

# Koivuviilujen mekaaninen modifiointi

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Kallberg, Annette	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Valmistumisaika Syyskuu 2021
	Sivumäärä 30	
Työn nimi <b>Koivuviilujen mekaaninen modifiointi</b>		
Tutkinto Puutekniikan insinööri (AMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Kristiina Lillqvist, Yliopettaja, puutekniikka, LAB ammattikorkeakoulu		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Anna Koski , Erityisasiantuntija, tuote- ja prosessikehitys, UPM Plywood Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tutkittiin koivuviiluja mekaanisella modifioinnilla saavutettavia muutoksia. Koivuviiluja modifioitiin kuumapuristimessa käyttämällä eri lämpötiloja, puristuspaineita ja puristusaikoja. Viilut olivat tasaannutettu kolmeen eri kosteuteen ja lajiteltu eri tiheysluokkiin. Puristuksen jälkeen koivuviilut upotettiin veteen ja kuivatettiin uunissa, jotta nähtäisiin viilun muodonmuutoksen pysyvyys kosteissa olosuhteissa. Opinnäytetyö toteutettiin UPM Plywood Oy:lle</p> <p>Koivuviiluista otettuja näytepaloja oli 180 kappaletta, 18 ryhmään jaettuna. Koivuviiluja käsiteltiin eri parametreilla ja niiden vaikutuksia tutkittiin viilun painoon, paksuuteen, kosteuteen, leveyteen ja tiheyteen.</p> <p>Tuloksista voitiin tehdä johtopäätöksiä puristuksen pysyvyydestä sekä eri parametrien vaikutuksista puun puristuvuuteen ja puristuksen pysyvyyteen. Tuloksien perusteella tehtiin jatkotutkimusehdotuksia UPM Plywood Oy:lle.</p>		
Asiasanat Koivu, mekaaninen modifiointi, mekaaninen metsäteollisuus		

## Abstract

Author(s) Kallberg, Annette	Type of Publication Thesis	Published September 2021
	Number of Pages 30	
Title of Publication <b>Mechanical modification of birch veneers</b>		
Name of Degree Bachelor's Degree in Wood Technology (UAS)		
Name, title, and organization of the supervising teacher Kristiina Lillqvist, Principal lecturer, Wood technology, LAB university of applied sciences		
Name, title and organization of the client Anna Koski , Senior Specialist, Product and Process Development, UPM Plywood Oy		
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to study mechanical modification results in birch veneer. Birch veneers were pressed with different temperatures, pressure, and time. After pressing birch veneer, they were immersed into water and dried in oven. With this process it was possible to analyse the stability of the deformation in moist conditions. Thesis was implemented into to UPM Plywood Oy.</p> <p>This Thesis contains the theory of modification and birch use in veneers and plywood, testing of birch veneer samples, measuring and analysis of results. We had 180 birch veneer samples divided into to 18 groups. Using different parameters, we studied the affect to veneers weight, moisture, width, thickness, and density. Used parameters were the temperature, pressure, and time.</p> <p>With this study we got results of pressing permanent results and effect of using different parameters. From results were made follow-up research suggestions to UPM Plywood Oy.</p>		
Keywords Birch, Modification, Mechanical Forestry Industry		

## Sisällys

1	JOHDANTO .....	1
2	KOIVU JA MEKAANINEN MODIFIOINTI .....	2
2.1	Koivu .....	2
2.2	Modifioitu puu .....	2
2.3	Termomekaaninen modifiointi .....	2
3	MATERIAALIT JA TESTAUSMENETELMÄT .....	4
3.1	Viilut ennen käsittelyä .....	4
3.1	Tasaannutus.....	5
3.1	Painon ja leveyden mittaaminen .....	6
3.2	Puristaminen.....	7
3.3	Värimittaus.....	9
3.4	Paksuuden mittaus .....	10
3.5	Viilujen upottamisprosessi .....	12
3.6	Viilujen kuivausprosessi.....	13
4	TULOKSET.....	14
4.1	Paksuuden muutokset .....	14
4.2	Leveyden muutos .....	16
4.3	Tiheyden muutokset .....	18
4.4	Kosteuden muutos.....	21
4.5	Värimuutokset.....	22
5	Yhteenveto .....	26
5.1	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	26
5.2	Jatkotutkimusehdotukset .....	27
	Lähteet .....	28

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on toteutettu UPM Plywood Oy:n Lahden toimipisteelle. Opinnäytetyössä koivuviiluja modifioitiin mekaanisesti puristamalla kuumapuristimessa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää eri parametreilla, kuinka koivuviilujen tiheys lisääntyisi ja saataisiinko koivuviiluihin käsittelyn jälkeen pysyviä muutoksia. Koivuviiluja käsiteltiin eri lämpötiloilla, kosteuksilla, paineella sekä puristusajalla. Veteen upottamalla ja kuivaamalla uunissa testattiin muutoksien pysyvyyttä. Opinnäytetyössä käydään läpi mekaanisen modifioinnin ja koivuviilujen näytepalojen testaus, mittaus ja tulosten analysointi. Koivuviiluista otettuja näytepaloja oli 180 kappaletta, 18 ryhmään jaettuna.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi koivun ominaisuuksia ja käyttökohteita sekä erilaisia modifiointi menetelmiä. Materiaalit ja testausmenetelmät osiossa esitellään työn kokeellisessa osassa, minkälaisia välineitä mittaamisvaiheessa on käytetty ja kerrotaan, mitä jokaisessa mittaamisvaiheessa on tapahtunut. Tulokset osiossa käsitellään mittaustuloksia ennen ja jälkeen puristuksen sekä, veteen upottamisen ja kuivattamisen jälkeen. Lopuksi yhteenvedossa esitellään johtopäätöksiä ja jatkotoimenpiteitä.

Tutkimuksen aikana saatiin tuloksia puun puristuksen pysyvyydestä. Eri parametreilla selvitettiin, minkälaisia vaikutuksia niillä on puun puristuvuuteen sekä puristuksen pysyvyyteen. Viilujen mittaamisvaiheet on tehty kevään 2021 aikana.

## 2 KOIVU JA MEKAANINEN MODIFIOINTI

### 2.1 Koivu

Hieskoivu ja rauduskoivu ovat rakenteeltaan ja ulkonäöltään samanlaisia, mutta hieskoivu on hieman pehmeämpää, vähemmän sitkeää ja ominaisuuksiltaan heikompaa kuin rauduskoivu. Hieskoivua ja rauduskoivua ei erotella metsäteollisuudessa vaan niistä käytetään yhteisnimeä koivu. Koivussa sydän- ja pintapuussa ei ole juurikaan eroa. Puuaine koivussa on vaalea, eikä koivun kevät- ja kesäpuun välillä ole isoja eroja. Koivun tiheys on keskimäärin 590–740 kg/m<sup>3</sup>. (Puuinfo Oy 2020a.)

Koivua käytetään vaneriteollisuudessa, koska koivu on vahvaa ja lujaa materiaalia. Koivuvanerin käyttökohteita ovat erikoislattiat sekä myös vaativat sisäverhoukset, huonekaluteollisuus, kuljetusvälineiteollisuus ja betonimuotit. (Puuinfo Oy 2020c.)

### 2.2 Modifioitu puu

Puun ominaisuuksia voidaan parantaa sekä muuttaa erilaisilla käsittelyillä ja tekniikoilla. Käyttökohteen asettamien vaatimusten mukaisesti kehitettyä puuta kutsutaan tekniseksi puuksi. Puuta voidaan muokata ja jalostaa käyttämällä erilaisia parametreja, esim. painetta, lämpöä, upottamista tai kemikaaleja. Puun tiheyttä ja lujuutta sekä pintakovuutta voidaan lisätä puristamalla puuta kokoon. (Puuinfo Oy 2020b.)

Puun puristusaine ja lämpötila vaikuttavat lopputuotteen pysyvyyteen. Vaikka puuta olisi käsitelty eri menetelmillä, niin yli 90 % kosteudessa puu alkaa palautua ennalleen. Puun puristuvuudella voidaan parantaa paloturvallisuutta, koska hiiltyminen ja syttymisherkkyys on pienempää. Tämä siitä syystä, koska puun puristaminen lisää puun kovuutta. Puukuituja modifioimalla voidaan mahdollistaa yhteensopivuutta muiden materiaalien kanssa. (Viitaniemi ja Jämsä 1/1997.)

