



Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma
BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

RIMAPAKETIN YLÄPUOLINEN KUORMITTAMINEN TOP LOADING OF SAWN TIMBER

Lappeenrannassa 2.4.2009
Ville-Veikko Pätäri

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	1
1.1 Työn tavoitteet.....	1
1.2 Työn rajaus	2
2 TEORIA	4
2.1 Kuivausviat.....	4
2.1.1 Halkeamat	5
2.1.2 Muodonmuutokset	6
2.1.3 Väärä- tai epätasainen loppukosteus	8
2.2 Rimapaketin yläpuolinen kuormittaminen	8
2.2.1 Menetelmä.....	9
3 TUTKITTAVAT KUIVAUSKUORMAT JA KUIVAAMOT	11
3.1 Kuivauskuormat	11
3.2 OTC-kanava	12
3.2.1 Valmet-utec	12
3.3 WSAB-kanavakuivaamo, TM12	13
3.3.1 Kuormanpainin.....	13
4 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN	15
5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	17
5.1 WSAB	17
5.1.1 Valumajäljet.....	17
5.1.2 Halkeamat	19
5.1.3 Kosteus.....	19
5.1.4 Kierous	21
5.2 Valmet-utec	23
5.2.1 Halkeamat	23
5.2.2 Kosteus.....	24

5.2.3 Kierous	25
6 TULOSTEN VERTAILU WSAB- JA VALUTEC KUIVAAMON VÄLILLÄ.....	28
6.1 Halkeilu	28
6.2 Kosteus	28
6.3 Kierous	29
7 TULOSTEN VERTAILU AIEMPIIN TUTKIMUKSIIN	32
7.1 Tulosten vertailu Kaukaan sahalla WSAB-kuivaamoon tehtyyn takuumittaukseen	32
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	35

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

1 JOHDANTO

Sahatavaran liialliset muodonmuutokset ovat merkittävä este puun käytölle rakentamisessa. Arvioiden mukaan jopa 30 % kaikesta rakennusteollisuuteen sahatusta tavarasta hylätään kierouden tai jonkin muun muodonmuutoksen takia jossakin vaiheessa. Muodonmuutoksista aiheutuneet taloudelliset tappiot ovat huomattavia ja sahatavaran korvaavien materiaalien käyttö suoruutta vaativiin kohteisiin jatkaa yleistymistään, mikäli puun suoruutta ei saada parannettua. (Tarvainen 2005)

Sahatavaran yläpuolisesta kuormittamisesta kuivauksen aikana aikaisemmin tehdyt tutkimukset osoittavat, että sahatavara on suurempaa kuin ilman yläpuolista kuormaa. Sahatavarakuormien yläpuolisella kuormittamisella kuivauksen aikana tarkoitetaan sitä, että kuivauskuormia kuormitetaan kuivauksen aikana sen päälle asetettavilla painoilla tai vaihtoehtoisesti nykyaikaisilla hydraulisilla tai pneumaattisilla painajilla. Kun sahatavaraa kuormitetaan kuivauksen aikana, siihen ei pääse syntymään samalla tavalla haitallisia muodonmuutoksia kuin ilman kuormaa.

Kaukaan sahalla ei ole aikaisemmin tehty tutkimusta kuivaamoista, joissa olisi keskitytty tutkimaan ainoastaan yläpuolisen kuormituksen vaikutuksia sahatavaran ominaisuuksiin kuivauksen jälkeen. Työssä tutkitaan sahatavaran kieroutta, pintahalkeamia ja kosteutta kuormittamattomista ja kuormitetuista kuivauskuormista. Lisäksi työssä tehdään tulostenvertailua kuormitetun ja kuormittamattoman sahatavaran välillä, vertaillaan kieroutta saatujen tulosten ja aikaisemmin Kaukaan sahalla tehdyn takuukokeen välillä sekä vertaillaan kieroutta saatujen tulosten ja maailmalla tehtyjen tutkimusten välillä.

1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on tehdä Kaukaan sahalle selvitystä siitä, onko yläpuolinen kuormittaja hyödyllinen. Tämä selvitetään tutkimalla yläpuolisen kuormittajan vaikutuksia halkeiluun, kosteuteen ja kierouteen. Lisäksi työn tulosten perusteella

vedetään karkea johtopäätös siitä, onko yläpuolinen kuormittaja kannattava sijoitus tulevaisuuden kuivaamoinvestoinneissa. Kuivaamoissa tavoitteena oli tutkia WSAB-kuivaamossa kuivauskuormien viidessä ylimmässä kerroksessa syntyneitä valumajälkiä sekä kuivaamon kuivaustulosta halkeilun, kosteuden ja kierouden suhteen. Valutecin kuivaamossa tavoitteena oli tarkastella viidessä ylimmässä kerroksessa kuivauksesta aiheutuneita halkeamia, sahatavarakappaleiden loppukosteutta sekä tutkia kappaleiden kieroutta. Kuormia tutkittiin molemmista kuivaamoista kolme. Näistä kaksi oli yläpaketteja ja yksi alapaketti, jolloin tutkittavia sahatavarakappaleita tuli 270 kappaletta kuivaamo kohden.

Työn tavoitteena on myös vertailla WSAB- ja Valutec-kuivaamossa kuivattujen sahatavarakappaleiden halkeilua, loppukosteutta ja kieroutta. WSAB-kuivaamossa on painoraamit, jotka painavat kuivauskuormia kuivauksen ajan, jolloin erityishuomio kiinnittyy siihen, että kuinka paljon yläpuolisella kuormituksella voidaan vähentää sahatavarakappaleiden kieroutumista.

Työssä vertaillaan myös saatuja tuloksia aikaisemmin yläpuolisesta kuormittamisesta tehtyihin tutkimustuloksiin. Kaukaan sahalla on aikaisemmin tehty takuukoemittaus WSAB-kuivaamoon, johon saatuja tuloksia vertaillaan tarkemmin. Lisäksi tuloksia vertaillaan Junnikkalan sahalle vuonna 2001 tehdyn opinnäytetyön tuloksiin sekä EU:n Straight-projektin tuloksiin. Tarvainen raportoi Straight-projektista vuonna 2005 VTT:n tiedotteessa: Menetelmiä sahatavaran suoruuden parantamiseksi. Yläpuolisesti kuormitettujen kuormien mittaustuloksia verrataan lopuksi myös Björn Espingin Trätorkning (1988) kirjassa julkaistuihin tuloksiin.

1.2 Työn rajaus

Muodonmuutoksista työssä keskitytään tutkimaan ainoastaan yläpuolisen kuormituksen vaikutuksista kierouteen. Yläpuolisen kuormituksen vaikutukset lape- ja syrjävääräytyteen on katsottu vain silmämääräisesti, koska yläpuolisen kuormituksen vaikutus niihin on aikaisemmissa tutkimuksissa katsottu olevan vähäinen. Sahatavarakappaleiden loppukosteus mitattiin ainoastaan sähkövastusmittarilla, eli

tarkempaa uunilla koekappaleiden kuivaus ja painon mittaamenetelmää ei käytetty. Kosteuden vertailu suoritettiin sahatavarakappaleiden ja kuivauserien välillä. Kosteusgradienttia tai yksittäisten kappaleiden kosteuseroja pituussuunnassa ei määritetty.

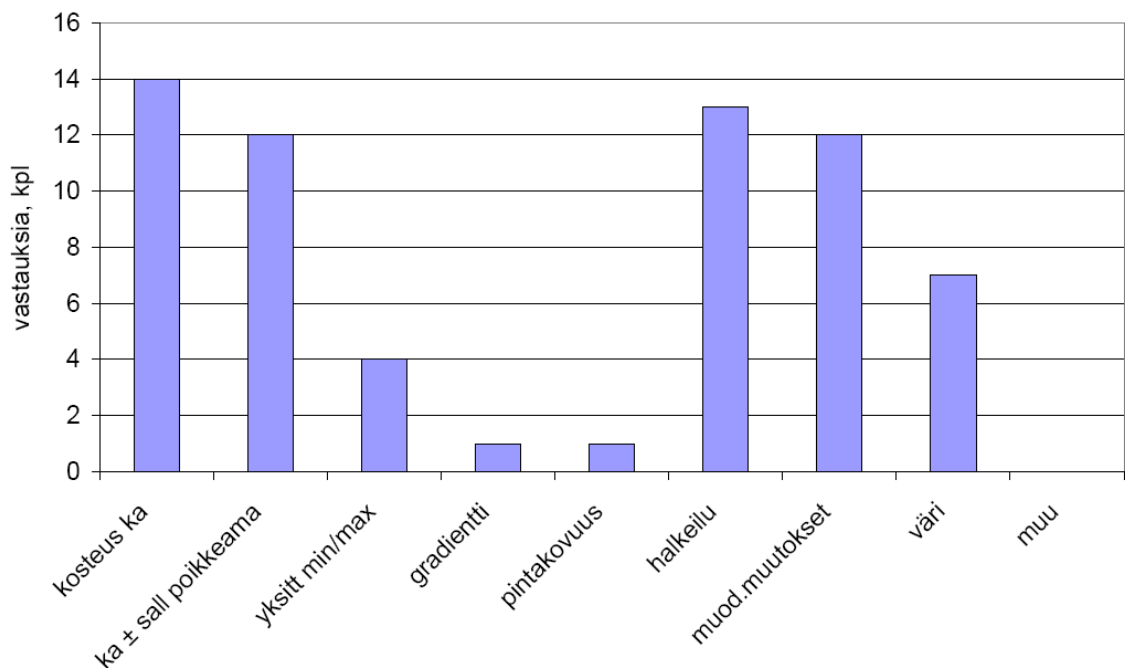
Sahatavaraa kuivattaessa kappaleisiin voi syntyä erityyppisiä halkeamia. Kuivauksesta aiheutuneista halkeamista mitattiin ja tarkasteltiin ainoastaan pintahalkeamat. Tutkimuksen tulosten perusteella pohditaan myös sitä, onko kuormittaja kannattava sijoitus tulevaisuuden investoinneissa. Kannattavuuslaskelmat on rajattu työn ulkopuolelle, joten investoinnin kannattavuus todetaan tutkimustulosten perusteella. Kannattavuus todetaan sillä perusteella, että väheneekö sahatavarakappaleiden kierous merkittävästi yläpuolisesti kuormitettuna.

2 TEORIA

Seuraavaksi käsitellään tutkimukseen oleellisesti liittyvä teoria. Osiossa käydään läpi työssä tarkasteltavia kuivausvikoja sekä tutustutaan sahatavaran yläpuoliseen kuormittamiseen sahatavaran suoruutta parantavana menetelmänä.

2.1 Kuivausviat

Vuonna 2003 Forsén ja Tarvainen tekivät kyselytutkimuksen (kuva 1.), jossa sahatavaran jatkojalostajilta kysyttiin mitkä ovat jatkojalosteraaka-aineessa esiintyvistä kuivausvioista jatkojalostuksen kannalta pahimpia. Eniten kuivauslaatuvaatimukset kohdistuivat keskikosteuteen, kosteuden vaihteluväliin, halkeiluun sekä muodonmuutoksiin. Myös värihaitat ovat merkittävä haitta kyselytutkimuksen mukaan. Kysely lähetettiin eri sahatavaran jatkojalostajille, joten kuvaaja muodostaa keskiarvon eri sahatavaran jatkojalostajien vastauksista. Jos kysely olisi lähetetty esimerkiksi pelkästään rakennusteollisuuteen, olisi muodonmuutokset-pylväs selvästi korkeampi.



Kuva 1. Kyselyyn vastanneiden jatkojalostajien jatkojalosteraaka-aineen kuivauslaadun eri osatekijöihin kohdistettujen vaatimusten määrät. (Forsén & Tarvainen 2003)

Monet kuivausvioletta tulevat näkyviin heti kuivauksen jälkeen, mutta osa vasta jatkokäsittelyssä, esimerkiksi höyläyksessä tai halkaisussa (Sipi, 2002. s.131). Sahatavaran kuivausvioletta rakentamisessa suurimmaksi ongelmaksi muodostuvat kuivauksessa syntyvät muotoviat. Muotovioletta kierous on yleisin laatua alentava tekijä. (Kärkkäinen 2003)

2.1.1 Halkeamat

Sahatavaran halkeamien haitallisuus on pitkälti riippuvainen sen jatkokäytöstä: rakentamisessa hiushalkeamat ovat merkityksettömiä, mutta huonekaluteollisuudessa ne voivat olla vakava laatuongelma (Kärkkäinen 2003). Pintahalkeamat syntyvät kun puun pinta kuivuu liian nopeasti ja pyrkii kutistumaan, jota märkä sisäosa vastustaa. Puun pintaan syntyy vetojännitys ja kappaleen sisälle puristusjännitys jolloin puun pinnan lujuus ylittyy ja pinta repeää. Sahatavaran jatkokäsittelyä ajatellen pintahalkeamat ovat erittäin haitallisia. Niitä esiintyy myös kappaleiden päissä, joissa ilmavirta kuivauksessa on hyvä. Sydänkeskeisesti sahattussa tavarassa tangentin suuntaisen pintaosan kutistuminen on suurempaa kuin säteen suuntaisen keskiosan. Tällöin syntyy pintahalkeamia helposti. (Sipi 2002)

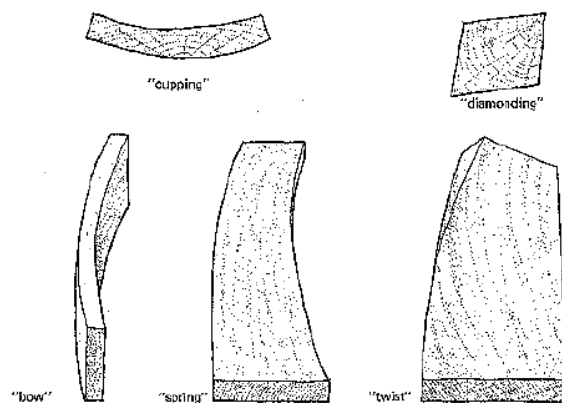
Voimakas pintakovuus saattaa kuivauksen loppuvaiheessa aiheuttaa myös sisähalkeamia. Kun sahattavaran sisäosa alkaa kuivua, aiheuttaa se pintaan puristusjännityksiä ja sisäosaan vetojännityksiä, jolloin sisäosa halkeaa pinnan jäädessä ehjäksi. Sisähalkeamien syntyyn vaikuttaa sahattavaran suuri tiheys, poikkileikkauksen muoto ja erikoisen suuri sisäinen alkukosteus. Sahattavaran halkeilua kuivauksessa kuvataan yleisesti halkeiluprosentilla (HA- %), joka määritetään yhtälöllä 1. (Sipi 2002)

$$HA - \% (\text{Halkeiluprosentti}) = \frac{\text{halkeilun pituus}}{\text{kappaleen pituus}} \quad (1)$$

2.1.2 Muodonmuutokset

Puun rakenneominaisuuksista lyly ja vinosyisyys aiheuttavat kuivauksessa kutistumaeroja kappaleen pituussuunnassa ja siten kappaleen kieroutumista ja vääntymistä. Lylyn suuri syiden suuntainen kutistuminen aiheuttaa suuria muodonmuutoksia, lähinnä lape- ja syrjävääryyttä. Vinosyisyys sen sijaan aiheuttaa kappaleiden kieroutumista. Muodonmuutosvikoja ilmenee sitä enemmän ja sitä voimakkaampina, mitä alhaisempaan loppukosteuteen kuivaus suoritetaan. (Sipi 2002) Kuvassa 2 on esitetty kaikki muodonmuutokset.

