

# RISTIKKÄISVIILUN VALMISTUKSEN OPTIMOINTI LVL-PROSESSISSA

Metsä Wood Lohjan Kerto-tehdas

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Prosessi- ja materiaalitekniikka  
Puutekniikka  
Syksy 2018  
Erik Forsander

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Forsander, Erik	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 31	Valmistumisaika Syksy 2018
Työn nimi <b>Ristikkäisviilun valmistuksen optimointi LVL-prosessissa</b> Case: Metsä Wood Lohjan Kerto-tehdas		
Tutkinto Insinööri (AMK), prosessi- ja materiaalitekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Metsä Wood Lohjan Kerto-tehdas. Työssä tehtiin tutkimusta ristikkäisviilujen valmistuksen tehokkaimmista vaihtoehdoista ristirakenteisiin LVL-tuotteisiin Lohjan Kertopuu-tehtaan tiloissa. Työn tarkoituksena oli kehittää nykyistä tuotantomallia koestamalla käyttämättömiä menetelmiä tehtaan tuotantotiloissa ja parantaa materiaalitehokkuutta tuottamatta lisäinvestointeja.</p> <p>Työ koostuu teoriasta ja tutkimuksesta. Teoriassa käsitellään lähteiden perusteella ristirakenteiset LVL-tuotteet ja valmistustekniikka, joka on rajattu sorvauksen ja ladonnan välisiin prosesseihin, joilla mahdollistetaan ristikkäisviilun valmistus. Tutkimus jakaantuu tehtaan nykyhetken tilan selvitykseen ja prosessikehitykseen.</p> <p>Nykyhetken tilassa määritettiin lähtöarvot, joista saatiin perusta prosessikehitykseen. Lähtöarvot oli määritelty sorvauksen ja ladonnan välisistä prosesseista läpimenoajalla, materiaalihukalla ja sanallisella selityksellä tuotannon toimintaan vaikuttavista tekijöistä.</p> <p>Prosessikehityksen pääasiallisena kohteena oli kaksipuolinen leikattavien viiluarkkien saumaus, josta toteutettiin käytännön koeajot saumauskoneen ja ladonnan välillä onnistuneilla tuloksilla. Kehitysvaiheessa pohdittiin myös mahdollisuutta toteuttaa ristikkäisviilua kalibroimalla märkäviilun leveyttä, jotta kuivauksessa saataisiin kutistettua viiluarkit suoraan vaadittuun mittaan.</p>		
Asiasanat Kertopuu, LVL, Metsä Wood, valmistustekniikka, ristikkäisviilu		

## Abstract

Author(s) Forsander, Erik	Type of publication Bachelor's thesis	Published Autumn 2018
	Number of pages 31	
Title of publication <b>The optimization of cross veneer production in the LVL-process</b> Case: Kerto manufacture of Metsä Wood Lohja		
Name of Degree Bachelor of Materials Engineering		
Abstract <p>This Bachelor's thesis was commissioned by the Kerto mill of Metsä Wood in Lohja. The objective was to study possible upgrades for optimizing the production of crossed veneer in Metsä Wood's production factory. The main part of this study was to develop the current production model by testing alternative methods in practice and improve the material efficiency without additional investments.</p> <p>The thesis consists of theory and field work on the production line. Theory was based on written sources about cross structured LVL products and the production methods. The production methods were limited to the main processes of manufacturing crossed veneer that are between peeling and assembling of the veneer sheets. The field work was divided to examination of the current state of the production and to process development.</p> <p>The starting values of the current state of production were determined, and they formed the basis for process development. The determination of the starting values was based on process time, material loss and verbal accounts on factors affecting production.</p> <p>The process development was mainly targeted at two-sided composing of cut veneer sheets. This was successfully tested with test runs between composing and assembly. Another target for development was considering whether the width of the wet veneer sheets could be calibrated, so that the veneer sheets would have the specified dimensions after drying, without further production stages.</p>		
Keywords Laminated Veneer Lumber, LVL, Metsä Wood, production, crossed veneer		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	RISTIRAKENTEINEN KERTOPUU.....	2
2.1	LVL, Laminated veneer lumber .....	2
2.2	Sertifiointi.....	2
2.3	Kerto LVL Q- ja L-Panel.....	3
2.4	Kerto LVL QP-beam .....	3
3	NYKYTILAN ARVIOINTI .....	5
3.1	Kartoitus .....	5
3.2	Viilusorvi .....	5
3.2.1	Kosteuskompensaatio .....	7
3.2.2	Kuormien mittaukset .....	7
3.2.3	Märkälajittelu .....	8
3.3	Telakuivauskoneen toiminta .....	8
3.3.1	Kuivauksen mittaustulokset .....	10
3.3.2	Lajittelu .....	11
3.3.3	Kuivauskutistuma .....	11
3.4	Ristipuskusahaus.....	13
3.5	Saumaus .....	15
3.6	Saumauksen mittaustulokset .....	16
3.7	Ladonta .....	17
3.8	Ladontalinjan toiminta.....	18
4	PROSESSIKEHITYS .....	20
4.1	Linjaus .....	20
4.2	2-puolinen saumaus .....	20
4.2.1	1. Koeajo .....	20
4.2.2	2. Koeajo .....	23
4.3	2-puolisten saumattujen arkkien ladonta.....	24
4.4	Leveyden kalibrointi kuivauskutistumalla .....	26
5	TULOSTEN ARVIOINTI.....	29
6	YHTEENVETO .....	31
	LÄHTEET .....	32
	LIITTEET .....	34

## 1 JOHDANTO

Tutkimus toteutettiin Metsä Wood Lohjan Kertopuu-tehtaan tuotannon tiloissa. Työn tavoitteena oli kehittää uusia vaihtoehtoja ristikkäisviilun valmistustavoiksi tuotanto- ja materiaalitehokkuuden parantamiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa prosessien läpimenoaikojen ja materiaalihukan tutkimista ja mahdollista parantamista vaihtoehtoisilla menetelmillä. Nykyisellä mallilla tehdas tuottaa ristikkäisviilut erillisellä mekaanisella ristipuskusahauksella, jolla saadaan halkaistua viilun leveysmitta tuotantoon sopivaksi.

Tutkimuksen laajuus on ristikkäisviilun valmistuksen mahdollistavat prosessit eli sorvaus, kuivaus, ristipuskusahaus, saumaus ja ladonta. Tehtaan tuotannossa on käytössä kuusta, mäntyä ja koivua valmistettavasta LVL-tuotteista riippuen, mutta tutkimus on käsitelty ainoastaan kuusen kohdalta. Saumaus ei toistaiseksi tehtaan nykyisellä mallilla kuulu ristikkäisviilun valmistukseen, mutta se on tutkimuksen tärkein kehityskohde, jolla voidaan myös valmistaa ristikkäisviilua. Prosesseista esitetään nykyhetken tilan tarkastelussa konekohtaisesti ensin tekniset tiedot lähdeaineiston pohjalta, minkä jälkeen esitetään mittaustulokset. Mittaustuloksissa käsitellään lähtöarvot läpimenoajan, materiaalihukan ja muiden prosessiin vaikuttavien tekijöiden osalta sanallisella pohdinnalla.

Prosessikehityksessä on kaksi pääasiallista linjausta, millä voitaisiin toteuttaa ristikkäisviilua tuottamatta lisäinvestointeja. Ensimmäinen on leikattavien viiluarkkien kaksipuoleinen saumaaminen, jolla pystytään tuottamaan ristikkäisviilua tehokkaalla materiaalin hyödyntämisellä. Nykyisellä toimintatavalla saumaus toteutetaan käyttämällä liimalankoja yksipuoleisesti, joka on toimiva järjestelmä normaaliin saumattuun keskiviiluun. Vastaava menetelmä ei sovellu saumatun ristikkäisviilun valmistukseen, koska se ei tarjoa tarpeeksi poikittaista lujuutta. Ristikkäisviilujen kohdalla tarvitaan mahdollisimman lujarakenteisesti saumatun materiaalia, joten tutkimuksessa tehdään käytännön kokeilut kaksipuoleisesti liimalangoitetulla saumauksella. Menetelmää on käytetty tehtaan tuotannossa ennenkin, mutta prosessi ei ole onnistunut halutulla tehokkuudella. Tutkimuksen lähtökohtana on paikantaa kehitettävät tekijät ja toteuttaa mahdolliset korjaukset toimintatapoihin.

Toisena mahdollisuutena käsitellään ristikkäisviilun valmistus leikkaamalla sorvauksessa kalibroittua leveysmittaa, joka voidaan kuivauksessa kutistaa ristikkäisviilun leveysmittaan. Menetelmään kerätään tietoja nykyhetken tilan lähtöarvoista ja kuivauksen koeajoista, joissa pyritään selvittämään kuivauskutistuman hajontaa pinta- ja sydänpuulla.

Viimeisenä käsitellään projektin lopulliset tulokset ja arvioidaan sisältö saatujen tietojen pohjalta.

## 2 RISTIRAKENTEINEN KERTOPUU

### 2.1 LVL, Laminated veneer lumber

LVL tarkoittaa englanninkielisellä termillään, laminated veneer lumber, laminoitua viilupuuta. Markkinoinnissa LVL tunnetaan myös Kertopuuna, joka on Metsä Wood:n oma tuotemerkki. LVL on tyypillisesti suuntaisrakenteinen eli viilujen syysuunta kulkee samansuuntaisesti kerrosrakenteessa. Tuotteen homogeenisellä rakenteella saadaan maksimituun taivutuslujuus lähes virheettömän puun tasolle. LVL-tuotteen suuntaisrakenteen varjopuolena on kosteuseläminen tangentiaalisessa suunnassa, eli sorvattujen viilujen leveydessä. Paremman dimensiokestävyyden takia LVL-tuotanto on omaksunut vanerin valmistamisesta ristiviilurakenteen, jolla voidaan estää suurin kosteuseläminen myös leveysuunnassa. Ristirakenteisessa LVL-tuotteessa noin joka viides viilu on ladottu rakenteeseen poikittain, mikä jäykistää kokonaisuutta ja estää suurimman kosteuselämisen. (Varis 2017, 185.)

### 2.2 Sertifiointi

Metsä Wood Kerto-tuotteet ovat CE-merkittyjä eli SFS-EN 14374:2004-standardin mukaisesti valmistettuja. EN 14374-standardissa käsitellään rakenteissa käytettävän viilupuun vaatimukset valmistuksen ja ominaisuuksien osalta, jolloin tuotetta voidaan kutsua LVL-nimikkeellä. Kerto-Q-tuotteille on myös osoitettu VTT:n, Teknologian tutkimuskeskuksen, myöntämässä 184/03-sertifikaatissa tietoja käyttöön ja mitoitukseen liittyvissä asioissa. (VTT 2016; Metsä Wood 2017b; SFS-EN 14374:2004.)

Kerto-tuotteisiin käytettävä puuaines on PEFC-sertifioitu, mikä tarkoittaa, että materiaali on lähtöisin kestävästi hoidetuista metsistä ja sen alkuperän pystytään jäljittämään metsästä tuotteeseen. Tuotteen valmistuksessa ylläpidetään ISO 9001:2008-laaturjärjestelmän asettamia vaatimuksia prosessinhallinnalta ja ISO 14001:2004-ympäristöjärjestelmän mukaisia tavoitteita, joilla pyritään poistamaan ympäristöä rasittavia tekijöitä osana tehokasta tuotantoa. Rakennustietosäätiö on myöntänyt Metsä Wood Kerto -tuotteille vähäpäästöisyydeltään M1-luokituksen, jolla voidaan osoittaa materiaalin olevan hyväksi sisäilman puhtaudelle. Kerto-tuotteet ovat formaldehydiluokituksestaan E1. (Metsä Wood 2017b; PEFC Suomi 2018; Suomen Standardisoimisliitto ry 2018; Rakennustietosäätiö 2018.)

