Metsätehon raportti 165
2.1.2004

Rajoitettu jakelu

Järvi-Suomen Uittoyhdistys
Koskitukki Oy
Kuhmo Oy
Metsäliitto Osuuskunta
Metsäteollisuus ry
Pölkky Oy
Stora Enso Oyj
UPM-Kymmene Oyj
Visuvesi Oy

Kuusikuitupuun ja koivuvaneri-tukkien laadun säilyttäminen

Markku Mäkelä

Kuusikuitupuun ja koivuvaneritukkien laadun säilyttäminen

Markku Mäkelä

Metsätehon raportti 165
2.1.2004

Rajoitettu jakelu:

Järvi-Suomen Uittoyhdistys, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj ja Visuvesi Oy

Asiasanat:

varastointi, puuaineen säilyminen, kuusikuitupuu, koivuvaneritukit

© Metsäteho Oy

Helsinki 2004

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ **5**

1 JOHDANTO **7**

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS **7**

2.1 Kuusikuitupuun laadun säilyttäminen 7
2.1.1 Kastelu 7
2.1.2 Vähähappinen varastointi 8
2.1.3 Kuorella peittäminen 8
2.2 Koivuvaneritukkien laatumuutosten estäminen 10
2.2.1 Tukkien päiden käsittely 10
2.2.2 Vähähappinen varastointi 11
2.2.3 Kuorella peittäminen 11

3 TULOKSET **11**

3.1 Kuusikuitupuun laadun säilyttäminen 11
3.1.1 Kastelu 11
3.1.1.1 Puun kosteus 11
3.1.1.2 Kuusen vaaleus 13
3.1.1.3 Puuaineen laadun säilyminen (myös mänty- ja koivukuitupuu) 15
3.1.1.4 Johtopäätöksiä 15
3.1.2 Vähähappinen varastointi 15
3.1.2.1 Kaasupitoisuudet 15
3.1.2.2 Puuaineen lämpötila 19
3.1.2.3 Ilman lämpötila ja kosteus kasojen sisällä 20
3.1.2.4 Puuaineen laadun säilyminen 20
3.1.2.5 Vaaleus 20
3.1.2.6 Puuaineen kosteus 21
3.1.2.7 Johtopäätöksiä 21
3.1.3 Kuorella peittäminen 22
3.1.3.1 Olosuhteet 22
3.1.3.2 Puuaineen laadun säilyminen 22
3.1.3.3 Johtopäätöksiä 22
3.2 Koivuvaneritukkien laatumuutosten estäminen 23
3.2.1 Tukkien päiden käsittely 23
3.2.1.1 Kosteudet 23
3.2.1.2 Värivika viilussa 23
3.2.1.3 Laho viilussa 23
3.2.1.4 Johtopäätöksiä 23
3.2.2 Vähähappinen varastointi 25
3.2.2.1 Kosteudet 25
3.2.2.2 Värivika viilussa 25
3.2.2.3 Laho viilussa 25
3.2.2.4 Johtopäätökset 25

3.2.3 Kuorella peittäminen 25
3.2.3.1 Värivika viilussa 25
3.2.3.2 Laho viilussa 26
3.2.3.3 Johtopäätökset 26
3.2.4 Kastelu 27
3.2.4.1 Laadun säilyminen 27
3.2.4.2 Johtopäätökset 27
3.2.5 Kylmävarastointi 27
3.2.5.1 Värivika viilussa 27
3.2.5.2 Laho viilussa 27
3.2.5.3 Johtopäätökset 27
3.3 Metlassa tehdyt laboratoriokokeet (Katriina Lipponen, Metla) 28
3.3.1 Toteutus ja koejärjestelyt 28
3.3.2 Tulokset 30
3.3.2.1 Eksikkaattorikoe 30
3.3.2.2 Matalaemissiomuovilla päällystetyt laatikot 30
3.3.2.3 Kuorimäärän vaikutus 33
3.3.3 Johtopäätökset 35

4 TULOSTEN TARKASTELU 35
4.1 Kuusikuitupuu 35
4.2 Koivuvaneritukit 36

5 PÄÄTELMIÄ PUUN VARASTOINNISTA 36

TIIVISTELMÄ

Hanke jakautui kahteen osahankkeeseen. Toisessa yritettiin löytää käyttökelpoisia laadun säilyttämistapoja kesällä käyttöön otettavalle lopputalvesta tai alkukesästä hakattavalle kuusihiomopuulle. Toisessa osahankkeessa etsittiin keinoja koivutukkien kesäaikaisten laatumuutosten estämiseen.

Yhteisesti kokeiltiin kastelua, vähähappista varastointia eli varastointia suojakaasun avulla sekä kuorella peittämistä. Koivutukeilla käytettiin lisäksi tukkien päiden käsittelyä parafiiniemulsiolla sekä vertailuna kylmävarastointia.

Kuusikuitupuu säilyi kastelussa kosteana eikä vaaleudessa tapahtunut kovin suuria muutoksia. Vaaleus säilyi paremmin talvella kaadetussa puussa kuin toukokuussa kaadetussa. Vähiten kastelupuista vaaleus alentui kuorittuna varastoiduissa erissä. Kasteltuun puuhun ei tullut lahon aiheuttamia puuainemuutoksia.

Vähähappisessa varastoinnissa ei hiilidioksidin pakkosyöttö suojakaasukasaan muuttanut olennaisesti kaasutiiviin varaston happi-/hiilidioksidipitoisuuksia kesäkauden aikana. Se ei myöskään parantanut puuaineen säilymistä. Hiilidioksidi, niin kasaan syötetty kuin kasassa syntynyt, syrjäytti noin puolet hapen määrästä. Suppeassa kokeilussa koivu- ja mäntykuoren kehittämä hiilidioksidi syrjäytti lähes kaiken hapen hyvin nopeasti.

Puuaineen kosteudet eivät olennaisesti muuttuneet suojakaasuvarastoinnin aikana. Vaaleus alentui varastoinnin aikana enemmän kuin kastelluissa puissa. Suojakaasuvarastoituun kuuseen tuli tummumia kuoren alle. Lisäksi tuli lahon aiheuttamia muutoksia kohtiin, joista kuori oli poissa tai vaurioitunut. Vaikka suojakaasuvarastoinnilla ei pystytty estämään väri- ja puuainemuutoksia, ne olivat silti pienemmät kuin ilman suojaustoimenpiteitä.

Koivutukkien päiden käsittely ei olennaisesti vähentänyt värivian määrää. Erot käsiteltyjen ja käsittelemättömien tukkien välillä olivat niin pieniä, ettei tällä ollut taloudellista vaikutusta. Päiden käsittely vähensi loppukesällä tukkien päihin syntyvää lahoa.

Vähähappisessa varastoinnissa koivutukkien puuaineen kosteus lisääntyi varastoinnin aikana. Värivikaa tuli suojakaasuvarastoinnissa lähes kaikkiin tukkeihin. Sitä oli kuitenkin vähemmän kuin samaan aikaan hakatuissa pääkäsitellyissä tai kastelu- ja maavarastoiduissa tukeissa. Varastoinnin aikana tukkeihin tuli hieman lahoa. Lahon määrä oli kuitenkin vähäisempi kuin muissa menetelmissä.

Koivutukkien peittäminen kuorella ei onnistunut. Värivikaa ja lahoa tuli tukkeihin runsaasti. Kun kuorella peitettyjä koivutukkeja kasteltiin, säilyivät näin varastoidut puut parhaiten, jos kylmävarastointia ei oteta huomioon.

Koivutukkien kasteluun käytettiin lämmintä ravinteista vettä. Kasteluvesi todennäköisesti aiheutti sen, että värivikaa tuli tukkeihin runsaasti. Lahoa oli tukeissa jopa enemmän kuin muissa saman kaatoerän puissa.

Kylmävarastoiduissa koivutukeissa värivika oli harvinaista ja jos sitä oli, se rajoittui aivan tukkien päähän. Lahoa ei kylmävarastoiduissa tukeissa ollut.

Hankkeen puitteissa tilattiin Metlasta laboratoriokokeita, joilla pyrittiin selvittämään hiilidioksidin merkitystä väri- ja lahottajasienten kasvun estämisessä. Johtopäätökset tuloksista olivat:

- Korkeatkaan hiilidioksidipitoisuudet eivät estä lahottaja- ja sinistäjäsienien kasvua täysin. Huoneenlämpötilassa vasta noin 60 %:n hiilidioksidipitoisuudella voidaan merkittävästi vaikuttaa sienten kasvuun.
- Puun kuori tai vastakaadettu puutavara ei suljetussa tilassakaan nosta hiilidioksidipitoisuutta riittävän korkealle ja laske happipitoisuutta niin alas, jotta sienten kasvu estyy.
- Alhainen varastointilämpötila on merkittävin puun laatua säilyttävä tekijä.
- Kuoren päällä tai kuoren sisällä varastointi ei estä puun pilaantumista, ellei lämpötila pysy noin viidessä asteessa.

1 JOHDANTO

Kuusikuitupuun ja vaneritukkien laadun säilyttämisessä on vielä kehitettävää. Maalis-huhtikuussa hakattavan kuusikuitupuun säilyttäminen hiontakelpoisena on osittain ratkaisematta. Vanerikoivutukeilla ongelmana on tukkien päihin kesällä tuleva värivika sekä alkava lahoaminen.

Talvikaatoisen kuusikuitupuun laadun säilyttämiseen on kehitetty ja otettu käyttöön ns. kylmävarastointi. Sillä saadaan joulu-helmikuussa hakattava kuusikuitupuu säilymään hiontakelpoisena loppukesään tai alkusyksyyn. Kylmävarastojen tekoajan jälkeen, maalis-huhtikuussa, hakataan kuusikuitupuuta runsaasti käyttöä enemmän. Nämä puut tulisi saada säilymään hiontakelpoisena eli riittävän kosteana ja vaaleana kesä-heinäkuulle.

Talviaikana hakattujen koivuvaneritukkien laatu saadaan säilymään loppukesään tai syksyyn kylmävarastoinnilla. Kesäaikaisessa tavanomaisessa varastoinnissa tulee hakattujen tukkien päihin nopeasti värivikaa, joka laskee niistä saatavien viilujen laatua. Loppukesällä varastoitaviin talvi- tai kevätkaatoisiin koivuvaneritukkeihin alkaa lisäksi muodostua lahoa.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Kuusikuitupuun laadun säilyttäminen

2.1.1 Kastelu

Kuusikuitupuun laadun säilytys -hankkeessa kastelu oli yksi tutkittu vaihtoehto. Kastelua käytetään nykyisin paljon, mutta sen ei katsota soveltuvan kovin pitkään varastointiin tanniinivaurioiden vuoksi. Kokeilussa selvitettiin kastelun aikaisen aloituksen, pitkän keston sekä haihdunnan huomioon ottavan kasteluveden määrän vaikutuksia puun laadun säilymiseen. Työ toteutettiin Myllykoski Paperin tehtaalla Myllykoskella.

Tutkittavat puutavaraerät olivat:

- Kuusikuitupuu - maaliskuussa ja toukokuussa kaadettu
- Kuusikuitupuu, kuorittu - maaliskuussa ja toukokuussa kaadettu
- Mäntykuitupuu - maaliskuussa ja toukokuussa kaadettu
- Koivukuitupuu - maaliskuussa ja toukokuussa kaadettu

Kastelu aloitettiin maaliskuun erillä 16. huhtikuuta. Toukokuun erät toimitettiin hakkuun jälkeen välittömästi kasteluun. Kastelu lopetettiin syyskuun alkupuolella. Kastelumäärät pyrittiin pitämään riittävinä, mutta mahdollisimman vähäisinä.