- Lapevääryys
- Syrjävääryys
- Kierous
- Kuperuus



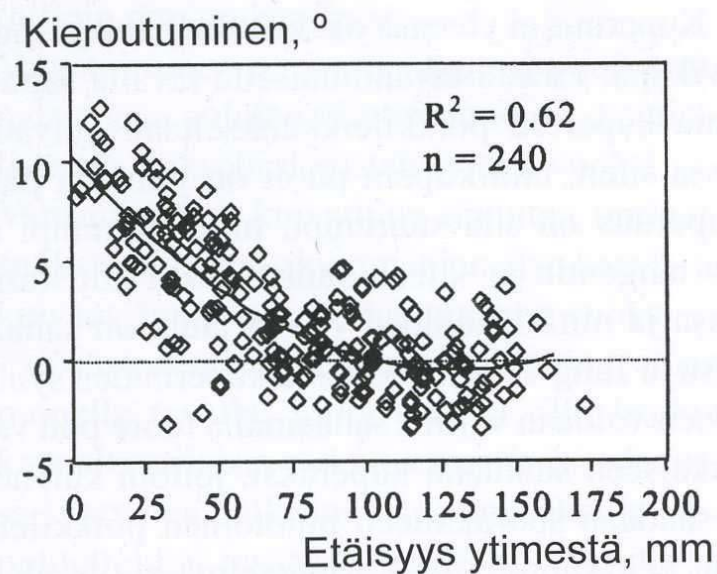
Kuva 2. Muodonmuutokset. (Piispa 2006)

Muodonmuutokset voivat vähentyä jos kuivaus suoritetaan hitaasti ja suhteellisen alhaisessa lämpötilassa. Hitaammin kuivattuun kuormaan syntyy vähemmän jännityksiä kuin nopeasti kuivattuun. Jännitykset puolestaan aiheuttaa sahatavarakappaleissa muodonmuutoksia. Muodonmuutokset ehtivät osittain tasaantua kuivausajan ollessa pidempi, jolloin kuorman puutavara omalla painollaan kuormittaa kuivauskuormaa. (Esping 1988)

2.1.2.1 Kierous

Yksi merkittävimmistä sahatavaran muodonmuutoksista on kierous (kappaleen kierremäinen poikkeama tasosta). Yleisin syy sahatavarakappaleen kieroutumiselle on

se, etteivät puun syyt ole samansuuntaiset kappaleen pituussuunnan kanssa. Koska kutistuminen on suurempaa tangentin suunnassa kuin säteen suunnassa, voi sahatavarakappaleisiin syntyä merkittävästi kuperoutta. Ero kutistumisen suuruudessa kappaleen eri suunnissa yhdessä vinosyisyyden kanssa aiheuttaa merkittävästi myös kieroutumista. (S. Ormarsson et al. 1999) Maksimaalinen kieroutuminen tapahtuu silloin, kun toinen sahauspinta kulkee ytimen kautta. Kierous siis vähenee, jos sahatavarakappale ei sisällä ydintä ja määrärajaan asti, mitä kauempaa tukin ytimestä kappale valmistetaan. Kuvassa 3 on esitetty kuusen kieroutuminen eri etäisyyksillä ytimestä. Tavoitekosteudella on myös suuri merkitys sahatavaran kieroutumiseen. Mitä kuivemmaksi sahatavara on kuivattava, sitä enemmän siinä ilmenee kieroutta. (Kärkkäinen 2003)



Kuva 3. Kuvassa on esitetty kuusen kieroutuminen eri etäisyyksillä ytimestä. (Kärkkäinen 2003)

Kierous voidaan ilmoittaa myös kierousprosenttina. Kun kierous muutetaan kierousprosentiksi, se mahdollistaa eri dimensioiden vertailun. Kierousprosentti saadaan yhtälöstä 2.

$$Kierousprosentti = \frac{Kierous [mm]}{kappaleen\ leveys [mm]} * 100 \quad (2)$$

2.1.3 Väärä- tai epätasainen loppukosteus

Yleisimpiä kuivausvirheitä ovat liian suuri kosteushajonta ja väärä loppukosteus. Yksi yleisin syy tähän on liian nopea kuivaus eli liian lyhyt kuivausaika. Oikealla kuivauskaavalla kuivausaikaa voidaan lyhentää mutta ei rajattomasti. (Isomäki et al. 2005) Myös Forsénin ja Tarvaisen (2003) kyselytutkimuksessa sahatavaran jatkojalostajien mielestä suurin huoli kuivauslaadussa oli sen keskikosteus. Myös kosteuden vaihteluväli oli yksi merkittävimmistä huolenaiheista (Kuva 1).

Kun puhutaan sahatavaran epätasaisesta loppukosteudesta, tarkoitetaan sillä sitä, että loppukosteus ilmenee kosteuserona kappaleen pinnan ja sisäosan välillä, kappaleen pituussuunnassa tai kuivauserän eri kappaleiden välillä. Epätasainen loppukosteus voi syntyä mm. jos kappaleiden alkukosteuksissa on merkittäviä eroja, epätasainen ilmankierto kuivaamossa, suuret vaihtelut kuivausilman lämpötilassa ja kosteudessa kuivaamon eri osissa. (Sipi 2002)

2.2 Rimapaketin yläpuolinen kuormittaminen

Jos kuivaus voidaan suorittaa niin, etteivät sahatavarakappaleet pääse saamaan muotovikoja kuivauksen aikana, vähentää se lopullista muodonmuutosta kuormituksen poistamisen jälkeen. Kuormitettaessa kuivauskuormaa lapesuuntaa vastaan, eniten vähenee kieroutuminen ja lapeväääryys, vähiten syrjäväääryys, koska kuivausrimojen ja sahatavaran välinen kitka ei riitä syrjäväääryyden estämiseen. (Kärkkäinen 2003)

Nopeakasvuisessa plantaasihavupuumetsämaassa Uudessa-Seelannissa on sahteollisuus ensimmäisten joukossa käyttänyt kuormanpaininta kuivauksessa. Yläpuolinen kuorma on mitoitettu siellä niin, että se painaa kuormaa noin 1000 kg/m².

Tämän suuruinen kuormitus vähentää Espingin mukaan kieroutta noin 50 % ja syrjä- ja lapevääryyttä 20 %. (Esping 1988)

2.2.1 Menetelmä

Sahatavara voidaan pitää suorana kuivauksen aikana erilaisin rimapaketin päälle asetettavin painoin. Yksi käytetty ratkaisu on erilaiset betonipainot. Ne voivat olla betonipalkkeja, levyjä tai erityisesti tarkoitukseen valettuja laattoja, joissa on syvennykset trukin sorkille. Myös rautatiekiskoista on valmistettu painoja. Tänä päivänä sahat investoivat kasvavissa määrin pneumaattisiin ja hydraulisiin kuormanpainimiin. (Tarvainen 2005) Kuvassa 3 voidaan nähdä WSAB-kuivaamon pneumaattisen kuormanpainimen.



Kuva 3. Painoraamit ja alumiininen kehikko. (WSAB)

Yläpuolisen kuormituksen avulla sahatavara saadaan pysymään suorana kuivauksen ajan, mutta kuivauksen jälkeen kuorman poistuessa sahatavaraan tulee haitallisia

muodonmuutoksia. Tähän palautusilmiöön (spring back effect) vaikuttavat pääasiassa kuivauskaava ja tasaannutusolosuhteet. (Tarvainen 2005)

Yläpuolisen kuormituksen vaikutukset huomataan parhaiten rimapaketin ylimmissä kuormissa, kun taas alimmissa kerroksissa kuorman oma paino pitää tavaran suorana. Tarvittavan kuorman suuruuteen vaikuttavat dimensio, puulaji ja kuivauskaava. Kunkin puulajin mekaaniset ominaisuudet (kimmomoduli ja viruminen) kuivauslämpötilassa vaikuttavat suorana pitämiseen tarvittavaan voimaan. (Tarvainen 2005)

Neliön muotoisen poikkileikkauksen tasomaisena pitämiseen tarvitaan hyvin paljon suurempi kuorma kuin ohuen ja leveän tavaran. Toisaalta leveän tavaran sivusuuntainen jäykkyys on suuri ja lisäksi ne ovat yleensä symmetrisesti sahattuja, jolloin syrjävääryyttä aiheuttavat voimat kumoavat toisensa. (Tarvainen 2005)

3 TUTKITTAVAT KUIVAUSKUORMAT JA KUIVAAMOT

Sahalaitoksilla on viime vuosiin asti ollut yleisimpänä kuivausmenetelmänä jatkuvatoiminen kanavakuivaus, jossa poikittain kanavan suuntaan olevat kuormat syötetään toisesta päästä sisään ja otetaan toisesta päästä ulos. Kuivausilman kierto on yleensä kanavassa pitkittäinen. Jatkuvatoimivuutensa, suuren kuivauskapasiteetin ja pienen energiankulutuksen vuoksi kanavakuivaamot sopivat nimenomaan suurille sahoille. (Isomäki et al. 2005)

Tässä osiossa käydään läpi työssä tutkitut kuivauskuormat sekä Kaukaan sahalla käytettävät 2-vaihekanavakuivaamot, joissa tutkittavat kuivauskuormat on kuivattu. Kuivaamo, jossa puolet tutkittavista kuormista kuivattiin ja ei ole painoraameja on Valutecin OTC-kanavakuivaamo. Toinen kuivaamo on WSAB:n 2-vaihekanavakuivaamo TM 12, jossa on pneumatiikalla toimivat painoraamit.

3.1 Kuivauskuormat

Dimensiolajittelun jälkeen sahatavarakappaleista tehdään rimoittamalla rimapaketteja. Rimoituksen tarkoituksena on saada aikaan kuivauksessa hallittu ja tasainen ilmankierto kuivattavassa sahatavaraerässä. Rimapaketti muodostuu sahatavarakerroksista, joiden väliin asetetaan kohtisuoraan sahatavaran pituussuuntaa vastaan välirimat. Sahatavarakerros puolestaan tehdään siten, että joka toisen kappaleen pää tulee kuorman toiseen päähän ja joka toisen kappaleen pää toiseen päähän. Kuorman heilumisen tai jopa kaatumisen välttämiseksi tulee kuorman leveyden olla vähintään $1/3$ sen korkeudesta. (Sipi 2002)

Tutkittavat kuivauskuormat olivat vuorokausi ennen mittaamista tulleet kuivaamosta ulos. Kanavakuivaamoissa kuivattavat kuivauskuormat ovat Kaukaan sahalla korkeudeltaan vähän alle 6 metriä (kaksi rimapakettia) ja leveydeltään 2 metriä, jolloin ne ovat ns. ohjearvon mukaisia. Rimoituksessa kerrosten väliin asettuu 9 rimaa tasaisin välein.

3.2 OTC-kanava

Kuivauksen alkuvaiheessa puun soluissa on runsaasti vapaata vettä. Tällöin puun kutistumista ei tapahdu ja puutavara on kuivaushalkeilun suhteen jännityksettömässä tilassa. Näin ollen vapaan veden poistoa voidaan nopeuttaa käyttämällä suurta kuivausvoimaa kuivauksen alussa. Suurta kuivausvoimaa voidaan käyttää niin kauan kunnes lähestytään puukappaleen pinnan *PSK-pistettä*. Jos kuivausvoimaa ei pienennettäisi, alkaisi puutavara halkeilla. (Metlas 1990)

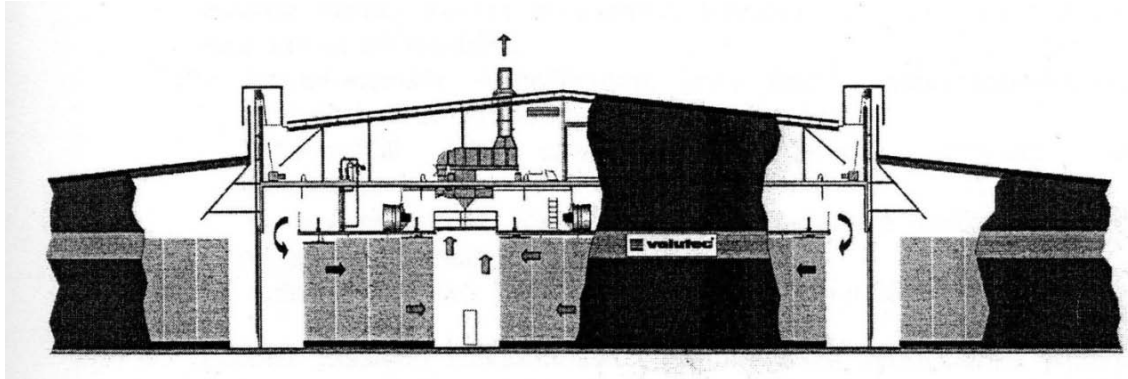
Kuivaussimuloinnin perusteella on kehitetty 2-vaihekanava, OTC-kanava (Optimized Two-staged Continuous). OTC-kanavan ensimmäisessä vaiheessa kuivausvoima on suurimmillaan alku eli märässä päässä ja pienenee vaiheen loppua kohden. Tämä saadaan aikaan kierrättämällä kuivausilmaa samaan suuntaan kuivauskuormien liikkumissuunnan kanssa. (Metlas 1990)

Toisessa vaiheessa kuivausvoima kasvaa pituuden funktiona, samalla tavalla kuin tavallisessa kanavassa. Kuivausilman kierto on toisessa vaiheessa vastakkainen kuormien kulkusuunnan kanssa, ja ensimmäisen ja toisen vaiheen ilmavirrat yhdistyvät vaiheiden välissä. Kun kanava jaetaan oheisella tavalla kahteen vaiheeseen, saadaan kanavassa toteutumaan samantyyppinen kuivausvoimaprofiili kuin optimoiduilla kamarikuivauskaavoilla. (Metlas 1990)

3.2.1 Valmet-utec

Kaukaan sahan Valmet-utec-laitos koostuu viidestä kuvan 4 mukaisesta OTC-kanavakuivaamosta. Kuivattavat kuormat kulkevat vaunuilla kahden erillisen kuivausvaiheen läpi. Ensimmäiseen vaiheeseen mahtuu neljä kuivaamovaunua ja ilman kierto on samansuuntainen kuivaamovaunujen kulkusuunnan kanssa. Toisessa vaiheessa radalle mahtuu kymmenen vaunua ja ilmankierto on kuormien kulkusuuntaa vastaan. (Hukka 2000)

Kuivaamot ovat täysin automatisoitu niin, että käyttäjän toimia jokapäiväisessä työssä tarvitaan ainoastaan kuormien lastaamiseen ja niiden purkamiseen sekä toiminnan valvomiseen. (Hukka 2000)



Kuva 4. Kaukaan OTC-kuivaamon periaatepiirros. (Hukka 2000)

3.3 WSAB-kanavakuivaamo, TM12

WSAB-kanavakuivaamo koostuu kahdesta kuivausvyöhykkeestä. Ensimmäisessä vyöhykkeessä poistetaan pääosa vedestä. WSAB-kuivaamossa puhallussuunnan ollessa vastakkainen Valutecin-kuivaamoon verrattuna, saa viimeksi kuivaamoon lastattu kuorma aiemmin lastatuista kuormista lämpöä ja kosteutta pinnalleen. Kuorma siirtyy kuivaamossa eteenpäin ohi kuivaamon välivaiheen toiseen vyöhykkeeseen, jossa suoritetaan loppukuivaus, tasataan jännitykset ja loppukosteus. (WSAB Oy) WSAB TM12 –kuivaamon ensimmäisessä vaiheessa mahtuu 6 kuormaa rinnakkain ja toisessa vaiheessa 8 (Harry Hellsten).

3.3.1 Kuormanpainin

WSAB:n TM12 kuivaamossa on ruostumattomasta teräksestä valmistetut kuormanpainimet sekä alumiininen kehikko, jotka kuormittavat sahatavarakuormia koko kuivausprosessin ajan. Kuormanpainimissa on myös ilmanohjaimet, jotka estävät kuivausilman kiertämisen kuivauskuorman yläpuolelta. Painimissa on 100 mm sylinterit, joita on asetettu 2 kappaletta per painoraami. Paineilman paine on Kaukaan

sahalla 6 baria. (Kanerva, 2009. puhelinhaastattelu) Painin painaa kuormaa siis 10 kN voimalla per neliometri.

