

Tykkilumen käyttö kuitupuun kylmävarastoinnissa

Case Anjalankoski

Tiivistelmä

Tekijä(t) Isometsä, Santtu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Syksy 2021
	Sivumäärä 48	
Työn nimi Tykkilumen käyttö kuitupuun kylmävarastoinnissa Case Anjalankoski		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Teemu Manninen, Terminaalipäällikkö, Stora Enso Metsä		
Tiivistelmä <p>sellu- ja paperiteollisuus tarvitsee tasaisen määrän korkealaatuista kuitupuuta tuotantonsa raaka-aineeksi ympärivuotisesti. Vuosittaiset vaihtelut puun laadussa, sekä kesän pienet hakkuuvolyymit, kuitenkin aiheuttavat suurta vaihtelua raaka-aineen saatavuudessa. Kylmävaraston käyttö auttaa tasapainottamaan kesäistä vaihtelua ja turvaa korkealaatuisen raaka-aineen saannin. Viime vuosina lumettomat talvet ovat yleistyneet, vaikeuttaen kylmävarastojen rakennusta. Rakennukseen tarvittavan lumen saatavuus saadaan varmistettua käyttämällä tykkilunta. Tykkilumen valmistus kuitenkin lisää varaston rakennuskustannuksia.</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin vuonna 2021 Stora Enson Anjalankosken tehtailla. Opinnäytetyössä selvitettiin, onko tykkilumen käyttö perusteltua taloudellisesti ja säilyttääkö se puun laadun luonnonlunta paremmin. Saatujen tulosten mukaan tykkilumen käyttö on perusteltua, sillä se varmistaa laadun ylläpysymisen ja on vähentänyt tuotantoon päätyvien epäpuhtauksien määrää.</p>		
Asiasanat Kylmävarasto, paperiteollisuus, kuitupuu, tykkilumi		

Abstract

Author(s) Isometsä, Santtu	Type of Publication Bachelor's thesis	Published Autumn 2021
	Number of Pages 48	
Title of Publication The use of cannon-made snow for cold storage of pulpwood Case Anjalankoski		
Name of Degree Bachelor of Engineering		
Name, title and organization of the client Teemu Manninen, Terminal manager, Stora Enso Forest		
Abstract <p>The pulp and paper industry requires a steady supply of high-quality pulpwood as raw material for its production throughout the year. However, annual variations in wood quality, as well as small summer harvest volumes, cause large variations in the supply of raw material. The use of a cold storage helps to balance the variation at summer and secures the supply of high-quality raw material. In recent years, snow-free winters have become more common, leading to increasing difficulty in building cold-storages for wood. Artificially produced snow can be used to ensure the availability of snow needed for the construction. However, this increases the construction cost of the cold storage.</p> <p>This thesis was written in 2021 for the Stora Enso's Anjalankoski mill. The aim of the thesis was to determine whether the usage of artificially produced snow can be justified financially, and whether it maintains the quality of the wood better than normal snow. According to the results obtained, the usage of artificial snow can be justified as it ensures the quality and has reduced the amount of impurities that end up in production.</p>		
Keywords Cold storage, paper industry, pulpwood, cannon-made snow		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Stora Enso Anjalankosken tehtaat	2
2.1	Konserni	2
2.2	Anjalankosken tehtaat	2
3	Kuusipuuraaka-aine.....	3
3.1	Kuusipuun solurakenne	3
3.2	Puun kerrokset	5
3.3	Uuteaineet	6
4	Mekaanisen massan valmistus	7
4.1	Mekaaninen massa.....	7
4.2	Hionta	8
4.3	Laatuvaihtelu	9
4.3.1	Vaaleus	9
4.3.2	Suotautuvuus.....	10
4.3.3	Kuitupituusjakauma	10
5	Puun varastointi	12
5.1	Varastoinnin tarve.....	12
5.2	Varastotuhot	12
5.2.1	Hyönteistuhot.....	13
5.2.2	Sinistäjäsieni.....	13
5.2.3	Lahot	14
6	Anjalankosken kylmävarasto 2021	16
6.1	Kylmävarastointi	16
6.2	Kylmävaraston rakentaminen	16
6.2.1	Puupinojen rakenne.....	18
6.2.2	Lumetus.....	19
6.2.3	Eristekerros	20
6.2.4	Lumi	20
6.2.5	Kuorikate	21
6.3	Pakkasvaraston purkaminen.....	23
7	Kokeellinen osa	27
7.1	Näytteiden otto	27
7.1.1	Kiekkonäytteet	27
7.1.2	Upotusotannat	28

7.1.3	Online-mittaukset.....	28
8	Tulokset ja tulostentarkastelu.....	30
8.1	Kosteusprosentti.....	30
8.2	Upotusotannat	32
8.3	Värimuutosten määrittäminen	32
8.4	Lahon esiintyminen.....	35
9	Pohdinta	36
9.1	Puun kosteuden säilyminen	36
9.2	Vaaleus	36
9.3	Sään vaikutus	37
10	Kehitysehdotukset	39
11	yhteenveto.....	40
12	Lähteet	41

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Stora Enson Anjalankosken tehtaille. Opinnäytetyössä tutkitaan tykkilumen käyttöä kuusikuitupuun kylmävarastoinnissa. Stora Enson Anjalankosken tehtailla valmistetaan kirja- ja aikakauslehtipaperia, sekä taivekartonkia kuluttajapakkauksiin. Materiaalina prosesseissa käytetään vuosittain noin 1,2miljoonaa kuutiota kuusikuitua. Raaka-aineen laatu on kirjapaperin ja taivekartongin valmistuksessa käytettävän mekaanisen massan laadun tärkein tekijä. Puuraaka-aineen laadussa, ja saatavuudessa, esiintyy suurta vaihtelua vuositasolla, joten tehtaalla käytetään kylmävarastoitua puuta tasoittamaan vaihtelua loppukesällä.

Kylmävarastoinnissa talvikaatoista puuta varastoidaan auman muotoiseen pinoon, joka peitetään lumella ja eristävällä kuorikerroksella. Viime vuosina vähälumisia talvia on esiintynyt paljon, joten Stora Enson Anjalankosken tehtailla kokeiltiin kylmävaraston tekoa tykkilumella vuoden 2021 talvella. Tykkilumen käyttö lisää puun varastointikustannuksia, joten yritys halusi selvittää saadaanko tykkilumen käytöstä merkittävää lisäarvoa varastoidun puun laadun säilymisessä.

Asian selvittämiseksi, opinnäytetyössä tarkastellaan kylmävaraston rakentamista, sekä kuoren ja lumen osuutta kylmävaraston rakenteessa. Lisäksi opinnäytetyössä käydään läpi mekaanisen massan hiontaprosessi, sekä raaka-aineena käytetyn puun tärkeimmät laatuvaatimukset. Lopuksi vuonna 2021 kylmävarastoidun puun laatua tarkastellaan kiekko- ja upotusnäytteillä, sekä vertaamalla tehdasjärjestelmästä saatuja vaaleusarvoja edellisvuosiin.

2 Stora Enso Anjalankosken tehtaat

2.1 Konserni

Stora Enso on yksi maailman johtavia pakkaus-, biomateriaali-, puutuote- ja paperiteollisuuden valmistajia. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2020 8,6 miljardia euroa ja se työllisti keskimäärin 24 455 henkilöä. Yritys käytti vuonna 2020 noin 35 miljoonaa tonnia puuta raaka-aineena, josta suurin osa oli metsäsertifioiduista lähteistä. (Stora Enso 2021.)

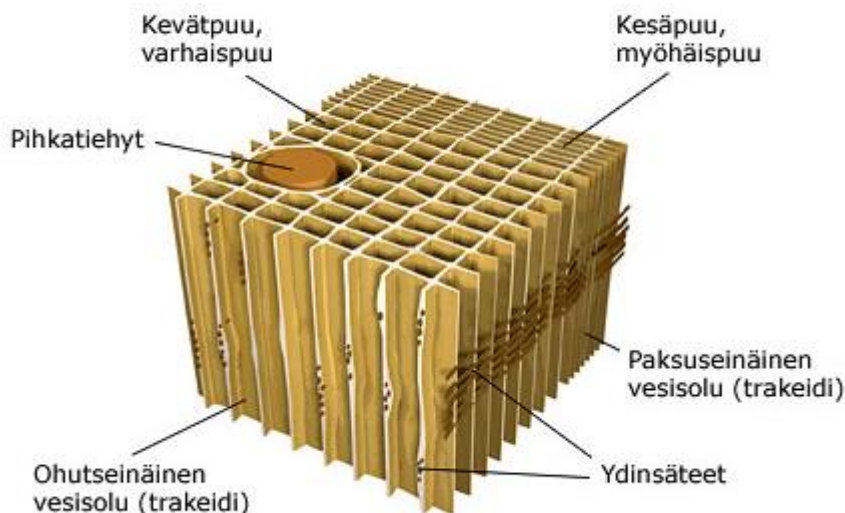
2.2 Anjalankosken tehtaat

Stora Enson Anjalankosken tehtaat sijaitsevat Kouvolassa, Kymijoen rannalla. Tehdastoimintaa alueella on ollut vuodesta 1872 lähtien. Alueelle rakennettiin 1872 puuhiomo ja 1873 paperitehdas, jotka Oy Tampella Ab osti vuonna 1887. Alueelle rakennettiin Suomen ensimmäinen jatkuvatoiminen kartonkikone vuonna 1897, ja tehdasaluetta laajennettiin lukuisia kertoja 1900-luvun aikana. Stora Enson omistukseen tehdasalue siirtyi vuonna 1993, kun silloinen Enso-Gutzeit Oy osti tehtaat Tampella Oy:ltä. Stora Enson Anjalan Paperitehdas on integroitu viereisen Stora Enson Inkeröisten Kartonkitehtaan kanssa. Paperitehtaalla valmistetaan vuosittain noin 435 000 tonnia kirja-, aikakauslehti- ja sanomalehtipapereita. Inkeröisten Kartonkitehtaalla valmistetaan vuosittain noin 295 000 tonnia taivekartonkia elintarvike-, makeis- ja lääkepakkauksiin. Yhteensä tehtaat työllistävät noin 500 henkilöä ja käyttävät vuositasolla n. 1,2 miljoonaa kuutiota puuta. (Stora Enso 2021.)

3 Kuusipuuraaka-aine

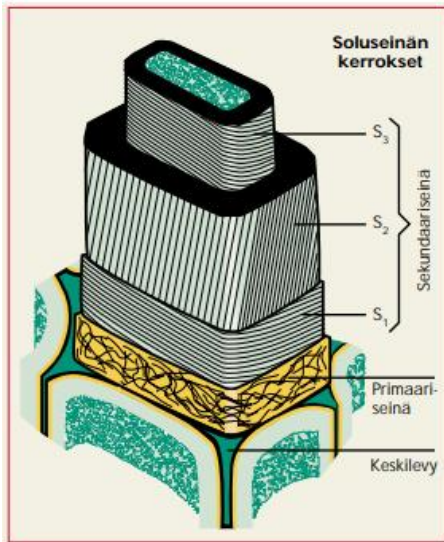
3.1 Kuusipuun solurakenne

Kuusipuun rakenteellinen puumatriisi koostuu selluloosasta (40-50%), hemiselluloosasta (20-25%) ja ligniinistä (20-30%). Puumatriisissa selluloosa ja hemiselluloosa muodostavat puukuituja, joiden sidosaineena ligniini toimii. Lisäksi ligniini suojaa puun soluja taudeilta ja lahonaiheuttajilta. (Stenius ym. 2000.) Havupuiden solumatriisissa noin 95% soluista on trakeideja, eli putkisoluja, jotka muodostavat veden johtoverkon, sekä antavat puulle mekaanisen lujuuden. Lisäksi havupuille ominaista on soluvälien muodostamat pihkatiehyet, jotka tekevät puun rakenteesta huokoisen. Kuvassa 1 on kuvattuna kuusipuun solumatriisi, ja siinä esiintyvät vaihtelut.



Kuva 1 Kuusipuun solurakenne (Pro puu, 2021)

Havupuiden trakeidit ovat tyypillisesti noin 2–4 mm pitkiä ja soveltuvat sen ansiosta erinomaisesti paperin valmistukseen. Korkea kuitupituus lisää paperin jäykkyyttä, ja lujuutta, sekä parantaa sen paino-ominaisuuksia. Trakeidien lisäksi kuusen solukko sisältää paremkyymi- eli tylppysoluja, jotka vastaavat puun kasvutoiminnoista, varastoivat puun kasvun kannalta tärkeitä ravinteita, sekä muuntavat niitä toiseen muotoon. (Puuinfo Oy 2021.) Alla olevassa kuvassa näkyy kuusikuidun rakenne. Rakenne on jaettu primääri- ja sekundääriseiniin, sekä soluja yhdistävään välilamelliin. Sekundääriseinämät sisältävät suurimman osan kuidun hemiselluloosasta ja selluloosasta. Selluloosan muodostamat pitkät säikeet, mikrofibrillit, ovat järjestyneet kuidun pituussuunnassa ja antavat sille suuren vetolujuuden.



Kuva 2 Kuusikuidun rakenne (Saranpää 1997)

Kuvasta nähdään hyvin, että primääriseinä ja sekundääriseinän S₁-kerros ovat hyvin ohuita, kun taas S₂-kerros on paksu ja sisältää suurimman osan kuidun selluloosasta. Keskilevy ja välilamelli sisältävät suurimman osan kuitujen ligniinistä. (Heldin 2019.) Mekaanista massaa valmistettaessa pyritään välilamellin ligniini pehmittämään, jolloin kuidut irtoavat toisistaan katkeilematta. Jauhatuksessa kuidun uloimmat kerrokset kuitenkin usein myös irtoavat ja rikkoontuvat, muodostaen hienoainetta.

Puun rakenne on hyvin heterogeenistä, puun kasvuolosuhteet, ikä ja vuodenaikat vaikuttavat voimakkaasti puun kasvuun ja näin ollen myös puun rakenteeseen. Puun kasvu tapahtuu kuoren alaisessa jälsikerroksessa, kun parenkyymisolut jakaantuvat muodostaen uusia soluja. Syntyneet solut ovat aluksi pieniä ja ohutseinäisiä, mutta erikoistumisen myötä ne kasvavat pituutta ja leveyttä, ja niiden soluseinämät paksuuntuvat. Solujen väliin muodostuu välilamelli pektiinistä, joka sitoo solut yhteen. Seuraavien viikkojen aikana tapahtuvan lignifikoitumisen myötä pektiini muuttuu ligniiniksi ja solut puutuvat, vahvistaen edelleen puun mekaanista rakennetta. (Piesala, 2011.) Havupuilla muodostuneista soluista suurin osa on rungonsuuntaisia ja toimivat puun tukirakenteena, sekä veden johtosolukkona. Rungonsuuntaisten solujen lisäksi puuhun muodostuu ytimeen nähden kohtisuorassa olevia soluja, jotka kuljettavat ravinteita ja nesteitä puun poikkisuunnassa.