### 2.3 Termomekaaninen modifiointi

Termomekaanisessa modifioinnissa käytetään lämpökäsittelyä yhdessä mekaanisen puristuksen kanssa. Puristamisella pääsääntöisesti poistetaan solujen ja niiden välistä tyhjää tilaa. Pysyvää puristumista saadaan puun vahvojen ligniinien ja selluloosan välisten sidosten takia. On todettu, että puristettuun viiluun lämmön johtuminen on nopeampaa. Puristamalla viilua saadaan vanerin puristusaikaa lyhennettyä. Termomekaanisella modifioinnilla

saadaan puu tiivistymään, parannetaan mekaanisia ominaisuuksia sekä vähennetään hygroskooppisuutta. Viilujen modifioinnilla pyritään saamaan liima sidosta paremmaksi viiluista tuotettuihin tuotteisiin. Viilujen tiivistämisellä on todistettu saavutettavan parempaa viilun sekä lopputuotteen pinnan laatua. (Arruda & Del Menezzi 2013.)

Termomekaanisella modifioinnilla on myös negatiivisia vaikutuksia. Näistä yksi on viilun pinnan inaktivoituminen. Vanerituotannossa tämä aiheuttaa vaikeuksia liimauksessa. (Arruda & Del Menezzi.2016.)

Puristetuista viilulevyistä valmistettu vaneri on ominaisuuksiltaan parempi. Lämmön ja puristeen yhdistelmä voi olla ympäristöystävällisempi menetelmä, koska se vähentää tarvetta sideaineille muissa viilun käsittelyvaiheissa sekä vaikuttaa yleisesti vanerin liimalinjan lujuuteen. (Salca, Bekhta & Seblii 2020). On tutkittu, että nostamalla lämpötilaa saadaan pysyvämpiä tuloksia kuin pidentämällä puristusaikaa. Lämpötilalla on suuri merkitys, koska se vähentää puun veden absorptiota. (Arruda & Del Menezzi 2016).

### 3 MATERIAALIT JA TESTAUSMENETELMÄT

#### 3.1 Viilut ennen käsittelyä

Ennen koivuviilujen käsittelyä tehtiin tiheyslajittelu. Koivuviilujen paksuudet olivat 1,5 mm ja leveys noin 300 mm x 300 mm. Lajitteluvaiheessa viilut numeroitiin ja painot mitattiin, että tiedettiin, mihin tiheysluokkaan viilut laitetaan. Kuvassa 1 näkyy merkitsemisvaihe. Viiluja otettiin mittaamiseen yhteensä 180 kappaletta ja muutamia viiluja otettiin varaviiluiksi, jos viilu hajoaisi tai olisi huonolaatuinen.



Kuva 1. Koivuviilujen merkitsemistä

Viilut lajiteltiin alemman tiheyden luokkaan, jossa painon ylärajana oli 78,75. Ylemmän tiheyden luokassa alarajana oli 81,35 g. Kuvassa 2 näkyy tiheyslajittelua. Keskiläatua olivat ylä- ja alarajan väliin jääneet viilun näytepalat, joita ei tässä työssä käytetty. Viilujen painon keskiarvo oli 80,05 ja keskihajonta 5,14. Keskiarvo laskettiin kaavan 1 mukaan:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

jossa, x=muuttujan arvo ja n=arvojen kappale määrä.

Koivuviilujen lähtötiheydet olivat 544–617 kg/m<sup>3</sup> välillä. Tiheys laskettiin kaavan 2 mukaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

jossa m=massa ja V=tilavuus.



Kuva 2. Tiheyslajittelua

Viilujen tiheyslajittelun jälkeen tehtiin muutkin mittaukset eli väri, leveys sekä paksuus. Tässä vaiheessa koivuviilut oli lajiteltu ja merkattu. Tämän jälkeen osa viiluista laitettiin kosteuskaappiin ja asetettiin eri tavoitekosteuksiin, jotka olivat 4, 10 ja 16 %. Näiden vaiheiden jälkeen odotettiin 2–8 päivää, että viilut olivat tasaantuneet oikeaan kosteuteen.

### 3.1 Tasaannutus

Sääkaappina toimi Vötschin tuote. Sääkaapissa oli kolme hyllyä, joihin mahtui noin 60 kappaletta viiluja kerralla. Osa koivuviiluista laitettiin sääkaappiin, jossa lämpötila oli noin 22 °C ja RH eli huoneilman suhteellinen kosteus 82 %. Näin viilut saivat 16 %:n kosteuden. Osa koivuviiluista laitettiin 10 %:n kosteaan huoneeseen tasaantumaan, jossa RH oli 65 % ja lämpötila 20 °C. Loput olivat 4 %:n kosteudessa huoneilman lämpötilassa. Kosteusprosentti laskettiin kaavan 3 mukaan:

$$\frac{(m_1 - m_2)}{m_2} * 100 \% \quad (3)$$

jossa  $m_1$ = massa puristuksen jälkeen ja  $m_2$ = kuivan viilun massa.

Koivuviilut olivat sääkaapissa muutamia vuorokausia. Ensimmäiset viilut olivat noin viikon ja seuraavat olivat kolme päivää. Kolme päivää riitti ja kosteus oli noin 15 ja 16 % välissä. Kuvassa 2 on Vötschin sääkaappi.



Kuva 2. Vötschin sääkaappi

Kosteus on sääkaapissa säädettävissä välille 0–98 %. Sääkaapissa ilmankosteutta oli välillä nostettava, jotta saavutettiin 16 %:n kosteus viiluihin. Sääkaapin käyttö oli helppoa, ja kosteutta pystyi tarvittaessa muuttamaan, vaikka viilut olivat sääkaapin sisällä.

### 3.1 Painon ja leveyden mittaaminen

Tasaannutuksen jälkeen ennen puristusta viiluista mitattiin paino ja leveys. Viilun alkupe-  
räisestä painosta nähdään hyvin, kuinka paljon paino muuttuu käsittelyssä. Viilujen painon

mittaamisessa käytin Precisa-vaaka. Precisa-vaaka toimi tässä mittaamisessa hyvin. Kuvassa 3 nähdään presica-vaaka.



Kuva 3. Precisa vaaka

Kuvassa näkyy pyöreät kartonkipalat. Kartonkipaloja käytettiin, että paino olisi tarkempi ja viilu pysyisi suurempana. Leveyden mittaamiseen käytettiin perinteistä rullamittaa. Jokaisesta viilusta otettiin leveys ja pituus. Viilut olivat noin 300 x 300 mm ja paksuus oli 1,5–1,6 mm välissä.

### 3.2 Puristaminen

Koivuviilujen modifioinnissa käytettiin Bürkle-laboriopuristinta. Puristin on sähkö-hydraulitoiminen ja sähkölämmitteinen. Puristin on alun perin ollut useampivälinen, mutta nyt ainoastaan käytetään yksivälisenä. (Bürkle-puristimen käyttöohje 2021). Kuvassa 4 nähdään Bürkle-laboriopuristin.



Kuva 4. Bürkle-laboratoriopuristin

Puristimeen laitettiin aina yksi viilu kerrallaan. Viilun koko oli noin 300x300 mm ja paksuus oli keskimäärin 1,50 mm. Koivuviiluja käsiteltiin eri lämpötiloissa, paineissa sekä puristusajoilla. Taulukossa 1 on mittaamisen eri parametrit. Lämpötiloina käytettiin 120°C, 160°C ja 200 °C. Paineet olivat 2, 6 ja 10 megapascalia. Viilujen puristusaika oli joko 2, 4 tai 6 minuuttia. Muutosprosentti laskettiin, että saatiin tietää, kuinka paljon muuttunut alkuperäisestä. Muutosprosentti laskettiin kaavan 4 mukaan:

$$\text{muutosprosentti} = \frac{\text{muutos}}{\text{alkuperäinen}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)
1	Low	4	2	120	6
2	High	4	2	120	2
3	Low	16	2	120	2
4	High	16	2	120	6
5	Low	4	10	120	2
6	High	4	10	120	6
7	Low	16	10	120	6
8	High	16	10	120	2
9	Low	4	2	200	2
10	High	4	2	200	6
11	Low	16	2	200	6
12	High	16	2	200	2
13	Low	4	10	200	6
14	High	4	10	200	2
15	Low	16	10	200	2
16	High	16	10	200	6
17	Low	10	6	160	4
18	High	10	6	160	4

Taulukko 1. Mittaamisen eri parametrit

Sääkaapista otettiin aina viisi viilua kerrallaan, jotka laitettiin tiivistettyihin pusseihin. Tällä varmistettiin, että kosteus ei muuttuisi liikaa ennen puristusta.