4 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

Kaukaan sahalla käytetään raaka-aineena ainoastaan mäntyä, joten oli selvää, että puulaji tutkimuksissa oli mänty. Mitattavaksi dimensioksi valittiin 50 x 100 mm, koska se on yksi yleisimmistä sahattavista dimensioista Kaukaan sahalla. Tavoitekosteus mitattavissa kuormissa oli 10 %, joka on erikoiskuivaa sahatavaraa. Käyttökohteita erikoiskuivalle sahatavaralle ovat mm. liimalevy, josta valmistetaan mm. huonekaluja sekä ovi- ja ikkunakarmeja. Kaukaan sahalla 50 x 100 dimensiota sahatessa ex-log on 2 ja tukkilaatu 3. Sahauspinta kulkee ex-login ollessa 2 ytimen kautta, jolloin kieroutuminen on sahausasetteen kannalta maksimaalinen. Kuivauskaava on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kuivauskaava

	WSAB	Valutec
Kuivausaika	220 h	216 h
Suhteellinen kosteus	46,6 %	48,0 %
Kuivalämpötila	70 C°	74 C°
Märkälämpötila	76 C°	75 C°

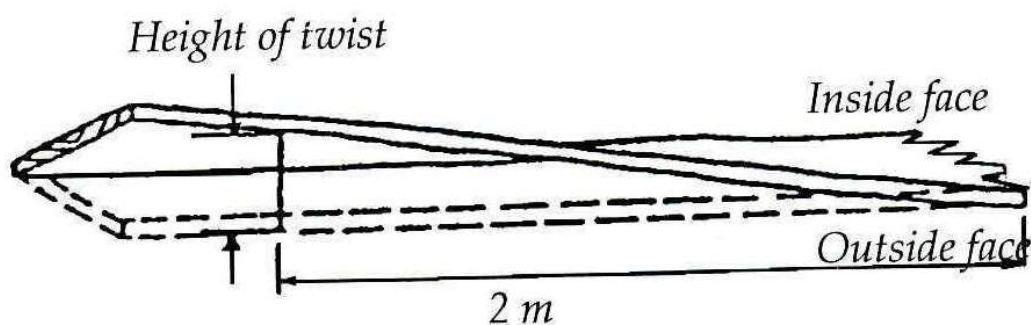
Mittaukset suoritettiin kuudesta rimapakettikuormasta. Kolme WSAB-kuivaamosta ja kolme Valutec-kuivaamosta. Kummankin kuivaamon kolmesta rimapaketista kaksi oli ns. yläpaketteja ja yksi oli alapaketti. Kuten tekstissä aikaisemmin mainittiin, rimapaketit kulkevat kuivaamoissa rinnan ja kaksi päällekkäin (ylä- ja alapaketti). Näin ollen painimen vaikutus alemmassa paketissa on olematon, koska ylemmän paketin massa on niin suuri, että se pitää alemman paketin ylemmätkin kerrokset suorana kuivauksen aikana.

Ensimmäisenä kuivauskuormien kerroksissa etsittiin sahatavarakappaleista pintahalkeamia, väriläiskiä tai muuta huomioitavaa. Pintahalkeamat huomioitiin vain jos halkeaman pituus oli vähintään puoli metriä. Tämän jälkeen mitattiin kerroksesta kosteus jokaisesta kappaleesta. Kosteusmittareina käytettiin Valmetin Walteria sekä Gannin hydromette-mittaria, jotka mittaavat kosteuden sähkövastuksen avulla. Kosteus

mitattiin jokaisesta kappaleesta kohdasta, joka oli noin yksi kolmasosa sahatavaran pituussuunnassa jommastakummasta päästä, noin yksi kolmasosan syvyydeltä sekä yksi kolmasosan leveydeltä. Viimeisenä kerroksesta mitattiin kierous kappaleen kohdasta, jossa kieroutta oli eniten. Kierous mitattiin 1,5 metrin matkalta ja merkittiin 5 mm tarkkuudella. Kieroutta ei kumminkaan mitattu aivan kappaleen päästä, vaan vähintään 30 cm kappaleen päästä.

Kierouden mittaamisessa välineinä oli rullamitta ja suora rima. Mittaus suoritettiin niin, että sahatavara asetettiin syrjälleen sahatavarakuormille tarkoitetuille aluspuiden päälle, joka oli n. 25cm korkea. Avustava henkilö piti sahatavaran suorassa puolentoista metrin päässä mittauspisteestä. Kun sahatavara oli asetettu paikalleen, asetettiin rima mittauspisteessä pystysuoraan niin, että se osuu sahatavaran alempaan särmään, jolloin kierous saatiin mittaamalla ylemmän särmän ja riman välinen etäisyys. Mittausolosuhteiden vuoksi kierouden mittaamisessa käytettiin 5 mm tarkkuutta.

Pohjoismaisen sahatavaran lajitteluohjeiden mukaan kierous tulee mitata kuvan 5 mukaisesti 2 metrin matkalta. Tässä työssä kierous mitattiin 1,5 metrin matkalta, koska Kaukaan sahalla on aiemmin tehty takuukokeita, joissa mittaukset tehtiin myös 1,5 metrin matkalta.



Kuva 5. Pohjoismaisen sahatavaran lajitteluohjeen mukaisesti mitattu kierous. (Nordic timber, 1994, s. 59)

5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Osiossa esitetään mittaustulokset WSAB- ja Valutec-kuivaamossa kuivatuista kuormista sekä tarkastellaan tuloksia. Tarkasteltavia kohteita ovat kierous, kosteus, halkeilut sekä WSAB-kuivaamossa ilmenneet väriläiskät.

WSAB-kuivaamon mittaustuloksissa jätettiin tarkoituksella joistakin tulosten tarkastelukohteista ensimmäinen mitattava kuorma pois (Kuorma 1.), sillä kuormanpainin ei yltänyt painamaan kyseistä kuormaa. Tämän vuoksi se ei ole vertailukelpoinen paketti, etenkin kieroutta tarkasteltaessa. Kyseiseen asiaan paneudutaan tarkemmin tässä osiossa.

5.1 WSAB

Ensimmäiset mittaukset suoritettiin 30–31.10.2008, vuorokausi kuivauskuormien WSAB-kuivaamosta ulos tulemisesta. Tutkimuksen kohteena olivat halkeamat, kosteus ja kierous sekä kuivaamossa ilmenneet valumajäljet.

5.1.1 Valumajäljet

Ensimmäinen kuorma, josta mittaukset suoritettiin, oli WSAB-kuivaamossa kuivattu yläpaketti. Kuormaa ensin silmämääräisesti tarkastellessa huomio kiinnittyi päällimmäisen kerroksen sahatavarakappaleissa oleviin valumajälkiin, jotka olivat levinneet puhaltimien vaikutuksesta kuvan 6 tavalla useisiin sahatavarakappaleisiin.



Kuva 6. Valumajälki.

Liitteessä I voidaan nähdä kuinka likaisesta vedestä aiheutuneet valumajäljet ovat levittyneet kuivauskuorman viiteen ylimpään kerrokseen. Neljässä kerroksessa valumajälki oli kymmenessä kappaleessa kerroksen kahdeksastatoista kappaleesta ja yhdessä kerroksessa yhdessätoista kappaleessa.

Tuloksista ja Liitteessä I esitetystä taulukosta nähdään kuinka valumajälkiä on ainakin viidessä ylimmässä kerroksessa. Valumajäljet voivat aiheuttaa ongelmia sahatavaran laatulajittelussa. Automaattinen kameralajittelu voi mahdollisesti nähdä jäljen mm. oksana, halkeamana, kaarnarosona tai että kuorta on edelleen pinnalla. Tämä voi aiheuttaa tarpeettoman sahatavaran laadun putoamisen alempaan laatuluokkaan.

Tuloksista voidaan vetää johtopäätös, että jos kuivaamossa on putkia tai venttiileitä, jotka vuotavat paljon vettä ja likainen vesi pääsee valumaan kuivauskuorman päälle, eivät valumajäljet jää päällimmäisiin kerroksiin vaan kuivaamon puhaltimien avustuksella vesi voi kulkeutua vähintään viiteen ylimpään kerrokseen. Vuodon rajuus ja kuivausaika ovat tässä tapauksessa ne muuttuvat tekijät, joista riippuu kuinka pahat jäljet sahatavarakappaleisiin tulee ja kuinka moneen kerrokseen se leviää.

5.1.2 Halkeamat

WSAB:n kuivaamosta saapuneista kolmesta kuormasta ja 270 sahatavarakappaleesta ei löytynyt yhtään pintahalkeamaa. Tästä pystytään vetämään johtopäätös, että kuormanpainajat eivät ainakaan merkittävästi lisää halkeilua sahatavarassa.

5.1.3 Kosteus

Kosteus mitattiin joka kerroksessa valumajälki- ja halkeamatarkastelun jälkeen. Taulukosta 2 havaitaan, kuinka ensimmäisessä mitattavassa kuormassa kosteus oli suurin verrattuna muihin kuormiin sekä hajonta pienin. Pienin kosteus oli toisessa mitattavassa kuormassa ja suurin hajonta taas kuormassa 3. Keskiarvo kaikista kuormista on 7,3 % joka on reilusti alle tavoitekosteuden.

Taulukko 2. Kuormien kosteudet, kosteuden hajonnat sekä niiden keskiarvot viidestä ylimmästä kerroksesta WSAB-kuivaamosta saapuneista kuormista.

	Kuorma 1. (yläpaketti)	Kuorma 2. (yläpaketti)	Kuorma 3. (alapaketti)	KA YHT.
Kosteus KA	7,82 %	6,92 %	7,16 %	7,3 %
Hajonta	0,56 %	0,85 %	0,91 %	0,77 %

Liitteestä II nähdään kuinka kuorma 1:n keskimääräinen kosteus on toista yläpakettia ja alapakettia korkeampi. Ero keskimääräisissä kosteuksissa kuorma 2:n ja kuorma 3:n välillä on niin pieni, että se on normaalia heittoa puutavaran kosteusmittauksissa. Kun vielä otetaan huomioon sähkövastuskosteusmittarin epätarkkuus alhaisissa kosteuksissa. Sen sijaan kuorma 1:n kierouden keskiarvo on jonkin verran suurempi kuin kahden muun paketin.

Taulukosta 3 nähdään kuinka kosteus on jakautunut eri kerrosten välillä yläpaketeissa, joissa kuormanpainin on ollut painamassa kuormaa, sekä alapaketissa, joka on yläpaketin alla kuivauksessa. Kuormassa 1 kerrosten välinen heitto on lähes olematon.

Kuormassa 2 sen sijaan ensimmäisen kerroksen keskiarvo on noin yhden prosenttiyksikön verran neljää alempaa kerrosta suurempi. Kerroksissa 2-4 kosteuden keskiarvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Alapaketissa neljäs ja viides kerros ovat noin 0,5 prosenttiyksikköä kolmea ylintä kerrosta kosteampaa.

Taulukko 3. Kosteus viidessä ylimmässä kerroksessa WSAB:n kuivaamosta saapuneista kuormista.

	1. Kerros KA	2. Kerros KA	3. Kerros KA	4. Kerros KA	5. Kerros KA
Kuorma 1. (Yläpaketti)	7,9 %	7,8 %	7,6 %	8,0 %	7,7 %
Kuorma 2. (Yläpaketti)	7,7 %	6,9 %	6,7 %	6,6 %	6,8 %
Kuorma 3. (Alapaketti)	7,0 %	6,9 %	7,0 %	7,5 %	7,4 %

Viiden ylimmän kerroksen välillä keskimääräinen kosteus on kaikissa kuormissa hajonnan suuruus huomioon ottaen olematon. Ainoastaan kuormassa 2 havaitaan, että ylin kerros on jonkin verran alempia kerroksia kosteampi. Tämä on yllättävä tulos koska ilmankierto on suurimmillaan pakettien ylimmissä kerroksissa. On siis mahdollista, että suuri kosteusprosentin arvo ensimmäisessä kerroksessa on kuormanpainimesta aiheutunut, sillä kuormanpainimen ja ylimmän kerroksen välillä ei ilma pääse kiertämään.

Kaiken kaikkiaan voidaan sanoa, että WSAB-kuivaamossa kuivatuissa paketeissa kosteusprosentti on aivan liian alhainen. Suurin mitattu kosteusarvo oli 9,5 % ja pienin arvo 6,0 %. Näitä kuuden prosentin kuivuuteen tai alle kuivuneita kappaleita oli 62 kappaletta. WSAB:n kosteudet mitattiin Valmet Walteri kosteusmittarilla, joka ei näytä 6 % alemmas tuloksia, joten kosteusprosentti on varmasti useassa kappaleessa ollut alle 6 %. Merkille pantavaa tässä on se, että 6 %:iin kuivuneet kappaleet olivat kaikki kuormissa 2 ja 3.

Huomioitavaa WSAB-kuivaamossa kuivatuille kuormille 1 ja 2 on se, että kuivausprosessissa kostutus laitettiin pois päältä ensimmäisessä vaiheessa rikkinäisen pasutusjärjestelmän vuoksi (aiheuttaa valumajälkiä). Siitä huolimatta suurin kosteusprosentti oli kuormassa 1, jossa oli kostutus pois päältä kuivauksen ensimmäisessä vaiheessa. Kostutuksen puuttuminen kuormissa 1 ja 2 ensimmäisen vaiheen loppuosassa teki sahatavarakappaleista kuivempia ja näin ollen pienensi yläpaketeista mitattujen kosteuksien keskiarvoa.

5.1.4 Kierous

Ensimmäinen mitattava kuorma WSAB-kuivaamosta oli kuorma 1, joka oli yläpaketti. Kuorma 1:n kierouden keskiarvoksi viidestä ylimmästä kerroksesta saatiin 7,39 mm ja hajonnaksi 5,10 mm. Toista kuormaa mitatessa huomasi jo silmämääräisesti sahatavaran olevan merkittävästi suurempaa ensimmäiseen kuormaan verrattuna. Kuorma 2, joka myös oli yläpaketti, kierouden keskiarvoksi saatiin 3,72 mm ja hajontaa mittaustuloksissa oli 3,71 mm. Kuorma 3 oli alapaketti ja kierouden keskiarvo kuorman viidessä ylimmässä kerroksessa oli 2,78 mm ja hajontaa tuloksissa oli 3,10 mm.

Liitteestä IV nähdään pylväsdiagrammina, kuinka paljon kieroutta oli keskimäärin viidessä ylimmässä kerroksessa WSAB-kuivaamossa kuivatuissa kuormissa. Pylväsdiagrammista ja aikaisemmin esitetyistä tuloksista havaitaan kuinka kuorma 1:stä mitatun kierouden keskiarvo on lähes kaksinkertainen kuorma 2:sta mitattuun keskiarvoon verrattuna, joka on myös yläpaketti. Odotetusti alhaisin kierouden keskiarvo oli kuormassa 3, jossa sahatavara on yläpaketin massan avulla pysynyt suorana.

WSAB-kuivaamossa ensimmäisenä mitatun yläpaketin sahatavarakierouden keskiarvo oli aivan liian suuri. Kyseisen kuorman kierouden keskiarvot olivat samaa luokkaa kuin kuivaamossa, jossa ei ole paininta. Tuloksista voidaan tehdä johtopäätös, että kyseinen yläpaketti on ollut kuvan 7 lailla vajaa paketti. Tästä syystä kyseinen yläpaketti on kierouksia vertailtaessa vertailukelvoton yläpuolisesti kuormitettu paketti.



Kuva 7. Kuvassa kuivaamosta tulee kuivauskuorma, jonka yläpaketti on vajaa.

Kun vertailee WSAB-kuivaamossa kuivatun yläpaketin ja alapaketin kierouden keskiarvoja eri kerrosten välillä (Taulukko 4), voidaan havaita, että yläpaketin kahdessa ensimmäisessä kerroksessa kierous on lähes kaksinkertainen alapakettiin verrattuna, mutta kolmannelta kerroksesta alaspäin kierous on lähes sama ala- ja yläpaketissa. Tästä voidaan päätellä, että kahdessa ylimmissä kerroksessa on tapahtunut ns. spring back effect -ilmiötä. Alapaketin sahatavara oli seissyt vuorokauden ennen mittaamista ilman mitään painoa päällä. Tämä on aiheuttanut sen, että ylimmissä kerroksissa on ehtinyt tapahtumaan haitallisia muodonmuutoksia.

Taulukko 4. Kierouden keskiarvo viidessä ylimmissä kerroksessa yläpaketissa jossa painoraamit ovat painaneet kuormaa ja alapaketissa.

	1. Kerros KA	2. Kerros KA	3. Kerros KA	4. Kerros KA	5. Kerros KA
Kuorma 2. Yläpaketti	5,8 mm	6,4 mm	2,2 mm	2,8 mm	1,4 mm
Kuorma 3. Alapaketti	3,3 mm	3,3 mm	2,5 mm	1,9 mm	2,8 mm

Yksi kierouteen vaikuttava tekijä on jo aiemmin mainittu kostutuksen puuttuminen kuivauksen ensimmäisen vaiheen loppuosassa. Tämä saattaa hieman lisätä kieroutta, sillä kostutuksen puuttuminen pienentää sahatavarakappaleiden kosteusprosenttia ja mitä kuivemmaksi sahatavara kuivataan, sitä kierommaksi se myös muuttuu.