### 2.3 Kerto LVL Q- ja L-Panel

Kerto Q -tuotetta käytetään tasorakenteissa, kuten välipohjissa, joissa ristiviilurakenne tarjoaa hyvät puristus- ja vetolujuusominaisuudet. Sitä voidaan hyödyntää palkkirakenteen lisäksi myös seiniin jäykistelevyiksi. Rakenne antaa myös mahdollisuuden tehdä isoja läpivientejä asennuksien varalta ilman, että tuotteen lujuus heikkenee liikaa. (Varis 2017; Metsä Wood 2018.)

Kerto-L on suunniteltu käytettäväksi muun muassa ei-kantaviin seinä- ja kattorakenteisiin, huonekaluihin ja pakkausmateriaaleihin. L-tuotteen keskitiheys on  $440 \text{ kg/m}^3$ , joka on huomattavasti pienempi Q-tuotteeseen ( $510 \text{ kg/m}^3$ ) verrattuna, joten vastaavasti sen lujuusominaisuuksilla ei ole kannattavaa tehdä kuormituksen alle joutuvia talotekniikan rakenteita. Tuote soveltuu erinomaisesti kevyisiin ikkuna- ja ovirakenteisiin, joissa saadaan hyödynnettyä levy- tai palkkirakenteen jäykkyys ja mittapysyvyys. (Metsä Wood 2017a.)

#### LEVYRAKENTEET

Nimellispaksuus mm	Viilujen lukumäärä	Rakenne
21	7	I-III-I
21	7	II-I-II
24	8	II-II-II
27	9	II-III-II
30	10	II-III-II
33	11	II-III-II
39	13	II-III-III-II
45	15	II-III-III-II
51	17	II-III-III-II
57	19	II-III-III-III-II
63	21	II-III-III-III-II
69	23	II-III-III-III-II
75	25	II-III-III-III-II

Kuva 1 Q- ja L-Panel Levyrakenteet (Metsä Wood 2018.)

Kuvassa 1 näkyvät tyypillisimmät Q- ja L-tuotteiden rakenteiden ladontaratkaisut. Pystyviivat osoittavat viilun syysuunnan kulkevan pitkäittäin ja vaakaviivat poikittain, eli ristikkäisviilut. Levyrakenteiden paksuus voidaan tuottaa 21–75 mm:n asteikolla, josta 21–33 mm paksuuden rakenteet vaihtuvat 3 mm välein ja 33–75 mm 6 mm välein, milloin kompensoidaan poikittaisten viilujen ja normaalien keskiviilujen määrää paksuuden mukaan. (Metsä Wood 2018.)

### 2.4 Kerto LVL QP-beam

QP-beam-rakenteessa on maksimoitu samansuuntaisten keskiviilujen määrä poikkiviilujen suhteessa kuvan 2 tavalla. Ristiviilutuksen tarkoituksena on estää leveiden palkkien

käyristyminen ja kupertuminen asennusvaiheessa, jossa voidaan joutua voimakkaan kosteuselämisen puolelle. Rakenne tarjoaa vahvemmat lujuusominaisuudet kuin tavallinen Q-levy vaativampiin kohteisiin ja tarvittavan poikkitaikluuden. (Metsä Wood 2018.)

#### QP-PALKKIRAKENTEET

PAKSUUS	VIIILUJEN LUKUMÄÄRÄ	RAKENNE
39	13	II-III-III-II
42	14	II-III-III-II
45	15	II-III-III-II
51	17	II-III-III-II
57	19	II-III-III-II
63	21	II-III-III-II
69	23	II-III-III-II
75	25	II-III-III-II

Kuva 2. QP-palkkirakenteet (Metsä Wood 2018.)



### 3 NYKYTILAN ARVIOINTI

#### 3.1 Kartoitus

Lähtöarvojen selvittämiseksi tutkimuksen prosessikehitystä varten tehtiin Lohjan Kertopuu-tehtaan tiloissa nykytilan kartoitus. Tutkittavat osa-alueet rajattiin oleellisimpiin vaikuttaviin tekijöihin ristirakenteisen LVL:n valmistamista varten eli sorvauksen ja ladonnan välisiin työpisteisiin, joihin lukeutui edellä mainittujen lisäksi kuivaus, saumaus ja ristipuskusahaus. Työpisteistä selitetään koneiden toimintaperiaate, mitattavat tekijät ja mittaustulokset.

#### 3.2 Viilusorvi

Viilun sorvaus kuoritusta ja haudotusta puupölliä koostuu useasta vaiheesta. Pöllit väli-varastoidaan välisiirtokuljettimilla kohti keskityslaitetta. Pöllin asetteen optimointi sorvauskaroille toteutetaan XY-keskittäjällä kuvassa 3, joka toimii tietokoneavusteisesti. Keskittäjä pyöryttää pölliä mittakaroilla, jolloin laitteen lasersäteet tulkitsevat pöllin realistisen muodon pituuden ja läpimitan mukaisesti. Näin pölli voidaan siirtää sorvin karojen väliin, jossa hyödynnetään keskityksen mittaukset mittakarojen korjausliikkeillä ja saadaan paras mahdollinen asete pöllin saannon kannalta. Keskitystarkkuuden toleranssina pidetään teollisuudessa noin 2 mm:ä. (Koponen 2002, 38-39; Varis 2017, 56.)



Kuva 3. XY-keskitys lasermittauksella

Mitattu pölli siirretään siirtovarsilla sorvauskaroille, jolloin pölli pyöristetään lieriömäiseksi. Pyörityksellä päästään eroon pöllin epämääräisestä muodosta, josta ei saada laadukasta viilumattoa, jolloin pyöritysjäte päätyy haketukseen. Pyöritysnopeus on tyypillisesti 300–350 m/min. Normaalilla viulusorvilla on kahdet tai kolmet karat sisäkkäin. Tarkoituksena on tukea pölliä mahdollisimman suurelta halkaisijalta sorvauksen aikana uloimmalla karalla, joka vapautuu hydrauliiikan avulla pöllin läpimitan pienentyessä sorvauksen edetessä. Sisimmillä karoilla parannetaan viilusaantoa, kun teräpöytä pääsee ulottumaan lähemmäs pöllin purilaan halkaisijaa eli pienintä laitteiston sallimaa pöllin läpimittaa, joka on karallissa sorveissa vähintään 55 mm. Kun pölli on sorvattu purilaaksi, vapautuvat sisimmätkin karat, jolloin purilas tiputetaan kuljettimille. Prosessi jatkuu uudella mitatulla pöllillä pysähtymättä, jolloin teräpöytä palautuu keskittäjän mittauksen verran takaisin. (Varis 2017, 58.)

Varsinainen sorvaus toteutetaan teräpöydän liikkeellä kohti pöllin keskipistettä sopivalla nopeudella, jolloin leikkaava terä ”vuolee” ja vastaterä painaa leikkaavan terän kanssa viilun puristuessa terien välisestä raosta ulos kuljettimille päin. Terien vaikutuksesta pölliin kohdistuu voimia, joita tuetaan tukilaitteistolla ylhäältä päin tasaisen leikkaustuloksen saamiseksi. Leikkaavan terän ja vastaterän välin pituus tulee olla pienempi kuin haluttu viilun paksuus, jolloin puristusvoima tarjoaa hyvän pinnanlaadun. Normaalisti LVL-teollisuuden havuviilun paksuus on 3,0–3,4 mm. (Koponen 2002, 40; Varis 2017, 56–57.)



Kuva 4. Märkälajittelu

Viilumaton leikkaus voi tapahtua kahdella eri tavalla. Tyypillisesti viilumatto leikataan arkeiksi ennen kuivausta omiin leveysmittoihin ja kosteusluokkiin pinta-, keski- ja sydänpuuksi, jos käytössä on telakuivaaja. Vaihtoehtoisesti viilumatto voidaan ajaa suoraan sorvauksesta verkkokuivaajalle, jonka jälkeen arkit leikataan kuivina ja lajitellaan omiin lujuusluokkiinsa. Leikattaessa ennen kuivausta viiluarkkien katkaisu tapahtuu

samanaikaisesti sorvin pyöryksen ohessa viilumatosta noin 140–180 m/min nopeudella pyöriväteräisellä leikkurilla. Leikkaus voidaan optimoida kameroilla, jotka mittaavat viilumaton pinnanlaatua, jolloin voidaan poistaa vikaisimmat kohdat ja leikata ne jontteina pois haketukseen. Leikkauksen ohella toteutuu kosteusmittaus viilujen esilajittelua varten, jotta saadaan jaettua pöllin läpimitan osat oikeisiin kosteusluokkiin. Leikkauksesta viiluarkit ohjataan imuhihnoilla omiin lajittelulokeroihin, joita on noin 5–6 kappaletta. (Koponen 2002, 56; Varis 2017, 60-62.)

### 3.2.1 Kosteuskompensaatio

Viiluarkkien kosteuspitoisuus on keskimäärin pintapuun ja sydänpuun välillä 120–45 %. Arkkien kuivauskutistumaa voidaan ennakoida kompensoimalla viiluarkkien kosteutta leveysmitan leikkauksella. Tietokoneen ohjauksella voidaan kosteuskäyrän pudotessa pienentää leikattavaa leveyttä, jolloin saadaan tasapainotettua kuivauksen jälkeinen lopputuote haluttuun leveyteen. Menetelmällä pyritään pääsemään lähemmäs vakiomittaista viiluarkkia, josta on eliminoitu tarpeeton hukka. (Koponen 2002, 53.)

### 3.2.2 Kuormien mittaukset

Sorvauksen mittaus tehtiin tutkimussuunnitelman mukaisesti ja tiedot kerättiin kuudelta eri pintaviilukuormalta. Prosessi alkoi katkaistujen tukkipölliin saapuessa mittakaralle, jossa haettiin tukin keskitykseen lasermitalla optimaalisin asete. Mittaustiedot siirtyvät sorvausvaiheeseen, jossa teräpöytä siirtyy pölliin epäsäännöllisen mitan verran taaksepäin, jolloin syntyy mahdollisimman vähän turhaa mekaanista liikettä. Tukki pyöristetään noin 5 mm viilupaksuuden asetteella 180–240 m/min pyöristysnopeudella. Pyöristysnopeuden säätäminen tapahtui valvomon kautta tietokonesäädöillä ja nopeus suositeltiin pitämään rauhallisena, jotta leikkaava terä ei kolhiintuisi hiekkaisista pölleistä. Terien kolhiintuessa aiheutuu viilumaton laadun heikkeneminen rososen pinnan takia, mikä johtaa tuotannon pysähtymiseen, jolloin operaattori joutuu hiomaan käsin terän puhtaaksi.

Materiaalihukka muodostuu pyöristyshukasta, joka jää sorvausjäännökseksi pöllistä ja viimeisenä hukkana viilumaton heikoista osista, jotka karsitaan kameratunnistuksen ja leikkauksen avulla haketukseen ennen pinkkaajaa. Viilumatto leikataan P-kosteusluokassa 2040–2080 mm ja S-luokan viiluja 2020–2040 mm mittatoleranssiin. Viiluarkit lasketaan leikkauksen kohdalla mittauspyörällä, joka tunnistaa arkkien leveysmittojen määrät juoksumetriin perusteella.