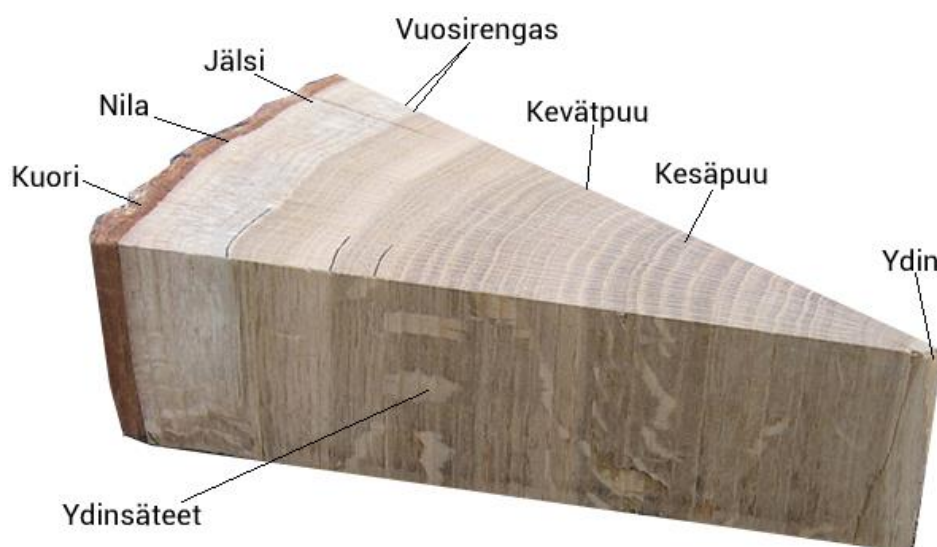
Vuodenaajoilla on suuri vaikutus syntyneiden solujen rakenteeseen. Puu tarvitsee kasvaakseen valoa ja lämpöä, joten varsinkin Suomessa vuodenaikojen vaihtelu näkyy voimakkaasti solurakenteessa. Puut vaipuvat syksyllä horrokseen talven ajaksi ja heräävät keväällä hitaasti takaisin eloon. Solujen jakaantuminen on keväällä nopeampaa kuin kesällä, joten syntyneet solut ovat läpimitaltaan isompia, mutta ohuempiseinäisiä. Kesällä puu keryy energiavarastoja talvea varten. Tämän takia kasvu on hitaampaa ja syntyneet solut

ovat pienempiä ja soluseinät ovat paksumpia. Kesäpuu on kevätpuuta tiheämpää ja sisältää enemmän selluloosaa ja hemiselluloosaa. Näiden erojen vaikutusta mekaanisen massan valmistukseen käsitellään tarkemmin hiokkeen valmistuksen yhteydessä. (Hiilipuu 2021.)

3.2 Puun kerrokset

Puusoluissa tapahtuvan erikoistumisen ja uuteaineiden kertymisen seurauksena puuhun muodostuu ajan myötä toisistaan selvästi erottuvia kerroksia. Tämän lisäksi kevät- ja kesäpuun väliset vaihtelut muodostavat selvästi havaittavia eroja, vuosilustoja. Tärkeimmät kerrokset ovat: kuori, manto ja sydänpuu. Havupuiden kuori koostuu puun ulkokuoren muodostavasta kuolleesta solukosta, kaarnasta, sekä sen alla sijaitsevasta nilasta. Kaarna suojaa puita ulkoisilta tekijöiltä; hyönteisiltä, taudinaiheuttajilta ja säältä. Nila on elävää solukkoa, jonka tehtävä on varastoida ja kuljettaa puun yhteyttämistuotteita ja ravinteita. Puun kasvusta vastaava jälsikerros sijaitsee nilan alla, ja erottaa kuorikerroksen puun mannosta. (Piesala 2011.)

Puun manto, eli pintapuu, koostuu elävästä puuaineksesta. Havupuilla pintapuu koostuu lähinnä pitkistä putkisoluista, jotka kuljettavat vettä juurista latvukseen. Suuren kuitupituutensa ansiosta pintapuu on paperinvalmistuksessa halutuin osa. Ajan myötä solut kuolevat ja solukkoon kertyy uuteaineita, sekä pihkaa, synnyttäen sydänpuuta. Sydänpuu on muuta puuainesta kovempaa ja toimii puun kasvuvaiheessa kantavana pilarina (Pro puu 2021), mutta sen kuitupituus on pintapuuta lyhyempi ja sen korkea uuteainepitoisuus heikentää paperin laatua. Puun sisin kerros koostuu lähinnä tärkkelystä sisältävästä ytimestä, joka säilöö latvuksessa ravintoa seuraavaa vuosikasvainta varten (Piesala, 2011).



Kuva 3 Puun kerrokset (Pro puu, 2021)

3.3 Uuteaineet

Puu sisältää selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin lisäksi myös lukuisia eri uuteaineita. Uuteaineet toimivat ravintona, suojaavat puuta mikrobiologisilta vaurioilta ja hyönteistuhailta, sekä suojaavat soluja pakkaselta. Eri uuteaineita on lukuisia ja niiden pitoisuudet antavat kullekin puulajille niiden ominaisen värin ja hajun. (Anttila ym. 2017.) Pitoisuudet vaihtelevat myös puun iän, kasvupaikan, vuodenajan ja perintötekijöiden mukaan, sekä puun sisäisesti eri puunosien välillä. Myös kaadetun puun varastointitapa ja varastointiaika vaikuttavat uuteaineiden pitoisuuksiin. (Anttila ym. 2017). Perinteisesti uuteaineet voidaan jakaa alla olevan kuvan mukaisesti rasva- ja vesiliukoisiin aineisiin.

Rasvaliukoiset	Vesiliukoiset
Hartsihapot	Fenolit
Monoterpeenit	Lignaanit
Triglyseridit	Flavonoidit
Steryyliesterit	Tanniinit
Vapaat rasvahapot	Sokerit
Vapaat sterolit	Suolat

Kuva 4. Uuteaineiden jaottelu (Holmberg 1999)

Puun uuteainepitoisuudet vaihtelevat huomattavasti vuodenajan mukaan. Puun kasvuaikana tarvitsemat uuteaineet heikentävät vaaleutta (Imponen ym. 2005). Kasvuajan ulkopuolella vaaleus on korkeampi, mutta sokereiden ja muiden hiilihydraattien osuus on myös kohonnut (Anttila ym. 2017.)

Mekaanisen massan valmistuksessa uuteaineiden vaikutus lopputuotteen laatuun on lähes yksinomaan negatiivinen. Korkea uuteainepitoisuus puussa nostaa puun kuivatuoretiheyttä ja lisää kuidutukseen vaadittavan energian määrää. Lisäksi uuteaineet vähentävät kuitujen sitoutumiskykyä, heikentäen paperin lujuutta. Suurin vaikutus uuteaineilla on kuitenkin vaaleudessa; rasvaliukoiset uuteaineet eivät poistu käsittelyveden mukana hiontaprosessissa, vaan jäävät massaan ja lisäävät valkaisukemikaalien käytön tarvetta korkean vaaleuden paperien tuotannossa. Voimakas valkaisu kuitenkin liuottaa myös hemiselluloosia ja ligniinejä, heikentäen massan mekaanisia ominaisuuksia ja saantoa. (Huttunen 2013.) Vesiliukoisilla uuteaineilla ei ole yhtä suurta vaikutusta, kuin rasvaliukoisilla, sillä ne liukenevat hionnan aikana osin prosessiveteen ja poistuvat kierron mukana, tämä tosin lisää prosessivesien kiintoainepitoisuuksia.

4 Mekaanisen massan valmistus

4.1 Mekaaninen massa

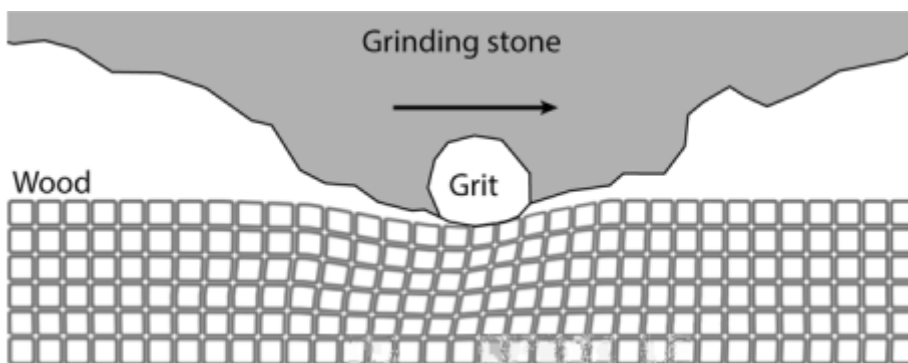
Kuusipuusta hiottu mekaaninen massa on Anjalankosken tehtailla valmistettavien paperi- ja kartonkituotteiden pääsääntöinen raaka-aine. Paperiteollisuudessa mekaanista massaa käytetään, kun tavoitellaan paperille hyviä paino-ominaisuuksia, lujuutta ja korkeaa bulkkisuutta, eli paksuutta, alemmissa neliöpainoissa. Sitä valmistetaan joko hiomalla, tai hiertämällä. Menetelmät eroavat toisistaan lähinnä raaka-aineen olomuodon ja jauhatusteen perusteella. Hiomossa mekaanista massaa valmistetaan kuusipölkkyistä, kun taas hiertämöllä raaka-aineena käytetään kuusihaketta. Molemmista menetelmistä puuraaka-aineesta irrotetaan kuituja mekaanisen rasituksen avulla. (Nieminen 2005.) Koska Anjalankosken hiertämöllä käytetään lähinnä tehtaan ulkopuolisista lähteistä hankittua haketta, ei sen toiminnan tarkastelu tämän opinnäytetyön yhteydessä ole tarkoituksenmukaista.

Hiontaprosessissa puusta liukenee vain pieni määrä uuteaineita, joten mekaanisen massan saanto on korkea, jopa 98%. Kemiollista massaa korkeampi saanto selittyy mekaaniseen massaan jäävällä ligniinillä, joka sitoo puussa puukuidut toisiinsa. Mekaanisessa massassa ligniini kuitenkin heikentää massan sitoutumiskykyä, alentaa vaaleutta ja aiheuttaa paperin kellertymistä ajan kuluessa. (Suuronen 2017.) Koska ligniini, kuten myös muut rasvaliukoiset uuteaineet, alentaa massan vaaleutta, joudutaan mekaaninen massa usein valkaisemaan ennen käyttöä.

Anjalankosken tehtailla hiokkeen valkaisussa käytetään valkaisukemikaaleina vetyperoksidia ja natriumditioniittia (Stora Enso 2021). Massa käsitellään ensin vetyperoksidilla, joka hapettaa ligniinin värillisiä kromofomeja, muuttaen niitä värittömiksi karboksyylihapoiksi ja aldehydeiksi (Mänttari 2018). Vetyperoksidi-valkaisun jälkeen massa on alkaalista ja sisältää jäännösperoksiedeja. Massa on siksi hapotettava rikkidioksidivedellä, joka nostaa massan pH-arvoa ja pelkistää peroksidijäänteitä. Hapettavan peroksidikäsitelyn lisäksi massaa voidaan valkaista pelkistävällä ditioniittikäsitelyllä. Ditioniittivalkaisulla ei saada aikaan yhtä suurta vaaleuden nousua, kuin peroksidikäsitelyllä, mutta sen käyttö on halvempaa. Siksi se sopii yksinään hyvin matalan vaaleuden massojen valmistukseen, tai korkean vaaleuden massojen valmistuksessa käytetyssä yhdistelmävalkaisussa vähentämään peroksidin tarvetta. (Jäkärä ym. 2009.)

4.2 Hionta

Mekaanisen massan valmistuksessa puuraaka-aineen kuituja irrotetaan toisistaan veden, lämmön ja mekaanisen voiman avulla. Määrämittäisiksi katkottuja puupölkkyjä painetaan hiontakiveä vasten, jonka pinnassa olevat rakeet antavat puuaineelle nopeassa tahdissa pieniä iskuja. Jaksottainen mekaaninen rasitus saa puussa aikaan sekä plastisia, että elastisia muodonmuutoksia, jotka heikentävät kuitujen välisiä sidoksia. Samalla mekaaninen voima muuttuu lämmöksi, pehmentäen ligniinisidoksia yhä edelleen. Kun kuitujen väliset sidokset heikkenevät hiontakiven aiheuttamia kitka- ja leikkausvoimia pienemmiksi, kuidut irtaavat puun pinnasta ja valuvat prosessiveden mukana pois hiomakiven pinnalta. Samalla lämmitetty prosessivesi pehmentää puuainesta ja muodostaa ohuen kalvon kiven ja puiden välille, vähentäen kitkaa ja suojaten puuta palamiselta. (Mänttari 2018.) Kuvassa 5 näkyy hiomarakenteiden aiheuttama muodonmuutos puumatriisissa.



Kuva 5 Puukuitujen deformaatio hionnassa (Heldin 2019)

Puumatriisin kyky sietää deformaatiota on verrannollinen puun kosteuteen. Vesi pehmentää soluseinämiä, suojaa puuta palamiselta ja edesauttaa lämmön kulkeutumista puuainekseen. Ilman vettä puukuidut eivät kestäisi hionnan aiheuttamaa rasitusta vaurioitumatta. (Heldin 2019.) Lisäksi puun kosteusprosentin laskiessa sen lämmönjohtokyky laskee ja sen seurauksena prosessissa vaadittu lämpö nousee, heikentäen prosessin tehokkuutta. Lignini alkaa pehmenemään vasta noin 100°C lämmössä, joten hyvä lämmön kulkeutuminen puuaineessa on tärkeää puun kuidutuksen kannalta. Kuivaa puuta hioessa puun kuidut ehtivät vaurioitua ennen kuin kuitujen väliset ligniinisidokset pehmenevät tarpeeksi kuidun irtaamiseksi. (Mänttari 2018.) Lopputuloksena hiokemassan kuidunpituus laskee ja hienoainisuus kasvaa. Tämä huonontaa massasta valmistetun paperin lujuutta ja bulkkisuutta, ja heikentää massan saantoa. Korkealaatuisen hiokkeen valmistus vaatii siis tuoretta, ja kostea raaka-ainetta. (Heldin 2019.)

Hiomakoneet on jaoteltu neljään pääryhmään, niiden prosessiolosuhteiden mukaan. Eri hioketyypit ovat: kivihioke (GW), kuumahioke (TGW), painehioke (PGW) ja superpainehioke (PGW-S). Stora Enson Anjalankosken tehtaalla käytetään tehtaalla osittain kehitettyä painehiontakonetta. Prosessissa suihkuvesien lämpö on noin 95°C ja prosessipaine 2-3bar (Stora Enso 2021). Korkeampi paine nostaa veden höyryntymislämpöä, jolloin voidaan käyttää tavallista korkeampaa prosessilämpötilaa. Tämä parantaa ligniinin pehmenemistä ja nostaa valmistetun massan sidoskykyä, kun kuidut irtoavat pidempinä ja hienoaineisuus laskee (Hietanen 2007).

