

LASTULEVYN KÄYRYYDEN HALLINTA JATKOJALOSTUKSESSA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2010
Eero Wuokko

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön tekeminen aloitettiin kesällä 2009 tutkimalla eri vaikuttajia lastulevyn käyristymiseen. Työn kirjallista osaa tehtiin pitkin syksyä ja se saatiin valmiiksi keväällä 2010.

Kiitän toimeksiantajayrityksen Iskun ohjaajaani kehityspäällikkö Jarmo Ylivainiota. Opinnäytetyöni liittyi Iskun Kansi suoraksi -projektiin, joten sain apua omaan työhöni Iskun henkilöstöltä. Mittauksissa auttoi Janne Suoknuuti ja mittauspöydän tekemisessä huoltomies Keijo Tarvainen. Apua sain myös Iskulla pidetyistä palaverista, joissa käytiin läpi tuloksia ja prosessien muuttujia. Projektin hyväksyi opinnäytetyöksi Lahden ammattikorkeakoulun yliopettaja Mikko Salmi. Materiaalit opinnäytetyöhön tarjosi Isku Teollisuus Oy.

Erityiskiitos Huonekalusäätiölle, joka mahdollisti täydellisen keskittymisen opinnäytetyön tekemiseen.

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikka

WUOKKO, EERO:

Lastulevyn käyryyden hallinta jatkojalostuksessa

Puutekniikan opinnäytetyö, 69 sivua, 9 liitesivua

Kevät 2010

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan lastulevyn käyristymistä jatkojalostuksessa. Käyristyminen on ollut ongelmana jo pitkän aikaa puusepänteollisuudessa. Se korostuu jatkojalostuksen työvaiheissa, kuten reunalistoituksessa, muotojyrsinnässä, hionnassa ja pintakäsittelyssä. Ongelma johtaa taloudellisiin menetyksiin ja lisää jatkojalostustehtaan kaatopaikkajätteitä. Parantamalla lastulevyn käyryyden hallintaa näitä saadaan pienemmiksi.

Valmiiden tuotteiden käyryyden hallintaa voidaan parantaa esimerkiksi tukemalla pöytäkansia rautakehikolla, mutta suurin menetys tehtaalle syntyy tuotteiden valmistuksessa, mihin opinnäytetyössä keskityttiin. Käyryyden hallinnan parantamiseksi tehtiin useita tutkimuksia ja kokeita. Tutkimuksen kohteisiin kuuluivat lastulevynippujen pinoaminen aihiovarastolla, viilutus ja päällimmäisen levyn suojaaminen. Kokeisiin kuuluivat esimerkiksi kosteuden haihtuminen ja Kansi suoraksi -koe, jossa yritettiin löytää paras viilutusmuuttujien tasojen kombinaatio käyryyden hallinnan suhteen.

Merkittävimmäksi tekijäksi käyryyden hallinnassa osoittautui kosteus. Sitä kerääntyy ympäröivistä olosuhteista, viilutuksessa käytettävistä materiaaleista ja viilun kostutuksesta. Myös kosteuden takia tehdasolosuhteiden vakiinnuttaminen olisi suotavaa, mutta se saattaa olla vaikea toteuttaa tai siihen liittyy liian kallis investointi. Tällöin levyjen suojaukseen välivarastoinnissa tulisi kiinnittää huomiota. Lastulevynippujen oikeanlainen pinoaminen on myös aiheellista, koska lastulevyn jatkojalostuksen onnistumisen lähtökohdat ovat tällöin paremmat.

Avainsanat: puusepänteollisuus, huonekalut, lastulevy, kosteus, käyristyminen

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Wood Technology

WUOKKO, EERO: Controlling warping of particle board in
further processing

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 69 pages, 9 appendices

Spring 2010

ABSTRACT

This thesis deals with warping of particle board in further processing. Warping has been a problem in the joinery industry for a long time. It complicates for example edge banding, form milling, sanding and surface finishing. The problem leads to financial losses and increases the amount of landfill wastes of the further processing factory. The improvement of warp control would reduce them.

The warping of finished products can be controlled for example by supporting table tops with an iron frame. The biggest financial loss, however, comes from the manufacturing of the products, and that is the focus of this thesis. Several studies and tests were made to improve the controlling of the warping. The objects of the studies consisted of stacking of particle board bundles, veneering and protective covering of the first board in a bundle. The tests included for example analyzing the evaporation of moisture and a test in which the best combination of variables in veneering were sought.

The most significant factor in the warp control turned out to be the moisture. It is gathered from ambient conditions, materials used in veneering and moistening of veneer. The conditions of the factory should be regularized, for example regarding moisture, but it can be difficult or too expensive to execute. In that case attention should be paid to the covering of boards. The correct stacking of the board bundles should also be taken care of. Then the chances for the further processing to succeed are better.

Key words: joinery industry, furniture, particle board, moisture, warping

SISÄLLYS

LASTULEVYN KÄYRYYDEN HALLINTA JATKOJALOSTUKSESSA	I
1 JOHDANTO	1
2 LASTULEVY JA SEN KÄYTTÖ KALUSTEISSA	2
2.1 Yleistä	2
2.1.1 Lastulevyn valmistus	2
2.1.2 Ominaisuuksiin vaikuttavia muuttujia	6
2.1.3 Lastulevyjen jatkojalostus	10
2.1.4 Lastulevyn tuotanto ja käyttö	11
2.2 Viilutus	12
2.2.1 Puun tiheys	12
2.3 Liimat	14
2.4 Lastulevyjä koskevia standardeja Suomessa	14
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	15
3.1 Levyjen pinoaminen	15
3.2 Viilutus	16
3.3 Päällimmäisen levyn suojaus	17
3.4 Kansi suoraksi -koe	18
4 TIEDON KERÄÄMINEN	19
4.1 Käyryyden mittaus	19
4.1.1 Ensimmäinen mittaustapa	19
4.1.2 Toinen mittaustapa	20
4.1.3 Kolmas mittaustapa	21
4.2 Taulukointi	21
5 PINOAMISTUTKIMUS	24
5.1 Pinoamisvirheitä	24
5.2 Ohje	26
6 VIILUTUSTUTKIMUS	27
6.1 Kosteus	27
6.1.1 Kosteuden haihtumiskoe	30

6.1.2	Kosteuden haihtuminen pintaviilusta	31
6.1.3	Kostutuskoee	32
6.2	Puristusaika ja -lämpö	33
6.3	Liima	34
7	PÄÄLLIMMÄISEN LEVYN SUOJAUSTUTKIMUS	35
7.1	Koesuunnitelma	35
7.2	Tulokset	37
7.2.1	Tehdasolosuhteet	39
7.2.2	Kosteat ja lämpimät olosuhteet	40
7.2.3	Tilastomatemaattisia laskelmia	41
7.3	Pintaviilun kosteuden muutoksien vaikutus käyryyteen	45
7.3.1	Tulokset	46
8	KANSI SUORAKSI -KOE	48
8.1	Suunnitelma	48
8.2	Muuttujat	48
8.3	Kokeen suoritus	50
8.4	Tulokset	51
8.4.1	Laskelmat	55
8.5	Konfirmaatiokoe	58
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	60
9.1	Mittaustulosten analysointi	60
9.2	Työvaiheet	62
9.2.1	Levyaihiovarasto	62
9.2.2	Viilutus	63
9.2.3	Välivarastointi	65
10	YHTEENVETO	66
	LÄHTEET	68

1 JOHDANTO

Tuotantomäärillä mitattuna lastulevy on maailman yleisin puulevytuote. Rakentamisen ohella sitä käytetään erittäin laajasti huonekaluteollisuudessa, joten suurin osa kodin ja toimiston kalusteista valmistetaan lastulevystä. Lastulevyn laajalle käytölle ovat syynä paitsi sen useat hyvät ominaisuudet, myös sen erinomainen hinta/laatusuhde muihin materiaaleihin verrattuna. (Puuinfo 2010.)

Opinnäytetyöni tarkoitus oli tutkia lastulevyn käyristymistä jatkojalostusprosessin eri vaiheissa ja etsiä keinoja käyristymisen vähentämiseen. Käyrysongelma on ollut jo useamman vuoden ajan puusepänteollisuudessa, jossa lastulevyn käyttö on lisääntynyt jatkuvasti. Se on vaikeuttanut levyjen työstöä monissa eri työvaiheissa:

- Reunalistoituksessa reunanauhojen keilaukset työstäytyvät epätasaisesti ja saattavat puhkaista levyn pinnan
- Leveänauhahionnassa levyn pinta saattaa mennä puhki kohoavissa kohdissa
- Automaattisessa telapintakäsittelylinjassa levy lakkautuu epätasaisesti ja välhionta on vaikeaa
- Muotojyrsinnässä käyriä levyä on vaikea kiinnittää CNC -koneen imutiiliin

Valmiissa tuotteissa ongelmia esiintyy enimmäkseen tukemattomissa huonekaluosissa, kuten kaapin ovissa, joissa saranattoman puolen kulma saattaa töröttää ulompana. Jos pöydän kansi ei ole tuettu sivusarjoilla esimerkiksi kaarevan muotoilun takia, levy tulee käyristymään.

Käyrysongelman takia useita levyjä menee hukkaan ja tehtaas menettävät rahaa. Lisäksi hukkaan mennyt lastulevy on kaatopaikkajätettä, joten se kuormittaa luontoa. Mikäli käyryyden hallintaa saataisiin parannettua, vähenisivät kaatopaikkajätteet ja edistettäisiin kestävä kehitystä. Reklamaatioista ei ollut saatavilla tilastoja, joten tarkkaa määrää taloudellisista menetyksistä tai kaatopaikkajätteistä ei tiedetä. Menettävä rahamäärä on kuitenkin huomattava, minkä takia opinnäytetyö osittain tehtiin. Käyryystutkimus kohdistettiin kalliimpiin, puuviilutettuihin levyihin. Levytyypeistä yleisin tutkimuksissa oli pöytälevyksi tuleva kansi.

2 LASTULEVY JA SEN KÄYTTÖ KALUSTEISSA

2.1 Yleistä

Lastulevy on puusta tai puumaisista kasvinosista tehdyistä lastuista valmistettua levyä, jossa lastut on liitetty toisiinsa liimalla painetta ja lämpöä käyttäen. Raaka-aineet voivat olla peräisin lähes kaikista hyödynnettävissä olevista puulajeista. Tyyppillisesti Suomen lastulevyteollisuudessa raaka-aineena käytetään saha-, vaneri- ja puusepänteollisuudesta saatavia sivutuotteita. Lastulevyt jaetaan puristustavan mukaan laakapuristettuihin ja suulakepuristettuihin, mutta näistä käytössä ovat enimmäkseen laakapuristetut lastulevyt. Laakapuristettuja levyjä on kahta erilaista: tasajakeiset ja muuttuvajakeiset. Opinnäytetyössä tutkittavat muuttuvajakeiset lastulevyt ovat monikerroslevyjä, joiden ydinkerros on karkeampijakeista lastua ja pintakerrokset ovat hienojakeisempaa lastua. Hienojakeinen lastu muodostaa tasaisemman pinnan, jota on helpompi jatkojalostaa. (Koponen 2002, 87.)

Opinnäytetyössä tutkittiin laakapuristettuja monikerroksisia 15 mm – 40 mm paksuja levyjä. Lastulevyt on pääosin toimittanut Puhos Board Oy 1830 x 2500 mm kokoisena. Myös Koskisen Oy on toimittanut lastulevyjä 1830 x 2750 mm kokoisena.

2.1.1 Lastulevyn valmistus

Lastulevyn valmistuksessa on kahdeksan vaihetta: puun esikäsitteily, lastutus, kuivaus, seulonta, liimoitus, sirottelu, puristus ja viimeistely (Koponen 2002, 90).

Puun esikäsitteily

Puun esikäsitteilyssä lastulevytehdas vastaanottaa saha- ja vaneriteollisuuden sivutuotteet ja varastoi ne. Raaka-aine voidaan puhdistaa ilmapirralla tai mekaanisella seulalla. Mahdolliset metalliesineet voidaan poistaa magneetilla tai leijupetimetelmällä, jossa hakematto liikkuu eteenpäin suunnatun tärytyksen avulla ja raskain

aine painuu hakekerroksen pohjalle. Pohjalle painunut aine johdetaan pneumaattiseen jälkipuhdistukseen. (Koponen 2002, 90–92.)

Lastutus

Suurin osa sahateollisuuden toimittamasta lastulevyn raaka-aineesta soveltuu valmistukseen jo sellaisenaan. Jälkilastutus voidaan suorittaa leikkaavilla lastuamiskoneilla, kuten terälaikkakoneilla, teräkutterikoneilla tai teräkehäkoneilla. Murskaus voidaan suorittaa iskumyllyillä, kuten vasaramyllyllä tai lastumyllyllä. Lastujen muoto ja koko vaikuttavat oleellisesti lastulevyn ominaisuuksiin. Siksi lastuille voidaan asettaa vaatimuksia koskien pinnan sileyttä sekä tasakokoisuutta ja -laatuisuutta. (Koponen 2002, 92–93.)

Eräs ominaisuus, johon lastujen muoto ja koko vaikuttavat, on lastulevyn käyritymisalttius. Jotkut lastut saattavat olla muodoltaan pitkulaisia, jotkut taas neliskanttisia. Tällöin lastut asettuvat sirottelussa lastulevyaihioon erilailta, eikä lastulevystä tule täysin homogeeninen ja se on alttiimpi käyristymään. (Salmi 2010.)

Kuivaus

Kuivauksessa lastut kuivataan, jotta liimoitettujen lastujen kosteus olisi riittävän alhainen puristuksen onnistumiseksi. Lastujen kuivaus myös parantaa lastulevyn jatkojalostusmahdollisuuksia. Pintalastut kuivataan 2–4 % ja keskilastut 1–2 % kosteuteen. Lastut voidaan kuivata hyvin suurella kuivausnopeudella, eivätkä lastuihin tulevat kuivausviat haittaa levyn valmistusta. Kuivuminen tapahtuu lämmön johtuessa suoraan lastuun kuumien metallipintojen kosketuksesta tai ilman välityksellä. Kuivaus suoritetaan yleensä yksi- tai kolmitierumpukuivurilla. (Koponen 2002, 96–97.)

Kosteus on yksi tärkeimmistä käyritymistä aiheuttavista muuttujista lastulevyillä ja puutuotteilla yleensä. Lastujen kuivaus vaikuttaa lastulevyn kosteuteen ennen puristusta, mutta myös sen jälkeen. Jos lastut ovat liian kosteita ennen puristusta, ne saattavat kutistua, jos levyn käyttökosteus on lastujen kosteutta alhaisempi. Tällöin

levy käyristyy. Jos lastut ovat liian kuivia ennen puristusta, ne saattavat turvota, ja lopputulos on sama. (Salmi 2010.)

Kun lastut kuivataan erittäin alhaiseen edellä mainittuun kosteuteen, lastujen kosteudet tasoittuvat varmemmin. Tämän jälkeen lastuihin lisätään tarvittaessa lisäkosteutta tai niiden annetaan tasaantua oikeaan kosteuteen. Liimoituksen ja mahdollisen lisäveden jälkeen pintalastujen kosteuden tulisi olla 9–15 % ja keskilastujen 6–10 % käyttökosteudesta riippuen. (Salmi 2010.)

Seulonta

Seulonnassa lastut lajitellaan pinta- ja keskilastuihin. Liian suuret ja pienet kappaleet sekä pöly erotetaan pois. Seulatyyppejä ovat esimerkiksi mekaanisesti toimivat tasoseulat, joissa lastut kulkevat eri seulaverkkojen läpi edestakaisten vaakatasomaisten liikkeiden tai pystysuoran tärinän avulla. Muita seulatyyppejä ovat telaseulat sekä tuuliseulat. (Koponen 2002, 99.)

Nykyisin useimmat tehtaat käyttävät telaseuloja. Niissä lastut kulkevat useiden pyörivien telojen päällä ja putoavat niiden välistä. Telojen pintakuviointi ja etäisyys toisistaan määrittävät seulonnan. Etuna telaseuloissa on niiden yksinkertainen rakenne ja sopiminen tuorelle puulle. Tuuliseulat toimivat ilmanvirtauksen avustuksella lastujen painoa hyväksikäyttäen, mutta niiden seulontaa on hankala säätää tarkasti. (Salmi 2010.)

Liimoitus

Liimoituksessa lastujen pinnalle levitetään liima-aine, joka puristusvaiheessa kovettuu ja sitoo lastut toisiinsa. Liimoitus suoritetaan yleensä johtamalla lastut lie-riömäiseen rumpuun, johon liima ruiskutetaan. Liima leviää lastujen hangatessa toisiaan vasten. Liimana käytetään useimmiten sisäkäyttöön soveltuvaa ureahartsiliimaa. Jos lastulevyttä vaaditaan hiukan kosteudenkestävyyttä, voidaan käyttää urea-melamiiniliimaa. Ureahartsin kovettamiseen käytetään ammoniumsulfaattia. Lastulevyn paksuusturpoamisen pienentämiseksi käytetään parafiiniemulsiota, joka lisätään liimaan tai ruiskutetaan erikseen lastuihin liimoituksessa. Liiman määrä

ilmoitetaan prosentteina absoluuttisen kuivan lastun painosta, joka pintalastuissa on n. 10–12 % ja keskilastuissa n. 7–9 %. (Koponen 2002, 101–103.)

Sirottelu

Levyaihion muodostuksessa liimoitetut lastut sirotellaan tasomaiseksi kerrokseksi puristusta varten. Esimerkiksi yleisimmin käytettyä kolmikerroslastulevyä tehdessä liikkuvalla alustalla sirotellaan ensin pintalastukerros, jonka päälle sirotellaan keskilastukerros, jonka päälle tulee taas pintalastukerros. (Koponen 2002, 105.)

Sirottelussa ongelmana on hienompien lastujen valuminen alaspäin. Esimerkiksi päällimmäisen pintalastukerroksen lastut saattavat valua keskilastujen sekaan sirottelualueen värinästä johtuen. Tällöin lastulevyn taivutusjännityksen neutraalitaso ei ole enää levyn keskitasossa, eikä sen rakenne ole symmetrinen. Tämä johtaa levyn käyrystymiseen riippumatta levyn pinnoituksesta. (Salmi 2009.)

Keskilastujen sirottelu saattaa olla myös ongelmallista. Paksua lastulevyä tehtäessä keskilastujen sirottelu tapahtuu usealla koneella, jolloin levyaihion paksuus kasvaa pikkuhiljaa. Tällöin aihioon syntyy ikään kuin mäki, eikä levyn tiheys ole tasainen koko levyn mitalta. Jos levyn tiheys on eri kohdissa levyä erisuuruinen, levy saattaa käyristyä. Lisäksi levyn keskilastukerros saattaa jäädä turhan huokoiseksi, jolloin levyn poikittaisvetolujuus kärsii.

Puristus

Puristuksessa liima-aine sitoo lastut toisiinsa, kun käytetään korkeaa lämpötilaa ja puristuspainetta. Korkea lämpötila kiihdyttää liima-aineen reaktion kovettajan kanssa, jolloin liima alkaa kovettua. Levy voidaan puristaa suoraan sirottelun jälkeen kuumapuristimessa tai esipuristaa huoneenlämmössä ennen kuumapuristusvaihetta. Esipuristusta käyttäen lastulevyn kuumapuristusaika lyhenee ja sen pinnan ominaisuudet paranevat. Lastulevy voidaan puristaa käyttäen yksivälistä kuumapuristinta, jolloin levyaihion sirottelu tehdään päättömälle kuljetusnauhalle. Nauha kuljettaa levyaihion kiihdytyskuljettimen kautta kuumapuristimen lävitse menevälle päättömälle kuljetusnauhalle. Käytettäessä monivälipuristinta levyaihiot syötetään

yksitellen kuumapuristimen syöttölaitteeseen, jolla ne siirtyvät puristimen lämpölevyjen väliin. Levy voidaan myös puristaa jatkuvalla puristusmenetelmällä, jossa levyaihio syötetään kahden teräsnauhan väliin. Puristus saadaan aikaan säätämällä nauhojen välistä etäisyyttä. (Koponen 2002, 107–110.)

Esipuristuksessa ongelmana saattaa olla lastumassan siirtyminen taaksepäin. Esipuristus tapahtuu levyaihion työntyessä esipuristimen läpi, jolloin levyaihio hieman tiivistyy. Esipuristin saattaa kuitenkin siirtää osan päällimmäisen kerroksen pintalastuista taaemmas, jolloin levyaihion takapäästä tulee tiheämpi kuin etupäästä. Tämä saattaa johtaa lastulevyn etupään ominaisuuksien heikkenemiseen ja epäsymmetriseen rakenteeseen. (Salmi 2009.)

Viimeistely

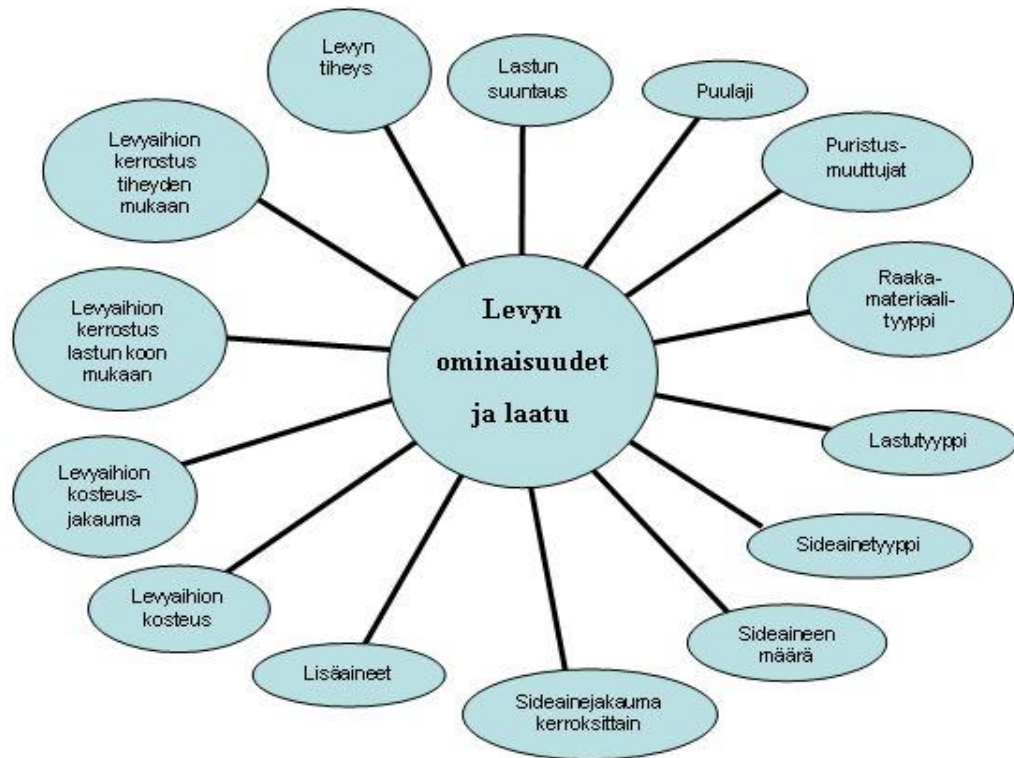
Viimeistelyssä lastulevyt jäähdytetään, työstetään lopulliseen muotoonsa ja pakataan. Jäähdytyksessä levyjen kosteus tasaannutetaan ja työstöihin kuuluu reunojen sahaus ja pinnan hionta. Levyjen reunoista sahataan pois liimauksen vaatima työvara ja ne usein sahataan määrämittoihin. Sahauksen jälkeen levyt hiotaan tasapaksuiksi ja paksuustoleranssit täyttäväksi kaksipuolisella leveänauhahiomakoneella. Paksuushionnan jälkeen levyjen pinnat hiotaan hienommilla hiomanauhan karkeuksilla sileiksi. (Koponen 2002, 111–113.)

Lastulevyn jäähdytys on tärkeää, sillä kovettunut urealiima ei kestä kuumaa kosteutta. Jos levyt pinotaan kuumina päällekkäin, kosteus ei pääse haihtumaan ja urealiima rupeaa hydrolyysireaktion takia hajoamaan. Levy alkaa kellastua ja menettää lujuuttaan, jolloin levyn altistuminen käyristymisellekin kasvaa. Lämpötila levypinon keskellä saisi olla enintään n. 60 °C. Jäähdytys tulisi tehdä levy hyvin tuettuna esimerkiksi tähtijäähdyttimellä, minkä jälkeen levyt tulisi pinota tarpeeksi useiden tasapaksujen aluspuiden päälle.

2.1.2 Ominaisuuksiin vaikuttavia muuttujia

Lastulevyn käyristymiseen vaikuttavat monet muuttujat jo ennen jatkojalostusta. Käyryyden hallintaa hankaloittavat näiden muuttujien lisäksi niiden yhteisvaikutuk-

set, eikä siis voida olettaa, että käyryyden hallintaa voitaisiin parantaa vain yhtä muuttujaa kehittämällä. On otettava huomioon, että yhtä muuttujaa kehittämällä vaikutetaan myös toisiin muuttujiin. Kuvioon 1 on hahmoteltu joitakin lastulevyn vaikuttavia muuttujia. Kun ottaa huomioon, että yhden muutos vaikuttaa moniin muihin, muuttujien välille syntyy hämähäkinseittäimäinen verkosto. Selvyyden vuoksi nämä muuttujien väliset viivat on jätetty pois. (Maloney 1993, 158.)



KUVIO 1. Lastulevyn valmistuksessa esiintyviä käyristymiseen vaikuttavia muuttujia (Maloney 1993, 159).