Kastelujakson pituus oli alussa 20 minuuttia ja vesimäärä noin 3 mm/jakso. Kastelujaksoja oli aluksi kuusi kappaletta vuorokaudessa eli kasteluvesimäärä oli n. 18 mm/vrk. Kastelujaksojen määrä lisättiin kahdeksaan

24.6. alkaen. Tällöin vuorokautinen vesimäärä oli 24 mm. Kastelujaksoa pidennettiin edelleen 15.7. alkaen 39 minuuttiin, jolloin vesimäärä oli 48 mm/vrk.

Kastelussa olleista puista tehtiin mittauksia ja silmämääräisiä havaintoja kastelukauden aikana. Kosteusnäytteitä otettiin kahden viikon välein. Vaaleusnäytteitä otettiin kuusesta alussa kuukauden välein ja loppupuolella kahden viikon välein. Silmävaraisia puun laadun muuttumismäärityksiä tehtiin pölkyn eri osista kuukauden välein heinäkuun alusta lähtien.

2.1.2 Vähähappinen varastointi

Toinen laadun säilyttämisvaihtoehto oli vähähappisten olosuhteiden luominen varastoitavalle puulle. Tällä pyrittiin paitsi estämään tai vähentämään mikrobien ja sieni-itiöiden toimintaa, myös estämään puuta kuivumasta. Perustietouden kartuttamiseksi Metlalta tilattiin laboratoriokoesarja, jonka toteutus esitetään pääpiireissään tulosten yhteydessä kohdassa 3.3 sivulla 28. Varsinainen varastointikokeilu tehtiin UPM-Kymmenen Kuusanniemen tehtaalla.

Vähähappisen varastoinnin kenttäkokeilussa tehtiin kaksi varastokasaa, joissa oli mänty- ja kuusikuitupuuta sekä koivuvaneritukkeja. Kasojen alle ja ympärille laitettiin kaksipuolista matalaemissiopressua. Toiseen kasaan syötettiin alussa hiilidioksidia, joka korvasi nopeasti siellä olleen hapen. Toiseen kasaan ei lisätty keinollisesti kaasuja, vaan vähähappiset olosuhteet muodostuivat vähitellen kuoressa tapahtuvien reaktioiden johdosta.

Luontaisesti syntyviä kaasumuutoksia selvitettiin neljällä pienellä matalaemissiopeitteellä vuoratulla teltalla. Telttojen pohjalle laitettiin 25–40 cm:n kerros happeasyövää ainetta; koivun tai männyn kuorta tai männyn tuoretta tai vanhaa purua.

Varastoinnin aikana seurattiin päivittäin puuvarastojen sekä telttojen happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia. Samalla mitattiin puuaineen lämpötila sekä peitteen alla olevan ilman lämpötila ja kosteus.

2.1.3 Kuorella peittäminen

Kolmas kokeilu oli varastoitujen puiden peittäminen kuorella. Kokeilu aloitettiin vähähappisen varastointikokeilun kaasumittausten myönteisten tulosten perusteella. Koe tehtiin Myllykoski Paperin tehtaalla Myllykoskella ja Koskisen Oy:ssä Kärkölässä.

Talvikaatoista kuusikuitupuuta (Myllykoski) ja kevätkaatoista tukkia (Koskisen Oy) varastoitiin kuoren alle kesäkuun alkupuolella. Varastoinnin päätyttyä syyskuun alkupuolella tehtiin puun laadusta silmämääräinen tarkastelu sekä mitattiin kasan sisältä happi- ja hiilidioksidipitoisuudet.

Kaikki valokuvat Metsäteho Oy

Kastelututkimuksen puupinot.

Vähähappisen varastoinnin tutkimuskasat.

Kuorella peitetty tutkimuskasa.

2.2 Koivuvaneritukkien laatumuutosten estäminen

2.2.1 Tukkien päiden käsittely

Koivuvaneritukkien laatumuutosten estämiseen tähtäävässä osassa etsittiin keinoja tukkien päihin varastoinnin aikana tulevan ruskean värivian torjumiseen. Kyseinen värivika huonontaa parhaiden pintaviilujen laatua.

Koivuvaneritukkien päiden käsittely suoja-aineella, joka estää hapen pääsyn syvempään puuainekseen, on aiempien tutkimusten perusteella toimiva keino värivian vähentämiseen. Aluksi selvitettiin suoja-aine, jolla olisi tarvittavat suojaavat ominaisuudet ja joka ei estäisi valmistuksessa syntyvän hakkeen käyttöä sellun valmistukseen. Suoja-aineeksi löydettiin parafiinivahasta valmistettu vahadispersio, tuotenimeltään Mobilcer C.

Koivutukkien päiden käsittelyä.

Kenttäkokeet ja koesorvaukset toteutettiin Finnforest Oy:n Punkaharjun ja Koskisen Oy:n Kärkölän tehtailla. Tutkitut koe-erät olivat:

Finnforest

- Helmikuussa kaadetut tukit, päät käsiteltiin toukokuun alussa
- Helmikuussa kaadetut tukit, ei käsittelyä
- Huhtikuussa kaadetut tukit, päät käsiteltiin toukokuun alussa
- Huhtikuussa kaadetut tukit, ei käsittelyä

Koskisen Oy

- Talvikaatoiset tukit, päät käsiteltiin huhtikuun lopussa
- Talvikaatoiset puut, ei käsittelyä
- Talvikaatoiset tukit, päät käsiteltiin huhtikuun lopussa, kastelussa koko varastointiajan
- Talvikaatoiset puut, ei käsittelyä, kastelussa koko varastointiajan

Sorvauksia tehtiin Finnforestilla kaksi ja Koskisella kolme kertaa. Ensimmäiset koesorvaukset tehtiin heinäkuun alussa, toiset elokuun loppupuolella ja viimeinen (Koskisen Oy:ssä) syyskuun puolivälissä.

Sorvauksessa tutkittiin vain tukkien päistä katkaistuja sorvipölkkyjä. Sorvauksen aikana seurattiin viilujen värivikojen esiintymistä ja määrää. Tarkemmat viilujen laatuselvitykset tehtiin kuivauksen jälkeen**.**

2.2.2 Vähähappinen varastointi

Vähähappisen varastoinnin kokeilu tehtiin Kuusanniemessä (ks. kuusikuitupuun vähähappisen varastoinnin kokeilu).

2.2.3 Kuorella peittäminen

Kokeilussa peitettiin koivunkuorella kaksi nippua nila-aikana hakattua kotimaista sekä talvikaatoista tuontikoivuvaneritukkia. Nippu kummastakin erästä laitettiin kasteluun. Kokeen lopussa tehtiin puun laadusta silmämääräinen tarkastelu sekä mitattiin happi- ja hiilidioksidipitoisuudet kasan sisältä. Puun laadun muuttumistulokset saatiin viimeisessä koesorvauksessa Koskisen Oy:ssä.

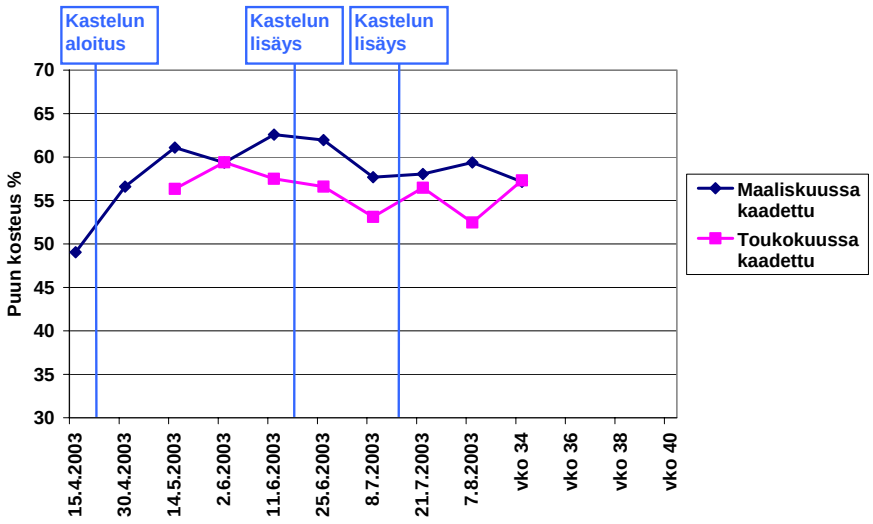
3 TULOKSET

3.1 Kuusikuitupuun laadun säilyttäminen

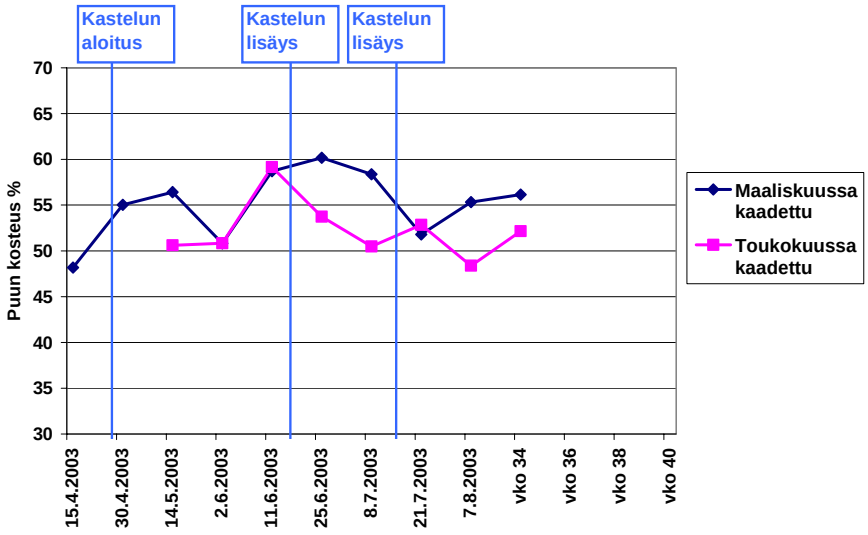
3.1.1 Kastelu

3.1.1.1 Puun kosteus

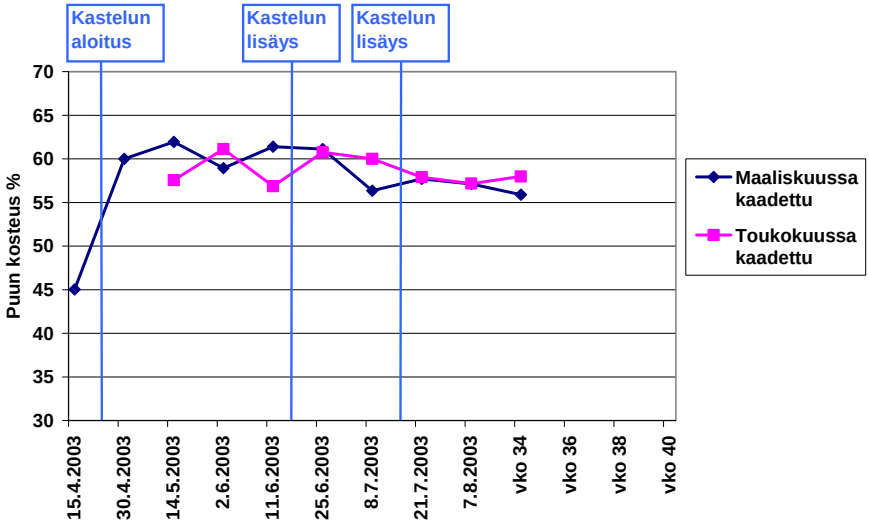
Kosteudet määritettiin kiekoista lämpökaappimenetelmällä Myllykoski Paperin laboratoriossa (kuvat 1 - 4). Kiekot sahattiin n. 10 cm:n etäisyydeltä pölkkyjen päistä.