Tasalaatuisen massan tuottamiseksi massa lajitellaan ja puhdistetaan vielä hionnan jälkeen. Puuraaka-aineen mukana massan sekaan päätyy pieniä määriä hiekkaa, kuorta ja muita kiintoaineita. Lisäksi itse hiontaprosessissakin syntyy tuotantoon sopimatonta rejektia, kun osa kuitukimpuista ei joko jauhaannu tarpeeksi, aiheuttaen tikkuja, tai jauhaantuu liikaa, nostaen hienoaineen osuutta. Lisäksi hiomakivestä itsestään voi irrota hiomarakeita, jotka on seulottava pois massasta. (Seppälä, ym., 2005). Lajittelun jälkeen massa yleensä vielä valkaistaan vastaamaan siitä valmistettavan paperin/kartongin vaaleusvaatimuksia.

4.3 Laatuvaihtelu

Mekaanisen massan laatu on riippuvainen monesta tekijästä. Suurimmat tekijät ovat käytetyn raaka-aineen laatu, sekä käytetty hiontamenetelmä ja prosessissa vallinneet olosuhteet. Mekaanisen massan laatu ei kuitenkaan ole yksiselitteinen käsite, sillä eri paperi- ja kartonkituotteilla on eri vaatimukset massan ominaisuuksille. Tärkeimmät mekaanisen massan laatutekijät ovat vaaleus, suotautuvuus ja kuitupituusjakauma.

4.3.1 Vaaleus

Koska mekaanisen massan saanto on suuri, jopa 98%, vastaa sen kemiallinen rakenne hyvin tarkasti sen valmistukseen käytetyn raaka-aineen rakennetta. Kemiallisessa selluteollisuudessa puusta erotetaan ligniini ja suurin osa uuteaineista, mutta mekaanisessa massassa ne jäävät massaan. Tästä syystä massan vaaleus on hyvin riippuvainen käytetyn raaka-aineen vaaleudesta. Varsinkin erittäin vaaleita paperilaatuja valmistettaessa raaka-aineen laadulla on suuri merkitys, sillä mekaanisen massan valkaisu on kallista, eikä massan vaaleutta saa optimaalisissakaan olosuhteissa nostettua kuin noin 15–20 yksiköllä (Jäkärä ym. 2009.) Puun kuivuminen vaikeuttaa myös puun kuorintaa, lisäten hiontaprosessiin päätyvää ylimääräistä kuoriaineista.

Merkittävimmät tekijät raaka-aineena käytetyn puun vaaleudessa ovat puun varastointiaika ja tapa. Sinistäjäsiementen eri lahojen aiheuttamat värjäytymät voivat muodostua jo parissa

viikossa suojaamattomaan puuhun. Värjäytymien syntyä on perinteisesti ehkäisty upotus- ja kasteluvarastoinnilla. Molemmat menetelmät suojaavat puuta tehokkaasti sinistäjäsiemiltä ja lahoilta ylläpitämällä puun kosteusprosenttia, mutta liian pitkäaikainen varastointi lämpimässä vedessä johtaa tanniinivärjäytymien syntymiseen. Paljon tehokkaampi menetelmä laadun säilyttämiseksi on varastoida puuta kylmävarastossa, jossa puun kosteus ja alhainen lämpötila suojaavat puuainesta tehokkaasti värjäytymiltä. (Metsäteho Oy 2004.) Kylmävaraston käyttöä rajoittavat kuitenkin monet tekijät, joista puhutaan lisää tulevissa kappaleissa.

4.3.2 Suotautuvuus

Suotautuvuus kuvaa massan kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta. Koska kuitujen rakenteessa kuidun sisäkerrokset koostuvat hyvin kosteutta sitovasta selluloosasta ja ulkokerrokset vettä huonosti sitovasta ligniinistä, on massan suotautuvuus hyvin verrannollinen kuitujen jauhatustasasteeseen. Mitä paremmin massa on jauhautunut, sitä enemmän kuitujen sisä- ja ulkokerroksen selluloosaa on fibrilloitunut ja paljastunut ligniinkerroksen alta. Lisäksi jauhatusessa kuitujen pinta-alan kasvu lisää veden sitoutumista. Suotautuvuutta mitataan perinteisesti joko freeness-luvulla, tai CSF-luvulla, molemmat kuvaavat massan kykyä luovuttaa vettä, mutta ovat toistensa peilikuvia. Kun freeness-luku nousee, CSF laskee. Massan suotautuvuus on yksi tärkeimmistä massan laatua kuvaavista arvoista, sillä se kuvaa hyvin massan kuitupituusjakaumaa ja kuitujen jauhautumisastetta. (Hietanen 2007.)

4.3.3 Kuitupituusjakauma

Pitkät, ehjät, kuidut lisäävät paperin repäisylujuutta ja jäykkyyttä, mutta eivät sitoudu toisiinsa hyvin. Kun jauhatusastetta nostetaan, kuidut kihartuvat, katkeilevat ja voivat haaroitua, muodostaen mikrofibrillejä. Fibrilloituminen johtaa merkittävään pinta-alan kasvuun kuiduissa, ja parantaa kuitujen kykyä sitoa vettä ja muodostaa sidoksia toisten kuitujen kanssa. Tämä näkyy paperinvalmistuksessa mm. parantuneina painatusominaisuuksina, parempana ajettavuutena koneella ja nousseena vetolujuutena. Liian suuri hienoainepituus kuitenkin laskee repäisylujuutta ja bulkkisuutta ja huokoisuutta, sekä heikentää valonsirontaa ja opasiteettia. (Lumiainen 2000.)

Hionnan lopputulos on riippuvainen monista tekijöistä: hiomaproessin olosuhteista, säädöistä, lämmöstä, hiomakiven kunnosta, teräkulmista, sekä raaka-aineen laadusta. Tämän takia mekaaninen massa on hyvin heterogeenistä. Hionnan jälkeen massassa voi olla sekä hyvin pitkälti jauhaantuneita kuituja, että kuitukimppuja, jotka eivät ole jauhaantuneet

tarpeeksi. Eri jauhatusteisten jaokkeiden suhdetta toisiinsa massassa kutsutaan kuitupituusjakaumaksi. Paperin valmistuksessa kuitupituusjakauman säätely on tärkeää sekä ajettavuuden, että laadunhallinnan kannalta. Eri paperilajit vaativat eri jauhatusteet ja kuitupituusjakaumat. Kuitupituusjakaumaa säädellään hionnan jälkeen lajittelun ja jälkijauhatuksen avulla, jotta massalle saataisiin luotua halutut ominaisuudet. (Heldin 2019.)

Kuitupituusjakaumaan vaikuttaa sekä hionnassa käytetty laitteisto ja sen säädöt, että käytetty raaka-aine. Raaka-aineen osalta puun kosteus on tärkein tekijä kuitupituusjakauman hallinnan suhteen. Tämä johtuu siitä, että ligniini vaatii korkean lämpötilan pehmetäkseen. Jos raaka-aineen kosteus on alhainen, ei lämpö ehdi johtua tehokkaasti solun sisäisesti ja ligniini ei pehmene riittävästi. Tällöin kuidutus tapahtuu solun sekundaäriseinissä ja solut katkeilevat, nostaen massan hienoainepitoisuutta. (Heldin 2019.)

5 Puun varastointi

5.1 Varastoinnin tarve

Suomessa puun käyttö on hyvin tasaista ympäri vuoden, eikä suuria vaihteluita esiinny vuodenaikojen mukaan. Puiden hakkuumäärät sen sijaan ovat talvella selvästi suuremmat kuin kesällä. Puun saatavuusongelmat kohdistuvat kesällä erityisesti paperi- ja massateollisuuteen, sillä niiden pääsääntöisenä raaka-aineena käytetään kuitupuuta. Merkittävimmät kuitupuun lähteet ovat talousmetsien harvennushakkuut, sekä päätehakkuut. Kesällä harvennushakkuut kuitenkin altistavat metsän korjuuvaurioiden aiheuttamille tuhoille, ja sahojen lomat pienentävät tukkien kysyntää kesällä, vähentäen näin hakkuita. (Mäkelä 2002.)

Kysynnän ja tarjonnan tasapainottamiseksi paperitehtaat varastoivat suuria määriä puuta puuterminaleissaan. Helpoin ja halvin tapa varastoida puita on pinovarastointi, jossa puut kasataan pinoihin puukentälle ilman jatkotoimenpiteitä. Suojaamattomana varastoidun puun laatu kuitenkin heikentyy nopeasti; puun kosteuden laskiessa puu halkeilee ja altistuu värjäytymille, sekä hyönteis- ja sienituhoille. (Metsäteho Oy 2004). Korkealaatuista raaka-ainetta tarvitsevat tehtaat yleensä käyttävätkin vaihtoehtoisia varastointitapoja laadun säilyttämiseksi.

Yleisimmin käytössä on kasteluvarastointi, jossa puut varastoidaan pinoihin sadettajien alle. Puiden kastelu suojaa niitä hyönteistuhoilta, sekä mm. sinistäjäsieniltä, sekä laholta. Liian runsas, tai pitkään jatkunut, kastelu kuitenkin altistaa puut tanniinivärjäytymille, eikä kasteluvarastointi sovellu siis kovin pitkäaikaiseen varastointiin. Vesivarastointi oli aiemmin laajasti käytössä ollut menetelmä, jossa puut säilytettiin veteen upotettuina. Hapettomat olosuhteet ja kosteus suojasivat puita tehokkaasti, mutta kasteluvarastoinnin tavoin tämä altisti puut tanniinivärjäytymille. Vesivarastointi ei myöskään kykene palvelemaan nykyisiä puun varastointitarpeita, kasvaneiden volyymien takia. Myös peitteisiin ja happea syrjäyttäviin suojakaasuihin perustuvia varastointitapoja on kehitetty; vähähappiset olosuhteet voivat suojata puuta sieni- laho- ja hyönteistuhoilta. Nämä menetelmät ovat kuitenkin kalliita, eivätkä siksi ole tarpeeksi kustannustehokkaita paperiteollisuuden hyödynnettäväksi. (Metsäteho Oy 2004.)

5.2 Varastotuhot

Kuitupuun laatu on aina korkeimmillaan kaatohetkellä. Puuhun tulee lähes aina kaatovaiheessa vaurioita, jonka jälkeen laatu jatkaa heikkenemistään varastoinnin aikana. Varastotuhosta puhuttaessa puhutaan kuitenkin yksinomaan puun laadun heikkenemisestä varastoinnin aikana. Laadun alenemista varastoinnin aikana ei voida ehkäistä kokonaan, mutta

sitä voidaan hidastaa. Merkittävimpiä varastotuhoja aiheuttavia tekijöitä ovat; hyönteiset, sinistäjäsienet, sekä lahottajasienet. (Mäkelä ym. 2000.)

5.2.1 Hyönteistuhot

Useat hyönteislajit käyttävät puun nilaa ravintonaan, sekä puuainesta pesimäpaikkanaan. Yleisimpiä kuusen hyönteistuhoja aiheuttavia hyönteislajeja ovat kuusen tähtikirjaajat, kirjanpainajat ja kuusijäärät. Lisäksi tikaskuoriainen voi iskeytyä sekä mäntyyn että kuuseen. Hyönteiset kaivertavat puun kuoren alle koloja, jonne ne munivat munansa. Kuoriutuneet toukat käyttävät puun nilaa ravintonaan ja vaurioittavat puuainesta. Hyönteistuhoja voi esiintyä myös elävissä puissa, mutta kaadetut puut ovat erityisen alttiita hyönteistuhonille. Elävä puu osaa puolustautua hyönteisiltä, mutta kaadettu puu menettää kykynsä torjua tuholaisia. Puun korjuu vahingoittaa puun kuorta, paljastaen tuoretta puuainesta. (Metsäteho Oy 2004.)

Suurin riski hyönteistuhonille puissa on hyönteisten parveilu-aikaan. Suomessa yleisimmin tuhoja aiheuttavien, hyönteisten parveiluaikat ovat loppupalvella tai keväällä (Metsäteho Oy 2004). Hyönteistuhon välttämiseksi puiden korjuulle on asetettu päivämäärät, joihin mennessä puut on kuljetettava pois metsästä. Puupinoissa hyönteiset aiheuttavat tuhoja lähinnä puiden päihin, sekä pinon päällimmäisiin kerroksiin, joten korkeiden pinojen rakentaminen suojaa puita hyönteistuhonilta (Metsäteho Oy 2004).

Koska hyönteiset kaivertavat koloja ja käytäviä puuaineseen, heikentyy myös puun laatu. Mekaanisen massan valmistuksessa vaikutukset ovat pienempiä, kuin saha- ja vaneriteollisuudessa, mutta pieni negatiivinen vaikutus saantoon on olemassa. Suurempi ongelma muodostuu kuoren vahingoittumisesta, sillä paljastunut puuainesta nopeuttaa puun kuivumista, sekä altistaa puuta laholle ja sienitaudeille. Hyönteisillä on varsinkin sinistäjäsiementen leviämiseen suuri vaikutus. (Metsäteho Oy 2004.)

5.2.2 Sinistäjäsieni

Sinistäjäsiementen lajisto on runsas ja vaihtelee puulajeittain, sekä kasvupaikan mukaan. Sienet leviävät ilmateitse puupinoissa puiden päihin. Puun kuori suojaa puuta tehokkaasti sieniltä, mutta korjuun aikana kuoreen tulleet vahingot altistavat puun rungon sienien leviämiseksi. Tehokkaimmin sieni-itiöt kuitenkin leviävät puihin hyönteisten mukana. Monet hyönteislajit kaivertavat koloja puun kuoren läpi ja levittävät jaloissaan kantautuneita sieni-itiöitä puun kuoren alle (Linnakoski & Niemelä 2011.)

Sinistäjäsienet käyttävät tavallisesti ravintonaan puun tärkkelystä ja sokereita, eivätkä siten vahingoita puun rakennetta mekaanisesti. Sienten rihmastoon melaniinipigmentit kuitenkin

aiheuttavat sinistä, ruskeaa, tai mustaa värivikaa puuhun. Mekaanisen massan valmistuksessa sinistäjä sienet muodostavat ongelman, sillä niiden aiheuttama sinistyminen vaikuttaa puun vaaleuteen alentavasti ja lisää valkaisukemikaalien tarvetta. (Linnakoski & Niemelä 2011.)

Sinistäjä sienien leviämiseen vaikuttaa myös ympäristön olosuhteet. Sieni vaatii kasvaakseen kosteutta, lämpöä ja happea. Metsätehon 2000 vuonna julkaistun raportin mukaan sinistäjä sienien kasvu puuaineksessa lakkaa, kun puun kosteusprosentti laskee alle 20 %:n ja nopeinta kasvu on, kun puun kosteusprosentti on 30–60 %. Luvut eivät kuitenkaan ole yksiselitteisiä, sillä lämpötilalla on suuri vaikutus sienien kasvuun otolliseen kosteuteen. Optimaalinen lämpötila sienien kasvuun on 25–30 °C, mutta ne voivat kasvaa jopa alle 5 °C lämpötilassa. Lämpötilan ollessa lähellä 0 °C sienet eivät kuitenkaan enää kasva. Sienet myös vaativat kasvaakseen happea ja kasvu hidastuu nopeasti vähähappisissa olosuhteissa. (Kärkkäinen 2007.)



