

Viilujen esikuivaus puristamalla Case: Raute Oyj

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Materiaalitekniikan
koulutusohjelma
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Jere Vanhatalo

Lahden ammattikorkeakoulu
Materiaalitekniikan koulutusohjelma

VANHATALO, JERE:

Viilujen esikuivaus puristamalla

Puutekniikan opinnäytetyö, 44 sivua

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin Raute Oyj:n toimeksiantona. Työn aiheena oli viilujen esikuivaus. Työn tarkoituksena oli tutkia, onko viilujen esikuivauksesta hyötyä ennen varsinaista kuivausta.

Tutkimukset suoritettiin puristamalla viiluja nipuissa. Tutkimuksissa säädeltiin puristuspainetta, puristusaikaa ja erilaisia syklejä. Säätelyllä pyrittiin löytämään näiden kolmelle muuttujalle optimaalisin yhdistelmä, jolla viiluista saataisiin poistettua mahdollisimman paljon vettä rikkomatta viilun rakennetta. Tutkimus suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäinen osa suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa ja toinen osa suoritettiin Raute Oyj:n laboratoriossa Nastolassa. Tutkimuksessa käytettiin havupintaviilua. Testattavien viilujen paksuus oli 3,2 millimetriä.

Tulosten perusteella voitiin todeta, että esikuivauksesta on hyötyä ennen varsinaista kuivausta. Esikuivaamalla viilut säästettiin energiaa ja näin ollen myös selvää rahaa. Viilut ovat sorvilta tulleessaan kosteudeltaan todella epätasaisia, mutta esikuivaamalla viilujen kosteuserot saadaan tasaisemmiksi. Kosteuserojen tasaaminen helpottaa viilun varsinaista kuivausta.

Asiasanat: viilu, esikuivaus, havuviilu, kuivaus, kosteus, puristus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Materials Technology

VANHATALO, JERE: Pre-drying veneers by pressing

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 44 pages

Spring 2016

ABSTRACT

This Bachelor's thesis was commissioned by Raute Oyj. The thesis deals with pre-drying veneer by pressing. The objective of the thesis was to investigate whether pre-drying of veneers benefits actual drying.

The study was conducted by pressing veneers in bundles. Different compression pressures, pressing times and cycles were tested in order to find an optimal combination of these variables, which would remove as much water without breaking the structure of the veneer. The study was conducted in two parts. The first part was conducted in the laboratory of Lahti University of Applied Sciences and the second part was conducted in Raute Oyj's laboratory in Nastola. The veneers in the tests were 3.2 mm thick conifer surface veneers.

The results showed that pre-drying is beneficial prior to the actual drying. Pre-drying the veneers saves energy and also money. Planed veneers have variable moistures, but pre-drying makes the moisture even, which facilitates the actual pressing.

Key words: veneer, pre-drying, coniferveneer, drying, moisture, pressing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	4
1.1	Työn tavoitteet	4
1.2	Raute Oyj	5
2	HAVUVIILUN SOLURAKENNE	6
3	VIILUN VALMISTUS	8
3.1	Haudonta	8
3.2	Kuorinta	9
3.3	Katkaisu	11
3.4	Sorvaus	12
4	VIILUN KUIVAUS	15
4.1	Viilun esikuivaus	15
4.2	Kuivaus	15
4.3	Kuivausaikaan vaikuttavat tekijät	16
4.4	Menetelmät	17
4.4.1	Verkkokuivaus	17
4.4.2	Telakuivaus	17
5	KOKEELLINEN OSA	19
5.1	Tutkimuksen tavoitteet	19
5.2	Koekappaleiden valmistus	19
5.3	Esikuivaus	21
6	TULOKSET	28
6.1	Tulosten tarkastelu	28
	YHTEENVETO	32
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet

Viilut ovat sorvilta tullessaan märkiä, eikä niitä voida sellaisenaan hyödyntää. Ennen kuin viiluja voidaan käyttää, täytyy ne kuivata kosteuteen, jota niiden jatkojalostus vaatii. Kuivaaminen tapahtuu kuumentamalla viilua, jolloin viiluissa oleva kosteus haihtuu pois. Viilujen kuivaukseen käytettäviä koneita on kolmea tyyppiä, tela-, kontakti- ja verkkokuivain. Kaikki kuivausmenetelmät ovat variaatioita näistä kuivaus tyypeistä.

