

Talvikaatoisen kuusikuitupuun kylmävarastointi

**Markku Mäkelä
Antero Varhimo
Olavi Pennanen**

**Metsätehon raportti 107
18.5.2001**

Talvikaatoisen kuusikuitupuun kylmävarastointi

Markku Mäkelä
Antero Varhimo
Olavi Pennanen

Metsätehon raportti 105
18.5.2001

Ryhmähanke: A. Ahlström Osakeyhtiö, Koskitukki Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: varastointi, puuaineen säilyminen, kuusihiomopuu, kylmävarastointi

© Metsäteho Oy

Helsinki 2001

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	4
1.1 Yleistä.....	4
1.2 Hakkuiden kausivaihtelu	5
2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	7
3 KYLMÄVARASTOINTI	7
3.1 Kylmävarastoinnin toteutus.....	7
3.1.1 Aineisto ja menetelmät	7
3.1.1.1 Kylmävarastokasat.....	7
3.1.1.2 Lämpötilamittaukset	14
3.1.1.3 Näytteet puun laatumäärittämiseen	14
3.2 Tulokset	14
3.2.1 Kokemukset varaston tekemisestä.....	14
3.2.2 Kustannukset	15
3.2.3 Lämpötilat.....	16
3.2.4 Puuaineen tuoreus ja kosteus.....	18
3.2.5 Vaaleudet.....	19
3.3 Kylmävarastoinnin taloudellinen merkitys.....	22
4 TULOSTEN YHTEENVETO.....	22
5 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN	23
6 KIRJALLISUUS	23

1 JOHDANTO

1.1 Yleistä

Puun hankinta eri lähteistä ja tehtaiden puunkäyttö eivät ole tasapainossa eri kausina. Talvella hakataan selvästi enemmän puuta kuin jalostuksessa tarvitaan. Keväällä ja kesällä käyttö on korjuuta runsaampaa. Eri puutavaralajien hakkuiden jakautuminen epätasaisesti kausittain lisää vielä korjuu- ja käyttömäärien epäsuhtaa. Jatkossa on odotettavissa vielä suurempia kausittaisia määräeroja, koska tuontipuumäärät lisääntyvät ja kesähakkuuta pyritään vähentämään maastoltaan aroissa kohteissa.

Kausivaihtelu puunkorjuussa johtaa puutavaran varastointiin. Suurimman varastointiongelman aiheuttaa talvikaatoisen puutavaran laadun säilyttäminen kesän ylitse loppukesän tai syksyn käyttöön.

Varastoinnin aikana puuaineen laadussa tapahtuu suuria muutoksia. Varastolahon vaikutuksesta kaikki puuerät eivät enää sovellu tarkoitettuun jalostuskäyttöön ja vaikka soveltuisivatkin, niiden jalostusarvo on alentunut.

Säilyvyysongelma on pahin laatumuutoksiin herkillä puutavaralajeilla; havusahatukeilla ja kuusikuitupuulla. Sahatukeilla ongelmaa pienentää se, että puunhankinta tapahtuu pitkälti sahatukkien ehdoilla, sillä esimerkiksi tukkien kesäaikainen hakkuu mitoitetaan sahojen tarpeen mukaisesti.

Kuusikuitupuun korjuumäärien sovittaminen tasaiseen kuukausittaiseen käyttöön on sen sijaan lähes mahdotonta. Kuusikuitupuuta kertyy eniten talvihakkuista. Sulan maan aikana tehdään mahdollisimman vähän kuusikoiden harvennuksia mm. korjuuvaurioiden välttämiseksi ja juurikäävän leviämisen estämiseksi. Loppukesälle tyypillisistä tukkivaltaisista päätehakkuuleimikoista ei puolestaan kerry tarvetta vastaavaa määrää kuusikuitupuuta.

Puun laadun säilyttämiseen kesäaikana on kehitetty ns. kylmävarastointi, jolla tarkoitetaan talvikaatoisen puutavaran varastoimista siten, että puuaine säilyy kylmänä ja kosteana mahdollisimman pitkälle kesään. Tällöin eivät home-, sinistäjä- ja lahottajasienten aiheuttamat muutokset pääse käynnistymään ja edellytykset puuaineen säilymiselle lähes korjuuvaiheen laatuena ovat hyvät.

Kylmävarastoinnin tavoite ei ole pitää varastoitua puutavaraa mahdollisimman kylmänä, vaan estää puutavaran laatua huonontavien, yleensä sienten aiheuttamien muutosprosessien käynnistyminen. Näitä muutoksia ovat kuusikuitupuussa pölkkyjen päiden tummuminen ja puuaineen vaaleuden vähentyminen. Lämpötilan lisäksi sienien toimintaa yleensä rajoittaa puuaineen liian suuri tai pieni kosteus.

Kylmävarastointi aloitettiin kokeiluluonteisena 1990-luvun alkupuolella. Alussa varastoitiin havusaha- ja koivuvaneritukkeja. Sitten on pääkoh- teeksi tullut kuusikuitupuu. On haluttu luoda menetelmä, jolla talvikaatoi- nen kuusikuitupuu kelpaa laadultaan mekaanisen massan raaka-aineeksi myös kesäkaudella, sekä torjua kuusikuitupuun pulaa loppukesällä. Talvina 1998 - 1999 ja 1999 - 2000 on kylmävarastoitu useita satojatuhansia kiinto- kuutiometrejä puuta.

Hiomopuun laadun säilyttämisen tarkoitus on säilyttää puun ominaisuudet hiontaa ajatellen mahdollisimman hyvinä, jotta kuidut katkeilevat tai murs- kautuvat hionnassa mahdollisimman vähän. Tässä auttaa kosteuden säilymi- nen. Puuaineen vaaleus puolestaan vaikuttaa valkaisu- ja värjäyskustannuksiin.