Kuva 6 Sinistäjä sienien aiheuttamaa värjäytymää

5.2.3 Lahot

Suurin uhka puun laadulle ovat eri lahottajasienet. Nimensä mukaisesti ne lahottavat puuainesta ja voivat johtaa hyvin huomattaviin tappioihin. Metsätehon vuonna 1999 julkaistussa tutkimuksessa todettiin, että vuoden varastoinnin jälkeen kuusikuitupuissa vain noin puolet puuainesta oli tervettä. Lopussa puuainesta esiintyi eriasteista lahoa ja värivikoja. Kahden vuoden varastoinnin jälkeen tervettä puuainetta oli enää noin 35 %.

Lahottajat on yleisesti jaoteltu kolmeen ryhmään: valko- rusko ja katkolahottajiin. Pääluokat on nimetty niiden aiheuttaman lahon ulkoisen olomuodon perusteella. Nimensä mukaisesti valkolahottajien aiheuttama laho on muuta puuainesta vaaleampaa, sillä sienet käyttävät ravintonaan ligniiniä. Ruskolahottajat puolestaan hajottavat pääsääntöisesti polysakkari- deja, jättäen ligniinin jäljelle, tämän takia laho on muuta puuainesta tummempaa. Katkola- hottajat aiheuttavat pehmeää lahoa, aiheuttaen suurimman mekaanisen lujuuden heikenty- misen puussa. Katkolahottajien entsyymit pilkkovat puiden soluseiniä, tuhoten puuaineksen täysin. (Kärkkäinen 2007.)

Kaikkia lahotyyppejä esiintyy sekä lehti-, että havupuissa, mutta ruskolahottaja on valkola- hoa yleisempää havupuilla. Lahottajasienten aiheuttamien tuhojen ehkäisyssä tärkeintä on riittävän kosteuden ylläpito. Sienet kasvavat hitaasti kaatotuoreessa puussa, mutta kasvu nopeutuu Metsätehon mukaan huomattavasti puun kosteuden laskiessa alle 45 %:iin. Si- nistäjäsiementen tapaan myös lahottajasienet vaativat kasvaakseen yli 0 °C, joten puun va- rastointi alhaisessa lämpötilassa hidastaa lahon etenemistä.

6 Anjalankosken kylmävarasto 2021

6.1 Kylmävarastointi

Korkealaatuisen raaka-aineen saatavuuden varmistamiseksi kesällä, monet tehtaat ovat viime vuosikymmeninä siirtyneet käyttämään kylmävarastointia. Kylmävarastoinnissa talvikaatoista puuta varastoidaan suojakerroksen alle, joka eristää puut ympäröivältä ilmalta. Tavallinen menetelmä on ohuen lumi- ja kuorikerroksen käyttö puiden eristämiseksi. Myös vaihtoehtoisia tapoja, kuten sahanpurun ja muovipeitteiden käyttöä on tutkittu, mutta lumi- ja kuorikerros on vakiintunut yleisimmin käytetyksi vaihtoehdoksi tällä hetkellä. Eristekerros hidastaa puiden sulamista ja hyvin rakennetussa kylmävarastossa puut säilyvät jäätyneinä kesällä tapahtuvaan purkuun asti. (Mäkelä 2002).

Jäätyneenä puun laatu säilyy lähes muuttumattomana pitkiäkin aikoja, sillä yleisimmät sienilaho ja hyönteislajit iskevät vain sulaan puuhun. Jäätyminen säilyttää myös puun kosteusprosentin lähes muuttumattomana – ilman kastelu- ja uittovarastoinneissa esiintyvää tanniivärjäytymistä. Menetelmällä on myös muita hyötyjä; talvikaatonen puutavara on kesällä kaadettua vaaleampaa, hyönteis- ja tautituhojen todennäköisyys hakkuiden seurauksena on pienempää ja puiden kaato on helpompaa suorittaa vahingoittamatta metsän pohjakerrosta ja puiden juuria. (Pro puu 2021.)

6.2 Kylmävaraston rakentaminen

Kylmävarastoinnin onnistuminen ja kustannustehokkuus on pitkälti riippuvaista suunnittelusta. Rakentamisessa on lähdettävä liikkeelle varaston sijainnista ja maaperästä. Kylmävaraston pohjan on oltava mahdollisimman kantava, ja sen on kestettävä sulamisvesien aiheuttamaa kulutusta. Vanhat kaivokset ja asfalttikentät soveltuvat Metsätehon raportin mukaan parhaiten kylmävaraston pohjiksi. Kulujen alentamiseksi kylmävarasto tulisi kuitenkin sijoittaa logistisesti järkevään paikkaan. Ideaalisesti varasto sijaitsee paikassa, johon puut voidaan rakentamisvaiheessa kuljettaa helposti ja josta ne voidaan kesällä toimittaa helposti tuotantoon. Sijainnissa on myös otettava huomioon riittävä vedensaanti, jos varaston eristämiseen käytetään tykkilunta.

Koska kylmävarastossa pyritään pitämään varastoitua puuainesta mahdollisimman alhaisessa lämpötilassa varastoinnin ajan, on varaston lähtölämpötilan oltava mahdollisimman alhainen. Varaston rakentaminen tulisi siis ideaalisesti ajoittaa talven kylmimpään aikaan. Käytännössä tämä on kuitenkin mahdotonta, sillä puunhankinta asettaa rajoituksia rakentamisen ajoitukselle. Varsinkin isojen kylmävarastojen rakentamisessa tarvittavan

puumäärän hankinta jakaantuu yleensä usean kuukauden ajanjaksolle. Tästä syystä vaihtelevilla talvilla on suuri vaikutus kylmävaraston onnistumiseen, varsinkin Etelä-Suomessa. (Metsäteho Oy 2004.)

Kylmävarastot rakennetaan tyypillisesti suorakulmaisen auman muotoon. Pinoamalla puut auman muotoon, ne saadaan pinottua tiiviisti ja peitettyä tehokkaasti eristekerroksella. Pinojen tiiveys on erityisen tärkeää varastoinnin onnistumisen kannalta. Kylmä ilma on lämmintä ilmaa painavampaa, ja painuu sen takia varaston pohjalle. Jos kylmävarasto on tiiviisti rakennettu ja eristekerros on ehjä, lämpöä johtuu varaston sisään vain varaston ulkoreunoilta. Aukot pinojen välissä voivat kuitenkin johtaa reikien syntyyn eristekerroksessa, jolloin kylmävaraston ulkopuolelta pääsee lämmintä ilmamassaa pinojen sisään. Lämpötilan nousu kylmävaraston sisällä altistaa puut varastovaurioille ja heikentää puiden laatua.

Stora Enson Anjalankosken tehtailla puuterminaalien kylmävarasto on sijoitettu ihanteelliseen sijaintiin puukentän takalaidalle. Puukenttä on asfaltoitu ja sijaitsee Kymijoen ja junaradan välissä puuterminaalien yhteydessä, joten sijainti täyttää kaikki Metsätehon suositukset. Kylmävaraston rakentaminen aloitettiin 21.12.2020. Viimeinen puuerä varastoon ajettiin 28.02.2021 ja kokonaisuudessaan puuta varastoitiin 56 750 kuutiometriä. Kylmävaraston rakentamisen suoritti Stora Enson ulkopuolinen urakoitsija, Ari Tuomala Oy.

Varastoitavat puut tulivat tehtaalle osana tehtaan muuta puuvirtaa auto- ja junakuljetuksilla. Puut purettiin kuljetusvälineistä riippupihtikurottajilla. Kurottajat kuljettivat puut kylmävaraston läheisyyteen, jossa Tuomala pinosi puut käyttäen kouralla varustettua kaivinkonetta. Kaivinkoneen käyttö on pakollinen työvaihe pinojen tiiveyden varmistamiseksi, sillä kurottajilla rakennettujen pinojen väliin jää rakoja, jotka heikentävät kylmävarastoinnin toimivuutta. Kylmävaraston rakenteessa on myös useita erityispiirteitä, joiden rakentamiseen kurottaja ei sovellu, näistä lisää seuraavassa kappaleessa. Alla olevassa kuvassa kylmävarastosta on rakennettuna noin puolet, kaivinkone on asetellut päällimmäiset puut tiiviisti kasaan.



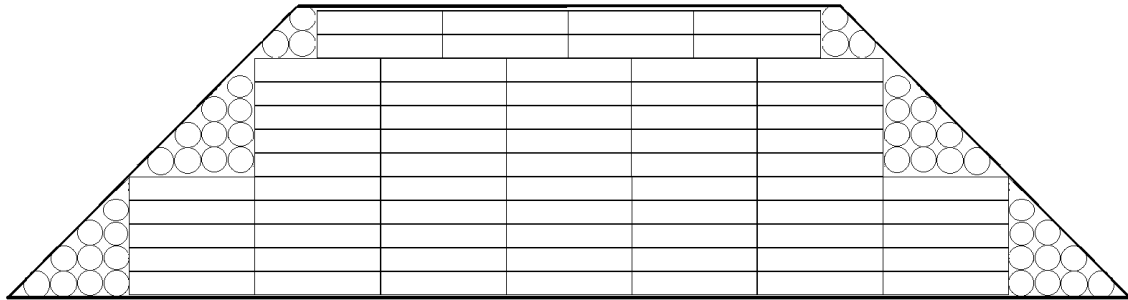
Kuva 7 Kylmävarasto rakennusvaiheessa (Mutanen 2021a)

6.2.1 Puupinojen rakenne

Pakkasvaraston puut pinottiin hieman toisesta päästä suippenevan nelikulmion muotoiseksi aumaksi, jonka pituus oli noin 200 metriä, leveys 80 metriä ja korkeus noin 8,5 metriä. Puupinot kasattiin mahdollisimman tiiviisti toisiaan vasten lähes tavoitekorkeuteen. Varaston tiiveyden varmistamiseksi ylimmäinen 70 senttimetrin kerros puita kasattiin niin, että ylimmän kerroksen puut olivat limittäin alempien puiden kanssa. Tämä ylin kerros toimii saumakerroksena, joka sekä vahvistaa pinojen rakennetta, että vähentää reikien syntymistä eristekerrokseen. Jos saumapuita ei käytettäisi, olisi uhkana, että sulava lumikerros ja kesällä esiintyvät sateet huuhtoisivat kuorikerrosta pinojen väleihin. Tämän seurauksena eristekerrokseen muodostuisi aukkoja, joiden kautta varaston ulkopuolinen ilma pääsisi liikkumaan varaston sisällä. Ympäröivän ilman ollessa varaston lämpötilaa korkeampi, varaston läpi kulkeva ilmavirta nostaisi varaston lämpötilaa ja heikentäisi siten varaston toimivuutta. Tuomalan mukaan saumapuiden ansiosta reikiä syntyy vähemmän ja niiden ilmaantuessa ilmavirran reitti varaston sisällä on rajoittuneempi.

Varaston rakenteessa on myös huomioitava varaston kylkien luiskat. Kylmävaraston reunat on luiskattava tarpeeksi loiviksi, jotta eristekerros pysyy paikallaan yhtenäisenä kerroksena kylmävaraston avaamiseen asti. Pinojen päissä rinne muodostuu luonnollisesti luiskaksi, pinojen kyljet on kuitenkin luiskattava erikseen. Saadaksean aikaan kestäväntä rinteeseen, Tuomala teki reunimmaisista pinoista keskimmäisiä pinoja matalampia. Tällä saatiin aikaan porrastettu profiili kylmävaraston kylkiin, joka sen jälkeen täytettiin pitkittäin asetetuilla puilla tasaisen rinteeseen aikaansaamiseksi. Menetelmä on hyvin tärkeä eristekerroksen keston kannalta. Jos rinne valmistettaisiin kasaamalla pitkittäin asetettuja puita maasta asti, muodostuisi rinteeseen yläreunan ja pinojen reunan väliin heikko kohta, josta eristekerros voisi revetä.

Korkea, pystysuora seinää vasten kasattu puupino olisi myös altis sortumaan. Porrastamalla saadaan sortumariskiä pienennettyä ja sauman repeämisriskiä laskettua.



Kuva 8 Kylmävaraston rakenne

Yläpuolella olevassa kuvassa näkyy kylmävaraston rakenne leikkauskuvana. Rinne on tehty porrastamalla pinojen korkeus, ja asettamalla puita kohtisuoraan tasaisen rinteet aikaansaamiseksi. Pinojen päällä on ohut kerros limittäin asetettuja puita, sitomassa pinojen saumoja yhteen.

6.2.2 Lumetus

Tykkilunta valmistetaan pumpaamalla paineistettua vettä lumitykkiin, joka ampuu sen ilmaan suuttimien läpi. Suuttimien tehtävänä on hajottaa vesisuihku mahdollisimman pieniksi pisaroiksi kokonaispinta-alan kasvattamiseksi. Ympäröivän lämpötilan ollessa riittävän alhainen, pisarat jäätyvät muodostaen lumikiteitä. Tarvittavaan lämpötilaan vaikuttaa useita tekijä; syöttöveden lämpötila, pisaroiden koko, sekä ympäröivän ilman kosteus. Mitä korkeampi syöttöveden lämpötila ja ympäröivän ilman kosteus on, sitä enemmän pakkasasteita tarvitaan lumikiteen muodostumiseen. Myös syöttöveden laatu on tärkeä, lumikiteet muodostuvat nopeammin kiinteän partikkelin ympärille, joten syöttövedessä on oltava riittävästi epäpuhtauksia. Tislattu vesi vaatii jopa $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasen kiteiden muodostumiseksi, myös vesijohtoverkon vesi on liian puhdasta, kiteytyen vasta -8 asteessa. (Pöntinen 2008.)

Anjalankosken kylmävarastoa varten tehty tykkilumi valmistettiin kylmävaraston vieressä tykittämällä lunta kasaan. Lumetuksessa käytetty vesi pumpattiin viereisestä Kymijoesta, käytetyt tykit oli vuokrattu ulkopuoliselta yrittäjältä. Ennen lumetuksen aloittamista mietittiin, tuleeko tykkilumi lumettaa suoraan kylmävaraston päälle vai vierelle kasaan. Lopulta päädyttiin lumettamaan tykkilumi kasaan, sillä silloin tykkilumi saatiin luotua lumetukselle otolliseen aikaan ja lyhyen ajanjakson sisällä, jolloin saatiin aikaan säästöjä laitteiston vuokrassa. Samalla vältyttiin mahdolliselta jäätymisongelmalta. Tykkilunta tykittäessä osa vedestä ei ehdi kiteytyä, vaan laskeutuu maahan vetenä, jos ympäröivän ilman lämpötila ei

ole riittävän alhainen. Tällöin vesi valuu auman sisään ja muodostaa paksun jääpatjan, joka vaikeuttaa kylmävaraston purkamista kesällä. Tykkilumen valmistus nosti kylmävaraston rakennuskustannuksia noin 0,18 € varastoitua puukuutiota kohti.



Kuva 9 Lumetus (Mutanen 2021b)

6.2.3 Eristekerros

Pinojen eristekerros koostui kahdesta osasta: alapuolella olevasta tykkilumikerroksesta ja yläpuolella olevasta kuorikerroksesta. Kylmävaraston päälle pyrittiin levittämään yhtenäinen, 30 cm paksu tykkilumikerros. Kerrosta vahvistettiin ajoluiskan, sekä varaston reunojen sauman kohdalta. Poikkeuksena pieni kaistale, joka jätettiin luonnonlumelle tutkimusmielessä. Lisäksi hyvin pieni alue tehtiin pelkällä kuorella. Kylmävaraston sisään asetettiin kolme lämpömittaria noin kahden metrin syvyyteen pinnasta. Yksi mittareista sijaitsi tykkilumella eristetyllä alueella, yksi luonnonlumella eristetyllä alueella ja viimeinen lumettomalla alueella. Eristekerroksien merkitystä kylmävarastoinnissa käydään läpi seuraavaksi.