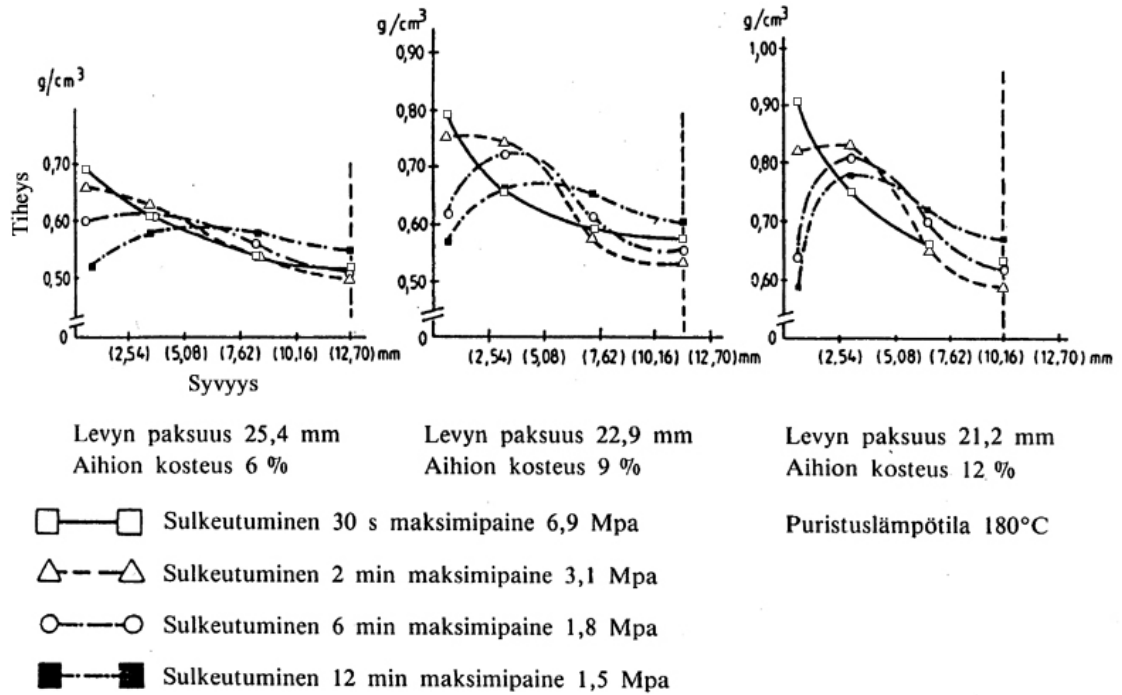
Lastujen puulaji on eräs merkitsevimmistä muuttujista, sillä se vaikuttaa melkein jokaiseen muuttujaan, mitä lastulevyn valmistuksessa esiintyy. Se vaikuttaa esimerkiksi valmiin levyn painoon ja tiheyteen, liimausreseptiin ja levyaihion kosteuteen puristettaessa. Jotkin puulajit vaativat tarkemman kosteuden hallinnan, muuten levy saattaa puristuksen loputtua hajota tai delaminoidua. Valmistettaessa sileäpintaista lastulevyä joistain puulajeista saadaan tähän paremmin soveltuvia lastuja. Mikäli lastulevyn valmistukseen käytetään useita eri puulajeja, nostaa se liiman vaatimuksia. Joillain lastulevytehtailla käytetään kuitenkin vain yhtä puulajia tai kahta, joilla on samanlaiset ominaisuudet. Tällöin puulajin merkitys muuttujana ei ole kovin korkea. (Maloney 1993, 158–159.)

Puulajin tiheys vaikuttaa valmiin lastulevyn ominaisuuksiin. Kevyemmällä puulajeilla saadaan paremmin asiakkaan haluama tiheys lastulevylle. On myös havaittu, että tällaisilla puulajeilla saadaan myös lujuusominaisuuksiltaan vahvempia levyjä. Kevyitä puulajeja ovat esimerkiksi mänty ja kuusi, joita Suomessa käytetään paljon. Tiheyden muutokset lastulevytehtaalle saapuvassa raaka-aineessa vaikeuttavat oikeanmuotoisen lastun saamista lastutuksessa, kuivausta, liimankulutusta, puristusta ja oikeanlaisten fyysisten ominaisuuksien saavuttamista. Vaikka lastulevyn valmistamiseen käytettäisiinkin vain yhtä puulajia, saattaa tiheys vaihdella esimerkiksi kevät- ja kesäpuun takia. (Maloney 1993, 161–162.)

Sideaineena käytettävän ureahartsin määrä lastulevyssä vaikuttaa sen ominaisuuksiin. Jotta lastulevyn hinta pystyttäisiin pitämään alhaisena, hartsin määrä on usein mahdollisimman vähäinen. Lisäämällä hartsin määrää saataisiin kuitenkin levyn taivutuslujuutta korkeammaksi ja ehkä käyryyden hallintaa paremmaksi. Hartsin lisäksi liimassa usein käytetään pientä määrää vahaa, jolla estetään kosteuden imeytymistä levyyn. Kosteuden imeytyminen vaikuttaa suoraan levyn käyrystymiseen, joten vahalla voidaan myös parantaa käyryyden hallintaa. (Maloney 1993, 166.)

Kosteuden vaikutus lopullisen levyn ominaisuuksiin alkaa jo lastulevyaihiota, ns. kakkua, muodostettaessa. Kosteusjakaumalla levyn pintojen ja ydinkerroksen suhteen on merkitystä. Jos pintakerroksen kosteus on korkea ja ydinkerroksen matala, tiivistyvät pinnat puristettaessa enemmän kuin ydinkerros. Tällöin valmiin levyn taivutuslujuus on tavallista korkeampi. Pintakerrosten kosteuden nostaminen täytyy kuitenkin pitää järkevissä rajoissa, sillä uhkaksi saattaa tulla muuten aiemmin mainittu korkeasta höyrynpaineesta johtuva levyn hajoaminen tai delaminointi. (Maloney 1993, 169.)

Lastukerrosten tiivistymiseen vaikuttaa myös puristusnopeus sekä lastun kosteus. Puristettaessa nopeasti kosteaa aihiota pintakerrokset tiivistyvät ja ydinkerros jää huokoisemmaksi. Puristettaessa hitaasti kuivahkoa aihiota kerrokset tiivistyvät tasaisemmin. Nopeammalla puristuksella saadaan siis taivutuslujuudeltaan vahvempaa lastulevyä. Kerrosten tiheyttä kuvataan tiheysprofiililla, jossa esitetään tiheyksiä eri syvyyksissä levyä.



KUVIO 2. Puristusnopeuden ja levyaihion kosteuden vaikutus lastulevyn tiheysprofiiliin. Keskitiheys 750 kg/m³ (Maloney 1993, 524).

Kuviossa 2 oletetaan, että mitatun lastulevyn rakenne on symmetrinen, sillä mittaukselliset tulokset loppuvat puoliväliin levyn paksuutta. Jos tiheysprofiili tutkittaisiin koko paksuudelta, voitaisiin selvittää levyn rakenteen mahdollinen epäsymmetrisyys. Samalla saataisiin myös selville, tulisiko levy käyristymään. Mitä symmetrisempi lastulevyn tiheysprofiili on, sitä pienemmällä todennäköisyydellä levy käyristyy.

Mikäli lastulevylle halutaan suunnattua lujuutta, saadaan se aikaiseksi suuntaamalla lastut sirottelussa lujuuden edellytysten mukaan. Esimerkiksi kaapin hyllyt vaativat lujuutta vain yhteen suuntaan, jotta se ei taipuisi. Yleensä kuitenkin lastulevyä valmistetaan suuntaamatta lastua, jolloin levy on yhtä luja sekä pituus-, että poikittais-suuntaan.

Lastujen puulajin tiheyden lisäksi valmiin lastulevyn tiheys vaikuttaa paljon sen ominaisuuksiin. Nostamalla levyn tiheyttä saadaan sen fyysisiä ominaisuuksia paremmiksi lukuun ottamatta sen kosteuselämistä. Levy, jolla on korkea tiheys, kestää suurempia kuormia. Toisaalta tällaisessa levyssä on enemmän puuta, jolloin sen kosteuseläminen on suurempaa, eikä näin ollen tiheyttä kasvattamalla saada paran-

nettua käyryyden hallintaa. Sama koskee lastukerrosten tiheyttä. Mikäli lastulevyn pintakerrokset ovat tiheitä, niissä vallitsevat suuremmat voimat ja ne ovat herkempiä kosteuden vaikutuksille. (Maloney 1993, 175–176.)

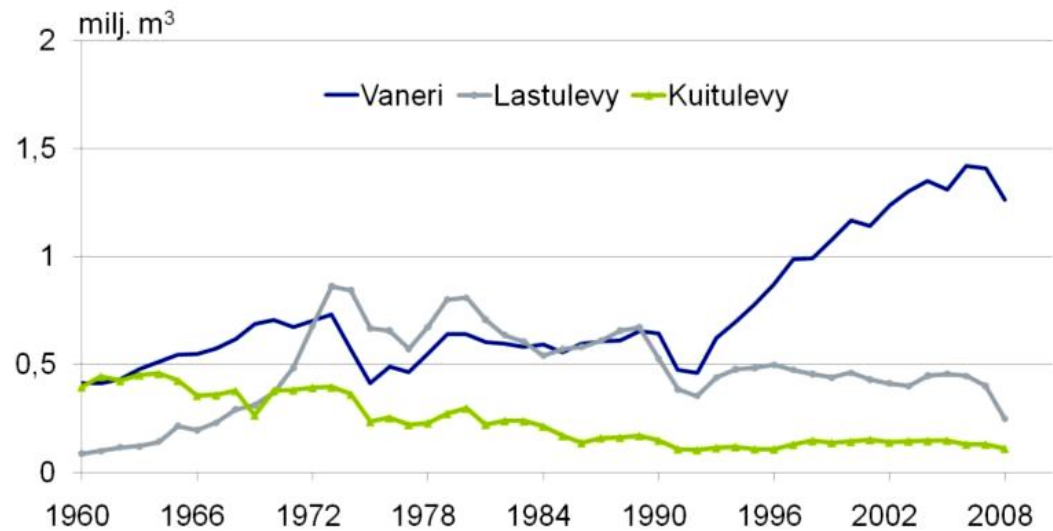
2.1.3 Lastulevyjen jatkojalostus

Jalostamalla pyritään parantamaan joitain tuotteen ominaisuuksia. Lastulevyillä pinnoitus erilaisilla kalvoilla tai puuviilulla on yleisin jalostuksen muoto. Pinnoittamalla lastulevy sen arvo ja kilpailukyky saadaan korkeammaksi valmistuksen ollessa kuitenkin melko edullista. Tähän perustuu lastulevyn hyvä hinta/laatusuhde. Kaikki huonekaluteollisuudessa käytetty lastulevy on jatkojalostettua. (Koponen 2002, 117.)

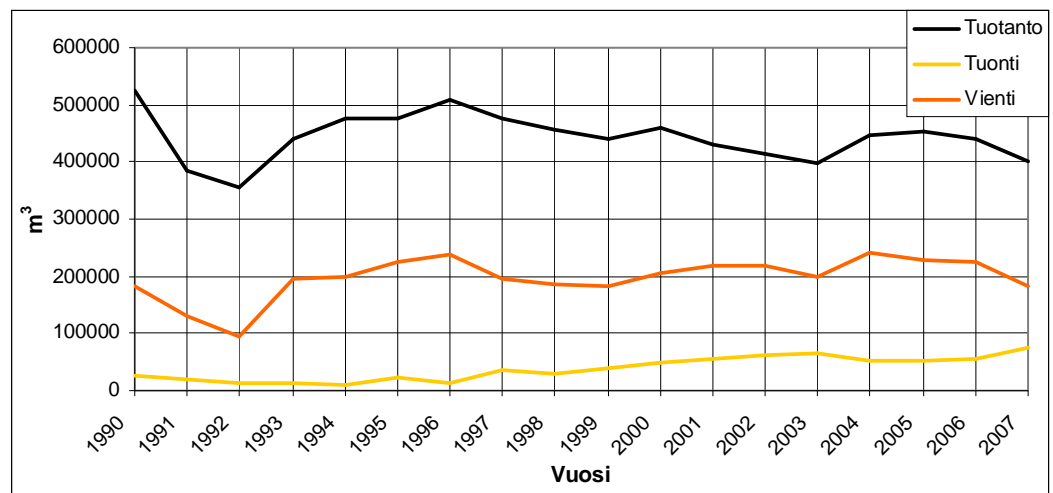
Lastulevyn jatkojalostukseen kuuluvat lastulevyn paloittelu määrämittaan, reunojen ponttaus, pinnankäsittely nestemäisellä pinnoiteaineella sekä pinnoitus liimattavalla tai itsetarttuvalla pinnoitteella. Nestemäisiä pinnoiteaineita ovat esimerkiksi maalit, lakat ja silotteet. Liimattaviin pinnoitteisiin kuuluvat puuviilut, kesto- ja kertamuovikalvot, korkeapainelaminaatit sekä paperipinnoitteet. On olemassa myös kestromuovikalvoja, joihin on painettu puukuvio. Itsetarttuvia pinnoitteita ovat esimerkiksi kertamuovilla impregnoitunut paperit, jotka painetta ja lämpöä käyttäen tarttuvat alustaansa. (Juvonen, Pekkinen 1987, 159–168.)

Puuviilut ovat säilyttäneet asemansa arvokkaimpina pinnoitteina erilaisten levytuotteiden syrjäyttäessä kustannussyistä massiivipuun huonekaluissa. Lastulevyn viilutuksella on tarkoitus tehdä levystä massiivipuista tuotetta muistuttava. Viilutuksella voidaan myös jäykistää lastulevyä, jolloin se soveltuu paremmin esimerkiksi hyllyrakenteisiin. Lastulevyn taivutuslujuus viilun syysuuntaan saattaa tällöin jopa kaksinkertaistua. (Juvonen, Pekkinen 1987, 162.)

2.1.4 Lastulevyn tuotanto ja käyttö



KUVIO 3. Puulevyjen tuotanto Suomessa (Metsäteollisuus ry 2009).



KUVIO 4. Lastulevyn tuotanto, tuonti ja vienti Suomessa vuosina 1990–2007 (Faostat 2009).

Lastulevystä Suomessa 90 % menee huonekalu- ja kalusteteollisuuteen ja loput 10 % rakennusteollisuuteen (Koskisen Oy 2007).

2.2 Viilutus

Viilu on puun rungosta sorvaamalla, leikkaamalla tai staylog-menetelmällä valmistettu levymäinen tuote. Lastulevyn pinnoitukseen käytettävä viilu on yleisimmin 0,4–0,6 mm paksua. Sitä valmistetaan korkealaatuisesta puuraaka-aineesta, useimmiten koivusta, pyökistä sekä tammesta. Sorvattu ohut huonekaluviilu on usein kuvioon leikattua, jolloin sorvilta tulleesta viilumatosta leikataan pois oksankohdat ja muut vikakohdat. Kapeat suikaleet liitetään toisiinsa liimaamalla, jolloin syntyy viiluarkki. Opinnäytetyön koelevyjen viilutuksessa käytettävät koivuviilut ovat sorvattua, ja pyökki- sekä tammiviilut leikattuja. (Puuproffa 2009.)

Viilutus on olennainen osa lastulevyn jatkojalostusta, ja se nostaa levyjen arvoa huomattavasti. Viilutuksella saadaan hyödynnettyä puuaineksen kaunein ja laadullisesti paras osa. Viiluarkit valmistetaan kapeita suikaleita yhdistelemällä, minkä jälkeen ne menevät kuumapuristimelle liimattavaksi lastulevyn pintaan. Viilu vahvistaa lastulevyn rakennetta paljon, mutta kosteuden muuttuessa saattaa aiheuttaa ongelmia.

Viilutuksessa voidaan käyttää myös vastapaperia, jolloin tuotteesta saadaan hieman halvempi. Viiluttaessa esimerkiksi pöydän kansia laitetaan lastulevyn alapuolelle viilun sijasta vastapaperia, koska se ei normaalisti näy. Esimerkiksi kaappien ovien takapuolella vastapaperia ei voida käyttää, sillä ovea avattaessa se näkyisi. Opinnäytetyön koelevyissä käytettävän vastapaperin tiheys on 120 g/m^2 , ja se on impregnoimatonta, mikä tarkoittaa sitä, ettei paperia ole kyllästetty.

2.2.1 Puun tiheys

Joitain opinnäytetyön laskuja varten oli selvitettävä tehtaalla viiluna käytettävien puulajien tiheyksiä. Käytetyt puulajit ovat koivu, pyökki ja tammi. Tiheys lasketaan puun massan suhteella sen tilavuuteen. Sen määrittämiseen vaikuttaa kuitenkin puun kosteus, joten tiheydet jakautuvat mittaustavan mukaan kuiva-, ilmakehi-, kuiva-ilmakehi-, kuiva-tuore- ja tuoretiheyksiin. Kuivatiheys on mitattu puun ollessa absoluuttisen kuivaa. Ilmakehi- ja tuoretiheys on mitattu puun kosteuden ollessa 12 %. Kuiva-tuoretiheyttä määrittäessä puun massa mitataan täysin kuivana ja tilavuus

puun kosteuden ollessa syiden kyllästymispistettä korkeampi. Kuiva-ilmakuivatiheyttä määrittäessä puun massa mitataan kuivana ja tilavuus puun kosteuden ollessa 12 %. Luotettavimmat arvot olivat kuiva-tuoretiheyksiä, joten opinäytetyön laskelmien helpottamiseksi niistä laskettiin kuivatiheydet. (Kärkkäinen 2007, 139.)

Koivun kuiva-tuoretiheys on 480 kg/m^3 , pyökin 550 kg/m^3 ja tammen 602 kg/m^3 (Kärkkäinen 2007, 173 – 174). Kuiva-tuoretiheyden ja kuivatiheyden välillä vallitseva yhteys:

$$r_0 = 100R / (100 - b_v) , \text{ missä } r_0 = \text{kuivatiheys}$$

$R =$ kuiva-tuoretiheys

$b_v =$ puuaineen tilavuuden kutistuminen tuoreesta kuivaksi. (Kärkkäinen 2007, 140.)

Kutistumisen määrä saadaan lasketuksi kaavasta:

$$b_v = u_f * d_r , \text{ missä } u_f = \text{puun syiden kyllästymispiste}$$

$d_r =$ suhteellinen puulajin kuiva-tuoretiheys

(Kärkkäinen 2007, 199)

Koivun syiden kyllästymispiste on 30,6 % ja sen suhteellinen kuiva-tuoretiheys on 0,48, joten sen kutistumisprosentti tuoreesta kuivaksi on:

$$b_v = 30,6 * 0,48 = 14,688\%$$

Koivun kuivatiheydeksi saadaan siis:

$$r_0 = \frac{100 * 480 \text{ kg} / \text{m}^3}{(100 - 14,688)} = 562,641 \text{ kg} / \text{m}^3 \approx 563 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Pyökin ja tammen kuivatiheys saatiin samalla menetelmällä.

TAULUKKO 1. Puun kuivatiheyksiä.

Puulaji	Kuiva-tuoretiheys kg/m ³	U _f , %	Kuivatiheys kg/m ³
Koivu	480	30,6	563
Pyökki	550	32,1	668
Tammi	602	24,5	706

2.3 Liimat

Liiman tarkoitus on liittää yhteen kaksi tai useampaa kappaletta. Liitos syntyy nestemäisen liiman tunkeutuessa puukappaleisiin ja liiman kovettuessa. Nestemäinen liima imeytyy diffundoitumalla puun kuitujen soluseinämiin muodostaen molekyyllisidoksen liiman ja puun välille. Lastulevyn valmistuksessa käytetään useimmiten synteettistä ja kuumakovettuvaa ureaformaldehydiliimaa. P2-huonekalulastulevyn valmistuksessa käytettävä ureaformaldehydiliima on erittäin heikkoa liimaa, jonka molekyyllisidokset saattavat hajota pelkästä veden kosketuksesta. (Koch, Klareich & Exstrum 1987, 31.)

Viilutuksessa käytetään yleensä PVAc -liimaa, jonka ominaisuuksia on muuteltu siten, että se on kovempaa ja se kovettuu nopeammin. Sen kuiva-ainepitoisuus on 40–60 % ja sen viskositeetti on vahvasti riippuvainen lämpötilasta. PVAc -liiman levitysmäärä normaalisti on 150–200 g/m², mutta viilutuksessa jopa alle 100 g/m², jolloin liiman läpilyönnin vaara on pieni. Viilutuksessa käytetään kuumapuristinta, joka lyhentää puristusaikaa ja parantaa liimasauman ominaisuuksia. (Koponen 1990, 72, 117.)

2.4 Lastulevyjä koskevia standardeja Suomessa

Euroopan unionissa on lastulevyjä koskevat yhteiset standardit, jotka määrittävät lastulevyn taivutus- ja poikittaisvetolujuuden, formaldehydipitoisuuden, paksuusturpoaman, toimituskosteuden sekä mittojen, suorakulmaisuuuden, reunan suoruu- den ja tiheyden sallitut poikkeamat. Opinnäytetyötä tehtäessä uusimmassa standar-

dissa SFS-EN 312 1-6 lastulevytuotteet on jaettu kuuteen ryhmään käyttökohteiden mukaisesti: P1, P2, P3, P4, P5 ja P6. (Koponen 2002, 87.)

Opinnäytetyössä tutkittava lastulevy on P2 -luokkaa, joka soveltuu kalusteisiin. Puhos Board Oy:n P2 -luokkaa vastaavat tuotteet ovat Wilhelmi P2 sekä melamiinipinnoitettu Wilhelmi Mel. Koskisen Oy:n vastaavat ovat KoskiPan P2 sekä melamiinipinnoitettu KoskiMel P2. Tuotteet kuuluvat päästöluokituksensa puolesta M1 -luokkaan ja niiden formaldehydipitoisuusluokka on E1. (Puhos Board Oy 2009; Koskisen Oy 2009.)

Muita lastulevyjä koskevia standardeja oli useita, mutta niissä ei kuitenkaan mainita käyryysvaatimuksia tai käyryyden mittaustapoja, joten ne määriteltiin opinnäytetyön palaverissa.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

3.1 Levyjen pinoaminen

Levyjen käyristymisen tarkkailu aloitettiin tehtaan levyaihiovarastolta, jossa levynippujen pinoamista tarkasteltiin. Tarkastelussa tehtiin havaintoja pinoamisvirheistä ja niistä aiheutuneista vahingoista. Havaintojen perusteella mietittiin oikeanlainen pinoaminen levynipuille, jolla vahingot saataisiin minimoitua.

Oikeanlaisesta pinoamisesta tehtiin pinoamisohje, jonka tavoitteena oli muistuttaa tehtaan trukkikuskeja, miten levyniput tulisi pinota niiden tullessa levytehtailta. Ohje tulisi koskemaan myös vajaiksi jäävien levynippujen kasaamista sekä paloittelun jälkeisten levyjen pinoamista. Ohjeella vältettäisiin raakalastulevyn muodonmuutokset, mikä saattaisi edesauttaa levyn pysymistä suorana jatkojalostuksessa. Kun lastulevy taipuu kimmomoduulin yli, on sen muodonmuutos pysyvä. Tällöin viiluttaessa levyyn jää taivutusjännitteitä, jotka tulevat luultavasti käyristämään levyn.

Tarkoitus oli tehdä ohje, josta selviäisi mahdollisimman helposti ja selkeästi, kuinka levyniput tulisi pinota. Ohjeesta ilmeni tärkeimmät pinoamisen vaiheet ja ohjetta selventämään otettaisiin kuvia. Siihen tulisi myös taulukko, josta selviäisi välipuiden määrä levyjen pituuden mukaan. Välipuiden määrä päätettiin yhdessä tehtaan johdon kanssa. Ohje tulitaisiin hyväksyttämään tehtaan johtajilla, jotka sitten luovuttaisivat ohjeet trukkikuskeille ja opastaisivat heitä ohjeiden käyttöön.

3.2 Viilutus

Lähtökohdaksi oletettiin, että pahimmat muutokset lastulevyn käyryyteen tapahtuvat viiluttaessa kuumapuristimella ja sen jälkeen levyjen tasaantuessa. Viilutuksen muuttujat, kuten puristusaika, -lämpö ja -paine, saattavat vaikuttaa tuloksiin. Esimerkiksi puristuslämpö on tällä hetkellä suhteellisen korkea, mikä saattaa vaikuttaa lastulevyn ominaisuuksiin. Liiman ominaisuuksia muuttamalla voitaisiin myös parantaa tuloksia. Liiman kuiva-aine- ja kosteuspitoisuuksia voisi kokeilla muuttaa. Kuiva-aineen lisääminen koventaisi liimaa, mikä saattaisi vähentää ilman olosuhteiden vaikutusta levyyn. Toisaalta jokin eri liima saattaisi olla parempaa.

Liimassa oleva vesi kostuttaa lastulevyä, ja pinnoittaessa se jää vangiksi levyyn. Kuumapuristinta käytettäessä vesi höyrystyy ja tunkeutuu vielä helpommin ja syvemmälle. Koska P2-lastulevyissä käytetään heikkoa ureaformaldehydiliimaa, saattaa viilutuksessa levyyn tuleva vesi heikentää lastulevyn ominaisuuksia. Viilutuksessa olisikin syytä kokeilla muita kuin vesiohenteisiä liimoja.

Viilutuksessa käytettävä vastapaperi ei vastaa viilun ominaisuuksia, jolloin levyn rakenne ei ole täysin symmetrinen. Tämä voi olla hyvin vartenotettava syy levyn käyristymiseen, sillä peruslevyopissakin sanotaan, että levymäisten tuotteiden rakenteiden tulisi olla täysin symmetrisiä pysyäkseen suorina. Esimerkiksi vanerissa viiluja on pariton määrä, jotta sen päällimmäisten viilujen syynsuunnat olisivat samat ja sen rakenne olisi symmetrinen. Viilua käytetään lastulevyn jatkojalostuksessa kuitenkin molemmin puolin tuotteissa, joiden molemmat puolet tulevat näkyväksi.

Opinnäytetyöni yksi osa-alue onkin tutkia, miten viilulla ja paperilla pinnoitetun lastulevyn ominaisuudet eroavat pelkästään viilulla pinnoitetuista, ja pystyisikö niitä parantamaan paperin ominaisuuksia muuttamalla. Esimerkiksi paperin paksuutta voisi lisätä, jolloin siitä jäisi jäljelle enemmän levyn hiontojen jälkeen. Toisaalta paperin hionnan voisi jättää kokonaan pois, jolloin kannen alapintaan jäisi paksumpi kerros paperia. Voitaisiin kokeilla myös rakenteellisesti erilaista tai impregnoitua paperia. Eräitä parannuskeinoja tehtaalla käytettävän paperin maahantuojan mukaan voisivat olla kuumapuristimen paperin puoleisen lämpölevyn lämpötilan nostaminen sekä liiman määrän lisääminen paperin puolelle (Ulfves 2009).

Kaikkien materiaalien tulisi olla samassa kosteudessa pinnoitusprosessissa, ja onkin suositeltavaa altistaa ne 40–45 %:n suhteelliselle kosteudelle viikon ajan ennen sitä. Kun viilu ja paperi altistuvat korkealle ilmankosteudelle, paperi venyy huippuunsa n. yhdessä päivässä, kun taas viilu n. viikossa. Tästä päätellen levy käyristyisi ensin reunoista ylöspäin paperin ollessa alapuolella, kuten alustavat tiedot ovat kertooneet. Tasaannuttuaan noin viikon levy käyristyisi vastakkaiseen suuntaan. Käyttämällä elastisia liimoja lastulevyyn kohdistuisi vähemmän stressiä, mikä vähentäisi levyn taipumusta käyristyä. (Maloney 1993, 619.)