1.2 Hakkuiden kausivaihtelu

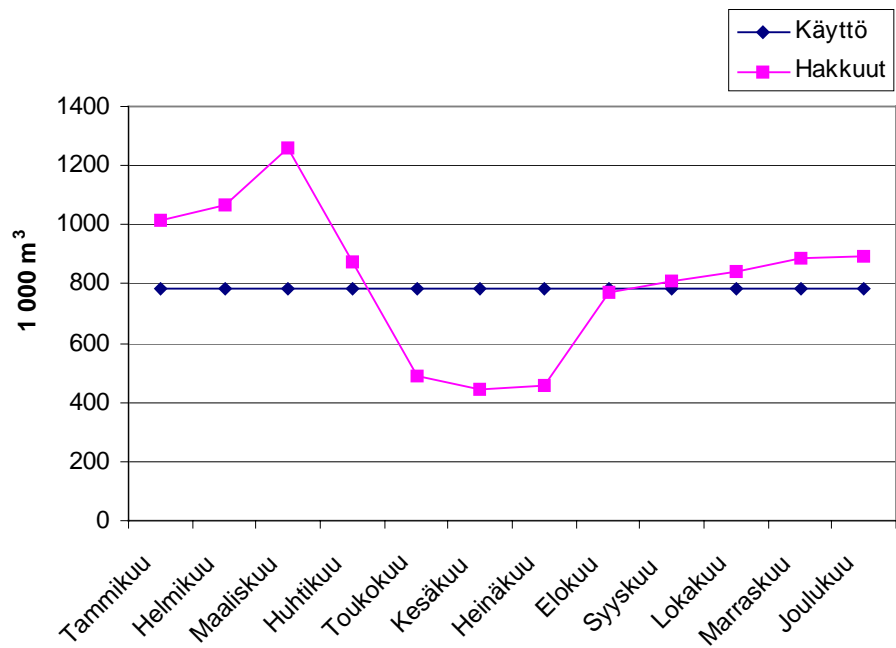
Hakkuiden koneellistaminen ja tehtaiden tuoreen puun tarve ovat lisänneet kesähakkuita. Autokuljetuksen käytön laajeneminen yhdessä tieverkon ke- hityksen kanssa ovat mahdollistaneet suoriin, entistä tasaisempiin toimituk- siin perustuvan puuhuollon. Viime vuosina kuitenkin kelirikkokauden eli huhti-toukokuun hakkuut ovat vähentyneet ja keskikesän eli heinä-elokuun hakkuut lisääntyneet.

Teollisuudessa on tuotantoa ja tuotteita kehitetty erityisesti viime vuosina raaka-aineen toimitusten antamien mahdollisuuksien mukaan. Suomen met- säteollisuuden kehitys onkin perustunut paljolti tasaiseen puuhuoltoon, joka on vähentänyt hankintakustannuksia, sekä korkealaatuiseen ja tuoreeseen raaka-aineeseen, joka on mahdollistanut tuotteiden ominaisuuksien paran- tamisen. Yleisenä pyrkimyksenä puunhankinnan kehittämisessä onkin ollut vähentää varastointia ja toimittaa puu suoraan tehtaalle.

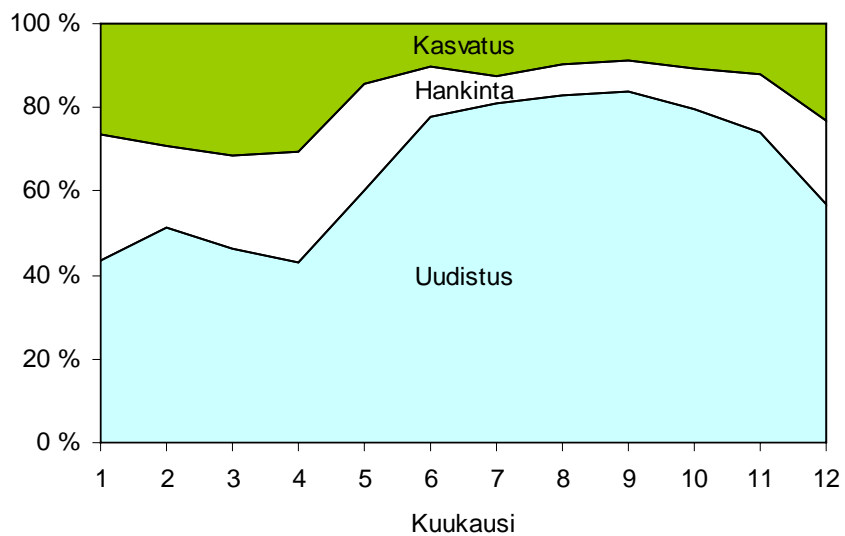
Seuraavassa esimerkkivuodeksi on valittu 1998. Silloin hakkuu- ja käyttö- määrien eroissa oli melkoista kausivaihtelua (kuva 1). Hakkuut kesäkuukau- sina olivat vajaat 3 milj. m³ kuukaudessa, kun saman ajan käyttö oli 4 – 5 milj. m³ kuukaudessa. Koko kesäajan noin 5 milj. m³:n käyttöä pienempi hakkuumäärä oli täytettävä aiemmin hakatun puun varastoinnilla. Aivan tasaisiin hakkuisiin ei ole kuitenkaan koskaan realistista pyrkiä.

Kuusikuitupuun hakkuut ajoittuvat runsaimpina loppusyksyyn ja talveen. Sinä aikana hakattiin myös kesäaikana tarvittavaa puuta noin miljoona kuu- tiometriä. Tästä merkittävä osa olisi ollut syytä laittaa kylmävarastoihin. Varastoitavissa puumäärissä on otettava huomioon myös sahojen loma- seisokki, jolloin saha- ja hakke on korvattava kuitupuulla.

Kuusikoiden harvennuksia ja rehevien kuusikoiden hakkuita tehtiin kesällä vähän (kuva 2). Järeiden kuusikoiden hakkuiden aloitusajankohta on merkittävä, koska silloin latvakuitupuun ohessa tehtaille alkaa tulla saha- ja haketta.



Kuva 1. Kuusikuitupuun käyttö- ja hakkuumäärät keskimäärin vuosina 1998 – 2000.



Kuva 2. Kuusikuitupuun hakkuutapaosuudet.

Puuhuollolle aiheutuu ongelmia myös siitä, ettei tuontipuu, joka oli tarkastelun ulkopuolella, ole samalla lailla hallittavissa kuin oma hankinta. On syytä myös muistaa, että kelirikko vaikeuttaa kuljetuksia alempiasteisella tieverkolla.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Kylmävarastointitutkimus kuuluu osana "Talvikaatoisen puutavaran säilyminen" -hankkeeseen. Hanke jaettiin aikanaan kylmävarastoinnin toteutus- ja kehittämisosaan sekä samanaikaisesti työtään tehneen kesähakkuutyöryhmän tarpeisiin laadittuun "Kesähakkuiden vähentämisen merkitys teollisuuden raaka-ainehuollolle"-selvitykseen (Metsätehon raportti 92).

Hanke aloitettiin keväällä 1999. Ensimmäisenä kesänä pystyttiin jo seuraamaan talvella 1998 - 1999 tehtyjen kylmävarastoitujen puiden laadun säilymistä ja varastointikustannuksia sekä keräämään kokemustietoutta. Saadut tulokset julkaistiin Metsätehon oppaassa "Puutavaran kylmävarastointi - ohjeita tekijöille" vuodenvaihteessa 1999 - 2000.