### 3.2.3 Märkälajittelu

Sorvin märkälajittelu toteutuu 6-lokeroisella pinkkaajalla, johon lajitellaan (P) pinta-, (K) keski- ja (S) sydänpuu-kosteusluokan viilut. S-luokka ohjattiin 2.- ja 3.-lokeroihin, K-luokka 4.-lokeroon ja P-luokka 5.- ja 6.-lokeroihin. Mittauskokeiden aikana 1. lokero ei ollut virallisessa käytössä kuormien lajitteluun. Mittauksissa käytettiin 5. lokeron P-kuormia. Kuormien vaihtojen välissä pinkkaus toimii jatkuvana prosessina, jolloin nostolavan laskeutuksessa kuorman poistoon pintaviilut lajitellaan varalokeroon, joka mittauksen aikana oli 6. lokero. Mittauksen kannalta haluttiin saada kokonaisten viilukuormien läpimenoaika sorvilta märkälajitteluun, joten mittauksissa huomioitiin ainoastaan 5. lokeroon ohjatut viilut. Tällöin viilujen seuraaminen helpottuisi ja tulokset olisivat luotettavampia. Viiluarkkeja kerätyi 285 (+/- 10) kuormaa kohden. Viiluarkin mitta oli 1910 x 2040 x 3 mm sorvausohjelman tietojen mukaisesti.

Taulukko 1. P-kuormien mittaustulokset

P-kuorma	Läpimenoaika t (min)	Häiriöaika (min)
1	23	3
2	18	0
3	20	2
4	13	0
5	26	11
6	35	21
Keskiarvo	22	6

Koemittauksia tehtiin kuusi kappaletta, joissa mitattiin läpimenoajan lisäksi häiriöaika, joka tarkoittaa sorvin tuotannon pysähtymisestä johtuvaa aikaa. Taulukon 1 häiriöaika on sisällytetty mitattuun läpimenoaikaan. Ajan vaihtelevaisuuteen vaikuttaa operaattorin säätämät pyörästys- ja sorvausnopeus, ongelmatilanteet ja konehuolto. Seuraava LVL:n tuotantovaihe on kuivaus, johon tarvitaan kaksi viilukuormaa, jotta telakuivaajan käyttökapasiteetti saadaan hyödynnettyä oikein. Keskimääräisesti kuluu siis noin 44 min läpimenoaika kahden P-kuorman valmistukseen sorvilta kuivaukseen 12 min häiriöajalla.

### 3.3 Telakuivauskoneen toiminta

Telakuivaajalla voidaan kuivata sorvauksesta leikattuja viiluarkkeja, jotka syötetään koneeseen viiluarkin leveydestä ja koneen kapasiteetista riippuen rinnakkain 2–4 viiluarkkia kerrallaan. Viilut kulkevat rinnakkain neljällä eri tasolla koneen kuivausyksikköjen lävitse ja lopuksi jäädytykseen, jossa viilujen lämpötilaa alennetaan puhaltamalla viilujen pintaan ulkoilmaa. (Koponen 2002, 53.)

Kuivauksella pyritään siirtämään kosteus viiluarkeista ilmaan neljässä eri vaiheessa. Viilut lämmitetään, jotta mahdollistetaan vapaan veden haihtuminen soluonteloissa. Vapaan veden haihtumisen jälkeen päästään havupuun kyllästymispisteeseen eli noin 30 % kosteuspitoisuuteen, jolloin tapahtuu varsinainen kuivauskutistuminen eli sidotun veden haihtuminen soluseinämistä. Viimeisenä vaiheena tapahtuu jäähdytys, jolla tasapainotetaan viilun lämpötilaan lajitteluun. Kuivauskoneen sisällä on järkevää ylläpitää korkeaa ilmankosteutta, jotta viilut eivät halkeaisi pintojen kuivuessa liikaa. Viilut kuivataan 190 – 200 celsiusasteessa 2,5–8,5 m/min ohjausnopeudella, riippuen kuivattavasta materiaalista. (Varis 2017, 65.)



Kuva 5. Telakuivaajan lämmitys- ja jäähdytysyksiköt

Kuivaajan toiminnan jälkeen tarvitaan tehokas lujuslajittelu viilujen tiheyden, kosteuden ja dimensioiden mukaiseen lajitteluun. Raute Oyj on kehittänyt Mecano tuotenimen alla VDA-kameratunnistuksen, Visual Defect Analyzer, jolla voidaan tunnistaa vikaisuudet ja geometrian muutokset. Tunnistuksen avulla voidaan lajitella viilut omiin lokeroihinsa. VDA:n yhteydessä on normaalia käyttää MVA, Moisture Analyzer, kosteustunnistinta. MVA:lla voidaan tunnistaa 0–40 % kosteuspitoisuus viiluista ja sen tiedot voidaan yhdistää kuivaajan ohjausnopeuteen, jolloin voidaan tasapainottaa tai nopeuttaa tuotantoa saadun datan perusteella. Viilujen tiheyden mittausta voidaan toteuttaa Metriguard:lla, jolla saadaan viiluista kimmomoduli, tiheys ja kosteuspitoisuus. (Metriguard Technologies 2017; Raute 2018.)

### 3.3.1 Kuivauksen mittaustulokset

Lohjan Kertopuu-tehtaalla on käytössä kaksi telakuivaajaa, joista mittaukset tehtiin kuivauskoneella 2. KK2:lla ajetaan pääsääntöisesti pinta- ja keskiviilun kuivausohjelmia, mutta koeajoja varten tarvittiin mahdollisimman laadukas kameratunnistus leveyden kutistuman muutoksien mittaukseen, josta syystä KK2:lla tehtiin pinta- ja sydänpuu kuivaukset. S-kuorman ajo oli epäsäännöllistä tuotannolle, joten koneella ajettiin vain yksi kuormapari sydänpuuta.

Mittaukset tehtiin normaalin tuotantoprosessin mukaisesti eli aloitettiin viilunsyöttöpäästä ja lopetettiin pinkkaajalle. Kuivauskone pystyy kapasiteetiltaan vastaanottamaan kaksi viiluarckia kerrallaan syötössä, joten syöttöpäähän tarvitaan kaksi viilukuormaa kerralla ennen kuivausohjelman aloittamista. Kuljetinradalle pystytään konekohtaisesti välivarastoi- maan 2–4 viilukuormaa, jotta kuormien loputtua voidaan mahdollisimman nopeasti asettaa nostolavalle uudet kuormat. Läpimenoajan mittaus aloitettiin aina seuraavien kuormien ollessa valmiita syöttöön, josta viiluarckit kulkivat pari kerrallaan kuivausvaiheen läpi risteys- asemalle, mistä viilut kuljetetaan kameratunnistuksen, kosteus- ja lujuusmittauksen läpi pinkkaajalle. Ajan mittaus lopetettiin kuorman viimeisen viilun saapuessa pinkkaajan loke- roon.

Taulukko 2. Pintapuun kuivauksen läpimenoaika

P-kuormat	Läpimenoaika (min)	Häiriöaika (min)	Nopeus (m/min)
1	53,7	0	3,6 - 3,7
2	57,3	0	3,2 - 4,05
3	52,7	2	3,6 - 3,8
Keskiarvo	55	1	

Pintapuun kuivaus ajetaan tavanomaisesti 2,6–3,2 m/min nopeudella, mutta ohjelma pyrkii säätämään nopeutta korkeammaksi pinkkaajan tilastojen mukaisesti. Yli 3,8 m/min nopeudella on suurena mahdollisuutena märkien viilujen kertyminen, jolloin operaattori pysyy käsiajolla hidastamaan vauhtia. Läpimenoajat olivat kuormien välillä hyvin tasaiset ja vastaavat hyvin normaalin tuotannon tahtia pintapuun kohdalla taulukon 2 mukaan.

Taulukko 3. Sydänpuun kuivauksen mittaus

S-kuormat	Läpimenoaika (min)	Häiriöaika (min)	Nopeus (m/min)
1.	39	3	6,21

Sydänpuun kuivaus tapahtuu yleensä 6,5–8,4 m/min nopeusohjauksella, mutta koeajon tilanteen vuoksi läpimenoajan mittaus tehtiin 6,21 m/min nopeudella, mikä vaikuttaa

huomattavasti läpimenoaikaan. Häiriöaika koostui samoista ongelmista kuin pintapuulla eli kuljettimien roskaantumisesta, jolloin ohjelma pysäytetään hetkellisesti.

Mittaukseen vaikuttavat tekijät:

- kuivausohjelman nopeuden optimointi
- häiriöajat
- laaduntarkkailu.

Taulukossa nopeus on esitetty mittaustilanteen mukaisen min – max nopeuden perusteella pintapuun kohdalla johtuen koneen nopeusohjauksen optimoinnista, mutta sydänpuun kohdalla koeajo on toteutettu samalla nopeudella loppuun asti. Koneita joutuu myös pysäyttämään syöttöpäässä laaduntarkkailun takia, jotta operaattori saa poistettua heikko-laatuiset viilut syötöstä. Häiriöaika käsittää yleensä kuljettimien ja pinkkaajan ruuhkaantumiset, hydraulikka- ja sähköviat ja muut konekohtaiset ongelmatilanteet, joissa tuotanto pysähtyy väliaikaisesti. Pintapuun kuivauksessa esiintyy yleensä vähäisin määrä häiriöaika, koska sillä on kaikista kosteusluokista pienin kuivausnopeus.

### 3.3.2 Lajittelu

Lajittelusta mitattiin viilujakaumat koeajoista tyhjentämällä viilulaskurit pinta- ja sydänpuun kuivauksien erottamiseksi toisistaan. Tarkoituksena oli hahmotella, miten viilujakaumat lankeavat lokeroihin, ja voidaanko tätä hyödyntää prosessikehitykseen.

Liitteessä 1 on tehtaan tuotannon arvio tavoitteellisesta viilujakaumasta. Tavoitteena on tuottaa pääsääntöisesti mahdollisimman paljon keski- ja pintaviilua sekä raskaita keskiviiluja, joista koostuu arvokkain materiaali LVL:n valmistukseen. Kuivauksen laadun takaamiseksi lajitteluun on tavoitteena tuottaa noin 5 % märkiä viiluja, jotta prosessissa ei tuoteta ylikuivattua ja heikkoa materiaalia. Leikattaviin viiluarkkeihin lankeaa noin viideosa, jossa ilmenee viallisimmat ja alimittaisimmat viiluarkit. Liitteessä 2 on tiedot kahdesta pintapuun kuivausajosta ja yhdestä sydänpuun kuivauksesta, joissa osoitetaan viilujakauma lokeroittain.