5.2 Valmet-utec

Toisella mittauskerralla 14–15.1.2009 suoritettiin mittaukset Valutecin kuivaamosta vuorokausi aikaisemmin tulleille kolmelle kuivauskuormalle. Seuraavaksi esitellään Valutecin kuivaamossa kuivattujen kuivauskuormien pintahalkeamien-, kosteuden- sekä kierouden tutkimisesta saatuja tuloksia sekä tarkastellaan saatuja tuloksia.

5.2.1 Halkeamat

Toisin kuin WSAB-kuivaamosta saapuneista kuormista, Valutecin kuivaamosta saapuneista kuormien sahatavaroista löytyi halkeamia. Halkeamien määrä oli kuitenkin vähäinen. Yhteensä halkeamia löytyi 3 kappaletta ja niistä jokainen oli eri kuivauskuormasta.

Ensimmäinen sahatavarakappale, jossa oli halkeama, löytyi ensimmäisen mitattavan kuorman ensimmäisestä kerroksesta. Se oli pituudeltaan 0,52 m ja sijaitti kerroksessa toiseksi laitimmaisena. Yhdessä kerroksessa on 18 sahatavarakappaletta. Kyseinen kappale oli pituudeltaan 5,5 m, jolloin halkeiluprosentti on 9 %. Toinen haljennut sahatavarakappale oli toisen mitattavan kuorman neljännessä kerroksessa. Haljennut kappale oli kerroksen toiseksi laitimmainen ja halkeaman pituus oli 0,6 m. Toinen haljennut kappale oli pituudeltaan 4,3 m ja näin ollen halkeiluprosentti on 14 %. Kolmas kappale jossa oli halkeama, löytyi viimeisen mitattavan kuorman viidennen kerroksen sahatavarakappaleesta. Kappaleesta löydetyn halkeaman pituus oli 0,5 m ja se sijaitti lähes kerroksen keskellä. Kolmannen haljenneen kappaleen pituus oli 4,9 m, joten halkeiluprosentti on 10 %.

Kaikki kolme haljennutta sahatavarakappaletta löytyi eri kuormista ja eri kerroksista. Haljenneiden kappaleiden vähäisestä määrästä voidaan päätellä, että hyvällä kuivauskaavalla syntyy kappaleisiin vähän halkeilua, vaikka kuivaamossa ei olisikaan yläpuolista kuormitusta. Kun lisäksi otetaan huomioon tavoitekosteus, niin pintahalkeamia oli todella vähän Valutecin kuivaamossa kuivatuissa sahatavarakappaleissa.

5.2.2 Kosteus

Taulukosta 5 nähdään, että Valutecin kuivaamossa kuivatuilla kuormilla ei ole suurta eroa kosteuksissa kuormien välillä. Kostein paketti oli kuorma 1, josta mitattiin keskiarvoksi 8,36 % ja kuivin paketti oli kuorma 2, jossa puolestaan keskiarvoksi saatiin 7,95 %. Kuormat 1 ja 2 olivat molemmat yläpaketteja. Alapaketin kosteusprosentin keskiarvoksi saatiin 8,18 %, joka on lähes sama kuin kaikkien pakettien keskiarvo (8,16 %). Hajontaa oli Valutecin kuivaamosta mitatuissa paketeissa noin yksi prosentti. Taulukko 5:n tulokset on ilmoitettu myös pylväsdiagrammina liitteessä 3.

Taulukko 5. Kuormien kosteudet, kosteuden hajonnat sekä niiden keskiarvot viidestä ylimmästä kerroksesta Valutecin kuivaamosta saapuneista kuormista.

	Kuorma 1. (yläpaketti)	Kuorma 2. (yläpaketti)	Kuorma 3. (alapaketti)	KA YHT.
Kosteus KA	8,36 %	7,95 %	8,18 %	8,16 %
Hajonta	1,02 %	0,86 %	1,21 %	1,03 %

Taulukosta 6 nähdään, että Valutecin kuivaamossa kuivatuissa yläpaketeissa ylin kerros oli keskiarvoltaan kuivin kerros viidestä ylimmästä kerroksesta. Etenkin Kuormassa 1 ensimmäisen kerroksen keskiarvo on lähellä seitsemää prosenttia, kun muissa kerroksissa kosteuden keskiarvo on noin 8,5 prosenttia. Kuormassa 2 kerrosten keskiarvot ovat 7,4 % ja 8,7 % välillä ja kuorman 2 kaikkien kerrosten keskiarvo on 7,96 %.

Sen sijaan alapaketissa kosteusprosentin trendi on selvästi nouseva. Kahden ylimmän kerroksen kosteudet ovat lähellä 7 prosenttia, mutta kolmannessa kerroksessa kosteusero nousee toiseen kerrokseen verrattuna 1,9 prosenttiyksikköä. Neljännen ja viidennen kerroksen kosteuksien keskiarvo nousee 9,2 %, joka on taas 0,6 prosenttiyksikön nousu kolmanteen kerrokseen verrattuna.

Taulukko 6. Kosteus viidessä ylimmässä kerroksessa Valutecin kuivaamosta saapuneista kuormista.

	1. Kerros KA	2. Kerros KA	3. Kerros KA	4. Kerros KA	5. Kerros KA
Kuorma 1. (Yläpaketti)	7,2 %	8,8 %	8,6 %	8,9 %	8,4 %
Kuorma 2. (Yläpaketti)	7,4 %	8,0 %	8,7 %	7,9 %	7,8 %
Kuorma 3. (Alapaketti)	7,3 %	6,7 %	8,6 %	9,2 %	9,2 %

Liitteestä II nähdään, että Valutec-kuivaamossa kuivattujen sahatavarakappaleiden kosteuden keskiarvo kaikissa kolmessa kuormassa on lähellä 8 %. Tästä voi päätellä, että kuivaus on onnistunut kaikissa kolmessa Valutec-kuivaamossa kuivatuissa kuormassa. Valutecin kuormissa kosteus mitattiin Gannin Hydromette-kosteusmittarilla, joka näyttää kosteuden alle 6 %, toisin kuin Valmet Walteri, jolla suoritettiin WSAB:n mittaukset. Suurin mitattu kosteusarvo oli 10,3 % ja niitä löytyi 2 kappaletta. Pienin mitattu arvo oli puolestaan 4,8 %. Hajontaa mittauksissa syntyi kaikissa kuormissa keskimäärin 1,02 prosenttiyksikköä ja suurin hajonnan arvo saatiin kuormassa 3, joka oli 1,21 prosenttiyksikkö.

5.2.3 Kierous

Valutecin kuivaamossa ei ole painoraameja. Oletamus ennen mittauksia oli, että sahatavarassa, joka on kuivattu Valutecin kuivaamossa, esiintyy paljon enemmän

kieroutta kuin WSAB-kuivaamossa kuivatussa sahatavarassa. Kuorma 1 kierouden keskiarvoksi viidestä ylimmästä kerroksesta saatiin 9,53 mm ja hajonnaksi 7,82 mm. Toisen yläpaketin (kuorma 2) kierouden keskiarvoksi saatiin 8,61 mm ja hajontaa mittaustuloksissa oli 6,54 mm. Kuorma 3 oli alapaketti ja kierouden keskiarvo kuorman viidessä ylimmässä kerroksessa oli 2,94 mm ja hajontaa tuloksissa oli 3,81mm.

Liitteestä IV nähdään pylväsdiagrammina kuinka paljon kieroutta keskimäärin on ollut viidessä ylimmässä kerroksessa Valutec-kuivaamossa kuivatuissa kuormissa. Pylväsdiagrammista ja aikaisemmin esitetyistä tuloksista voidaan havaita, että ilman kuormanpaininta kieroutta viidessä ylimmässä kerroksessa oli keskimäärin noin 9 millimetriä. Alapaketissa kieroutta oli lähes yhtä paljon kuin WSAB-kuivaamossa kuivatussa alapaketissa.

Kun katsotaan yläpakettien kierouden keskiarvoja kerrosten välillä, huomataan, että ensimmäisissä kerroksissa oli selvästi kierointa sahatavaraa (Taulukko 7). Toisissa kerroksissa kierous oli jo selvästi vähäisempää. Kuorma 2:n kolmannessa kerroksessa kierous väheni reilusti. Sen sijaan kuorma 1:n kolmannessa kerroksessa kierouden keskiarvo nousi yhtä suureksi kuin yläpakettien ensimmäisissä kerroksissa. Neljännen ja viidennen kerroksen kierouden keskiarvo yläpaketeissa oli 5,3–8,6 mm välillä.

Alapaketin kerrosten kierouden keskiarvoissa voidaan havaita laskeva trendi. Taulukosta 7 havaitaan, että viidennessä kerroksessa kierouden keskiarvo on alle puolet siitä, mitä se on ensimmäisessä kerroksessa. Samalla tavalla kuin WSAB-kuivaamossa kuivatuissa paketeissa, myös tässä alapaketissa on tapahtunut ns. spring back effect – ilmiötä.

Taulukko 7. Kierouden keskiarvo viidessä ylimmässä kerroksessa yläpaketeissa ja alapaketissa.

	1. Kerros KA	2. Kerros KA	3. Kerros KA	4. Kerros KA	5. Kerros KA
Kuorma 1. (Yläpaketti)	13,8 mm	8,1 mm	13,6 mm	5,3 mm	6,9 mm
Kuorma 2. (Yläpaketti)	12,5 mm	8,6 mm	5,8 mm	7,5 mm	8,6 mm
Kuorma 3. (Alapaketti)	3,6 mm	3,9 mm	3,3 mm	2,2 mm	1,7 mm

Tuloksista voidaan päätellä, että kierous oli odotetusti suurimmillaan yläpakettien ensimmäisissä kerroksissa. Poikkeuksen muodostaa kuorma 1:n kolmas kerros, jossa kierouden keskiarvo oli yhtä suuri kuin ensimmäisissä kerroksissa. Syytä tähän poikkeavaan tulokseen on vaikea löytää, koska paketti oli suora ja mitään muuta poikkeavaa ei myöskään löytynyt. Yläpakettien tuloksista voidaan myös päätellä, että ylimmästä kerroksesta viidenteen kerrokseen mentäessä kierouden keskiarvo laskee aluksi nopeasti, mutta kierouden väheneminen hidastuu mitä alemmas kuorman kerroksissa mennään.

6 TULOSTEN VERTAILU WSAB- JA VALUTEC KUIVAAMON VÄLILLÄ

Seuraavaksi vertaillaan WSAB- ja Valutec-kuivaamossa kuivattujen sahatavarakappaleiden halkeilu-, kosteus- ja kieroustuloksia. WSAB-kuivaamossa on pneumaattinen kuormanpainin ja Valutecin kuivaamossa kuivauskuormia ei kuormiteta lainkaan.

6.1 Halkeilu

Halkeilua ilmeni molemmista kuivaamoista saaduissa tuloksissa todella vähän. Tämä on yllättävä tulos siinä mielessä, että kuormat oli kuivattu erikoiskuivaksi (10 %). Mitään johtopäätöksiä siitä, onko kuormanpainimella vaikutusta halkeiluun, ei voida tässä tutkimuksessa vetää vähäisten haljenneiden sahatavarakappaleiden määrän vuoksi. Lisäksi yksi haljenneista kappaleista löytyi alapaketista. Alapaketin päällä on yläpaketti, jolloin siinä on automaattisesti massa painamassa päällä.

6.2 Kosteus

Molemmissa kuivaamoissa kuivatuissa sahatavarakappaleissa pysyttiin keskimäärin alle tavoitekosteuden (10 %). Kosteuden vertailussa kuivaamoiden välillä huomataan, että Valutec-kuivaamon kuormissa kosteuden keskiarvo on lähes prosenttiyksikön verran suurempi kuin WSAB-kuivaamon kuormissa (Liite II). Ero on merkittävä kun lisäksi huomioidaan, että WSAB-kuivaamon kuormissa Valmet Waltteri-sähkövastusmittari ei mitannut 6 % pienempiä kosteusprosentteja.

Liitteestä III nähdään, kuinka kosteus on jakautunut eri kerrosten välillä yläpaketeissa. Liitteessä III 1(2) esitetystä viivakaaviossa on ainoastaan arvot WSAB-kuivaamossa kuivatusta kuormasta 2, jossa kuormanpainin on ollut painamassa kuormaa. Vertailukelpoisuuden vuoksi myös liitteessä III 2(2) esitetystä viivakaaviossa on otettu arvot vain toisesta Valutecin kuivaamossa kuivatusta yläpaketista (kuorma 2). Kuvaajista näkee selvästi kuinka WSAB-kuivaamossa kuivatussa yläpaketin

sahatavarakappaleissa hajonta kosteusmittauksissa oli selvästi pienempi kuin Valutecin kuivaamossa kuivatussa yläpaketin kappaleissa.

Hajontaa Valutec-kuivaamossa kuivatuissa kuormissa oli keskimäärin 0,26 prosenttiyksikköä enemmän kuin WSAB-kuivaamossa kuivatuissa kuormissa. Suurempi hajonta selittyy osittain sillä, että WSAB-kuivaamossa kuivatuille kuormille mittauksissa käytettiin Valmet Waltteri-sähkövastusmittaria, joka ei näytä alle kuuden prosentin kosteuksia. Valutecin kuivaamossa kuivatut sahatavarat mitattiin puolestaan Gann Hydromette-sähkövastusmittarilla, joka näyttää myös alle 6 % kosteudet. Todennäköisesti useat WSAB-kuivaamossa kuivatuista sahatavarakappaleista olivat kosteudeltaan alle 6 %. Jos mittaukset olisi tehty Gann Hydromette-mittarilla, olisi hajonta suurempi myös WSAB-kuivaamosta saaduissa mittaustuloksissa.

6.3 Kierous

WSAB-kuivaamossa kuivatun ensimmäisen yläpaketin kierouden keskiarvo oli lähes yhtä suuri kuin Valutec-kuivaamossa kuivattujen yläpakettien (Liite IV). Tämä vahvistaa teorian, että yläpaketti oli vajaa ja kuormanpainin ei yltänyt painamaan kuormaa. Sen sijaan toisen WSAB-kuivaamossa kuivatun yläpaketin kierouden keskiarvo oli viidessä ylimmässä kerroksessa 3,7 mm, kun taas Valutecin kuivaamossa keskiarvot olivat yläpaketeissa 9,5 mm ja 8,6 mm. Kuormitettu yläpaketti oli prosenteissa ilmoitettuna 61 % suurempaa kuin sahatavara enemmän kieroutuneessa kuormittamattomassa yläpaketissa ja 57 % suurempaa kuin sahatavara vähemmän kieroutuneessa kuormittamattomassa yläpaketissa.

Kun vertaillaan WSAB-kuivaamon yläpaketin ja Valutec-kuivaamon yläpakettien kierouden keskiarvoja viidessä ylimmässä kerroksessa niin voidaan havaita, että Valutecin kuivaamossa kuivatuissa yläpaketeissa on kieroutta useimmissa kerroksissa vähintään kaksinkertaisesti WSAB-kuivaamon yläpakettiin verrattuna (Taulukko 8). Poikkeuksen muodostaa WSAB-kuivaamossa kuivatun paketin toisen kerroksen keskiarvo, joka on vain 1,7 mm pienempi kuin Valutecin kuivaamossa kuivatun ensimmäisen kuorman toisen kerroksen keskiarvo.