Varsinainen suunniteltu kylmävarastointiosuus toteutettiin Metsätehon, Metsäliiton, Stora Enso Metsän, UPM-Kymmene Metsän, Koskitukin ja Metsähallituksen yhteistyönä. Hankkeessa seurattiin yhtenäisesti erilaisten kylmävarastojen lämpötiloja ja kustannuksia sekä selvitettiin varastoitujen puiden laatumuutokset.

Kylmävarastojen toteutuksen kustannus- ja lämpötilatiedot saatiin varastojen tekijöiltä, puuraaka-aineen laatumääritykset teki kaikissa kohteissa KCL (Keskuslaboratorio Oy).

3 KYLMÄVARASTOINTI

3.1 Kylmävarastoinnin toteutus

3.1.1 Aineisto ja menetelmät

3.1.1.1 Kylmävarastokasat

Tutkimuksessa seurattiin yhdeksää eri tavoin toteutettua kylmävarastokasaa. Sekä Joensuun seudulta että Kymenlaaksosta oli neljä kasaa ja Mikkelin läheltä yksi. Kylmävarastoitu puu oli kuusikuitupuuta. Varastot olivat seuraavanlaisia:

1. UPM-Kymmene, Joensuu

- Pinojen päälle kasattiin luonnonlunta 60 - 75 cm ja sen päälle purua 35 cm.
- Kasan koko oli 9 000 m³.
- Varaston tekoaika oli 1.1. - 16.2.2000.
- Varasto purettiin 1.7 - 20.7.2000.

2. UPM-Kymmene, Voikkaa

- Pinojen päälle tykitettiin lunta 30 cm ja sen päälle levitettiin purua 25 cm.
- Kasan koko oli 30 000 m³.
- Varaston teko aloitettiin 1.1.2000.
- Varasto purettiin 10.7. - 6.8.2000.

3. UPM-Kymmene, Voikkaa

- Pinojen päälle tykitettiin lunta 30 cm ja sen päälle levitettiin Ecovilla-foliopatjoja (paksuus 10 cm).
- Kasan koko oli 2 000 m³.
- Varaston teko aloitettiin 1.1.2000.
- Varaston purkaminen alkoi 4.7.2000.

4. Stora Enso, Joensuu

- Kuusikuitupinojen ympärille tehtiin suojapinot mäntykuitupuusta ja päälle laitettiin 0,5 - 1,2 metrin kerros koivukuitupuuta. Pinot jäädettiin tekovaiheessa vedellä.
- Kasan koko oli 18 500 m³.
- Varaston tekoaika oli 15.12.1999 - 7.4. 2000.
- Varasto purettiin 27.6. - 26.7.2000.

5. Stora Enso, Tuupovaara

- Pinojen väliin ja päälle lingottiin luonnonlunta. Kuusipinojen ympärille tehtiin suojapinot mäntykuitupuusta ja pinojen päälle laitettiin 0,5 - 1,0 metrin kerros koivukuitupuuta.
- Kasan koko oli 5 700 m³.
- Varaston tekoaika oli 1.1. - 19.4.2000.
- Varasto purettiin 26.6. - 7.7.2000.

6. Stora Enso, Rahke

- Kuusikuitupinojen ympärille tehtiin suojapinot mäntykuitupuusta ja päälle laitettiin 0,5 - 2,0 metrin kerros koivukuitupuuta. Pinot jäädettiin tekovaiheessa vedellä.
- Kasan koko oli 13 700 m³.
- Varaston tekoaika oli 3.1. - 14.4.2000.
- Varasto purettiin 26.7. - 18.8.2000.

7. Metsäliitto, Ummeljoki

- Pinojen päälle tykitettiin lunta 40 cm ja sen päälle levitettiin purua 30 cm. Osa purusta oli edellisen vuoden pinosta.
- Kasan koko oli 9 800 m³.
- Varaston teko aloitettiin 22.2.2000.
- Varasto purettiin 4.8.2000.

8. Metsäliitto, Myllykoski

- Pinojen päälle tykitettiin lunta 40 cm ja sen päälle levitettiin suojapeite (viira) estämään lumen ja purun valumista rakoihin. Tämän päälle levitettiin purua 30 cm.
- Kasan koko oli 17 700 m³.
- Varaston teko alkoi 2.3.2000.
- Varaston purkaminen alkoi 21.8.2000.

9. Metsäliitto, Ristiina

- Pinojen päälle tykitettiin lunta 40 cm ja sen päälle levitettiin kuorta 30 cm.
- Kasan koko oli 9 000 m³.
- Varaston teko alkoi 1.3.2000.
- Varaston purkaminen alkoi 13.7.2000.

10. Stora Enso, Imatra

- Vertailueräksi otettiin vesivarastossa nipuissa säilytettyä talvikaatoista kuusikuitupuuta. Näytteet vesivarastoidusta puusta otettiin heinäkuun puolellavälissä ja syyskuun alkupuolella.

Perinteinen kylmävarasto – puut peitetty tykkilumella ja päälle on levitetty sahanpurua. Yläkuvassa lumetusta, alakuvassa varasto kesällä.

Lumella ja kuorella peitetty kylmävarasto. Yläkuvassa puut talvella ennen lumetusta, alakuvassa varasto kesällä.

Vedellä jäädytetty kylmävarasto. Kuusipuut ympäröidään ja peitetään mänty- ja koivukuitupuulla. Yläkuvassa jäädytysvaihe, alakuvassa varasto kesällä.

Lumella ja foliopatjoilla peitetty kylmävarasto. Yläkuvassa lumetettua ka-
saa peitetään foliopatjoilla. Alakuvassa varasto kesällä.

3.1.1.2 Lämpötilamittaukset

Jokaiseen kylmävarastoon asennettiin talvella 2000 varaston tekovaiheessa putket sisälämpötilojen mittaamiseksi. Kuhunkin kasaan tuli kolme mittauskohtaa, yksi keskelle ja kaksi neljänneksen päähän reunoista. Lämpötilamittaukset tehtiin heti kasan valmistuttua ja tämän jälkeen maaliskuu-, huhti- ja toukokuun puolivälissä 1,5:n, 3,0:n ja 4,0 metrin korkeudelta pohjalta. Tämän jälkeen mittauksia tehtiin kahden viikon välein aiempien mittausskohtien lisäksi myös 0,5:n, 1,0:n, 1,5:n ja 2,0 metrin päästä pinnasta.