6.2.4 Lumi

Metsätehon vuonna 2004 kirjoitetussa ohjeessa lumen todetaan toimivan ennen kaikkea kylmämassana. Tämän opinnäytetyön kirjoituksen ohessa tämän väitteen paikkansapitävyys on tullut kyseenalaistettua. Tykkilumen tiheys on keskimäärin 350–400 kg kuutiometrille. Puufon mukaan kuusikuitupuun kuivatuoretiheys on 300–470 kg/m³, opinnäytetyön tutkimuksessa tehdyn seurannan mukaan kylmävaraston puiden keskimääräinen tiheys oli noin 870 kg/m³. Puissa oli siis vettä saman verran, tai enemmän, kuin kuutiossa tykkilunta

on. Nähdään, että kuutio jäätynyttä puuta vaatii siis enemmän energiaa sulaakseen, kuin kuutio tykkilunta, sillä molempien sisältämän veden sulamiseen kuluu suunnilleen sama määrä energiaa, mutta puun tapauksessa myös puuainees vaatii energiaa lämmitäkseen. Tutkimuksen kylmävarastossa oli puut pinottu noin 8,5 metriä korkeaan pinoon ja tykkilunta oli 0,2–0,3 metrin paksuisesti pinon päällä. Tykkilumi siis muodosti noin 3,5 % varaston paksuudesta ja täten yllä mainitun päätelmän perusteella korkeintaan 3,5 % varaston kylmämassasta. Luonnonlumi on tykkilunta paljon kevyempää, joten sen vaikutus kylmämas-
sana on vielä kyseenalaisempaa.

Metsätehon ohjeessa mainitaan, että kylmävaraston tarkoitus on pitää puut mahdollisimman kylminä, kosteina ja vähähappisessa tilassa. Sillä kaikki nuo tekijät vaikuttavat puun laatua huonontavien tekijöiden syntyyn. Kylmämassaa suurempi vaikutus lumella onkin ehkä tiiveytensä ansiosta. Tiivis lumikerros estää tehokkaasti ilman virtausta, hidastaen ilman vaihtumista varaston sisässä. Lumeen sitoutuneen veden määrä myös parantaa hie-
man varaston kosteuden säilymistä, sillä sulaessaan lumesta vapautunut vesi valuu puiden päälle. Lumeen sitoutuneen veden määrä on kuitenkin jälleen hyvin pieni verrattuna puu-
ainekseen sitoutuneen veden määrään nähden, eikä sen käyttöä voi perustella pelkästään sillä perusteella.

Tutkittavan kylmävaraston rakentaneen Tuomalan mukaan lumen tehtävänä on pääsään-
töisesti toimia kantavana kerroksena varsinaiselle eristekerrokselle. Lumella pyritään luo-
maan yhtenäinen ja tiivis kerros, joka sekä sitoo puita yhteen, että estää kuorikerrosta va-
lumasta puiden väliin. Lumikerros myös helpottaa työskentelyä varaston rakennusvai-
heessa, sillä se luo kantavamman pohjan työkoneille, jotka kuljettavat kuorta varaston
päälle. Erityisesti ajoluiskan teossa lumella on suuri merkitys ja tykkilumi osoittautui luon-
nonlunta paremmaksi suuremman tiiveytensä vuoksi. Lumikerroksen vaikutuksesta lisää
pohdintaa myöhemmin.

6.2.5 Kuorikate

Kylmävaraston onnistumisen kannalta tärkein tekijä on eristekerros. Kylmävarastoa voi-
daan ajatella eräänlaisena kylmäakkuna, johon pyritään lataamaan mahdollisimman paljon
kosteutta mahdollisimman alhaisessa lämpötilassa. Kylmävaraston puuainees on siis varas-
ton alkuhetkellä parhaassa mahdollisessa tilassa ja eristekerroksen eristyskyky määrittää,
kuinka kauan kestää ennen kuin varaston sisäinen lämpötila on noussut niin paljon, että
puun laatu alkaa heikentyä. Hyvin onnistuessaan puut säilyvät jäisinä varaston avaamiseen
asti. Vuonna 2001 tehdyssä tutkimuksessa Metsäteho selvitti eri eristemateriaalien käyttöä
kylmävarastoinnissa. Tutkimuksessa tutkittiin sahanpurun, kuoren, eristepeitteen, sekä jää-
dyttämällä tehtyjen varastojen kosteuksia ja lämpötiloja. tutkimuksen perusteella kaikki

eristemateriaalit toimivat hyvin, mutta purulla ja kuorella eristetyt varastot säilyivät parhaiten (Mäkelä ym. 2001).

Anjalankoskella kylmävaraston eristemateriaalina on päädytty käyttämään kuorta, sillä se on purua kantavampi materiaali. Isompi palakoko säilyy varmemmin yhtenäisenä kerroksena, vaikka kerrosta kannatteleva lumi sulaisi alta pois. Kuorikerros on myös helppo poistaa ja puut säilyvät puhtaana. Puru sen sijaan valuu sateiden mukana puiden väleihin ja tarttuu puihin, aiheuttaen ongelmia kuorimolla tuotannossa. Kuorta on myös helpompi käyttää uudelleen seuraavina talvina.

Anjalankosken kylmävaraston päälle levitettiin noin 30cm paksuinen kerros kuorta. Kuori saatiin tehtaan kuorimolta ja kuljetettiin kylmävarastolle pyöräkoneella. Osa kuoresta oli edelliseltä vuodelta säästettyä, sillä kierrättämällä saadaan rahallisen säästön lisäksi myös muita lisähyötyjä. Kierrätetty kuori on kosteampaa ja tiiviimpää, joten se kestää paremmin kulutusta ja ehkäisee reikien syntymistä. Siksi Tuomalan mielestä on tärkeää käyttää kierrätettyä kuorta rinteiden eristämisessä. Kylmävaraston rinteissä tuore kuori heikentäisi varaston toimivuutta, sillä se on kierrätettyä kuorta alttiimpi tuulen ja sateen aiheuttamille ongelmille. Kylmävaraston rinteisiin kohdistuu suurin kulutus. Rinteessä sekä sade, että tuuli voivat aiheuttaa reikiä eristekerrokseen. Reiät voivat muodostaa reitin ilmapirralle kylmävaraston läpi, jolloin varaston sisäinen lämpötila nousee ennenaikaisesti.

Reikien syntymistä varaston kuoripeitteeseen on käytännössä lähes mahdotonta estää kokonaan, joten varaston kuoripeite on tarkistettava säännöllisesti reikien varalta. Varsinkin rankkojen sateiden jälkeen on hyvä tarkastaa kuoripeitteen yhtenäisyys, sillä valumavedet aiheuttavat usein reikiä peitteeseen. Anjalankoskella urakoitsija kävi viikoittain tarkastamassa, ja paikkaamassa kuoripeitettä. Alla olevassa kuvassa näkyy, kuinka kuoripeite on päässyt varisemaan puiden väliin ja peitteeseen on muodostunut reikiä.



Kuva 10 Kuoripeitteen reiät

6.3 Pakkasvaraston purkaminen

Kylmävarastoa alettiin purkamaan heinäkuun 3. päivä. Avaaminen ajoitettiin tehtaan tuotannon tarpeen mukaan. Heinäkuun aikana tehtaan puukentän varastotasot ja puutoimitukset kävivät hyvin matalina ja ilman kylmävaraston käyttöönottoa puuta ei olisi riittänyt tarpeeksi tehtaan tuotantoon. Myös kylmävarastoidun puun laatu otettiin huomioon avaamisen

ajoittamisessa. Kylmävarastoon sijoitettujen lämpömittareiden mukaan kylmävaraston sisäinen lämpötila oli noussut yli 0 °C asteen yläpuolelle kahdessa kolmesta mittauspisteessä 07.06.2021. Juhannusviikolla tykkilumella eristettyyn alueeseen sijoitettu mittari ilmoitti varaston sisäiseksi lämpötilaksi jo 10,5 °C. Noussut lämpötila altistaa varastoidut puut sieni- ja lahotuhoille, joten varasto oli avattava ennen laadun liiallista laskemista.

Kylmävaraston purkaminen aloitettiin kuoren poistamisella junaradan puoleisesta rinteestä. Kohonneesta varaston sisäisestä lämpötilasta huolimatta rinteessä oli yhtenäinen kerros lunta yli kolmen metrin korkeudelle. Tulos selittyi ilman kerrostumisella; lämmin ilma pyrkii nousemaan ylöspäin, joten kylmävaraston päällä lämpötila on korkeimmillaan. Lämpömittarien tulos ei siis kuvastanut kylmävaraston sisällä vallitsevaa tilannetta kokonaisuudessaan, vaan ainoastaan kylmävaraston päällimmäisen kerroksen lämpötilaa. Kuoren poiston jälkeen varaston annettiin sulaa muutaman päivän ajan, jonka jälkeen Tuomala käänsi rinteeseen pitkittäin asetetut puut muiden pinojen suuntaisiksi. Rinteen purkamisen jälkeen Tuomala poisti kuoret varaston reunimmaisten pinojen päältä, ja siirsi limittäin asetetut saumapuut pinojen päälle, jotta kurottaja saa pinon purettua turvallisesti.

Varastoidun puutavaran laadun säilyttämiseksi on tärkeää, että varaston kuorikerrosta ei poisteta kerralla kokonaan. Tuomala pyrki yhdessä puuterminaalien esimiehen kanssa arvioimaan viikoittaista puuntarvetta ja poistamaan kuoren vain tarvittavalta alalta. Näin ilman liikkumista saadaan hidastettua vielä avatussa varastossakin. Ilmavirran mukana varaston sisään pääsisi suuria määriä happea ja varastosta poistuisi kosteutta. Varsinkin suurissa kylmävarastoissa purku tulee suorittaa osissa, sillä varaston avaamisesta voi kulua pitkiäkin aikoja, ennen kuin kaikki varastoitu puu on käytetty.



Kuva 11 Kylmävaraston purku

Kuvassa näkyy, kuinka Tuomala purkaa jäisiä puita rinteestä pinoon, josta kurottajan on mahdollista hakea ne. Puiden jäisyys sai aikaan ongelmia purun alkupuolella. Jäisten puiden purkaminen jääpatjaa rikkomalla johtaa puiden katkeamiseen ja hidastaa purkua huomattavasti. Tehtaan alentuneet varastotasot ja saapuvan kuitupuun matalat toimitusmäärät kuitenkin pakottivat purkamaan kylmävarastoa nopeasti, mahdollisista katkeamisista huolimatta.

Poikkeukselliset sääolosuhteet helpottivat ongelman ratkaisua. Kylmävaraston käyttöönottohetkellä elettiin keskellä Suomen pisintä helleputkea Anjalassa (Ilmatieteenlaitos 2021). Kuumien lämpötilojen ansiosta puut sulivat nopeasti ja kylmävarastosta saatiin purettua riittävästi puuta tehtaan käyttöön. Pitkäjaksoinen hellejakso näkyi myös tehtaalle saapuvan puun laadun alenemisena ja kuutiopainon nopeana tippumisena, kylmävarastopuun käyttöönotto tasoitti kuitenkin laatuvaihteluita.

Elokuun alussa tehtaan puuntoimitukset nousivat tavanomaista korkeammalle tasolle ja tehtaan puukentän varastotasojen nousun takia kylmävaraston purkua oli hidastettava. Korkeat varastotasot viivästyttivät purkua vielä syyskuun loppuun saakka. Tuomalan käyttämä menetelmä, jossa kylmävaraston päältä poistettiin vain reunimmaisen pinon kuorikerros, onnistui kuitenkin säilyttämään kylmävarastoidun puun laadun hyvin. Vielä syyskuun lopulla puupinojen alin kerros oli jäässä ja puu säilynyt kosteana. Tarkempaa tietoa laadun säilymisestä esitellään tulokset osiossa.

Kylmävaraston purku loppui virallisesti 9.10.2021. Puiden loputtua varastoalue siivottiin; isoimmat katkenneet puut eroteltiin kuorikasasta kaivinkoneella ja asfalttikenttä harjattiin puhtaaksi pyöräkoneella. Kylmävaraston eristeenä ollut kuori tullaan syksyn 2021 aikana seulomaan mekaanisesti. Seulomisella saadaan erotettua hienoin jae, jota tullaan käyttämään vuoden 2022 talvella rakennettavan kylmävaraston rinteiden eristämiseen. Myös isommasta kuorijakeesta osa käytetään uudelleen kylmävaraston eristeenä. Seulonnassa syntyvä isoin kuorijae, ja katkenneet puut, viedään tehtaan voimalaitokselle polttoaineeksi. Alla olevassa kuvassa näkyy, kuinka puita on alettu erottamaan kuoren seasta.



Kuva 12 Kylmävaraston loppusiivous

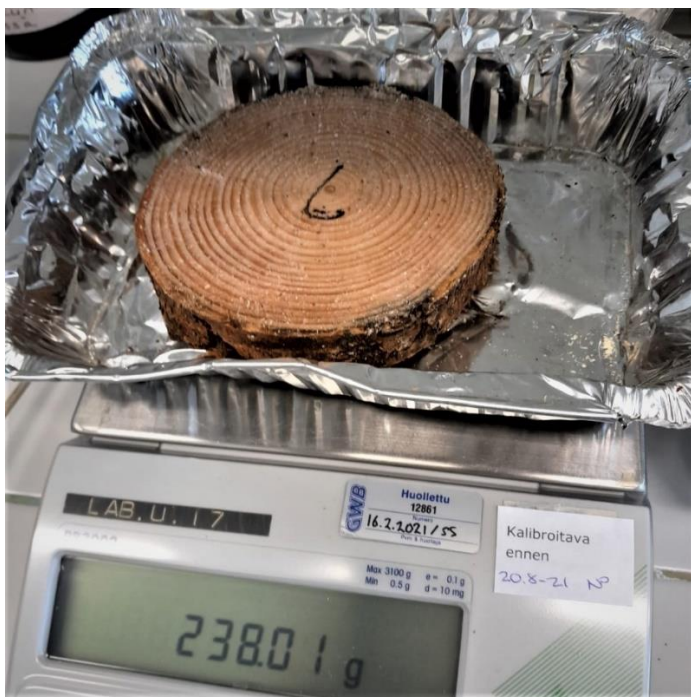
7 Kokeellinen osa

7.1 Näytteiden otto

Kirjallisuuslähteiden perusteella saatiin selvitettyä, että kylmävarastoidun puun tärkeimmät laatumittarit ovat puun kosteus ja vaaleus. Tämän tiedon pohjalta puun kosteuden säilymistä päädyttiin mittaamaan puista leikatuilla kiekkonäytteillä, sekä upotusotannoilla. Kiekkonäytteistä otettuihin vaaleusmittauksiin soveltuvaa laitteistoa ei ollut käytettävissä, joten vaaleutta tarkasteltiin kiekkonäytteistä silmällä. Lisäksi hyödynnettiin tehtaan tietojärjestelmää, josta saatiin mekaanisesta massasta mitattuja vaaleusarvoja, joita verrattiin edellisten vuosien arvoihin.