Taulukko 8. Kierouden keskiarvo viidessä ylimmässä kerroksessa yläpaketeissa. (Taulukosta jätetty WSAB kuivaamossa kuivattu kuorma 1 pois vertailukelvottomana)

Yläpaketti	1. Kerros KA	2. Kerros KA	3. Kerros KA	4. Kerros KA	5. Kerros KA
Valutec (Kuorma 1.)	13,8 mm	8,1 mm	13,6 mm	5,3 mm	6,9 mm
Valutec (Kuorma 2.)	12,5 mm	8,6 mm	5,8 mm	7,5 mm	8,6 mm
WSAB (Kuorma 2.)	5,8 mm	6,4 mm	2,2 mm	2,8 mm	1,4 mm

Liitteessä IV on esitetty WSAB-kuivaamon vertailukelpoisen yläpaketin ja alapaketin sekä Valutec-kuivaamon kaikkien pakettien viiden ylimmän kerroksen kierouden keskiarvot samassa viivakaaviossa. Kaaviosta selviää hyvin mitkä kaksi pakettia on kuivattu ilman yläpuolista kuormitusta. Kaavio havainnollistaa myös hyvin kuinka kuormitetun paketin keskimääräinen kierous on kahdessa ensimmäisessä kerroksessa muutaman millimetrin suurempi kuin alapaketeissa, mutta kolmannesta kerroksesta eteenpäin kierouden keskiarvo liikkuu aivan yhtä pienissä lukemissa kuin alapaketeissa.

Valutec-kuivaamossa kuivatuissa sahatavarakappaleissa oli tilastollisesti paljon enemmän kieroutta kuin WSAB-kuivaamossa kuivatuissa sahatavarakappaleissa. Kuvassa 8 on yhdistetty kaksi kuvaa. Ylemmässä kuvassa on Valutec-kuivaamossa kuivattu yläpaketti, joka on silmämääräisestikin paljon kierompaa kuin alemman kuvan WSAB-kuivaamossa kuivattu yläpaketti.



Kuva 8. Ylempänä Valutecin kuivaamossa kuivattu yläpaketti ja alempana WSAB:n kuivaamossa kuivatun yläpaketin ylimmät kerrokset.

7 TULOSTEN VERTAILU AIEMPIIN TUTKIMUKSIIN

Tutkimuksia yläpuolisesta kuormittamisesta on julkaistu hyvin vähän. Junnikkalan sahalla on tehty opinnäytetyö, joka käsittelee yläpuolista kuormittamista kamarikuivaamossa. Tämä ei kuitenkaan ole vertailukelpoinen kanavakuivaamon kanssa. Junnikkalassa tehdyssä tutkimuksessa yläpuolisesti kuormitetun dimensioltaan 50 x 100 männyn kieroutumisen keskiarvo viidessä ylimmässä kerroksessa oli 7,28 mm. Kun verrataan Junnikkalan sahalla saatua tulosta tässä tutkimuksessa saatuun tulokseen (3,72 mm), huomataan kierouden olevan lähes kaksinkertainen.

Vertailukelpoisin tutkimus tähän tutkimukseen verrattuna on Kaukaan sahalla WSAB-kuivaamolle tehty takuukoemittaus. Kyseinen takuukoe on tehty usealle eri dimensiolle. Lähin dimensio verrattuna tämän työn tutkittavaan dimensioon oli 50 x 150 millimetriä. Tästä syystä vertaillaan kierouden arvoja kierousprosenttina. Eri dimensioita vertailtaessa täytyy myös muistaa, että kerrokseen mahtuu eri määrä kappaleita, jolloin vertaillaan myös erikokoista otantamäärää. Vertailun kannalta huono asia on myös se, että tavoitekosteus takuukokeessa käytetyissä kuivauskuormissa oli 18 % kun taas tässä työssä tavoitekosteus sahatavarassa oli 10 %. Tämä on huono asia sen vuoksi, että mitä kuivemmaksi sahatavara kuivataan, sitä enemmän siinä tapahtuu muodonmuutoksia. Vertailukelpoisuutta lisää kuitenkin se, että takuukokeessa kierous on mitattu puolentoista metrin matkalta niin kuin tässäkin työssä.

7.1 Tulosten vertailu Kaukaan sahalla WSAB-kuivaamoon tehtyyn takuumittaukseen

Takuukokeessa, niin kuin ei tässäkään tutkimuksessa, löytynyt yhtään pintahalkeamaa viidestä ylimmästä kerroksesta. Takuukokeessa tutkittiin kahdeksan kerrosta ja kuudennesta kerroksesta löytyi yksi pintahalkeama, jonka halkeiluprosentti oli 10 %. Kosteusprosentteja ei pysty vertailemaan, sillä tutkimuksissa oli eri tavoitekosteudet. Takuukokeen ja tämän tutkimuksen kieroudet esitetään kierousprosentteina, jotta pystytään vertailemaan kahden eri dimension kierouksia. Takuukokeen kierousprosentin keskiarvoksi yläpuolisesti kuormitetun yläpaketin viidestä ylimmästä kerroksesta saatiin

2,56 % ja hajonnaksi 4,53 %. Tässä tutkimuksessa vastaavaksi kierousprosentin arvoksi saatiin 3,72 % ja hajontaa kierousprosentissa oli 3,71 %. Kierousprosentti on takuukoemittauksessa 1,16 prosenttiyksikköä pienempi kuin tässä tutkimuksessa. Kierousprosentit ovat molemmissa tutkimuksissa hyvin alhaiset. Takuukoemittauksessa kierousprosentti on silti yli kolmanneksen pienempi. Tällainen ero ei kuitenkaan ole suuri, kun otetaan huomioon mittausten eri otantamäärä, dimensio ja etenkin tavoitekestaus.

Taulukossa 9 esitetään kierousprosentit yläpuolisesti kuormitetun yläpaketin viidessä ylimmässä kerroksessa takuukoemittauksessa ja tämän työn vertailukelpoisessa kuormassa. Taulukosta voidaan havaita, kuinka ensimmäisessä kerroksessa kierousprosentit ovat lähes samat, mutta jo toisen kerroksen tulokset eroavat paljon toisistaan. Takuukoemittauksessa kierousprosentti tippui toisessa kerroksessa 1,7 %:iin, kun taas tässä tutkimuksessa kierous kasvoi 6,4 %:iin. Kolmannessa ja neljännessä kerroksessa takuukoemittauksessa kierousprosentti pysyi 1,4 %:ssa, kun taas tässä tutkimuksessa se oli keskimäärin 2,5 %. Viidennessä kerroksessa takuukoemittauksen kierousprosentti nousi jopa 3,1 %:iin. Tämän tutkimuksen kierousprosentti laski sen sijaan jo 1,4 %:iin.

Taulukko 9 Takuukoemittauksen ja työssä saadut kierousprosentit viidessä ylimmässä kerroksessa.

Yläpaketti (WSAB)	1. Kerros KA	2. Kerros KA	3. Kerros KA	4. Kerros KA	5. Kerros KA
Takuukoemittaus	5,3 %	1,7 %	1,4 %	1,4 %	3,1 %
Kuorma 2.	5,8 %	6,4 %	2,2 %	2,8 %	1,4 %

Erot tutkimuksissa kerrosten välillä olivat suurimmat toisessa ja viidennessä kerroksessa. Takuukoemittauksen kierousprosentin kohtalaisen suuri pudotus ja tämän tutkimuksen kuorman kierousprosentin nousu toisessa kerroksessa on todennäköisesti vain sattumaa, sillä heittoa ei kuitenkaan ole ns. hälyttävän paljon. Takuukoemittauksessa kierousprosentin yli kaksinkertaistuminen viidennessä kerroksesta neljänteen kerrokseen ja tämän tutkimuksen yläpaketissa tapahtuvat

kierouden keskiarvon vaihtelut kerrosten välillä eivät ole niin suuria, että syytä vaihteluille kannattaisi käydä tarkemmin tutkimaan. Muissa kerroksissa eroa syntyi vähän.

Takuukoemittauksessa oli odotetusti pieni kierousprosentin keskiarvo viidessä ylimmässä kerroksessa. Kierouden tuloksissa tapahtui jonkin verran vaihtelua molemmissa tutkimuksissa, mutta tulokset ovat silti hyvin pitkälti samansuuntaiset. Tuloksista voidaankin päätellä, että Kaukaan sahalla WSAB-kuivaamossa päästään alhaisiin kierousprosentin arvoihin myös sydänlankuissa.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen lähtökohtana oli tutkia WSAB- ja Valutec-kuivaamossa kuivattujen kuivauskuormien sahatavarakappaleista mitattuja halkeilun, kosteuden ja kierouden tuloksia sekä selvittää yläpuolisen kuormituksen vaikutusta sahatavaran halkeiluun, kosteuteen ja kierouteen. Lisäksi tutkimustuloksia verrattiin aikaisemmin yläpuolisesta kuormittamisesta tehtyihin tutkimuksiin.

Tutkimuksessa tutkittiin pintahalkeamat, kosteus ja kierous yhteensä kuudesta kuivauskuormasta, kolme Valutec-kuivaamosta ja kolme WSAB-kuivaamosta. Kummankin kuivaamon kolmesta kuormasta kaksi oli yläpaketteja ja yksi oli alapaketti. Yhdestä paketista tutkittiin viisi ylintä kerrosta. Näin ollen mitattavia sahatavarakappaleita tuli 270 kappaletta per kuivaamo. Kuormanpainin ei painanut toista WSAB-kuivaamossa kuivattua yläpakettia, jolloin tutkimuksessa oli vain yksi vertailukelpoinen kuormitettu yläpaketti.

Työn vielä ollessa kesken, likaista vettä vuotanut suutin oli korjattu ja valumajälkiä ei ole enää syntynyt. Jos kuivaamossa pasutusjärjestelmä on rikki ja se vuotaa likaista vettä merkittävästi, kannattaa tämä korjata mahdollisimman pian, sillä vesi joka pääsee valumaan kuivauskuorman aiheuttaa värihaittoja useassa kuivauskuorman kerroksessa. Valumajälkien määrä ja levinneisyys on suoraan verrannollinen kuivausaikaan, sillä mitä kauemmin kuorma pysyy valumakohdan alla, sitä enemmän valumajälkiä on havaittavissa kuorman sahatavarakappaleissa.

Mitään johtopäätöksiä yläpuolisen kuormittamisen vaikutuksista pintahalkeiluun ei tutkimuksen perusteella voida tehdä, koska WSAB-kuivaamossa kuivatuissa sahatavarakappaleissa ei löytynyt yhtään halkeamaa ja Valutec-kuivaamossa kuivatuista halkeamia löytyi vain kolme.

Tavoitteena Kaukaan sahalla pidetään 10 %:n kosteuteen kuivattaessa 8 %:n kosteutta, jolloin pystytään minimoimaan yli 10 % kosteuteen kuivaneet. Kuivaus ei onnistunut WSAB-kuivaamossa kuivatuissa kuormissa hyvin. Kosteusprosentin keskiarvo WSAB-kuivaamossa kuivatuissa kuormissa oli liian pieni (7,3 %). Tämä on hyvin pieni lukema

kun ottaa huomioon, että sähkövastusmittari ei mitannut 6 % pienempiä tuloksia. Sahatavarakappaleita, joiden kosteusprosentti oli kuusi tai alle, löytyi 62 kappaletta WSAB-kuivaamossa kuivatusta 270 kappaleesta. Alhainen kosteusprosentti sahatavarakappaleissa saattoi johtua osittain siitä, että kostutus laitettiin pois päältä kuivauksen ensimmäisen vaiheen loppuosassa. Kostutus laitettiin pois päältä, koska kuivaamohenkilökunta huomasi pasutusjärjestelmän vuotavan. Tällä ei kuitenkaan voida selittää kuorman 3 alhaista kosteusprosentin keskiarvoa (7,16 %), sillä kyseisessä kuormassa kostutus oli kuivauksen ensimmäisessä vaiheessa normaalisti päällä. Jos kosteusprosentin keskiarvo on näin alhainen normaalisti, on harkittava kuivauskaavan vaihtoa. Liian alhaiseksi kuivattaessa aiheutuu merkittäviä kustannuksia energiankulutuksen vuoksi sekä muodonmuutosten ja muiden kuivausvikojen määrä lisääntyy. Lisääntyneet kuivausviat taas aiheuttavat sen, että syntyy myös hylkykappaleita enemmän, joka taas johtaa siihen, että kappaleista ei saada myydessä sitä arvoa, mikä olisi oikealla kuivauskaavalla mahdollista saada. Valutecin kuivaamossa kuivattujen kaikkien kuormien kosteusprosentin keskiarvo sen sijaan oli 8,2 %, joka on optimaalisempi keskiarvo kuin WSAB-kuivaamosta saatu keskiarvo.

Yläpuolinen kuormittaminen vähentää Espingin (1988) mukaan sahatavaran kieroutta kuorman ylimmissä kerroksissa 50 %. Myös EU:n Straight-projektissa (2005) saatiin kuormittamisesta tulos, että dimensioltaan 50 x 100 kuusisahatavaran kieroutuminen vähenee jopa 70 % kuormittamattomaan sahatavaraan verrattuna. Tässä tutkimuksessa kierous väheni viidessä ylimmässä kerroksessa keskimäärin 59 %. Tulos on siis samansuuntainen aikaisemmin tehtyjen tutkimustulosten kanssa. Tosin aikaisemmissa tutkimuksissa ei ole ilmoitettu monesta kerroksesta kierous on tutkittu ja otettu mukaan laskuihin, jolla on oleellinen merkitys kieroutta verrattaessa. Vertailukelpoisuutta vähentää myös se, että työssä kierous mitattiin 1,5 m matkalta, kun taas muissa tutkimuksissa, lukuun ottamatta Kaukaalla tehtyä takuukoemittausta, kierous on mitattu 2 m matkalta.

Kun vertaillaan yläpuolisesta kuormituksesta tehtyjä tutkimuksia, ongelmaksi muodostuu vertailukelpoisuus. Jokaisella sahalla on erilainen kuivaamo ja kuivauskaava sekä tulokset riippuvat myös mitattavien kerrosten määrästä (otantamäärä), dimensiosta, puulajista, tavoitekosteudesta, sahauspinnasta (etäisyys keskustasta) ja rimojen

lukumäärästä. Tutkimustulokset ovat siis suuntaa antavia. Voidaankin sanoa, että tämän tutkimuksen kierouden tulokset ovat samansuuntaiset kuin muiden tutkimusten tulokset.

Hylkäysrajana Kaukaan Sahan lajittelussa kierouden suhteen dimensiolla 50 x 100 mm on 20 mm / 2,0 m. Kierous mitattiin työssä 1,5 m matkalta, jolloin ei voida tehdä suoraan johtopäätöksiä, kuinka moni sahatavarakappale olisi tullut hylätyksi lajittelussa. Tulokset olisi pystytty redusoimaan vastaamaan 2 m matkaa, mutta työssä käytetty 5 mm tarkkuus väärentäisi tuloksia edelleen ja näin ollen hylättyjen kappaleiden tutkiminen rajattiin työn ulkopuolelle.

Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että yläpuolinen kuormittaminen vähentää selvästi kieroutta yläpaketin viidessä ylimmässä kerroksessa. Tutkimuksessa ei tutkittu tarpeeksi montaa kerrosta, jotta voisi sanoa monennessä kerroksessa kuormittamattoman yläpaketin oma massa painaa sahatavaraa niin paljon, että painoraamien kuorma muuttuu merkityksettömäksi. Liitteissä esitettyjen kuvaajien perusteella voi kuitenkin päätellä, että sahatavara on kuormittamattomassa yläpaketissa kierompaa vielä useassa kerroksessa viidennestä kerroksesta alaspäin verrattuna kuormitettuun yläpakettiin.

Tutkimuksen tuloksista voidaan vetää johtopäätös, että tulevaisuudessa kuivaamoinvestoinneissa on kannattavaa sijoittaa yläpuolisiin kuormittajiin. Tämä tulkinta on työssä tehty ainoastaan kierouden vähenemisen perusteella. Monilla kuivaamovalmistajilla on nykyään tarjolla pneumaattisia ja hydraulisia painimia, joiden asentaminen käy kätevästi valmistusvaiheessa. Investoitaessa uuteen kuivaamoon painoraamit tuovat tietysti lisäkustannuksia, mutta kuivaamoiden käyttöikä huomioon ottaen ne maksavat itsensä takaisin varmasti ennen kuivaamosta luopumista. Betonipalkkien käyttöä suurissa määrin yläpuolisena kuormittajana ei voida suositella Kaukaan sahalle. Painot vaativat paljon tilaa ja kun kyseessä on Suomen suurin saha, niin suuret määrät palkkeja veisivät piha-alueella todella paljon tilaa ja niiden kuljettaminen aiheuttaisi trukkikuskeille paljon lisätyötä. Vanhoihin kuivaamoihin pneumaattisen kuormittajan rakentaminen tulisi hyvin kalliiksi ja siksi investoinnin kannattavuutta tulisi vanhoissa kuivaamoissa tutkia tapauskohtaisesti.