3.3 Päällimmäisen levyn suojaus

Alustavien tutkimusten mukaan levypinon päällimmäinen levy on yleensä käyrin. Tämä luultavasti johtuu ilmavirrasta ja lämpötilanmuutoksista. Ne vaikuttavat ensin päällimmäiseen levyyn, koska päällimmäisen levyn pinta on täysin paljaana ja alttiina kaikille olosuhteiden muutoksille. Ilma vie pinnassa olevaa viilua pitkin virtaamalla kosteutta siitä pois. Tämä aiheuttaa viulun kutistumisen, mikä taas saattaa aiheuttaa koko levyn käyristymisen.

Jos pinnan suojaisi niin, ettei ilma pääsisi virtaamaan viilua pitkin, voisi se ratkaista pinon päällimmäisen levyn ongelman. Kun päällimmäinen levy pysyisi suorana, se suojaisi paremmin myös sen alla olevia levyä. Suojauskeinoja voisivat olla levypi-

non huputtaminen muovilla tai laittamalla pinon alla käytettäviä kovapahviarkkeja pinon päälle niin, että se kattaisi koko pinnan.

Suojauksen vaikutuksia voitaisiin kokeilla niin, että kolmen levyn nippuja suojattaisiin edellä mainituilla tavoilla. Kolmen levyn nipuilla saataisiin selville myös, miten päällimmäisen levyn alla olevat levyt käyttäytyvät. Koe suoritettaisiin eri olosuhteissa, esimerkiksi kuumapuristimen viereisellä välivarastolla tehdasolosuhteissa sekä viilugarastolla vaativammassa olosuhteissa.

Vaikka alustavien tietojen mukaan päällimmäisen levyn alla olevat levyt ovat suorempia, eivät ne kuitenkaan aina ole täysin suoria. Keväällä, vuoden kosteimpana aikana, koko levypinot saattavat olla niin käyriä, ettei niitä pystytä kunnolla työstämään viilutuksen jälkeen. Viilutuksen jälkeen hionnassa levyn tulisi olla melko suora, jottei pinnoite hioutuisi puhki. Ottaen huomioon, että levyt hiotaan parhaimmillaan kolmeen kertaan ja pinnoituksessa käytettävien viilujen ja papereiden paksuus on alle millimetrin, tulisi levyn suoruuteen kiinnittää erityistä huomiota.

3.4 Kansi suoraksi -koe

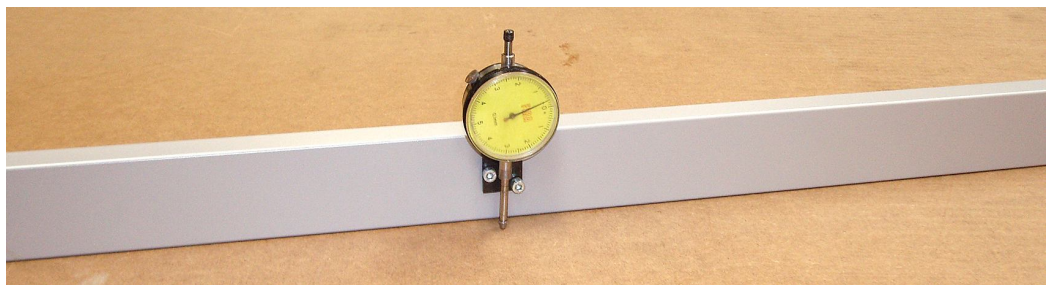
Opinnäytetyön tutkimusten lopuksi oli tarkoitus tehdä koe, jossa testattaisiin viilutuksessa esiintyvien eri muuttujien vaikutusta levyn käyrystymiseen. Muuttujat valittaisiin aiempien tutkimusten perusteella. Muuttujille valittaisiin kaksi tasoa, joita kokeessa testattaisiin. Muuttujat ja niiden tasot syötettäisiin Minitab-ohjelmaan, joka tekisi niistä erilaisia kombinaatioita. Lastulevyt viilutettaisiin näillä kombinaatioilla, minkä jälkeen niille tehtäisiin käyryys- ja kosteusmittauksia.

Kokeen tarkoituksena olisi löytää kullekin muuttujalle käyryyden hallitsemisen kannalta parempi taso. Tasojen selvittyä suoritettaisiin konfirmaatiokoe, jolla varmistettaisiin tulosten vaikutus käyryyden hallintaan. Tämän jälkeen tuotantoon tehtäisiin tarvittavat muutokset, jotta levyt pysyisivät suorempina.

4 TIEDON KERÄÄMINEN

4.1 Käyryyden mittaus

Lastulevystandardeissa ei ollut asetettu minkäänlaista käyryystoleranssia, joten raja-arvo päätettiin Kansi suoraksi -projektin käynnistävässä palaverissa 31.3.2009: levy saisi olla enintään 1,5 mm/m käyrä ja levynipun kolme päällimmäistä levyä tulitisiin mittaamaan. Alustavat levyn mittaustavat päätettiin myös palaverissa, mutta ne muuttuivat mittausten myötä useaan otteeseen johtuen mittaustarkkuuden epämääräisyydestä. Mittaustapojen muutoksien takia tulostaulukoiden arvot eivät ole täysin vertailukelpoisia, mutta hyvin suuntaa-antavia. Mittaukset suoritettiin 2 m pitkstä alumiinisesta profiiliputkesta ja 1/10 mm tarkalla kellomittarista kasatulla mitalla. Suurin mittaussmatka oli 2 m ja suurin mahdollinen mitattava käyryys 8,3 mm. Mikäli mitattava levy oli kupera, jouduttiin levy kääntämään, jotta mittaus voitiin suorittaa. Varsinaiset mittaukset aloitettiin 22.4.2009, mutta muotojyrsinnän viereisellä välivarastolla oli jo aiemmin tehty mittauksia.



KUVA 1. Käyryysmitta.

4.1.1 Ensimmäinen mittaustapa

Jos levynippu oli vaikeassa paikassa mittauksen kannalta, asetettiin se lattialle mahdollisimman suoraan kohtaan. Muutoin mitattiin siinä kohdassa, missä levynippu oli. Kolmesta päällimmäisestä levystä otettiin yksi mittaus asettaen mitta levyn pisimmän lävistäjän suuntaisesti niin, että mitan päädyt olivat yhtä kaukana levyn kulmista. Mittausmatka mitattiin ja käyryyslukema muunnettiin metriä kohden.

Mittaustavan ongelmaksi koitui mittausten vähyys yhdestä levyistä. Mittaustulos saattoi näyttää liian paljon tai hyvin vähän, mutta toisessa suunnassa tulos olisi voinut olla päinvastainen. Ongelma ratkaisuksi keksittiin ottaa yhdestä levyistä kaksi mitausta, joista laskettaisiin keskiarvo.

4.1.2 Toinen mitaustapa

Toinen mitaustapa oli muuten samanlainen kuin ensimmäinen, mutta levyistä otettiin kaksi mitausta asettaen mitta molempien lävistäjien suuntaisesti. Mittauksista laskettiin keskiarvo metriä kohden. Ongelmaksi koituivat muotokannet, joiden mitausta vaikeuttivat erilaiset muodot. Esimerkiksi liitteessä 1 olevassa E-16 -muotokannessa yhden kulman kohdalla on iso sisäkaari, jolloin toista mitausta ei pystytty vertailukelpoisesti suorittamaan.

Mitatessa huomattiin myös, että lattian käyryys vaikuttaa mitaustuloksiin, eikä suoraa kohtaa tehtaan lattiasta löytynyt. Ongelman johdosta ryhdyttiin suunnittelemaan metallirakenteista mitauspöytää, joka olisi tarpeeksi jäykkä lattian muutoksia vastaan. Kaksi metallirunkoista ja pyörillä liikkuvaa pöytää hitsattiin yhteen ja pöytälevyksi laitettiin MDF-levy. Pöydästä tuli yli kaksi metriä pitkä, joten se tulisi kattamaan kaikki mitattavat levyt syysuunnassa, joka mittauksia ajatellen olisi tärkein tuettava suunta. Pöydän mitaustoleranssiksi tuli 0,1 mm/m.



KUVA 2. Mittauspöytä.

4.1.3 Kolmas mittaustapa

Muotokansien mittausingelmista johtuen lisättiin vielä yksi mittausta. Levyt asetettiin yksi kerrallaan mittauspöydälle, ja niistä mitattiin kolme mittausta: molempien lävistäjien suuntaisesti ja syynsuuntaisesti. Muotokansissa, kuten E-16 -kansi, toisen lävistäjän mittausta tehtiin kulmasta kuviteltuun kulmaan -suuntaisesti, molempien mitan päiden ollessa yhtä kaukana kulmasta ja muotokaaren reunasta.

Käyryysmitan epätarkkuuteen kiinnitettiin myös huomiota ja päätettiin, että mitta kalibroitaisiin aina ennen mittauksia. Kalibrointiin käytettiin viiluleikkurin valumetallista etupöytää, joka oli suurin mahdollinen pöytä.

4.2 Taulukointi

Taulukkoon tehtiin sarakkeet nimikkeelle, viilutuspäivämäärälle, levyaihion materiaalille, viilun puulajille, lakkaukselle, mittaumatkalle, mittaustuloksille, huomioille sekä mittaustaikalle. Nimikkeestä ilmenee levyaihion koko ja muoto: kirjain kertoo leveyden ja numero pituuden. Esim. A16 -kansi on 800 mm leveä ja 1600 mm pitkä. Kirjaimet D:stä eteenpäin ovat muotokansien nimikkeitä, paitsi V-kansi, joka on pieni nelikulmainen luentopöydän kansi. Kansien muodot selviävät liitteestä 1.

Viilutuspäivämäärä kertoo, milloin levy on pinnoitettu. Levyaihion materiaali kertoo, onko aihio lastulevyä vai MDF:a. Viilun puulajisarakkeeseen merkattiin tehtaan oma koodinumero kyseessä olevalle viilulle: numero 1 on koivu, 7 pyökki ja 8 tammi. Lakkausarakkeesta ilmenee, onko levy lakattu. Mittaumatkasarakkeeseen merkattiin mittauksen lävistäjän suuntainen sekä syynsuuntainen matka. Mittaustuloksista reunimmaisista sarakkeista lävistäjän suuntaisia ja keskimmäiset syynsuuntaisia. Levy 1 on päällimmäinen, levy 2 toiseksi päällimmäinen ja levy 3 kolmanneksi päällimmäinen. Huomioihin kirjoitettiin mittauksessa tehtyjä havaintoja sekä tuotekoodeja, jos samaa nippua seurattiin pidemmän ajan läpi jalostusprosessin.

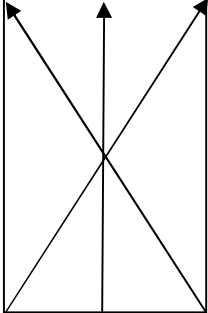
Paikkasarake kertoo, missä mittaukset tehtiin. Tuloksia puhtaaksi kirjoitettaessa jokaiselle mittauspaikalle tehtiin oma taulukkonsa. Mittauspaikat olivat levypaloittelusahalla, Sennerskov- ja Siempelkamp-kuumapuristimilla, CNC-työstökeskuksella sekä pintakäsittelyosastolla. Lastulevyt kulkevat tehtaalla paloittelun jälkeen kuumapuristimelta reunalistoituskoneelle tai muotojyrsintään CNC-työstökeskukselle. Sen jälkeen ne hiotaan ja viedään pintakäsittelyosastolle. Jokaisessa työvaiheessa levynipun levyt menevät päinvastaiseen järjestykseen, mikä otettiin huomioon seuratessa samaa työerää läpi tuotantoprosessin.

Taulukosta tulostettiin paperille tyhjä versio, joka voitiin ottaa mukaan kenttätutkimuksiin ja johon kirjoitettiin käsin mittaustulokset. Mikäli levy oli kupera, merkattiin käyryys miinusmerkkiseksi. Tulokset kirjoitettiin puhtaaksi tietokoneella Excel-tilaukseen. Taulukon muoto vaihtui sitä mukaa kun mittaustapa vaihtui: alkupään tuloksissa on vain yksi arvo per levy, keskivaiheilla on kaksi ja loppupuolella on kolme. Tämän takia tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia. Toisaalta alkupään tulosten olikin tarkoitus olla vain suuntaa-antavia, jotta tiedettäisiin, mihin levynjalostusprosessin vaiheeseen tulee panostaa eniten. Mittaustuloksia analysoidaan opinnäytetyön yhteenvedossa.

Nimike	Pvm	La-le	MDF	Viilu	Lakka	Mittausmatka	Mittaaja _____						Huom.	Paikka
							Käyryys (mm)							
							Levy 1		Levy 2		Levy 3			

KUVA 3. Kenttätutkimuksiin mukaan otettavan mittaustulostaulukon pohjaa.

Levy 1		
0,0	0,0	0,1
0,0	0,0	0,0
0,3	0,1	0,4
0,4	0,1	0,5
0,9	0,4	0,7



KUVA 4. Käyrysmittausten suoritus ja tulosten taulukointi.

Sennerskov													Suurin sallittu käyryys 1,5mm/m							
Nimike/pituus	La-ite	MDF	Viilu	Lakka	Mittausmatka (m)		Mittattu käyryys (mm)									Huom.	Viilutus pvm	Laskennallinen Käyryys mm/m		
					Livistaja	Syyssuunta	Levy1			Levy2			Levy3					Levy 1	Levy 2	Levy 3
D 12	X		7		1,7		2,9			1,5			1,5			Nippu käännetty ennen prässiä	6.5.	1,7	0,9	0,9
B 14	X		1		1,55		0,3		0,1	0,0		0,0	-0,1		0,0	54462-1, ei tasaannutusta	15.6.	0,1	0,0	0,0
B 14	X		1		1,55		0,2		0,2	-0,2		0,0	0,0		0,0	54462-1, 1 päivä tasaannutettu	15.6.	0,1	-0,1	0,0
B 14	X		1		1,55	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54462-1, 2 päivä tasaannutettu		0,0	0,0	0,0
B 14	X		1		1,55	1,4	0,5	0,3	0,3	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,2	54462-1, 3 päivä tasaannutettu	15.6.	0,2	0,0	0,0
Keskiarvo																	0,1	0,0	0,0	
Suurin																	0,2	0,0	0,0	
Pienin																	0,0	-0,1	0,0	

KUVA 5. Puhtaaksi kirjoitettua mittaustulostaulukkoa.

5 PINOAMISTUTKIMUS

5.1 Pinoamisvirheitä

Suurin virhe pinoamisessa oli välipuiden epätarkka sijoitus sivusuunnassa. Välipuiden tulisi olla samassa linjassa pystysuunnassa, jotta pinon paino kohdistuisi maahan. Jos välipuut eivät ole kohdakkain, alla oleva levynippu taipuu ylemmän painosta. Joidenkin nippujen päälle on levytehtaalla vielä lisätty kapea lastulevysoiro, jotta nippua sitova vanne ei tee jälkeä päällimmäiseen levyyn. Tällöin välipuiden sijoittelun merkitys vielä kasvaa. Jos välipuu ei osu soiron päälle, on välipuu alemmalla tasolla kuin soiron päällä oleva välipuu. Tämä tulee taivuttamaan kaikkia päällä olevia levynippuja, jolloin tästä pienestä virheestä aiheutuva ongelma kasvaa melko suureksi.



KUVA 6. Välipuu ei ole alla olevan nipun päällä olevan soiron kohdalla.

Toinen ongelma oli välipuiden vähyys. Joissain saapuneissa levynipuissa oli vain kolme aluspuuta, mikä saattaa olla liian vähän 2500 mm pitkälle levynipulle. Vir-

heen korjaamiseksi nipulle tulisi etsiä kaksi oikean paksuista välipuuta keskimmäisen ja laitimmaisen väliin. Joissain saapuneissa levynipuissa välipuiden määrä vaihteli neljästä viiteen, joka määränä on hyvä, mutta levynippujen pinoaminen päällekkäin on vaikeaa. Jos niput, joissa toisessa on neljä ja toisessa viisi välipuuta, laitetaan päällekkäin, eivät välipuut ole kohdakkain. Tällaiset levyniput tulisi laittaa eri torneihin tai ottaa ylimääräinen välipuu pois ja kohdentaa loput välipuut. Edellä mainitut virheet ovat kuitenkin turhan aikaa vieviä korjattavaksi levyjen saapussa, joten korjaus olisi tehtävä jo levytehtaalla. Asia laitettiin menemään eteenpäin kyseisille levytehtaille.



KUVA 7. Lastulevynippuja, joissa on eri määrä välipuuta.

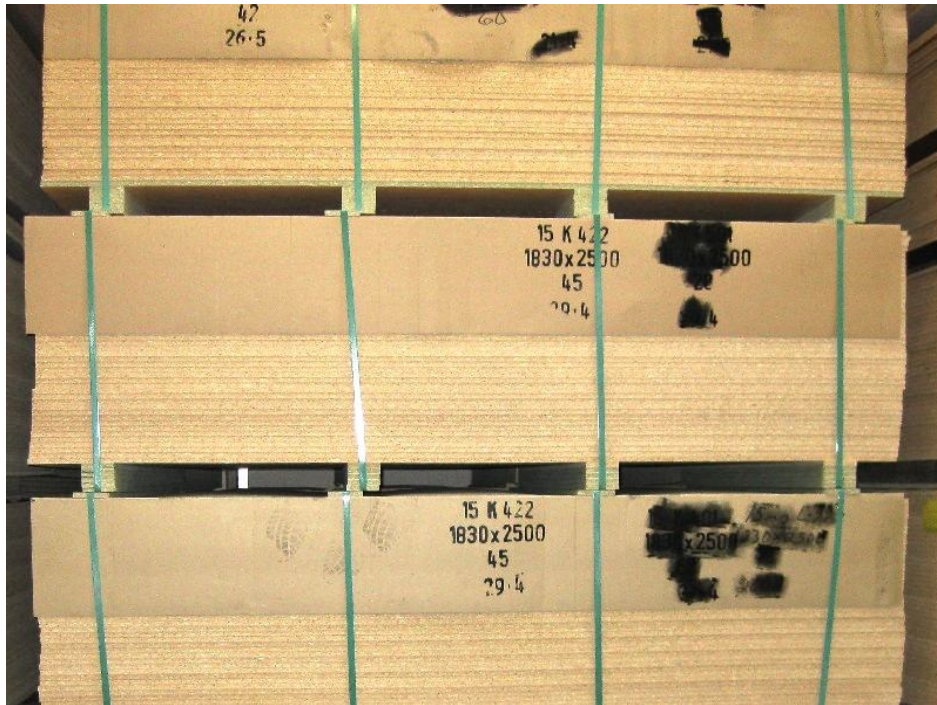
Joistain nipuista oli yksi välipuu tippunut luultavasti levyjä nostettaessa, jolloin vanteet löystyvät. Ongelma oli kuitenkin sivuutettu ja niput laitettu päällekkäin, jolloin pino oli puuttuvan välipuun kohdalta ruvennut käyristymään. Samanlainen ongelma oli syntynyt myös nippuihin, joiden alla oli liian ohut tai paksu välipuu verrattuna viereisiin välipuihin. Samassa levynippujen välissä tulisi olla saman paksuiset välipuut.



KUVA 8. Välipuu puuttuu.

5.2 Ohje

Pinoamisvirheiden tutkimisen jälkeen virheellisesti kasatuista levynippupinoista otettiin kuvia. Kuviin lisättiin kuvankäsittelyohjelmalla nuolia osoittamaan virhekohtat ja kuvien alle kirjoitettiin parannuskeinot. Kuvat lisättiin ohjeeseen tarpeeksi suurikokoisina, jotta niiden yksityiskohdat näkyisivät paremmin: kuvia päätettiin laittaa yksi per sivu. Pinoamisohjeen alkuun tehtiin ”kohta-kohtalta” -tyylinen ohjeistus, josta selvisi, miten tulisi toimia erilaisissa tilanteissa. Ohjeistuksessa luki esimerkiksi välipuiden määrä eri levytiteuksille. Pituuksia oli kolme: alle 1200 mm, 1600–2000 mm ja yli 2500 mm. Välipuiden määrät perustuivat tehtaalla hyviksi koettuihin kokemuksiin. Ohje löytyy liitteenä.



KUVA 9. Onnistunut levynippu.

6 VIILUTUSTUTKIMUS

6.1 Kosteus

Lastulevyä viiluttaessa kosteutta kerääntyy viilun kostutuksesta, viilusta ja liimasta ja paperista. Lisäksi lastulevyssä itsessään on kosteutta.

Isolla puristimella viilutettaessa pieniä levyjä jää ensimmäinen levy odottamaan ladonnan jälkeiselle radalle seuraavaa levyä. Jos pieni levy puristettaisiin yksinään, puristimen lämpölevyjen pinta-alat eivät täytyisi tasaisesti, jolloin ne saattaisivat vahingoittua käyristyessään hydraulisyliinterien painaessa niitä toisiaan kohden. Puristimeen pääsyä odotellessa viilu pyrkii käpristymään, koska liima kostuttaa sitä alapuolelta. Jotta se ei käpristyisi, sitä kostutetaan sumuttimella yläpuolelta. Viilun kostutuksessa tuleva veden määrä oli puristimella tehdyn tutkimuksen mukaan n. 16 g/m^2 .

Viilut ovat puristukseen tullessa n. 10 % kosteudessa. Viilujen massat saadaan laskettua kaavalla:

$$\frac{m - m_0}{m_0} = 0,10$$

$$m - m_0 = 0,10 * m_0$$

$$m = 0,10m_0 + m_0$$

$$m = 1,10m_0$$

m = viilun massa 10 % kosteudessa

m_0 = viilun massa absoluuttisen kuivana

Viilussa olevan veden määrä saadaan laskettu poistamalla massasta kuivamassa:

$$m = 1,10m_0 - m_0 = 0,10m_0$$

Kun kuivamassan tilalle sijoitetaan *kuivatiheys* * *viilun paksuus*, saadaan veden määrä neliometriä kohden.

Koivuviilu:

$$m_{koivu} = 0,10 * (563 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0,0006 \text{ m}) = 0,03378 \text{ kg} / \text{m}^2 \approx 33,8 \text{ g} / \text{m}^2$$

Pyökkiviilu:

$$m_{pyökki} = 0,10 * (668 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0,0006 \text{ m}) \approx 40,1 \text{ g} / \text{m}^2$$

Tammiviilu:

$$m_{tammi} = 0,10 * (706 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0,0006 \text{ m}) \approx 42,36 \text{ g} / \text{m}^2$$

Paperin kosteus tulisi yleisesti olla 45 - 55 % (Painotalo Scanseri, 2009). Koelevyissä käytettävän vastapaperin paino on 120 g/m². Vettä paperissa on siis enimmillään:

$$m_{paperi} = 0,55 * 120 \text{ g} / \text{m}^2 \approx 66 \text{ g} / \text{m}^2$$

Viilutuksessa käytettävässä vesiohenteisessa PVAc -liimassa on 65 % kuiva-aineita, mikä tarkoittaa sitä, että siinä on vettä 45 %. Olettaen, että liiman levitysmäärä viiluttaessa on alle 100 g/m^2 , kuten aiemmin on mainittu, siinä olisi enimmillään vettä 45 g/m^2 .

Kosteuden haihtumiskokeen yhteydessä punnittiin viisi $386 \times 410 \times 18 \text{ mm}$ raakalastulevyä. Niiden keskimääräiseksi painoksi saatiin $1810,4 \text{ g}$, josta laskettiin levyjen keskiarvoinen tiheys:

$$\frac{1,8104 \text{ kg}}{(0,386 * 0,410 * 0,018) \text{ m}^3} = 649,8 \text{ kg} / \text{m}^3 \approx 650 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Lastulevyn toimituskosteus on n. 6 %, sen tiheys on 650 g/m^3 ja yleisin kannen paksuus tehtaalla on 25 mm . Näin ollen lastulevyssä olisi vettä:

$$m_{\text{lastulevy}} = 0,06 * (650 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0,025 \text{ m}) \approx 975,0 \text{ g} / \text{m}^2 .$$

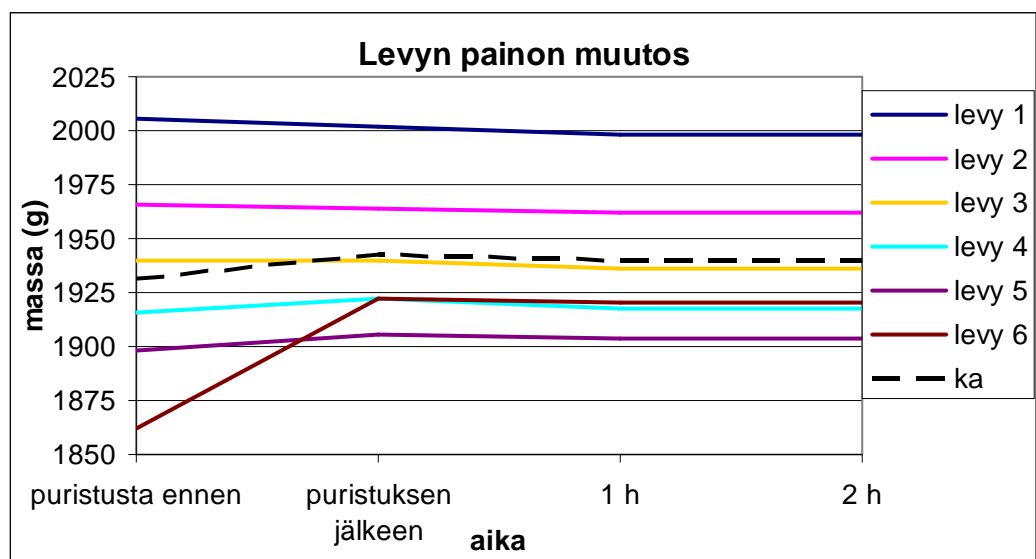
TAULUKKO 2. Veden määrä eri materiaaleissa.

	Koivu	Pyökki	Tammi	Lastulevy	Vastapaperi	Liima
Tiheys (kg/m^3)	563	668	706	650		
Massa (g/m^2)					120	100
Kosteus (%)	10	10	10	6	55	45
Vettä (g/m^2)	33,8	40,1	42,4	975,0	66	45,0

Lastulevyn viilutuksessa oleva veden määrä kostutus mukaan lukien on siis yhteensä $1114,9 - 1165,8 \text{ g/m}^2$ riippuen siitä, mitä viilua käytetään ja käytetäänkö vastapaperia vai viilua molemmin puolin. Jos lastulevyn omaa kosteutta ei oteta mukaan, saadaan viilutuksessa tuleva lisäveden määrä, joka on $190,8 - 214,4 \text{ g/m}^2$. Koska pintaviilu ja vastapaperi sitovat itseensä kosteutta, ei niiden sisältämää vesimäärää voida välttämättä ottaa huomioon lisäveden määrää laskettaessa. Viilu ja vastapaperi huomioimatta lisäveden määrä on 106 g/m^2 .