Viilujen kuivaaminen tuotannossa on kuitenkin aikaa vievää ja kallista. Veden poistamiseksi viiluista kuluu energiaa ja energia maksaa. Tästä syystä esikuivauksen hyötyjä tutkittiin.

Viilujen esikuivauksella pyritään poistamaan viiluista vettä puristamalla viiluja pinkassa. Esikuivauksen tarkoituksena on säästää energiaa ja nopeuttaa varsinaista kuivausprosessia poistamalla vettä puuaineksesta niin paljon kuin mahdollista. Esikuivauksella poistettu vesi nopeuttaa varsinaista kuivausta, koska tällöin kuivaukseen menevät viilut ovat jo valmiiksi kuivempia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka paljon viiluista on mahdollista puristaa vettä pois rikkomatta viilun rakennetta. Tavoitteena oli myös ottaa selvää onko uuden työvaiheen liittämistä viilutuotantoon taloudellista hyötyä ja kuinka paljon. Muuttujina toimivat puristus aika, puristuspaine ja erilaiset syklit. Muuttujia vaihtelemalla pyrittiin löytämään optimaalisin yhdistelmä, jolla saadaan puristettua viilut mahdollisimman kuiviksi, ilman viilujen rikkoontumista.

1.2 Raute Oyj

Raute Oyj on puun jalostukseen soveltuvia koneita valmistava yritys. Yrityksen asiakkaana ovat yritykset, jotka toimivat puutuoteteollisuudessa maailmanlaajuisesti. Koneet soveltuvat pääsääntöisesti viilujen, vanerin ja liimapuun valmistukseen. Raute johtaa markkinaosuudellaan vaneriteollisuudessa ja LVL-teollisuudessa sillä on vahva asema. (Raute Oyj 2016.)

Rautella on toimipisteitä ympäri maailmaa. Sen tuotantolaitokset sijaitsevat Suomessa Nastolassa ja Kajaanissa. Kaksi muuta tuotantolaitosta sijaitsevat Kanadassa sekä Kiinassa. Raute työllistää 600 ihmistä eri maissa ja sen liikevaihto oli vuonna 2015 noin 127 miljoonaa euroa (Raute Oyj 2016.)