### 3.3 Värimittaus

Viilun värimittauksessa käytettiin Konica Minolta CM-26d-värimittauslaitetta. Värimittauslaite antoi erilaisia arvoja ja tärkeimmät niistä olivat L\*, a\* ja b\*. (Konica Minolta 2020). Kuvassa 6 nähdään Konica Minon CM-26d-värimittauslaite, jota käytettiin mittaamiseen.



Kuva 6. CM-26d värimittauslaite

$L^*$  on valoisuus,  $a^*$  taas antaa punainen-vihreän väriarvon ja  $b^*$  antaa sinikeltaisen, jotka ovat käänteisvärien koordinaattisuunnat.  $L^*$  saa arvoja väliltä 0–100, kun taas  $a$ - ja  $b$ -arvot ovat sekä positiivisia että negatiivisia. (Konica Minolta 2020).

Värimittauslaiteelta otettiin jokaiselta kirjaimelta keskiarvo ja keskihajonta. Keskiarvo ja keskihajonta saatiin viilusta mittaamalla viidestä eri kohdasta, ja laite antoi sen jälkeen automaattisesti luvut. Värimittauksen tarkoitus oli vertailla värimuutosta viilussa ennen ja jälkeen puristuksen.

### 3.4 Paksuuden mittaus

Paksuuden mittauksessa käytettiin Veb Werkstoffprüfmaschinen Leipzig-laitetta, joka on valmistettu Saksassa. Kuvassa 7 nähdään paksuus mittari. Kyseessä on erittäin vanha paksuuden mittari, mutta tässä työssä se toimi erittäin hyvin.



Kuva 7. Paksuus mittari

Paksuuden mittaukset tehtiin ennen puristusta ja puristuksen jälkeen, sekä viilujen veteen upotuksen ja uunikuivatuksen jälkeen. Paksuuden mittausta varten jokaiseen viiluun tehtiin kulmiin merkinnät, josta saatiin mitattua paksuus. Merkintä laitettiin lyijykynällä, koska tussi olisi levinnyt puristuksessa. Merkintä helpotti mittaamista, koska näin arvo saatiin samasta kohdasta ja arvot olivat tarkempia.



Kuva 8. Koivuviilun merkinnät

Viilujen paksuuden mittauksen jälkeen jokaiselle ryhmälle laskettiin keskiarvo. Kuvassa 8 nähdään paksuuden mittaamista varten tehdyt merkinnät. Jokaisessa viilussa oli aina viilun numero merkittynä. Merkitsemällä viilut oli helpompaa seurata tuloksia taulukosta, josta löytyi myös viilujen kosteusprosentit sekä tiheysluokka.

### 3.5 Viilujen upottamisprosessi

Koivuviilut upotettiin veteen puristusvaiheen jälkeen. Koivuviilujen upottamisprosessissa oli tarkoitus selvittää kuinka upottaminen vaikuttaa viiluun. Kuvassa 10 nähdään, kuinka viilut on upotettu. Vedellä täytetyt ämpärit toimivat altaassa painoina viilujen päällä. Palautumisprosentti laskettiin, että saatiin tietää, kuinka paljon muuttunut alkuperäisestä.

Palautumisprosentti laskettiin kaavan 5 mukaan:

$$\text{palautumisprosentti} = \frac{t_s - t_d}{t_u - t_d} \cdot 100\% \quad (5)$$

jossa  $t_s$ =viilun paksuus uunin jälkeen,  $t_d$ =viilun paksuus puristuksen jälkeen ja  $t_u$ =viilun alkuperäinen paksuus.



Kuva 10. Viilujen upottamisvaihe.

Viilujen upottamisprosessissa laitettiin kaikki 180 kappaletta kahdeksi vuorokaudeksi veteen. Viilut olivat vedessä noin 40–48 tuntia. Viilut mitattiin upottamisen jälkeen märkänä. Tässä vaiheessa mitattiin vain paksuus, leveys sekä paino. Näiden vaiheiden jälkeen viilut menivät uuniin kahdeksi vuorokaudeksi.

### 3.6 Viilujen kuivausprosessi

Viilujen kuivausprosessi kesti reilu kaksi vuorokautta. Viilut menivät uuniin siinä vaiheessa, kun lämpötila oli 103° C. Viilut aseteltiin eri kerroksiin ja mahdollisimman väljästi. Uunit eivät olleet tilavia, mutta pienet vanerin palat viilujen välissä auttoivat viiluja kuivumaan nopeammin. Viilujen kuivumisprosessissa tärkeintä oli, että viilut olisivat mahdollisimman kuivat ja niistä saataisiin mahdollisimman tarkat tulokset.

Viilut olivat olleet noin 48–55 tuntia uunissa ja viilut mitattiin aina 5–10 kappaleen ryhmissä. Tämä sen takia, että viilujen tulokset olisivat mahdollisimman tarkat ja oikeat. Puu muuttuu eriolosuhteissa jatkuvasti, joten on erittäin tärkeää mitata ne juuri sillä hetkellä ennen kuin niihin sitoutuu kosteutta. Viilujen mittaukset olivat samat kuin upottamisprosessin jälkeiset mittaukset eli paino, paksuus sekä leveys.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Paksuuden muutokset

Paksuuden muutoksien tuloksissa näkyy alkuperäisen viulun paksuus sekä puristuksen, upotuksen ja uunin jälkeinen paksuus. Ensimmäiseksi käsitellään puristuksen aiheuttamat paksuudenmuutokset.

4 % kosteilla viuluilla paksuus on joissain ryhmissä mennyt puristuksen jälkeen alle 1 mm. Koivuviulujen alkuperäinen paksuus oli 1,5 mm. Taulukossa 2 nähdään paksuuden muutos prosentteina puristuksen jälkeen.

Monista 4 %:n ryhmistä on puristunut kasaan yli 37 % viulun paksuutta ja suurin muutos ryhmässä 13, jossa paksuutta on puristunut kasaan melkein 49 %. Tähän suurimpaan muutokseen on vaikuttanut korkea paine ja suuri lämpötila. Ryhmässä 13 puristusaine on ollut 10 megapascalina, viulut ovat olleet kuusi minuuttia puristimessa ja lämpötila on ollut 200 astetta. Kaikissa 4 %:n ryhmissä, joissa paksuus on puristuksen jälkeen alle 1 mm on paine ollut 10 megapascalina. Tästä voidaan päätellä että, paineella on suurin merkitys paksuuden muutokseen.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen paksuus (mm)	Alkuperäisen paksuuden keskihajonta (mm)	Paksuus puristuksen jälkeen (mm)	Puristuksen jälkeinen keskihajonta (mm)	Paksuuden muutos
1	Low	4	2	120	6	1,5	0,03	1,4	0,04	-9 %
2	High	4	2	120	2	1,5	0,02	1,4	0,01	-7 %
3	Low	16	2	120	2	1,5	0,02	1,2	0,04	-20 %
4	High	16	2	120	6	1,5	0,01	1,2	0,01	-19 %
5	Low	4	10	120	2	1,5	0,04	0,9	0,05	-37 %
6	High	4	10	120	6	1,5	0,01	1,0	0,02	-32 %
7	Low	16	10	120	6	1,5	0,02	0,8	0,03	-46 %
8	High	16	10	120	2	1,5	0,03	1,0	0,03	-35 %
9	Low	4	2	200	2	1,5	0,02	1,3	0,01	-14 %
10	High	4	2	200	6	1,5	0,01	1,3	0,01	-10 %
11	Low	16	2	200	6	1,5	0,01	1,2	0,07	-22 %
12	High	16	2	200	2	1,5	0,02	1,2	0,02	-19 %
13	Low	4	10	200	6	1,5	0,01	0,8	0,04	-49 %
14	High	4	10	200	2	1,5	0,02	1,0	0,02	-36 %
15	Low	16	10	200	2	1,5	0,01	0,8	0,03	-46 %
16	High	16	10	200	6	1,5	0,03	0,8	0,03	-44 %
17	Low	10	6	160	4	1,5	0,02	1,1	0,04	-30 %
18	High	10	6	160	4	1,5	0,02	1,2	0,02	-23 %
19	Low	Käsittelemättömät viulut				1,5				
20	High	Käsittelemättömät viulut				1,5				

Taulukko 2. Puristuksen aiheuttama paksuuden muutos

Taulukossa 2 huomataan, että ryhmistä 17 ja 18 eli 10 %:n kosteista on puristuksessa puristunut kasaan paksuutta noin 0,3–0,4 mm. Paine on ollut 6 megapascalia ja lämpötila vain 160 astetta, joten muutokset paksuuteen eivät ole niin suuria kuin korkeammalla paineella ja lämpötilalla.