3.1.1.3 Näytteet puun laatumääritykseen

Näytteitä kuusikuitupuun kosteuden ja vaaleuden määrittämiseksi otettiin kustakin kasasta kolmelta eri korkeudelta: ylimmästä, keskimmäisestä ja alimmasta kolmannekselta. Jos kasojen purkamisen kesti yli kaksi viikkoa, näytteitä otettiin kaksi kertaa, muutoin kerran. Kaatotuoreen puun vertailunäytteet otettiin Joensuun seudulta ja Kymenlaaksosta näytteenoton aikaan tehtaalte tulleesta vastaavankokoisesta kaatotuoreesta kuusikuitupuusta.

Näytteitä otettiin kustakin kerroksesta kahdesta noin 12 - 13 cm:n paksuisesta pölkystä. Pölkkyt valittiin siten, että ne olivat luokkaansa edustavia, mutta mahdollisimman virheettömiä (päiden väriviasta ei välitetty). Pölkkyistä sahattiin kaksi 3 - 4 cm:n paksuista kiekkoa metrin päästä tyvestä. Toinen kiekkoista käytettiin kosteus- ja toinen vaaleusmäärityksissä. Kiekot toimitettiin välittömästi Keskuslaboratorioon pakkassäilytykseen odottamaan kosteus- ja vaaleusanalyysien tekoa. Ennen analyysijä kiekkoista mitattiin läpimitta kuoren alta ja päältä ja laskettiin vuosilustojen määrä. Kiekkojen kosteus (kuiva-ainepitoisuus) määritettiin SCAN-CM 39:94-menettelmän mukaisesti ja vaaleus SCAN-CM 59:96-menettelmällä.

3.2 Tulokset

3.2.1 Kokemukset varaston tekemisestä

Kylmävarastojen tekijöiltä kysyttiin tekotavan yksityiskohtien lisäksi kommentteja käytetyn menetelmän hyvistä ja huonoista puolista sekä parannusehdotuksia. Seuraavassa esitetään menetelmittain saatuja mielipiteitä.

Peittäminen lumella ja purulla on perinteisesti käytetyin menetelmä. Sen etuja ovat purun helppo levitettävyyys sekä mahdollisuus käyttää puru uudesta. Käytetyn purun käyttö lisää kuitenkin kiviaineksen määrää purun seassa.

Menettelmän haittana on se, että tekovaiheessa tarvitaan pakkasia. Puru voi olla hankala levittää. Se myös pölyää, ja joskus kasaa joudutaankin kastelemaan pölyämisen estämiseksi. Puru on vaikeaa poistaa ja voi aiheuttaa ongelmia tehtaan vesikierrossa, jos sitä kulkeutuu pölkkyjen mukana.

Jos lumen ja purun välissä käytetään suojapeitettä, on purun talteenotto helpompaa kuin muuten. Puru ei myöskään tartu pölkkyihin ja siten kulkeudu prosessiin. Peitettä käytettäessä ei purua tule levittää työntämällä.

Kun peittämisessä käytetään kuorta purun asemasta, saadaan pölyämätön pintakerros eikä kuorta kulkeudu pölkkyjen mukana varastopaikalta prosessiin. Lisäksi kuorenpalasilla on sidontakykyä ja ne muodostavat osittain kantavan kerroksen, joka ei putoa lumen sulettua pinojen väliin niin helposti kuin puru. Kuori- ja puruvaihtoehdoissa puu säilyi yhtä hyvin.

Yhdellä varastolla kokeiltiin purun tai kuoren muodostaman eristekerroksen korvaamista puhallusvillalla täytetyillä foliopatjoilla. Peittäminen patjoilla oli varsin työläs ihmistyövaltainen työvaihe. Patjat olivat arkoja tuulelle, ja kasojen korjaaminen oli työlästä. Purkaminen oli myös hankalaa, ja patjat repeytyivät helposti, kun niitä poistettiin kasan päältä.

Alku- tai keskikesällä käyttöön tarkoitettuja puita varastoitiin ilman lumella peittämistä. Kuusikuitupuupinot ympäröitiin sellupuulla, yleensä männyllä. Pinot jäähdytettiin yleensä ruiskuttamalla vettä pakkasella pinojen päälle. Muodostelman päälle asetettiin puolesta kahteen metriin paksu koivukuitupuukerros. Kevein vaihtoehto oli lumen linkoaminen kasan vierestä sen sisälle ja päälle. Menetelmän etu on mm. riippumattomuus lumetustyöstä ja sen tiukasta aikataulusta. Haittana pidetään pakkasen ja lumisateiden tarpeellisuutta tekovaiheessa.

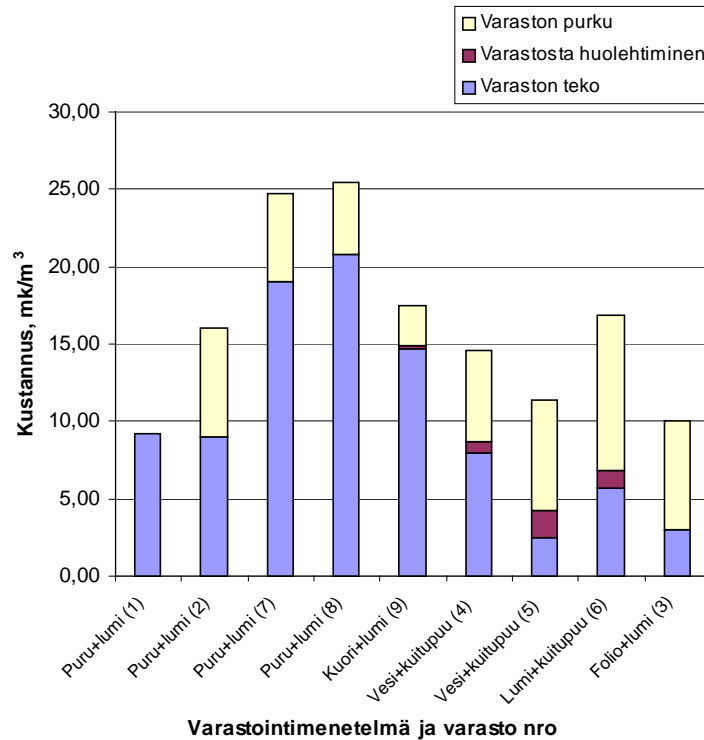
Yleinen havainto menetelmästä riippumatta oli se, että mikäli tekijät olivat tunnollisia ja osaavia, jälki oli hyvä. Erityisen tärkeää tekemisen ja säilymisen kannalta on, että puut ladotaan tiiviisti. Tilapäisautojen käyttöä kylmävarastojen ajossa ja teossa tulisi välttää.