2 HAVUVIILUN SOLURAKENNE

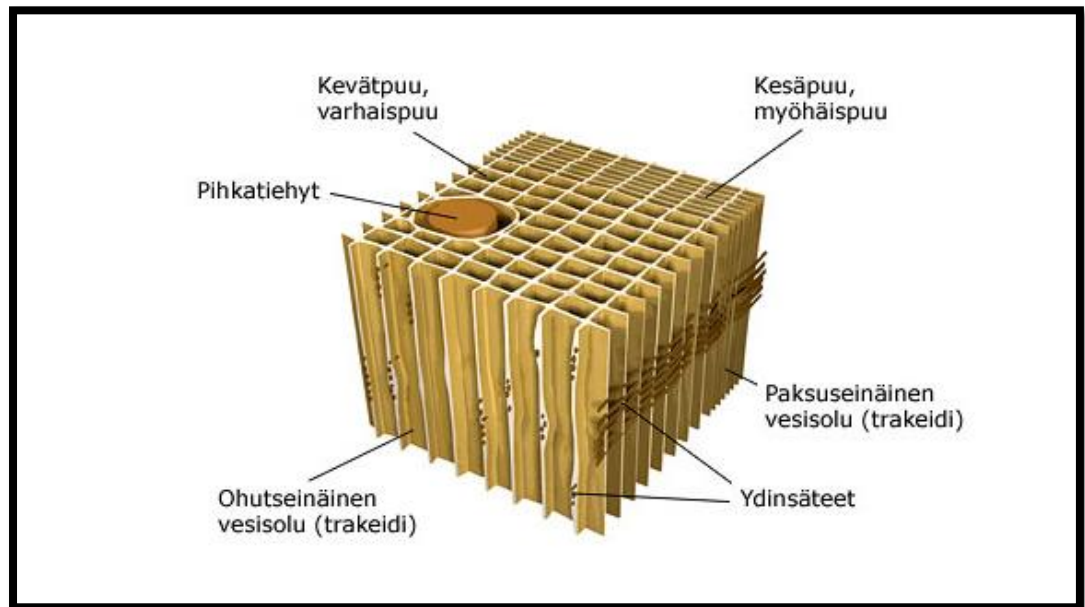
Havupuun, kuten muidenkin puulajien, solut ovat muodostuneet jakautumalla kasvisoluista. Tytärsolun ympärillä on aluksi seinämä, joka on ohut ja elastinen. Kahdella vierekkäisellä solulla on yhteinen väliseinä. Jakautumisen loputtua solut erilaistuvat omiin tehtäviinsä. Solujen koko muuttuu niille jakautumisessa määrätyn tehtävän mukaan. Suurin osa soluista päättyy muodoltaan pitkulaisiksi ja rungonsuuntaisiksi, mikä on olennaista puun rakenteen kannalta. Erilaistuneiden solujen seinämät alkavat paksuuntua, ja niiden pinnalle muodostuu selluloosaa ja hemiselluloosaa. Tässä vaiheessa solut alkavat valmistaa ligniiniä, joka tekee puusta jäykän. (Lahden ammattikorkeakoulu 2006.)

Puuaineksen solut ovat yhteydessä toisiinsa huokosten avulla. Vesi ja ravinteet kulkevat soluihin näitä huokosia pitkin. Huokonen toimii kuten venttiili. Kalvo, joka on muodostunut välilamellista ja sekundääriseinämästä, on vettäläpäisevä. Joskus kuivalla säällä venttiilit sulkeutuvat, jotta liialliselta kosteuden haihtumiselta vältyttäisiin. Havupuissa vesi liikkuu soluissa olevissa soluonteloissa. Soluonteloissa veden siirtymisen mahdollistaa solujen muoto (kuva 1). Rungossa olevien solujen päät ovat muodoltaan suipot, ja solut ovat limittäin toistensa kanssa. (Lahden ammattikorkeakoulu 2006.)

Tuoreen puun sisällä vesi on vapaana soluonteloissa ja muualla puuaineksessa. Vettä on sitoutuneena myös solujen seinämiin. Puuta kuivattaessa tuoreen puun vesi häviää ensin soluonteloista. Kun soluonteloiden vesi on poistunut, saavutetaan tila, jota kutsutaan puunsyiden kyllästymispisteeksi. Vasta, kun puunsyiden kyllästymispiste on saavutettu, alkaa soluseinämissä oleva vesi poistua. Soluseinämissä olevan veden poistuminen aiheuttaa puun kutistumisen kuivauksen aikana. Kotimaisten puulajien syiden kyllästymispiste on noin 30 prosenttia. (Koponen 2002, 50-51.)

Kutistuminen, joka alkoi syiden kyllästymispisteessä, jatkuu siihen asti, kunnes puu on täysin kuiva. Sorvatun viilun kutistuminen viilun tason

suunnassa on havuviilulla 6 prosenttia. Kutistuma ei ole sama viilun molemmissa suunnissa, vaan puun säteen suuntainen kutistuma on tangentin suuntaista kutistumaa pienempi. Epätasainen kutistuma aiheuttaa viiluun aaltoilua ja jännityksiä. (Koponen 2002, 51.)



KUVA 1. Puun solukko (Puuproffa 2016)

3 VIILUN VALMISTUS

3.1 Haudonta

Suomessa tukit mitataan heti puunkaadon yhteydessä joko pysty- tai jälkimittauksella. Aikaisemmin oli suosittua kuljettaa tukit tehtaalle uittamalla. Tästä on kuitenkin nykyisin vetäydytty, sillä uittaminen vaatii suuria puuvarastoja. Nykyään tukit kuljetetaan tehtaalle lähes pelkästään autoja käyttämällä. Autokuljetuksen etu verrattuna uittamiseen on se, ettei puuraaka-aineeseen sitoutuneen pääoman määrää tarvitse pitää yhtä suurena. (Koponen 2002, 29.)