LÄHDELUETTELO

Hellsten Harry. UPM-Kymmene, Kaukaan saha. Haastattelut.

Holger Forsén & Veikko Tarvainen. Sahatavaran jatkojalostuksen asettamat vaatimukset kuivauslaadulle ja eri tuotteille sopivat kuivausmenetelmät. Espoo 2004. Otamedia Oy. 67 s. ISBN 951-38-6263-1

O. Isomäki & H. Koponen & A. Nummela & L. Suomi-Lindberg. Puutuoteteollisuus 2. Raaka-aineet ja aihiot 1. painos. Opetushallitus. Edita Prima Oy, Helsinki 2005. 154 s. ISBN 952-13-1448-6

Kanerva Timo. WSAB. Puhelinhaastattelu 9.3.2009.

Kärkkäinen Matti. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna 2007. Karisto Oy. 359 s. ISBN 978-952-5694-10-9

Metlas Oy. Tuoreen sahatavaran käsittely ja kuivaus. Karhula 1990. Karhulan kirjapaino Oy. 94 s. ISBN 951-9309-65-9

Nordic timber. Grading rules for pine and spruce sawn timber. 2nd edition. Markaryds Grafiska 1994. 64 s. ISBN 91-7322-227-5

S. Ormarsson & O. Dahlblom & H. Petersson. A Numerical study of the shape stability of sawn timber subjected to moisture variation. Part 2: Simulation of drying board. Wood Science and Technology 1999. 16 s.

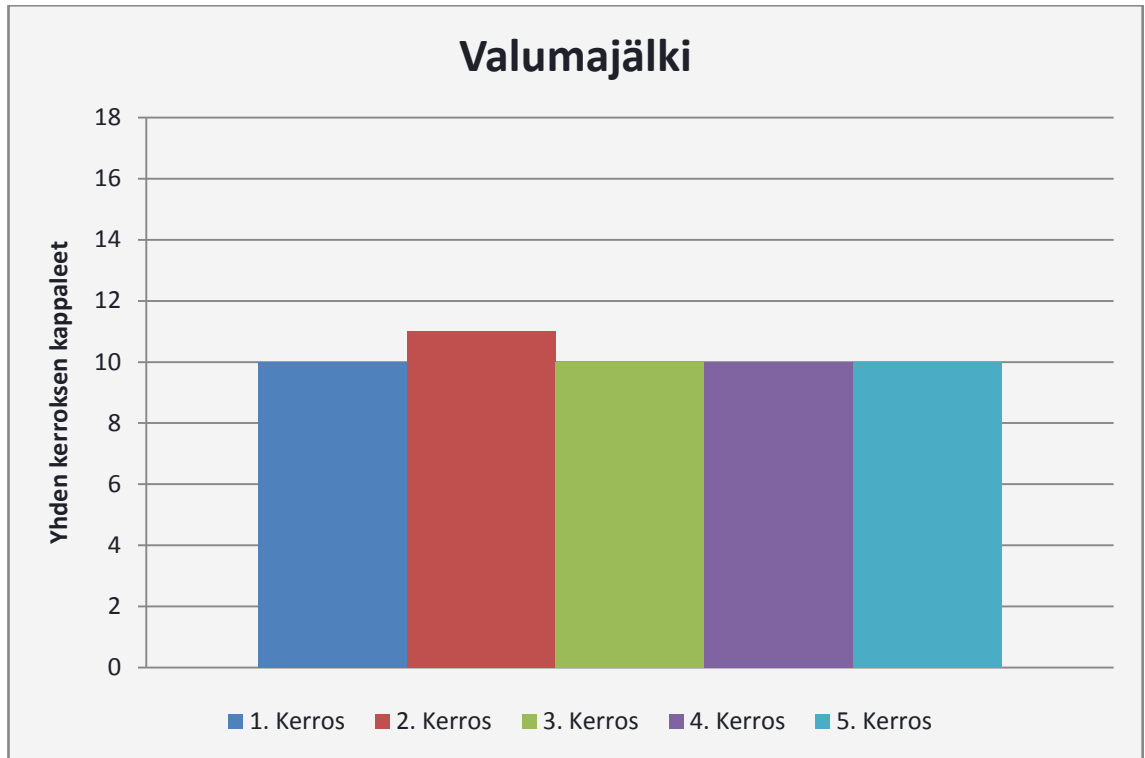
Piispa Kimmo. Luentokalvot 2006, Kuivaustekniikan kurssi.

Sipi Marketta. Sahatavaratuotanto. 2. täydennetty painos. Helsinki 2002. Edita Oy. 207 s. ISBN 952-13-1309-9

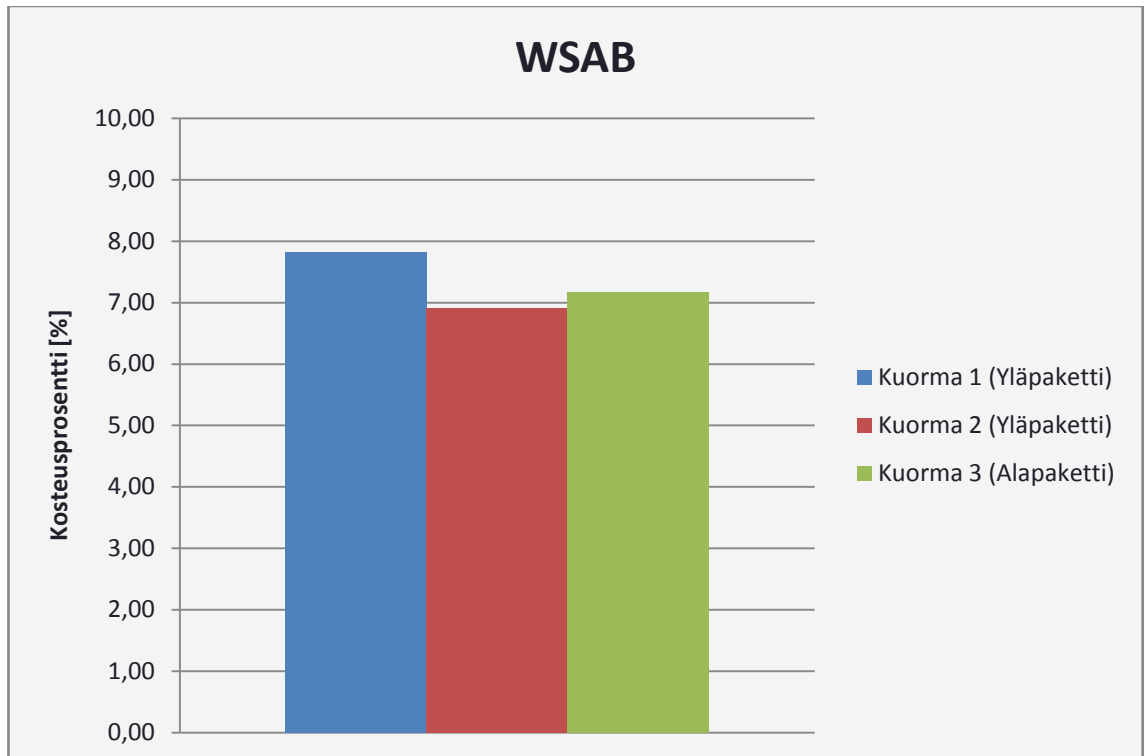
Tarvainen Veikko. Menetelmiä sahatavaran suoruuden parantamiseksi. 2. täydennetty painos. Helsinki 2005. Valopaino Oy. 69 s. ISBN 951-38-6710-2

WSAB Oy. TM12A Kanava 0 Dokumentit. 2007.

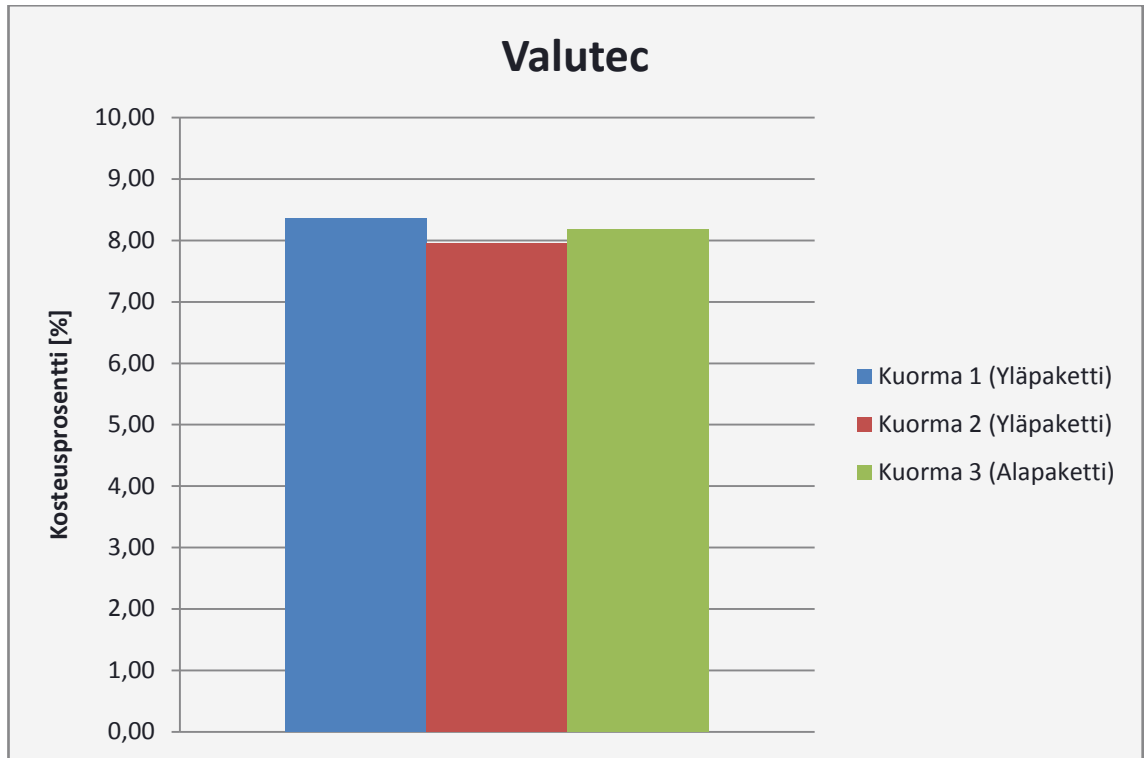
LIITE I. Valumajälki sahatavarakappaleissa eri kerrosten välillä



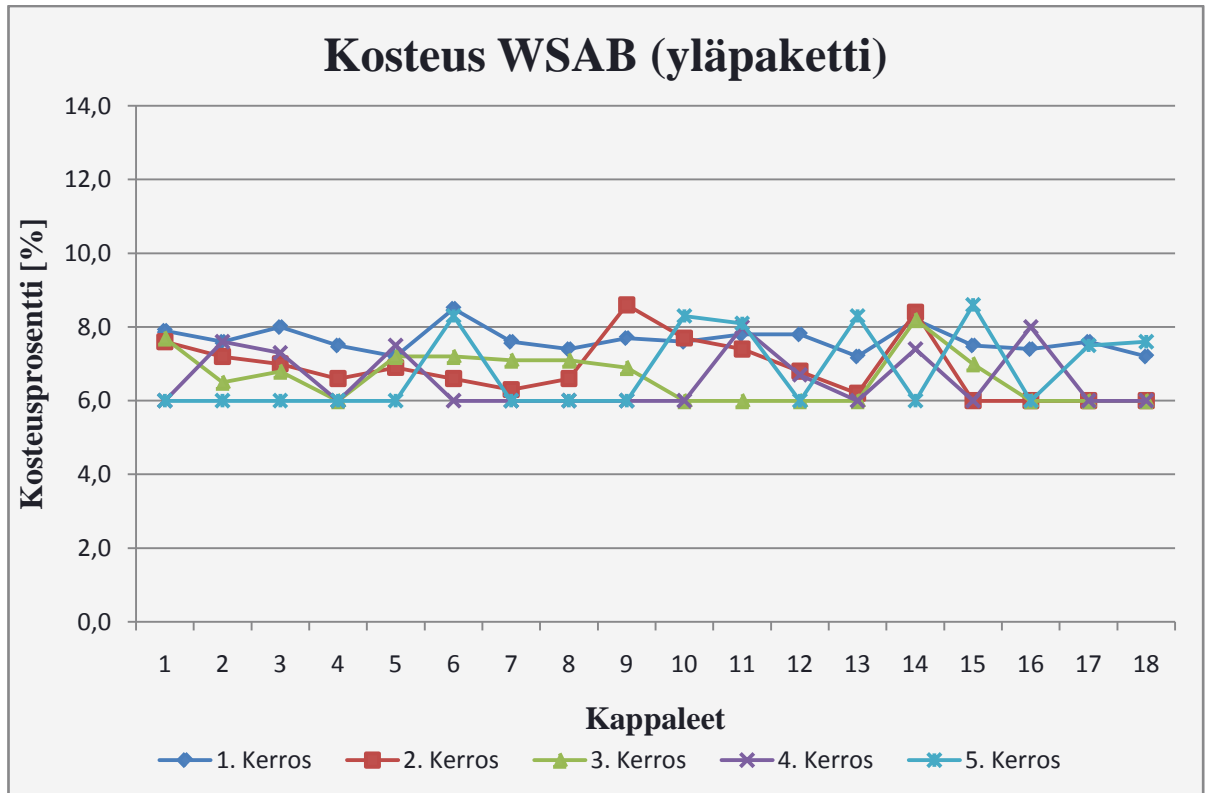
LIITE II. 1(2) Kosteuden vertailu kuivauskuormien välillä



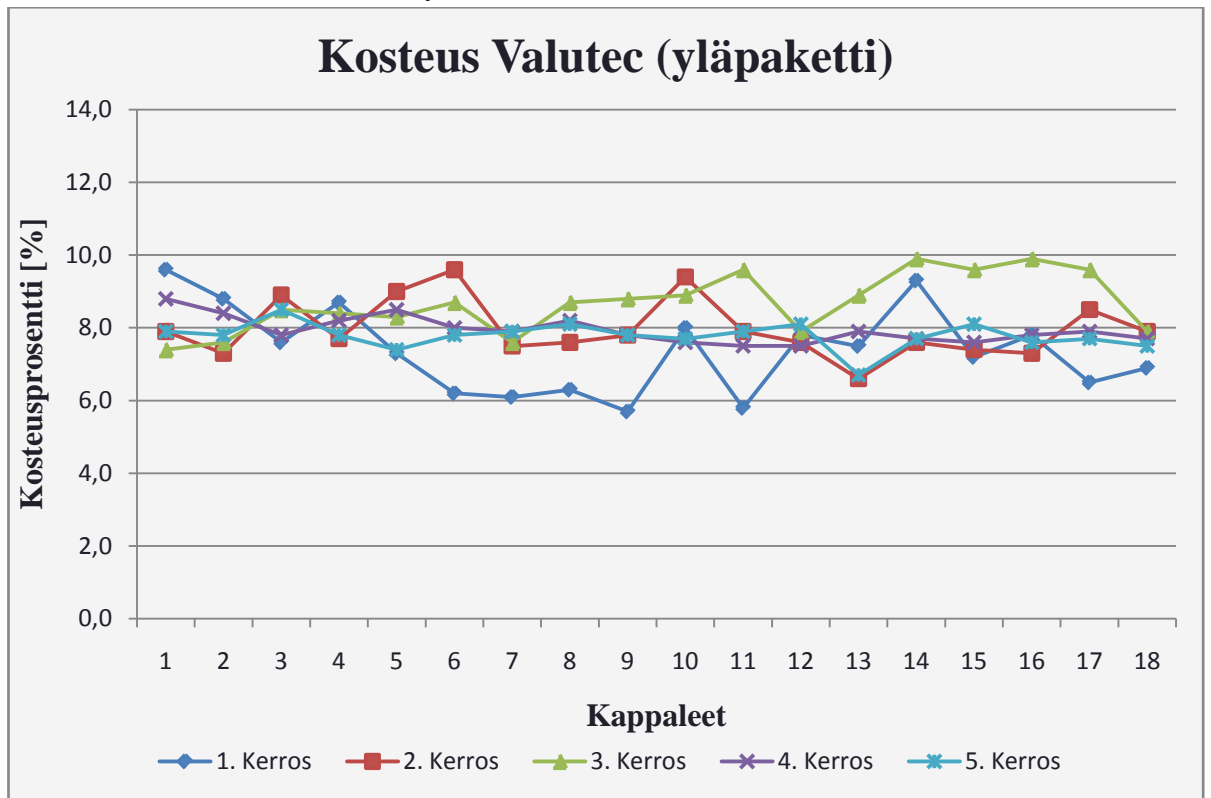
LIITE II. 2(2) Kosteuden vertailu kuivauskuormien välillä