Varasto tulee sijoittaa kaikkina vuodenaikoina hyvin kantavalle pohjalle, mieluiten asvaltতিকentälle, sillä sulamisvedet pehmentävät normaalioloissa hyvinkin kantavan pohjan. Kylmävarasto tulisi sijoittaa siten, että sulamisvedet voidaan johtaa pois varaston luota.

3.2.2 Kustannukset

Kylmävarastoinnin kustannusten suuruuteen vaikuttaa toteutusmenetelmän lisäksi moni muu tekijä. Näitä ovat mm. varaston koko, toteutuspaikka ja sijainti kuljetusketjussa. Kylmävaraston teossa on useita työvaiheita, joiden kustannukset eivät olennaisesti riipu varaston koosta. Näin pienten kasojen tekeminen tulee puumäärää kohti yleensä suuriksi. Kasan sijainti kuljetusketjussa vaikuttaa siihen, paljonko ylimääräisiä kuljetuskustannuksia varastointi aiheuttaa. Menetelmävaihtoehtoja vertailtaessa tulisi ottaa huomioon vain varsinaiseen varaston tekoon ja purkamiseen kohdistuvat kustannukset, mieluiten vielä tietynkokoisissa varastoissa. Hankkeessa seurattavat varastot oli valittu pelkästään tekotavan perusteella ilman toistoja, joten aineistosta ei pystytty selvittämään varaston koon vaikutuksia.

Seurattujen kylmävarastojen kokonaiskustannukset vaihtelivat tavanomaisilla toteutustavoilla runsaasta 13 markasta vajaaseen 35 markkaan kiinto-kuutiometriä kohti. Foliopatjoja käytettäessä kokonaiskustannukset olivat 65 markkaa, josta patjojen osuus oli 55 markkaa. Kun kustannuksista poistettiin ylimääräiset kuljetuskustannukset ja muut kustannukset, oli vaihtelu 9,20 - 25,50 mk/m³ (kuva 3).



Kuva 3. Kylmävarastojen teko-, huolto- ja purkukustannukset.

Käytetyt kylmävarastojen teko- ja toteutustavat eivät olleet vielä kaikissa tapauksissa vakiintuneet. Kustannusten voidaan olettaa muuttuvan kokemuksen kertyessä ja oikeiden tekijöiden löytyessä. Näin kustannukset todennäköisesti hieman pienenevät tulevaisuudessa.

Paitsi oikea toteutustapa myös käyttöajankohdan huomioon ottaminen vaikuttaa kustannuksiin. Liian hyvin tehty varasto alkukesällä käyttöön otettavalle puulle aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia. Toisaalta liian huono toteutus loppukesällä tai syksyllä käyttöön otettaville varastoille vähentää saatavaa hyötyä puun laadun huonontumisen johdosta.

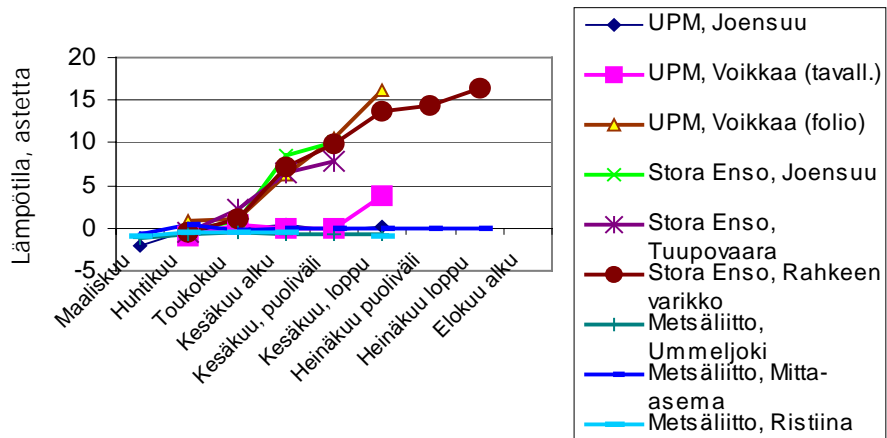
3.2.3 Lämpötilat

Varaston tekomenetelmästä riippumatta lämpötilat säilyivät tekoajankohdasta toukokuun puoleenväliin melko vakioina. Tämän jälkeen varaston tekotavan vaikutus alkoi näkyä selvästi.

Saman kasan eri osissa eivät lämpötilat vaihdelleet merkittävästi. Keski- ja laitaosien mittauspisteiden lämpötilojen välillä oli hyvin pieniä muttei systemaattisia eroja.

Samassa kasassa eri korkeuksilla lämpötilat eivät suuresti vaihdelleet varastointiajan ja toukokuun puolenvälin välillä. Mikäli eroja oli, vaihtelu oli yleisemmin alle asteen, suurimmillaankin kaksi astetta. Toukokuun puolenvälin jälkeen suurimpaan osaan kasoista tuli eri korkeuksille pieniä lämpötilaeroja. Lumi- ja puru-/kuorikasoissa ei muutoksia ollut tai ne olivat 2 - 3 asteen luokkaa. Vedellä tai lingotulla lumella jäädytetyissä ja kuitupuulla peitetyissä kasoissa lämpötilaerot olivat alimman ja ylimmän kolmanneksen välillä yleisimmin 2 astetta ja suurimmillaan 5 astetta.

Koska lämpötiloissa varastokasojen eri osissa ei ollut merkittäviä eroja, voidaan varastointimenetelmistä johtuvia lämpötilamuutoksia tarkastella kaikissa kasoissa samasta kohdasta (kuva 4).



Kuva 4. Keskimääräiset lämpötilamuutokset kasoissa varastoinnin aikana.

Varastointimenetelmissä, joissa kasa peitettiin lumella ja purulla tai kuorella, sisälämpötilat säilyivät nollan tienoilla purkamiseen asti. Poikkeuksen muodosti varasto, jossa katekerros suli ennen aikaisesti yläkulmista ennen purkamista. Menetelmissä, joissa kasa jäädytettiin vedellä tai lingotulla lumella ja peitettiin koivukuitupuulla, lämpötilat alkoivat nousta selvästi toukokuussa. Niiden lämpötilat saavuttivat heinäkuun loppupuolella melkein vallinneen ulkolämpötilan.