Viiluja valmistettaessa viilun sorvaaminen tukista onnistuu helpoiten, kun sorvattava tukki on saatettu sopivaan lämpötilaan. Tukkien lämmittäminen ja talvisaikaan niiden sulattaminen tunnetaan nimellä haudonta.

Haudonnassa tukit upotetaan suureen vesialtaaseen. (Vanerin valmistus 1979.) Haudonnalla puuaines lämmitetään sellaiseen lämpötilaan, jossa tukista voidaan sorvata viilua. Haudonnan toisena päämääränä on nostaa puuaineksen kosteus sellaiselle tasolle, että sorvattu viilu pysyy sileänä, tasaisena ja tarpeeksi lujana. Täyttääkseen edellämainitut vaatimukset viilun tulee olla riittävän joustavaa. Joustavuutta puuaineksessa nostetaan lämmittämällä sitä sopivaan lämpötilaan. (Koponen 2002,30.)

Hautomo voi olla maahan kaivettu allas tai järveen seinillä aidattu alue. Järveen aidattua aluetta käytettiin lähinnä tukkien uittamisen aikaan. Autokuljetusten myötä maahan kaivettu allas on yleisempi vaihtoehto. Talvella lämpimistä altaista haihtuu lämpöä, jonka vuoksi suurin osa haudonta-altaista onkin katettu. Katto edesauttaa myös lämpimän veden pinnan yläpuolelle jääneiden tukkien sulamista. (Vanerin valmistus 1979, 30.)

Mikäli hautomoon upotettavat tukit ovat jäässä, saattaa niihin helposti tulla sydänhalkeamia. Sydänhalkeama tarkoittaa tukin sydänpuun halkeamista. Halkeaminen johtuu tukin pintapuun liian nopeasta laajenemisesta lämmitettäessä. Sydänhalkeamat eivät tietenkään ole toivottuja, ja niitä

pyritäänkin estämään esisulattamalla tukkeja tehtaan vesivarastoissa ennen kuin tukit saatetaan varsinaiseen haudontaan. (Vanerin valmistus 1979, 30.)

Haudontaa koskeissa tutkimuksissa selvisi, että viilun laatu on parempaa, mitä lämpimämpää haudontavesi on. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin 70 celsiusasteen olevan raja, jonka jälkeen viilun lujuus alkoi laskea. Lisäksi veden pitäminen näin lämpimänä aiheuttasi kohtuuttomat kustannukset tehtaalle. Kustannussyistä haudontaveden lämpötila päädyttiin pitämään 25-30 celsiusasteessa. Kesäisin haudontaa ei välttämättä tarvita ollenkaan, koska 15-20 celsiusasteisesta tukista saadaan riittävän hyvänlaatuista viilua. (Vanerin valmistus 1979, 30.)

Haudontaan kuluva energia on noin 15 prosenttia koko tehtaan käyttämästä energiasta. Veden alhaisen lämpötilan takia tehtaat ovat alkaneet käyttää hautomoiden lämmityksessä vanerin valmistuksessa syntyvää sekundäärienergiaa. Viilunkuivaajien poistoilma ja muut tehtaan tuottamat savukaasut ohjataan lämmittämään altaaseen johdettavaa vettä. Tällä tavoin säästetään lämmityskustannuksissa. (Koponen 2002, 31-32.)