7.1.1 Kiekkonäytteet

Puun laadun säilymisen määrittämiseksi kylmävaraston puista otettiin kiekkonäytteitä varaston purun aikana. Näytteitä otettiin varaston purun eri vaiheista, sekä eri korkeuksilta pinoja. Yhdellä mittauskerralla näytteitä otettiin kolmesta puusta, jokaisesta kaksi kiekkoa. Puut pyrittiin valitsemaan siten, että ne olisivat mahdollisimman edustavia ja niiden halkaisija olisi n. 10-12 cm. Kiekot sahattiin käsisahalla puiden päistä ja niiden paksuuksiksi pyrittiin saamaan 2-3 cm. Sahaamisen jälkeen kiekkonäytteet numeroitiin, jonka jälkeen ne punnittiin laboratoriossa ja asetettiin 105 °C asteiseen kuivatusuuniin. Näytteitä kuivatettiin uunissa 24 tuntia, jonka jälkeen ne punnittiin uudestaan.



Kuva 13 Kiekkonäytteen punnitus

Kylmävaraston puista otettiin kiekkonäytteitä kuutena päivänä kesän aikana. Näytteiden otto hajautui ajallisesti pitkälle ajalle, koska opinnäytetyötä varten tarvittiin näytteet eri kohdista kylmävarastoa. Koska kylmävarasto purettiin viikoittaisen puunkäyttötarpeen mukaan, ei valikoiduista paikoista saatu näytteitä ennen kuin varastoa oli käytetty tarpeeksi. Näytteenotto paikoiksi valittiin; kylmävaraston rinne, luonnonlumella tehdyn kaistaleen ylä- ja alakerros, sekä tykkilumella tehdyn alueen ylä- ja alakerros. Kiekkonäytteiden tulokset käydään läpi tulosten käsittelyssä.

7.1.2 Upotusotannat

Anjalankosken tehtailla seurataan puiden laatua mittaamalla satunnaisten puunippujen tiheyksiä upotusotannan avulla. Upotusotanta perustuu Arkhimedeen lakiin, jonka mukaan nesteeseen upotettuun kappaleeseen kohdistuu nostetta syrjäytetyn nestemäärän painon verran. Upotusotannassa puunipun paino mitataan ensin ilmassa, ja sitten vedessä. Vertaamalla mittaustulosten eroja, saadaan määritettyä nipun tilavuus ja sen avulla laskettua puiden tiheys. (Nisula 1967.)

Anjalankosken tehtailla kylmävarastosta tuotantoon tehdyille puusiirroille oli vuoden 2021 kesällä asetettu 2 % otantaprosentti, eli keskimäärin joka viideskymmenes nippu upotettiin tiheyden seuraamiseksi. Tarkastelemalla upotusotantojen tiheyksiä, saadaan luotua kuva puutavaran säilymisestä kylmävarastossa. Kesän aikana mittaustuloksia kirjattiin ylös ja koottua aineistoa käydään läpi myöhemmin opinnäytetyön tulosten tarkastelussa.

7.1.3 Online-mittaukset

Puun sisäinen vaaleus vaihtelee suuresti puun iän, kasvupaikan, varastointi-iän, sekä vuodenajan mukaan. Tämä vaikeuttaa puun laadun säilymisen tarkkailua vaaleuden näkökulmasta. Kylmävarastoon varastoiduista puista ei myöskään ollut otettu talteen verrokkierää, joten värimuutoksien arvioiminen oli mahdotonta. Käytettävissä ei myöskään ollut vaaleuden mittaamiseen kiekkonäytteestä sopivaa värimittaria, joten opinnäytetyössä päädyttiin hyödyntämään tehtaan laatumittauksia.

Opinnäytetyössä päädyttiin hakemaan tietoa tehtaan sisäisestä Wedge-järjestelmästä, josta saatiin massasta otettuja vaaleusmittauksia useiden vuosien ajalta. Käytetyksi mittaustaikaksi valittiin hiomon H3 painesaostajan syöttö. Kyseisessä mittaustaikassa puuainne on hiottu massaksi, mutta sitä ei ole vielä valkaistu, joten se kuvastaa melko hyvin raaka-aineena käytetyn puun vaaleutta. On kuitenkin huomioitava, että prosessivesiä kierätetään ja käytetyt laimennusvedet sisältävät kemikaalijäämiä, jotka vaikuttavat massan vaaleuteen.

Mekaanisesta massasta otetaan hiomossa noin 150 – 300 ml näyte, josta tehdään tehtaalla laboratorioissa massan ISO-vaaleusmittaus SCAN-C 11:75 perusteita soveltaen. Massa laimennetaan ionivaihtovedellä 500 ml tilavuuteen, jonka jälkeen se sekoitetaan ja suodatetaan suodatinkankaan läpi. Suodatettu massa puristetaan imukartongin ja puristinlevyjen välissä, jonka jälkeen näyte kuivataan alipaineuivaimessa. Lopulta kuiva näyte laitetaan värimittariin, joka mittaa valoa läpäisemättömän massan ominaisheijastuslukua 457 nm aallonpituudella. (Stora Enso 2021.)

8 Tulokset ja tulostentarkastelu

8.1 Kosteusprosentti

Puun kosteusprosentti määritettiin kylmävarastoiduista puista otetuista kiekkonäytteistä uunikuivausmenetelmää käyttäen. Käytetty mittaussuunnitelma perustui yleisesti kiinteiden biopolttoaineiden kosteusprosentin määrittämisessä käytettyyn SFS-EN ISO 18134-2:2015 standardiin (Alakangas ym. 2016). Standardista poiketen näytteitä ei murskattu ennen mittausta, ja näytteiden paino oli standardin vaatimuksia alhaisempi. Muilta osin mittaussuunnitelma vastasi standardia. Punnituksissa käytettiin Mettler Toledo PB3002 vaakaa, jonka mittatarkkuus on 0,01g. Näytteet kuivattiin laboratorionäytteisiin tarkoitettussa kuivatusuunissa.

Käytetyt näyteastiat punnittiin ensin tyhjänä. Sen jälkeen näytteet asetettiin astioihin, punnittiin ja laitettiin kuivatusuuniin. Näytteitä kuivattiin 105 °C asteessa 24 tuntia, jonka jälkeen näytteet punnittiin välittömästi uudestaan. Kosteusprosentti saatiin määritettyä näytteistä seuraavalla kaavalla.

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

Kaava 1 Kosteusprosentin määrittäminen (Alakangas ym. 2016)

Jossa

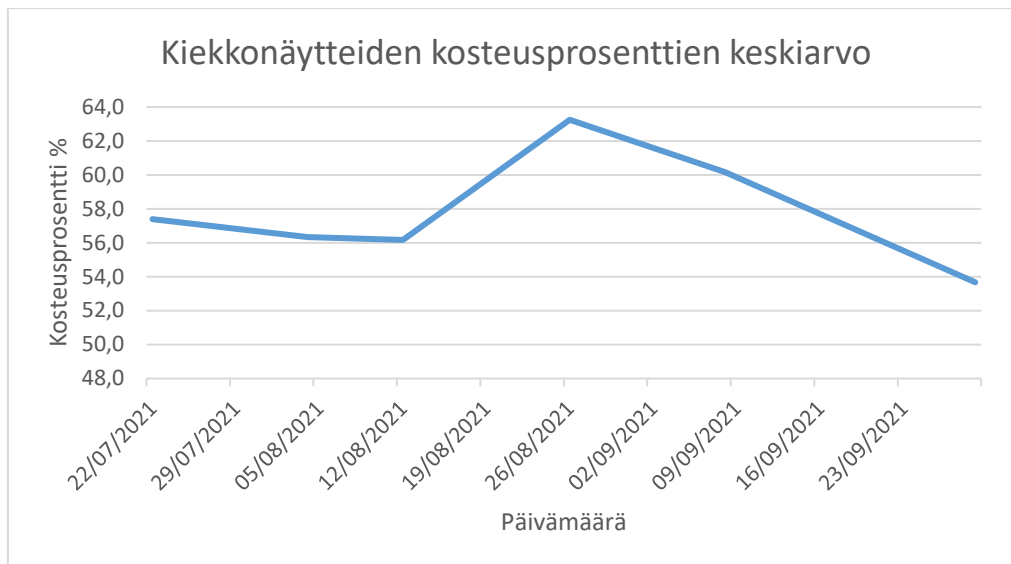
Mar on mitattavan kappaleen kosteusprosentti saapumistilassa

m1 tyhjän kuivausastian paino, g

m2 kuivausastian ja näytteen yhteispaino ennen kuivausta, g

m3 kuivausastian ja näytteen yhteispaino kuivauksen jälkeen, g

Esimerkiksi ensimmäinen kiekkonäyte painoi kuivausastian kanssa mitattuna 234,9 g, kuivatuksen jälkeen 117,1 g ja astian paino oli 11,3 g. Joten kosteusprosentti oli $(234,9 \text{ g} - 117,1 \text{ g}) / (234,9 \text{ g} - 11,3 \text{ g}) \times 100 = 52,7 \%$. Kosteusprosentit laskettiin jokaiselle kiekkonäytteelle, jonka jälkeen laskettiin jokaisen näytteenottokerran näytteiden keskiarvo, joiden perusteella tuloksista luotiin Excel-ohjelmalla alla oleva kuvaaja.



Kuvio 1 Kiekkonäytteiden kosteusprosenttien keskiarvo

Ensimmäinen näyte otettiin kylmävaraston rinteessä olleista puista 22.7.2021. Seuraavat kaksi näytettä otettiin luonnonlumella eristetystä testikaistaleesta 4.8.2021 ja 12.8.2021, jonka jälkeen otettiin mittaukset tykkilumella eristetyistä puista 26.8.2021 ja 8.9.2021. Luonnonlumella eristettyjen näytteiden keskiarvoiset kosteudet olivat 56,3 % ensimmäisellä mittauksella ja 56,2% toisella mittauksella. Tykkilumella eristettyjen näytteiden kosteudet olivat 63,3 % ja 60,2 %. Viimeinen mittaus otettiin ajoluiskan kohdalla olleista puista 27.9.2021.

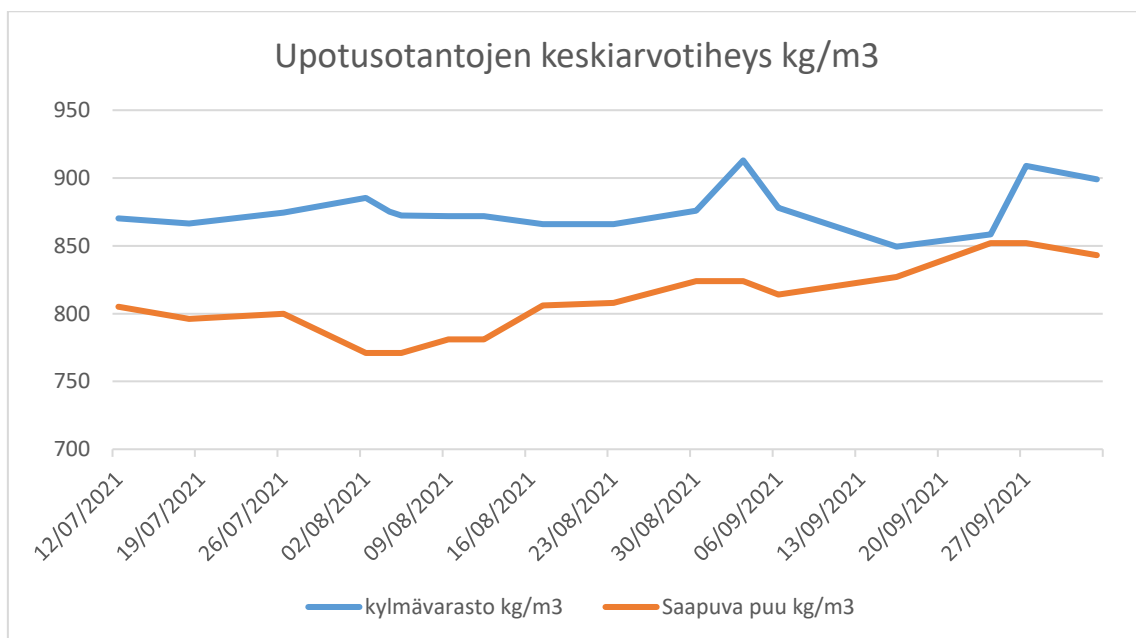
Ensimmäisistä kiekkonäytteistä mitattiin myös halkaisija näytteenoton yhteydessä. Mittausten perusteella laskettiin näytteiden tilavuus, jonka avulla saatiin laskettua näytteen tiheys. Näytteiden tiheyksien keskiarvo oli 908 kg/m^3 . Näytteiden tiheyksien vaihteluväli oli $756 \text{ kg/m}^3 - 1119 \text{ kg/m}^3$. Näytteistä laskettujen tiheyksien ja kosteusprosenttien välillä ei esiintynyt korrelaatiota, edes samasta puusta leikattujen näytteiden välillä. Tämä johtuu mittauksissa syntyneistä virheistä. Puiden päistä leikatut kiekkonäytteet eivät ole täydellisen ympyrän muotoisia, ja leikkuupinnat eivät ole täysiä suoria, joten mitattavat kappaleet eivät ole säännöllisen ympyrälieriön muotoisia. Lisäksi rullamitalla otetuissa mittauksissa on aina noin 0,5 – 1 mm mittavirhe, joka kertaantuu tilavuuslaskennassa.

Esimerkiksi ensimmäisen kappaleen halkaisijaksi mitattiin 10,2 cm ja paksuudeksi 3 cm, näytteen märkäpaino oli 223,6 g. Kyseisillä arvoilla kappaleen tiheydeksi saadaan 912 kg/m^3 . Jos halkaisijan ja paksuuden mitat vaihdetaan 1 mm suuremmiksi, tulee laskennalliseksi tiheydeksi 866 kg/m^3 , eli muutosta tulee 46 kg/m^3 , jolloin muutos tuloksessa on 5 %. Käytetty mittatapa ei siis tuota tarpeeksi tarkkaa tulosta vertailukelpoisen aikaansaamiseksi. Tarkan mittatuloksen saamiseksi, olisi koeasettelua pitänyt muuttaa. Asiaa

käydään läpi tarkemmin kehitysehdotuksissa.

8.2 Uputusotannat

Varastoista tuotantoon syötetyistä puista otetaan 2 % satunnaisotannalla upotusotantoja tiheyden määrittämiseksi. Uputusotantojen tulokset kirjataan tehtaan tietojärjestelmään, joka ilmoittaa viiden edellisen otannan liukuvan keskiarvon. Tehtaalle saapuvista puutoimittuksista otetaan 5 % otannalla upotusotantoja, joista tehtaan tietojärjestelmä laskee liukuvan keskiarvon. Opinnäytetyötä varten tehdasjärjestelmästä otettiin viikoittain ylös sen hetken keskiarvoinen puiden tiheys sekä kylmävarasto puista, että tehtaalle saapuvista puista. Tulokset on kuvattu alla olevaan kaavioon.