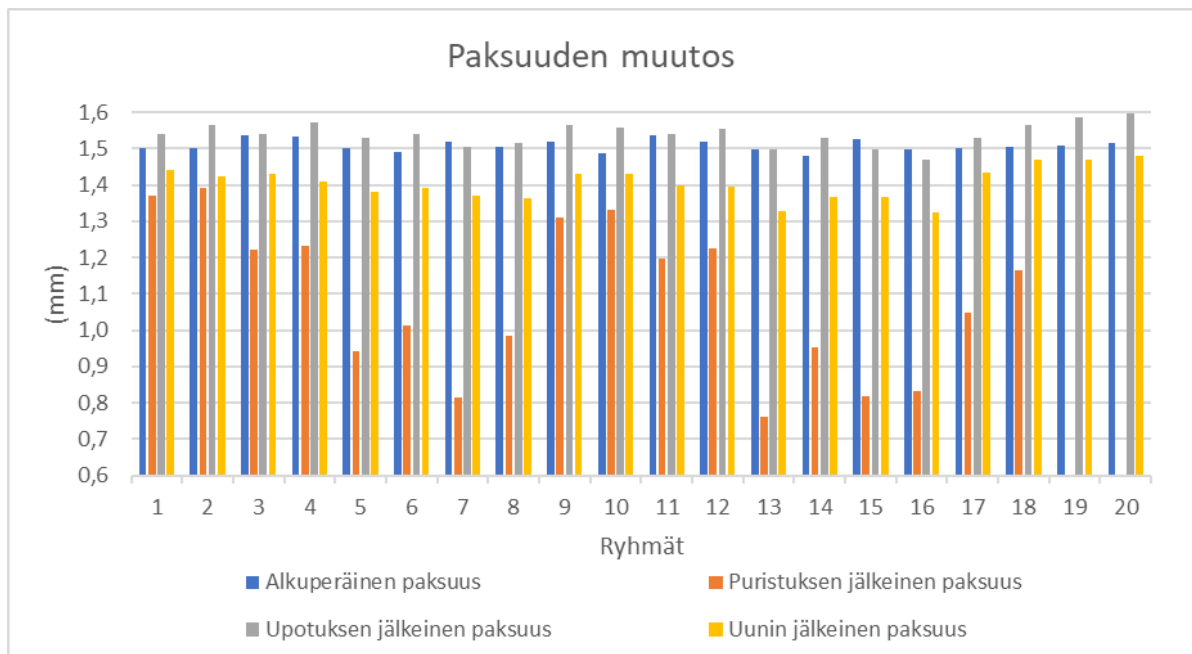
Puristuksen jälkeen paksuuden pienentyminen 16 %:ssa ryhmissä on ollut suurinta, joissa paine on ollut 10 megapascalia ja lämpötila 200 astetta. Taulukossa 2 nähdään, että niissä ryhmissä on menty alle 1 mm, joissa on käytetty korkeaa painetta ja lämpötilaa.

Upottamisen ja uunin jälkeen 4 %:n viilut ovat palautuneet lähelle alkuperäistä paksuutta. Uunin jälkeen viilut ovat jääneet 1,4 mm eli viiluista on vähentynyt pysyvästi paksuutta 0,1 mm alkuperäiseen paksuuteen nähden. Taulukossa 3 on esitetty, kuinka viilu on palautunut prosenteissa.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Paksuus puristuksen jälkeen (mm)	Puristuksen jälkeinen keskihajonta (mm)	Paksuus upotuksen jälkeen (mm)	Keskihajonta (mm)	Paksuus uunin jälkeen (mm)	Keskihajonta (mm)	Viilun palautuminen %
1	Low	4	2	120	6	1.37	0.04	1.54	0.04	1.44	0.04	53
2	High	4	2	120	2	1.39	0.01	1.57	0.02	1.42	0.03	30
3	Low	16	2	120	2	1.22	0.04	1.54	0.02	1.43	0.03	66
4	High	16	2	120	6	1.23	0.01	1.57	0.01	1.41	0.02	59
5	Low	4	10	120	2	0.94	0.05	1.53	0.03	1.38	0.03	79
6	High	4	10	120	6	1.01	0.02	1.54	0.01	1.39	0.01	79
7	Low	16	10	120	6	0.81	0.03	1.50	0.02	1.37	0.03	79
8	High	16	10	120	2	0.98	0.03	1.52	0.03	1.36	0.03	73
9	Low	4	2	200	2	1.31	0.01	1.56	0.01	1.43	0.03	59
10	High	4	2	200	6	1.33	0.01	1.56	0.01	1.43	0.04	62
11	Low	16	2	200	6	1.20	0.07	1.54	0.01	1.40	0.05	59
12	High	16	2	200	2	1.23	0.02	1.55	0.02	1.40	0.02	58
13	Low	4	10	200	6	0.76	0.04	1.50	0.02	1.33	0.02	77
14	High	4	10	200	2	0.95	0.02	1.53	0.01	1.37	0.04	78
15	Low	16	10	200	2	0.82	0.03	1.50	0.02	1.37	0.04	77
16	High	16	10	200	6	0.83	0.03	1.47	0.04	1.32	0.05	74
17	Low	10	6	160	4	1.05	0.04	1.53	0.01	1.43	0.03	85
18	High	10	6	160	4	1.16	0.02	1.56	0.02	1.47	0.03	90
19	Low	Käsittelemättömät viilut						1.59	0.03	1.47	0.05	1
20	High	Käsittelemättömät viilut						1.60	0.01	1.48	0.02	1

Taulukko 3. Upotuksen ja uunin jälkeiset muutokset paksuuteen

Taulukossa 3 on uunin jälkeiset paksuuden muutoksen tulokset. Paksuus on muuttunut ryhmässä 17 vain 0,1 mm alkuperäisestä paksuudesta. Viilun palautuminen on suurinta ryhmissä, joissa lämpötila ja paine on ollut korkeinta. Voimme todeta, että upotuksen ja uunin jälkeen suurta paksuuden pienentymistä ei tullut. Taulukossa 3 huomataan, kuinka uunin jälkeen ei ole kuin 0,1–0,2 mm vähentyminen alkuperäiseen paksuuteen. Kuviossa 1 puristettujen viilujen paksuus muutokset.



Kuvio 1. Ryhmien paksuuden muutoksia

## 4.2 Leveyden muutos

Tuloksissa näkyy alkuperäisen viulun leveys sekä puristuksen, upotuksen ja uunin jälkeinen leveys. Ensimmäiseksi käsitellään puristuksen aiheuttamat leveyden muutokset. Leveyden mittaamisessa on epätarkkuutta ja haasteita johtuen viilujen kupruisuudesta.