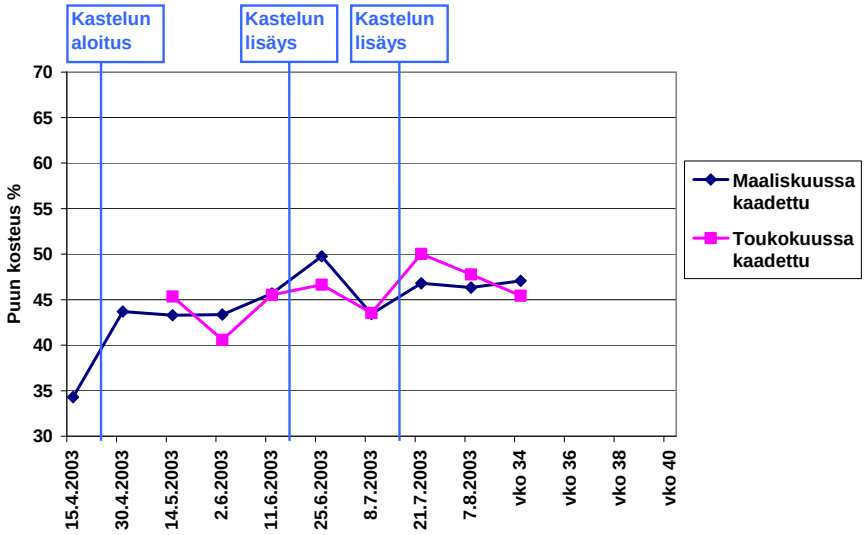
Kuva 1. Kuusen kosteus.



Kuva 2. Kuoritun kuusen kosteus.



Kuva 3. Männyn kosteus.

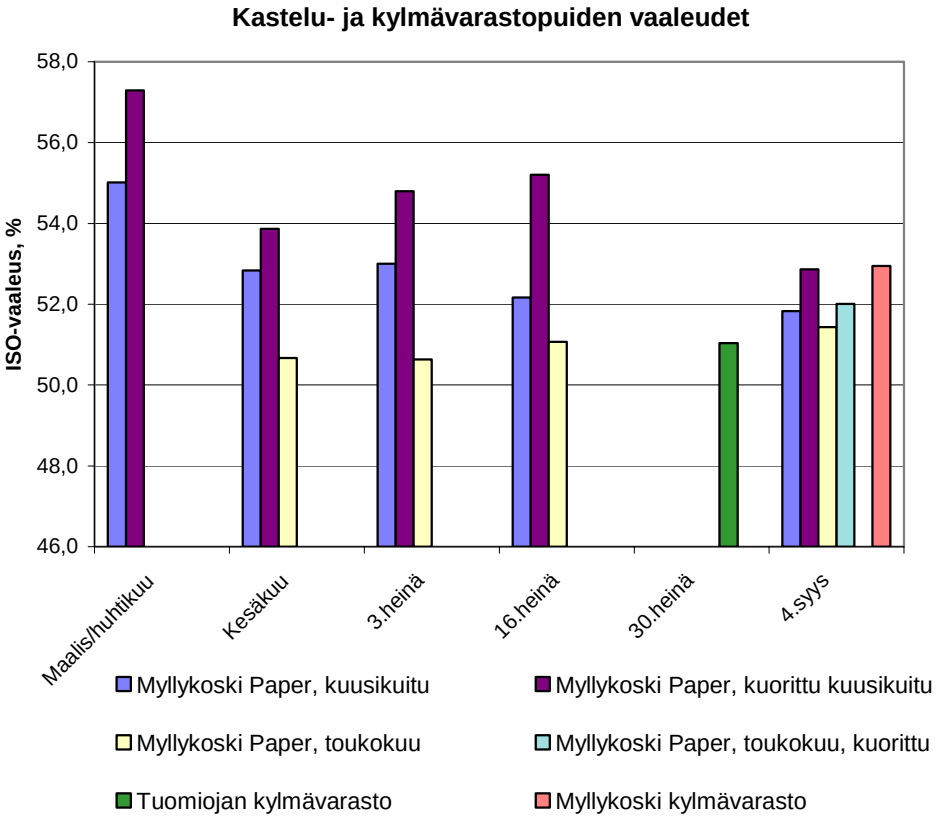


Kuva 4. Koivun kosteus.

Kosteudet nousivat kaikilla puutavaralajeilla kastelun aloitushetken kosteudesta. Kuusella kuoripäällisen puun kosteus oli hieman suurempi kuin kuoritun kuusen kosteus. Ero oli pienempi kuin kaatoajan merkitys. Männyn ja kuusen kosteuksissa ei ollut merkittäviä eroja. Koivu oli alussa kuivempaa ja säilyi koko ajan muita kuivempana.

3.1.1.2 Kuusen vaaleus

Kuusen vaaleus määritettiin KCL:ssä. Näytteet otettiin kustakin erästä kolmesta erikokoisesta pölkystä, samasta pölkystä joka kerta. Vertailuksi otettiin näytteet myös Myllykoskella yhden ja kaksi kesää kylmävarastoiduista puista (kuva 5).



Kuva 5. KCL:n määrittämiä vaaleuksia.

Kiekkoja kastelussa olleista puista. Oikeassa alaosassa kuorittuna varastoitujen puiden kiekkoja.

Tuloksista tehtiin seuraavat päätelmät *(Varhimo, KCL):*

- *Kuoritun puun vaaleus oli jo lähtötilanteessa korkeampi kuin kuorimattoman puun (noin 2 vaaleusyksikköä) ja säilyi varsin hyvin varastoitaessa.*
- *Toukokuussa kaadetun puun vaaleus oli selvästi alempi kuin talvikaatoisen samana ajankohtana, alkukesästä noin 3 vaaleusyksikköä, mutta syksyllä enää vajaa yksi yksikkö.*
- *Parhaimmat vaaleudet syyskuun alun näytteillä olivat Myllykosken kylmävarastosta otetuilla näytteillä ja kuoritulla, kastellulla puulla.*
- *Koeaineiston perusteella pienikokoinen kuitupuu on vaaleudeltaan paras, lähes kaikilla näytteillä läpimitan mukainen vaaleusjärjestys oli pieni > keskikokoinen > iso.*

Vaaleuden aleneman taloudellinen merkitys riippuu monesta tekijästä, kuten mekaanisen massan lajista, valkaisusekvenssistä ja tavoitevaaleudesta. Karkeana arviona valkaisukustannusten lisääntymisestä vaaleuden huonontuessa voidaan pitää 3 €/vaaleusyksikkö/massatonni, kun arviointiperusteena on peroksidivalkaisun kemikaaliannos. Lisäksi esim. kuoriutuvuuden mahdollinen huonontuminen tuo mukanaan lisäkustannuksia joko yhä lisääntyvänä kemikaalikulutuksena tai puuhäviöiden kasvuna.

Kastelun aikana oli kuusikuitupuun lylyä sisältävissä kohdissa tapahtunut selkeä tummentuminen. Väri vaaleni, kun puuta kuivatettiin huoneenlämmössä. Vaaleanruskea väri jäi kuitenkin selvästi muuta osaa tummemmaksi.

3.1.1.3 Puuaineen laadun säilyminen (myös mänty- ja koivukuitupuu)

Kuuseen ei tullut varastoinnin aikana sinistymää eikä lahoa. Osassa pölkyissä oli välittömästi kuoren alla muuta osaa tummempi, todennäköisesti kuoren tanniinin värjäämä vyöhyke. Lylykohdat olivat kuusella muuttuneet kauttaaltaan varsin tummanruskeaksi.

Mäntyyn ei tullut sinistymää. Muutamassa pölkyssä oli ruskeaa värivikaa sekä vyöhykkeenä kuoren alla että sektoreina. Muutokset eivät olisi vaikuttaneet puun jalostusarvoon sellun valmistuksessa.

Koivulla värimuutokset alkoivat muita puulajeja aiemmin. Väri oli yhtenäisenä tummana alueena tai yksittäisinä laikkuina. Lahoa ei koivussa ollut. Maaliskuussa kaadetussa puussa muutokset käynnistyivät hitaammin ja olivat vähäisempiä kuin toukokuussa kaadetuissa puissa. Tapahtuneet muutokset eivät olisi vaikuttaneet puun jalostusarvoon sellun valmistuksessa.

3.1.1.4 Johtopäätöksiä

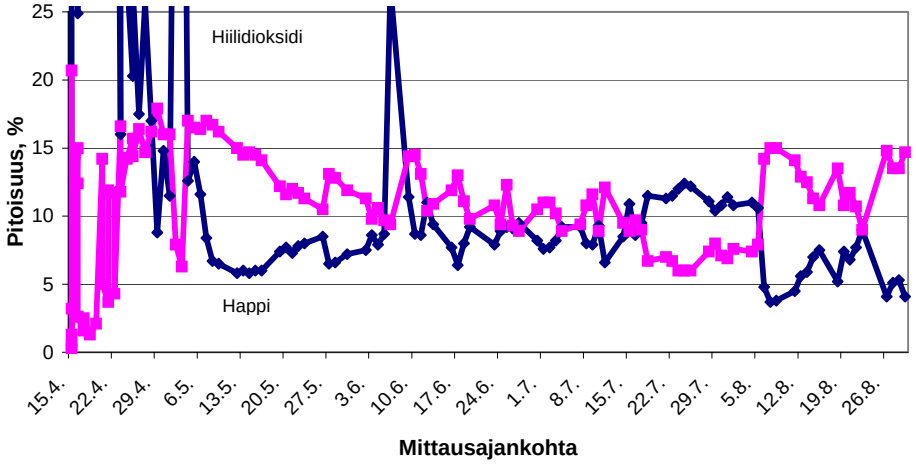
Haihdunnan korvaama kastelu esti puuainemuutokset kuusella, männyllä ja koivulla. Värivikaa tuli jonkin verran kaikkiin puulajeihin. Männyllä ja koivulla sillä ei ole merkitystä jalostusarvoon sellun valmistuksessa. Kuusella tummentuminen lisää todennäköisesti valkaisukustannuksia. Kaikkea tanniinin aiheuttamaa puuraaka-aineen tummentumaa ei mahdollisesti saada poistettua valkaisussa.

3.1.2 Vähähappinen varastointi

3.1.2.1 Kaasupitoisuudet

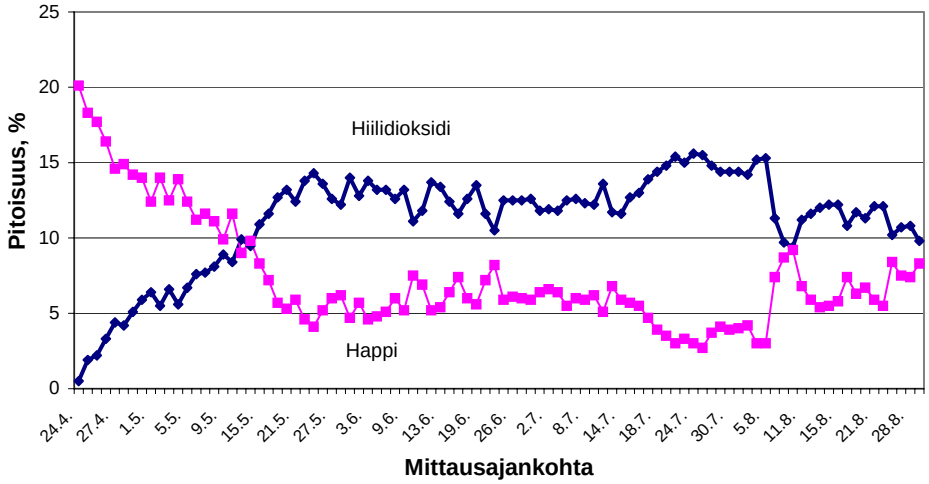
Puukasojen ja telttojen sisäilman kaasupitoisuudet mitattiin päivittäin Anagas CD 95 -mittarilla.