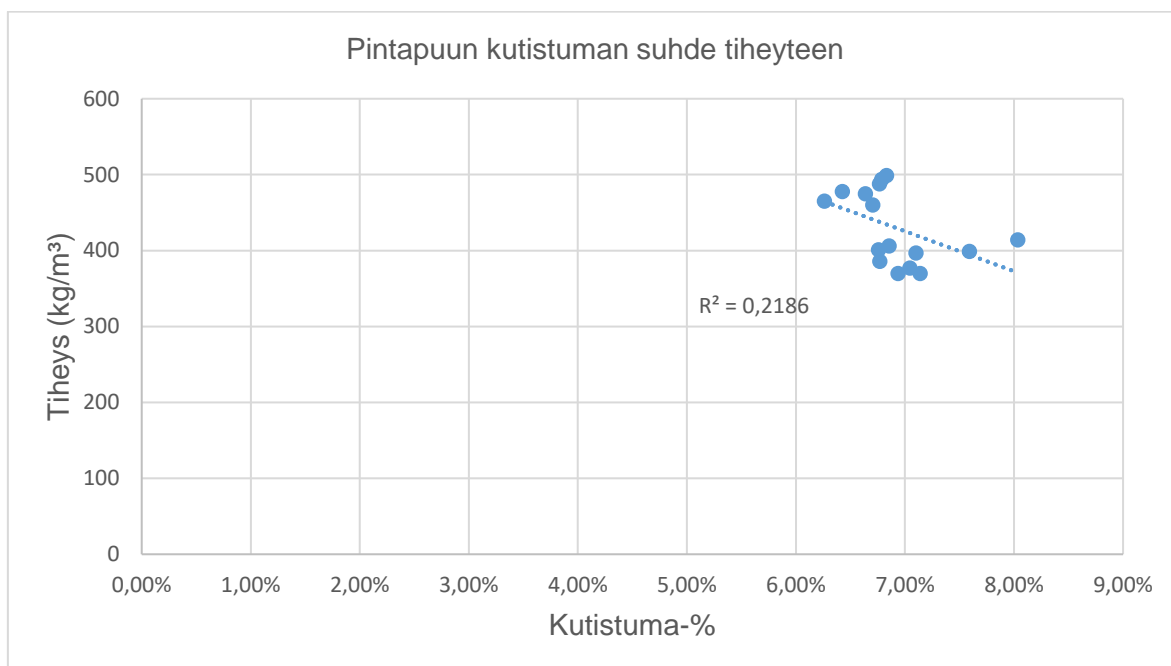
### 3.3.3 Kuivauskutistuma

Viilujen kuivauskutistuma mitattiin pinta- ja sydänpuun kuormista noin 20 viiluarkista. Arkkien leveys mitattiin ensin märkinä kuivauskoneen (KK2) syöttöasemasta rullamittauksella ja mitta kirjattiin viilun päälle liidulla. Arkkien kuivamitta tallennettiin VDA-kameran avulla kuivauksen lopuksi lujuuslajittelussa. Kuivausmittauksen tarkoituksena oli saada prosessikehitykseen tietoja, että voidaanko viilujen tangentiaalisen syysuunnan leveyttä ennakoida

halutun mitan saamiseksi kuivauksen lajitteluun ilman mekaanista sahausprosessia. Liitteiden 4 ja 5 taulukkojen mittaustuloksiin on laitettu VDA-kuvien numerokentän kohdalle \*-merkki, jos viilussa on ollut leveysmittaukseen vaikuttavia halkeamia reunoissa. Kuivauskutistuman prosenttiyksikkö on laskettu viiluarkin tangentiaalisesta suunnasta määrän ja kuivan viulun suhteella kaavassa 1, jossa S on kutistuma (shrinkage) ja w leveys (width).

$$S = \frac{w(wet) - w(dry)}{w(wet)} \times 100$$

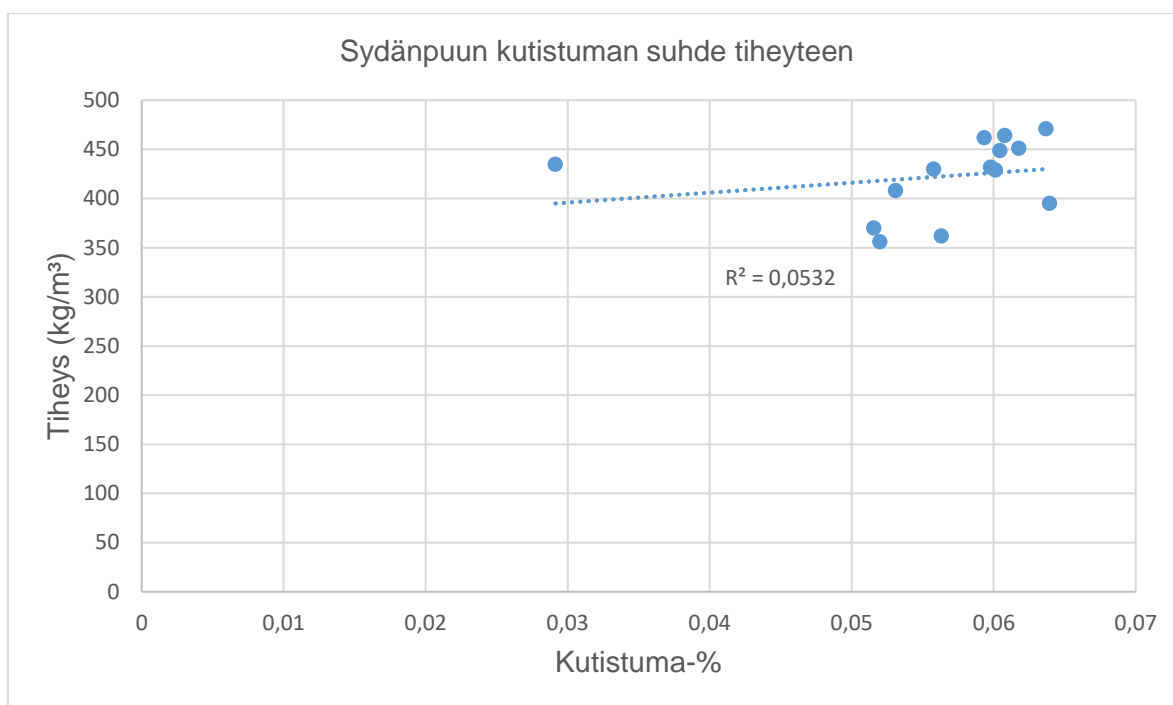
Kaava 1.



Kuvio 1. Kuusi pintapuun kutistuman yhteys tiheyteen

Pintapuun mittauksessa oli havaittavissa suuria vaihteluja kutistumien eroissa. Kutistumat vaihtelivat 164,5 ja 127,2 mm välillä (8,04 – 6,26 %). Kutistumat erosivat maksimillaan 37,3 mm, mikä tarkoittaa keskiarvolle n. 1903 mm +/- 18,65 mm vaihteluväliä. Viiluarkkien keskikosteus oli kuivauksen päätyttyä 1,1–0,8 %. Kuvioista 1 voi päätellä, että tiheyden ja kuivauskutistuman yhteys ei ole täysin selitteellinen. Kuviossa 1 on käytetty liitteen 4 tuloja, jotka ovat VDA-kamerakuvien perusteella vikaisuudeltaan parhaita mahdollisia, joissa ei esiinny mittaustuloksiin vaikuttavia halkeamia. Kutistuman mittaukseen vaikuttaa olennaisesti myös rullamittauksen tarkkuus. R<sup>2</sup> selitysasteen arvolla voidaan todeta, että tiheyden vaihtelua voidaan selittää noin 22 % varmuudella kutistuman vaihtelulla, mikä ei tee tilastollisesti kutistuman arvioimisesta tarpeeksi luotettavaa, mutta asiaan vaikuttaa myöskin näytteiden vähäisyys.





Kuvio 2. Kuusi sydänpuun kutistuman yhteys tiheyteen

Sydänpuussa syntyi pienempi jakauma kutistumien erojen välillä verrattuna pintapuuhun. Kutistumat vaihtelivat 131,4 ja 100,4 mm (6,39–4,95 %) välillä, mistä poikkeuksena 5. viiluarkki, jonka kutistuma oli 57,9 mm, mikä muodostaa poikkeuksen mittaustuloksiin. Sydänpuun kuivamittojen keskiarvoksi tuli noin 1921 mm +/- 15,5 mm vaihtelulla. Mitattujen viiluarkkien keskikosteus oli kuivauksen jälkeen 1,1–0,4 %. Mittauksien perusteella sydänpuu on prosessikehitystä varten paras kohde leveyden kalibrointiin johtuen sen tasaisimmista kutistumien vaihteluvälistä verrattuna pintapuuhun. Myös sydänpuun kutistuman suhde tiheyteen pintapuun tavoin osoittautui tuloksien hajonnan perusteella liian epämääräiseksi, jotta aineen tiheyttä voitaisiin hyödyntää kutistuman arvioimiseen. Kuvion 2 tuloksista on pintapuun tulosten tavoin poistettu vikaisimmat viiluarkkien mittaukset, jotka löytyvät liitteestä 5. Selitysaste 5,3 % osoittaa, että mitattujen näytteiden tiedoilla on hyvin vähäistä tilastollista arvoa näytteiden hajonnan poiketessa liikaa regressiosuoralta.

### 3.4 Ristipuskusahaus

Ristipuskusahaus toimii väliprosessina ristikkäisviilujen valmistuksessa ennen ladontaa. Prosessin materiaalina voidaan käyttää pinta- tai keskiviilua, joista sahataan kuivauksen jälkeen leveysmitaksi 1855 mm +/- 5 mm toleranssilla. Viilukuorma tuodaan sahan nostolavalle, josta materiaali voidaan yksi kerrallaan nostaa imulaatikolla kuljetusteloille. Kuljettimien ja hihnavasteen avulla viilut kuljetetaan sahanterille, jotka ovat asetettu oikealle ja

vasemmalle, jotta molemmat syrjät saadaan särmättyä. Halkaisun jälkeen viilut kuljete-  
taan teloja pitkin vasteelle, josta painimet nostavat viilut imuhihnojen kautta kuormaan.



Kuva 6. Ristipuskusaha

Taulukko 4. Mittaustulokset

Kuormat	Läpimenoaika (min)	Häiriöaika (min)	Kuorman tilavuus (m <sup>3</sup> )	Materiaalihukka (m <sup>3</sup> )	Hukan %- osuus
1.	21,4	3	3,45	0,13	3,63 %
2.	22,1	3,5	3,28	0,11	3,26 %
3.	24	6	3,64	0,12	3,38 %
Keskiarvo	22,5	4,2	3,46	0,12	3,42 %

Sahan mittaukset tehtiin kolmelta 6. lokeron keskiviilukuormalta. Kuormasta otettiin mitat ennen läpimenoajan mittauksen aloittamista ja uudestaan prosessin lopussa valmiista kuormasta, jotta saataisiin tietää materiaalihukan määrä sahauksen jälkeen. Läpimenoaika laskettiin syötön aloittamisesta viimeisen viilun osuessa sahattuun pinkkaan. Materiaalihukan osuus jäi keskiarvolta noin 3,4 % kohti prosessoitu kuorma. Taulukossa 4 läpimenoajoissa on sisällytetty tuotannossa syntynyt häiriöaika.

Prosessin häiriötekijät:

- syötön imulaatikon tukokset
- viilujen kiilaantuminen sahausvasteen ja kuljettimien vasteen väliin
- puruimun tukokset

- sahausjätteen kerääntyminen vastaanottokuljettimille ja imuhihnoille
- viilujen pysähtyminen sahauksen jälkeisille kuljettimille.

Häiriöt muodostuivat mittauksien aikana suurimmilta osin viilujen kiilaantumisesta vasteiden väliin, mutta suurimman häiriöstä johtuvan ajan aiheutti imuhihnoiden roskaantuminen ja viilujen pysähtyminen vastaanottokuljettimille. Vastaanottokuljettimilta viilujen tulisi nostimien voimalla osua imuhihnakuljettimiin, mutta saattavat häiriötapauksessa osua vain puoliksi imuhihnoihin. Tällöin prosessi on pakko pysäyttää ja korjata ruuhkaantuneet viiluarakit, koska pinkattava kuorma ei pysy suorassa tai viilut putoavat kokonaan lattialle.

### 3.5 Saumaus

Saumuksella pyritään maksimoimaan materiaalitehokkuutta hyödyntämällä viiluaines, joka on mitaltaan tai lujuusvaatimuksiltaan liian heikkoa käytettäväksi sellaisenaan tuotantoon. Lean-ajattelulla prosessin periaatteena on siis luoda lisäarvoa lopputuotteelle hyödyntämällä mahdollisimman suuri osa viilusaannosta ja karsimalla lisäarvoa tuottamaton hukka, eli varastotilan käyttö ja käyttökelvoton materiaali. (Liker 2006, 88-89.)

Saumaamalla voidaan poistaa suurimmat vikaisuudet ja yhdistää laadukkaat osat yhtenäiseksi viiluarkiksi. Viiluarkin mitoitus voidaan säätää vain leveys suunnassa, sillä pituussuunta määräytyy sorvatun pölyn pituudelta. Saumattuja viiluja käytetään yleensä sisäviiluinä niin LVL-tuotteissa kuin vanerissa, mutta pintaviilujen saumaaminen on myös mahdollista. Menetelmä toteutetaan yleensä kuivaan viilumateriaaliin, jolloin puuaines on parasta liimaamiseen. Saumuksessa käytetään liimalankana polyesterilankaa, joka on pinnoitettu EVA-muovilla. Pinnoite sulaa lämmityssuuttimien kautta viilun pintaan ja kiinnittyy paikoilleen viilentyessä. (Varis 2017, 71; Lemtapes 2014.)