6.1.1 Kosteuden haihtumiskoe

Kosteuden haihtumisesta levystä tehtiin koe. Kokeella haluttiin nähdä, kuinka paljon kosteutta haihtuu levystä pinnoitusprosessissa. Koe suoritettiin kuudelle 386 x 401 x 18 mm levyille, jotka viilutettiin molemmin puolin 405 x 420 x 0,6 mm pyökkiiviilulla. Levyt punnittiin ennen kuumapuristimeen menoa niin, että levyn pinnoissa olivat liima ja viilu. Seuraavat punnitukset tehtiin heti puristuksen jälkeen sekä yhden ja kahden tunnin päästä puristuksesta.

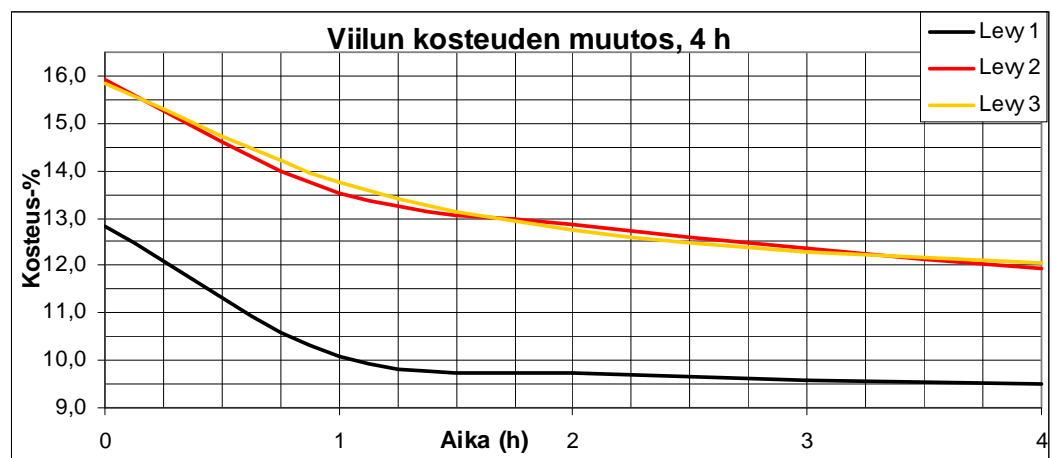


KUVIO 5. Levyn massan muuttuminen ennen puristusta ja sen jälkeen.

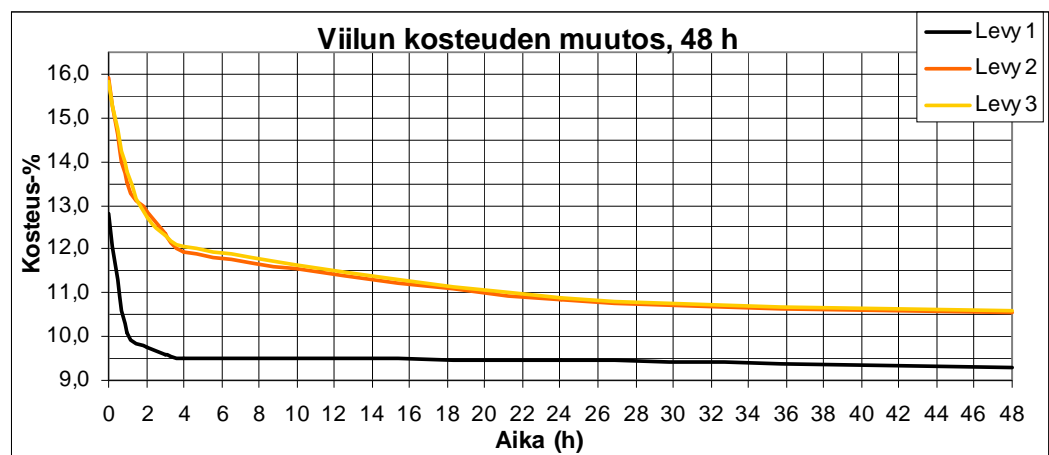
Pinnoitusta ennen punnitun massan nousu pinnoituksen jälkeiseen voidaan selittää levyn kostuttamisella. Kosteutta haihtuu levystä vähän, mutta melko nopeasti, n. tunnissa. Sen jälkeen kosteuden haihtuminen on erittäin vähäistä. Punnitut levyt olivat mittausten välillä muiden samanlaisten levyjen kanssa samassa nipussa, eikä yksikään punnittu levy ollut nipun päällimmäisenä. Tällä estettiin tilastollinen piikki, joka luultavasti päällimmäisellä levyllä olisi tullut: päällimmäisen levyn massa saattaa ympäröivien olosuhteiden takia laskea paljon enemmän.

6.1.2 Kosteuden haihtuminen pintaviilusta

Tässä kokeessa selvitettiin kosteuden haihtumista pintaviilusta. Kosteudet mitattiin heti kuumapuristuksen jälkeen, tunnin välein 4 tunnin ajan sekä yhden ja kahden päivän päästä puristuksesta. Kosteudet mitattiin Merlin HM8 - WS1 -mittarilla, joka on suunniteltu erityisesti viilun kosteusmittaukseen. Mittaus suoritettiin pinta- viilun kulmista ja keskeltä 0,5 – 0,7 mm:n syvyydeltä nipun kolmesta päällimmäisestä levystä. Viidestä erikokoisesta levystä mitatuista tuloksista laskettiin keskiarvo.

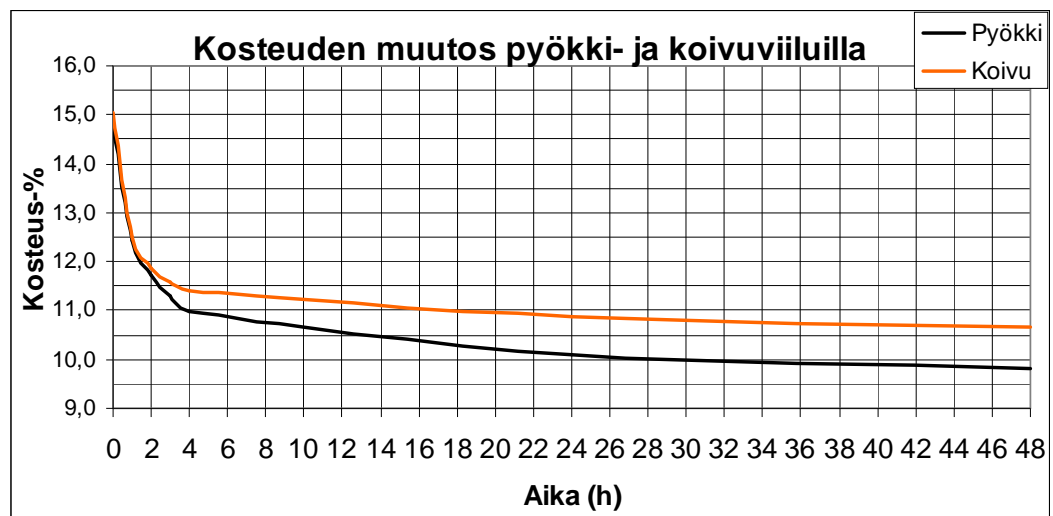


KUVIO 6. Kosteuden haihtuminen pintaviilusta viilutuksen jälkeen neljän ensimmäisen tunnin aikana (levy 1 = päällimmäinen, levy 2 = toiseksi päällimmäinen, levy 3 = kolmanneksi päällimmäinen).



KUVIO 7. Kosteuden haihtuminen kolmen päällimmäisen levyn pintaviiluista kahden vuorokauden aikana viilutuksen jälkeen.

Kuviosta 6 huomataan, että kolmen päällimmäisen levyn pintaviilujen kosteudet laskevat samaan tahtiin 4 ensimmäisen tunnin aikana, ja lasku on melko nopeaa. Kuviosta 7 voidaan havaita, että päällimmäisen levyn pintaviilun kosteus tasaantuu lopulliseen tasoonsa muita aikaisemmin, eikä muutoksia juuri ilmene 4 tunnin jälkeen. Nopea tasaantuminen voidaan selittää päällimmäisen levyn paljaalla pinnalla. Alempien levyjen viilut tasaantuvat hitaammin, koska niiden pinnat on suojattu päällä olevalla levyllä.



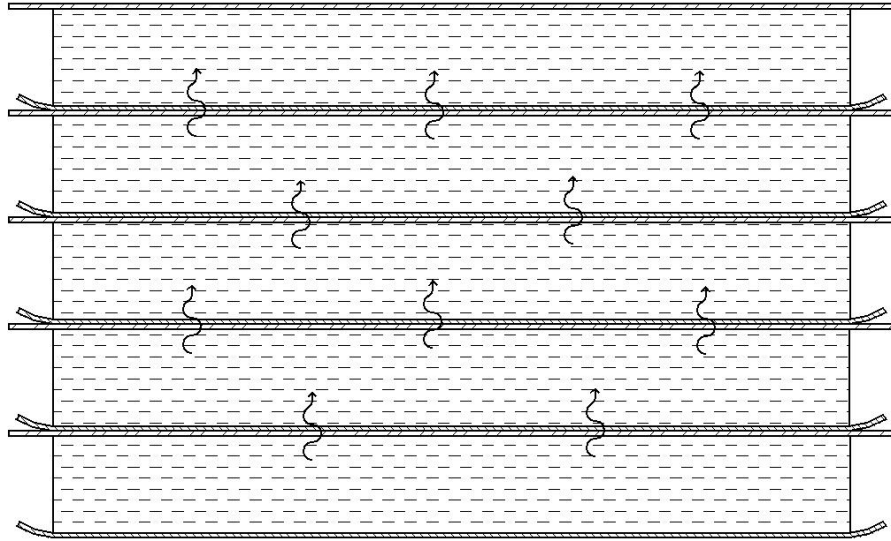
KUVIO 8. Pyökki- ja koivuviilujen kosteuden tasaantumisen ero.

Kuviosta 8 nähdään, että koivuviilu tasaantuu nopeammin kuin pyökkiviilu. Pyökkiviiluisia levyjä onkin havaittu olevan vaikeampi työstää viilutuksen jälkeen. Työstön vaikeus johtunee siitä, että pyökki jatkaa vielä kosteuselämistään, kun työstöjä tehdään. Sen tasaantuminen on hitaampaa, koska sen tiheys on suurempi kuin koivun, minkä takia se sitoo itseensä enemmän kosteutta. Koivuviilu tasaantuu nopeasti, joten levy on stabiilimpi työstöjä tehtäessä.

6.1.3 Kostutuskoe

Viilulle ja vastapaperille tehtiin kostutuskoe, jossa paperi ja viilu kastettiin sumuttimella läpimäriksi. Kumpikin materiaali otettiin samoista olosuhteista, kuumapuristimen viereltä. Kostuessaan paperin turpoaminen oli syysuuntaa kohtisuoraan n. 2,4 %, kun viilulla se oli n. 5,3 %. Tästä päätellen viilulla ja vastapaperilla pinnoitettu

levy altistuessaan kosteudelle käyristyy viulun puolelta kuperaksi. Käytännössä näin ei kuitenkaan käyrysmittausten mukaan kovin useasti ole käynyt. Tämä johtunee päällimmäisen levyn osalta siitä, että päällä oleva viilu pääsee vapauttamaan kosteutta paljon tehokkaammin kuin alla oleva vastapaperi. Alempien levyjen osalta edellä mainittu havainto johtunee siitä, että alla olevan levyn pintaviilu kostuttaa yllä olevan levyn alapuolta.



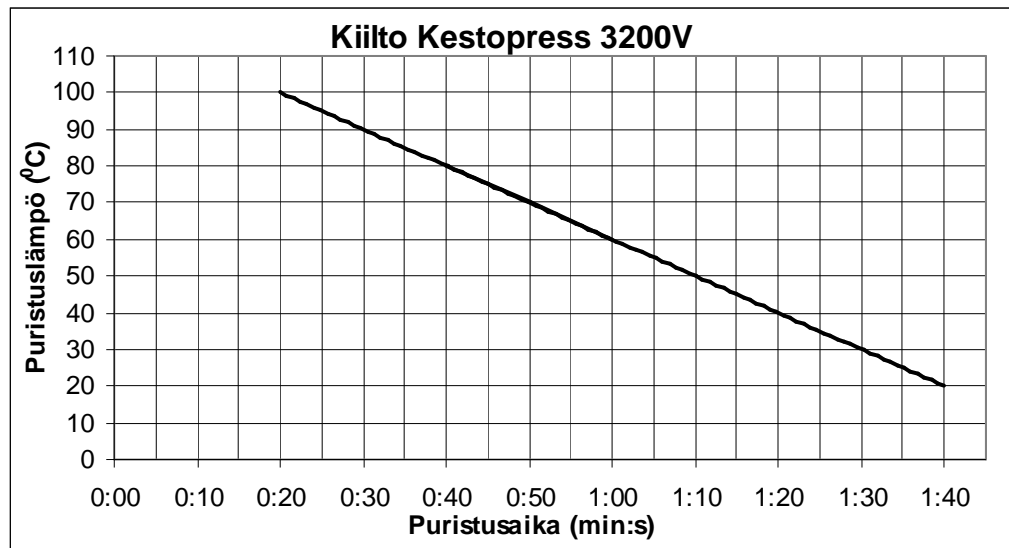
KUVA 10. Kosteuden siirtyminen viilusta vastapaperiin.

6.2 Puristusaika ja -lämpö

Nykyiset puristuslämmöt tehtaalla ovat kuumapuristimen ylemmässä lämpölevyssä n. 90 °C ja alemmassa lämpölevyssä n. 100 °C. Koska alempi lämpölevy luovuttaa enemmän lämpöä, sen lämpötilaa pidetään mittarin mukaan ylempää 10 °C korkeampana. Tällöin lämpölevyt ovat käytännössä suurin piirtein yhtä lämpimät. Puristusaika lastulevyn viilutuksessa tehtaalla on 42 s.

Tehtaalla on käytössä useiden eri valmistajien liimoja, mutta niiden käyttöohjeita ei ollut saatavilla. Eräs viilutuskäyttöön tarkoitettu dispersioliima, jonka ominaisuudet soveltuisivat tehtaalla käytettäviin puristusolosuhteisiin, on Kiilto Oy:n Kestopress 3200V. Sen käyttöohjeiden perusteella päästäisiin n. 40 s puristusaikaan 80 °C puristuslämmöllä. Käyttäessä Kestopress 3200V -liimaa voitaisiin siis alentaa puris-

tuslämpöjä, mikä tuottaisi taloudellisia säästöjä tehtaalle. Voitaisiin tehdä koe, jossa vertailtaisi puristuslämmön vaikutusta käyryyden hallintaan. (Kiilto Oy, 2009).



KUVIO 9. Puristusajan suhde puristuslämpöön Kiilto Kestopress 3200 V -liimalla.

6.3 Liima

Liiman levitysmäärän selvittämiseksi tehtiin koe. Koetta varten leikattiin kaksi 600 x 600 x 22 lastulevyn palasta. Levyt laitettiin kulkemaan päällekkäin liimanlevittimen läpi, jolloin saatiin erikseen ylä- ja alapuolen liimanlevitysmäärä. Lastulevyt punnittiin ennen liimanlevitystä ja sen jälkeen.

TAULUKKO 3. Punnitustulokset ja levyn koko.

	Massa ennen (g)	Massa jälkeen (g)	Lastulevyn koko (mm)
yläpuoli	5748	5776	601x601x22
alapuoli	5734	5764	600x601x22

Levityksen jälkeisistä painoista vähennettiin alkuperäiset painot, jolloin saatiin liiman paino:

$$m_{\text{yläpuoli}} = 5776 \text{ g} - 5748 \text{ g} = 28 \text{ g}$$

$$m_{\text{alapuoli}} = 5734 \text{ g} - 5764 \text{ g} = 30 \text{ g}$$

Laskettiin liiman levitysmäärä neliometriä kohden:

$$\frac{m_{\text{yläpuoli}}}{A_1} = \frac{28 \text{ g}}{(601 * 601) \text{ m}^2} = 77,5 \text{ g / m}^2$$

$$\frac{m_{\text{alapuoli}}}{A_2} = \frac{30 \text{ g}}{(600 * 601) \text{ m}^2} = 83,2 \text{ g / m}^2$$

Liiman levitysmäärän on siis lastulevyn yläpuolella n. 77,5 g/m², ja alapuolella n. 83,2 g/m². Liiman levitys on kuitenkin viilutuksessa silmämääräistä, joten heittoja määrissä voi olla. Kuten aiemmin on mainittu, levitysmäärä viilutuksessa tulisi olla alle 100 g/m², joten sitä olisi varaa nostaa hieman. Voitaisiin siis kokeilla liiman levitysmäärän vaikutusta käyryyden hallintaan.

7 PÄÄLLIMMÄISEN LEVYN SUOJAUSTUTKIMUS

7.1 Koesuunnitelma

Suurimmaksi ongelmaksi todettiin päällimmäisen levyn käyristyminen. Käyryystutkimusten mukaan, joita tehtiin aikavälillä 23.4.–2.7.2009, 61 % kaikista raja-arvon ylittävistä levyistä oli nipun päällimmäisiä levyjä. Päällimmäisten levyjen käyryydenhallintaan tuli siis panostaa enemmän. Ajatuksena oli katsoa, miten käyristyminen edistyy, kun levy on suojattuna muovikelmulla tai kovapahvilla. Vertailuksi kokeiltiin myös käyristymistä levyn ollessa suojaamattomana.

A12-levyjä (1200 x 800 x 25 mm) varattiin testiin yhteensä 18 kpl: kuusi levyä suojattuna muovikelmulla, kuusi suojattuna kovapahvilla ja kuusi suojaamattoma-

na. Testi suoritettiin kuumapuristimen viereisellä välivarastolla tehdasolosuhteissa sekä viiluosastolla kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa, joten levyt jaettiin puoliksi kolmen nippuihin molempiin olosuhteisiin. Viiluosastolla sijaitsevan jatkuvatoimisen kosteus- ja lämpömittarin arvot otettiin ylös, jotta niitä voitaisiin vertailla viiluosastolla olleiden levyjen käyryyden muutoksiin.

Kaikki levyt mitattiin heti niiden tultua kuumapuristimelta 3. mittaustavan mukaisesti. Sen jälkeen ne aseteltiin tarkasti kolmen levyn nippuihin omien testiryhmiensä lavoille, joissa oli aluspahvit. Suojattavat niput peitettiin muovikelmulla tai kova-pahvilla. Puolet levynipuista vietiin viiluosastolle ja loput jäivät välivarastolle. Seuraavat mittaukset tehtiin edellä mainituissa paikoissa 24 h kuluttua sekä kahden viikon päästä puristuksesta. Koetta jatkettiin mittaamalla levyjen käyryydet päivittäin kahden viikon ajan, jotta saataisiin selville käyristymisreaktion loppuminen.

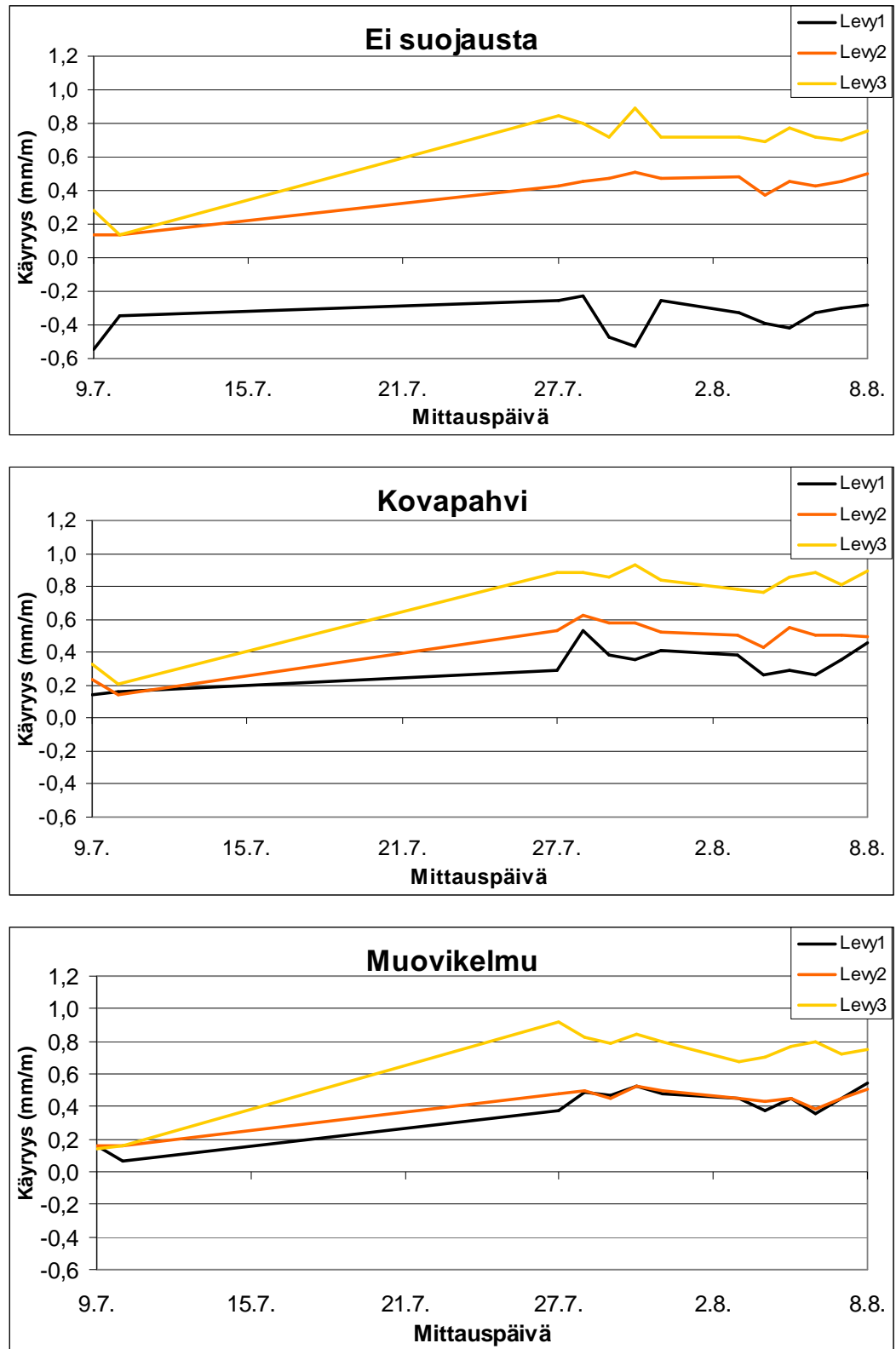


KUVA 11. Koelevyt tehdasolosuhteissa kuumapuristimen viereisellä välivarastolla.

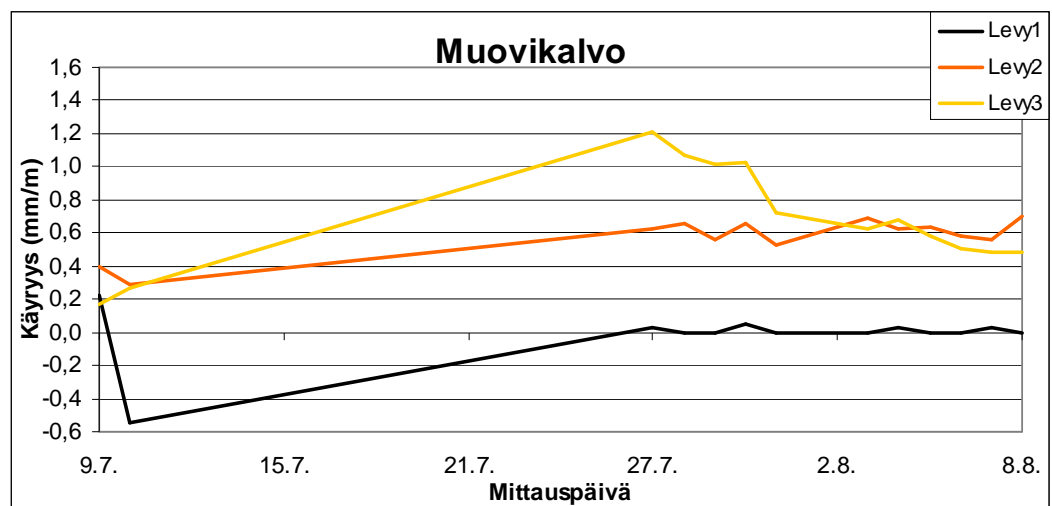
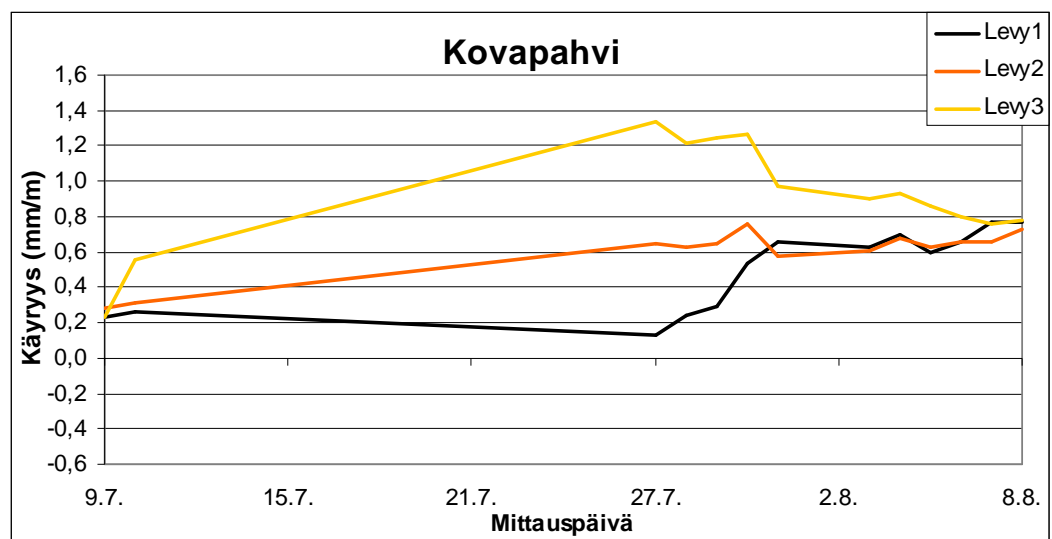
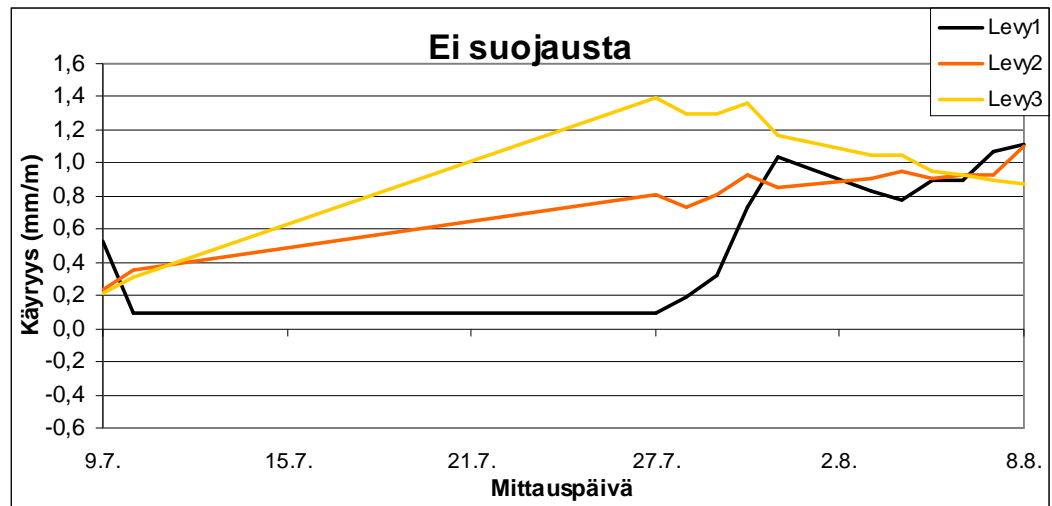


KUVA 12. Koelevyt viiluosastolla kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa.