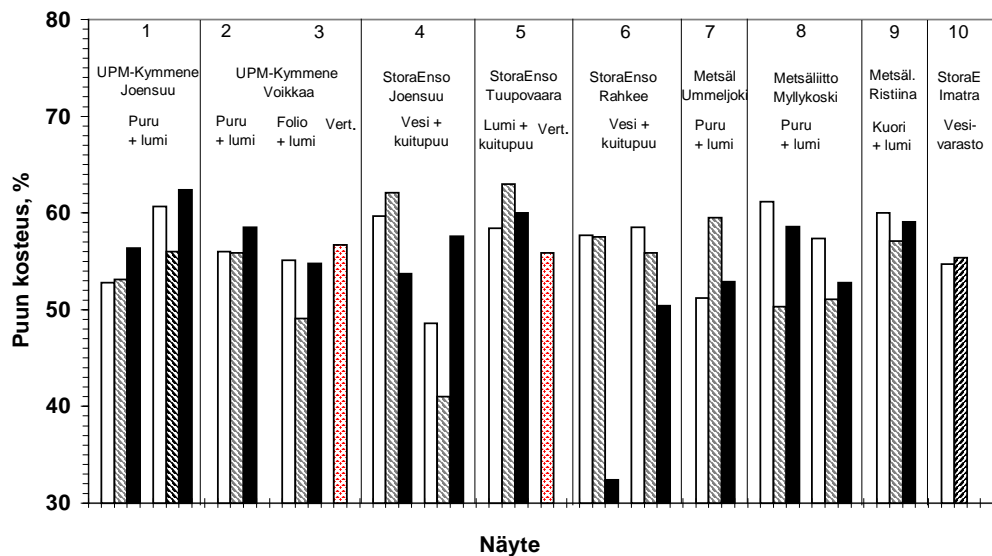
3.2.4 Puuaineen tuoreus ja kosteus

Mekaaniset massojen raaka-aineet eivät saa kuivua, koska kuivan puun massanvalmistuskustannukset nousevat ja massojen lujuudet alenevat.

Kosteudella on suurin vaikutus puuaineen muutoksiin. Monesti muutokset alkavat kosteuden laskiessa alle 45 prosenttiin (veden suhde kokonaisuudessaan). Puun kosteus kaatohetkellä riittää yleensä estämään erilaisten home-, sinistäjä- ja lahottajasienten kasvun.

Aiemmissä varastointitutkimuksissa talvikaatoisen kuusikuitupuun kosteus oli 55 - 60 %. Kosteus alentui maavarastossa selkeästi toukokuusta lähtien elokuuhun asti, jolloin se saavutti 30 %:n minimikosteuden.

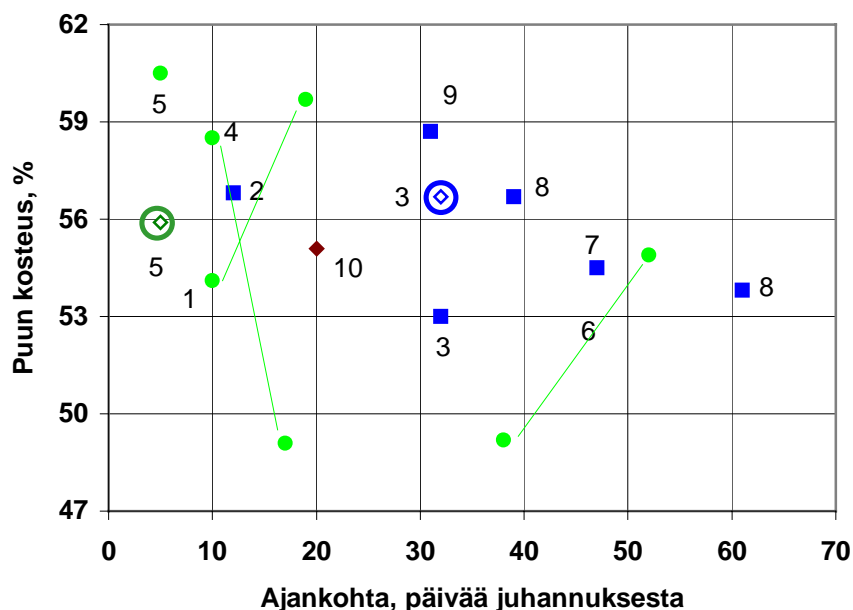
Tässä tutkimuksessa kosteudet säilyivät kaikilla varastointitavoilla muutamaa yksittäistä näytettä lukuun ottamatta varsin korkeina (kuva 5).



Kuva 5. Kiekoista määritetty puun kosteus varastopinoittain. Kunkin näytteen kosteudet ovat pylväittäin järjestyksessä pinon alaosa (valkoinen), keskiosa (raidallinen), yläosa (musta) ja vertailuerät (pilkullinen).

Pinojen eri osien välillä ei esiintynyt merkittäviä kosteuseroja. Kaikkien näytteiden keskiarvoina puun kosteus oli pinojen alimmaisessa kolmanneksessa 57 %, keskimmaisessa ja ylimmässä 55 %. Pinon eri osien kosteusjärjestys vaihteli yksittäisissä pinoissa.

Vaikkakin pinojen välillä esiintyi pieniä kosteuseroja, ei itse varastointitapojen välillä ollut selkeitä eroja, etenkin kun kosteuden muutoksia tarkastellaan varastointiajan funktiona. Myöskään referenssinäytteet eivät merkittävästi poikenneet kosteudeltaan kylmävarastoiduista näytteistä (kuva 6).



Kuva 6. Puuaineen kosteus näytepinoissa varastointiajan funktiona, varastointiaika laskettu juhannuksesta (24.6.). Ympyröidyt pisteet ovat referenssinäytteitä.

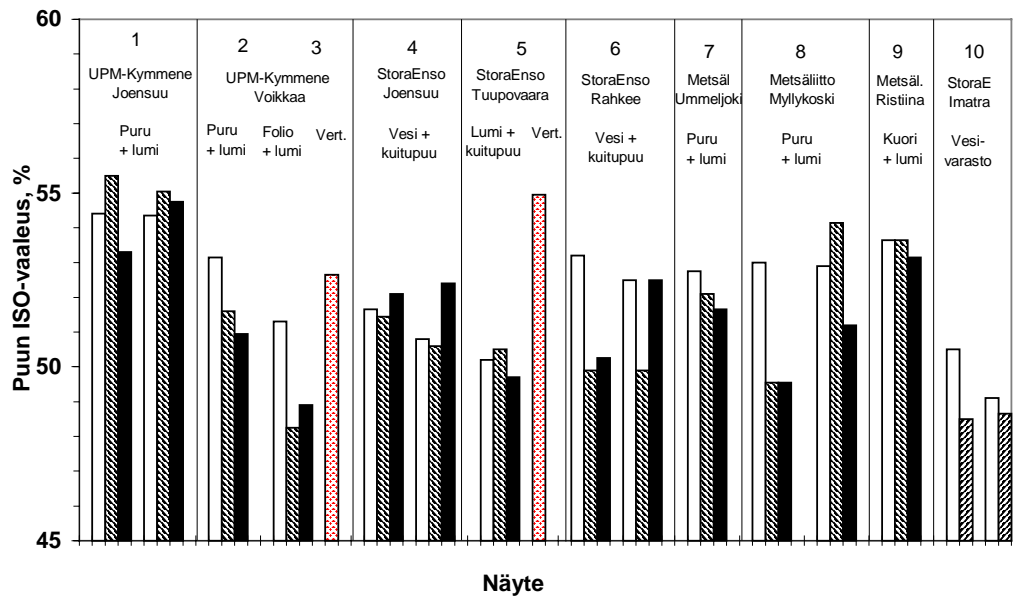
Yleisesti voidaan todeta, että kosteus laski trendinomaisesti kesän aikana. Tulosten hajonta on melkoinen ja eräin paikoin jopa epälooginen. Puun luontaisen kosteusvaihtelun lisäksi hajontaa on voinut lisätä kosteuden epätasainen jakautuminen näytepinojen sisällä.