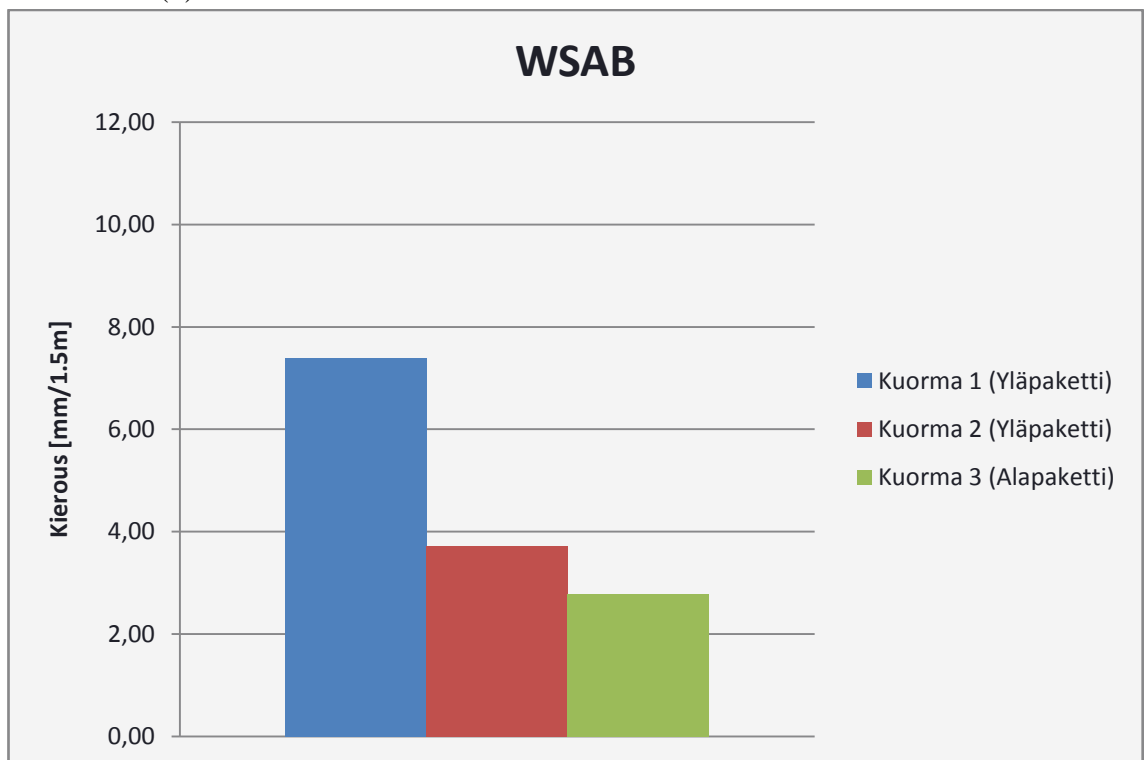
LIITE III. 1(2) Kosteus viidessä ylimmässä kerroksessa



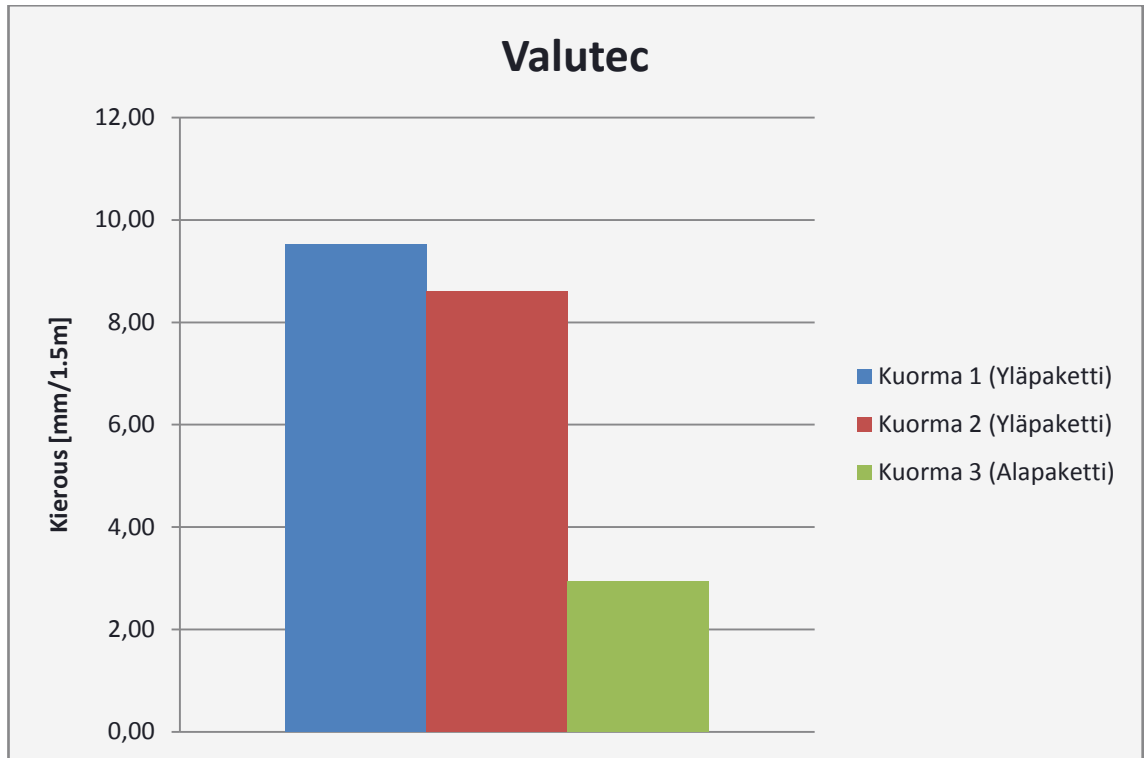
LIITE III. 2(2) Kosteus viidessä ylimmässä kerroksessa



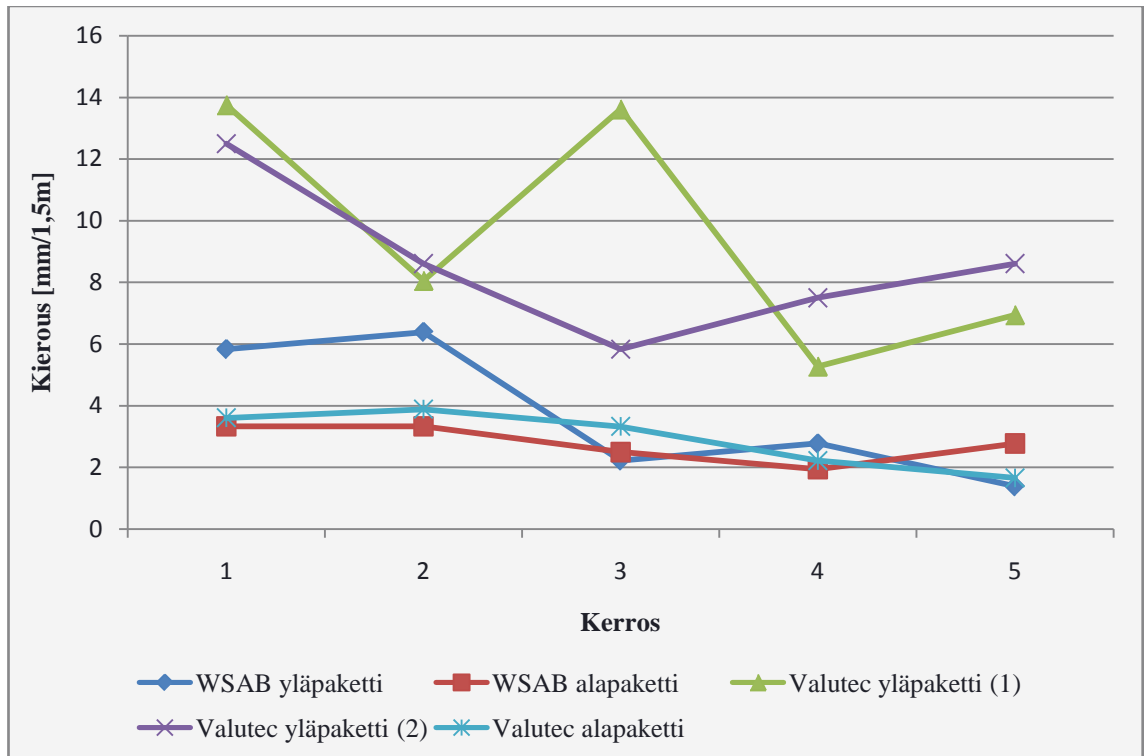
LIITE IV. 1(2) Kierous eri kuormien välillä



LIITE IV. 2(2) Kierous eri kuormien välillä



LIITE V. Kierous viidessä ylimmässä kerroksessa



LIITE VI. 1(2) Mittaustulokset WSAB

KOEMITTAUKSET WSAB

UPM Kaukaan saha

Pakettinumero:	145313 (Kuorma 1)
Paketin sijainti kuormassa:	Yläpaketti
Paketin kuivaksesta saapumispvm:	29.10.2008 klo: 7.13
Mittauspvm:	30.10.2008 klo: 8.30
Dimensio:	(50 x 100)mm
Kuivalämpötila:	70 C°
Märkälämpötila:	76 C°
Suhteellinen kosteus:	46,6 %
Kuivausaika:	220h
Tavoitekosteus:	10 %
HUOM!	Kostutus pois päältä 1. vyöhykkeessä

Ylin kerros

Kappale	Kierous	Halkeilu	Kosteus	Väriäiskä	Huom.
	[mm/1,5m]	[m]	[%]		
1	0	E	7,5	K	
2	10	E	8,0	K	
3	15	E	7,2	K	
4	15	E	8,7	K	
5	15	E	8,6	K	
6	10	E	8,2	K	
7	10	E	6,2	K	
8	25	E	7,6	K	
9	10	E	8,8	K	
10	0	E	8,3	K	
11	10	E	8,4	K	
12	0	E	7,6	E	
13	10	E	7,7	E	
14	10	E	8,0	E	
15	10	E	8,2	E	
16	5	E	6,6	E	
17	15	E	7,8	E	
18	5	E	8,1	E	
KA	9,722222		7,9		

E=Ei, K=Kyllä

Toinen kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	0	E	8,0	K	
2	0	E	6,6	K	
3	5	E	8,9	K	
4	10	E	8,4	K	
5	5	E	7,8	K	
6	10	E	7,6	K	
7	10	E	8,1	K	
8	15	E	8,2	K	
9	20	E	7,7	K	
10	10	E	7,9	K	
11	15	E	7,7	K	
12	0	E	7,3	K	
13	5	E	7,5	K	
14	0	E	7,7	K	
15	15	E	7,8	E	
16	15	E	7,6	E	
17	5	E	8,0	E	
18	10	E	8,0	E	
KA	8,333333		7,8		

Kolmas kerros ylhäältä

1	10	E	7,9	E	
2	10	E	7,4	E	
3	15	E	7,6	K	
4	5	E	7,8	E	
5	10	E	7,6	E	
6	5	E	7,3	E	
7	10	E	7,1	K	
8	10	E	7,8	K	
9	10	E	8,5	K	
10	5	E	7,6	K	
11	0	E	7,5	K	
12	0	E	7,9	K	
13	5	E	7,2	K	
14	0	E	7,7	E	
15	15	E	7,5	E	
16	10	E	7,6	E	
17	5	E	7,6	E	
18	10	E	7,7	E	
KA	7,5		7,6		

Neljäs kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	5	E	7,4	E	
2	10	E	8,3	E	
3	5	E	9,5	K	
4	5	E	7,7	K	
5	5	E	8,8	K	
6	5	E	8,9	K	
7	5	E	8,5	K	
8	10	E	7,3	K	
9	10	E	8,5	K	
10	5	E	8,6	K	
11	5	E	7,5	K	
12	5	E	8,3	K	
13	5	E	8,7	K	
14	5	E	7,4	E	
15	5	E	7,6	E	
16	10	E	7,5	E	
17	5	E	7,0	E	
18	15	E	7,3	E	
KA	6,66667		8,0		

Viides kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	5	E	7,6	E	
2	5	E	9,2	K	
3	10	E	7,5	E	
4	0	E	8,3	E	
5	5	E	7,8	E	
6	0	E	8,5	K	
7	5	E	7,5	K	
8	0	E	7,5	K	
9	0	E	7,9	K	
10	10	E	7,6	K	
11	5	E	7,8	K	
12	5	E	7,6	K	
13	10	E	7,8	E	
14	10	E	7,5	E	
15	5	E	7,1	E	
16	0	E	7,2	E	
17	5	E	7,4	E	
18	5	E	7,5	E	
KA	4,722222		7,7		

KA YHT.	7,39	7,82
σ	5,10	0,56

KOEMITTAUKSET WSAB

UPM Kaukaan saha

Pakettinumero:	145346 (Kuorma 2)
Paketin sijainti kuormassa:	Yläpaketti
Paketin kuivaksesta saapumispv:	29.10.2008 klo: 12.45
Mittauspv:	30.10.2008 klo: 11.45
Dimensio:	(50 x 100)mm
Kuivalämpötila:	70 C°
Märkälämpötila:	76 C°
Suhteellinen kosteus:	46,6 %
Kuivausaika:	220h
Tavoitekosteus:	10 %
HUOM!	Kostutus pois päältä 1. vyöhykkeessä

Ylin kerros

	Kierous	Halkeilu	Kosteus	Väriäiskä	Huom.
	[mm/1,5m]	[m]	[%]		
Kappale					
1	5	E	7,9	E	
2	5	E	7,6	K	
3	10	E	8,0	K	
4	5	E	7,5	K	
5	5	E	7,2	K	
6	5	E	8,5	K	
7	0	E	7,6	K	
8	5	E	7,4	K	
9	10	E	7,7	K	
10	5	E	7,6	K	
11	0	E	7,8	K	
12	5	E	7,8	E	
13	5	E	7,2	E	
14	10	E	8,2	E	
15	5	E	7,5	E	
16	10	E	7,4	E	
17	5	E	7,6	E	
18	10	E	7,2	E	
KA	5,833333		7,7		

E=Ei, K=Kyllä

Toinen kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	0	E	7,6	K	
2	5	E	7,2	K	
3	5	E	7,0	K	
4	10	E	6,6	K	
5	0	E	6,9	K	
6	5	E	6,6	K	
7	5	E	6,3	K	
8	5	E	6,6	K	
9	5	E	8,6	K	
10	10	E	7,7	K	
11	10	E	7,4	K	
12	5	E	6,8	E	
13	10	E	6,2	E	
14	10	E	8,4	E	
15	5	E	6,0	E	
16	15	E	6,0	E	
17	5	E	6,0	E	
18	5	E	6,0	E	
KA	6,388889		6,9		

Kolmas kerros ylhäältä

1	0	E	7,7	K	
2	5	E	6,5	K	
3	5	E	6,8	K	
4	0	E	6,0	K	
5	10	E	7,2	K	
6	0	E	7,2	K	
7	10	E	7,1	K	
8	0	E	7,1	K	
9	5	E	6,9	K	
10	5	E	6,0	K	
11	0	E	6,0	E	
12	0	E	6,0	E	
13	0	E	6,0	E	
14	0	E	8,2	E	
15	0	E	7,0	E	
16	0	E	6,0	E	
17	0	E	6,0	E	
18	0	E	6,0	E	
KA	2,222222		6,7		