Kaasupitoisuuksien mittausta.



Kuva 6. Suojakaasukasan hiilidioksidi- ja happipitoisuuksien kehitys.

Kaasukasassa suuri hiilidioksidipitoisuus alkuvaiheessa saatiin kaasusäiliöstä syötetyn hiilidioksidikaasun avulla. Kaasulaitteisto purettiin kesäkuun alkupuolella. Tuolloin havaittava kaasupiikki aiheutui kaasusäiliön loppukaasun tyhjentämisestä kasaan (kuva 6).

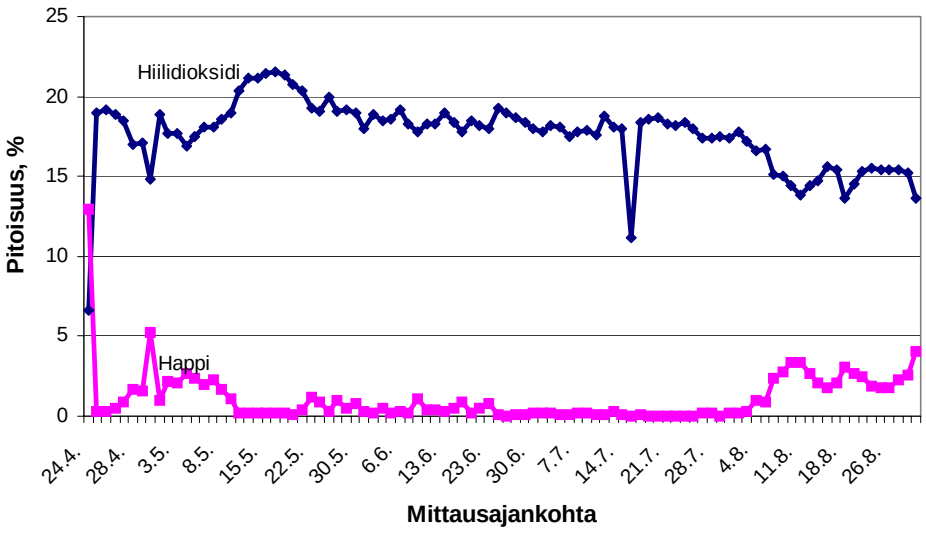


Kuva 7. Vertailukasan hiilidioksidi- ja happipitoisuuksien kehitys.

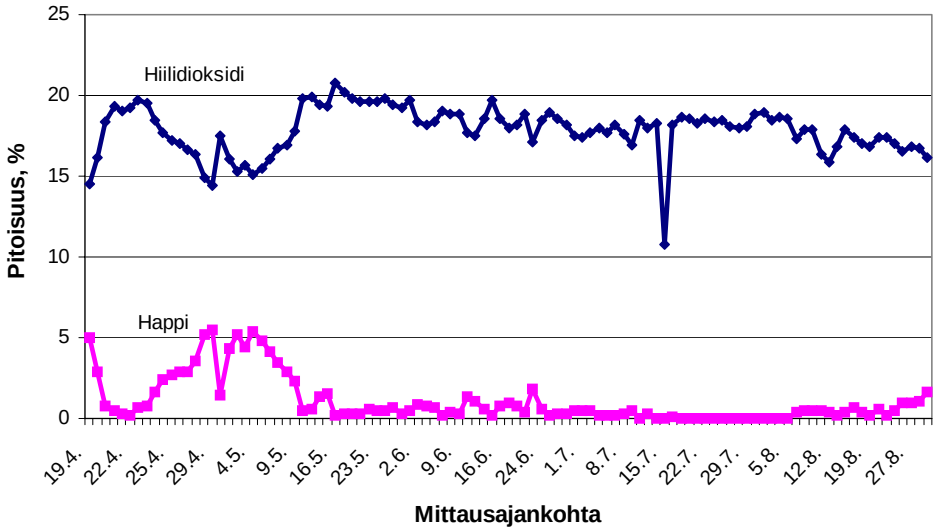
Vertailukasan (ei kaasun syöttöä) hiilidioksidipitoisuus oli suurempi ja happipitoisuus vastaavasti pienempi kuin kaasukasassa silloin, kun kaasukasaan ei syötetty hiilidioksidia (kuva 7).

Kuorta sisältäviä telttoja.

Kuorta sisältäneissä teltoissa hiilidioksidi korvasi käytännössä hapen. Nopein muutos tapahtui koivunkuorta sisältäneessä teltassa (kuva 8).



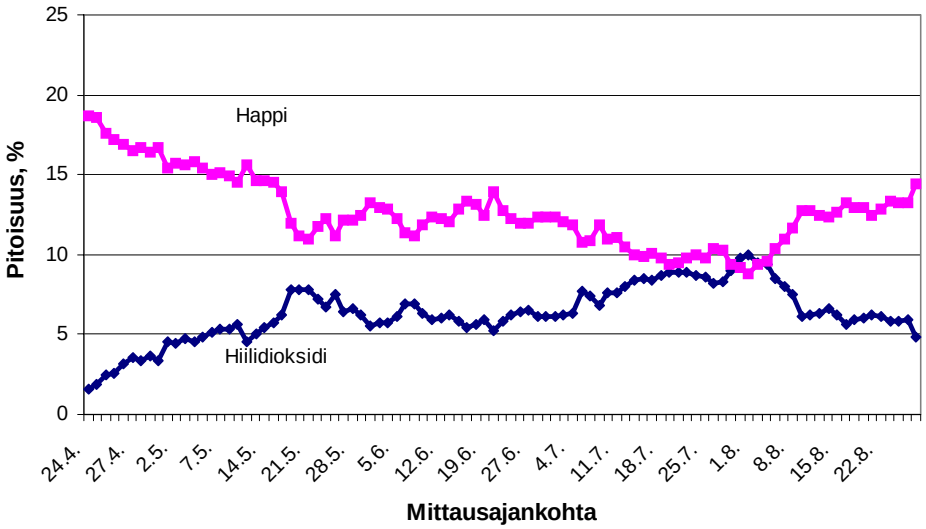
Kuva 8. Koivukuoriteltan hiilidioksidi- ja happipitoisuuksien kehitys.



Kuva 9. Mäntykuoriteltan hiilidioksidi- ja happipitoisuuksien kehitys.

Kuoren vaikutus hapensyöjänä on yleisesti tunnettu. Muutosten nopeus ja suuruus kuitenkin yllättivät. Ilmiö kannattaa muistaa ja hyödyntää tarvittaessa.

Purua sisältävissä teltoissa muutokset olivat hitaampia ja vähäisempiä. Esimerkkinä kuvassa kaasupitoisuudet tuoretta kuorta sisältäneessä teltassa (kuva 10).

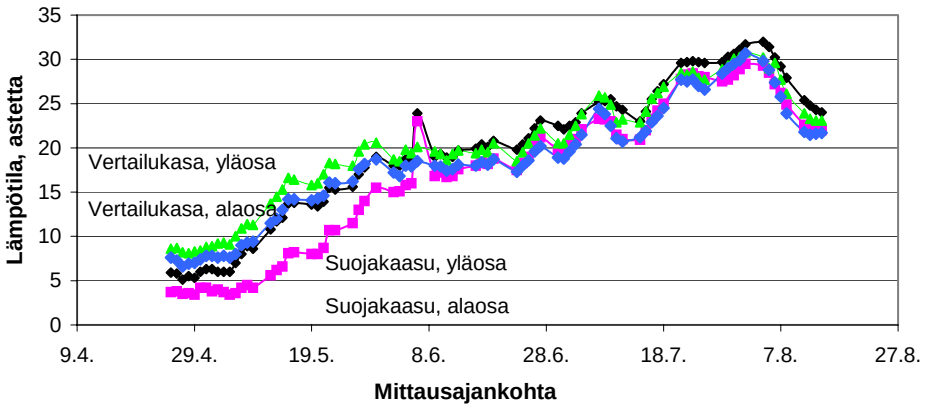


Kuva 10. Mäntypuruteltan hiilidioksidi- ja happipitoisuuksien kehitys.

3.1.2.2 Puuaineen lämpötila

Puuaineen lämpötila mitattiin puun sisälle poratuista antureista. Käytetty mittari oli Center 307. Mittauskohdat olivat molemmissa kasoissa metrin ja kolmen metrin korkeudella.

Lämpötilojen mittausta.

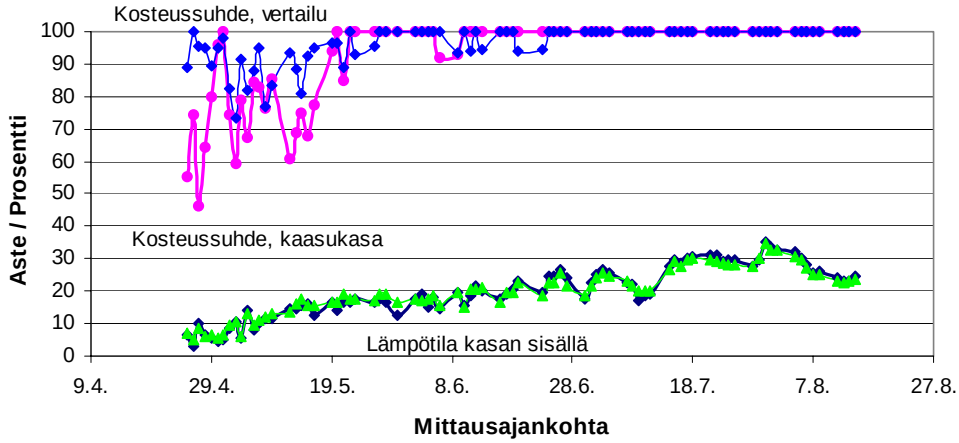


Kuva 11. Puun lämpötilan kehitys.

Puuaineen lämpötilat olivat alkuvaiheessa kaasukasassa hieman alhaisemmat kuin vertailukasassa. Ero johtuu vertailukasan myöhemmästä valmistumisesta keväällä, kylmän hiilidioksidin syöttämisestä peitteen alle tai molemmista. Erot tasoittuivat myöhemmin, jonka jälkeen puun ja kasojen sisäilman lämpötilat olivat melko lähellä toisiaan (kuva 11).

3.1.2.3 Ilman lämpötila ja kosteus kasojen sisällä

Kasojen sisällä ollen ilman lämpötilat ja suhteellinen kosteus mitattiin INS HT-800 -merkkisellä mittarilla.



Kuva 12. Puukasojen ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kehitys.

Varastokasojen sisäilman lämpötiloissa ei ollut havaittavaa eroa eri kasoissa. Ilman suhteellinen kosteus oli suojakaasukasassa alkuvaiheessa alhaisempi kuin vertailukasassa (kuva 12).

