäytteitä otettiin koeajon eri vaiheissa. Hakenäytteet toimitettiin välittömästi tutkittavaksi Pulp Centeriin.

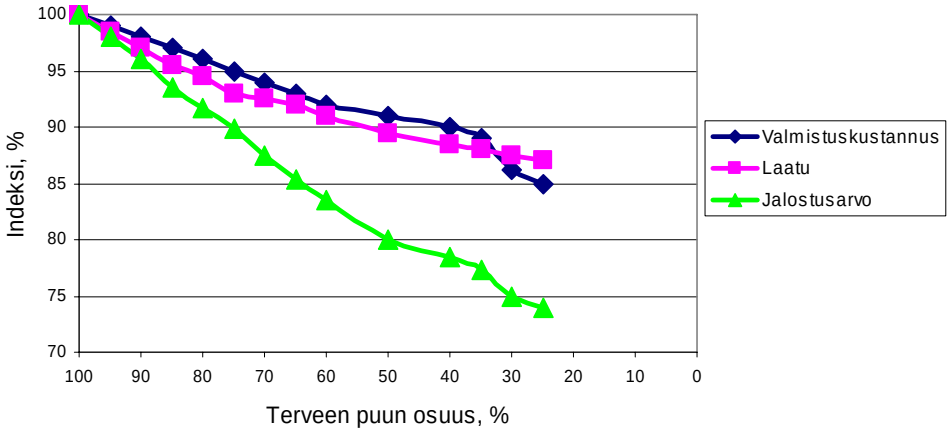
Pulp Centeriin toimitettujen hakenäytteiden puuaineen ominaisuudet poikkesivat useassa erässä vertailunäytteiden puun laadusta. Mukana oli jopa vieraita puulajeja, vaikka kaikki varastoerät olivat yhtä puulajia. Selviä viitteitä epäonnistuneesta näytteenotosta (menetelmästä) oli puolessa aineistosta. Kuitenkaan ei voida tietää, oliko samanlaisia eroavuuksia myös muissa näyte-erissä, vaikka sitä ei tuloksista selkeästi voitu havaita. Näin ei voitane täysin luottaa muihinkaan saatuihin laatu-, valmistuskustannus- ja jalostusarvoindekseihin.

Sellukokeessa käytettyä aineistonkeräysmenetelmää ei voi suositella luotettavaksi ja yleistettäväksi tarkoitettujen tutkimustulosten hankkimiseen.

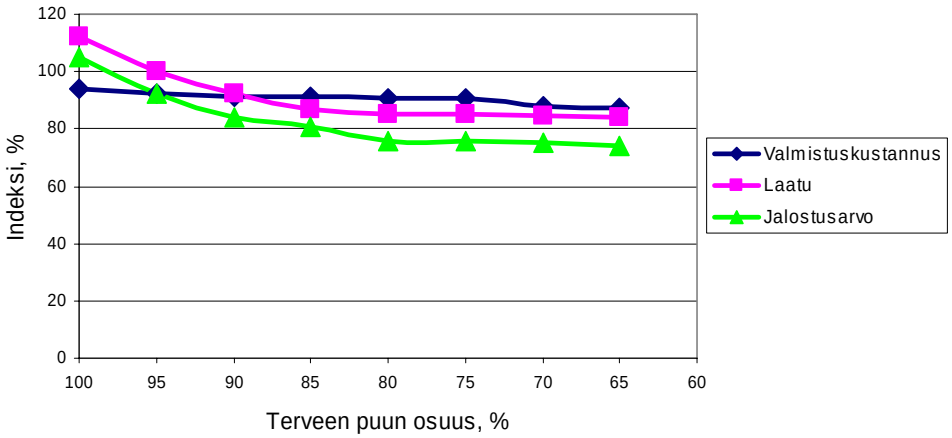
Tässä tutkimuksessa tapahtuneiden puuainemuutosten vaikutukset jalostusarvoihin on otettu aiemman tutkimuksen tuloksista koostetuista lahon puun osuuden ja jalostusarvon välisistä riippuvuuksista (kuvat 5 -7).