Kuvio 2 Uputusotantojen keskiarvotiheys kg/m³

Tuloksista nähdään, että kylmävaraston puiden tiheys on säilynyt lähes muuttumattomana varaston käytön ajan. Saapuvan puun tiheydet laskivat heinäkuun lopulla huomattavasti kylmävarastopuiden tiheyttä alemmaksi, ja nousivat lähes samaa tasoa syyskuun loppupuolella. Koko tarkastelujakson ajan kylmävaraston puiden tiheys oli tehtaalle saapuvan kesäkaatoisen puun tiheyttä suurempi.

8.3 Värimuutosten määrittäminen

Koska puista ei otettu vaaleusmittauksia ennen varastointia, ei värimuutoksia varastoinnin aikana voitu määrittää tarkkaan. Kiekkonäytteiden ottamisen yhteydessä tehtiin

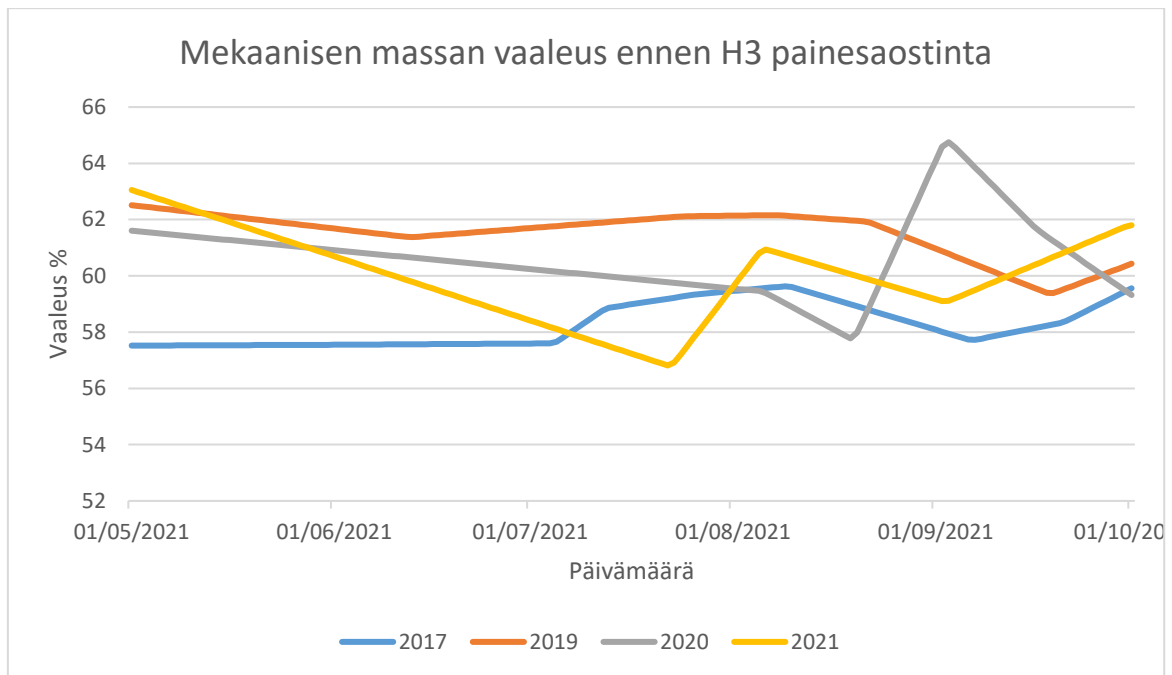
kuitenkin silmällä arvioita. Lähes jokaisen puun pää oli tummunut huomattavasti, mutta jokaisen kiekkonäytteen leikkauspinta oli vaaleaa, eikä värimuutoksia esiintynyt. Tämä selitynee sillä, että puun päät ovat tekemisissä ympäröivän ilman kanssa ja kuivuvat nopeasti, altistaen puun värjäytymille. Syvemmällä puussa lämpötila on riittävän alhainen, ja kosteusprosentti riittävän korkea, ettei värjäytymää ehdi muodostua.

Kiekkonäytteiden ottamisen yhteydessä muutamasta puusta myös poistettiin hieman kuorta, kuoren alapuolisen puuaineksen paljastamiseksi. Heinä- ja elokuussa kuoren alta paljastunut puuaines oli vaaleaa, eikä värjäytymää juurikaan esiintynyt. Syyskuun aikana puissa kuitenkin alkoi esiintyä jonkin verran tanniinivärjäytymää pinnassa. Alla oleva kuva on otettu 29.9.2021 kiekkonäytteiden ottamisen yhteydessä. Kuvasta näkyy, kuinka kuoren alapuolinen puuaines on tummunut.



Kuva 14 Kylmävarastoidun puun värinmuutos

Kylmävarastopuun vaikutusta tehtaalla tuotetun massan vaaleuteen pyrittiin selvittämään ottamalla vaaleusmittausdataa tehtaan tietojärjestelmästä. Vaaleudet on mitattu hiomon valkaisuasteesta mekaanisesta massasta, joten se kuvastaa melko hyvin raaka-aineena käytetyn puun vaaleutta. Mittaustuloksia otettiin viiden viimeisen vuoden ajalta, 01.05. – 01.10. tarkasteluvälillä. Vuonna 2018 ei rakennettu kylmävarastoa, joten se on suljettu tarkastelun ulkopuolelle. Tulokset on kuvattu alla olevaan kaavioon.



Kuvio 3 Mekaanisen massan vaaleus ennen H3 painesaostinta

Tulosten tarkastelua vaikeuttaa vuosittainen vaihtelu säässä, kylmävarastoidun puun määrissä, varastoinnin onnistumisessa ja kylmävarastopuun käyttöasteissa. Vuosina 2017 ja 2019 kylmävarasto on avattu heinäkuun alussa, ja purku on päättynyt elokuun aikana. Vuonna 2020 kylmävarasto avattiin kesäkuussa ja purku loppui heinäkuun aikana. Vuonna 2021 purku aloitettiin heinäkuun alussa ja lopetettiin lokakuun alussa.

Vuosina 2017 ja 2020 puuta varastoitiin hieman yli 40 000 m³ ja 2019 61 500 m³. Vuonna 2021 puuta varastoitiin noin 57 000 m³. Kylmävaraston käyttöaste kuvaa kylmävarastopuun osuutta mekaanisen massan valmistukseen käytetystä raaka-aineesta. Vuonna 2017 heinäkuussa tuotannossa käytetystä puusta 25,7 % oli kylmävarastopuuta ja elokuussa 16,7 %. 2019 käyttöaste oli 32,6 % heinäkuussa ja 24,4 % elokuussa. Vuonna 2020 kyseiset luvut olivat 25,2 % ja 18,2 %. Vuonna 2021 käyttöaste oli heinäkuussa 21 %, elokuussa 18 % ja syyskuussa 11,1 %.

Vaaleusmittauksista nähdään, että mekaanisen massan vaaleudet ovat useimpina vuosina laskeneet toukokuun ja kesäkuun aikana ja lähteneet nousuun heinäkuun alussa. Elokuun aikana vaaleudet ovat laskeneet hieman ja lähteneet jälleen nousuun syyskuun aikana. Vaaleuden nousut näyttävät ajoittuvan kylmävarastojen käyttöajankohtiin, vaaleuden nousut ovat tapahtuneet käyttösuhteen ollessa korkealla ja käyttösuhteen laskiessa vaaleuskin on laskenut. Tulosten perusteella voidaan olettaa kylmävarastopuun käytön vaikuttaneen vaaleuden nousuun. Tuomalan mukaan vuoden 2020 kylmävarasto ei vähälumisen talven takia onnistunut hyvin, ja puu oli tavallista kuivempaa ja tummempaa, mikä voisi selittää

poikkeavat tulokset kyseisenä vuonna. Syyskuussa tapahtunut vaaleuden nousu selittyy todennäköisesti saapuvan puun vaaleuden nousulla.

Huomionarvoista on myös, että vuosina 2017, 2019 ja 2020 kylmävarastopuuta ei ole syyskuussa enää käytetty ja puiden vaaleudet ovat olleet noin 60 % kohdalla. Vuonna 2021 syyskuussa käytettiin vielä kylmävarasto puuta ja syyskuun lopulla vaaleus oli noin 1–2 prosenttia korkeampi, kuin edellisvuosina. Tosin on mahdotonta sanoa, onko nousu seurausta kylmävarastopuun käytöstä, vai onko saapuvan puun vaaleudet olleet edellisiä vuosia korkeammalla tasolla.

Vuodelta 2021 oli myös käytettävissä tarkempaa tietoa viikoittaisista käyttöasteista. Kylmävaraston käyttöaste oli avaamisen jälkeen heinäkuun toisen ja kolmannen viikon ajan 30 % ja heinäkuun lopulla 50 %. Elokuun alussa käyttöastetta laskettiin ensin ensimmäisen viikon 50 %:sta 20 %:iin ja lopulta 10 %:iin. Syyskuun aikana käyttöaste oli noin 10–20 %. Viikko-kohtaiset muutokset käyttösuhteessa näkyvät selvästi myös mekaanisen massan vaaleudessa.

8.4 Lahon esiintyminen

Koska lahon aiheuttama tuho esiintyy lähinnä värinmuutoksina, sekä tiheyden laskuna. Voidaan lahottajien ja sinistäjäsienen aiheuttamia varastotuhoja arvioida tiheysmuutoksen, sekä värimuutosten perusteella. Puun kosteus pysyi koko tarkastelujakson aikana korkeana ja tiheys oli lähes muuttumaton, joten lahoa ei sen perusteella esiintynyt. Tätä toteamaa tukee havainto siitä, ettei kiekkonäytteiden leikkuupinnoissa esiintynyt värinmuutoksia tai lahoa. Puiden päissä oli home- ja sienikasvustoa, mutta alhaisen lämpötilan ja korkean kosteusprosentin ansiosta kasvustot eivät olleet päässeet etenemään puun pintakerrosta syvemmälle.

9 Pohdinta

9.1 Puun kosteuden säilyminen

Koska kylmävarasto on rakennettu mahdollisimman tiiviiksi, on puiden kuivuminen nopeampaa varaston ulkoreunoilla, joissa puut ovat kosketuksissa ympäröivään ulkoilmaan. Puun kosteus on varastoinnin alkuhetkellä korkeimmalla mahdollisella tasolla ja varastoinnin aikana kosteus lähtee laskemaan kohti puun tasapainokosteutta, joka riippuu lämpötilasta ja ympäröivän ilman kosteudesta. Kosteuden säilymiseen eniten vaikuttavat tekijät ovat siten varastointiaika, lämpötila, sekä puiden sijainti kylmävarastossa.

Luonnonlumella eristetty testikaistale ja tykkilumella eristetyistä puista otettujen näytteiden ottoaika sijaitsivat lähellä kylmävaraston keskikohtaa, joten suurta eroa tuloksissa ei sijainnin vuoksi pitäisi esiintyä. Näytteiden oton välissä kului huomattavan pitkä aika varaston hitaan purkunopeuden takia. Luonnonlumella eristetyn testikaistaleen kosteusmittaukset tehtiin lähes kuukautta aiemmin, kuin tykkilumella eristetyn kaistaleen mittaukset. Lyhyemmästä varastointiajasta huolimatta luonnonlumella eristettyjen näytteiden kosteusprosentit olivat keskimäärin 5,5 % alemmat, kuin tykkilumella eristettyjen näytteiden kosteudet. Tästä voidaan päätellä, että tykkilumi on toiminut paremmin kosteuden säilyttämisessä.

Kesän aikana kylmävaraston puista upotusotannalla mitattujen tiheyksien tulokset olivat tehtaalle saapuvan puun tiheyksiä suuremmat koko tarkastelujakson ajan. Uuteainepitoisuuksien vuosittainen vaihtelu voi vaikuttaa osittain eroon, joten tiheys ei toimi yksiselitteisenä mittarina laadulle. Kiekkonäytteissä elokuun lopulla ja syyskuun alussa otetuissa näytteissä esiintynyt kosteusprosentin nousu kuitenkin näkyy myös kylmävarastosta otetuissa otannoissa tiheyden nousuna, joten upotusotannoilla ja puiden kosteusprosentilla vaikuttaa olevan selvä korrelaatio. Tarkemman korrelaation määrittämiseksi, olisi kiekko- ja upotusotanta näytteet pitänyt ottaa samoina ajankohtina, ja kiekkonäytteitä olisi pitänyt ottaa enemmän.

9.2 Vaaleus

Opinnäytetyön tulosten perusteella kylmävarastointi on tehokas keino säilyttää puun vaaleus. Kesällä tehtaalle saapuva puu on muina vuodenaikoina kaadettua kuivempaa ja tummempaa, aiheuttaen mekaanisen massan vaaleuden laskua. Tulostentarkastelun perusteella voidaan todeta, että kylmävarastopuun käyttö nostaa vaaleutta, tasoittaen kesäistä vaihtelua. vuosina 2017 ja 2019 kylmävarastopuun käyttöönotto näyttää nostaneen puun vaaleutta noin 1–2 vaaleusyksikköä kesän minimistä ja vuonna 2021 nousu oli lähes 4

yksikköä. Huomionarvoista on, että vuoden 2021 heinäkuun käyttöaste oli edellisvuosia pienempi, mutta vaaleuden nousu suurempi.

On myös huomioitavaa, että datasta on mahdotonta nähdä, olisivatko tarkasteluvuosina vaaleudet laskeneet kesällä vielä nykyistä minimiä alemmas ilman kylmävarastopuun käyttöä. Vuonna 2020 puun vaaleus on laskenut kylmävarastopuun käytön aikana ja noussut yllättäen syyskuun alussa. Kylmävaraston käytön aikana tapahtunut lasku selittyy huonosti onnistuneella varastoinnilla, mutta elokuun lopulla tapahtuneelle nopealle vaaleuden nousulle ei löytynyt selitystä.

Tarkastellun datan vaihteluiden taustalla on liian monta muuttujaa täysin tarkan eron määrittämiseksi luonnonlumella ja tykkilumella rakennettujen varastojen puiden välille. Suurin osa tarkastellun massan raaka-aineesta on ollut muuta, kuin kylmävarastopuuta. Raaka-aineena käytetty puu on siis ollut pääosin tehtaalle saapuvaa puuta, ja kasteluvarastoitua puuta. Muutokset kasteluvarastoinnin pituudessa ja saapuvan puun vaaleudessa näkyvät siis painotetusti mittausdatassa, eikä tarkkaa tietoa näistä tekijöistä ollut saatavilla tulosten-tarkastelua varten.

9.3 Sään vaikutus

Säällä on suuri vaikutus kylmävarastoinnin onnistumiseen. Talvella onnistunut kylmävaraston rakentaminen vaatii pitkiä pakkasjaksoja, joiden aikana varastoidut puut jäätyvät. Myös lumettomat ja vähälumiset talvet aiheuttavat ongelmia. Vuonna 2020 vähäluminen ja leuto talvi aiheutti ongelmia kylmävarastoinnissa. Varaston rakennusvaiheessa puut eivät jäätyneet ja kylmävarasto jouduttiin eristämään pelkällä kuorella. Kyseisen vuoden puut olivat selvästi tummuneita ja varastointi täten epäonnistunut. Aiempina vuosina kylmävaraston rakentamiseen on käytetty myös tehdasalueen lumitöissä kerättyä lunta, sekä Inkeröisen kaupungin lumitöistä saatua lunta. Aurattu lumi kuitenkin sisältää runsaasti epäpuhtauksia, jotka päätyvät tuotantoon. Lisäksi kuljetusmatkat ovat pitkiä, nostoen kustannuksia.