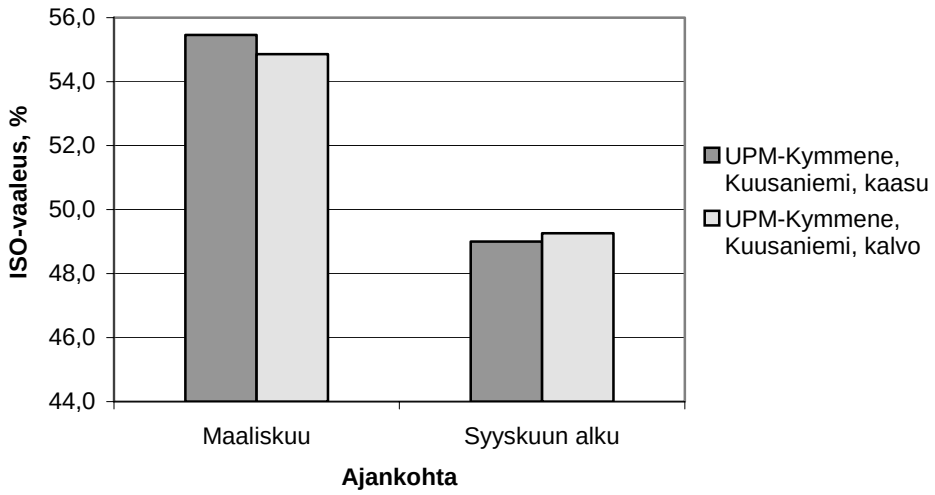
3.1.2.4 Puuaineen laadun säilyminen

Kuuseen tuli varastoinnin aikana tummentumaa kuoren alle. Kohtiin, joissa kuori ja puun pinta olivat vaurioituneet, tuli lisäksi lahoa koko pölkyn pituudelle.

Mäntyyn tuli varastoinnissa melkoisesti sinistymää sekä hieman lievää lahoa. Männylläkin oli eniten muutoksia kohdissa, missä kuori oli vaurioitunut. Puuainemuutokset eivät todennäköisesti vaikuttaneet merkittävästi puun jalostusarvoon sellun raaka-aineena.

3.1.2.5 Vaaleus

Kuusen vaaleus määritettiin KCL:ssä. Varastoinnin alussa ja lopussa otettiin näytteet kummastakin puukasasta kolmesta samasta erikokoisesta pölkystä (kuva 13).



Kuva 13. Suojakaasukokeilun puiden vaaleudet.

Tuloksista tehtiin seuraavat päätelmät (*Varhimo, KCL):*
Hiilidioksidin käyttö (kaasukasa) ei eronnut merkittävästi vertailukasasta.
Vaaleus aleni kummassakin noin 6 yksikköä keväästä syksyyn (tasot 55–49 %).

3.1.2.6 Puuaineen kosteus

Puuaineen kosteudet määritettiin GANN RTU 600 –kosteusmittarilla. Mittaustulokset eivät ole kostealla puulla kovin tarkkoja, mutta niistä saadaan suuntaa antavaa tietoa suhteellisista eroista.

Varastoinnin aikana kosteuksissa ei tapahtunut mainittavia muutoksia. Mänty oli hieman kosteampaa kuin kuusi ja koivu.

3.1.2.7 Johtopäätöksiä

Käytetyllä peitteellä saatiin muutettua puuvaraston kaasupitoisuuksia. Happi väheni selvästi, vertailukasassa neljännekseen ja kaasukasassa puoleen tavanomaisesta. Erillisessä kokeessa irtokuori hävitti hapen lähes kokonaan.

Varastoitujen puiden kosteudet säilyivät muuttumattomina koko varastoinnin ajan. Puun lämpötila seurasi melko tarkkaan ulkoilman lämpötiloja, jotka kesällä 2003 olivat tavanomaista korkeammat. Osa puuainetta muuttavista väri- ja lahottajasienistä sekä bakteereista pystyi toimimaan vähähappisessa ilmassa, runsaassa lämmössä ja sopivan tasaisessa kosteudessa.

Puuaine säilyi paremmin vähähappisuudessa (tai lisääntyneessä hiilidioksidissa) kuin ilman suojaustoimenpiteitä. Laatumuutosten täydellinen estäminen vaatinee muitakin toimenpiteitä kuin pelkän vähähappisuuden. Kysymykseen saattaa tulla vähähappisuuteen yhdistetty viileys, joka on laajalti käytössä elintarviketeollisuudessa.

3.1.3 Kuorella peittäminen

3.1.3.1 Olosuhteet

Kuorella peitettyjen puiden kasoista mitattiin varastoinnin päättyessä sisäosien kaasupitoisuudet Anagas CD 95 -mittarilla. Mittausten mukaan kasan sisällä vallitsi lähes samanlainen tilanne kuin ulkoilmassa. Happea oli 19,0–19,3 % ja hiilidioksidia 0,0–0,3 %. Lämpötila kasan sisällä oli Myllykoskella 19 ºC ja Koskisella 40 ºC.

Kuorella peittäminen sai aikaan olosuhteet, joissa kuoressa alkoi käymistoimintoja. Hiilidioksidi luultavasti valui pois kasasta ja suuri happipitoisuus mahdollisti toimintojen jatkumisen ja mahdollisesti kiihtymisen. Näin luotiin monelle puuaineen laatumuutoksia aiheuttavalle sienelle ja bakteerille hyvät kasvu- ja lisääntymisolosuhteet.

3.1.3.2 Puuaineen laadun säilyminen

Myllykoskella peitettiin kuorella talvikaatoista kuusikuitupuuta. Varastoinnin päättyessä syyskuun alkupuolella puu oli melko kuivaa. Pölkkyjen päissä oli lahoa 0,5–1 metrin matkalla. Sinistymää pölkyissä ei ollut.

Koskisella kuoren alle peitetty havupuu oli mänty- ja kuusitukkeja. Puuainemuutokset olivat melko samankaltaisia kuin Myllykoskella.

Molemmissa kohteissa oli kuoren alla kantojäärän toukkia sekä aikuisia yksilöitä. Muninta oli todennäköisesti tapahtunut metsässä ennen kuljetusta tehtaalle.

Kummankaan kohteen puuta ei voitu käyttää mekaaniseen kuidutukseen tai sahaukseen.

3.1.3.3 Johtopäätöksiä

Kuorella peittäminen ei säilytä puun laatua ainakaan kokeiltua menetelmää ja aloitusaikaa käytettäessä. Varastokasoihin ei saatu syntymään tavoiteltuja vähähappisia olosuhteita, ainoastaan otolliset olosuhteet puun laadun pilaantumiseen.

Koska kuoren synnyttämä hiilidioksidi on ilmaa painavampi kaasu, tulisi sen valuminen varastokasan sisältä estää. Toteutusmalleja saattaa löytyä esimerkiksi turvetuotannon aumarakenteista.

Kokeilukasat tehtiin puun laadun säilymistä ajatellen liian myöhään. Puu oli lämmintä ja laadun huonontuminen oli jo osittain alkanut. Aiemmin tehdyssä varastoinnissa lopputalven tai alkukevään luontainen viileys varmaan auttaa laadun säilymistä.

3.2 Koivuvaneritukkien laatumuutosten estäminen

3.2.1 Tukkien päiden käsittely

3.2.1.1 Kosteudet

Kastelussa olleista eristä käsittelemättömät puut olivat kosteampia kuin käsitellyt puut. Maavarastoiduissa erissä ei kosteuksissa ollut selvää eroa.

3.2.1.2 Värivika viilussa

Koivutukin päihin tulee nopeasti kaadon jälkeen värivikaa. Tämä näkyy tukin päistä katkaistujen sorvipölkkyjen viilussa. Mikäli viilussa on värivikaa, se ei täytä parhaimpien pintaviilujen laatuvaatimuksia.

Värivikaa oli lähes kaikissa tukkien päistä katkaistuissa pölkyissä. Poikkeuksen muodosti talvella kaadettu puu heinäkuun alun sorvauksessa. Puolitoista kuukautta myöhemmin seuraavassa sorvauksessa värivikaa oli jo kaikissa pölkyissä.

Mobilcer C -käsittely ei olennaisesti vähentänyt värivian määrää. Värivika oli heinäkuun alussa suuruusluokka 5–80 cm ja elokuun puolessa välissä 30–150 cm. Erot käsiteltyjen ja käsittelemättömien välillä olivat niin pieniä, että ne eivät olisi muuttaneet viiluerien laatua tai arvoa.

3.2.1.3 Laho viilussa

Kaikki lahomääritykset, niin tässä kuin myöhemmin esitettävissä säilytysmenetelmissä, tehtiin Koskisen Oy:ssä sorvatuista pääpölleistä. Heinäkuun alussa missään erässä ei ollut lahoa. Elokuun lopulla oli varsin yleisesti sekä laatua alentavaa että poissahattavaa lahoa. Käsitellyissä erissä lahoa oli vähemmän kuin käsittelemättömissä. Vähiten lahoa oli käsitellyissä maavarastoiduissa puissa. Eniten lahoa oli käsittelemättömissä kastelussa olleissa puissa, mikä on perinteisesti laajasti käytetty koivutukkien varastointitapa.

3.2.1.4 Johtopäätöksiä

Tukkien päiden käsittely Mobilcer C -parafiiniemulsiolla ei estänyt värivikaa eikä edes vähentänyt olennaisesti värivian määrää. Käsittely vähensi tukkien päiden halkeilua. Lahon määrää käsittely sen sijaan vähensi. Koska laholla on suurin vaikutus viiluerän arvoon, voidaan katsoa Mobilcer C -käsittelyllä saavutetun jonkinlaista taloudellista hyötyä.

Hieman värivikaa viilussa.

Runsaasti värivikaa viilussa.

Lahoa sorvipölkyn päässä.

3.2.2 Vähähappinen varastointi

Koivutukit varastoitiin matalaemissio-kalvolla peitettyihin kasoihin yhdessä mänty- ja kuusikuitupuun kanssa. Ennen peittämistä puista otettiin kosteusnäytteet. Tukkien tarkastelu tehtiin kokeen loputtua syyskuun alussa.

3.2.2.1 Kosteudet

Koivutukkien kosteus lisääntyi jonkin verran kummassakin varastokasassa varastoinnin aikana.

3.2.2.2 Värivika viilussa

Värivikaa oli lähes kaikissa tukeissa. Värjäytyneen alueen leveys oli 60–140 cm. Kaasukasassa värjäytynyt alue oli hieman leveämpi kuin vertailukasassa. Kaasukasoissa värivikaa oli kuitenkin vähemmän kuin samaan aikaan hakatuissa pääkäsitellyissä ja pelkästään maa- tai kasteluvarastoiduissa puissa.

3.2.2.3 Laho viilussa

Vertailukasan puissa oli jonkin verran laatua alentavaa lahoa. Kaasukasan puissa oli lisäksi myös poissahattavaa lahoa. Saman kaatoerän puista vähähappisessa varastoinnissa olleissa puissa oli vähiten lahoa.

3.2.2.4 Johtopäätökset

Koivutukkien värjäytymistä ei voida estää tai edes selvästi vähentää varastoimalla tukkeja vähähappisiin olosuhteisiin. Sen sijaan lahon määrää suoja-kaasuvarastoinnilla voidaan vähentää. Koivutukkien laadun parempaan säilymiseen tarvitaan vähähappisuuden lisäksi muitakin vaikutustekijöitä, joita voivat olla esimerkiksi kylmyys tai viileys.

3.2.3 Kuorella peittäminen

Koivutukit peitettiin koivunkuorella kesäkuun alkupuolella. Havaintoja puun laadusta tehtiin purkamisvaiheessa syyskuun puolivälissä.

Kotimaan hankinnasta otetut tukit oli hakattu nila-aikana, jolloin ne olivat kuoriutuneet erittäin paljon. Tuontipuu oli pääosin kuoripäällistä.