Leveys 4 % kosteilla viiluilla ei ole muuttunut juurikaan puristuksen jälkeen. Taulukosta 4 nähdään, kuinka korkealla paineella, lämpötilalla ja pitkällä puristusajalla ei ole saatu juurikaan muutosta. Keskihajonta on neljässä ryhmässä 0.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen leveys (mm)	Keskihajonta (mm)	Leveys puristuksen jälkeen (mm)	Keskihajonta (mm)	Leveyden muutos%
1	Low	4	2	120	6	308	0	308	0	0,0 %
2	High	4	2	120	2	308	0	308	0	0,0 %
3	Low	16	2	120	2	313	3	311	2	-0,7 %
4	High	16	2	120	6	317	0	312	1	-1,5 %
5	Low	4	10	120	2	304	4	305	4	0,4 %
6	High	4	10	120	6	307	1	308	1	0,1 %
7	Low	16	10	120	6	314	1	314	2	-0,1 %
8	High	16	10	120	2	316	1	317	2	0,2 %
9	Low	4	2	200	2	306	0	304	4	-0,8 %
10	High	4	2	200	6	306	0	305	2	-0,2 %
11	Low	16	2	200	6	313	2	310	2	-1,0 %
12	High	16	2	200	2	315	2	313	2	-0,8 %
13	Low	4	10	200	6	306	2	307	2	0,5 %
14	High	4	10	200	2	306	1	306	2	0,1 %
15	Low	16	10	200	2	316	2	314	3	-0,6 %
16	High	16	10	200	6	314	1	311	2	-1,0 %
17	Low	10	6	160	4	310	2	308	3	-0,6 %
18	High	10	6	160	4	311	2	311	3	0,1 %
19	Low	Käsitlemättömät viilut				308				
20	High	Käsitlemättömät viilut				308				

Taulukko 4. Puristuksen aiheuttama leveyden muutos

Leveys 10 % kosteissa viiluissa ei muuttunut kuin muutaman millimetrin ryhmässä 17. Taulukossa 4 leveyden muutos on olematon 10 % kosteissa ryhmissä. Tämä johtuu osittain lyhyestä puristusajasta ja matalasta lämpötilasta.

Taulukossa 4 katsottaessa huomataan että, alkuperäiseltä leveydeltään leveimpiä ovat 16 % kosteat viilut, koska niissä on ollut eniten kosteutta. Viilut ovat imeneet kosteutta itseensä sääkaapissa, jolloin myös leveys kasvanut. Puristuksen jälkeen 16 % kosteissa ryhmissä ei tapahtunut leveydessä suurta muutosta.

Taulukosta 5 huomataan, että uunin jälkeen lähes kaikki 4 % kosteat viilut ovat alle 300 mm leveitä eli leveys on pienentynyt alkuperäisestä. Suurin syy leveyden muutokseen on korkea lämpötila. Lämpötilalla on saatu viiluista kosteutta pois, joten kuivuminen on myös syy viilujen leveyden pienentymiseen.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen leveys (mm)	Upotuksen jälkeen (mm)	Keskihajonta (mm)	Uunin jälkeen (mm)	Keskihajonta (mm)	Muutos	
1	Low	4	2	120	6	308	328	4	295	4	-10 %	
2	High	4	2	120	2	308	331	2	298	2	-10 %	
3	Low	16	2	120	2	313	331	4	298	4	-10 %	
4	High	16	2	120	6	317	332	2	294	2	-11 %	
5	Low	4	10	120	2	304	328	4	298	3	-9 %	
6	High	4	10	120	6	307	333	2	297	3	-11 %	
7	Low	16	10	120	6	314	333	1	295	3	-12 %	
8	High	16	10	120	2	316	335	1	293	2	-12 %	
9	Low	4	2	200	2	306	328	4	292	2	-11 %	
10	High	4	2	200	6	306	331	2	293	3	-11 %	
11	Low	16	2	200	6	313	327	1	293	3	-10 %	
12	High	16	2	200	2	315	332	2	293	2	-12 %	
13	Low	4	10	200	6	306	336	3	302	2	-10 %	
14	High	4	10	200	2	306	302	1	295	1	-2 %	
15	Low	16	10	200	2	316	332	4	299	4	-10 %	
16	High	16	10	200	6	314	335	4	298	4	-11 %	
17	Low	10	6	160	4	310	330	4	295	3	-11 %	
18	High	10	6	160	4	311	332	3	294	2	-11 %	
19	Low	Käsittelemättömät viilut					308	330	2	295	2	-11 %
20	High	Käsittelemättömät viilut					308	329	2	265	2	-19 %

Taulukko 5. Upotuksen ja uunin jälkeiset muutokset leveyteen

Taulukossa 5 näkyy, kuinka uunin jälkeen 10 %:n kosteissa ryhmistä viilut ovat pienentyneet leveydeltään 15 mm. Viilut olivat uunissa yli kaksi päivää, jolloin viilun kosteus on vähentynyt ja leveyden muutos on ollut suurta. 16 %:ssa ryhmissä leveys pienentynyt alle 300 mm, mutta viilut olivat kupruisia, joten tulos edelleen epätarkka.

#### 4.3 Tiheyden muutokset

Tuloksissa näkyy alkuperäisen viilun tiheys sekä puristuksen, upotuksen ja uunin jälkeinen tiheys. Ryhmien kesken on tehty vertailua tiheyden muutoksista. Ensimmäiseksi käsitellään puristuksen aiheuttama tiheyden muutos.

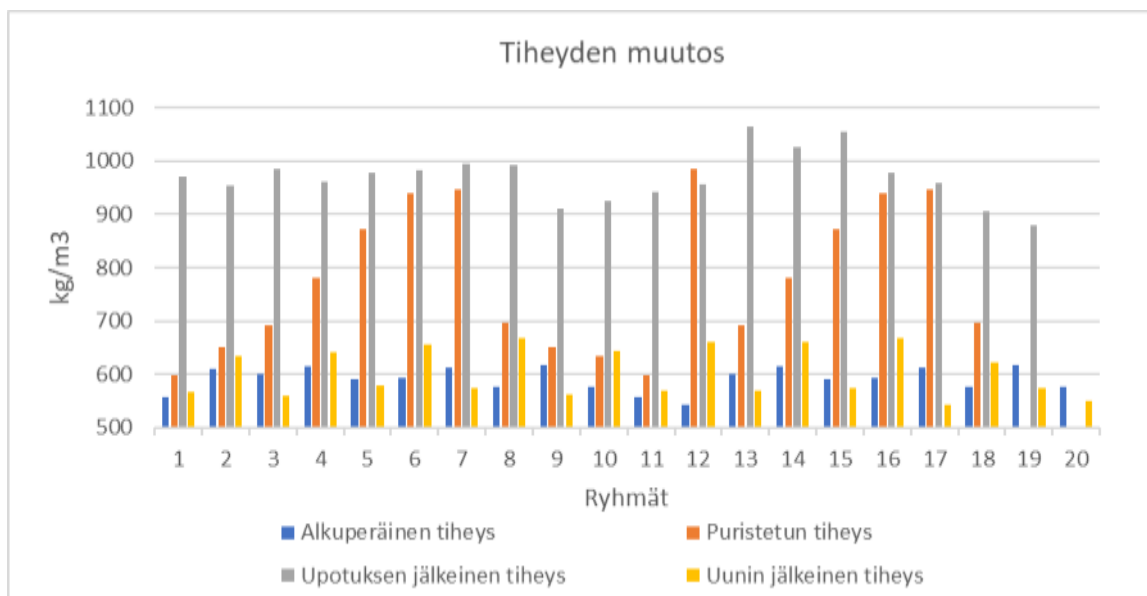
Puristuspaine ja lämpötila vaikuttavat eniten tiheyden muutokseen. Tiheys on kasvanut puristuksen jälkeen muutamissa ryhmissä yli 50 %. Taulukossa 6 nähdään, että ryhmissä 13–16 on isoin puristuspaine 10 MPa ja korkealämpötila 200 °C, mutta ei suurta muutosta tiheydessä. Ryhmässä 12, jossa lämpötila on ollut korkea ja paine pieni, niin tiheys on kasvanut eniten.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Keskihajonta (kg/m <sup>3</sup> )	Puristuksen jälkeen (kg/m <sup>3</sup> )	Keskihajonta (kg/m <sup>3</sup> )	Tiheyden muutos
1	Low	4	2	120	6	557	16	598	19	7 %
2	High	4	2	120	2	610	12	651	11	7 %
3	Low	16	2	120	2	601	18	693	24	15 %
4	High	16	2	120	6	615	9	781	11	29 %
5	Low	4	10	120	2	592	25	872	26	48 %
6	High	4	10	120	6	594	11	939	15	59 %
7	Low	16	10	120	6	612	9	947	27	56 %
8	High	16	10	120	2	576	12	696	12	19 %
9	Low	4	2	200	2	617	9	650	8	6 %
10	High	4	2	200	6	576	14	635	13	10 %
11	Low	16	2	200	6	557	10	598	38	10 %
12	High	16	2	200	2	544	16	984	11	82 %
13	Low	4	10	200	6	601	16	693	36	49 %
14	High	4	10	200	2	615	8	781	12	65 %
15	Low	16	10	200	2	592	27	872	20	50 %
16	High	16	10	200	6	594	26	939	42	27 %
17	Low	10	6	160	4	612	19	947	27	29 %
18	High	10	6	160	4	576	14	696	14	18 %
19	low	Käsitlemättömät viilut				617				
20	High	Käsitlemättömät viilut				576				