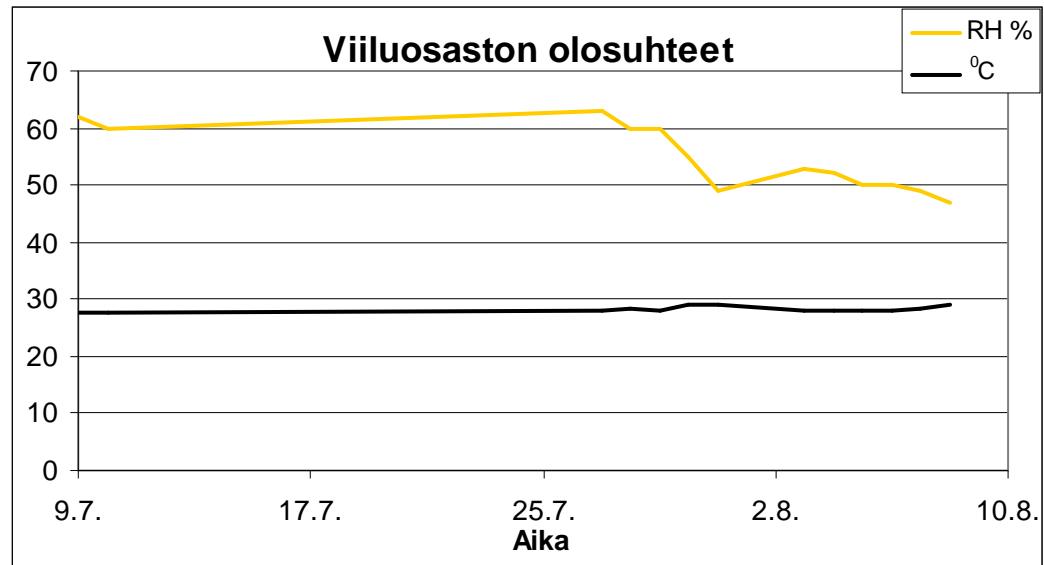
7.2 Tulokset



KUVIO 10. Levynipun suojaustavan vaikutus kolmen päälimmäisen levyn käyryyteen välivarastolla aikavälillä 9.7. – 8.8. (levy 1 = ylin, levy 2 = keskimäinen, levy 3 = alin). Huomioi, että negatiivinen arvo on kupera.



KUVIO 11. Levynipun suojaustavan vaikutus kolmen päällimmäisen levyn käyräyteen viiluastolla aikavälillä 9.7. – 8.8. (levy 1 = ylin, levy 2 = keskimmäinen, levy 3 = alin). Huomioi, että negatiivinen arvo on kupera.



KUVIO 12. Viiluosaston ilman suhteellinen kosteus sekä lämpötila kokeen aikana.

Levyjen raju muodonmuutos kokeen alkupuolella voidaan selittää osin alustana toimineiden lavojen käyryydellä. Levyt muotoutuivat lavan muodon mukaisiksi n. kaksi viikkoa, minkä jälkeen ne alkoivat palautua, eli lavan muodot eivät enää vaikuttaneet tuloksiin. Tuloksista huomataan, että lavan käyryys vaikuttaa eniten alimpaan levyyn. Siihen vaikuttaa myös ylempien levyjen alimpaan levyyn kohdistama paino. Tarkemmat tulokset ovat liitteenä.

7.2.1 Tehdasolosuhteet

Heti puristuksen jälkeen levy saattaa olla kupera, koska viilu oli kostea ja venynyt. Kuivuessa viilu kutistuu ja vääntää levyä koveraksi. Tulosten perusteella suojaamattomana olleiden levyjen päällimmäiselle levyille oli käynyt näin. Kuten muista tuloksista huomataan, suojatut levyt eivät juuri luovuta kosteutta vaan ottavat vastaan kosteutta ehkä hieman lisää. Suojaamattomien levyjen päällimmäinen levy toimii ikään kuin suojana sen alla oleville levyille, joten ne käyttäytyvät kuin suojatut. Suojaamattomien levyjen terävät liikkeen kuviossa 10 kertovat, että ne ovat herkempiä ulkopuolisten olosuhteiden muutoksille. Mitä paremmin levyt on suojatut, sitä vähemmän, tai ainakin hitaammin, ne reagoivat muutoksiin.

Kokeen alussa suojaamattoman nipun päällimmäinen levy suoristuu hieman hakeutuessaan ympäröivien olosuhteiden tasalle. Levyn viilupuoli luovuttaa siis hieman kosteutta. Muovikelmulla suojatun nipun päällimmäisen levyn viilupuoli sen sijaan näyttäisi ottavan hieman kosteutta vastaan, mikä saattaa johtua nipun kelmun sisään jääneestä kosteudesta. Kovapahvilla suojatun nipun levyt tasaantuvan kokeen alussa kaikista tasaisimmin: muutos on vain n. 0,1 mm/m päivässä.

27.7. tehtyjen mittausten jälkeen kovapahvilla suojattujen levyjen päällimmäinen levy käyristyi huomattavasti, eli levy luovutti luultavasti kosteutta. Ikään kuin suoja, joka mittausta varten nostettiin pois levyjen päältä, olisi tämän estänyt. Kun suoja nostettiin pois, kosteus olisi päässyt vapaasti haihtumaan, ja viilu olisi kutistunut käyristäen levyä. Myös muovikalvolla suojatuilla levyillä ilmeni samanlainen ilmiö, muttei yhtä selkeästi. Notkahdus suojaamattomilla levyillä 29.7. – 30.7. puolestaan tarkoittaa, että ne ovat ottaneet kosteutta vastaan. Voidaan siis päätellä, että levynippujen suojaus vaikuttaa enemmänkin kosteuden vastaanottoon kuin sen luovuttamiseen. Kaikkien levyjen kosteus näyttäisi tulosten mukaan vähenevän riippumatta suojauksesta, mutta suojaamattoman levyn notkahdukset ovat päinvas-
taisia kuin suojattujen.

Levyjen tasaannuttua käyryyden muutokset ovat melko pieniä riippumatta suojauksesta, keskimäärin noin 0,1 mm.

7.2.2 Kosteat ja lämpimät olosuhteet

Kuten välivarastolla, viiluosastollakin muovikelmulla suojatun nipun päällimmäinen levy näyttäisi kostuvan viilupuolelta kokeen alussa. Viiluosastolla ilmiö vain näkyy paljon selkeämmin: viiluosastolla levyn käyryys muuttuu n. 7 mm/m, kun välivarastolla vain n. 0,1 mm/m. Nipun ollessa viiluosaston hyllyllä noin metrin korkeudella saattaa ilman kosteus päästä muovikelmun helmoista sisään jääden kelmuun vankiksi. Välivarastolla levyjen ollessa lattialla kosteus ei pääse yhtä helposti sisään, minkä takia välivarastolla reaktio näyttää heikommalta. Lisäksi viiluosastolla reaktio on vahvempi ympäröivien olosuhteiden korkeamman kosteuspitoisuuden takia.

Tulosten perusteella suojaamattoman nipun päällimmäisen levyn viilupuoli venyy tullessaan viiluosastolle. Ilmiö on täysin ymmärrettävä ja odotettu, sillä ympäröivien olosuhteiden kosteuden muutos välivarastolta viiluosastolle on rajua. Levyn tuloksia ja viiluosaston kosteuskäyrää vertailtaessa voidaan päätellä, että n. 60 % suhteellinen kosteus olisi sopiva levyjen varastointiin. Levyn käyristyminen on melko tarkasti kiinni kosteuden muutoksesta, sillä 30.7. kosteuden alkaessa laskea viiluosastolla levy lähti tulosten perusteella käyristymään. Kun kosteuden määrä ympärillä pienenee, laskee myös levyn pintaviilun kosteuspitoisuus, jolloin se kutistuessaan käyristää levyn.

Myös kovapahvilla suojatun nipun päällimmäinen levy näyttäisi kokevan saman ilmiön, mutta suojaamattoman käyristyessä n. 0,9 mm/m se käyristyy vain n. 0,6 mm/m. Kuten tehdasolosuhteissakin, myös kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa muovikalvolla suojatun nipun kaksi päällimmäistä levyä vaikuttavat reagoivan vähemmän ympäröivien olosuhteiden muutoksiin.

Muovikalvolla suojatun nipun alimmaisena levyn rajummat muutokset luultavasti johtuvat siitä, ettei muovikalvo ollut kovin tiiviisti sen ympärillä, kuten sen yläpuolella olevilla levyillä. Kovapahvilla suojatun sekä suojaamattoman nipun alimmainen levy näyttävät reagoivan ympäröivän kosteuden muutoksiin yhtä rajusti. Ilmiö saattaa johtua siitä, että levyjen alla oleva paperi pääsisi luovuttamaan kosteutta ja vetäisi levyn takaisin suoraksi. Kosteus voisi esimerkiksi imeytyä aluspahviin. On kuitenkin arveluttavaa, että paperin vetolujuus riittäisi kyseiseen ilmiöön.

7.2.3 Tilastomatemattisia laskelmia

Välivarastolla olleet levyt

Mittaustuloksista laskettiin Bartlettin testin avulla hajontojen merkittävyys:

$$\begin{cases} n_1 = 39 & s_1 = 0,469 \\ n_2 = 39 & s_2 = 0,245 \\ n_3 = 39 & s_3 = 0,217 \end{cases}$$

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$$

H_1 : Hajonnoissa on eroja

$$n = \sum_{i=1}^k n_i = n_1 + n_2 + n_3 = 39 + 39 + 39 = 117$$

$$k = 3$$

$$\begin{aligned} \underline{s}_{yhd}^2 &= \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) s_i^2}{\sum_{i=1}^k (n_i - 1)} = \frac{(39-1) * 0,469^2 + (39-1) * 0,245^2 + (39-1) * 0,217^2}{(39-1) * 3} \\ &= 0,109... \end{aligned}$$

$$C = 1 + \frac{\sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{n - k}}{3(k - 1)} = 1 + \frac{\frac{1}{39-1} * 3 - \frac{1}{117-3}}{3(3-1)} = 1,01403...$$

$$x = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln \left(\frac{\underline{s}_{yhd}^2}{\underline{s}_i^2} \right)$$

$$x = \frac{1}{1,01403...} \left((39-1) \ln \left(\frac{0,109...}{0,469^2} \right) + (39-1) \ln \left(\frac{0,109...}{0,245^2} \right) + (39-1) \ln \left(\frac{0,109...}{0,217^2} \right) \right)$$

$$x \approx 27,612 \sim \chi_2^2$$

$$\text{Kertymätodennäköisyys} = 1,00933 * 10^{-6}$$

Bartlettin testi on oikeanpuoleinen, joten hajontojen erojen merkitsevyyden raja on 99 %.

$$\Rightarrow 1,00933 * 10^{-6} < 0,99$$

$\Rightarrow H_0$ hyväksytään

Tehdasolosuhteissa olleiden levyjen käyryyksien hajontojen erot suojaustapojen välillä eivät ole tilastollisesti merkitseviä, joten mittaustuloksien keskiarvoista voidaan laskea 1-suuntaisella varianssianalyysillä tulosten erojen tilastomatemattinen merkittävyys.

$$\begin{cases} n_1 = 39 | \bar{x}_1 = 0,241 \\ n_2 = 39 | \bar{x}_2 = 0,523 \\ n_3 = 39 | \bar{x}_3 = 0,502 \end{cases}$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_3$$

H_1 : keskiarvoissa on eroja

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^k n_i} = \frac{39 * 0,241 + 39 * 0,523 + 39 * 0,502}{117} = 0,421\dots$$

$$s_{ov}^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{k - 1}$$

$$s_{ov}^2 = \frac{39 * (0,241 - 0,421\dots)^2 + 39 * (0,523 - 0,421\dots)^2 + 39 * (0,502 - 0,421\dots)^2}{3 - 1}$$

$$s_{ov}^2 = 0,964\dots$$

$$s_{yhd.}^2 = 0,109\dots$$

$$x = \frac{s_{ov}^2}{s_{yhd.}^2} = \frac{0,964\dots}{0,109\dots} \approx 8,854 \sim F_{2,114}$$

$$\text{Kertymätodennäköisyys} = 0,000266 < 0,0005$$

$\Rightarrow H_0$ hylätään

Välivarastolla olleiden levyjen suojaustapojen tuloksien keskiarvojen erot ovat tilastomatematisesti erittäin merkitseviä. Suojaustavalla on siis vaikutusta lähes varmasti käyryyden hallintaan. Laskettaessa pelkkien päällimmäisten levyjen osalta suojaustapojen tuloksien erot ovat tilastollisesti todella merkitseviä. Kertymätodennäköisyys on jopa vain $4,02 * 10^{-35}$.

Viiluosastolla olleet levyt

$$\begin{cases} n_1 = 39 & s_1 = 0,351 \\ n_2 = 39 & s_2 = 0,292 \\ n_3 = 39 & s_3 = 0,377 \end{cases}$$

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$$

H_1 : Hajonnoissa on eroja

$$n = 117$$

$$k = 3$$

$$C = 1,01403\dots$$

$$\underline{s}_{yhd}^2 = \frac{(39-1) * 0,351^2 + (39-1) * 0,292^2 + (39-1) * 0,377^2}{(39-1) * 3} = 0,117\dots$$

$$x = \frac{1}{1,01403\dots} \left((39-1) \ln \left(\frac{0,117\dots}{0,351^2} \right) + (39-1) \ln \left(\frac{0,117\dots}{0,292^2} \right) + (39-1) \ln \left(\frac{0,117\dots}{0,377^2} \right) \right)$$

$$x \approx 2,496 \sim \chi_2^2$$

$$\text{Kertymätodennäköisyys} = 0,2871 < 0,99$$

$\Rightarrow H_0$ hyväksytään

Viiluosastolla olleiden levyjen käyryyksien hajontojen erot eri suojaustapojen välillä eivät ole tilastomatematisesti merkitseviä, joten tuloksien keskiarvoista voidaan laskea suojausten vaikutusten erojen merkittävyys.

$$\begin{cases} n_1 = 39 & \bar{x}_1 = 0,815 \\ n_2 = 39 & \bar{x}_2 = 0,670 \\ n_3 = 39 & \bar{x}_3 = 0,415 \end{cases}$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_3$$

H_1 : keskiarvoissa on eroja

$$\bar{x} = \frac{39 * 0,815 + 39 * 0,670 + 39 * 0,415}{117} = 0,633\dots$$

$$s_{ov}^2 = \frac{39 * (0,815 - 0,633\dots)^2 + 39 * (0,670 - 0,633\dots)^2 + 39 * (0,415 - 0,633\dots)^2}{3 - 1}$$

$$s_{ov}^2 = 1,5998\dots$$

$$s_{yhd.}^2 = 0,117\dots$$

$$x = \frac{1,5998\dots}{0,117} \approx 13,698 \sim F_{2,114}$$

$$\text{Kertymätodennäköisyys} = 4,663 * 10^{-6} \approx 0 < 0,0005$$

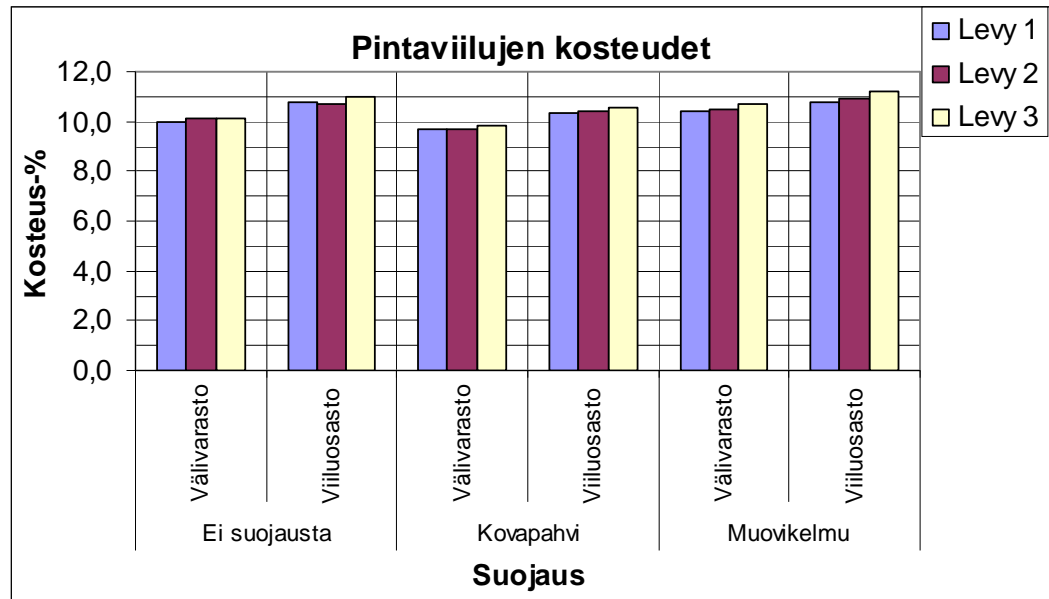
=> H_0 hylätään

Suojaustapojen tuloksien keskiarvojen erot ovat tilastomatemattisesti erittäin merkitseviä molemmissa olosuhteissa. Voidaan siis päätellä, että suojaustavoilla on merkitystä ja lähes varmasti vaikutusta käyryyden hallintaan. Laskettaessa pelkkien päällimmäisten levyjen osalta suojaustapojen tuloksien eroja, merkitys vain kasvaa.

7.3 Pintaviilun kosteuden muutoksien vaikutus käyryyteen

Suojaustestin jälkeen koetta jatkettiin neljä päivää lisäämällä mittauksiin viilunkosteuden mittausta. Näin saatiin selville, onko viilunkosteuden muutoksilla yhteyttä levyn käyristymiseen. Mittauskohteita olivat edellisen testin väliavarastolla tehdasolosuhteissa olleet levyt. Mittaukset suoritettiin kuten edellisessä kokeessa, mutta lisäksi mitattiin kosteudet levyjen pintaviiluista. Ensimmäisellä mittauskerralla mitattiin myös edellisessä kokeessa viiluosastolla olleiden levyjen pintaviilujen kosteudet. Näin saatiin vertailtua, kuinka paljon ympäröivät kosteusolosuhteet vaikuttavat pintaviilun kosteuteen. Kosteudet mitattiin viidestä kohdasta pintaviilua: kulmista ja keskeltä. Kosteusmittaukset suoritettiin Merlin HM8 - WS1 -mittarilla, jonka tuloksista laskettiin keskiarvo.

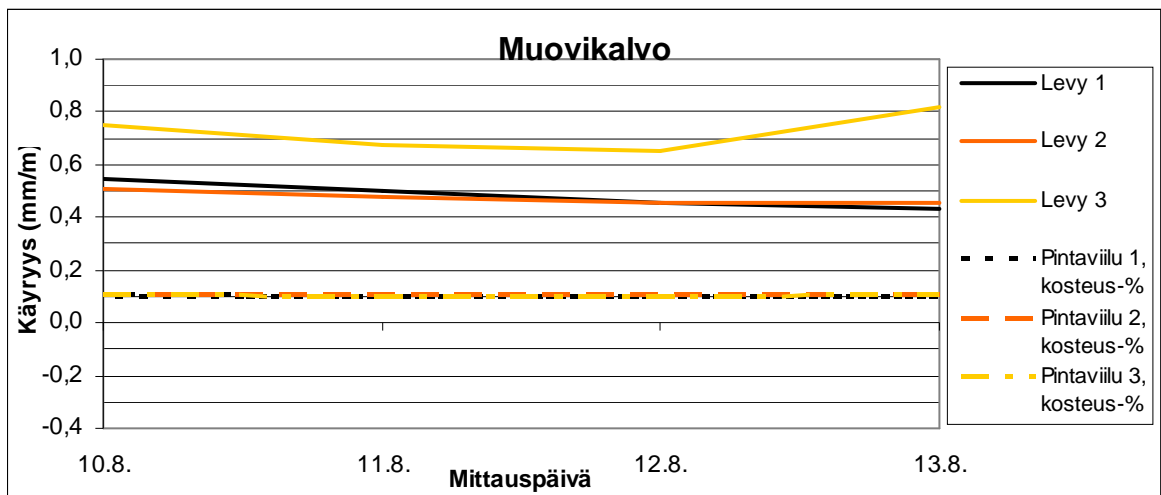
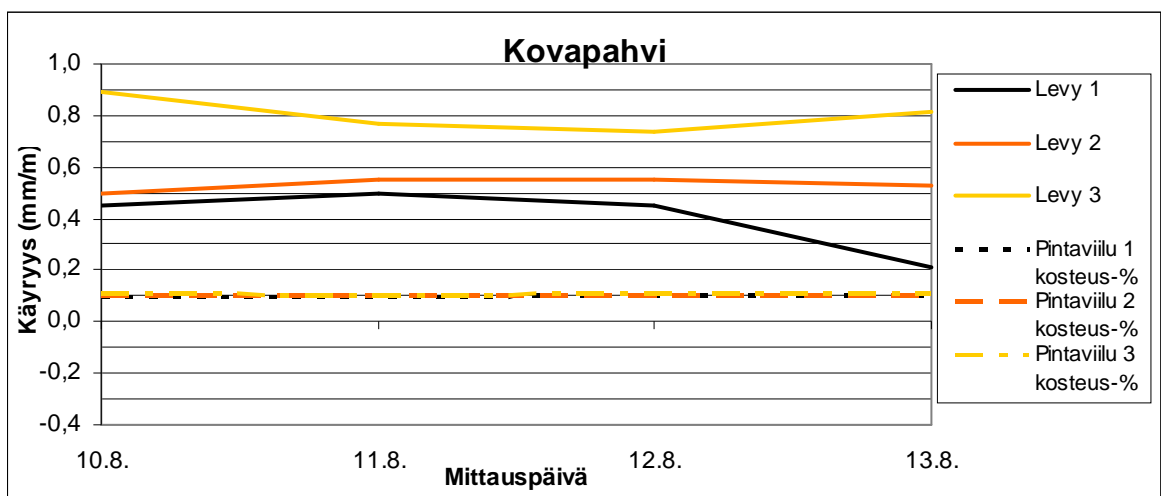
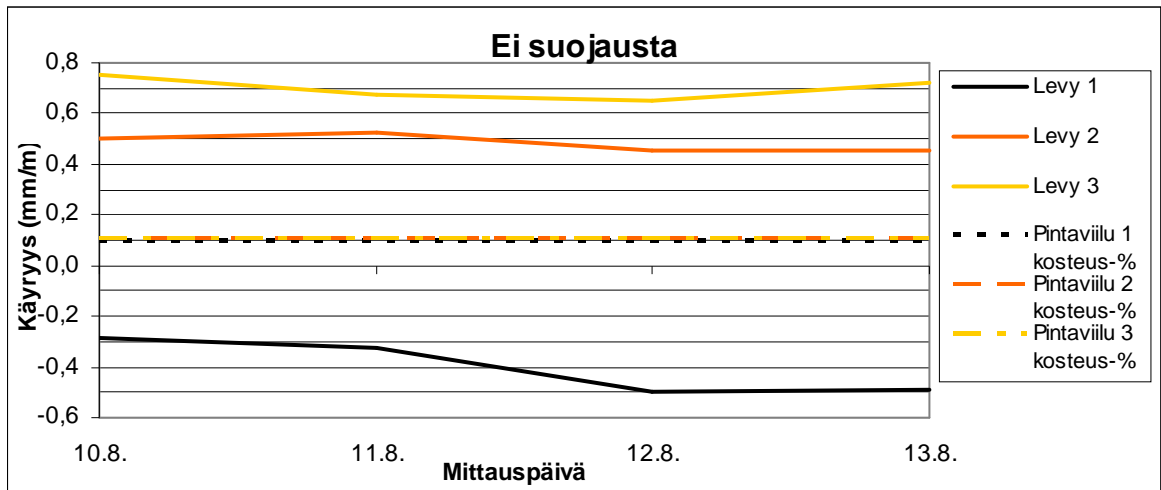
7.3.1 Tulokset



KUVIO 13. Pintaviilujen kosteuksien erot välivarastolla ja viiluosastolla olleiden levyjen välillä.

Pintaviilujen kosteudet eivät kovinkaan paljoa vaihtele viiluosaston ja välivaraston välillä, keskimäärin ne vaihtelevat n. 0,6 %.

Kuvion 14 tuloksista nähdään, ettei pintaviilun kosteudella ole yhteyttä levyn käyristymiseen, ainakaan levyn tasaannuttua. Levy näyttäisi käyristyvän, vaikka viilun kosteus pysyy kokoajan n. 10 %:ssa. Tulokset kyseenalaistavat teorian, että pinta-viilu kostuessaan tai kuivuessaan käyristäisi lastulevyn.



KUVIO 14. Pintaviilun kosteuden vaikutus käyryyteen kolmen vuorokauden aikana (levy 1 = päällimmäinen, levy 2 = keskimmäinen, levy 3 = alin). Huomioi, että negatiivinen käyryys on kupuruutta.