3.2 Kuorinta

Monien vaneritehtaiden käytäntönä on kuoria tukit ennen sorvausta. Mikäli tukin pyörityssorvauksessa syntyvä sivutuote menee selluloosan valmistuksen, on kuorinta välttämätön toimenpide. Sivutuote voidaan myös hyödyntää kuitu- tai lastulevyn valmistuksessa. Tässäkin tapauksessa tukit useimmiten kuoritaan, mutta kuorinta ei ole välttämätön. Kuorinnan etuna on, että se nopeuttaa varsinaista pyörityssorvausta. Se myös lisää merkittävästi sorvausterien käyttöikä, sillä kuoreen tarttunut hiekka poistuu tukista kuoren mukana. (Vanerin valmistus 1979, 31-32.)
Kuorinnan jälkeen tukki kulkee yleensä metallinpaljastimen läpi, joka ilmaisee puun sisälle syystä tai toisesta päätyneet metallinkappaleet. (Koponen 2002, 33.)

Vain harvoja poikkeuksia lukuunottamatta vaneritukkien kuorinta suoritetaan vasta hautomisen jälkeen. Mikäli tukit kuorittaisiin ennen haudontaa, säästettäisiin lämmityskuluissa. Silloin ei turhaan lämmitettäisi kuorta, joka kuitenkin myöhemmin poistetaan. Kesäisin tämä voisikin olla mahdollista, mutta talvisin jäätyneen tukin kuoriminen on osoittautunut todella vaikeaksi. (Vanerin valmistus 1979, 31-32.)

Pyörityksessä aiheutuvan sivutuotteen toimittaminen selluloosateollisuudelle, vaatii sen laadulta paljon. Sivutuotteelle onkin asetettu vaatimus, että selluloosateollisuuteen menevän sivutuotteen kuoren osuus saa olla maksimissaan kolme prosenttia. Kuoren osuus tukin tilavuudesta on sekä havu-, että koivutukilla 10 – 14 prosenttia. (Vanerin valmistus 1979, 32.)

Kuorintakonetta hankittaessa tehdas asettaa koneelle vaatimuksia sen kuorintatuloksen, tehon sekä kestävyuden suhteen. Koneen rakenteen tulee kestää suurien ja raskaiden tukkien aiheuttama rasitus. Monet tehtaat vaativat uutta konetta hankittaessa, että samalla koneella voidaan kuoria sekä koivu- että havutukkeja. (Koponen 2002, 33.)

Kuorintakoneen terillä on myös suuri merkitys. Tehdas kiinnittää huomiota terien terävänä pysymiseen ja siihen, että lopputulos on sileää ja tikutonta. Kuorimakoneen tulee olla teholtaan sellainen, että se pystyy vaivatta kuljettamaan tukit haudonnasta kuorinnan läpi katkaisuun, ilman että tehtaan tuotanto hidastuu. Kuorintakoneen sydän on pyörivä roottori, jossa on kahdeksan kuorintaan tarkoitettua terää. Koneessa on syöttälaitteisto, joka ohjaa tukin roottoreille. Osa koneen teristä on kuorta leikkaavia ja loput ovat teriä, jotka tunkeutuvat puun ja kuoren väliin, jolloin kuori irtoaa vaivatta. Terien tarkka säätö takaa puun sileän ja tikuttoman pinnan. (Vanerin valmistus 1979, 32.)

Tukkien kuorinta on tarkkaa jatkotoimenpiteiden kannalta, siksi sille asetetaankin muutamia teknisiä vaatimuksia. Kuorinta ei saa vahingoittaa tukin pintapuuta, sillä tämäkin puuainees halutaan käyttää hyödyksi. (Koponen 2002, 33.)

3.3 Katkaisu

Tavallisesti vaneripuut toimitetaan tehtaalle tukkeina taloudellisten ja teknisten syiden vuoksi. Tukkien keräys ja kuljetus metsästä on halvempaa kokonaisina tukkeina. Myös tehtaalla tukkien käsittely eri työvaiheissa on helpompaa. Tehtaalle saapuvien tukkien keskikokoa, tilavuutta, määrää ja laatua seurataan otantamittauksilla. Tällä tavalla tehtaalla ollaan tietoisempia, siitä millaista raaka-ainetta ja miten paljon sitä on käytettävissä. (Vanerin valmistus 1979, 32.)