Taulukko 6. Puristuksen aiheuttama tiheyden muutos

Tiheyden muutos 10 % kosteissa viiluissa puristuksen jälkeen on ryhmässä 17 selvästi suurempaa kuin ryhmässä 18. Taulukossa 6 nähdään tiheyden muutos prosentteina. Alhaisemmalla tiheydellä on suurempi potentiaali kasvaa ja alhaisemman tiheyden puulla on heikommat lujuusominaisuudet, joten viilu puristuu kasaan helpommin.

Kuviossa 2 nähdään miten eri vaiheet ovat vaikuttaneet jokaisessa ryhmässä. 16 % kosteat viilut muuttuivat tiheydeltään eniten puristuksen jälkeen. Näille viiluille käytettiin korkeaa puristuspainetta ja lämpötilaa. Tiheys on kasvanut jokaisessa ryhmässä ja erityisesti ryhmässä 12. Puristuksen jälkeen ryhmässä 12 paine on ollut pieni, mutta lämpötila 200°C, jolloin lyhyessä ajassa on saatu viiluihin muutosta.



Kuvio 2. Tiheyden muutoksia ryhmissä

Taulukossa 7 nähdään, kuinka uunin jälkeen tiheys palautui monissa 4 % kosteissa viiluissa alkuperäiseen tiheyteen ja muutamissa tiheyteen tuli pientä kasvua. Ryhmissä, joissa on käytetty korkeaa lämpötilaa, tiheys on kasvanut eniten. Taulukossa 7 näkyy selvästi, että 10 %:ssa ryhmässä 18 tiheys lisääntyi pienissä määrin uunin jälkeen. Paine ja lämpötila eivät ole olleet korkeita, joten tästä syystä muutos on ryhmässä 18 pientä.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Keskihajonta (kg/m <sup>3</sup> )	Uunin jälkeen (kg/m <sup>3</sup> )	Keskihajonta (kg/m <sup>3</sup> )	Muutos alkuperäisestä
1	Low	4	2	120	6	557	16	567	10	2 %
2	High	4	2	120	2	610	12	634	13	4 %
3	Low	16	2	120	2	601	18	559	18	-7 %
4	High	16	2	120	6	615	9	642	27	4 %
5	Low	4	10	120	2	592	25	580	24	-2 %
6	High	4	10	120	6	594	11	656	18	10 %
7	Low	16	10	120	6	612	9	573	20	-6 %
8	High	16	10	120	2	576	12	668	12	16 %
9	Low	4	2	200	2	617	9	561	13	-9 %
10	High	4	2	200	6	576	14	644	18	12 %
11	Low	16	2	200	6	557	10	569	23	2 %
12	High	16	2	200	2	544	16	660	15	21 %
13	Low	4	10	200	6	601	16	569	29	-5 %
14	High	4	10	200	2	615	8	661	19	8 %
15	Low	16	10	200	2	592	27	573	30	-3 %
16	High	16	10	200	6	594	26	667	23	12 %
17	Low	10	6	160	4	612	19	542	48	-11 %
18	High	10	6	160	4	576	14	623	11	8 %
19	low	Käsitlemättömät viilut				617		574	13	-7 %
20	High	Käsitlemättömät viilut				576		550	15	-4 %

Taulukko 7. Uunin jälkeiset muutokset tiheyteen

Taulukossa 7 huomataan, kuinka uunin jälkeen osassa 16 %:n ryhmissä on tullut tiheyden lisääntymistä ja osassa on vähentynyt tiheys. Tiheyden pienentymistä on tapahtunut low tiheysluokan viiluissa. Voidaan päätellä tämän johtuvan upotuksen aiheuttamasta haitasta alemman tiheysluokan viiluissa.

Isoimmat muutokset olivat 4 ja 16 % kosteiden viilujen ryhmissä. Puristusaine ja lämpötila ovat suurimmat vaikuttajat tiheyden muutokseen. Jos ei ole huomattavaa puristusainetta, niin ei tiheyskään juuri muutu. Joissain viiluryhmissä tiheys on korkeampi upottamisen ja uunin jälkeen, joten tiheyden kasvu onnistunut.

#### 4.4 Kosteuden muutos

Tuloksissa näkyy alkuperäisen viulun sekä puristuksen jälkeinen kosteus. Ryhmien kesken on tehty vertailua kosteuden muutoksista. Ensimmäiseksi käsitellään puristuksen aiheuttamat kosteuden muutokset.

Kosteuden muutos puristuksen jälkeen alkuperäiseltä kosteudeltaan 4 % olleissa viiluissa on ollut vaihtelevaa. Suurimmasta osasta on vähentynyt 1–93 % kosteutta. Eniten kosteutta on vähentynyt ryhmistä, joissa on käytetty korkeaa painetta ja lämpötilaa. Taulukossa 11 on prosenttimuutokset puristuksen jälkeen. Osassa näyttää lisääntyneen kosteus, mutta se on mittavirhe. Muutamissa ryhmissä kosteus on mennyt alle prosentin.

Muutamissa ryhmissä kosteus on vähentynyt alle 4 %, mutta pääasiassa kaikissa 4 % ryhmissä kosteusprosentti pieneni tai pysyi samana. Taulukossa 8 on 10 % ryhmien kosteus erot. Ryhmässä 18 on vähentynyt 88 % kosteutta. Ryhmässä 17 on 29 % kosteutta vähentynyt, mutta ryhmän viulut ovat jääneet alle 8 % kosteuteen.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila	Aika (min)	Alkuperäinen kosteus %	Puristuksen jälkeinen kosteus %	Keskijajonta	Puristuksen jälkeinen kosteuden muutos
1	Low	4	2	120	6	4	5,0	2,5	21 %
2	High	4	2	120	2	4	3,8	0,3	-5 %
3	Low	16	2	120	2	16	7,2	1,5	-55 %
4	High	16	2	120	6	16	6,5	4,4	-60 %
5	Low	4	10	120	2	4	3,9	0,4	-4 %
6	High	4	10	120	6	4	4,0	0,4	1 %
7	Low	16	10	120	6	16	8,1	0,7	-49 %
8	High	16	10	120	2	16	8,8	0,8	-44 %
9	Low	4	2	200	2	4	0,3	0,3	-92 %
10	High	4	2	200	6	4	0,3	0,2	-93 %
11	Low	16	2	200	6	16	0,5	0,3	-97 %
12	High	16	2	200	2	16	0,3	0,3	-99 %
13	Low	4	10	200	6	4	2,3	5,2	-47 %
14	High	4	10	200	2	4	0,6	0,4	-86 %
15	Low	16	10	200	2	16	1,6	0,7	-89 %
16	High	16	10	200	6	16	3,9	0,8	-76 %
17	Low	10	6	160	4	10	7,8	9,8	-29 %
18	High	10	6	160	4	10	1,3	0,3	-88 %

Taulukko 8. Kosteuden muutoksia puristuksen jälkeen

Taulukosta 8 huomataan, että 16 %:n kaikissa viiluryhmissä on menty alle 10 % kosteuden. Kosteuden pienentymiseen on vaikuttanut korkea paine ja lämpötila. Suurin muutos on ryhmässä 12, jossa on korkealämpötila ja lyhyt puristusaika. Viiluista on vähentynyt lyhyellä puristusajalla 99 % kosteutta.