3.2.3.1 Värivika viilussa

Kuoren alla varastoitujen puiden keskimääräinen värivian leveys vaihteli eräkohtaisesti 80–150 cm. Värivikaa oli kuoren alla kastelussa olleessa erässä selvästi vähemmän kuin muissa erissä.

3.2.3.2 Laho viilussa

Lahoa oli kaikissa erissä. Eniten sitä oli kuoren alla kastelematta olleessa erässä. Kastelu vähensi selvästi lahon määrää kuoren alla olleissa puissa. Maavarastoiduissa vertailuerissä oli kohtalaisen vähän lahoa, mutta viilumatto kuivumishalkeamien johdosta oli suurelta osin käyttökelvotonta.

Kiekkoja kuorella peitetyistä (alla) ja vertailutukeista.
Huomaa erot halkeamien määrässä.

3.2.3.3 Johtopäätökset

Puun kuori kehitti hiilidioksidia. Se ei kuitenkaan säilynyt avoimessa kasassa vaan valui pois kasasta. Kasan sisällä oli happea sama määrä kuin ulkoilmassa. Kuoren reaktiot nostivat otollisissa olosuhteissa lämpötilan korkeaksi (40 ºC). Kuorella peittäminen aiheutti kaikenlaisille puun laatua huonontaville eliöille otolliset toimintaolosuhteet, kun tavoite oli niiden toimintamahdollisuuksien vähentäminen.

Kastelussa kuoren alla olleet tukit säilyttivät laatuaan kohtalaisen hyvin. Kuorella peittäminen ei muissa erissä estänyt puun laatumuutoksia, mutta kylläkin kuivumishalkeamia.

Kokeilu antoi viitteitä, että oikealla tavalla ja oikea-aikaisesti toteutettuna kuorella peittäminen saattaa olla käyttökelpoinen keino puun laadun säilyttämisessä.

3.2.4 Kastelu

Koskisen Oy:ssä oli vertailuerä talvella hakattua koivutukkia kastelussa elokuun loppupuolelle.

Myllykosken kasteluvarastossa oli mukana talvi- ja kevätkaatoista koivukuitupuuta. Vaikka puu oli tukkia pienikokoisempaa, voi sen säilymisestä tehdä tietynlaisia päätelmiä. Tarkasteluja tehtiin heinä-, elo- ja syyskuun alussa.

3.2.4.1 Laadun säilyminen

Kastellussa koivutukkierässä tapahtui selviä puuaineen laatumuutoksia. Värivikaa oli kastelluissa tukeissa sama määrä kuin kaatoerän muissa käsittelyerissä. Lahoa oli kasteluerässä hyvin runsaasti, enemmän kuin muissa saman kaatoerän puissa.

Kastelukokeessa olleessa kuitukoivussa tapahtui jonkin verran värimuutoksia. Muutaman pölkyn päähän tuli jonkin verran erilaista värivikaa. Toisissa se oli laikuittaista ja toisissa reunasta lähtenyttä.

3.2.4.2 Johtopäätökset

Kastelu sekä auttoi että huononsi selvästi koivun laatua varastoinnissa. Kosteus lisääntyi varastoinnin aikana niin, ettei halkeamia päässyt syntymään. Värivikaisten pölkkyjen osuus ja vian leveys oli parhaimmillaankin selvästi suurempi kuin kylmävarastoiduilla puilla. Lahon määrä Koskisen tukeilla oli erittäin huolestuttavaa. Tulosten eroja selittävät ainakin erot käytetyssä veden laadussa ja kastelumäärissä.

3.2.5 Kylmävarastointi

Kylmävarastoitujen koivutukkien laatumuutoksia seurattiin erillisessä hanketta varten tehdyssä kylmävarastossa Koskisen Oy:ssä. Varasto avattiin syyskuun puolivälissä.

3.2.5.1 Värivika viilussa

Kylmävarastoidussa koivussa värivika oli harvinaista, sitä oli n. 10 %:ssa pääpölkyistä. Värivian leveys vaihteli 5–10 cm. Erä oli selvästi koesarjan parhain.

3.2.5.2 Laho viilussa

Kylmävarastoiduista tukeista sorvatussa viilussa ei ollut lahovikaa.

3.2.5.3 Johtopäätökset

Kylmävarastointi oli kokeilluista ainoa värivialta ja laholta suojaava varastointimenetelmä. Sen käyttö on perusteltua ennen maaliskuun loppua valmiiksi saatavissa varastoissa.

3.3 Metlassa tehdyt laboratoriokokeet (Katriina Lipponen, Metla)

3.3.1 Toteutus ja koejärjestelyt

Metlassa tehty koesarja koostui kolmesta kokeesta, joiden yksityiskohtainen toteutus ja koejärjestelyt esitetään valmisteilla olevassa erillisessä tutkimusraportissa. Raportti julkaistaan Metlan julkaisusarjoissa alkuvuodesta 2004.

Tiivistettynä kokeiden tavoitteet ja toteutus olivat seuraavat:

1) Vakuumieksikkaattoreissa selvitettiin korkeiden hiilidioksidipitoisuuksien (50 %, 75 %, 90 %, 95 %, 99 % ja 99,8 %, kontrollina ilma) vaikutus yhdeksän puutavaraa yleisesti pilaavan sienen kasvuun (viisi lahottajaa, neljä sinistäjäsientä) mallasagaralustoilla ja talvella kaadetuista puista sahatuilla kuusi- ja koivupuukiekoilla.

Käsittelyn vaikutus arvioitiin mittaamalla sienirihmastojen kasvu maljoilla ja havainnoimalla silmävaraisesti puukiekkojen puhtaus.

2) Walki Wisan matalaemissiomuovilla päällystetyissä ja kannellisissa muovilaatikoissa (24x33x18 cm, noin 14 litraa) selvitettiin, millaisia muutoksia tuore kuusen- tai koivunkuori aiheuttaa kaasutiiviin tilan kaasukehän koostumuksessa, ja miten muutokset vaikuttivat tilassa varastoitujen kuitupuun kokoisista koivun- ja kuusienrungoista sahattujen, noin 15 cm:n mittaisten, puupätkien (jatkossa pulikoiden) kosteuteen ja silmävaraisesti arvioituun säilymiseen sienitartunnoilta.

Koe käsitti 13 erilaista koejäsentä, kolme lämpötilakäsittelyä (5 ºC:n ja 15 ºC:n vakiolämpötilat sekä nouseva lämpötilakäsittely, 5 ºC →10 ºC → 15 ºC → huoneenlämpötila). Varastointiaika vaihteli 13 viikosta 18 viikkoon lämpötilakäsittelystä riippuen.

Kokeen aikana tehtiin seuraavat mittaukset:

- Kuusen ja koivun kuoresta mitattiin kosteus ja pH kokeen alussa ja lopussa. Kuoren määrä punnittiin kokeen alussa ja lopussa.
- Kokeen alussa mitattiin otoksesta kuusi- ja koivupulikoiden kosteus ja kuivatuoretiheys. Koetta purettaessa pulikoiden kosteudet määritettiin jokaisesta varastointilämpötilasta otetusta otoksesta erikseen.
- Kaikkien pulikoiden tilavuus mitattiin ja pulikat punnittiin kokeen alussa ja lopussa.
- Laatikoita avaamatta otettiin injektioruiskuilla kaasunäytteitä varastointilämpötilasta riippuen kolme–neljä kertaa kokeen aikana. Näytteistä määritettiin kaasukromatografilla hiilidioksidin, hapen ja typen osuus (%) kaasukehän tilavuudesta. Viimeisistä näytteistä määritettiin myös metaanin määrä (ppm).

Näytelaatikoiden tekemistä.

Koivupulikoita varastoinnin jälkeen.

Kuusipulikoita varastoinnin jälkeen.

Pulikoiden puhtaus sienitartunnoilta arvioitiin koetta lopetettaessa silmävaraisesti pulikoiden pinnalta. Osa pulikoista halkaistiin ja halkaisupinnoilta havainnoitiin värivian ja lahon eteneminen puun sisään.

3) Matalaemissiomuovilla päällystetyissä muovilaatikoissa tutkittiin myös, miten kuoren ja kaasutilan suhde vaikuttaa kaasukehän koostumuksessa tapahtuviin muutoksiin. Koejäsenet olivat seuraavat: koivunkuorta 1 kg ja 2 kg, kuusenkuorta 1 kg, 2 kg ja 2,5 kg.

Kuorilaatikot säilytettiin huoneen lämpötilassa. Seuranta-ajan pituus oli yhdeksän viikkoa, minkä aikana kaasunäytteitä otettiin kolme kertaa.

3.3.2 Tulokset

3.3.2.1 Eksikkaattorikoe

Hiilidioksidimäärä ei säilynyt vakuumieksikkaattoreissa kuukauden mittaisen koeaikana aloitustasolla niissä eksikaattoreissa, joihin hiilidioksidia oli imetty yli 50 % tilavuudesta, kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee.

Alkutaso, CO_2, %	99,8	99,0	95,0	90,0	75,0	50,0	0,03	0,03 (ilma)
Lopputaso, CO_2, %	74,0	67,3	77,0	57,8	61,9	51,0	6,5	19,0

Suurimmillaan alenema oli yli 30 %. Kontrolleissa hiilidioksidipitoisuus sen sijaan nousi kokeen aikana huomattavasti ilman hiilidioksidipitoisuutta (0,03 %) korkeammaksi. Nousu on todennäköisesti merkki siitä, että vastakaadetuista puista sahattujen puukiekkojen elävät solut jatkoivat vielä eksikkaattoreissa elintoimintojaan (hengitys).

Korkeatkaan hiilidioksidipitoisuudet eivät kokonaan estäneet sienten kasvua maljoilla. Kaikkien mukana olleiden lahottajien ja sinistäjien rihmaston kasvu pääsi alkuun myös korkeissa, yli 90 %:n pitoisuuksissa. Puukiekot säilyivät kuitenkin näissä käsittelyissä, ja myös 75 %:n käsittelyssä, lähes täysin puhtaina. Kontrollieksikkaattoreissa, joihin ei lisätty hiilidioksidia, ja vielä 50 %:nkin hiilidioksidipitoisuudessa, sienten kasvu oli selvästi nopeampaa ja kiekot homeisempia kuin korkeissa (alkutaso 75 % tai yli) hiilidioksidipitoisuuksissa.

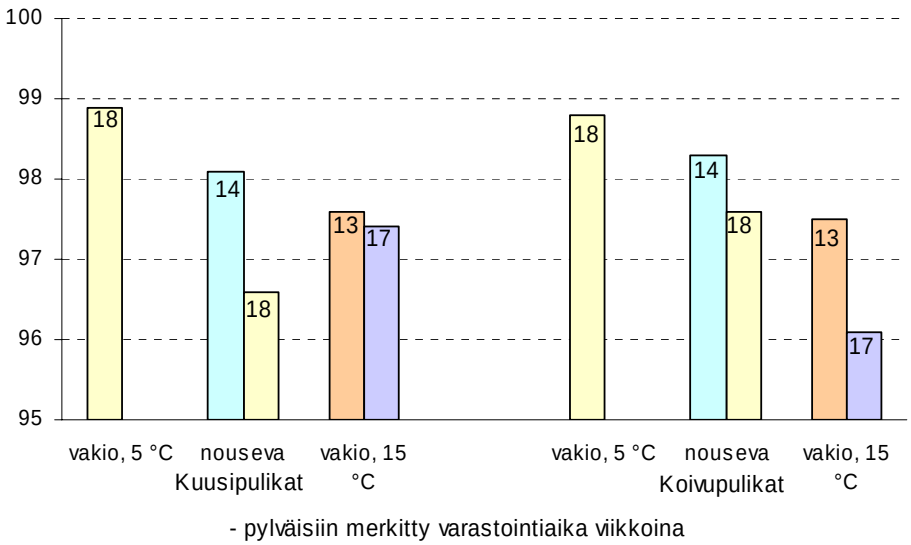
3.3.2.2 Matalaemissiomuovilla päällystetyt laatikot

Puun ja kuoren kosteus ja pH

Kuusipulikoiden keskimääräinen kosteus oli koetta perustettaessa kesäkuun alussa 59 % ja kuivatuoretiheys 368 kg/m^3. Koivupulikoiden vastaavat luvut olivat 45 % ja 509 kg/m^3. Kuusenkuoren kosteus oli 37 %. Koivun kuori oli selvästi kuusenkuorta kuivempaa, kosteuden ollessa vain 23 %.