8 KANSI SUORAKSI -KOE

8.1 Suunnitelma

Kansi suoraksi -kokeen tarkoitus oli kokeilla erilaisten muuttujien vaikutusta levyn käyryyteen pinnoituksessa. Muuttujat valittiin aiempien tutkimusten perusteella. Koesuunnitelman tekoon käytettiin Minitab-ohjelmaa. Siihen syötettiin tärkeimmiksi katsotut muuttujat, joista se muodosti 12 eri kombinaatiota. Koe toistettiin kahden kertaan, joten levyjä kokeessa oli yhteensä 24. A12 -levyt viilutettiin kombinaatioiden mukaan. Mittaustulokset merkattiin ohjelmaan, jolloin se laski parhaimman tuloksen ja kombinaation.

8.2 Muuttujat

TAULUKKO 4. Kansi suoraksi -kokeen muuttujat ja niiden tasot.

Muuttujat	Taso 1	Taso 2
Viilu	koivu	pyökki
Liiman levitysmäärä, yläpuoli (g/m ²)	nykyinen	enemmän
Liiman levitysmäärä, alapuoli (g/m ²)	nykyinen	enemmän
Vastapaperi (g/m ²)	120	140
Kostutuksen määrä	nykyinen	ei ollenkaan
Puristuslämpö (°C)	90	80
Puristusaika (s)	42	55

Käyryysmittausten mukaan pyökkipintaisilla levyillä on ollut taipumusta käyristyä enemmän, joten kokeen yhdeksi muuttujaksi otettiin viilun puulaji. Puulaji on kuitenkin aina asiakkaan valittavissa, joten viilun puulaji ei ole tuotannossa ohjattavissa oleva muuttuja.

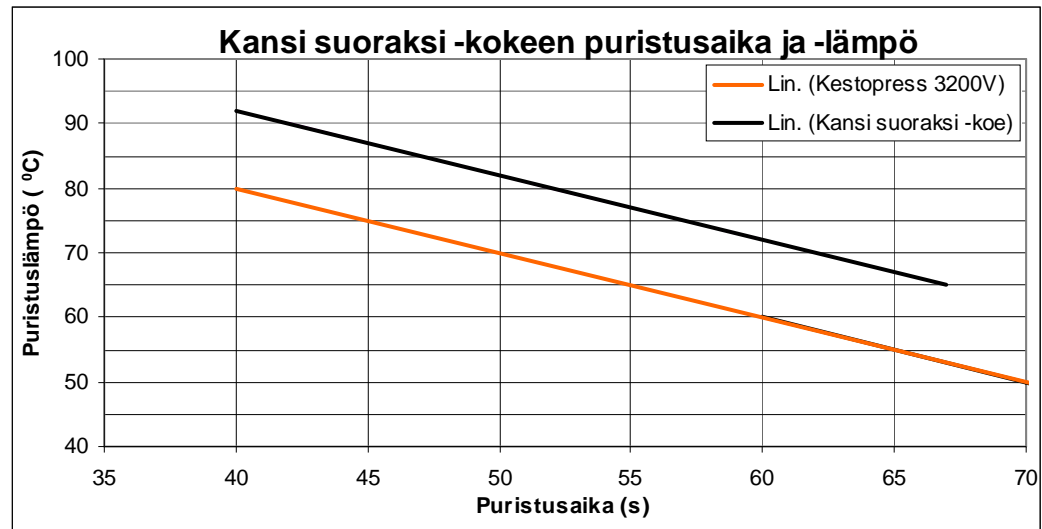
Vastapaperin maahantuojan mukaan liiman määrää olisi lisättävä, jotta levyt pysyisivät suurempina, joten muuttujaksi tuli liiman nykyinen sekä suurempi määrä. Liiman levitysmäärän vaikutusta kokeiltiin ylä- ja alapuolelle erikseen.

Koetta varten paperin toimittajalta saatiin erilaista impregnoitua 140 g/m^2 paperia, jota voitiin vertailla nykyiseen impregnoimattomaan 120 g/m^2 paperiin. Toimittajan mukaan uudempi impregnoitu 140 g/m^2 paperi olisi suositeltavaa kyseiseen prosessiin, ja monet muut huonekalualan yritykset käyttävätkin tällaista paperia. Kokeessa myös huomioitiin paperin kuitusuunta ja toimittajaa pyydettiin leikkaamaan paperit niin, että kuidut menisivät viilun syysuunnan mukaisesti.

Yhdeksi muuttujaksi otettiin viilun kostuttaminen ennen puristusta. Nykyistä kostuttamista verrattiin siihen, ettei viilua kostuteta ollenkaan.

Kokeessa käytettävä liima oli Kiilto Kestopress 4100. Kyseisen liiman käyttöohjeista ei selvinnyt sen vaatimia puristusaikoja tai -lämpöjä, joten ne selvitettiin Kestopress 3200 V -liiman, jolla on samat käyttöominaisuudet kuin Kestopress 4100 -liimalla, käyttöohjeiden avulla. Käyttöohjeiden antamien arvojen mukaan kuvioon tehtiin lineaarinen trendiviiva, jonka mukaan nykyistä puristuslämpötilaa ja -aikaa kokeessa muutettaisiin.

Tiedettiin, että nykyinen puristusaika oli 42 s ja puristuslämpö oli n. $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Tämän tiedon ja trendiviivan avulla saatiin piirrettyä kuvioon toinen viiva, jonka mukaan kokeiltavat puristusajat ja -lämmöt päätettäisiin. Kokeiltavaksi puristusajaksi päätettiin 55 s. Kuvion mukaan puristuslämpö olisi tällöin n. $75 \text{ }^\circ\text{C}$, mutta se pyöristettiin $80 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Koska yhdeksi kombinaatioksi tulisi alhainen puristuslämpötila ja lyhyt puristusaika, oli odotettavissa jo ennen koetta, etteivät jotkut testattavista kombinaatioista tulisi onnistumaan.



KUVIO 15. Kansi suoraksi -kokeessa käytettävät puristusajat ja -lämmöt johdettuina Kestopress 3200V -liiman käyttöohjeiden arvoista.

8.3 Kokeen suoritus

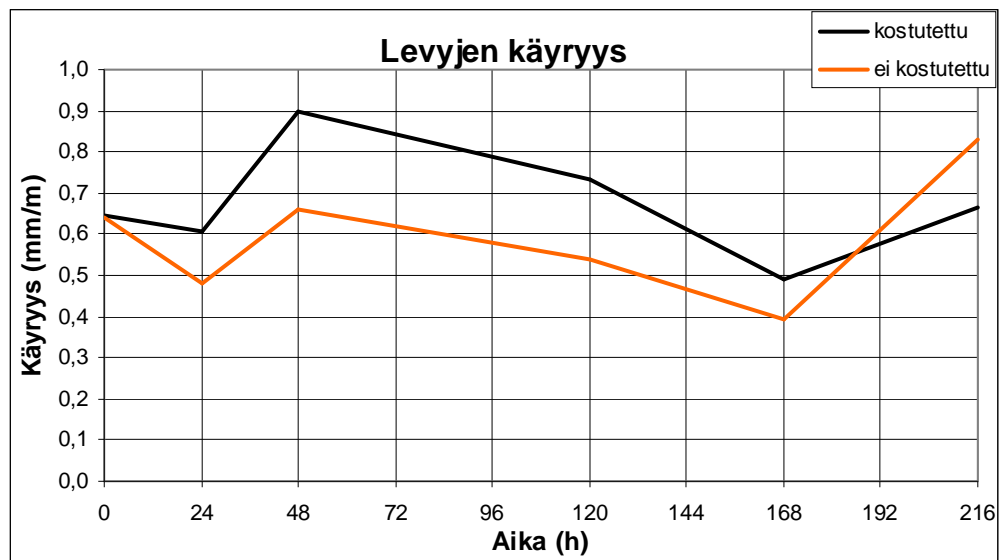
Kun koetta lähdettiin tekemään, oli kuumapuristimen lämpö teknisen vian takia noussut liian korkeaksi, ja koetta jouduttiin viivästyttämään puristimen lämpölevyjien viilenemisen ajaksi. Tämän vuoksi johtuen ensimmäisien testilevyjen puristuslämmöt saattoivat olla aiottua korkeampia. Tarkoituksena oli puristaa ensin levyt, joiden puristuslämpö olisi alhaisempi, koska puristimen lämpöä saadaan nostettua nopeammin kuin laskettua. Koe piti aloittaa joka tapauksessa alhaisemmasta lämpötilasta, jotta lämpötilan muutos ei tekisi liian pitkää aikaväliä painettaville kansille, jolloin liima saattaisi sakkautua ja muuttaa ominaisuuksiaan. Todelliset puristuslämmöt kokeessa olivat 92 °C ja 82 °C, jotka olivat puristimen ylemmän lämpölevyn lämpötiloja. Alemman lämpölevyn lämpötilaa pidettiin lämpömittarin mukaan noin 10 °C korkeampana, koska se luovuttaa lämpöä ylempää enemmän.

Levyille tehtiin käyryys- ja kosteusmittauksia heti viilutuksen jälkeen sekä 24 h, 48 h, 120 h, 168 h ja 216 h päästä puristuksesta. Kosteutta mitattiin pintaviilusta kahdella ensimmäisellä kerralla viidestä kohdasta. Kun huomattiin, että saatavat arvot ovat samassa viilussa hyvin lähellä toisiaan, vähennettiin mittauskohtia kolmeen. Mittaukset suoritettiin aiemmin mainituilla välineillä ja kolmannella mittaustavalla.

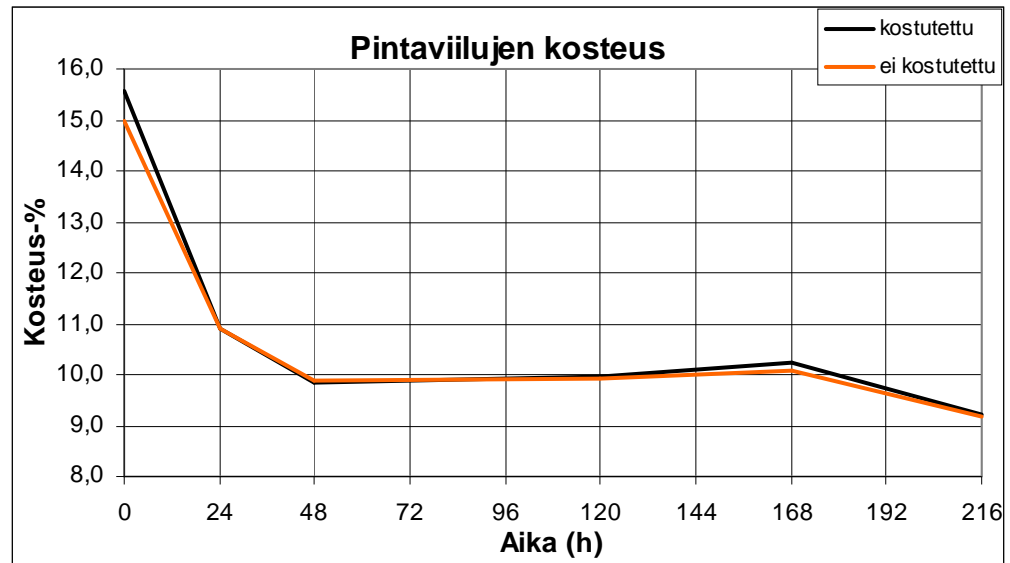
8.4 Tulokset

Vaikka kokeessa olikin odotettavissa huonosti onnistuvia kansia, eivät silti suurimmatkaan käyrydet olleet yhtä suuria, kuin aiemmin oli mitattu. Tämä voi osittain johtua siitä, että kokeessa vastapaperin kuitusuunta oli suunnattu oikein päin, mitä aiemmin ei ollut huomioitu.

Kokeessa huomattiin, että viilut, joita kostutettiin ennen puristusta, olivat puristuksen jälkeen keskimäärin hieman kosteampia kuin kostuttamattomat viilut. Tämä vahvistaa väitettä, ettei vesi pääse haihtumaan puristuksessa. Lisäksi levyt, joiden pintaviiluja kostutettiin ennen puristusta, olivat keskimäärin käyrempiä kuin levyt, joiden pintaviiluja ei kostutettu.



KUVIO 16. Kostutettujen ja kostuttamattomien levyjen käyryksien keskiarvot Kansi suoraksi -kokeessa.



KUVIO 17. Kostutettujen ja kostuttamattomien levyjen pintaviilujen kosteus- % keskiarvot Kansi suoraksi -kokeessa.

Kaikesta ylimääräisestä vedestä olisi päästävä eroon puristusprosessissa, joten viilun kostutus tulisi lopettaa. Kansi suoraksi -kokeen loppupalaverissa päätettiin, että puristimelle tulisi keksiä jonkinlainen laite tai ohjain, jotta kostuttamattomat viilut eivät pääsisi käpristymään ennen puristimeen menoa. Tällainen ohjain voisi olla esimerkiksi ladonnan jälkeisellä radalla olevat nylonsauvoista tehdyt radan suuntaiset sukset, jotka estäisivät viilun nousemisen lastulevyn pinnasta.

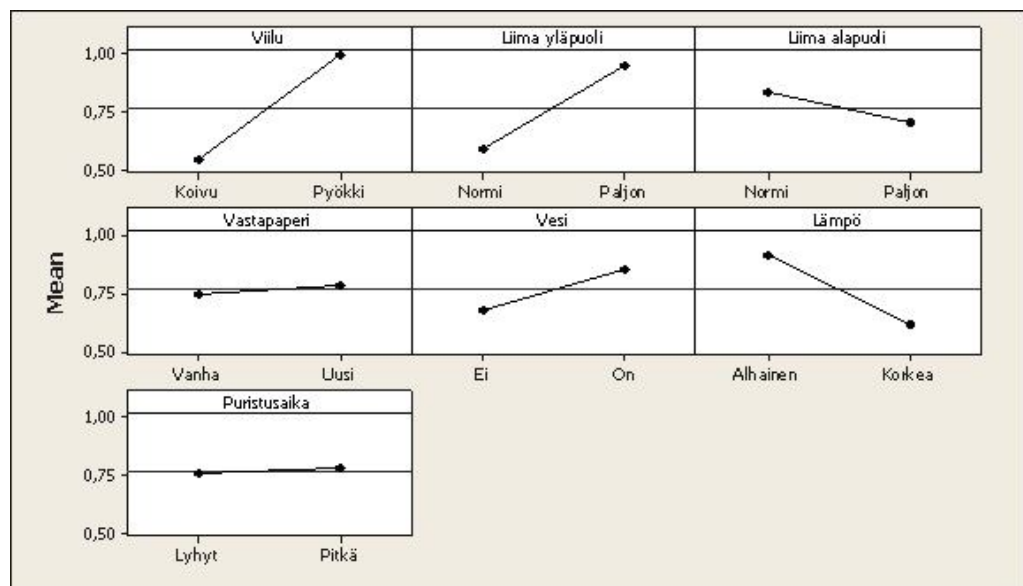


KUVA 13. Ladonnan jälkeinen rata ennen puristinta ja kuvitteelliset pintaviilun paininsukset.

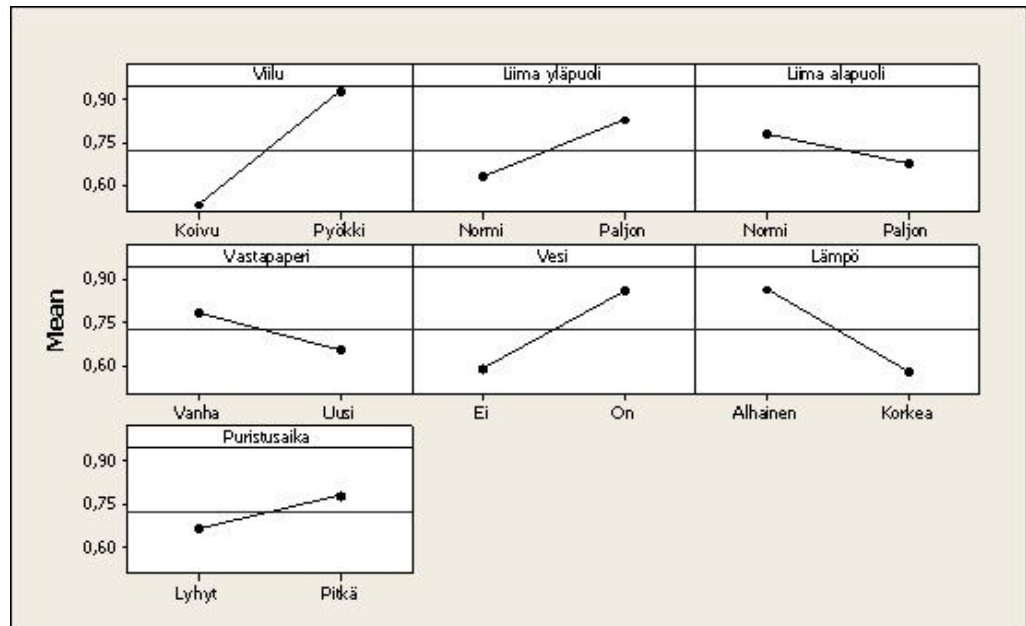
Liiman levitysmäärän kasvattaminen alapuolella vaikutti tuloksiin positiivisesti, kun taas sen yläpuolella kasvattamisella oli negatiivinen vaikutus. Levitysmäärän lisääminen alapuolella vahvistaa luultavasti paperia, jolloin viulun ja paperin vetolujudet ovat lähempänä toisiaan. Tämä edesauttaa kannen pysymistä suurempana.

Kokeen mukaan nykyinen puristuslämpö ja -aika toimivat paremmin kuin matalampi lämpö ja pidempi aika. Tulosten mukaan korkeammalla puristuslämmöllä voitaisiin saada suurempia kansia, mutta nykyistä korkeampaan lämpötilaan tehtaalla ei päästä. Tämä tarkoittaa sitä, ettei nykyisellä liimalla voitaisi päästä parempiin tuloksiin. Toisenlaista liimaa voitaisiin siis kokeilla.

Vastapaperin muutos vanhasta uuteen vaikutti tuloksiin positiivisesti. Muutoksen vaikutus ei ensimmäisissä mittauksissa ollut kovinkaan suuri, mutta se kasvoi kokeen edetessä. Voidaan siis olettaa, että pitkällä aikavälillä paperin muutos voisi olla hyväksi kannen suorana pysymiselle.



KUVIO 18. Muuttujien eri tasojen vaikutukset levyn käyryyteen 24 h päästä puristuksesta.



KUVIO 19. Muuttujien eri tasojen vaikutukset levyn käyryyteen 216 h päästä puristuksesta.

Kuvioissa 18 ja 19 olevat viivat esittävät muuttujien eri tasojen vaikutusta levyn käyryyteen. Mitä alempana viivan päässä oleva pallo on, sitä parempi tulos. Esimerkiksi yläpuolen liiman määrässä viiva kallistuu normaaliin päin, mikä tarkoittaa sitä, että nykyisellä määrällä liimaa levyn yläpuolella saadaan suurempia levyjä.

Kokeessa parhaaksi selvinneessä kombinaatiossa oli siis nykyinen määrä liimaa yläpuolella, enemmän liimaa alapuolella, uusi vastapaperi, ei viulun kostutusta sekä nykyinen puristuslämpö ja -aika. Koska puolaji ei ole tuotannossa ohjattavissa oleva muuttuja, sitä ei voida laskea parhaaseen kombinaatioon.

TAULUKKO 5. Kansi suoraksi -kokeesta selvinnyt paras kombinaatio.

Muuttujat	Taso 1	Taso 2
Liiman määrä yläpuoli (g/m^2)	nykyinen	enemmän
Liiman määrä alapuoli (g/m^2)	nykyinen	enemmän
Vastapaperi (g/m^2)	120	140
Kostutuksen määrä	nykyinen	ei ollenkaan
Puristuslämpö ($^{\circ}\text{C}$)	90	80
Puristusaika (s)	42	55

8.4.1 Laskelmat

Parhaan kombinaation muuttuneiden tasojen tuloksia verrattiin alkuperäisten tasojen tuloksiin tilastomatemattisesti. Arvot otettiin lopullisista tuloksista, jotka mitattiin 216 tunnin päästä puristuksesta. Tulokset lajiteltiin ensin tarkasteltavan muuttujan mukaan kahteen ryhmään, joiden arvoista testattiin hajontojen erot. Mikäli hajontojen erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, testattiin tulosten keskiarvojen perusteella, olivatko muutosten vaikutukset merkitseviä.

Liiman levitysmäärä levyn alapuolella

Verrattiin levyn alapuolen alkuperäistä liiman levitysmäärää uuteen:

$$\begin{cases} n_1 = 36 | s_1 = 0,747 \\ n_2 = 36 | s_2 = 0,599 \end{cases}$$

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$$

H_1 : Hajonnoissa on eroja

$$x = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{0,747^2}{0,599^2} = 1,557... \sim F_{35,35}$$

$$\text{Kertymätodennäköisyys} = 0,903 < 0,95$$

Ero ei ole edes melkein merkitsevä, joten H_0 hyväksytään. Voidaan vertailla keskiarvojen eroja riippumattomalla t-testillä.

$$\begin{cases} n_1 = 36 | \bar{x}_1 = 1,061 \\ n_2 = 36 | \bar{x}_2 = 1,047 \end{cases}$$

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\underline{s}_{yhd}^2 = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 - 1 + n_2 - 1}} = \sqrt{\frac{(36 - 1) * 0,747^2 + (36 - 1) * 0,599^2}{(36 - 1) * 2}} = 0,677...$$

$$x = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{yhd} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{1,061 - 1,047}{0,677... \sqrt{\frac{1}{36} + \frac{1}{36}}} \approx 0,087 \sim t_{70}$$

Kertymätodennäköisyys = 0,465 > 0,025

=> H₀ hyväksytään

Liiman määrällä levyn alapuolella ei tilastollisesti ole merkitystä käyryyden hallintaan.

Vastapaperi

Vertailtiin 120 g/m² ja 140 g/m² paperin vaikutuksien eroja:

$$\begin{cases} n_1 = 36 | s_1 = 0,734 \\ n_2 = 36 | s_2 = 0,614 \end{cases}$$

H₀: σ₁ = σ₂

H₁: Hajonnoissa on eroja

$$x = \frac{0,734^2}{0,614^2} = 1,428... \sim F_{35,35}$$

Kertymätodennäköisyys = 0,851 < 0,99

=> H₀ hyväksytään, joten voidaan vertailla keskiarvojen eroja.

$$\begin{cases} n_1 = 36 | \bar{x}_1 = 1,031 \\ n_2 = 36 | \bar{x}_2 = 1,078 \end{cases}$$

H₀ = μ₁ = μ₂

H₁ = μ₁ ≠ μ₂

$$s_{yhd}^2 = \sqrt{\frac{(36-1) * 0,734^2 + (36-1) * 0,614^2}{(36-1) * 2}} = 0,676...$$

$$x = \frac{1,031 - 1,078}{0,676 \dots \sqrt{\frac{1}{36} + \frac{1}{36}}} \approx -0,296 \sim t_{70}$$

Kertymätodennäköisyys = 0,384 > 0,025

=> H_0 hyväksytään

Vastapaperin painon vaikutus käyryden hallintaan ei ole tilastollisesti merkittävä.

Viilun kostutus

Vertailtiin kostutuksen vaikutusta:

$$\begin{cases} n_1 = 36 | s_1 = 0,578 \\ n_2 = 36 | s_2 = 0,720 \end{cases}$$

$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$

H_1 : Hajonnoissa on eroja

$$x = \frac{0,578^2}{0,720^2} = 0,644 \dots \sim F_{35,35}$$

Kertymätodennäköisyys = 0,099 > 0,025

=> H_0 hyväksytään

=> Vertaillaan keskiarvoja

$$\begin{cases} n_1 = 36 | \bar{x}_1 = 0,878 \\ n_2 = 36 | \bar{x}_2 = 1,231 \end{cases}$$

$H_0 = \mu_1 = \mu_2$

$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$

$$s_{yhd}^2 = \sqrt{\frac{(36-1) * 0,578^2 + (36-1) * 0,720^2}{(36-1) * 2}} = 0,653 \dots$$

$$x = \frac{0,878 - 1,231}{0,653 \dots \sqrt{\frac{1}{36} + \frac{1}{36}}} \approx -2,292 \sim t_{70}$$

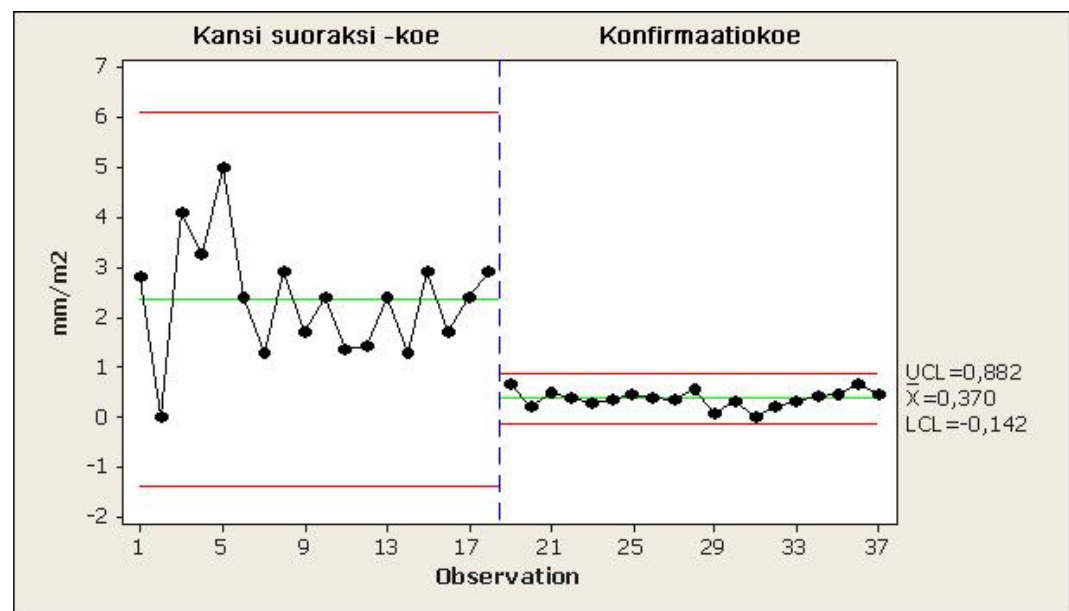
Kertymätodennäköisyys = 0,012 < 0,025

=> H₀ hylätään

Kostutuksen vaikutus käyryyden hallintaan on tilastollisesti merkitsevä, tosin vain melkein merkitsevä.