#### 4.5 Värimuutokset

Tuloksissa näkyy viilujen L\* värimuutos sekä puristuksen jälkeinen värimuutos. Ryhmien kesken on tehty vertailua värimuutoksen muutoksista. Ensimmäiseksi käsitellään 4 % kosteiden viilujen värienmuutoksen tuloksia. L\* on valoisuus. L\* saa arvoja väliltä 0–100. (Konica Minolta 2020).

Taulukossa 9 huomataan, että osassa ryhmissä näkyy plussana ja osalla miinuksena värimuutos. Plussa tarkoittaa, että viilut ovat vaalentuneet ja miinus taas, että viilut ovat tummentuneet. (Konica Minolta 2020).

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen L väri	Puristuksen jälkeen	L* Keskihajonta puristuksen jälkeen	Värimuutos muutos
1	Low	4	2	120	6	86.6	86.6	0.01	0.3 %
2	High	4	2	120	2	87.9	88.1	0.00	0.2 %
3	Low	16	2	120	2	85.1	84.8	0.01	-0.5 %
4	High	16	2	120	6	87.5	87.3	0.00	-0.2 %
5	Low	4	10	120	2	86.6	87.2	0.01	0.7 %
6	High	4	10	120	6	87.8	87.7	0.00	-0.1 %
7	Low	16	10	120	6	87.2	86.0	0.01	-1.3 %
8	High	16	10	120	2	88.0	87.3	0.01	-0.8 %
9	Low	4	2	200	2	87.5	76.5	0.03	-12.6 %
10	High	4	2	200	6	87.8	72.0	0.02	-17.9 %
11	Low	16	2	200	6	87.1	72.1	0.03	-17.2 %
12	High	16	2	200	2	87.9	79.1	0.02	-10.0 %
13	Low	4	10	200	6	87.2	70.2	0.05	-19.5 %
14	High	4	10	200	2	87.9	78.8	0.01	-10.3 %
15	Low	16	10	200	2	87.1	75.1	0.03	-13.8 %
16	High	16	10	200	6	67.9	67.9	0.05	-22.9 %
17	Low	10	6	160	4	83.4	83.4	0.01	-3.3 %
18	High	10	6	160	4	85.2	85.2	0.01	-2.5 %

Taulukko 9. L\* arvon värimuutoksia

Lämpötila on vaikuttanut eniten tummuuden lisääntymiseen. Katsomalla tuloksia taulukosta 9 on selkeä ero lämpötilojen erolla ja suurimmat muutokset tapahtuivat 200 asteen lämpötilassa. 4 % kosteat viilut eivät kokeneet suurta L\* väriarvon muutosta. 10 % kosteat viiluryhmät eivät kokeneet lähes ollenkaan värimuutosta puristuksen jälkeen. Valoisuuden värimuutosta tapahtui 16 % kosteiden viilujen ryhmissä myös vähäisesti. Ryhmässä 16, jossa ollut 200 astetta lämpötila ja puristusaine 10 megapascalia ovat vähän muuttaneet viiluja tummemmiksi.

Seuraavaksi tuloksissa näkyy viilujen a\* värimuutos sekä puristuksen jälkeinen värimuutos. Ryhmien kesken on tehty vertailua värimuutoksen muutoksista. Ensimmäiseksi käsitellään 4 % kosteiden viilujen a\* värimuutoksen tuloksia. a\* antaa punainen-vihreän väriarvon. (Konica Minolta 2020).

Taulukossa 10 nähdään plus- ja miinusmerkkisiä värimuutoksia prosentteina. Plussa tarkoittaa, että väriarvo on punaisempi ja miinus, että väriarvo on vihreämpi (Konica Minolta 2020). Voidaan todeta, että lähes kaikissa 4 % kosteiden viilujen väriarvo on punaisempi puristuksen jälkeen. 4 % kosteiden viilujen värimuutos on kaikista suurinta verrattuna 10 %:n ja 16 %:n ryhmiin. Pienellä kosteusprosentilla saadaan hyvin lisättyä viilujen punai-

suutta. Keskihajonta ei ole suurta, mutta värin muutosta on hieman tapahtunut. 16 % kosteissa viiluryhmissä on kyllä tapahtunut useiden satojen prosenttien värimuutosta, mutta muutos ei ole niin suurta kuin 4 % kosteissa viiluissa. 200°C lämpötilalla ja pitkällä puristusajalla on saatu kasvatettua punaisuutta eniten.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen a väri	Puristuksen jälkeen	a* Keskihajonta purituksen jälkeen	Värimuutos muutos
1	Low	4	2	120	6	2.5	2.5	0.08	-3%
2	High	4	2	120	2	1.8	1.7	0.07	-10%
3	Low	16	2	120	2	3.3	3.6	0.10	6%
4	High	16	2	120	6	2.0	1.9	0.12	-2%
5	Low	4	10	120	2	2.5	2.4	0.21	-5%
6	High	4	10	120	6	1.8	1.7	0.12	-2%
7	Low	16	10	120	6	2.3	2.6	0.08	15%
8	High	16	10	120	2	2.3	2.1	0.11	18%
9	Low	4	2	200	2	2.0	5.7	0.38	187%
10	High	4	2	200	6	1.6	6.3	0.61	302%
11	Low	16	2	200	6	2.5	6.8	0.41	183%
12	High	16	2	200	2	1.9	4.6	0.32	146%
13	Low	4	10	200	6	2.1	6.8	0.52	229%
14	High	4	10	200	2	1.8	4.9	0.39	179%
15	Low	16	10	200	2	2.3	5.6	0.41	143%
16	High	16	10	200	6	2.0	6.8	0.31	241%
17	Low	10	6	160	4	2.3	3.4	0.69	66%
18	High	10	6	160	4	1.8	2.4	0.39	36%

Taulukko 10. a\* väriarvon muutoksia

Taulukossa 11 esitetään b\* väriarvon tuloksia, joissa näkyy alkuperäisen viulun b\* väriarvo sekä puristuksen jälkeinen värimuutos. Ryhmien kesken on tehty vertailua värimuutoksista. Ensimmäiseksi käsitellään 4 % kosteiden viilujen b\* värienmuutoksen tuloksia. b\* antaa sinikeltaisen, jotka ovat käänteisvärien koordinaattisuunnat. (Konica Minolta 2020).

Taulukossa 11 on plus- ja miinusmerkkisiä värimuutoksia prosentteina. Plussa tarkoittaa, että värimuutos on keltaisempi ja miinusmerkkinen tarkoittaa, että värimuutos on sinisempi. (Konica Minolta 2020). 4 % kosteiden viilujen ryhmissä keskihajonta on pientä ja kaikki nämä viiluryhmät ovat keltaisempia väriarvoltaan. 120°C lämpötilalla saatu 4 % kosteisiin viiluihin vain muutaman prosentin värimuutosta. Kahdeksassa ensimmäisessä ryhmässä b\* värimuutos on vain muutamia prosentteja, tämä johtuu alhaisesta 120°C:sen lämpötilasta. Suurin b\* väriarvon muutos on 43 %, joka on tapahtunut ryhmässä 10. Suurin muutos on saatu, kun lämpötila on ollut 200°C ja puristusaika on ollut 6 minuuttia.