Puupulikoiden keskimääräisissä kosteusprosenteissa ei tapahtunut kokeen aikana suuria muutoksia. Kuusipulikoilla kosteus aleni keskimäärin alle yhden prosenttiyksikön, koivupulikoilla sen sijaan nousi alkukosteuksiin verrattuna noin kaksi prosenttiyksikköä (ku 58,1 %, ko 47,1 %). Kaikkien pulikoiden tuorepaino kuitenkin aleni kokeen aikana. Tämä viittaa siihen, että

pulikat menettivät kuiva-ainetta varastoinnin aikana. Varastointilämpötila vaikutti selvästi tuorepainon alenemiseen (kuva 14), sillä pulikoiden tuorepaino aleni 5 ºC:ssa varastoiduissa laatikoissa keskimäärin yhden prosentin ja 15 ºC:ssa varastoitujen noin kolme - neljä prosenttia.



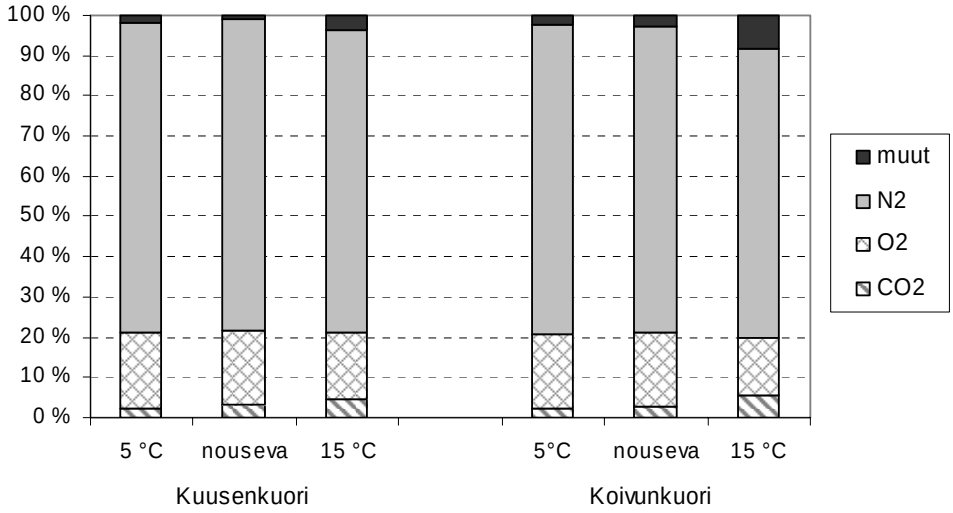
Kuva 14. Kuusi- ja koivupulikoiden tuorepainon keskimääräiset muutokset prosentteina alkutuorepainosta (100).

Kuori imi pulikoista irronnutta vettä, sillä sekä kuusen- että koivunkuoren loppukosteus nousi kokeen aikana selvästi niissä laatikoissa, joissa oli sekä pulikoita että kuorta. Kuusenkuorella kosteus nousi noin 50 %:iin, koivun 35 %:iin (alkukosteudet: ku 37 %, ko 23 %). Pelkästään kuorta sisältävissä laatikoissa kuoren tuorepaino sen sijaan aleni kummallakin kuorilaadulla, koivunkuori keskimäärin 12 prosenttiyksikköä, kuusenkuori yhdeksän yksikköä. Lämpötila vaikutti selvästi prosessiin, sillä 5 ºC:ssa varastoiduissa laatikoissa alenema oli kummallakin kuorilaadulla vain puolet keskimääräisestä. Laatikoissa, joissa ei ollut kuorta vaan ainoastaan pulikat, vesi oli laatikon pohjalla.

Sekä kuusen- että koivunkuoren happamuudet pysyivät kokeen aikana lähes samalla tasolla. Koetta aloitettaessa kuusenkuoren pH oli 4,5 ja lopetettaessa 4,5. Koivulla vastaavat luvut olivat 5,5 ja 5.

Kaasukehän muutokset varastoinnin aikana

Laatikoiden kaasukehän keskimääräiset typpipitoisuudet säilyivät noin neljän kuukauden seuranta-ajan lähellä huoneilman tasoa (78 %). Kuusenkuorilaatikoissa typen suhteellinen osuus vaihteli säilytyslämpötilasta riippuen 75,7:n ja 77,9:n tilavuusprosentin välillä, koivunkuorilaatikoissa 76,2:n ja 77,4 välillä (kuva 15). Hiilidioksidin ja hapen määrissä muutokset huoneilmaan verrattuna olivat suhteellisesti huomattavasti suuremmat kuin typellä.

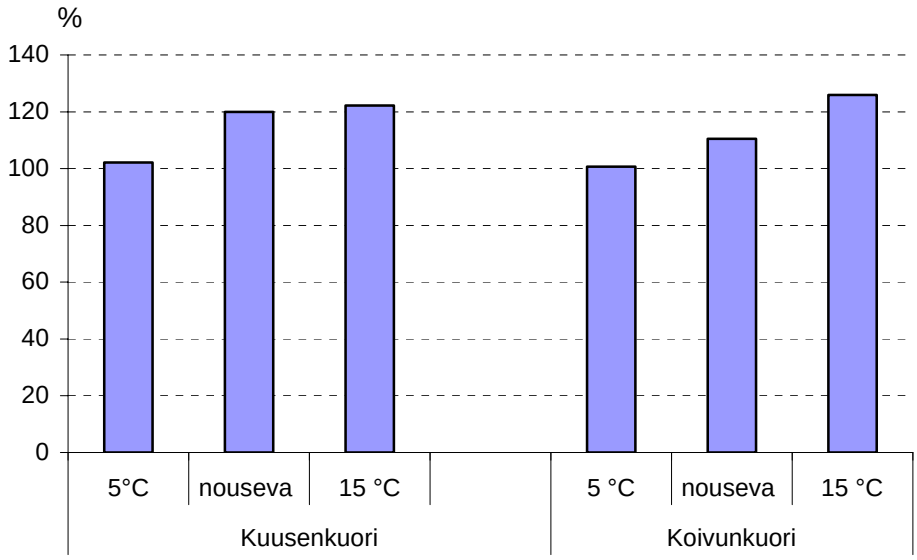


Kuva 15. Kaasukehän keskimääräiset muutokset eri varastointilämpötiloissa noin neljän kuukauden seuranta-aikana.

Hiilidioksidin määrä lisääntyi ja vastaavasti hapen määrä väheni kaikissa muissa paitsi tyhjissä kontrollilaatikoissa, joissa kaasukehän hiilidioksidi- ja happipitoisuudet säilyivät lähellä huoneilman tasoa. Vaihtelu eri laatikoiden välillä oli kuitenkin melko suurta. Alhaisemmat hiilidioksidipitoisuudet mitattiin laatikoista, joissa oli vain kuorta (250 g kuorta) ja korkeimmat laatikoissa, joissa pulikat oli peitetty kilolla kuorta. Laatikoiden keskimääräinen hiilidioksidipitoisuus oli korkein viimeisellä mittauskerralla 15 ºC:ssa varastoiduissa laatikoissa (kuusenkuorilaatikot 15,2 %, koivunkuorilaatikot 14,4 %). Vastaavat happipitoisuudet olivat 8,4 ja 9,0 prosenttia.

Laatikoiden säilytyslämpötila vaikutti selvästi laatikoiden kaasukehissä seuranta-aikana tapahtuneisiin hiilidioksidi- ja happipitoisuuksien muutoksiin (kuva 15). Korkeimmassa lämpötilassa säilytettyjen laatikoiden hiilidioksidipitoisuus pysyi kokeen aikana keskimäärin korkeimpana ja happipitoisuus vastaavasti matalimpana. Kuorilaatu ei vaikuttanut hiilidioksidipitoisuuden kohoamiseen (kuva 15).

Koivunkuorilaatikoissa muodostui kuitenkin muita kaasuja selvästi enemmän kuin kuusenkuorilaatikoissa. Ainakin osa muista kaasuista oli metaania, jonka määrää mitattiin vasta viimeisellä näytteenottokerralla. Säilytyslämpötilan kohotessa myös metaania kehittyi enemmän (kuva 16).



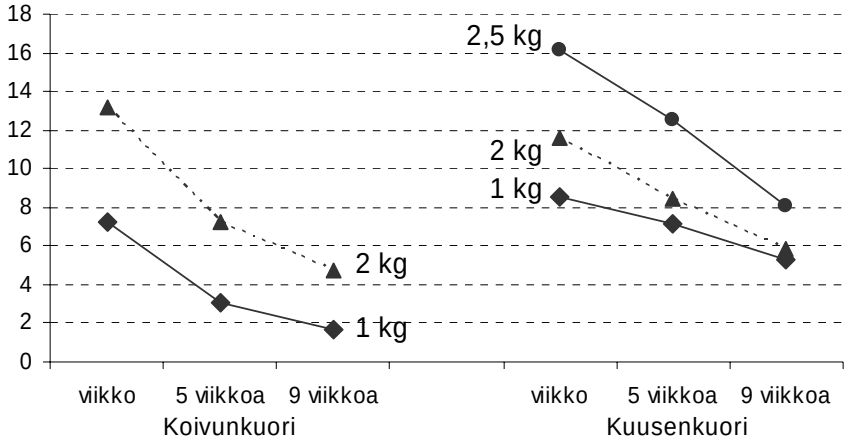
Kuva 16. Metaanipitoisuus eri varastointilämpötiloissa suhteessa huoneilman metaanipitoisuuteen.

Puupulikoiden silmävarainen kunto noin neljän kuukauden varastoinnin jälkeen

Laatikoissa todetut kaasukehän muutokset eivät estäneet sienten kasvua pulikoissa, sillä silmävaraisessa tarkastelussa sekä koivu että kuusipulikoissa todettiin runsaasti varsinkin pintahomeita, mutta myös väri- ja lahovikaa. Varastointilämpötila vaikutti selvästi sienitartuntojen alkuunpääsyyn, sillä koko kokeen ajan 5 ºC:ssa säilytetyissä laatikoissa olleissa pulikoissa pintahomeiden sekä väri- ja lahovikojen määrä oli vähäisempi kuin korkeimmissa lämpötiloissa säilytetyissä pulikoissa. Alhainen varastointilämpötila ei kokonaan estänyt väri- ja lahovikojen (koivulla ruskea värivika) etenemistä puun sisään. Eteneminen oli kuitenkin selvästi hitaampaa kuin korkeammissa lämpötiloissa. Parhaiten säilyneiltä näyttivät kuoren sisällä 5 ºC:ssa varastoidut pulikat (molemmat puulajit).