Kuva 5. Valmistuskustannusten sekä laatu- ja jalostusarvon riippuvuus terveen puun osuudesta – mäntykuitupuu



Kuva 6. Valmistuskustannusten sekä laatu- ja jalostusarvon riippuvuus terveen puun osuudesta - koivukuitupuu



Kuva 7. Valmistuskustannusten sekä laatu- ja jalostusarvon riippuvuus terveen puun osuudesta – kuusikuitupuu

Terveen puun määrissä tapahtuneiden muutosten vaikutukset sellun valmistuskustannuksiin, laatuun ja näiden yhdistelmään eli jalostusarvoon on saatu esitettyjen riippuvuuskäyrien avulla. Käyttämällä kullekin puulajille keskimääräistä tehdashintaa, laskettiin eri varastointierien arvonalentumiset.

TAULUKKO 13 Varastointierien arvonmuutokset euroina kuutiometriä kohti

Puulaji/varastointi	Erä	Valmistuskustannusmuutos	Laatukustannusmuutos	Jalostuskustannusmuutos
		Laatumuutos, €/m^3		
Vesivarastointi				
Mänty	veteen toukokuussa	0,4	3,2	3,5
	veteen heinäkuussa	1,1	6,0	7,1
	vertailu	2,5	8,5	10,2
Kasteluvarastointi				
Mänty	kastelu	0,0	0,7	0,7
	vertailu	2,8	8,8	10,6
Koivu	kastelu	2,2	3,0	4,8
	vertailu	7,0	5,9	10,7
Sellukuusi	kastelu	4,9	6,4	10,3
	vertailu	5,2	6,4	10,7
Lahokuusi	kastelu	3,3	2,9	6,6
	vertailu	3,9	6,2	10,1
Kylmävarastointi				
Mänty	kylmävarastoitu	0,7	4,9	6,0
	vertailu	1,1	7,1	8,5
Koivu	kylmävarastoitu	3,3	3,7	6,8
	vertailu	4,1	4,4	8,3
Kuusi	kylmävarastoitu	3,1	0,0	3,1
	vertailu	3,7	5,4	7,8

Kokeilluista varastointimenetelmistä saatava hyöty muodostuu vertailuerää vähäisemmästä arvonalentumisesta.

TAULUKKO 14 Kokeilluista menetelmistä saatu taloudellinen hyöty

Puulaji/varastointi	Erä	Valmistus	Laatu	Jalostus
		Hyöty, €/m^3		
Vesivarastointi				
Mänty	veteen toukokuussa	2,1	5,3	6,7
	veteen heinäkuussa	1,4	2,5	3,2
Kasteluvarastointi				
Mänty	kastelu	2,8	8,1	9,9
Koivu	kastelu	4,8	3,0	5,9
Sellukuusi	kastelu	0,2	0,0	0,4
Lahokuusi	kastelu	0,6	3,3	3,5
Kylmävarastointi				
Mänty	kylmävarastoitu	0,4	2,1	2,5
Koivu	kylmävarastoitu	0,7	0,7	1,5
Kuusi	kylmävarastoitu	0,6	5,4	5,7

3 KOKEILTUJEN LAADUN SÄILYTTÄMISTAPOJEN KUSTANNUKSET JA SAAVUTETTU TALOUDELLINEN HYÖTY

Kokeilluilla laadun säilyttämismenetelmillä saavutettavaa hyötyä tulee verrata niiden toteutuksesta aiheutuviin lisäkustannuksiin. Käytännön mittakaavaisissa varastoissa käytettyjen menetelmien kustannukset tulisivat olemaan keskimäärin:

- Kasteluvarastointi (mänty ja koivu) 1,5 euroa/m³
- Kasteluvarastointi (kuusi) 0,5 euroa/m³
- Kylmävarastointi (käytetty menetelmä) 2,25 euroa/m³
- Kylmävarastointi (lumi-purumenetelmä) 2,75 euroa/m³

Vesivarastoinnin kustannukset riippuvat olennaisesti toteutuksesta. Jos vesivarastointi on uiton jatkoa, ei siitä aiheudu välttämättä ollenkaan lisäkustannuksia. Mikäli puut niputetaan ja pudotetaan veteen laadun säilytystä varten erillisenä toimenpiteenä, aiheutuu tästä ylimääräisiä kustannuksia keskimäärin 1,5 euroa/m³.

Kun edellä esitetyt ylimääräiset varastointikustannukset vähennetään varastoinnilla puun laadun paremmasta säilymisestä saaduista hyödyistä, päädytään seuraavanlaisiin kustannushyötyihin.

TAULUKKO 15 Eri kokeilumenetelmillä saavutettu kustannushyöty

Puulaji/varastointi	Erä	Kustannushyöty, €/m³
Vesivarastointi		
Mänty	vedessä (toukok.)	5,2 / 6,7*
	vedessä (heinäk.)	1,7 / 3,2*
Kasteluvarastointi		
Mänty	kastelu	8,4
Koivu	kastelu	4,4
Sellukuusi	kastelu	-0,1
Lahokuusi	kastelu	3,0
Kylmävarastointi		
Mänty	kylmävarastoitu	0,2
Koivu	kylmävarastoitu	-0,8
Kuusi	kylmävarastoitu	2,5

*ensimmäinen arvo on erikseen veteen laitettavalle puulle ja jälkimmäinen uiton kautta tulevalle puulle (koetilanne)

Tulokset voidaan tiivistää seuraavasti:

- ***Männyllä*** vesivarastointi ja runsas kastelu olivat selvästi kannattavia. Kylmävarastoinnilla ei puolestaan saavutettu mitään etua.
- ***Koivulla*** runsas kastelu oli kannattavaa. Kylmävarastoinnissa olivat kustannukset etuja suuremmat.
- ***Kuusella*** kylmävarastointi oli kannattavaa, jopa sellun tekoa ajatellen. Vähäinen kastelu paransi tulosta lahokuusella, muttei sellukuusella.

4 YHDISTELMÄ TULOKSISTA

Varastoinnin aikana tapahtuva lahoaminen saa aikaan suuria taloudellisia vahinkoja sellutehtaille. Sekä laadun että valmistuksen kannalta lahonnut puuaine on vähempiarvoista. Havupuun laho huonontaa lujuutta ja kuituominaisuuksia; armeerauskyky alenee ja puunkulutuskerroin nousee. Koivulla lahon vaikutus ei juuri näy laadussa, mutta kylläkin puunkulutuskertoimissa.

Vesivarastointi

Vesivarastointi oli hyvä tapa varastoida mäntyä, koska kosteus pysyi suurena, eikä puu lahonnut läheskään yhtä nopeasti kuin maavarastoinnissa. Männyn vesivarastointikokeessa kosteus oli 50 – 52 % ja vertailupuussa 36 – 40 %. Ero lahon puun osuudessa oli 18 – 21 %. Kosteus korreloi lahomäärään ja lahomäärä kuidunpituuteen, pituusmassaan, repäisylujuuteen (armeerauskertoimeen) ja kuiva-tuoretiheyteen (puunkulutuskertoimeen). Kustannushyöty männyn vesivarastoinnissa oli merkittävä.

Kastelu

Runsas kastelu (ja kuiva kesä) esti puuta kuivumiselta ja osoittautui hyväksi tavaksi varastoida. Liian vähäinen kastelu (ja sateinen kesä) ei estänyt puun kuivumista, mutta hidasti sitä.