3.2.5 Vaaleudet

Kuusikuitupuusta tehtävät mekaaniset massat tummuvat useista syistä. Ensinäkin valon ja hapettumisen vaikutuksesta ligniini kellastuu ja aiheuttaa massan tummumista. Tämä on merkityksellistä yleisesti kesäaikana. Toisaalta runsaan veden vaikutuksesta – vesi- ja kasteluvarastoinnissa – kuoren tanniinit ja mahdollisesti entsyymitoiminnan värit tummuttavat puuta ja aiheuttavat massan tummumista. Maavarastoinnissa puu kuivuu kesäaikana nopeasti sienille otolliseen kosteuteen ja niiden kasvustot tunkeutuvat puuhun ja ilmenevät massan tummumisena. Sinistäjäsienet ovat tässä merkittävimpiä.

Tässä tutkimuksessa puun vaaleus mitattiin käyttäen SCAN-test-menetelmää. Mittaus tehdään jauhetusta puusta valmistetusta puristeesta. Saatua tulosta ei voi suoraan verrata vastaavien mekaanisten massojen (GW, PGW, TMP) vaaleuteen, vaan se on lukuarvoltaan selvästi näitä pienempi. Tuloksia voidaan sen sijaan hyvin käyttää vaaleuserojen arvioinnissa.

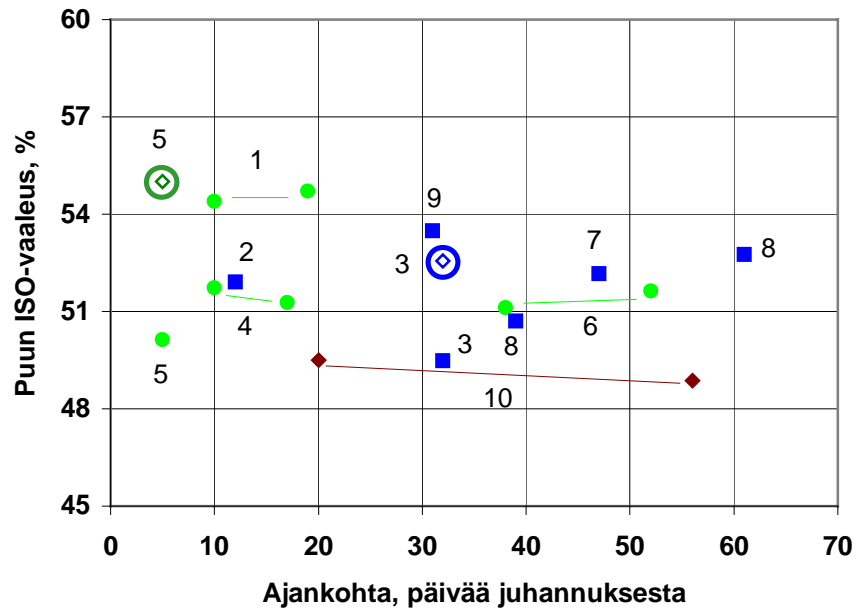
Varastopinoista mitattu puun keskimääräisen vaaleuden vaihteluväli oli 5 yksikköä (49 - 54 %, kuva 7). Pinojen sisäinen vaihtelu oli enimmillään 3 yksikköä.



Kuva 7. Kiekoista määritetty puun vaaleus varastopinoittain. Kunkin näytteen kosteudet ovat pylvättäin järjestyksessä pinon alaosa (valkoinen), keskiosa (raidallinen), yläosa (musta) ja vertailuerät (pilkullinen).

Pinojen eri osien välillä ei esiintynyt merkittäviä vaaleuseroja. Kaikkien näytteiden keskiarvoina puun vaaleus oli pinojen alimmaisessa kolmanneksessä 53 %, keskimmaisessä ja ylimmässä 52 %. Eri osien vaaleusjärjestys vaihteli yksittäisissä pinoissa.

Pinojen ja varastointitapojen välillä oli pienehköjä vaaleuseroja. Vesivarastoidut puut (näyte 10) olivat tummimmat. Parhaimmat vaaleudet saatiin alkukesän referenssinäytteelle ja lumella peitetylle puulle (näyte 1). Koko aineistoa tarkasteltaessa (kuva 8) puu ei tummunut merkittävästi varastointiajan pidentyessä.



Kuva 8. Puuaineen vaaleus näytepinoissa varastointiajan funktiona, varastointiaika laskettu juhannuksesta (24.6.). Ympyröidyt pisteet ovat referenssinäytteitä.

Puun vaaleus säilyi parhaiten niissä varastopinoissa, joissa on käytetty runsaasti lunta (yli 40 cm) ja sen päällä purua tai kuorta (näytteet 1 ja 7 – 9). Tällöin puun vaaleus oli suunnilleen vastaavien referenssinäytteiden luokkaa.

Mekaanisen massan valkaisuissa käytetään ditioniittia ja/tai peroksidia. Puun alkuperäisellä vaaleudella on suuri merkitys massan valkaisu tulokselle. Tummunutta puuta käytettäessä joudutaan valkaisu tehostamaan ennen kaikkea kemikaaliannosta lisäämällä, jolloin valmistuskustannukset luonnollisesti kasvavat. Aiempien tutkimusten ja valkaisukemikaalien hintakehityksen perusteella voidaan karkeasti arvioida valkaisu lisätarpeen kustannuksiksi ditioiniittivalkaisussa 5 - 10 mk vaaleuden prosenttiyksikköä ja massatonna kohti ja peroksidivalkaisussa vastaavasti 5 - 20 mk. Kuorellista kiintokuutiometriä kohti lisäkustannusten vaihteluväli on noin 2 - 7 mk kuutiometriltä ja vaaleuden prosenttiyksiköltä.