Katkaisulla tarkoitetaan työvaihetta, jossa tukki katkaistaan tilausten ja niiden vaatiman valmistusohjelman mukaiseen mittaan. Tehtaan oma valmistusohjelma määrää pitkälti tukkien katkaisujärjestyksen. Suomessa tukkien katkaisussa on muutama yleinen pituus. Yleisimmät niistä ovat 1300, 1600 ja 2600 mm. Näitä mittoja käytetään pääasiassa havutukkien katkaisussa. (Koponen 2002, 55.) Tukit katkaistaan kuitenkin niin, että hävikki olisi mahdollisimman pieni. Sallittava hävikki katkaisussa on neljästä kuuteen prosenttia tukin tilavuudesta. Tukissa olevat oksat myös vaikuttavat katkaisu päätöksiin. Oksien määrä ja sijainti vaikuttavat sorvattavan viilun laatuun ja näin ollen myös valmistettavan vanerin laadun määritykseen. (Vanerin valmistus 1079, 32.)

Jotta tukin katkaisu olisi mahdollisimman tehokasta ja tuottoisaa, on katkaisun optimoimiseksi kehitetty tietokoneohjattuja järjestelmiä. Järjestelmä mittaa samalla kertaa tukin läpimitan ja pituuden. Tukin kartiokkuus mitataan mittarilla, jonka tekniikka perustuu konenäköön. Mittausten avulla tietokone laskee tukeille parhaimman mahdollisen katkaisun automaattisesti. (Koponen 2002, 35.)

Tukkeja katkottaessa tulee ottaa huomioon, että havu- ja koivupuulla arvokkain osa, eli laadultaan paras puun pintaosa, tulee käytettyä mahdollisimman tehokkaasti. Jotta näin tapahtuisi, on tukki katkaistava pintaviilujen tarvetta vastaavan mittaisiksi pölleiksi. Koivutukit ovat harvoin suoria. Mutkaisilla koivutukeilla katkaisu pyritään tavallisesti sovittamaan

mutkan kohdalle. Lisäksi pöllit tulee katkaista kohtisuorasti pituussuuntaa vastaan. (Koponen 2002, 35.)

Katkaisulla on siis erittäin suuri osa vanerin valmistuksessa ja raaka-aineen taloudellisessa käytössä. Nyrkkisääntönä pidetään, että katkaisun tulee olla määrällisesti ja laadullisesti mahdollisimman kannattavaa. (Vanerin valmistus 1979, 32.)

Yleisin tukkien katkaisussa käytetty menetelmä on heilurityyppinen katkaisusahan terä. Tukki kulkee pituussuunnassa katkaisukoneessa ja katkaisusahan terä heilahtaa katkaisten tukin oikean mittaisiksi pölleiksi. Katkaistu pölli siirretään kuljettimella sorvin pöllivarastoon. Katkaisusaha koostuu rullakuljettimesta, joka kuljettaa tukin kiinni automaattisesti toimivaan vasteeseen. Vasteet toimivat joko hydraulisesti tai pneumaattisesti. Jokaiselle pöllin pituudelle on oma vasteensa, jolloin turhaan säätöön pituuden vaihtuessa ei kulu aikaa. Katkaisuterän heilahtava liike saadaan aikaan joko pneumaattisesti tai hydraulisesti. Koska katkaisu on elintärkeää vaneritehtaan toiminnan kannalta, on sen oltava erittäin toimintavarma. Huolimatta katkaisukoneen toimintavarmuudesta on monilla tehtailta kuitenkin varakatkaisulinja, ettei tuotanto pysähdy kokonaan rikkoutuneen katkaisulinjan vuoksi. (Vanerin valmistus 1979, 32.)