Kuva 7. Saumauskone syöttöaseman päästä

Saumauskoneen linjalla leikattavat viiluarkit syötetään kallistettavalta syöttölaitteelta, jolloin manuaalinen syöttäminen kuljettimelle on operaattorille vaivattomampaa. Koneen kameratekniikalla tunnistetaan ohjelman asetuksien mukaiset vikaisuudet, jotka leikataan pois viiluarkista virheleikkurilla. Operaattorilla on myös mahdollisuus helpottaa kameran toimintaa piirtämällä manuaalisesti liidulla viiluarkkiin leikattavat kohdat. Tavallisten sisäviilujen saumaaminen tapahtuu liittämällä käytettävät viilukappaleet, eli ”jontit”, pusku-saumaan pisteliimoituksella, jolla saadaan viiluarkin pituussuuntainen kestävyys. Pisteliimoituksen jälkeen viiluarkkiin yhdistetään liimalankaa molemmin puolin tai yhdelle puolelle halutun leveyssuuntaisen kestävyuden saamiseksi. Saumaus tapahtuu jatkuvatoimisesti eli se tuottaa viilurainaa, joka katkotaan saumausohjelman mukaiseen leveysmittaan arkileikkurilla. Normaali tuotantonopeus on noin 400 jm/h, jonttien mitan ollessa 400 mm leveä. Pienin mahdollinen saumattava viilukappale on 50 mm leveydeltään, jolloin viilusaanto on parhaimmillaan. (Varis 2017, 71-72.)

### 3.6 Saumauksen mittaustulokset

Saumauskoneen tuotannosta mitattiin kahden kuorman läpimenoajat, häiriöaika, tuotantomäärät ja materiaalihukan osuus. Mitattavien arvojen lisäksi tarkasteltiin koneen toimintaan liittyviä vaiheita ja mahdollisia ongelmia liittyen prosessikehityksen vaiheeseen. Mittaustilanteessa saumaus toteutettiin 1-puolisella liimauksella normaalin tuotannon tapaan. Tuotannossa oli ajossa mittausten aikana 2. lokeron normaalia leikattavaa keskiviilua.

Saumauksessa käsitellään kolmea eri laatuluokkaa, jotka ovat normaali leikattava, kevyt leikattava ja raskas leikattava. Kuivauskoneilla on jaettu kosteuslaatuluokkien tuotanto niin, että KK1:llä tuotetaan kuusen sydänpuun kuivaus ja KK2:lla keski- ja pintapuun. Pinta- ja sydänpuun leikattavien pinkoista muodostuu saumauksen materiaalit. Leikattavien jontti-viilujen mitan alaraja on kevyessä leikattavassa 180 mm, joka menee tolppaviiluihin. Keskiviilun ja raskaan viilun alaraja on 350 mm.

Taulukko 5. Saumattujen kuormien mittaustulokset

Kuormat	Läpimenoaika (min)	Häiriöaika (min)	Tuotantomäärä (jm)	Materiaalihukka (jm)	Hukan %-osuus
1.	71	27	459	339	42 %
2.	72	24,8	450	351	44 %
Keskiarvo	71,5	25,9	454,5	345	43 %

Läpimenoaika laskettiin uuden kuorman aloittamisesta pinkkaajan nostolavan alastuloon. Pinkkaajan nostolava toimii painorajan mukaan, jolloin se laskeutuu alas automaattisesti kuorman täytyttyä. Normaaliin saumattuun viilukuormaan tulee noin 250 viiluarkkia.

Häiriöaikaa muodostui normaalia enemmän syötettävien viilujen loppuessa ja roskalavojen vaihdossa. Häiriöaika on sisällytetty taulukossa 5 läpimenoaikaan. Työpiste on erittäin riippuvainen trukkien aikatauluista, mikä näkyy käymisasteessa eli läpimenoajan ja pysäytysajan suhteessa. Materiaalihukka on suurinta saumauksessa, koska tarkoituksena on hyväksikäyttää mahdollisimman suuri osa heikkolaatuisista viiluista, mutta osa menee väkisinkin hakettavaksi liiallisten vikaisuuksien vuoksi.

Laatuvikoihin vaikuttavat tekijät:

- viilujen kohtisuoruus syöttövasteessa
- pisteliimauksen levitys leikattaviin kappaleisiin
- leikattavien kappaleiden leveys saumattavaan viiluarkkiin
- ylikuivuneet viilut
- sorvausviat, aaltoilu
- välivarastointi.

Operaattori pystyy huolehtimaan saumauksen laadusta syöttöpäässä kohdistamalla viilut huolellisesti vasteeseen, jotta viilut eivät päädy liimaukseen vinoina. Huolimaton kohdistus voi aiheuttaa väljiä saumoja, jotka eivät kestä ladontalinjalla. Koneen operaattorin ja tilanteen seurannan tuloksena on, että paras saumauslaatu tulee S-viiluista, jotka ovat pinnaltaan tasaisia ja omaavat kaikista vähiten vikaisuuksia kuten lahoa tai halkeilua. Sydänpuun leikattavista viiluista pystyttiin leikkaamaan isoja ja tasalaatuisia paloja, jolloin liimasauma oli kestävin ladontaa ja varastointia varten. Leikattavien P-viilujen ongelmina olivat liialliset vikaisuudet kuten kaarna, lahoisuus, halkeamat ja epätasalaatuinen pinta. Saumauskoneella pystytään liittämään yhteen pieniäkin viilunpaloja, mutta niiden kestävyys varastoinnissa ja ladonnassa on heikkoa. Saumattujen viilujen koostuessa useista kapeista kuperista viilunpaloista johtaa pisteliimasaumojen pettämiseen ja liimalankojen irtaamiseen. Saumattujen viilujen laatuun vaikutti myös mittaleveyden katkonta, jolloin 350 mm reunajontti saattoi pienentyä jopa 50 mm leveään viilunpalaan, jonka kestävyys ladonnassa oli heikkoa.

### 3.7 Ladonta

LVL:n ladonta toteutetaan jatkuvana laattana, jolloin viiluja kasataan limittämällä viiluarkit yleensä 120 mm pituudella toisistaan, jotta saumat eivät lankea samaan kohtaan kuvan 8 mukaisesti. Limitetyt viilut muodostavat suomun eli viuhkan, jonka mukaisesti rakennetta jatketaan. Viilut kulkevat syötöstä liimalevittimen, esimerkiksi juovalevittimen läpi ladontavasteelle, jolloin arkit asetellaan lopuksi käsin viistejatkoksien mukaisesti paikoilleen.

Viistesahaus voidaan toteuttaa ladonnan viilujen syötön yhteydessä tai erikseen ennen ladontaa omana prosessina. (Varis 2017, 174.)



Kuva 8. Suomun ladonta

Ladonta voidaan toteuttaa teollisuudessa kahdella eri tapaa, yksi- tai kaksivaiheisena. Tahtipuristimien yhteydessä on tavallista käyttää yksivaiheista menetelmää, jossa viilut paikoitetaan yksitellen jatkuvan ladoksen päähän. Suomun yläpinnan latomisen jälkeen laatta liikkuu viilumitan etenemän verran eteenpäin aukeavalle esipuristimelle. Kaksivaiheisessa toimenpiteessä viilut asetellaan ladontakuljettimelta askeltavalle vaunulle viilumitan pituiseksi suomuksi. Kun suomu on saavuttanut tuotepaksuuden, vaunu siirtää suomun ladoksen päähän ja asettaa sen edellisen suomun jatkokseksi. Vastaava tapa on mahdollista käyttää myös tahtipuristimilla. Haasteena on suomun kohdistaminen, koska siirto ei saisi mennä liian pitkälle jatkokseen, jolloin liimauksen laatu heikkenee. (Varis 2017, 174.)

### 3.8 Ladontalinjan toiminta

Ladonnassa analysoitiin mahdollisia häiriötekijöitä prosessikehitystä varten. Seuranta tehtiin 12100 x 1930 x 21 mm Q-palkin valmistuksesta. Prosessissa ajettiin päällekkäin kaksi Q-palkkia, jotta puristusajat saatiin hyödynnettyä ladonnan kuluvan ajan suhteen. Rakenne koostuu seitsemästä 3 mm viilusta, jotka ladotaan |—||—| periaatteen mukaisesti: pintaviilu, ristipuskuviilu, keskiviilut, ristipuskuviilu ja pintaviilu.

Ladonnan syöttöpään pinkkaajalla on Q-ajossa käytössä pinta- ja keskiviilua, jotka kalibroidaan viistosahauksella pituusmittaan. Viistosahaus toimii myös liitoksena viilunjatkamiseen jatkuvassa ladoksessa, jolloin viilut pystytään asettamaan päällekkäin 30 mm viisteiden mukaisesti. Keskiviilun tilalla voidaan myös käyttää saumattua viilua. Joka toinen

väliviilu on käännetty, jotta syynsuuntien vinoudet kompensoituvat rakenteessa. Viilujen kääntäminen toteutetaan erillisellä kääntölaitteella ennen kuorman viemistä syöttöpäähän. Ristipuskuviilut asetetaan viistesahan jälkeiselle lavalle, josta ne kuljetetaan pinta- ja keskiviilun tapaan liiman juovalevittimen läpi. Puskuviilun tarkoituksena on saada rakenteeseen hengittävyttä, jotta kuumapuristimessa vesihöyry pääsee tuotteesta paremmin ulos.

Viilujen ladonta toteutetaan koneohjatulla ladontavasteella, joka siirtyy 120 mm (alle 27 mm rakenteissa 200 mm) limittymällä päällekkäin. Rakennetta ladotaan jatkuvana rainana kohti esipuristinta, jossa menee rakenteen paksuudesta riippuva aika. Esipuristimen jälkeen tapahtuu levyaihion sahaus kuumapuristinta varten. Sahauksella särmätään myös palkkien päädyt esimerkiksi uuden ladonnan aloituksessa aihion ”häntä” ja tuotteen vaihtuessa toiseen rakenteeseen, jolloin erotetaan rakenteet toisistaan sahaamalla vaihdossa merkitty kohta pois aiheista.

Häiriötilanteet:

- viilujen heittelehtiminen kuljettimella
- heikkolaatuiset viilut
- kuljettimien roskaisuus

Ladonnassa jouduttiin usein suoristelemaan viiluja kuljettimilta, jotta viilut pystyttäisiin kohdistamaan kunnolla suomuun. Heikkolaatuiset viilut jouduttiin hylkäämään, jotka aiheuttivat ladontaohjelman suomun rakenteen sekoittumista. Esimerkiksi, jos ristipuskuviilu oli pakko hylätä laaduntarkailun tai mitoituksen korjaamisen takia, operaattori käytti normaalia keskiviilua kääntämällä viilun poikittain rakenteeseen ja repäisemällä säleen viilun laidasta, jotta mitoitus pysyisi kohdallaan. Kuljettimien roskaantuessa oli mahdollista, että viilupalat päätyivät kuljetinhihnojen väliin, mikä aiheuttaa hihnojen turhaa kulumista ja tuotannon pysäyttämistä viilupalojen poistamisen takia. Koneisiin liittyviä mekaanisia vikoja ei tapahtunut ladonnan henkilöstön haastattelun perusteella kovinkaan usein.