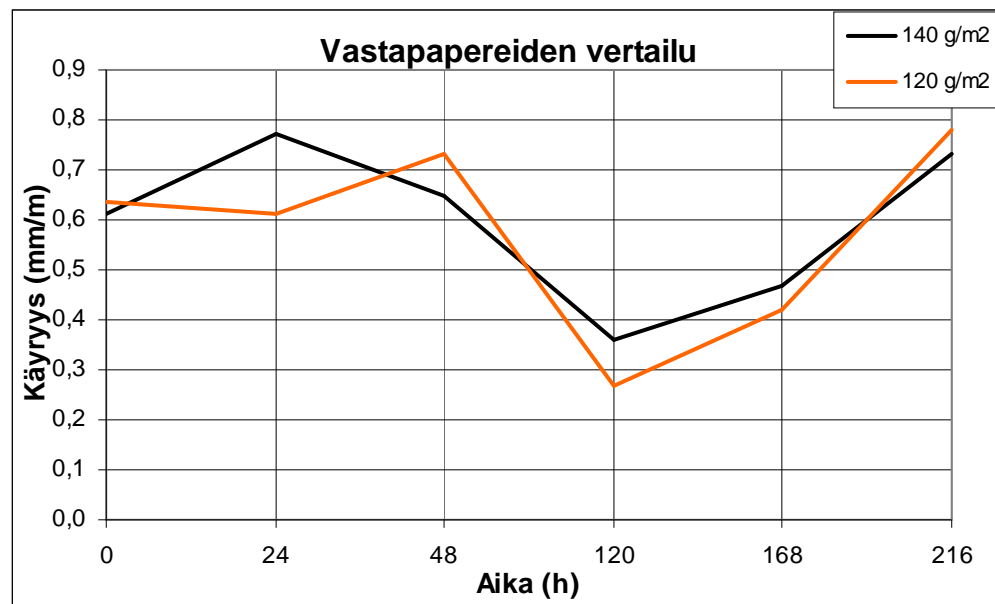
8.5 Konfirmaatiokoe

Kansi suoraksi -kokeesta selvinneellä parhaalla kombinaatiolla tehtiin konfirmaatiokoe kymmenelle levyille. Puolessa näistä levyistä oli koivuviilu, puolessa pyökki- viilu. Mittaukset suoritettiin, kuten edeltävässä kokeessa, mutta viilunkosteusmit- tauksien sijasta seurattiin tehtaan ilman suhteellista kosteutta. Ilman kosteus oli keskimäärin 47,4 %. Konfirmaatiokokeella oli tarkoitus esittää, että edellä maini- tulla parhaalla kombinaatiolla saataisiin aiempaa suurempia levyjä. Kuten kuviosta 20 nähdään, saatiin parhaalla kombinaatiolla huomattavasti suurempia levyjä.



KUVIO 20. Konfirmaatiokokeen tuloksien vertailua Kansi suoraksi -kokeen tulok- siin.

Lisäksi konfirmaatiokokeen ohessa testattiin uutta 120 g/m² paperia, joka oli impregnoitua. Paperia kokeiltiin vaikeammille pyökkiviiluisille levyille. Levyt viilutettiin kuten konfirmaatiokokeen levyt, mutta 140 g/m² paperin sijasta käytettiin edellä mainittua uutta paperia. Näistäkin levyistä tehtiin käyryysmittaukset, mutta tulokset pidettiin erillään, jotteivät ne sotkisi konfirmaatiokokeen tuloksia.



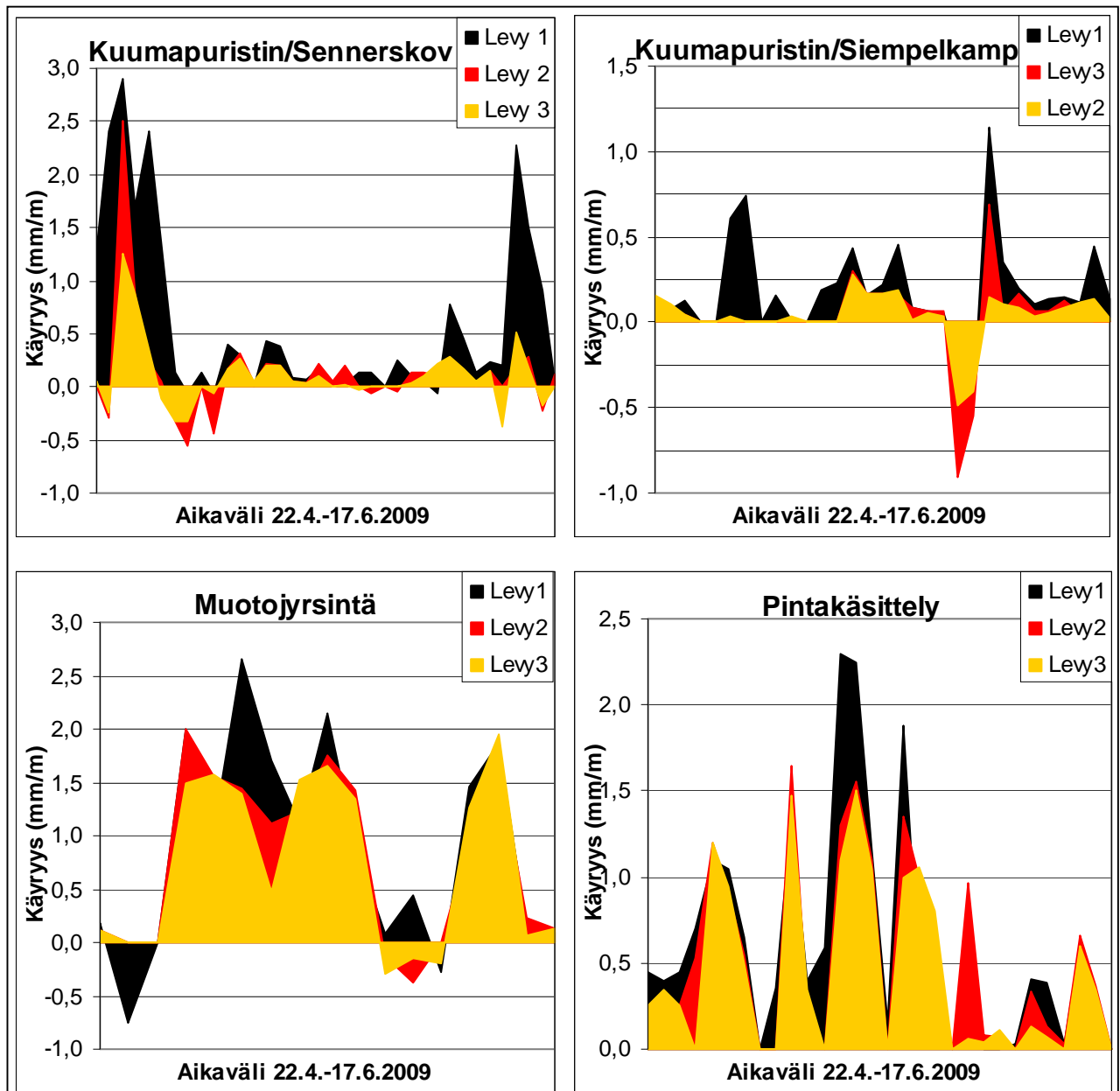
KUVIO 21. Paperin painon vaikutus levyn käyristymiseen.

Kuviossa 21 on esitetty kahden ryhmän 5 levyn käyryyden keskiarvot. Molemmissa ryhmissä levyt on viilutettu pyökillä käyttäen vastapaperina impregnoitua paperia. Toisessa ryhmässä paperin massa neliometriä kohden oli 140 g, toisessa 120 g. Kuten kuviosta nähdään, ei lopputulos paljoa eroa konfirmaatiokokeessa käytetyn 140 g/m² ja uuden 120 g/m² paperin välillä. Kevyemmällä paperilla pinnoitettu levy alkaa tasaantua myöhemmin, mutta tasaantuminen on melko jyrkkää sen alkaessa. Painavamman paperin vaikutukset levyn käyristymiseen olosuhteiden muuttuessa ovat hieman vaimeampia. Alkua lukuun ottamatta levyt käyttäytyivät kuitenkin melko samanlaisesti. Kevyemmällä paperilla pinnoitetun levyn käyristymismuutoksen ovat hieman jyrkempiä, mutta erot ovat vain n 0,1 mm/m.

Tulosten erot papereiden suhteen eivät ole tilastollisesti merkitseviä. Taloudellisesti ajatellen olisikin järkevää käyttää edullisempaa 120 g/m² paperia.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

9.1 Mittaustulosten analysointi



KUVIO 22. Eri työpisteillä mitattuja käyryksiä. Aikavälillä 22.4.–2.7.2009 tehtyjen käyryysmittausten mukaan 11 % mitatuista levyistä oli yli 1,5 mm/m käyriä.

Kuten kuviosta 22 nähdään, ovat tehtaan olosuhteet keväämmällä vaativammat levyjen käyryyden hallitsemisen kannalta. Ilmiön ovat vahvistaneet myös useat tehtaan työntekijät. Syy ilmiöön on luultavasti siinä, että keväällä tehtaan kosteus on

korkeimmillaan. Työntekijöiden, joilla on useiden vuosien työkokemus tehtaalta, mukaan ilmiö tapahtuu joka vuonna samaan aikaan. Tästä päätellen se ei voi olla sattumaakaan. Sitä voitaisiin hallita pitämällä tehtaassa kosteutta ympäri vuoden samana esimerkiksi kattoon asennettavilla ilmankostuttimilla. Päällimmäisen levyn suojaustutkimuksessa huomattiin, että suojaamattomalle levyille sopivin ilmankosteus olisi n. 60 %. Tehtaassa ilman suhteellinen kosteus oli Kansin suoraksi -kokeen konfirmaatiokoea tehtäessä keskimäärin 47,4 %, joka on tätä paljon alhaisempi. Ongelmia saattaa aiheuttaa myös levyaihiovaraston vieressä oleva hallin ovi, jota avataan useasti päivän aikana. Oven kautta tehtaaseen pääsee kosteutta, minkä takia olosuhteet muuttuvat. Oven ollessa auki tehtaassa ilmavirtauskin kasvaa, mikä aiheuttaa ongelmia erityisesti päällimmäisten levyjen käyryyden hallinnassa.

Kun vertaillaan kuviossa 22 olevia kahdella eri kuumapuristimella viilutettujen levyjen käyryksiä, huomataan, että Siempelkamp-puristimen levyt ovat keskimäärin suorempia. Tämä ero voidaan selittää sillä, että Siempelkampilla puristetaan levyjä, joiden molemmat pinnat viilutetaan puuviilulla. Tällöin levyn rakenne on täysin symmetrinen, mikäli lastulevyn rakenne on myös. Kuten aiemmin on mainittu, on rakenteen symmetrisyys levyn yksi tärkeimmistä ominaisuuksista käyryyden hallitsemisen suhteen jatkojalostuksessa. Mikäli vastapaperin ominaisuudet saadaan vastaamaan paremmin viilun ominaisuuksia, voidaan Sennerskovillakin puristettavat levyt saada pysymään suorempina.

Muotojyrsinnän viereisellä välivarastolla levyjen suuri käyryys saattaa johtua lattian epätasaisuudesta. Levyt ovat tässä työvaiheessa lavoilla, jotka myötäilevät lattian muotoja. Kuviossa aikavälillä 28.4–5.5. ja lopussa näkyvät pienet käyryydet mitattiin levyistä, jotka käännettiin ylösalaisin ennen viilutusta. Lastulevyn kääntäminen ylösalaisin olikin eräs väliaikainen ratkaisu käyryyden hallintaan tehtaalla. Levyistä, joiden viilutuksessa oli käytetty käännettyjä lastulevyjä, saatiin kuitenkin useita raja-arvon ylittäviä mittaustuloksia, esimerkiksi Sennerskov-kuumapuristimella 2,4 mm/m. Lastulevyjen kääntämistä ei voitu siis pitää lopullisena ratkaisuna.

Pintakäsittelyosastolla mitatuista levyistä osa oli lakattuja, osa käsittelemättömiä. Käyryydet olivat keskimäärin samoja molemmilla. Pintakäsittelyosastolla väliaikai-

senä ratkaisuna käyryyden hallintaan käytettiin käsittelemättömän levynipun päällimmäisen levyn kääntämistä ylösalaisin. Tällöin levyt pysyivät suurempina, ja ne oli helpompi pintakäsittellä. Nipuissa, joissa päällimmäinen levy oli käännetty, käyryys oli suurimmillaan vain n. 0,7 mm/m. Levyn kääntäminen on kuitenkin vaikeaa varsinkin isoilla levyillä, ja viilun pintaan tulee helposti pintakäsittelyä hankaloittavia naarmuja. Tämäkään ratkaisu ei siis voinut olla lopullinen.

9.2 Työvaiheet

9.2.1 Levyaihiovarasto

Käyryyden hallintaa alettiin tutkia jatkojalostusprosessin ensimmäisestä työvaiheesta, levyaihioiden varastoinnista. Lastulevyt tehtaalle toimitetaan suurissa ja painavissa nipuissa. Suurimmaksi ongelmatekijäksi levynippujen kasaamisessa varastoon koituivat niiden välipuut. Ne oli usein epätarkasti sijoitettu nippujen alle, jolloin nipun paino kohdistuu alla olevaan nippuun. Tällöin alla olevan nipun levyt käyristyvät ja niihin jää sisäisiä jännityksiä tai niihin tulee pysyviä muodonmuutoksia. Tämä vaikeuttaa jatkojalostuksen työstövaiheita.

Levypinojen kasaamiseen tehtiin ohje, joka suunnattaisiin levynippuja vastaanottaville trukkipuoleille. Ohjeeseen tuli kuvia virheellisistä levynippu-putorista ja virheen kuvaus. Ohjeesta selviää myös, miten niput tulisi kasata ja kuinka monta välipuuta kullekin levypituudelle tarvitaan. Siihen sisällytettiin myös paloittelusahan jälkeinen levyjen pinoaminen, jossa ongelmatekijänä oli, että nipun alla olevat lavat olivat usein liian lyhyitä. Havaittiin, että kun lavan pituus ei kata koko levynippua, alimmaisat levyt lähtevät kaartumaan alaspäin. Riittävän pitkä lava estäisi tämän ilmiön. Ohjeen vaikutuksia käyryyden hallintaan ei opinnäytetyön aikana ehtinyt näkemään. Virheet levyaihiovarastolla olivat kuitenkin melko suuria, joten vaikutuksia jatkojalostuksen onnistumiseen varmasti on.

9.2.2 Viilutus

Vastapaperin ominaisuuksiin kiinnitettiin paljon huomiota. Ensimmäinen havainto oli, ettei paperin kuitusuuntaa ollut koskaan merkattu tai huomioitu. Esimerkiksi vaneria valmistetaan poikkeuksetta niin, että päällimmäisten viilujen syynsuunta on sama. Tällöin pintaviilujen kosteuselämiset ovat samansuuntaisia ja ne kumoavat toisensa. Sama teoria pätee myös viilutettuun lastulevyyn, joten sen pintaviilun syynsuunta ja paperin kuitusuunta tulisi olla sama. Toinen havainto oli, että vastapaperi on impregnoimatonta. Paperin toimittajan mukaan moni saman alan yritys käyttää impregnoitua, vahvempaa vastapaperia. Impregnoinnin vaikutusta käyryyden hallintaan tutkittiin Kansi suoraksi -kokeessa. Kokeesta saatiin selville, että impregnoidulla vastapaperilla pystytään parantamaan käyryyden hallintaa. Kansi suoraksi -kokeen konfirmaatiokokeessa saatiin selville, ettei sen massa juurikaan vaikuta tuloksiin. Enemmän käyryyden hallintaan vaikuttaa vastapaperin impregnointi.

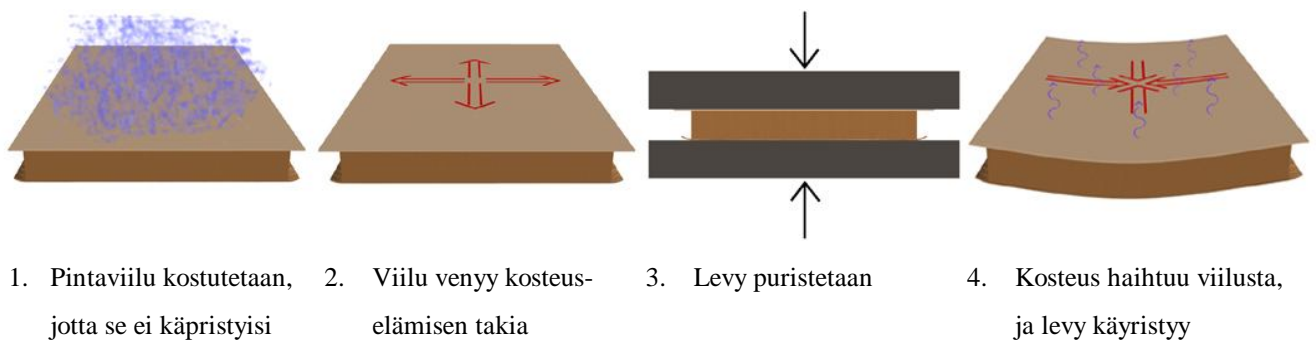
Viilutuksessa käytettävistä materiaaleista laskettiin veden määrä ja todettiin, että lastulevyä viiluttaessa joudutaan tekemisiin suuren vesimäärän kanssa. Kosteuden ollessa yksi haastavimmista tekijöistä viilutuksessa sen vaikutuksia levyn käyrystymiseen tuli tarkkailla erityisellä huomiolla. Kansi suoraksi -kokeessa havaittiin, että jo pelkkä pintaviilun kostutus viiluttaessa vaikuttaa paljon levyn käyryyden hallintaan. Kyse on aiempien tutkimusten perusteella vain n. 16 g/m²:sta vettä, mistä voidaan päätellä kosteuden vaikutuksen herkkyyks. Tilastomatematisilla laskelmillä saatiin selville, että kostutuksen vaikutus käyryyden hallintaan on merkitsevä. Kaikesta ylimääräisestä kosteudesta tulisi siis päästä eroon viilutusprosessissa.

Kostutuksesta voitaisiin päästä eroon kehittämällä laite, joka estäisi viilun käpristymisen ennen puristimeen menoa. Kuten opinnäytetyössä huomattiin, ei laitteen tarvitse olla kovinkaan monimutkainen, mutta edut saattavat olla suuria.

Kostutuksesta tulevan veden määrä on vain noin 9 % viilutuksessa tulevasta lisävedestä. Tästä voitaisiin päätellä, että pienenkin vesimäärän poistaminen viilutuspro-

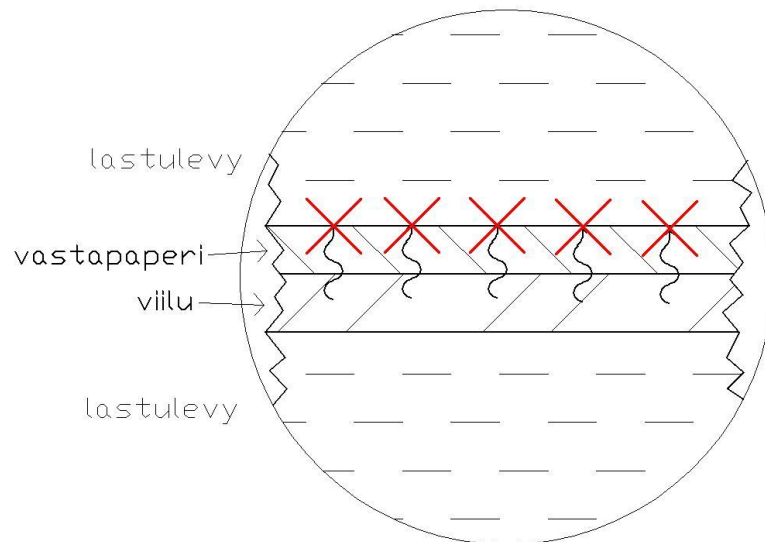
sessista voi vaikuttaa suuresti levyjen käyryyden hallintaan. Liimassa on n. 45 % vettä, joten sen kuiva-ainemäärää voisi vielä hieman suurentaa. Jos liiman kuiva-ainemäärä olisi esimerkiksi 35 %, poistuisi viilutuksen lisävedestä toiset 9 %. Viilun kosteutta sen sijaan ei voida alentaa, koska sen on oltava käyttökoosteudessaan viilutuksessa.

Pintaviilun kosteuden haihtumiskokeessa todettiin, että viiluista haihtuu aluksi paljon kosteutta. Tämä näkyy käyryyden muutoksissa levyjen käyristymisenä. Ilmiö voidaan perustella sillä, että puristuksen jälkeen lastulevy on lämmin. Kun lastulevy puristuksessa lämpenee, sen liimasidokset pehmenevät, ja levy saattaa olla alttiimpi pintaviilun muutoksille. Yhteys pintaviilun kosteuden ja levyn käyryyden välillä kuitenkin häviää kosteuden tasaannuttua. Kansi suoraksi -kokeessa ja luvussa 7.3 mitattiin viilujen kosteuksia ja levyn käyryksiä. Tuloksista voidaan havaita, että vaikka viilun kosteus pysyy samana, levyn käyryys muuttuu. Voidaan siis päätellä, että viilun kosteuden aleneminen vaikuttaa käyristymiseen heti puristuksen jälkeen lastulevyn ollessa lämmin. Kun levyn lämpötila alenee ja liimasidokset kovenevat, viilun muutokset eivät enää vaikuta lastulevyn käyristymiseen.



KUVA 14. Viilutusprosessin kuvaus ja kosteuden vaikutus levyn käyttäytyminen viilutuksessa.

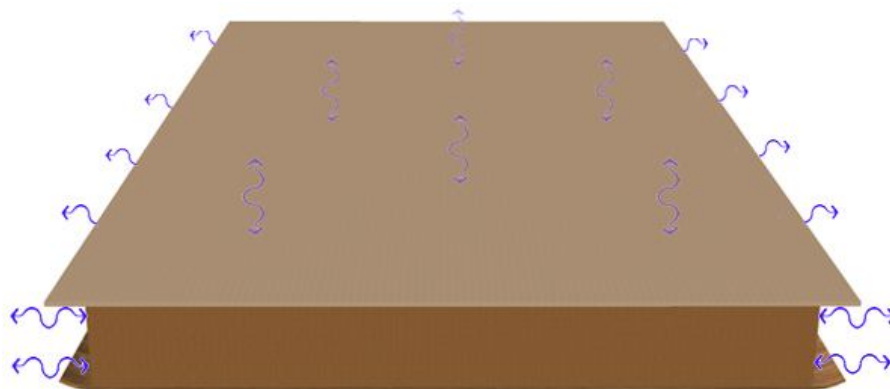
Yksi syy kansien käyristymiseen on alla olevan levyn pintaviilun kosteuden siirtyminen yllä olevan levyn alaosaan. Liiman määrän lisäämisellä alapuolelle viilutuksessa näytti olevan positiivisia vaikutuksia. Voidaan siis päätellä, että liima estäisi tällöin enemmän kosteuden siirtymistä viilusta yllä olevaan lastulevyyn. Liima saattaa myös vahvistaa levyn alapuolen vastavoimaa yläpuolen vetoa vastaan, jolloin levy ei pääse käyristymään yhtä paljoa.



KUVA 15. Alapuolen liiman lisäämisen vaikutus kosteuden imeytymiseen viilusta yläpuolella olevaan levyyn.

9.2.3 Välivarastointi

Päällimmäisen levyn suojaustutkimuksessa seurattiin viiluosaston ilmankosteutta. Kosteuskäyrää ja viiluosastolla olleiden levyjen käyryksiä vertaillaessa voidaan huomata, että levyjen käyrydet muuttuivat, kun ilmankosteus lähti laskemaan. Tästä voidaan päätellä, että lastulevyn jäähtyttyä käyryteen rupeavat vaikuttamaan ympäröivät olosuhteet. Tällöin kosteus vaihtelee levyn reunojen kautta. Saattaa olla myös, että kosteus pääsee jossain määrin myös viilun ja liiman läpi lastulevyyn. Kuitenkin niin vähän, ettei se näy viilun kosteudessa.



KUVA 16. Kosteuden haihtuminen ja imeytyminen lastulevyn jäähtyttyä.

Muovikalvolla suojatun nipun kaksi päällimmäistä levyä olivat niin tiiviisti suojattu- ja, ettei niissä juuri näkynyt muutoksia. Muovikalvolla voitaisiin siis vähentää levyjen herkkyyttä ympäröivien olosuhteiden muutokselle, mutta kalvo tulisi laittaa levynipun päälle vasta, kun levyt ovat tasaantuneet. Muuten viilutuksessa tuleva kosteus jää vangiksi kalvon alle, mikä käyristää levyjä. Tilastollisesti päällimmäisen levyn suojaustavan vaikutus käyryyden hallintaan on erittäin merkitsevä.

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutkittiin lastulevyn käyristymistä, koska se on ollut ongelmana jo pitkän aikaa puusepänteollisuudessa. Erityisesti ongelma on aiheuttanut harmia reunalistoituksessa, muotojyrksinnässä, hionnassa ja pintakäsittelyssä. Ongelmia on myös tuotteiden loppukäyttäjillä, mistä tulee jonkin verran reklamaatioita. Valmiiden tuotteiden käyryyden hallintaa voidaan parantaa esimerkiksi tukemalla pöytä-kansia rautakehikolla, mutta se rajoittaa tuotesuunnittelua ja muotoilua. Suurin menetys tehtaalle tapahtuu tuotteiden valmistuksessa, mihin opinnäytetyössä keskityttiin.

Käyryyden hallinnan parantamiseksi tehtiin neljä tutkimusta, joihin sisältyi pienempiä kokeita. Ensimmäiseksi tutkittiin lastulevynippujen pinoamista aihiovarastolla. Seuraavaksi tutkittiin viilutusta, johon sisältyi muutamia kokeita koskien kosteutta. Kolmas tutkimus liittyi päällimmäisen levyn suojaamiseen väliavarastoinnissa. Lopuksi tehtiin Kansi suoraksi -koe, jossa yritettiin löytää käytännössä viilutuksessa esiintyvien eri muuttujien tasojen parasta kombinaatiota käyryyden hallinnan suhteen.

Suurimmaksi vaikuttajaksi käyryyden hallintaan nousi viilutuksessa ennen puristusta tehtävä viilun kostutus. Vaikka muidenkin muuttujien tasojen muutokset vaikuttivat positiivisesti käyryyden hallintaan, oli kostutuksen vaikutus sekä tulosten että tilastomatematiikan laskelmien perusteella suurin. Kostutus tulisi poistaa viilutusprosessista.

Lastulevynippujen oikeanlainen pinoaminen on aiheellista, ja siihen tulisi tehtaalla puuttua. Oikeanlaisella pinoamisella lastulevyn jatkojalostuksen onnistumisen lähtökohdat ovat paremmat ja tuotteen valmistus on varmempaa.