Männyn kastelukokeessa (runsas kastelu) kosteus oli syksyllä 55 % ja vertailupuussa 35 %. Ero lahon puun määräosuudessa oli 41 %. Kosteus korreloi lahomäärään ja lahomäärä repäisylujuuteen (armeerauskertoimeen) sekä kuiva-tuoretiheyteen (puunkulutuskertoimeen). Kustannushyöty oli männyn kastelukokeessa koesarjan suurin.

Tyvilahokuusen kastelukokeessa (riittämätön kastelu) kosteus oli 37 % ja vertailupuussa 35 %. Ero lahonpuun osuudessa oli kuitenkin 10 %. Tyvilahokuusen kuivaessa syntyy kovaa lahoa, mikä ensisijaisesti vaikuttaa vahingollisesti sellun laatuun. Kastelulla saavutettiin jonkinlainen kustannushyöty.

Sellukuusen kastelukokeessa (riittämätön kastelu) kosteus oli 41 % ja vertailupuussa 35 %. Ero lahon puun osuudessa oli vain 4 %. Sellukuusella varastointikulut olivat suuremmat kuin saavutettu hyöty.

Koivun kastelukokeessa kosteus oli 48 % ja vertailupuussa 35 %. Ero lahon puun osuudessa oli 46 %. Koivun kastelussa saavutettiin selkeä kustannushyöty.

Kylmävarasto

Kylmävarasto hidasti puuainetta sekä kuivumiselta että lämpiämiseltä. Käytetty kylmävarastotekniikka on suunniteltu käytettäväksi talvikaatoisen kuusihiomopuun alkukesään kestävään varastointiin, eikä siten ollut tehokkain mahdollinen käytettävissä oleva menetelmä.

Männyn kylmävarastokokeessa kosteus oli 52 % ja vertailupuussa 45 %. Ero lahonpuun osuudessa oli vain 1 %. Kustannushyöty menetelmässä oli männyllä mitätön.

Kuusen kylmävarastokokeessa kosteus oli 45 % ja vertailupuussa 38 %. Ero lahonpuun osuudessa oli 9 %. Kylmävarastointi oli kuusella selvästi kannattavaa.

Koivun kylmävarastokokeessa kosteus oli 45 % ja vertailupuussa 36 %. Ero lahonpuun osuudessa oli 14 %. Koivun kylmävarastoinnissa saavutetut hyödyt eivät kattaneet kustannuksia.

5 PÄÄTELMIÄ

Kaikilla käytetyillä varastointimenetelmillä puun laatu saatiin säilymään paremmin kuin vertailunäytteissä. Kun menetelmien käyttöä harkitaan, tulee verrata erityisvarastoinnista aiheutuvia kustannuksia sekä puun laadun paremmasta säilymisestä koituvia hyötyjä.

Männyn varastointimenetysten pienentämiseen kastelu ja vesivarastointi näyttäisivät olevan kustannustehokkaita menetelmiä. Koivulla käyttökelpoinen menetelmä on kastelu. Sellukuuselle soveltuu hiomokuusellekin käytettävä kylmävarastointi.

Esitetyt taloudellisuustarkastelut perustuvat Varastoinnin vaikutus kuitupuuhun -sellupuolen tutkimustuloksiin (Metsätehon raportti 91 A ja Pulp Centerin tulosraportti 9.3.2000 Varastolahon kuitupuun jalostusarvo sellun valmistuksessa). Eräissä muissa tutkimuksissa on saatu tuloksia, joissa varastoinnin aiheuttamat menetykset ovat olleet lievempiä. Käytännössä puun laadun vaihtelusta, varastointiolosuhteista ja -säätiloista johtuen ei ole yhtä ja oikeaa tulostasoa, varastoinnin aiheuttamat jalostusarvon alentumiset muodostavat ikään kuin vaihtelua sisältävän putken. Käytetyt jalostusarvon menetykset sijaitsevat todennäköisesti kyseisen putken yläosassa.