## 4 PROSESSIKEHITYS

### 4.1 Linjaus

Kehitysvaiheessa käsitellään käyttämättömät toimintatavat ristikkäisviilun valmistukseen ilman lisäinvestointeja uusiin työkoneisiin. Tärkeimpänä kehityskohteenä käsitellään saumauksen toimintaperiaatteiden hyödyntämistä ristikkäisviilujen valmistukseen, jolloin voidaan parantaa leikattavien viilujen kapasiteetin käyttämistä ja ehkäistä materiaalihukkaa. Toisena mahdollisuutena tutkitaan viiluarkkien leveyden kalibrointia kuivauskutistuman ennakoinnilla sorvauksesta kuivaajalle.

### 4.2 2-puolinen saumaus

Kaksipuoleisen saumauksen lähtökohtana on sitoa leikattavat viiluarkit molemminpuoleisesti, jotta ne sietävät ladonnan kuljettimilla rasitusta aiheuttavia voimia. Menetelmä voidaan toteuttaa pinta- ja sydänpuun normaaleista leikattavista ja raskas leikattavista viiluista. Ristikkäisviilun saumausohjelman pienin leikattavan viilupalan, jontin, koko on 350 mm leveydeltään.

#### 4.2.1 1. Koeajo

Saumauksen ensimmäinen koeajo toteutettiin normaali leikattavista (2. lokeron leikattavat) S- ja P-kuormalla. Koeajon päämääränä oli löytää jatkuvatoimista tuotantoa pysäyttävät tekijät ja kerätä tietoa mahdollisia korjauksia varten. Testaus jakaantui kahteen osioon eli liimalankojen asetukseen koneen alapuolelle ja varsinaiseen koeajoon ristikkäisviilu ohjelmalla eli 1910 x 1855 x 3 mm mitan saumauksella. Liimalankoja sijaitsi 5 kappaletta yläpuolelta asetettuna ja alapuolelta 3 kappaletta. Ylä- ja alapuolisten liimasaumoilla on noin 50 mm limitys, jotta saumat eivät kulkisi samasta kohdasta.



Kuva 9. 2-puoleinen liimasauma 1. koeajo



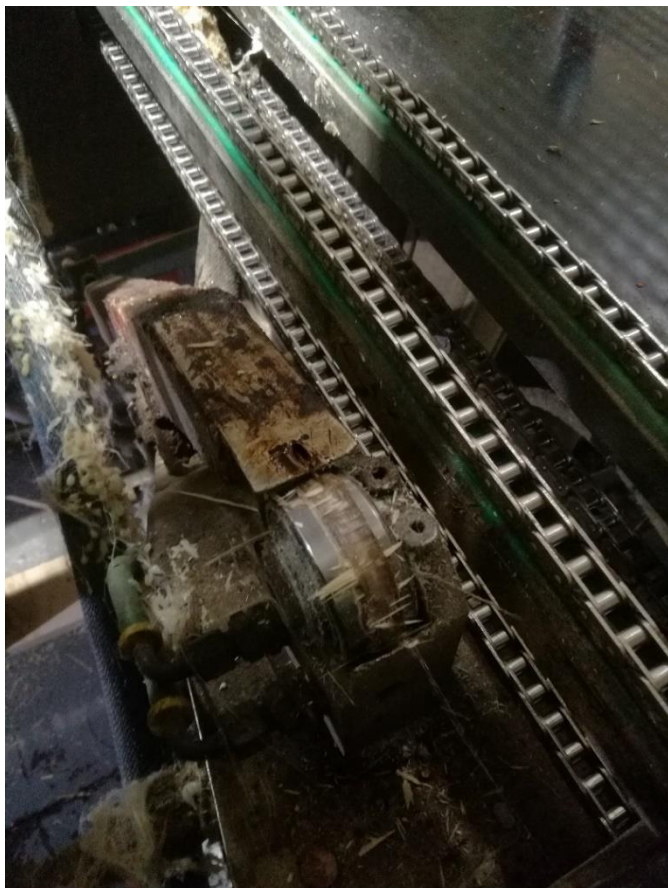
Koneen alapuolelta oli poistettu lankojen tukemiseen kuuluva teline, joten asetteen tekeminen vaati väliaikaista ratkaisua. Ensimmäiselle koeajolle tehtiin levyaihion sahauksen ylijäämäpalasta ja kolmesta teräspalkista tuet langoille. Näin lankakerät pysyisivät pysyvässä lankojen liikkuaessa koneelle turvallisesti ja aiheuttamatta tarpeettomia häiriöitä lankojen mahdollisessa katkeamisessa. Liimalanka pujotettiin rautalangan avulla sulatusmekanismin suuttimelle, joka vedettiin yläpuolelta esille. Jotta langat saataisiin pysymään kiinni ylä- ja alapuolelta, lankojen päät kiinnitetään viilunpalaseen pienellä solmulla. Langan sulatuksen lämpövastukset laitettiin lämpenemään kaksi tuntia ennen varsinaista koeajoa, mutta lämmittämiseen riittää noin 15–30 min. Yläpuoliset langat oli asetettu 165 °C:seen ja alapuoliset noin 160 °C:seen.



Kuva 10. Alapuolisten liimalankojen asetus

Ensimmäinen koekuorma aloitettiin S-kuormalla, joka oli tasalaatuisin ja vahvin materiaali- ja saumauksen valinta. Viilua ajettiin muutama kappale, minkä jälkeen tehtiin leveydenmittauksen tarkistus ja katsottiin laatua pintapuolisesti, jolloin langat vaikuttivat pysyvän yhtenäisesti kiinni. Kestävyyttä koestettiin käsin pienellä rasiuskokeella nostamalla yksi saumattu viilu kuormasta ja taivuttamalla hieman rakennetta. S-kuorman ajon haastavin ongelma esiintyi arkkileikkurilla, koska koneen leikkurin vastaterä oli pyörinyt ja aiheutti huonoa leikkaustulosta lopullisen mitan leikkauksessa. S-viilun saumauksen kohdalla terä ei pystynyt leikata alapuolisten liimalankojen kahta reunapäätä, jolloin pinkattava viilu kiihtyi ohjaukskuljettimella ja aiheutti ruuhkan. Ruuhkaantumisen lisäksi alapuolinen sauma onnistui epätasalaatuisesti, mikä johtui reunimmaisten liimalankojen irtoamisesta huonon leikkauksen takia ja jäähdytysrullien roskaantuessa. Jäähdytysrullan roskaantumisen aiheutti liimalangan tarttumisen tikkuihin, jolloin valtaosa liimalangasta jäi käyttämättä.

viiluarkin sidosaineeksi. Asian pystyi tarkistamaan ainoastaan kokeilemalla käsin viilu-  
saumaa, jolloin liimalangan paksuuden eron pystyi havaitsemaan. Kuvan 11 tilanteen kor-  
jaamiseksi vaadittiin koneen kuljettimien välisen suojakannen avaaminen, jolloin pystyttiin  
käsin poistamaan liimaantuneet roskat.



Kuva 11. Jäähdytysrullan tukkeutuminen

S-kuorman loputtua otettiin P-kuorma ajoon, jolloin leikkaus onnistui huomattavasti pa-  
remmin viulunlaadun muuttuessa. Ongelmana P-kuorman ajossa oli pienien jontti-mittais-  
ten viilujen kertyminen, mikä aiheuttaa epätasalaatuisen pinnan saumatulle viilulle. Sau-  
mausohjelman minimi jontti mitaksi oli asetettu 350 mm, joka toimi koneella ajettavuuden  
kannalta mainiosti.

Taulukko 6. 1. Koeajon mittaustulokset

Koeajo	Läpimenoaika (min)	Häiriöaika (min)	Tuotantomäärä (jm)	Materiaalihukka (jm)	Hukan %- osuus
1	114	34	484	238	33 %

Koeajon läpimenoaika oli huomattavasti normaalia tuotantoa pidempi verrattuna yksipuoli-  
sen liimasaumauksen tuloksiin. Tuloksiin tietysti vaikuttaa uudenlainen tuotantotilanne,

jota voidaan parantaa tulevaisuudessa. Häiriö- ja pysäytysaika koostui roskien poistamisesta, viilujen ruuhkaantumisesta, liimasaumojen tarkistamisesta, leikkurin terien tarkistuksesta ja trukin odotuksesta. Häiriöaika mitattiin koneen hälyttävästä ajasta, jolloin kone ei ollut toiminnassa. Todellisuudessa aikaa kului enemmän häiriöiden poistamiseen, kun konetta huollettiin terien tarkistuksessa ja lankojen tarkistamisessa. Tuotantomäärässä päästiin 484 juoksumetriin eli 261 ristikkäiseen viiluarkkiin. Tulos vastasi normaalituotannossa syntyvää yhtä kokonaista saumattua viilukuormaa. Materiaalihukkaa syntyi noin kolmasosa käytetyistä viilukuormista.

#### 4.2.2 2. Koeajo

Seuraava koeajo tehtiin huoltotoimenpiteiden eli vastaterän vaihdon jälkeen, jolloin päämääränä oli saada kaksi kaksipuolisesti saumattua kuormaa. Koeajo toteutettiin eri operaattorin kanssa samoilla asetuksilla. Alapuoliset langat olivat väliaikaisesti poistettu käytöstä ennen uutta koeajoa, joten ne pujotettiin takaisin paikalleen suuttimista rautalangalla, jolloin niiden kiinnitys viilurainaan onnistui helposti.

Taulukko 7. 2. Koeajon mittaustulokset

Koeajo	Läpimenoaika (min)	Häiriöaika (min)	Tuotantomäärä (jm)	Materiaalihukka (jm)	Hukan %-osuus
1	66	16	458	147	24 %
2	54	0	471	193	29 %
Keskiarvo	60	8	465	170	27 %

Koeajot onnistuivat toisella koeajolla odotettua paremmin lukuun ottamatta ensimmäisen kuorman aloituksessa ilmenneitä roskaisuuksia liimalangoissa, jotka aiheuttivat häiriöaika. Taulukon 7 tuloksista voidaan nähdä, että huoltotoimenpiteiden jälkeen läpimenoaika on pystytty parantamaan huomattavasti. Haastavimmaksi ongelmaksi kehittyi koeajojen aikana mittojen vaihtelevuus. Ensimmäinen kuorma ajettiin 1910 x 1855 x 3 mm ohjelman asetuksien mitalla, jolloin leveysmitassa tapahtui 9 mm muutosta ja viiluarkkien leveys oli muuttunut 1846 mm mittaiseksi. Mittavirhe korjattiin vaihtamalla koneen asetuksesta mitaksi 1910 x 1864 x 3 mm toisen kuorman ajoon. Leveysmitta saatiin hetkellisesti pidettyä 1855 mm mitassa, mutta korjauksen myötä mitta nousi 9 mm ajon aikana ylöspäin 1864 mm leveyteen.

Muutos saattoi johtua saumauskoneen kuljettimien epätasaisesta liikkeestä, jolloin liikkeen palautuessa normaaliksi, asetusten kalibroitu mitta palautui. Mitan vaihtelevuus vaikuttaa ladontalinjalla suomujen mitoitus, jolloin puskuviilujen mitoitus saattaa jäädä epätasaiseksi tietyllä aikavälillä. Tässä tapauksessa puskuviiluja joudutaan hylkäämään ja asia korjataan normaalikokoisella viilulla, josta operaattorit leikkaavat käsin tarpeellisen

mitan ladonnan yhteydessä. Toisen koeajon kaksipuoleisesti saumatut kuormat ajettiin trukilla suoraan ladonnan syöttöpäähän.

### 4.3 2-puolisten saumattujen arkkien ladonta

Ensimmäisen koekuorman ladonta toteutettiin Q- ja QE-kertotuotteiden valmistuksessa, joissa noin puolet ristipuskusaumatuista arkeista ladottiin 27 mm paksuun Q-palkkiin ja loput 33 mm QE-palkkiin. Saumatut arkit olivat 2. lokeron normaali leikattavia sydän- ja pinta-

Ristikkäisen viulun ladonnan vaiheet:

- syöttö
- juovalevitin
- kuljetus ladontavasteelle
- asettelu.