Tehdasolosuhteiden vakiinnuttaminen olisi myös suotavaa. Tähän monet tehtaat eivät kuitenkaan pysty, sillä se saattaa olla vaikea toteuttaa tai siihen liittyy liian kallis investointi. Tällöin levyjen suojaukseen välivarastoinnissa tulisi kiinnittää huomiota.

Mahdollisia jatkotoimenpiteitä käyryyden hallinnan parantamiseksi voisi olla viilutuksessa käytettävän liiman tutkiminen. Kehitystyötä liiman valmistamisessa tapahtuu koko ajan, mikä saattaisi olla eduksi lastulevyn jatkojalostuksen viilutukselle ja käyryyden hallinnalle.

Mielessä kannattaa pitää kuitenkin se, ettei käyryyden hallintaa paranneta yhtä tekijää muuttamalla. Parannus on monen osatekijän summa.

LÄHTEET

Faostat. 2009. Forestry statistics. FAO [viitattu 26.1.2010]. Saatavissa:

<http://faostat.fao.org/>

Juvonen, R., Pekkinen, P. 1987. Lastulevyteollisuus. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Kiilto Oy. 2009. Viilutusliimat. Kiilto Oy [viitattu 12.8.2009]. Saatavissa:

http://www.kiilto.fi/fi/tuotteet/teollisuus/?product_sub_group=14

Koch, G. S., Klareich, F. & Exstrum, B. 1987. Adhesives for the composite wood panel industry. New Jersey: Noyes Data Corporation.

Koponen, H. 2002. Puulevytuotanto. 3. uudistettu painos. Helsinki: Edita Oy.

Koponen, H. 1990. Puutuotteiden liimaus. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Koskisen Oy. 2009. Huonekalut - Kiintokalusteet. Koskisen Oy [viitattu 18.6.2009]. Saatavissa: <http://www.koskisen.fi/>.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Maloney, T. M. 1993. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. San Francisco: Miller Freeman Inc.

Mattila, P. J. 2009. Paperin valmistuksen historia. Mattila, P. J. [viitattu 6.7.2009]. Saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/pentti.mattila/Sivut/Paperi.htm>

Painotalo Scanseri. 2009. Painotekniikan sanakirja. Painotalo Scanseri [viitattu 12.8.2009]. Saatavissa: http://www.painotalo.fi/sanakirja_K.php

Pesonen, P. 2009. Puulevyjen tuotannosta suurin osa on vaneria. Metsäteollisuus [viitattu 26.1.2010]. Saatavissa: www.metsateollisuus.fi.

Puhos Board Oy. 2009. Kalustelevyt. Puhos Board Oy [viitattu 18.6.2009]. Saatavissa: <http://www.puhosboard.fi/>.

Puuinfo. 2010. Hyvä tietää puulevyistä. Puuinfo [viitattu 15.1.2010]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/kirjasto/hyva-tietaa-puulevyista>.

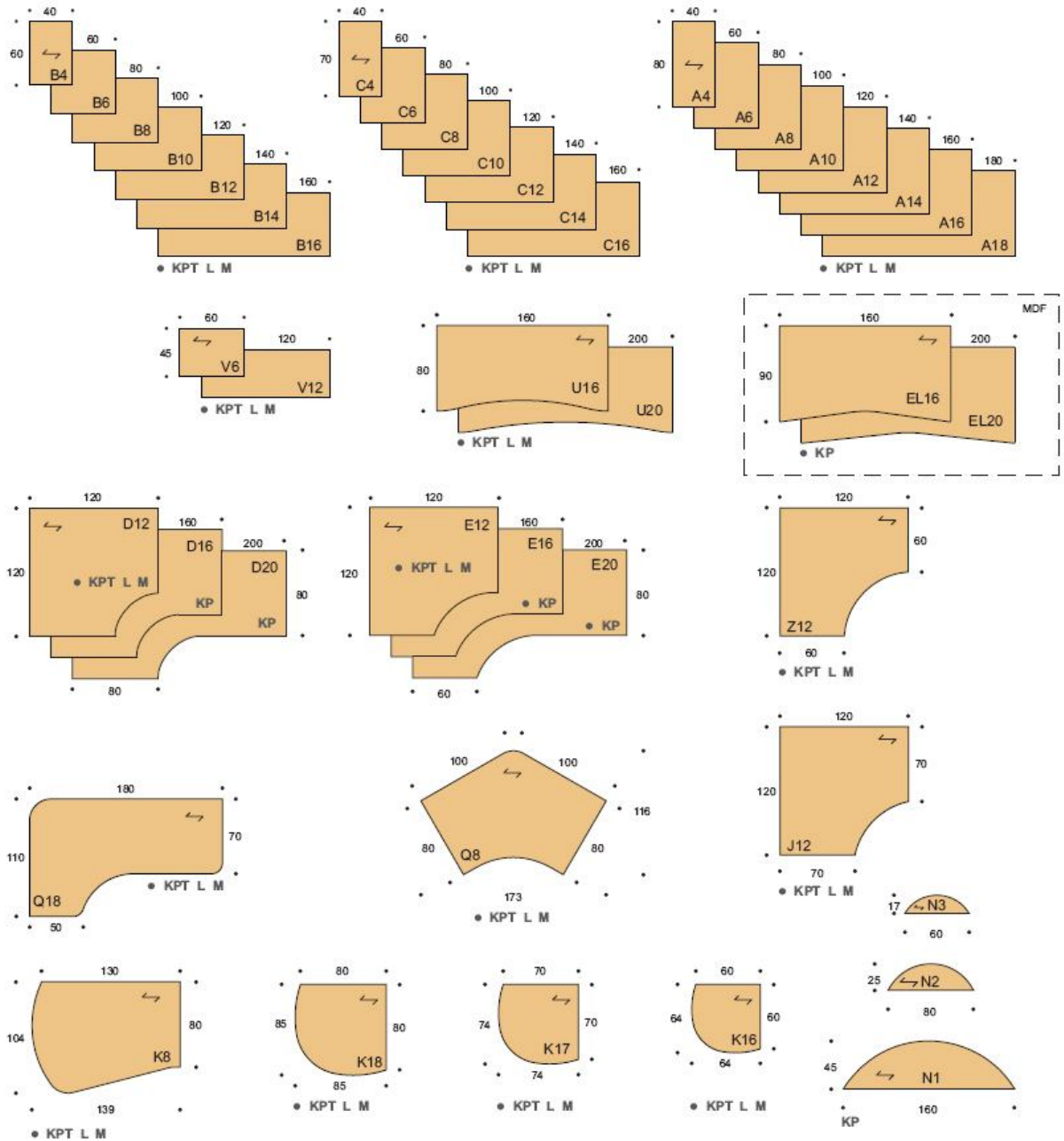
Puuproffa. 2009. Viilut ja viilutus. Puuproffa [viitattu 16.6.2009]. Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/arkisto/viilut_ja_viilutus.php.

Salmi, M. 2009. Yliopettaja. Lahden Ammattikorkeakoulu. Haastattelu 7.9.2009.

Salmi, M. 2010. Yliopettaja. Lahden Ammattikorkeakoulu. Haastattelu 4.2.2010.

LIITTEET

Liite 1. Tehtaalla käytettävät levymitat ja koodit.

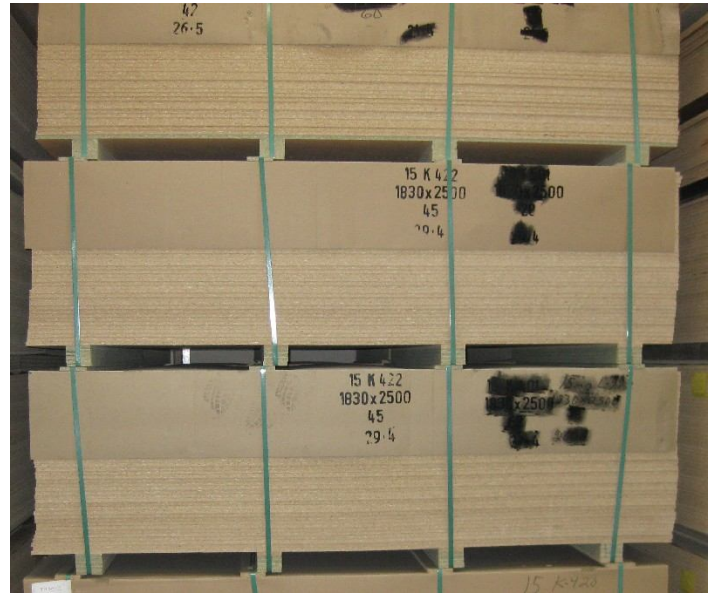


Liite 2. Pinoamisohjeet

Pinkkausohjeet

Levynipun tullessa tehtaalta:

1. Laita pudonnut välipuu pinkan alle
2. Jos välipuu on jäänyt matkan varrelle, ota uusi paloittelusahan viereisestä välipuukasasta
3. Huolehdi, että välipuut tulevat pystysuunnassa samaan linjaan alla olevan nipun kanssa



Vajaan levynipun pinkkaaminen:

1. Huolehdi, että välipuut tulevat pinkan alle tasaisin välein ja pystysuunnassa samaan linjaan alla olevan nipun kanssa
2. Katso välipuiden määrä alla olevasta taulukosta
3. Välipuiden tulee olla saman paksuisia, kuin viereiset välipuut

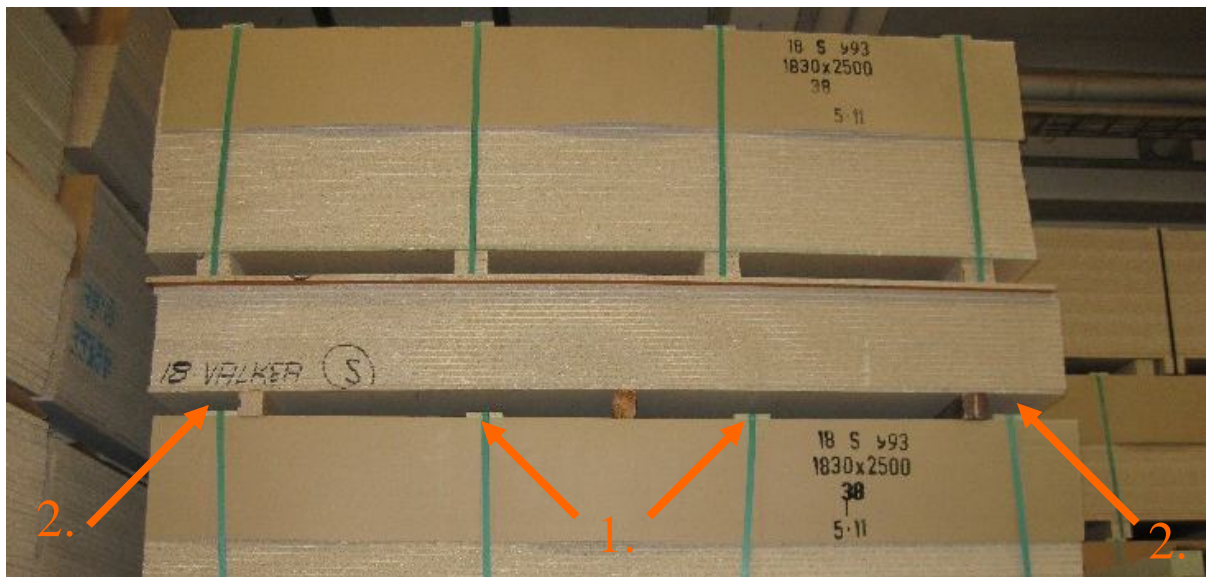
Levyn pituus	Välipuiden määrä
<1200 mm	2 kpl
1600-2000 mm	3 kpl
>2500 mm	4 kpl



- Välipuu ei ole kohdakkain alla olevan nipun välipuun kanssa
- Liian vähän välipuita
 - ⇒ Laitettava oikean paksuiset välipuut keskimmäisen ja laitemmaisten väleihin.



- Välipuut eivät ole linjassa pystysuunnassa
 1. Välipuu puuttuu
 2. Liian monta välipuuta
 - ⇒ Otettava keskimääräinen välipuu pois ja kohdistettava jäljelle jäävät alemman nipun välipuiden kanssa tai laitettava nippu eri torniin



1. Välipuut puuttuvat
2. Välipuut eivät ole linjassa pystysuunnassa
3. Liian pieni välipuu
 - ⇒ Välipuun oltava saman paksuinen, kuin viereiset



- Välipuu puuttuu!
⇒ Katso välipuiden määrä taulukosta

Levyjen pinkkaaminen paloittelun jälkeen:

- Lavan tulee olla tarpeeksi pitkä
⇒ Levy saa ylittää lavan max 20 cm per puoli
⇒ 1600 mm pidemmille levyille 2 m lava

Liite 3. Päällimmäisen levyn suojaustestin mittaustuloksia. Väliavarastolla olleiden levyjen mittaustuloksia.

Nimike	La-le	MDF	Viilu	Lakka	Mittausmatka (m)		Käyryys (mm)									Suojaus	Mittaus pvm	Käyryys (mm/m)		
					Lävistäjä	Syynsuunta	Levy1			Levy2			Levy3					Levy1	Levy2	Levy3
A12	x		1		1,44	1,2	-0,7	-0,3	-1,3	0,3	0,0	0,3	0,5	0,0	0,7	Ei suojausta	9.7.	-0,5	0,1	0,3
							-0,6	0,0	-0,9	0,4	0,0	0,2	0,2	0,0	0,4		10.7.	-0,3	0,1	0,1
							-0,4	0,0	-0,7	0,8	0,3	0,7	1,3	0,7	1,5		27.7.	-0,3	0,4	0,8
							-0,3	0,0	-0,7	0,8	0,3	0,8	1,2	0,7	1,4		28.7.	-0,2	0,5	0,8
							-0,8	-0,2	-1,0	0,9	0,3	0,8	1,1	0,6	1,3		29.7.	-0,5	0,5	0,7
							-0,8	-0,3	-1,1	0,9	0,4	0,8	1,4	0,8	1,5		30.7.	-0,5	0,5	0,9
							-0,4	0,0	-0,7	0,9	0,3	0,8	1,2	0,6	1,2		31.7.	-0,3	0,5	0,7
							-0,6	0,0	-0,8	0,9	0,4	0,7	1,2	0,6	1,2		3.8.	-0,3	0,5	0,7
							-0,7	0,0	-1,0	0,8	0,1	0,7	1,2	0,5	1,2		4.8.	-0,4	0,4	0,7
							-0,7	-0,1	-1,0	0,9	0,3	0,7	1,3	0,6	1,3		5.8.	-0,4	0,5	0,8
							-0,5	0,0	-0,9	0,9	0,2	0,7	1,2	0,6	1,2		6.8.	-0,3	0,4	0,7
							-0,5	0,0	-0,8	0,9	0,3	0,7	1,1	0,6	1,2		7.8.	-0,3	0,5	0,7
							-0,4	-0,1	-0,7	1,0	0,3	0,8	1,2	0,7	1,2		8.8.	-0,3	0,5	0,8
																Δ Muutos		0,3	0,4	0,5
							0,2	0,0	0,4	0,4	0,1	0,5	0,5	0,1	0,8	Kovapahvi	9.7.	0,1	0,2	0,3
							0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	0,4	0,2	0,0	0,7		10.7.	0,2	0,1	0,2
							0,2	0,2	0,8	0,7	0,4	1,1	1,2	0,7	1,8		27.7.	0,3	0,5	0,9
							0,7	0,4	1,1	0,9	0,5	1,2	1,3	0,6	1,8		28.7.	0,5	0,6	0,9
							0,5	0,2	0,9	0,8	0,4	1,2	1,1	0,6	1,9		29.7.	0,4	0,6	0,9
							0,5	0,2	0,8	0,8	0,5	1,1	1,3	0,7	1,9		30.7.	0,4	0,6	0,9
							0,6	0,3	0,8	0,8	0,3	1,1	1,2	0,6	1,7		31.7.	0,4	0,5	0,8
							0,5	0,2	0,9	0,8	0,3	1,0	1,0	0,5	1,8		3.8.	0,4	0,5	0,8
							0,2	0,2	0,7	0,6	0,2	1,0	1,0	0,5	1,7		4.8.	0,3	0,4	0,8
							0,3	0,2	0,7	0,8	0,4	1,1	1,2	0,6	1,8		5.8.	0,3	0,6	0,9
							0,3	0,2	0,6	0,7	0,4	1,0	1,2	0,7	1,8		6.8.	0,3	0,5	0,9
							0,4	0,2	0,9	0,7	0,3	1,1	1,1	0,6	1,7		7.8.	0,4	0,5	0,8
							0,6	0,3	1,0	0,8	0,2	1,1	1,1	0,8	1,8		8.8.	0,5	0,5	0,9
																Δ Muutos		0,3	0,3	0,6
							0,4	0,0	0,3	0,4	0,0	0,3	0,3	0,0	0,3	Muovikelmu	9.7.	0,2	0,2	0,1
							0,2	0,0	0,1	0,4	0,0	0,3	0,4	0,0	0,3		10.7.	0,1	0,2	0,2
							0,8	0,2	0,6	0,9	0,3	0,8	1,5	0,8	1,5		27.7.	0,4	0,5	0,9
							0,8	0,5	0,7	1,0	0,3	0,8	1,3	0,8	1,3		28.7.	0,5	0,5	0,8
							1,0	0,2	0,8	1,0	0,2	0,7	1,5	0,6	1,2		29.7.	0,5	0,4	0,8
							1,0	0,4	0,8	1,1	0,4	0,7	1,5	0,8	1,2		30.7.	0,5	0,5	0,8
							1,0	0,3	0,7	1,0	0,3	0,8	1,4	0,8	1,1		31.7.	0,5	0,5	0,8
							1,0	0,3	0,6	1,0	0,3	0,6	1,2	0,6	1,0		3.8.	0,5	0,5	0,7
							0,8	0,2	0,6	0,9	0,3	0,6	1,3	0,6	1,0		4.8.	0,4	0,4	0,7
							1,0	0,3	0,6	1,0	0,3	0,6	1,4	0,7	1,1		5.8.	0,5	0,5	0,8
							0,9	0,1	0,5	0,7	0,3	0,6	1,5	0,7	1,1		6.8.	0,4	0,4	0,8
							1,0	0,3	0,6	1,0	0,3	0,6	1,5	0,6	0,9		7.8.	0,5	0,5	0,7
							1,1	0,3	0,9	1,1	0,4	0,6	1,4	0,7	1,0		8.8.	0,5	0,5	0,8
																Δ Muutos		0,4	0,3	0,6

Liite 4. Päälimmäisen levyn suojaustestin mittaustuloksia. Viiluosastolla olleiden levyjen mittaustuloksia.

Nimike	La-le	MDF	Viilu	Lakka	Mittausmatka (m)		Käyryys (mm)									Suojaus	Mittaus pvm	Käyryys (mm/m)		
					Lävistäjä	Syynsuunta	Levy1			Levy2			Levy3					Levy1	Levy2	Levy3
A12	x		1		1,44	1,2	0,9	0,3	1,0	0,4	0,0	0,6	0,3	0,1	0,5	Ei suojausta	9.7.	0,5	0,2	0,2
							0,0	0,1	0,3	0,6	0,2	0,7	0,5	0,1	0,7		10.7.	0,1	0,4	0,3
							0,0	0,1	0,3	1,0	0,9	1,4	1,9	1,5	2,3		27.7.	0,1	0,8	1,4
							0,1	0,2	0,5	0,9	0,8	1,3	1,8	1,4	2,1		28.7.	0,2	0,7	1,3
							0,3	0,4	0,6	1,0	0,9	1,4	1,8	1,4	2,1		29.7.	0,3	0,8	1,3
							0,9	0,8	1,3	1,2	1,0	1,6	1,9	1,5	2,2		30.7.	0,7	0,9	1,4
							1,4	1,0	1,9	1,1	0,9	1,5	1,6	1,3	1,9		31.7.	1,0	0,9	1,2
							1,0	0,9	1,5	1,2	1,0	1,5	1,5	1,1	1,7		3.8.	0,8	0,9	1,0
							1,0	0,7	1,5	1,2	1,1	1,6	1,5	1,1	1,7		4.8.	0,8	1,0	1,0
							1,1	0,9	1,7	1,1	1,0	1,6	1,3	1,0	1,6		5.8.	0,9	0,9	0,9
							1,2	0,9	1,6	1,1	1,0	1,7	1,2	1,0	1,6		6.8.	0,9	0,9	0,9
							1,4	1,1	1,9	1,2	1,0	1,6	1,3	0,9	1,5		7.8.	1,1	0,9	0,9
							1,5	1,1	2,0	1,4	1,2	1,9	1,2	0,9	1,5		8.8.	1,1	1,1	0,9
																Δ Muutos		0,6	0,9	0,7
							0,4	0,1	0,5	0,3	0,2	0,7	0,4	0,1	0,5	Kovapahvi	9.7.	0,2	0,3	0,2
							0,4	0,2	0,5	0,4	0,2	0,7	0,9	0,4	1,0		10.7.	0,3	0,3	0,6
							0,0	0,3	0,2	1,1	0,5	1,1	2,0	1,4	2,1		27.7.	0,1	0,6	1,3
							0,2	0,3	0,5	1,0	0,5	1,1	1,8	1,3	1,9		28.7.	0,2	0,6	1,2
							0,3	0,4	0,5	1,1	0,5	1,1	1,8	1,4	1,9		29.7.	0,3	0,6	1,2
							0,7	0,5	1,0	1,1	0,8	1,2	1,9	1,4	1,9		30.7.	0,5	0,8	1,3
							1,0	0,6	1,1	0,9	0,5	1,0	1,5	1,0	1,5		31.7.	0,7	0,6	1,0
							0,9	0,5	1,2	1,0	0,5	1,0	1,3	1,0	1,4		3.8.	0,6	0,6	0,9
							1,0	0,6	1,3	1,0	0,7	1,1	1,3	1,1	1,4		4.8.	0,7	0,7	0,9
							0,8	0,4	1,3	1,0	0,5	1,1	1,2	1,0	1,3		5.8.	0,6	0,6	0,9
							0,9	0,6	1,2	1,0	0,6	1,1	1,2	0,8	1,3		6.8.	0,7	0,7	0,8
							1,1	0,7	1,4	1,0	0,6	1,1	1,1	0,8	1,2		7.8.	0,8	0,7	0,8
							1,2	0,6	1,4	1,1	0,7	1,2	1,1	0,9	1,2		8.8.	0,8	0,7	0,8
																Δ Muutos		0,5	0,4	0,5
							0,2	0,4	0,3	0,7	0,1	0,9	0,2	0,1	0,4	Muovikelmu	9.7.	0,2	0,4	0,2
							-0,8	-0,8	-0,6	0,5	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5		10.7.	-0,5	0,3	0,3
							0,0	0,1	0,0	1,0	0,6	1,0	1,8	1,2	2,0		27.7.	0,0	0,6	1,2
							0,0	0,0	0,0	0,9	0,8	1,0	1,6	1,1	1,7		28.7.	0,0	0,7	1,1
							0,0	0,0	0,0	0,9	0,5	0,9	1,6	1,0	1,6		29.7.	0,0	0,6	1,0
							0,1	0,1	0,0	1,0	0,7	1,0	1,5	1,1	1,6		30.7.	0,1	0,7	1,0
							0,0	0,0	0,0	0,9	0,4	0,9	1,1	0,7	1,2		31.7.	0,0	0,5	0,7
							0,0	0,0	0,0	1,0	0,8	1,0	0,9	0,6	1,1		3.8.	0,0	0,7	0,6
							0,0	0,1	0,0	1,0	0,5	1,1	1,0	0,7	1,1		4.8.	0,0	0,6	0,7
							0,0	0,0	0,0	0,9	0,7	1,0	0,9	0,6	0,9		5.8.	0,0	0,6	0,6
							0,0	0,0	0,0	0,9	0,6	0,9	0,8	0,5	0,8		6.8.	0,0	0,6	0,5
							0,0	0,1	0,0	0,9	0,5	0,9	0,7	0,5	0,8		7.8.	0,0	0,6	0,5
							0,0	0,0	0,0	1,1	0,7	1,1	0,7	0,4	0,9		8.8.	0,0	0,7	0,5
																Δ Muutos		0,2	0,3	0,3

Liite 5. Kansi suoraksi -kokeessa testattavat kombinaatiot ja niiden ajojärjestys.

Kansi no	Viilu	Liima yläpuoli	Liima alapuoli	Vastapaperi	Vesi	Lämpö	Puristus aika
1	Pyökki	Normi	Paljon	Vanha	Ei	Alhainen	Pitkä
2	Pyökki	Paljon	Normi	Uusi	Ei	Alhainen	Lyhyt
3	Koivu	Paljon	Paljon	Vanha	On	Alhainen	Lyhyt
5	Pyökki	Paljon	Normi	Uusi	On	Alhainen	Pitkä
8	Koivu	Normi	Paljon	Uusi	On	Alhainen	Pitkä
12	Koivu	Normi	Normi	Vanha	Ei	Alhainen	Lyhyt
13	Pyökki	Normi	Paljon	Vanha	Ei	Alhainen	Pitkä
14	Pyökki	Paljon	Normi	Uusi	Ei	Alhainen	Lyhyt
15	Koivu	Paljon	Paljon	Vanha	On	Alhainen	Lyhyt
17	Pyökki	Paljon	Normi	Uusi	On	Alhainen	Pitkä
20	Koivu	Normi	Paljon	Uusi	On	Alhainen	Pitkä
24	Koivu	Normi	Normi	Vanha	Ei	Alhainen	Lyhyt
4	Pyökki	Normi	Paljon	Uusi	Ei	Korkea	Lyhyt
6	Pyökki	Paljon	Paljon	Vanha	On	Korkea	Lyhyt
7	Koivu	Paljon	Paljon	Uusi	Ei	Korkea	Pitkä
9	Koivu	Normi	Normi	Uusi	On	Korkea	Lyhyt
10	Pyökki	Normi	Normi	Vanha	On	Korkea	Pitkä
11	Koivu	Paljon	Normi	Vanha	Ei	Korkea	Pitkä
16	Pyökki	Normi	Paljon	Uusi	Ei	Korkea	Lyhyt
18	Pyökki	Paljon	Paljon	Vanha	On	Korkea	Lyhyt
19	Koivu	Paljon	Paljon	Uusi	Ei	Korkea	Pitkä
21	Koivu	Normi	Normi	Uusi	On	Korkea	Lyhyt
22	Pyökki	Normi	Normi	Vanha	On	Korkea	Pitkä
23	Koivu	Paljon	Normi	Vanha	Ei	Korkea	Pitkä