Tykkilumen käyttöä päätettiin kokeilla ongelman ratkaisuna. Tykkilumen käyttö mahdollistaa esiintyvien pakkasjaksojen hyödyntämisen ja varmistaa lumen riittävyuden kylmävaraston rakentamiseen. Lunta saadaan valmistettua tarvittava määrä kylmävaraston läheisyyteen. Tykkilumi on puhdasta, eikä epäpuhtauksia päädy sitä kautta tuotantoon. Aiempina vuosina lumen mukana tullut sora, kivet ja roskat ovat aiheuttaneet ongelmia kuorimossa. Vuonna 2021 vastaavaa ongelmaa ei ollut.

Myös loppukevään ja kesän säällä on suuri vaikutus puiden vaaleuteen. Vuoden 2021 toukokuu oli poikkeuksellisen sateinen, Tuomalan mukaan valumavedet tekivät kylmävaraston

eristekerrokseen reikiä, nostaen paikkaustarvetta. Lisäksi varaston sisään valunut vesi jäättyi, muodostaen paksun jääpatjan, joka vaikeutti varaston purkamista kesällä. Jääpatjan murtaminen vahingoittaa myös puita, jonka seurauksena tuotantoon sopimattomien, liian lyhyiden puukappaleiden, määrä lisääntyy kuorimossa.

Vuoden 2021 oli myös poikkeuksellisen kuuma, Anjalassa rikkoontui Suomen aiempi helleputkiennätys, kun hellettä esiintyi 31 vrk ajan yhtäjaksoisesti (Ilmatieteenlaitos 2021). Helleputki ajoittui kylmävaraston avaukselle ja asetti paineita kylmävaraston nopeammalle käytölle, puun laadun säilyttämiseksi. Upotusotannoista nähdään, että hellejakson aikana puun tiheydet olivat alhaalla ja saapuvan puun tiheys laski nopeasti. Myös puun vaaleus laski kyseisenä aikana edellisvuosiin verrattuna tavallista nopeammin ja alemmalle tasolle. Kylmävarastopuun käyttöönotto kuitenkin näkyy nopeana vaaleuden nousuna. Kylmävarastosta saatiin siis selvää hyötyä tuotannon ja laadun näkökulmasta.

10 Kehitysehdotukset

Idea opinnäytetyön kirjoittamisesta esitettiin vasta vuoden 2021 helmikuun loppupuolella. Siinä vaiheessa kylmävaraston rakentaminen oli jo lähes valmis, eikä mahdollisuuksia koasetteluun vaikuttamiseen enää ollut. Myös kesällä käytössä olleissa mittalaitteissa ja resursseissa oli puutteita, jotka vaikuttivat tutkimusdatan saatavuuteen.

Jos tykkilumen vaikutusta kylmävarastointiin lähdetään tutkimaan uudestaan, on tärkeää saada tutkimusaineistoon jotain, johon kylmävarastoitua puuta verrataan. Yksi keino on ottaa kylmävarastointiin saapuvista puukuljetuksista testieriä, joiden kuormien tiheys määritetään upotusotannalla. Samalla puista otetaan pakastimeen talteen puita, joita voidaan seuraavana kesänä käyttää verrokkieränä. Tämän jälkeen puut merkataan esimerkiksi maalaamalla niiden päät, jotta kesällä sama puuerä voidaan jälleen upottaa ja tutkia puiden laatua kiekkonäytteillä.

Myös koemenettelyjä on kehitettävä. Upotusotantoja tulisi ottaa päivittäin ja kiekkonäytteitä vähintään viikoittain. Tulokset osiossa todettiin, ettei kiekkonäytteiden tiheyttä voitu määrittää niiden halkaisijaa ja paksuutta mittaamalla, joten yhteyttä kosteusprosentin säilymiselle ja tiheydelle ei saatu todistettua. Ongelman ratkaisemiseksi pitäisi puista ottaa kiekkonäytteet, joista mitataan paino ja määritetään tilavuus veteen upottamalla. Lisäksi puiden päistä ja keskeltä tulisi ottaa kiekkonäytteet, joista määritetään kosteusprosentti opinnäytetyössä käytetyllä menetelmällä. Lopuksi kiekkonäytteiden vaaleus pitäisi määrittää käyttöön soveltuvalla vaaleusmittarilla ja verrata tulosta pakastimessa olleista puista tehtyihin mittauksiin.

Kylmävarastoon tulisi myös tehdä luonnonlumella eristettyjä kaistaleita, joille toistetaan yllä mainitut toimenpiteet. Luonnonlumikaistaleiden tulisi olla saman paksuisella lumikerroksella peitetyjä, kuin tykkilumellakin tehdyn varaston. Kaistaleita tulisi tehdä ainakin kaksi; toinen varaston ulkoreunalla ja toinen varaston keskellä, jotta saadaan tarkempi kuva mahdollisista poikkeamista. Kylmävaraston rinteissä ja nurkissa lumipeite on erityisen altis ulkopuolisille rasitteille, ja näkemykseni mukaan tykkilumi voi kestää niissä luonnonlunta paremmin korkeamman tiheydensä ansiosta.

11 yhteenveto

Stora Enson Anjalankosken tehtaat käyttävät mekaanisen massan valmistuksen raaka-aineena kuusikuitua. Tehdas tuottaa vaaleita paperi- ja kartonkilaatuja, joiden valmistus asettaa tiukat kriteerit raaka-aineen laadulle. Kesäisin kuitupuun saatavuus on heikkoa ja vaaleus tavallista alhaisempi, joten tehtailla käytetään kylmävarastoitua puuta vaihtelun tasoittamiseen.

Vuoden 2020 talvi oli lumeton, joten kylmävarasto rakennettiin ilman lunta. Ilman lunta rakennettu kylmävarasto ei säilyttänyt puun laatua riittävän hyvin, joten vuoden 2021 kylmävaraston rakentamiseen kokeiltiin tykkilumen käyttöä. Tykkilumen käyttö kuitenkin lisää rakennuskustannuksia, joten tässä opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään, onko tykkilumen käyttö kustannustehokasta.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin mekaanisen massan valmistusta laatuvaatimusten määrittämiseksi. Tietojen perusteella kosteus ja vaaleus ovat tärkeimmät laatukriteerit raaka-aineelle. Havaintojen perusteella kylmävarastoitujen puiden laatua seurattiin kiekkonäytteillä, sekä upotusotannoilla. Lisäksi tehdasjärjestelmästä otettiin tietoa mekaanisen massan vaaleusmittauksista viideltä edelliseltä vuodelta.

Tulosten perusteella kylmävarastoidun puun laatu säilyi erinomaisesti. Vaaleusarvoja saatiin verrattua edellisvuosiin ja tulosten perusteella tykkilumella eristetyn puun käyttö oli saanut aikaan suurimman vaaleuden nousun. Puiden kosteusprosentti ja tiheys säilyivät lähes muuttumattomina. Verrokkierän puuttumisen seurauksena tuloksista ei kuitenkaan saatu tarkkaa tietoa siitä, kuinka suuri vaikutus tykkilumella oli.

Laadun lisäksi opinnäytetyössä tarkkailtiin tykkilumen käytön vaikutusta kylmävaraston rakentamiseen. Sen käyttö mahdollistaa kylmävaraston rakentamisen sääolosuhteiden kannalta parhaaseen aikaan, ja varmistaa lumen saatavuuden. Tiheydensä ansiosta tykkilumi myös soveltuu luonnonlunta paremmin varaston rakentamiseen, sillä sen käyttö antaa työkoneille ja kuoripeitteelle kantavamman pohjan.

Tykkilumen teko lisäsi varaston rakennuskustannuksia noin 0,18 € varastoitua puukuutiota kohti. Sillä kuitenkin säästettiin luonnonlumen kuljetuskustannuksista, kun kaikki tarvittava lumi saatiin tehtyä suoraan käyttöpaikalla. Todellinen lisäys hintaan on siis pienempi. Opinnäytetyön perusteella tykkilumen käyttö on perusteltua nousseista kustannuksista huolimatta.

12 Lähteet

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Anttila, P., Asikainen, A., Brännström, H., Jänis, J., Mäkinen, M. & Routa, J. 2017. *Wood extractives of Finnish pine, spruce and birch - availability and optimal sources of compounds*. Helsinki: Luonnonvarakeskus.

Hakkila, P., Repola, J., Lindblad, J. Kalaja, H. & Verkasalo, E. 2020. *Mänty- ja kuusikuitupuun ominaisuudet Etelä-Suomessa – Laadun vaihtelu ja hallinta*. Helsinki: Luonnonvarakeskus.

Heldin, M. 2019. *Designing grinding tools to control and understand fibre release in groundwood pulping*. Uppsala: Uppsala Universitet.

Hietanen, M. 2007. *Hiokkeen laatuvaihteluja aiheuttavat tekijät ja vaihteluiden vaimentamismahdollisuudetq*. Lappeenranta: Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto.

Hiilipuu. 2021. *Hiilipuu.fi*. Viitattu 16.6.2021. Saatavissa <http://www.hiilipuu.fi/fi/artikkelit/mets%C3%A4n-vuosi>

Holmberg, M. 1999. *Pitch and precipitate problems, Papermaking Science and Technology*. Jyväskylä: Fapet Oy.

Huttunen, O. 2013. *Kemi-termomekaanisen massan ominaisuuksien optimointi*. Helsinki: Puunjalostustekniikan laitos.

Ilmatieteenlaitos. 2021. Viitattu 19.10.2021. *Ilmatieteenlaitos*. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot>

Imponen, V., Korpilahti, A., Mäkelä, M., Pennanen, O. & Poikela, A. 2005. *Puuraaka-aineen lajitteluvaihtoehdot puun hankinta- ja käsittelyketjussa*. Helsinki: Metsäteho Oy.

Jäkärä, J., Persson, M. & Mårtens, H. 2009. Bleaching of mechanical pulps. Teoksessa Lönnberg, B. *Papermaking Science and Technology. Mechanical pulping. Book 5*. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy. 362 – 387.

Jänis Magaznieks, M. 2016. *Quality changes during summer–autumn long-term storage of scots pine (pinus sylvestris l.) roundwood*. Jelgava: Latvia University of Agriculture.

Kärkkäinen, M. 2007. *Puun rakenne ja ominaisuudet*. Helsinki: Metsäkustannus.

Knowpap. 2021. Tuotteet ja tuotanto. *Paperitekniiikan, paperiteollisuuden automatisaation ja prosessinhallinnan oppimisympäristö*. VTT, Porvoo.

Linnakoski, R. & Niemelä, P. 2011. Kaarnakuoriaisten kuljettamat sinistäjäsienet Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja 3/2011*.

Lumiainen, J. 2000. Refining of chemical pulp. Teoksessa H. Paulapuro, *Papermaking part I, Stock Preparation and Wet End*. Helsinki: Fapet Oy. 87 – 122.

Mutanen, J. 2021. *Kylmävarasto rakennusvaiheessa*. Inkeroinen.

Mutanen, J. 2021. *Lumetus*. Inkeroinen.

Mäkelä, M. 2002. *Kylmävarastointitekniikan kehittäminen*. Helsinki: Metsäteho Oy.

Mäkelä, M., Korhonen, K. & Lipponen, K. 2000. *Varastoinnin vaikutus kuitupuuhun*. Helsinki: Metsäteho Oy.

Mäkelä, M., Lipponen, K., Korhonen, K., Hallaksela, A.-M., Karppelin, M., Öhman, H. & Sainio, M. 1999. *Varastolaho, esiintyminen ja vaikutukset*. Helsinki: Metsäteho Oy.

Mäkelä, M., Varhimo, A. & Pennanen, O. 2001. *Talvikaatoisen kuusikuitupuun kylmävarastointi*. Helsinki: Metsäteho Oy.

Mänttari, J. 2018. *Hiokkeen yhdistelmävalkaisun optimointi*. Kouvola: Kaakkois-suomen ammattikorkeakoulu.

Metsäteho Oy. 2004. *Puun laadun säilyttäminen*. Noudettu osoitteesta https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Puun_laadun_sailyttaminen_09_Kylmavarastointi.pdf

Nieminen, A. K. 2005. *Paperin kemiaa*. Helsingin yliopisto. Viitattu 10.6.2021. Saatavissa http://www.kemia.ovh/paperi/massan_valmistus.htm#MEKAANINEN_MASSAN_VALMISTUS

Nisula, P. 1967. *Käytäntöön soveltuvia menetelmiä puutavaran kiintokuutiomäärän määrittämiseksi tilavbuuspainon avulla*. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos.

Piesala, P. 2011. *Puun monet mahdollisuudet*. Helsinki: Suomen Metsäyhdistys ry.

Pöntinen, P. 2008. Suomessa ei lasketella ilman tykkilunta - kuinka se syntyy? *Suomen Kuvalehti*.

Pro puu. 15. kesäkuu 2021. *Puuproffa*. Noudettu osoitteesta <https://puuproffa.fi/puutieto/>

puu, P. (ei pvm). *Kuusipuun solurakenne*. Suomen Metsäsäätiö ry.

Puuinfo Oy. 2021. *Puuinfo*. Viitattu 15.6.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/puulajit/kuusi-picea-abies/>

Saari, T. 2017. *Jauhatuksen vaihteluiden ymmärtäminen sellu- ja paperitehdasintegraatissa*. Oulu: Oulun yliopisto teknillinen tiedekunta.

Saranpää, P. 1997. Puun rakenne, ominaisuudet ja kasvu. Teoksessa K. Eeva, *Metsätieteen aikakauskirja* Helsinki: Suomen metsätieteellinen seura ry. 86 – 89.

Seppälä, M., Klemetti, U., Kortelainen, V., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Sironen, R. 2005. *Kemiallinen metsäteollisuus I. Paperimassan valmistus*. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

SFS-EN ISO 18134-2:2015. 2017. Kosteuspitoisuuden määrittäminen kiinteissä polttoaineissa. Helsinki: Kemesta ry

Stenius, P., Gullichsen, J. & Paulapuro, H. 2000. *Papermaking Science and Technology, Book 3. Forest Products Chemistry*. Jyväskylä: Fapet Oy.

Stora Enso . 2021. *Stora Enso*. Viitattu 3.6.2021. Saatavissa https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/annual-reports/2020/storaenso_tilinpäätös_2020.pdf

Suuronen, S. 2017. *Kemiteemomekaanisen massan valkaisu*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.

Whitehead, R., Wagner, W. & Nader, J. 2008. *Storing beetle-killed logs under snow to reduce losses after mountain pine beetle attack*. Victoria: Canadian Wood Fibre Centre.

Ylönen, H. 2011. Kaipolan paperitehtaalla valtava kuusikuitupuun lumivarasto. *Metsän henki*, 18 – 20.