Ristikkäisen viulun syöttö ladontaan toimii viistosahan jälkeisellä asemalla. Viulut ohjataan nostolavalta imulaatikon ja telakuljettimen avulla viulunvastaanottimen vasteelle. Syötössä tärkein tarkkailtava kohde oli viilujen takertuvaisuus toisiinsa, josta tuotannossa on aikaisempaa kokemusta. Ensimmäinen koekuorma oli välivarastoitu erikseen muusta tuotannon viilukuormista laadunvarmistamisen takia. Vanhojen tietojen pohjalta käytettiin oletuksena, että kaksipuolisesti saumattujen kuormien päälle ei kannata varastoida kuormia. Saumatut viiluarkit saattoivat puristua langoista kiinni toisiin arkkeihin käyttökelvottomiksi ladontaan. Syötössä oli huomattavissa imun kulkevan läpi viilujen saumoista, mikä pyrki ottamaan viiluja pareittain syöttöön. Tässä tapauksessa viulut saatiin ongelmitta kulkemaan vastaanottimelle.

Ristikkäinen viilu ohjataan viistosahattujen viilujen välistä tuotteen rakenteen mukaisesti noin joka viidennen viulun välein liimalevittimelle eli juovalevittimelle. Juovalevittimellä on kuljettimien erottava aukko, josta saadaan liima kierrätettyä takaisin levitykseen. Viilujen kuljetettavuuden parantamiseksi aukon väliin on asetettu terätaipit, jotka estävät viilujen ruuhkaantumisen juovalevittimen alle. Saumattujen viilujen epäiltiin aiheuttavan ruuhkia tässä kohtaa, koska saumattujen arkkien reunajontit saattoivat olla niinkin pieniä, että ta- kertuivat epätasalaatuisuuden takia helposti pieniinkin esteisiin. Koetilanteessa ei havaittu ongelmia kuljettimilla, mutta liimanlevityksessä huomattiin, että kupertuneissa saumakohdissa liima ei aina levittänyt täydellisesti koko arkin pinta-alalta. Ladonnassa jouduttiin tällöin pysähtymään hetkeksi ja levittämään liimaa kuivalle alueelle telalla.

Liimalevityksen jälkeen ristikkäiset viilut jatkoivat kuljettimilla ladontavasteelle, jossa viilut kohdistettiin käsin paikoilleen. Viilujen jonttien ollessa noin 50–100 mm leveitä reunoissa oli mahdollista, että liimasauma ei kestänyt, jolloin pisteliimaus petti ja jonttipala oli liimalankojen varassa. Tällaisessa tapauksessa viilunpala saattoi kääntyä ylösalaisin, jolloin latoja joutui käsin kääntämään viilukappaleen paikoilleen. Ristikkäisen viilun reunajonttien ollessa 400–450 mm pistesaumauksen pettäminen tarkoitti viilun hylkäämistä, koska sen asettelu käsin saattoi olla turhan vaivalloista.

Ensimmäinen koeajo sujui hyvin normaalin tuotannon tapaan, eikä aiheuttanut tavallista enempää häiriötilanteita latojille. Toinen koeajo suoritettiin kahdella kaksipuolisesti saumatulla kuormalla saumauksen koeajojen yhteydessä. Toisen koeajon ensimmäisen koeajon aikana ajettiin Q-ajossa 12080 x 1930 x 33 mm levypalkkia. Toisessa koekuormassa Q-ajo vaihtui 12100 x 1930 x 27 mm mittaiseen levypalkkiin, mikä ei vaikuttanut koetilanteeseen.

Koeajossa syntyi hyvin vähäinen määrä häiriöaikaa ristikkäisviiluista johtuen. Pääasiallisina häiriöinä olivat yksittäisten liimalankojen irtoilu, liimaamaton saumakohta, ristikkäisviilujen jonttien tarttuminen ladontavasteen vastaanottimen syöttöteloihin ja syötössä viilujen päällekkäisyys. Liimalankojen irtoilu ei aiheuttanut suurempia ongelmia, mutta se saattoi heikentää saumojen kestävyyttä, mikä voi aiheuttaa jonttien irtoamisen saumatusta rakenteesta. Liimaamaton sauma johtui ensimmäisen koeajon tapaan jonttien kuperuudesta, joka esti pieneltä alalta liiman levittymisen juovalevittimellä. Ladontavastetta edeltävällä vastaanottimella kuvassa 12 oli mahdollista, että ristiviilun reunajontti tarttui syöttötelan sisään, mikä ei aiheuttanut linjan pysäyttämistä, mutta saattoi aiheuttaa jonttien repeytymisen.



Kuva 12. Ristikkäisviilun tarttuminen vastaanottimen telaan

Suurin linjaa pysäyttävä tekijä oli kuvan 13 mukainen viilujen päällekkäisyys, jolloin syötön imulaatikot saattoivat ottaa kaksi ristiviilua kerralla kuljettimille, jolloin viilut saattoivat hajota keskelle kuljetinta tai päätyä ladontavasteelle kerroksessa. Ongelma voi aiheutua syötön imulaatikoiden imun kulkiessa liian leveistä saumaraoista lävitse, jolloin alimmainen viilu voi tarttua toisen ristikkäisviilun kanssa mukaan. Tilannetta voidaan mahdollisesti estää imulaatikon imunopeuden pienentämisellä.

Päällekkäisyyden ongelma voi olla myös lähtöisin saumauskoneelta, jossa epätasainen liimamäärä aiheuttaa viilujen kiinnittymisen toisiinsa jo saumaajan pinkkaajalla. Asiaa on haastavaa tarkkailla yksittäisten viiluarkkien kohdalla, mutta tarkkailemalla säännöllisin väliajoin esimerkiksi uuden kuorman valmistuksen kohdalla on mahdollista puhdistaa likaantuneet liimasuuttimet ja jäähdytysrullat.



Kuva 13. Ristikkäisviilujen päällekkäisyys

#### 4.4 Leveyden kalibrointi kuivauskutistumalla

Tarkoituksena leveyden kalibroinnissa on hyödyntää lähtötilanteen kuivauskutistumien tietoja, jotta voitaisiin hyödyntää optimaalisinta leveysmittaa ristikkäisviilujen valmistukseen leikkaamalla sorvauksen märkälajitteluun ristikkäisviilua, joka kuivauksen jälkeen olisi valmis ladontaan. Nykyhetken määrittelyssä huomattiin kuivauskutistuman tarkastelun kohdalla, että potentiaalisin materiaali prosessiin on sydänpuu, jossa on pienin hajonta viiluarkkien kutistumisella eli +/- 15,5 mm. Sorvauksessa pystytään tuottamaan useampaa mittaä keskeyttämättä tarpeettomasti tuotantoa, joten leikattaessa pinta- ja keskiviiluarkit sorvattavasta pölistä, pystytään sydänpuun kohdalla vaihtamaan mittaä ristikkäisviilun märkämittaän, kun kone tulkitsee kosteuspitoisuuden vaihtuneen sydänpuun noin 45–60 % kosteuteen. Kosteuspitoisuuden vaihtuessa sydänpuuksi märkälajitteluun täytyy varata

oma lokero ristikkäisviilulle, jotta optimoitu leveysmitta saadaan kuivauksessa pinkattua oikealla ohjelmalla.

Uusi viulumitta täytyy merkitä välivarastointiin huolellisesti ennen kuivausta, jotta ristikkäisviilu ei mene sekaisin tavallisen sydänpuun kanssa. Kuivauskoneella ei tarvitse toteuttaa merkittäviä muutoksia paitsi pinkkaajalla, jossa joudutaan ottamaan pois käytöstä suurin osa lokeroista, joihin ei voida pinkata poikkeavaa leveysmittaa. Koeajoon voidaan ottaa käyttöön märkä, leikattava ja ristikkäisviilun lokerot, jotka näkyvät liitteessä 3. Kuivausohjelmaa ei mahdollisesti tarvitsisi muunnella normaalin sydänpuun ajamisesta, mutta sopivat muutokset voidaan optimoida kuivauksen tuloksien parantamiseksi. Mahdollisessa käyttötilanteessa kuivaajan operaattori joutuisi tekemään seuraavat muutokset ristikkäisviilun kuivauksen aloittamiseksi:

- pinkkaajan ohjelman vaihto
- pinkkaajan lokeron vaihdot
- pinkan valmistumisen jälkeen ilmoitus trukille.

Pinkkaajan ohjelman vaihto on helposti toteutettavissa normaalien kuivauksien mukaisesti. Koska ristikkäisviilun leveysmittaa ei voida ajaa normaalien viilujen kanssa sekaisin, operaattori joutuisi käydä vaihtamassa lokeron tyhjäksi uuden ohjelman mukaisesti. Trukille ilmoittamisessa kuorman valmistuksessa on vielä oletuksena, että uusi viilulajittelu voi aiheuttaa sekaannusta varastoinnissa, joten on parempi ilmoittaa asiasta trukille erikseen ohjelman päätyttyä ja kuormien päätyessä pinkanpoistoon.

Tehtaan parhaimmaksi koettu toleranssi arvo 1855 mm mittaiselle ristipuskuviilulle on ollut +/- 5 mm, jolloin ladonnassa ei ilmene ongelmia mittavaihteluissa. Liitteen 5 sydänpuun kuivauskutistumien mittaustuloksilla pystyttiin laskemaan ristikkäisviilun teoreettiseksi märkämitaksi 1965 mm. Märkämitan laskemiseen käytettiin kaavan 1 laskutoimitusta, jossa ennustettavana muuttujana on viiluarkin märkä leveysmitta, kuivamittana 1855 mm ja kosteuspitoisuutena mittauksien keskiarvo eli 5,62 %. Liitteen 5 mittauksien kutistumisprosentin keskiarvosta on poistettu \*-merkilliset viiluarkit, jotka saattoivat vaikuttaa tuloksiin.

Sydänpuun kuivauskutistumalla on mahdollista päästä viiluarkkien realistisen kuivausmitan hajonnan (+/- 15 mm) ja halutun (+/- 5 mm) kutistuman hajonnan suhteella noin 32,25 % ristikkäisviilun saantoon, vaikka todellisuudessa tästäkin osuudesta päätyy osa uudelleen kuivattavaksi. Tämä tarkoittaisi, että 67,75 % viilukuormasta päätyisi kuivauksesta leikattaviin ja uudelleen kuivattaviin kuormiin. 2-puolisen saumauksen koeajoissa on todettu, että +/- 9 mm toleranssilla on mahdollista toteuttaa ristikkäisviilun ladontaa, mutta

dimensioiden vaihtelussa on myös mahdollisuus vaikuttaa negatiivisesti ladonnan operaattorien toimintaan materiaalin päätyessä hylkyyn, jos puskuviilut eivät osu ladonnan suomussa kohdakkain. Jos virhepoikkeamana sallittaisiin +/- 12,5 mm, saavutettaisiin yli 80 % ristikkäisviilun saanto kuivauksen sydänpuun mittauksen hajonnan tiedoilla. Tässä tapauksessa kokeilu olisi kannattavaa, koska tulokset olisivat lähellä liitteen 2 viilukauman tietoja. Kokeilussa täytyy myös huomioida, että kaikki tiheysluokat jouduttaisiin asettamaan samaan lokeroon lujuuslajittelussa ristikkäisviilun leveysmitan ollessa poikkeava.