Ryhmä	Tiheysluokka	Kosteus %	Paine (Mpa)	Lämpötila (°C)	Aika (min)	Alkuperäinen b väri	Puristuksen jälkeen	b* Keskihajonta purituksen jälkeen	Värimuutos muutos
1	Low	4	2	120	6	17.0	17.3	0.04	2%
2	High	4	2	120	2	16.8	16.9	0.03	1%
3	Low	16	2	120	2	18.3	18.1	0.02	-1%
4	High	16	2	120	6	17.4	17.6	0.02	1%
5	Low	4	10	120	2	17.6	17.1	0.03	-3%
6	High	4	10	120	6	16.8	17.4	0.03	4%
7	Low	16	10	120	6	17.4	16.8	0.04	-3%
8	High	16	10	120	2	16.6	16.2	0.03	-2%
9	Low	4	2	200	2	16.9	22.5	0.03	33%
10	High	4	2	200	6	16.8	23.9	0.04	43%
11	Low	16	2	200	6	17.7	23.9	0.08	36%
12	High	16	2	200	2	17.0	21.8	0.05	28%
13	Low	4	10	200	6	16.8	23.6	0.10	40%
14	High	4	10	200	2	16.7	22.7	0.04	36%
15	Low	16	10	200	2	17.3	20.0	0.04	16%
16	High	16	10	200	6	16.4	22.8	0.07	40%
17	Low	10	6	160	4	16.9	19.1	0.06	13%
18	High	10	6	160	4	16.4	19.9	0.06	21%

Taulukko 11. b\* väriarvon muutoksia

Ryhmät 17 ja 18 eivät kokeneet suurta värimuutosta, lyhyen puristusajan ja matalan lämpötilan takia. 10 % kosteiden viilujen ryhmissä nähdään, kuinka korkeammalla lämpötilalla muutos on suurempaa. 120°C: sen puristustemperatuurin muutokset ovat 10 % kosteissa viiluissa muutamaan prosenttiin, mutta 200°C:sen puristustemperatuurin muutokset 16 %:sta 40 %:iin. 16 % kosteiden viiluryhmien tuloksissa havaitaan sama kuin 4 %:n ja 10 %:n ryhmissä eli eniten ovat muuttuneet viiluryhmät, joissa puristusaine ja lämpötila ovat olleet korkeimmat.

## 5 Yhteenveto

### 5.1 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon koivuviiluihin saadaan lisää tiheyttä sekä pysyvyyttä. Koivuviilusta otettuja näytepaloja oli 180 kappaletta, 18 ryhmään jaettuna. Eri lämpötiloilla, kosteuksilla, paineella, ajalla sekä veteen upottamalla ja kuivaamalla uunissa käsiteltiin koivuviiluja. Tuloksissa selvitettiin koivuviilujen paksuuden, leveyden, tiheyden, kosteuden sekä värinmuutoksia.

Paksuudet kaikissa ryhmissä puristuksen jälkeen olivat pienentyneet. Suurimmat muutokset tulivat ryhmissä, joissa paine ja lämpötila olivat korkeimmat. Uunin jälkeen koivuviilujen paksuus oli vähentynyt verrattuna alkuperäiseen. Viilujen pysyvät muutokset olivat korkeimmat ryhmissä, joissa lämpötila ja paine olivat korkeinta.

Leveys ei muuttunut juurikaan puristuksen yhteydessä, mutta oltuaan uunissa muutamia päiviä, viilut olivat kokeneet leveyden muutoksen. Melkein kaikissa ryhmissä leveys pieneni 2–19 %, mutta tuloksissa oli epätarkkuutta syystä, että viilut eivät olleet käsittelyiden jälkeen täysin suorina. Viilut yritettiin mitata suorimmasta kohdasta, mutta viilu oli erittäin aaltoilevaa.

Tiheys puristuksen jälkeen lisääntyi koivuviiluissa 6–82 %. Korkea paine ja lämpötila olivat vaikuttaneet koivuviilujen tiheyden lisääntymiseen. Upotuksen ja uunikuivauksen jälkeen tiheyden muutos oli osassa jäänyt korkeammaksi kuin alkuperäinen. Pysyvyyttä oli tullut ja erityisesti ryhmissä, joihin oli käytetty korkeaa lämpötilaa ja painetta. Tiheyden pienentymistä oli tapahtunut low tiheysluokan viiluissa. Voidaan päätellä tämän johtuvan upotuksen aiheuttamasta haitasta alemman tiheysluokan viiluissa.

Kosteutta poistui useammasta ryhmästä puristuksen aikana ja osassa vielä suhteellisen paljon. Lämpötilalla, puristusajalla sekä paineella oli suurin merkitys kosteuspitoisuuden häviämiseen. Käsittelyiden jälkeen kosteus jäi pienemmäksi kuin alkuperäinen.

Koivuviiluissa mitattiin  $L^*$ ,  $a^*$  ja  $b^*$  väriarvoja. Värinmuutokset koivuviiluissa eivät olleet huomattavia.  $L^*$  väriarvon mittauksessa viilujen tummuus oli lisääntynyt eniten viiluissa, joissa oli korkea lämpötila ja paine.  $a^*$  väriarvon mittaamisessa suurimmat muutokset koivuviilujen punaisuuteen olivat korkea lämpötila ja puristusaika.  $b^*$  väriarvon mittaamisessa koivuviilujen keltaisuus oli lisääntynyt eniten, joissa puristusaine ja lämpötila olivat korkeimmat.

## 5.2 Jatkotutkimusehdotukset

Tässä opinnäytetyössä löydettiin tietyillä parametreilla haluttua muutosta ja pysyvyyttä viiluihin. Jatkotutkimuksissa voitaisiin testata, kuinka korkea lämpötila ja paine on tarpeellinen saadakseen pysyvää muutosta viiluihin. Näin löydettäisiin raja, jossa tarpeellista muutosta saataisiin mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Suuressa tuotannossa tällä lämpötila ja paine rajalla olisi suuri tuotannollinen merkitys.

## Lähteet

Arruda, L.& Del Menezzi, C. 2013. Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers. Brazil.

Arruda, Larissa & Del Menezzi, Claudio 2016. Properties of a Laminated Wood Composite produced with thermomechanically Treated Veneers. Brazil.

LitteratA 2021.Tag Der Offenen Tür In Der Peniger Papierfabrik. [viitattu 17.6.2021]. Saatavissa: <https://www.mironde.com/litterata/5659/reportagen/tag-der-offenen-tuer-in-der-peniger-papierfabrik>

Konica Minolta 2020a. CM-26d Spectrophotometer. [viitattu 28.5.2021]. Saatavissa: <https://sensing.konicaminolta.us/us/products/cm-26d-spectrophotometer/>

Konica Minolta 2020b. Identifying Color Differences Using L\*a\*b\* or L\*C\*H\* Coordinates. [viitattu 28.8.2021]. Saatavissa: <https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/identifying-color-differences-using-l-a-b-or-l-c-h-coordinates/>

Puinfo Oy 2020a. Koivu – Betula Pendula. [viitattu 12.9.2021]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puulajit/koivu-betula-pendula-petula-pubescens/>

Puinfo Oy 2020b. Modifioitu puu. [viitattu 12.9.2021]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/modifioitu-puu/>

Puinfo Oy 2020c. Vaneri. [viitattu 12.9.2021]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puulevyt/vaneri/>

Salca, Bekhta & Seblii. Forest 2020. [viitattu 10.9.2021]. Saatavissa:

[https://www.researchgate.net/publication/342412434\\_The\\_Effect\\_of\\_Veneer\\_Densification\\_Temperature\\_and\\_Wood\\_Species\\_on\\_the\\_Plywood\\_Properties\\_Made\\_from\\_Alternate\\_Layers\\_of\\_Densified\\_and\\_Non-Densified\\_Veneers](https://www.researchgate.net/publication/342412434_The_Effect_of_Veneer_Densification_Temperature_and_Wood_Species_on_the_Plywood_Properties_Made_from_Alternate_Layers_of_Densified_and_Non-Densified_Veneers)

Salutron 2021. Surface roughness tester TR200 / TR220. [viitattu 30.5.2021]. Saatavissa:

<https://www.salutron.de/en/surface-roughness-tester/tr200-tr220/>

SMI 2021. Precision Balance Precisa BJ 610C. [viitattu 30.5.2021]. Saatavissa:

<https://scales-measuring.com/en/precision-balances/2036-precision-balance-precisa-bj-610c-001-g.html>

Viitaniemi ja Jämsä. Tekninen puu: puun modifiointi lopputuotteeksi. [viitattu 10.9.2021].

Saatavissa: <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6367.pdf>

Vötschtechnik 2016. [viitattu 17.6.2021]. Saatavissa:

<https://www.weissttechnik.com/fileadmin/Redakteur/Mediathek/Broschueren/WeissTechnik/Umweltsimulation/Voetsch/Voetsch-Technik-VC3-VCS3-EN.pdf>