Neljäs kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	10	E	6,0	E	
2	0	E	7,6	K	
3	5	E	7,3	K	
4	5	E	6,0	K	
5	0	E	7,5	K	
6	0	E	6,0	K	
7	5	E	6,0	K	
8	0	E	6,0	K	
9	0	E	6,0	K	
10	5	E	6,0	K	
11	5	E	8,0	K	
12	5	E	6,7	E	
13	5	E	6,0	E	
14	5	E	7,4	E	
15	0	E	6,0	E	
16	0	E	8,0	E	
17	0	E	6,0	E	
18	0	E	6,0	E	
KA	2,77778		6,6		

Viides kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	5	E	6,0	E	
2	0	E	6,0	K	
3	5	E	6,0	K	
4	0	E	6,0	K	
5	0	E	6,0	K	
6	0	E	8,3	K	
7	5	E	6,0	K	
8	0	E	6,0	K	
9	0	E	6,0	K	
10	0	E	8,3	K	
11	0	E	8,1	K	
12	0	E	6,0	E	
13	0	E	8,3	E	
14	0	E	6,0	E	
15	5	E	8,6	E	
16	5	E	6,0	E	
17	0	E	7,5	E	
18	0	E	7,6	E	
KA	1,388889		6,8		

KA YHT.	3,72	6,92
σ	3,71	0,85

KOEMITTAUKSET WSAB

UPM Kaukaan saha

Pakettinumero:	145351	(Kuorma 3)
Paketin sijainti kuormassa:	Alapaketti	
Paketin kuivaksesta saapumispv:	30.10.2008	klo: 6.13
Mittauspv:	31.10.2008	klo: 8.00
Dimensio:	(50 x 100)mm	
Kuivalämpötila:	70 C°	
Märkälämpötila:	76 C°	
Suhteellinen kosteus:	46,6 %	
Kuivausaika:	220h	
Tavoitekosteus:	10 %	

Ylin kerros

	Kierous	Halkeilu	Kosteus	Väriäiskä	Huom.
	[mm/1,5m]	[m]	[%]		
Kappale					
1	0	E	7,6	E	
2	5	E	8,2	K	
3	0	E	8,8	K	
4	0	E	7,7	K	
5	5	E	6,0	K	
6	0	E	6,0	K	
7	5	E	7,5	K	
8	0	E	8,0	K	
9	0	E	6,0	K	
10	5	E	6,0	K	
11	0	E	7,5	K	
12	0	E	6,0	K	
13	5	E	7,1	E	
14	5	E	6,0	E	
15	5	E	7,6	E	
16	5	E	7,1	E	
17	10	E	6,0	E	
18	10	E	6,8	E	
KA	3,33333		7,0		

E=Ei, K=Kyllä

Toinen kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	0	E	7,3	K	
2	5	E	8,9	K	
3	0	E	6,0	K	
4	0	E	7,4	K	
5	5	E	7,4	K	
6	10	E	7,4	K	
7	0	E	6,0	K	
8	0	E	7,7	K	
9	5	E	6,0	K	
10	0	E	7,7	K	
11	10	E	6,0	K	
12	10	E	6,0	E	
13	5	E	6,0	E	
14	5	E	7,2	E	
15	5	E	6,0	E	
16	0	E	6,0	E	
17	0	E	6,0	E	
18	0	E	8,5	E	
KA	3,333333		6,9		

Kolmas kerros ylhäältä

1	0	E	8,5	E	
2	5	E	7,3	K	
3	5	E	7,7	K	
4	0	E	7,7	K	
5	5	E	6,0	K	
6	5	E	6,0	K	
7	5	E	6,0	K	
8	0	E	7,5	K	
9	5	E	6,0	K	
10	5	E	7,7	K	
11	0	E	7,2	E	
12	0	E	7,3	E	
13	0	E	8,0	E	
14	0	E	6,0	E	
15	0	E	6,0	E	Hylky
16	0	E	8,2	E	
17	5	E	7,5	E	
18	5	E	6,0	E	
KA	2,5		7,0		

Neljäs kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	0	E	7,9	E	
2	5	E	7,4	E	
3	0	E	7,9	E	
4	5	E	8,1	K	
5	0	E	7,3	K	
6	5	E	7,7	K	
7	5	E	7,6	E	
8	0	E	7,8	E	
9	5	E	6,3	E	
10	5	E	7,0	K	
11	5	E	8,0	K	
12	0	E	7,3	K	
13	0	E	7,6	E	
14	0	E	6,6	E	
15	0	E	7,3	E	
16	0	E	7,2	E	
17	0	E	7,4	E	
18	0	E	8,5	E	
KA	1,944444		7,5		

Viides kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Väriäiskä	Huom.
Kappale					
1	0	E	8,7	E	
2	0	E	8,3	E	
3	0	E	8,4	E	
4	5	E	7,3	E	
5	5	E	6,0	E	
6	5	E	7,6	E	
7	0	E	7,6	E	
8	0	E	7,6	K	
9	5	E	7,5	E	
10	10	E	6,0	E	
11	0	E	7,7	E	
12	5	E	6,0	E	
13	5	E	7,3	E	
14	5	E	6,0	E	
15	0	E	9,4	E	Pihkapuu
16	5	E	6,0	E	
17	0	E	8,0	E	
18	0	E	8,4	E	
KA	2,77778		7,4		

KA YHT.	2,78	7,16
σ	3,10	0,91

Kieroutuneiden kappaleiden määrä kieroutumissuuruuden mukaan kuormassa 1. (WSAB)

Kieroutta (mm/1.5m)	Kpl	% kokonaismäärästä	
0	15	16,67	
5	33	36,67	
10	29	32,22	
15	11	12,22	
≥20	2	2,22	
	90	100,00	

Kieroutuneiden kappaleiden määrä kieroutumissuuruuden mukaan kuormassa 2. (WSAB)

Kieroutta (mm/1.5m)	Kpl	% kokonaismäärästä	
0	38	42,22	
5	38	42,22	
10	13	14,44	
15	1	1,11	
≥20	0	0,00	
	90	100,00	

Kieroutuneiden kappaleiden määrä kieroutumissuuruuden mukaan kuormassa 3. (WSAB)

Kieroutta (mm/1.5m)	Kpl	% kokonaismäärästä	
0	46	51,11	
5	38	42,22	
10	6	6,67	
15	0	0,00	
≥20	0	0,00	
	90	100,00	

LIITE VI. 2(2) Mittaustulokset Valutec

KOEMITTAUKSET VALUTEC

UPM Kaukaan saha

Pakettinumero:	149227 (Kuorma 1)
Paketin sijainti kuormassa:	Yläpaketti
Paketin kuivaksesta saapumispvm:	27.1.2009 klo: 12.00
Mittauspvm:	29.1.2009 klo: 8.30
Dimensio:	(50 x 100)mm
Kuivalämpötila:	74 C°
Märkälämpötila:	75 C°
Suhteellinen kosteus:	46,00 %
Kuivausaika:	216h
Tavoitekosteus:	10 %

Ylin kerros

Kappale	Kierous	Halkeilu	Kosteus	Huom.
	[mm/1,5m]	[m]	[%]	
1				Puuttui
2	0		5,8	
3	25		4,8	
4	20		10,3	Tervaspuu
5	0		8,6	
6	25		8,1	
7	0		7,9	
8	20		6,3	
9	0		7,1	
10	5		6,9	
11	10		8,3	
12	25		6,8	
13	15		6,7	
14	15		6,4	
15	25		6,8	
16	20	0,52	5,4	
17	15		8,3	
18				Puuttui
KA	13,75		7,2	

E=Ei, K=Kyllä

Toinen kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	15		9,7	
2	5		9,5	
3	10		7,4	
4	10		8,5	
5	5		8,2	
6	5		8,3	
7	15		8,7	
8	5		9,3	
9	10		8,3	
10	10		8,4	
11	5		8,6	
12	15		8,6	
13	5		8,5	
14	5		9,7	
15	20		9,5	
16	5		9,2	
17	0		9,1	
18	0		8,4	
KA	8,055555556		8,8	

Kolmas kerros ylhäältä

1	0		8,6	
2	15		8,7	
3	10		7,9	
4	25		8,2	
5	5		8,6	
6	15		7,9	
7	5		8,3	
8	20		9,7	
9	5		8,8	
10	15		8,5	
11	10		8,4	
12	15		9,2	
13	0		8,4	
14	15		9,6	
15	25		7,5	
16	20		8,8	
17	35		8,6	
18	10		9,1	
KA	13,611111111		8,6	

Neljäs kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	0		9,6	
2	10		8,2	
3	5		8,8	
4	10		8,7	
5	10		8,3	
6	5		8,8	
7	0		8,6	
8	5		9,1	
9	10		9,3	
10	5		7,7	
11	15		8,8	
12	0		9,9	
13	5		9,7	
14	0		8,7	
15	0		9,2	
16	0		8,9	
17	5		8,7	
18	10		8,4	
KA	5,27777778		8,9	

Viides kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	0		8,6	
2	0		8,7	
3	5		8,8	
4	10		6,9	
5	10		8,8	
6	5		9,1	
7	5		7,2	
8	5		8,8	
9	0		6,6	
10	20		7,8	
11	15		7,8	
12	5		8,8	
13	5		8,9	
14	10		9,6	
15	10		8,7	
16	10		7,8	
17	5		8,5	
18	5		9,7	
KA	6,944444444		8,4	

KA YHT.	9,53	8,36
σ	7,82	1,02

KOEMITTAUKSET VALUTEC

UPM Kaukaan saha

Pakettinumero:	149255 (Kuorma 2)
Paketin sijainti kuormassa:	Yläpaketti
Paketin kuivaksesta saapumispvm:	28.1.2009 klo: 2.30
Mittauspvm:	29.1.2009 klo: 12.00
Dimensio:	(50 x 100)mm
Kuivalämpötila:	74 C°
Märkälämpötila:	75 C°
Suhteellinen kosteus:	46,00 %
Kuivausaika:	216h
Tavoitekosteus:	10 %

Ylin kerros

Kappale	Kierous	Halkeilu	Kosteus	Huom.
	[mm/1,5m]	[m]	[%]	
1	10		9,6	
2	0		8,8	
3	5		7,6	
4	10		8,7	
5	5		7,3	
6	15		6,2	
7	0		6,1	
8	5		6,3	
9	20		5,7	
10	5		8,0	
11	15		5,8	
12	20		7,8	
13	35		7,5	
14	15		9,3	
15	10		7,2	
16	20		7,8	
17	20		6,5	
18	15		6,9	
KA	12,5		7,4	

E=Ei, K=Kyllä

Toinen kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	10		7,9	
2	5		7,3	
3	10		8,9	
4	10		7,7	
5	0		9,0	
6	5		9,6	
7	10		7,5	
8	0		7,6	
9	5		7,8	
10	5		9,4	
11	15		7,9	
12	10		7,6	
13	15		6,6	
14	10		7,6	
15	10		7,4	
16	20		7,3	
17	5		8,5	
18	10		7,9	
KA	8,611111111		8,0	

Kolmas kerros ylhäältä

1	20		7,4	
2	5		7,6	
3	5		8,5	
4	5		8,4	
5	5		8,3	
6	0		8,7	
7	15		7,6	
8	5		8,7	
9	10		8,8	
10	0		8,9	
11	0		9,6	
12	0		7,9	
13	0		8,9	
14	0		9,9	
15	10		9,6	
16	5		9,9	
17	0		9,6	
18	20		7,9	
KA	5,833333333		8,7	

Neljäs kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	5		8,8	
2	10		8,4	
3	15		7,8	
4	10	0,6	8,2	Sydänhalk.
5	0		8,5	
6	5		8,0	
7	5		7,9	
8	5		8,2	
9	10		7,8	
10	10		7,6	
11	0		7,5	
12	0		7,5	
13	15		7,9	
14	10		7,7	
15	10		7,6	
16	10		7,8	
17	5		7,9	
18	10		7,7	
KA	7,5		7,9	

Viides kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	10		7,9	
2	15		7,8	
3	5		8,5	
4	15		7,8	
5	0		7,4	
6	15		7,8	
7	10		7,9	
8	10		8,1	
9	15		7,8	
10	5		7,7	
11	5		7,9	
12	0		8,1	
13	10		6,7	
14	10		7,7	
15	0		8,1	
16	10		7,6	
17	5		7,7	
18	15		7,5	
KA	8,611111111		7,8	

KA YHT.	8,61	7,95
σ	6,54	0,86

KOEMITTAUKSET VALUTEC

UPM Kaukaan saha

Pakettinumero:	149251 (Kuorma 3)
Paketin sijainti kuormassa:	Alapaketti
Paketin kuivaksesta saapumispvm:	28.1.2009 klo: 2.30
Mittauspvm:	30.1.2009 klo: 8.30
Dimensio:	(50 x 100)mm
Kuivalämpötila:	74 C°
Märkälämpötila:	75 C°
Suhteellinen kosteus:	46,00 %
Kuivausaika:	216h
Tavoitekosteus:	10 %

Ylin kerros

Kappale	Kierous	Halkeilu	Kosteus	Huom.
	[mm/1,5m]	[m]	[%]	
1	0		7,7	
2	5		8,2	
3	5		7,8	
4	0		7,3	
5	0		6,7	
6	10		5,6	
7	5		7,8	
8	0		7,8	
9	5		7,2	
10	0		6,8	
11	5		6,5	
12	5		8,2	
13	0		7,7	
14	5		7,8	
15	5		7,1	
16	5		7,0	
17	0		7,3	
18	10		6,2	
KA	3,611111111		7,3	

E=Ei, K=Kyllä

Toinen kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	0		7,6	
2	10		7,4	
3	10		6,8	
4	0		7,7	
5	0		7,7	
6	5		6,8	
7	5		6,0	
8	0		6,1	
9	5		6,0	
10	0		6,1	
11	0		8,0	
12	0		6,0	
13	10		5,2	
14	10		5,9	
15	10		7,5	
16	0		6,2	
17	5		5,9	
18	0		6,9	
KA	3,888888889		6,7	

Kolmas kerros ylhäältä

1	10		8,7	
2	0		8,1	
3	0		8,7	
4	0		8,4	
5	0		7,8	
6	10		8,5	
7	5		8,6	
8	0		8,3	
9	5		8,7	
10	10		7,5	
11	0		8,9	
12	10		8,9	
13	0		10,3	
14	0		7,7	
15	10		9,1	
16	0		7,7	
17	0		9,3	
18	0		8,9	
KA	3,333333333		8,6	

Neljäs kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	10		9,6	
2	5		9,3	
3	5		8,8	
4	0		9,0	
5	0		8,7	
6	0		8,5	
7	0		8,8	
8	0		9,6	
9	5		9,0	
10	0		9,3	
11	0		9,5	
12	0		9,6	
13	0		9,2	
14	5		9,7	
15	0		9,5	
16	0		9,0	
17	10		8,8	
18	0		9,6	
KA	2,22222222		9,2	

Viides kerros ylhäältä

	Kierous [mm/1,5m]	Halkeilu [m]	Kosteus [%]	Huom.
Kappale				
1	10		9,6	
2	0		9,7	
3	0		9,8	
4	0		8,8	
5	0		9,5	
6	0		9,4	
7	5		8,8	
8	0		9,4	
9	5		9,4	
10	0		9,6	
11	5		8,9	
12	5		9,0	
13	0		8,8	
14	0	0,5	8,9	Oksa repeämä
15	0		9,8	
16	0		8,7	
17	0		9,2	
18	0		9,0	
KA	1,666666667		9,2	

KA YHT.	2,94	8,18
σ	3,81	1,21

Kieroutuneiden kappaleiden määrä kieroutumissuuruuden mukaan kuormassa 1. (Valutec)

Kieroutta (mm/1.5m)	Kpl	% kokonaismäärästä
0	17	19,32
5	26	29,55
10	18	20,45
15	13	14,77
≥20	14	15,91
	88	

Kieroutuneiden kappaleiden määrä kieroutumissuuruuden mukaan kuormassa 2. (Valutec)

Kieroutta (mm/1.5m)	Kpl	% kokonaismäärästä
0	17	18,89
5	24	26,67
10	27	30,00
15	14	15,56
≥20	8	8,89
	90	

Kieroutuneiden kappaleiden määrä kieroutumissuuruuden mukaan kuormassa 3. (Valutec)

Kieroutta (mm/1.5m)	Kpl	% kokonaismäärästä
0	52	57,78
5	23	25,56
10	15	16,67
15	0	0,00
≥20	0	0,00
	90	