Mekaanisen massan vaaleusvaatimukset ovat tehdaskohtaisia. Ne johtuvat massaa käyttävän paperitehtaan tuotevalikoimasta. Korkeaa vaaleutta vaativissa tuotteissa voidaan puun vaaleuden aleneman vuoksi joutua tilanteeseen, jossa tavoitevaaleus ei enää ole saavutettavissa. Tämä johtuu siitä, että vaaleuden alenema voidaan rationaalisessa toiminnassa kompensoida valkaisukemikaalien annostusta lisäämällä vain tiettyyn rajaan asti. Ditioiniittivalkaisussa raja on noin 10 ja peroksidivalkaisussa vajaan 15 vaaleusyksikköä.

Puusta mitattu vaaleus ei teoreettisesti aina korreloi mekaanisen massan vaaleuteen, koska mittaukseen ei sisälly massanvalmistuksen lämpöefektiä. Puun elintoimintojen vuotuisen vaihtelun vuoksi voi puun ja massan vaaleuden suhde olla erilainen eri vuodenaikoina.

3.3 Kylmävarastoinnin taloudellinen merkitys

Jos kylmävarastoinnilla pystytään takaamaan kesätuoreen puun vaaleustaso, kuten parhaiden varastointitapojen kohdalla näyttää olevan, välttää valkaisun lisäkustannuksilta.

Normaalisti varastoidun talvipuun vaaleus oli uittoprojektin mukaan (Metsätehon katsaus 1/1993) heinä-elokuussa TMP:llä noin 2 ja PGW:llä 2 - 4 yksikköä alempi kuin kesätuoreella puulla. Edellä esitetyn laskelman mukaan säästetään valkaisukustannuksissa TMP:llä $2 \times (2 - 7 \text{ mk})/\text{m}^3$ eli 4 - 14 mk/m^3 ja PGW:llä vastaavasti 4 - 28 mk/m^3 . Näitä on verrattava varastoinnin kustannuseroihin. On muistettava, että useimmiten liikuttaneen kustannushaitarin yläpäässä varsinkin korkeaa vaaleutta vaativissa tuotteissa, koska siellä viimeisten vaaleusyksiköiden saavuttaminen on varmasti kalliimpaa.

Kuusikuitupuusta tehdyn mekaanisen massan tummuminen kasteluvarastossa oli samaa luokkaa kuin vesivarastoinnissa. Toisaalta kasteluvarastoinnin kustannukset kasvavat merkittäviksi. Samalla on huolehdittava kasteluvesien ympäristövaikutuksista.

Toinen kylmävarastoinnilla saavutettava kustannussäästö saadaan kuusikuitupuun riittävydestä. Mikäli kuusikuitupuun kylmävarastoinnilla pystytään välttämään tukkipuun käyttö kuidutukseen loppukesästä, on kustannussäästö ilmeinen. Tukin ja kuidun tehdashinnan ero on noin $100 \text{ mk}/\text{m}^3$.

4 TULOSTEN YHTEENVETO

Tuloksia tarkasteltaessa on syytä pitää mielessä, että aineisto oli varsin suppea. Toisaalta erityisesti puun vaaleushavainnot vastaavat varsin hyvin teollisuuden havainnot kylmävarastoidun puun ominaisuuksista.

Kylmävarastointi näyttää olevan tulosten mukaan toimiva, kuusikuitupuun laadun säilyttävä ja kustannuksiltaan suhteellisen edullinen talvikaatoisen puun varastointimenetelmä. Menetelmällä saadaan kosteus säilymään samalla tasolla kuin kesäaikaan tehtaille toimitettavassa kaatotuoreessa puussa. Vaaleus säilyy myös vertailunäytteiden tasolla elokuulle asti.

Kylmävarastoinnin kustannukset vaihtelivat tutkimusvarastoilla 13:sta 35 markkaan toteutusmenetelmän mukaan. Kustannuksia voidaan vähentää paitsi työn oppimisella myös käyttämällä puun käyttöajankohdan mukaan

valittua kylmävarastointimenetelmää. Kylmävarastointikustannusten vastineeksi saadaan kustannussäästöjä, kun valkaisu-kustannukset pienenevät ja kuusikuitupuuta riittää kesäkäyttöönkin.

Voidaan todeta, että käytetty menetelmä soveltui hyvin talvikaatoisen kuusihiomopuun kesäaikaiseen säilyttämiseen. Puun laatu säilyi riittävän hyvin, ja varastoinnista aiheutuneet kustannukset olivat kohtuulliset saavutettuun hyötyyn nähden. Koska purkamisvaiheessa puuaineessa alkaa tapahtua nopeasti muutoksia, purkamisvaihetta on syytä pyrkiä nopeuttamaan.

5 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Tulokset osoittivat kylmävarastoinnin olevan varteenotettava menetelmä talvikaatoisen kuusikuitupuun laadun ja kesäaikaisen saatavuuden säilyttäjä-nä. Suurin taloudellinen etu siitä saadaan, jos näin voidaan välttää kuusitu-kin käyttämistä kuidutukseen kesäkautena.

Kaikki tutkimuksessa seuratut kylmävarastointimenetelmät foliomenetelmää lukuun ottamatta olivat toimivia ja säilyttivät puun laadun riittävän hyvänä. Tietoa voi hyödyntää tulevien aikojen kylmävarastointimenetelmistä päätet-täessä. Tärkeää on kuitenkin tällöin tietää varastointiajan pituus.

Saadut tulokset koskevat hyvin tehtyjä kylmävarastoja. Mikäli varastojen tekemisen työn laatuun ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota, puu saattaa säilyä huonommin. Kylmävarastojen tekijöiden on syytä tutustua oppaaseen ”Puutavaran kylmävarastointi - ohjeita tekijöille”.

Jatkossa tehtäiden olisi aiheellista seurata kylmävarastoitujen puiden omi-naisuuksien vaikutusta tuotteen laatuun. Tällöin saataisiin käytäntöä palve-levaa tietoa varastointitapojen ja tuotteen laadun välisestä riippuvuudesta.

6 KIRJALLISUUS

Pennanen, O., Laamanen, J., Lucander, M., Terävä, J. ja Varhimo, A.
Kuusipuun laadun säilyminen kesällä mekaanisten massojen raaka-aineena. Metsätehon katsaus 1/1993.

Pennanen, O., Alanne, H. ja Örn, J. Kesähakkuiden vähentämisen merki-tys teollisuuden raaka-ainehuollolle. Metsätehon raportti 92

Puutavaran kylmävarastointi. Metsätehon opas. 1999