## 5 TULOSTEN ARVIOINTI

Opinnäytetyö keskittyi suurelta osin saumauskoneen toiminnan laajentamiseen ristikkäisviilun valmistukseen. Lähtötilanteen mittaustulosten perusteella on taulukon 8 tuloksien perusteella selkeää, että ajallisesti on järkevämpää tuottaa ristikkäisviilua mekaanisella sahauksella. Materiaalitehokkuuden kannalta saumauskoneen käyttö on parempi vaihtoehto, koska tällöin tuotetaan lisäarvoa leikattaville viiluille ja ehkäistään samalla myös materiaalihukka, joka muodostuu ristipuskusahauksessa. Leikattavien viilujen hyötykäyttäminen useampaan tuotteeseen nopeuttaa myös viiluväestöjen kiertoa. Saumauskoneella muodostunut materiaalihukka on prosentuaalisesti valtava ja vaihtelee 43 – 29 % välillä riippuen käytetyn materiaalin laadusta. Kyseessä oleva ”hukka” on heikkolaatuista viilumateriaalia ja tuotantoon kelpaamatonta sellaisenaan, joten saumauksen materiaalihukkaa ei voida käsitellä samalla tapaa kuin sahauksessa.

Ristipuskusahauksessa muodostuva materiaalihukka, noin 0,12 m<sup>3</sup>, normaalien keskiviilukuormien ollessa 3,46 m<sup>3</sup> tilavuudeltaan. Jos päivässä tuotetaan yksi sahattu ristikkäisviilukuorma vuoden (365 päivää) ajan, tämä tarkoittaa noin 44 kuutiometrin materiaalihukkaa eli noin 13 viilukuorman tappiota.

Taulukko 8. Läpimenoaikojen vertailu ristikkäisviilukuorman valmistukseen

Prosessit	Läpimenoaika (min)	
	Nykyhetki	Prosessikehitys
Sorvaus	44	44
Kuivaus	55	55
Ristipuskusahaus	22,5	-
2-puolinen saumaus	-	60
<b>Läpimenoaika</b>	<b>121,5</b>	<b>159</b>

Saumattujen ristikkäisviilujen valmistus on todistettu käytännössä mahdolliseksi tehtaan tiloissa, mutta sen säännöllinen tuottaminen vaatisi myös hyvät järjestelyt varastointiin ja kommunikoinnin ladonnan aikataulujen kanssa. Varastointi tulisi toteuttaa niin, että kaksipuoleisesti saumatut viilukuormat sijoitettaisiin suoraan ladonnan syöttöpäähän 2–3 kuormaa kerrallaan tilanpuutteesta riippuen. Kuormien päälle ei saa latoa muita kuormia, koska saumatut viilut tarttuvat paineen ja lämmön alla toisiinsa kiinni, jolloin ladonnan syötössä ilmenee arkkien päällekkäisyyksiä, joka pysäyttää tuotannon.

Ennakoimalla aikataulut ladonnassa voidaan tasapainottaa tuotantoa yhdistämällä kaksipuoleinen saumaus ristikkäisviilujen tuotantoon, jolloin voidaan myös samalla päästä eroon ylimääräisestä leikattavien viilujen varastosta. Tässä tapauksessa puhdas virtaus ei

ole täysin mahdollista johtuen saumauksen ja ladonnan tuotantojen päällekkäisyydestä. Oikealla aikavälillä on mahdollista tuottaa ladontaan kuorma saumattua ristikkäisviilua noin 2 tunnin varoitusajalla, jolloin kuorman vastaanotolla pystytään tuottamaan vielä lisää pieneksi varastoksi, mikä ei rasita tuotantoa ja ylläpitää materiaalin laatua.

Leveyden kalibroitua kuivauskutistamalla ei kokeiltu tuotannon tiloissa käytännössä, koska sen todettiin teoriassa aiheuttavan liikaa leikattavaa viilua, mikä olisi ollut päinvastainen askel prosessikehityksessä. Vaihtoehdon etuna olisi ollut kokonaisen välivaiheen poistaminen, joka olisi tässä tapauksessa lyhentänyt läpimenoaikaa 22,5–60 min per kuorma. Pyrittäessä +/- 5 mm leveysmitan toleranssiin saataisiin noin 250 viiluarkista 32,5 % ristikkäistä viilua eli noin 81 viiluarkkia parhaimmassa tapauksessa olettaen, että kuormasta ei joutuisi ollenkaan uudelleen kuivattavaksi. Tämä tarkoittaisi, että vaaditaan kolme kuivattavaa ristikkäisviilu kuormaa sorvauksesta, jotta saataisiin ladontaan yksi kokonainen kuorma, jolloin on syntynyt kaksi kokonaista kuormaa leikattaviin.

Leveysmitan toleranssia voitaisiin suurentaa kokeilemalla ensin ladonnassa, milloin suunnitelluissa mitoituksissa menetetään prosessin hallinta. 2-puolisen saumauksen kokeilussa todettiin, että +/- 9 mm toleranssilla voidaan saavuttaa hyviä tuloksia, mutta asia vaatisi enemmän tarkastelua useammalla kuormalla. Saantoa pystyttäisiin parantamaan myös hyödyntämällä tehtaan käyttöön kosteuskompensaatiota, jolla voidaan saada vielä tarkempi leveysmitta, kun kosteuden vaihtelu pystytään huomioimaan viiluarkeista yksilöittäin. Leveyden kalibroinnilla täytyy myös huomioida, että valmistuksessa menetetään liitteen 2 mukaisesti raskaat keskiviilut, koska prosessin mahdollistamiseksi jouduttaisiin kaikki tiheysluokat asettamaan samaan lokeroon lujuuslajittelussa.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön keskeisempänä tarkoituksena oli tutkia mahdollisuudet ristirakenteisen LVL-prosessin ristikkäisviilun tuottamiseksi ilman lisäinvestointeja. Nykyhetken tilan tarkastelussa pystyttiin todeta nämä, että sorvauksen, kuivauksen ja ristipuskusahauksen prosessissa pystyttiin tuottamaan ristikkäisviilua 121,5 min läpimenoajalla lukuun ottamatta varastointiin kulunutta aikaa. Ristipuskusahauksen materiaalihukka aiheuttaa vuosituotannolla noin 44 m<sup>3</sup> materiaalihukkaa eli noin 13 viilukuormaa.

Prosessikehityksessä päästiin kaksipuoleisessa saumauksessa 159 min läpimenoaikaan, joka on noin 30 % pidempi ajallisesti, mutta sillä pystyttiin eliminoimaan turha materiaalihukka, joka ilmeni ristipuskusahauksessa, ja parantamaan leikattavien viilujen varastonkiertoa. Tärkeimpänä tuloksena tutkimuksessa oli, että kaksipuolisella saumaamisella on mahdollista tuottaa ristikkäisviilua ja sille voidaan luoda käyttötarkoituksensa oikealla aikataulutuksella ladonnan kanssa. Varastoinnin järjestäminen osoittautui haasteelliseksi, koska kaksipuoleisesti saumattua viilua ei pystytä kasaamaan päällekkäin kuormina, jolloin viiluarkit voivat takertua päällekkäin kiinni toisiinsa. Tuloksena on siis, että ristikkäisviilun valmistus kannattaa järjestää ristipuskusahauksen kanssa siten, että viiluvarantoja tasapainotettaisiin saumauksella, jolla voidaan luoda 2–3 ristikkäisviilukuorman varasto ladonnan syöttöpäähän, missä kuormat voidaan saada suoraan seuraavaan ristirakenteisen Kerto-tuotteen ajoon. Ristipuskusahauksella kannattaa toteuttaa kiireellisin tuotanto, jolloin saumausta ei ylikuormiteta.

Sorvauksessa ei toteutettu käytännön kokeiluja ristikkäisviilun valmistukseen, koska tutkittaessa asiaa nykytilan mittauksien perusteella todettiin, että se aiheuttaisi liikaa leikattavaa viilua turhaan varastoon. Ristikkäisviilun teoreettisena märkämittana voidaan pitää 1965 mm kuivauskutistuman mittaustuloksilla, jolloin pystytään tuottamaan 1855 mm kuivamittaa olettaen, että viiluarkit kuivataan 1,0–0,4 % kosteuspitoisuuteen. Tämänkin prosessin edellytyksenä olisi ollut, että saumaukselle saataisiin laajempaa käyttöä, joten oli parempi keskittyä ristikkäisviilun valmistukseen saumauskoneen tuotannon kautta. Lisätutkimuksena kannattaisiin ladonnan viuhkan ristipuskuviilujen mitoituksen optimointia. Tällä tiedolla voitaisiin tehdä ristikkäisviilun valmistus mahdolliseksi märkämitan kalibroinnilla ja samalla poistettaisiin tarpeetonta hukkaa ladonnasta, jossa joudutaan hylkäämään puskuviiluja epätasaisen mitoituksen takia. Toisena tutkittavana asiana kannatan kosteuskompensaation käyttöönottoa.

## LÄHTEET

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

Liker, J. 2006. Toyota Way. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Lemtapes. 2018. Hot Melts Strings And Tapes. [viitattu 8.11.2018]. Saatavissa:

<http://www.lemtapes.fi/plywood-industry/hot-melt-strings-and-tapes/>

Metriguard Raute Group. 2017. Veneer Testers. Metriguard Technologies [viitattu

6.11.2018]. Saatavissa: <https://metriguard.com/category/veneer-testers>

Metsä Wood 2016. Kerto LVL QP-beam [viitattu 11.10.2018]. Saatavissa:

<https://www.metsawood.com/fi/tuotteet/kerto/Pages/Kerto-QP.aspx>

Metsä Wood. 2017a. Kerto LVL L-panel [viitattu 11.10.2018]. Saatavissa:

<https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Metsawood-Kerto-L-Suomi.pdf>

Metsä Wood 2018. Kerto LVL Q-panel [viitattu 11.10.2018]. Saatavissa:

<https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/MW-KertoLVL-Qpanel-datasheet-FI.pdf>

Metsä Wood 2017b. Sertifikaatit ja hyväksynät. [viitattu 9.11.2018]. Saatavissa:

[https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-lvl-Sertifikaatit\\_hyvaksynnat.pdf](https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-kasikirja-lvl-Sertifikaatit_hyvaksynnat.pdf)

PEFC Suomi. 2018. Alkuperän Seuranta. Suomen Metsäsertifiointi ry [viitattu. 9.11.2018].

Saatavissa: <https://pefc.fi/sertifiointi/alkuperan-seuranta/>

Rakennustieto. 2018. Rakennusmateriaalien päästöluokitus M1. Rakennustietosäätiö

[viitattu 20.11.2018]. Saatavissa: <http://m1.rts.fi/rakennusmateriaalien-paastoluokitus-m1>

Raute Oyj 2018. Moisture Analysis. Raute Group [viitattu 6.11.2018]. Saatavissa:

<http://www.raute.fi/fi/moisture-analysis>

SFS EN 14374, 2004. Puurakenteet. Rakenteissa käytettävä viilupuu (LVL). Vaatimukset.

Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2018a. ISO 14001 – maailman tunnetuin

ympäristöjärjestelmämalli. [viitattu 20.11.2018]. Saatavissa:

[https://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/tuotteet\\_valokeilassa/iso\\_14000\\_ymparistojohtaminen/ymparistojarjestelma](https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/tuotteet_valokeilassa/iso_14000_ymparistojohtaminen/ymparistojarjestelma)

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2018b. ISO 9001:2015 Laadunhallinta. [viitattu 20.11.2018]. Saatavissa:

[https://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/tuotteet\\_valokeilassa/iso\\_9000\\_laadunhallinta/iso\\_9001\\_2015](https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/tuotteet_valokeilassa/iso_9000_laadunhallinta/iso_9001_2015)

Varis, R. 2017. Puulevyteollisuus. Porvoo: Kirjakaari Oy.

VTT. 2018. Sertifikaatti nro. 184/03. VTT Expert Services Oy [viitattu 20.11.2018].

Saatavissa:

<https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-VTT-C-184-03-Sertifikaatti.pdf>

## LIITTEET