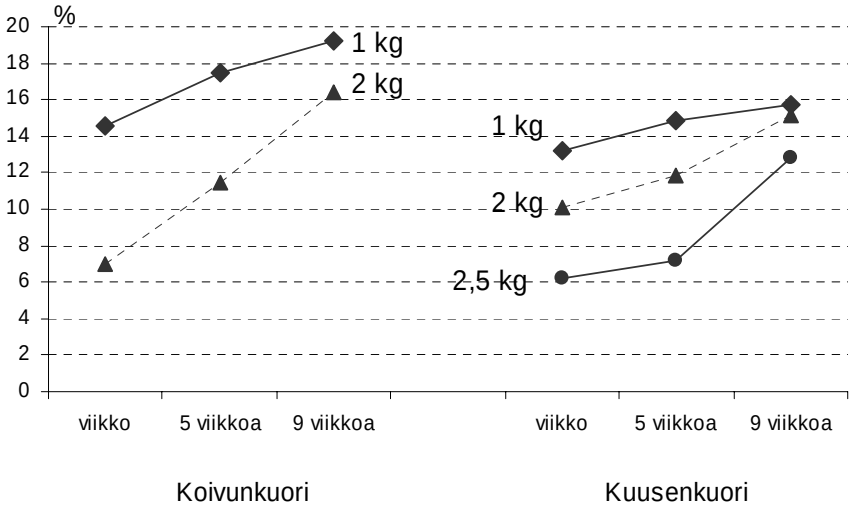
3.3.2.3 Kuorimäärän vaikutus

Laatikossa olleen kuoren määrä vaikutti selvästi hiilidioksidipitoisuuden kehitykseen. Mitä enemmän laatikossa oli kuorta ja mitä vähemmän vapaata kaasutilaa laatikkoon näin ollen jäi, sitä korkeammalle hiilidioksidipitoisuus nousi ja vastaavasti happipitoisuus aleni (kuvat 17 ja 18).



Kuva 17. Hiilidioksidipitoisuuden muutokset koivun- tai kuusenkuorta sisältävien ilmatiiviiden laatikoiden vapaassa kaasutilassa yhdeksän viikon seuranta-aikana.

Korkeimmat hiilidioksidipitoisuudet mitattiin kaksi ja puoli kiloa kuusenkuorta sisältävissä laatikoissa. Näissä laatikoissa hiilidioksidipitoisuus nousi viikossa keskimäärin noin 16 tilavuusprosenttiin. Varastointiajan pidetessä hiilidioksidin määrä väheni. Kuusenkuorilaatikoissa hiilidioksidin muodostus oli jonkin verran nopeampaa kuin koivunkuorilaatikoissa (kuva 17).



Kuva 18. Happipitoisuuden muutokset koivun- tai kuusenkuorta sisältävien ilmatiiviiden laatikoiden kaasutilassa yhdeksän viikon seuranta-aikana.

Happipitoisuus laski viikossa alimmilleen, 6–7 tilavuusprosenttiin. Varastointiajan pidetessä hapen määrä alkoi nousta, ja nousi koivunkuorilaatikoissa yhdeksän viikon seuranta-aikana jo lähelle huoneilman tasoa (kuva 18).

Metaanin kehittyminen oli yhdeksän viikon seuranta-aikana hidasta. Kaikissa laatikoissa metaania kuitenkin kehittyi jonkin verran (2–15 prosenttia yli huoneilman taso). Kuorimäärällä ei ollut selvää vaikutusta.

3.3.3 Johtopäätökset

- Korkeatkaan hiilidioksidipitoisuudet eivät estä täysin lahottaja- ja sinistäjäsienien kasvua. Huoneenlämpötilassa vasta noin 60 %:n hiilidioksidipitoisuudella voidaan merkittävästi vaikuttaa sienten kasvuun.
- Puun kuori tai vastakaadettu puutavara ei suljetussa tilassakaan nosta hiilidioksidipitoisuutta riittävän korkealle ja laske happipitoisuutta niin alas, jotta sienten kasvu estyy.
- Alhainen varastointilämpötila on merkittävin puun laatua säilyttävä tekijä.
- Kuoren päällä tai kuoren sisällä varastointi ei estä puun pilaantumista, ellei lämpötila pysy noin viidessä asteessa.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Kuusikuitupuu

Kylmävarastointi on toimiva talvikaatoisen kuusikuitupuun laadun loppukesään asti säilyttävä varastointimuoto. Kylmävarastojen tekomahdollisuus loppuu maaliskuun lopulla. Tämän jälkeen hakataan vielä lähes sama määrä varastoitavaa puuta kuin kylmävarastointikautena. Tälle, keski- tai loppukesällä käyttöön otettavalle kuusikuitupuulle tulisi löytää laadun säilyttävä varastointimenetelmä.

Kastelu osoittautui toimivaksi menetelmäksi. Tärkeää on kuitenkin oikea kastelun määrä ja veden laatu. Näin saadaan puu säilymään kosteana ja vaaleus hyväksyttävänä. Kiinnostava tulos kokeessa oli kuoritun puun hyvä vaaleus ja sen säilyminen varastoinnin aikana. Tulos on looginen, mutta tarvinnee varmennuksen jatkoselvityksellä.

Vähähappisessa varastoinnissa hiilidioksidin syöttäminen kasan sisälle ei hyödyttänyt puun säilymistä. Vaaleus muuttui samalla tavalla kuin kasassa, jossa hiilidioksidi syntyi vähitellen itsestään. Kosteudet säilyivät kummassakin kasassa lähellä lähtötasoa. Vähähappisen tilan yhdistäminen viileyteen parantaa puuaineen säilymistä. Suurten vähähappisten varastojen rakentaminen on kuitenkin hankalaa ja kallista.

Peittämällä varastoitavat puut kuorella ei saatu syntymään vähähappisia olosuhteita. Käytetty menetelmä loi otolliset olosuhteet monille puunpilaajille. Kaasutiiviissä tilassa kuori kuitenkin korvasi lähes täysin hapen hiilidioksidilla. Toteutusta ja ajoitusta muuttamalla kuori saattaa auttaa puun laadun säilyttämistä.

Kuusikuitupuun vaaleuteen voidaan vaikuttaa myös **kaadon ajoituksella**. Vaaleusmääritykset osoittivat, että maaliskuussa kaadetun puun vaaleus oli selvästi parempi kuin toukokuussa kaadetulla puulla. Lisäksi havaittiin **puun koon** vaikuttavan alku- ja loppuvaaleuteen. Pienikokoinen puu oli lähes kaikissa määrityksissä vaaleudeltaan parasta ja isokokoisin huonointa.

4.2 Koivuvaneritukit

Koivuvaneritukin kesäaikaisen säilytyksen pahin ongelma on päistä alkava ja nopeasti leviävä värivika ja sitä seuraava laho. Ilman suojaustoimenpiteitä puun kuivuminen ja sen aiheuttamat halkeamat myös alentavat jalostusarvoa.

Tukkien päiden käsittely käytetyllä Mobilcer C -aineella vähensi lahon, muttei värivian määrää. Vanhoissa tutkimuksissa käsittely on vähentänyt myös värivikaa. Käytetty aine tai toteutusajankohta saattoi vaikuttaa lopputulokseen.

Vähähappisessa varastoinnissa ei kokeilussa toteutetulla tavalla saatu estetyksi värivikaa, mutta lahon määrää saatiin vähennettyä.

Kuorella peitetyssä kastelussa olleessa erässä laatu säilyi melko hyvin. Muutoin kuorella peittämisestä ei ollut apua, pikemminkin haittaa.

Kylmävarastointi oli kokeissa ainoa todella tehokkaasti toimiva menetelmä. Sen käytön ongelma on kustannusten lisäksi rajoitettu käyttöaika.

Kastelussa tärkeää on toteutustapa, lähinnä veden laatu ja määrä. Eri toteutusvaihtoehdoissa koivun laatu joko huononi melkoisesti tai säilyi melko hyvänä. Koivun kastelu vaikuttaa olevan taitolaji.

5 PÄÄTELMIÄ PUUN VARASTOINNISTA

Seuraavassa on kooste eri puutavaralajien varastointitarpeesta, –menetelmistä ja tutkimustarpeesta. Sen tekemisessä on käytetty mm. Metsätehossa aihepiiristä tehtyjen tutkimusten tuloksia.

TUKIT

Mäntytukki

- Varastointitarve vähäinen
- Varaston kierto yli 20 kertaa vuodessa
- Laatumuutokset - sinistymä (alkukesästä sinistymää aiheuttavat hyönteiset, loppukesästä ilmalevintä kuoriutumien kautta)
- Suojausmenetelmä - kastelu, kylmävarastointi

- Ei erityistä tutkimustarvetta

Kuusitukki

- Varastointitarve erittäin vähäinen
- Varaston kierto yli 20 kertaa vuodessa
- Laatumuutokset - sinistymä (alkukesästä hyönteiset, loppukesästä kuoriutumat)
- Suojausmenetelmä - kastelu, poikkeustapauksessa kylmävarastointi

- Ei erityistä tutkimustarvetta

Koivuvaneritukki

- Varastointitarvetta talvikaatoiselle puulle. Loppukesästä puutetta kaatotuoreesta puusta
- Varaston kierto yli 6–12 kertaa vuodessa
- Laatumuutokset - värivika, kova ja pehmeä laho, kuivumishalkeamat
- Suojausmenetelmä - lyhytaikainen kastelu, vesivarastointi, kylmävarastointi
- Tutkimustarve: Värimuutosten aiheuttajien selvittäminen ja estäminen
  Lopputalvella ja alkukeväällä hakatun puun kesäaikainen varastointi

KUITUPUUT

Mäntykuitupuu

- Varastoitavat määrät ovat erittäin suuria. Paljon talvikaatoista puuta
- Talvikaatoinen puu kuljetettava tai peitettävä ennen kesäkuun loppua
- Talvikaatoinen säilyy kelvollisena heinäkuun loppuun ja kesäkaatoinen 2 kk kaadosta, ensiharvennuspuu yhden kuukauden
- Talvikaatoisen jalostusarvon alentuma ylittää kylmävarastoinnin kustannukset syys-lokakuussa
- Varaston kierto 4–6 kertaa vuodessa
- Laatumuutokset - kova ja pehmeä laho
- Suojausmenetelmä - kastelu, uitto, vesivarastointi, kylmävarastointi
- Tutkimustarve: Kuoren käyttö kastelussa ja kylmävarastoinnissa

Kuusikuitupuu

- Varastoitavat määrät suuria. Paljon talvikaatoista puuta. Loppukesällä on puutetta kaatotuoreesta puusta
- Varaston kierto n. 12 kertaa vuodessa
- Laatumuutokset - hiomopuussa värivika ja kuivuminen, sellupuussa kova ja pehmeä laho
- Suojausmenetelmä - kastelu, vesivarastointi, kylmävarastointi
- Tutkimustarve: Kuoren käyttö kylmävarastoinnissa ja kastelussa
  Vähähappisuuteen perustuva varastointimenetelmä

Koivukuitupuu

- Varastoitavat määrät ovat suuria. Paljon talvikaatoista puuta
- Varaston kierto 4–6 kertaa vuodessa
- Laatumuutokset - kova ja pehmeä laho
- Suojausmenetelmä - kastelu, kylmävarastointi
- Tutkimustarve: Kuoren käyttö kastelussa ja kylmävarastoinnissa
  Vähähappisuuteen perustuva varastointimenetelmä

Yleistä

Varastoinnin suunnittelussa on syytä ottaa huomioon hakkuuajankohdan vaikutus. Yleensä talviolosuhteissa hakattu puu säilyy paremmin kuin keväällä hakattu.