3.4 Sorvaus

Sorvauksella tarkoitetaan viulun sorvausta pöllistä (Vanerin valmistus 1979, 34). Aikaisemmin viilua valmistettiin leikkaamalla. Sorvaus kuitenkin kehittyi nopeasti leikkausta tehokkaammaksi ja taloudellisemmaksi tavaksi tuottaa viilua. Nykyisin viilua valmistetaan leikkaamalla ainoastaan koristeeksi ja pinnoitteeksi. (Paloheimo 1998, 120.) Sorvauksessa pölli kiinnitetään päistään karoihin kiinni ja pölliä pyöritetään akselinsa ympäri. Pöllin pyöriessä sorvin terää siirretään lähemmäs pöllin pintaa. Sorvausterä vuolee pöllin pinnasta ohutta puumattoa, jota kutsutaan viiluksi. Viilua sorvattaessa voidaan toimenpide jakaa kolmeen osaan. Ensimmäinen pölli täytyy keskittää sorvin karoihin. Kiinnitetty pölli pyöristetään

sorvaamalla. Edellämainittujen työvaiheiden jälkeen voidaan suorittaa varsinainen sorvaus. (Vanerin valmistus 1979, 34.)

Pöllin keskittäminen on viilun saannon kannalta tärkein työvaihe. Tarkasti keskitetystä pöllistä saadaan määrällisesti eniten puun arvokkainta pintaosaa talteen. Onnistunut keskittäminen vaikuttaa myös paljon sorvatun viilun laatuun. (Metsäteollisuuden Työnantajaliitto ry.) Pöllin keskittäminen sorvin karoihin tapahtuu tietokoneavusteisen laitteen avulla. Pölli mitataan laser-mittalaitteella, ja tietokone laskee viilun saannon kannalta parhaan keskityskohdan. Parhaan keskityskohdan löydyttyä keskittäjä hakee tietojen mukaisen asennon pöllille ja asettaa pöllin karojen väliin. (Koponen 2002, 39.) Jäljelle jäävää puukappaletta kutsutaan purilaaksi. Purilaita voidaan käyttää muun muassa pakkaustarvikkeeksi, polttoon, selluhakkeeksi tai rakennustarvikkeeksi. (Paloheimo 1998, 121.)

Sorvatulle viilulle on asetettu monia ja vaikeasti saavutettavia vaatimuksia. Vaatimukset voidaan jakaa kahteen ryhmään, joista ensimmäisen muodostavat viilun kaupallisen laadun vaatimukset. Nämä vaatimukset muodostuvat vanerin pinnan laatuun asetetuista standardeista ja asiakkaiden kanssa neuvotelluista erikoislaaduista. Vaatimuksia noudatettaessa on olemassa monta eri huomioitavaa asiaa. Viilut luokitellaan eri luokkiin ulkonäön perusteella. Tällöin viilunpinnasta huomioidaan laatu ja virheet, esim. sileys, halkeamat ja erinäiset ulkonäkövirheet. Viilun paksuus on tärkeässä asemassa. Paksuuden tulee täyttää kaikki vanerin valmistuksessa olevat standardit myös kuivauksen, liimauksen ja hionnan jälkeenkin. Liian ohut viilu ei täytä standardeja. Liian paksu viilu taas kuluttaa enemmän raaka-ainetta. Viilun leveyden ja paksuuden on myös täytettävä niille asetetut standardit.

Vaneristandardeissa on vaatimuksia myös viilun lujuusominaisuuksiin. Viilun tulee olla erityisesti pokittaisvetolujuudeltaan tarpeeksi luja. Toiseen viilun vaatimusryhmään kuuluvat eri työvaiheiden edellyttämä tekninen laatutaso. Tämä laatutaso edellyttää, että kuivauskoneiden toiminnan ja tukista saatavan viilun määrän kannalta, sorvatun viilumaton tulee olla ehjä ja mahdollisimman pitkä. (Koponen 2002, 37-38.)

Viilu kuivuu epäsymmetrisesti, eli viilun päät kuivuvat keskiosaa nopeammin. Epäsymmetrisyys on otettava huomioon sorvien asetteessa, jotta estettäisiin pitkä- ja lyhytpäisen viilun syntyminen. Paras sorvaustulos saadaankin, kun sorvin asetteen tekee kokenut ihminen. (Koponen 2002, 38.)

Suomessa vaneriteollisuus käyttää kilpailijoihin verrattuna huomattavasti ohuempia tukkeja. Suurin kustannustekijä vaneria valmistettaessa onkin puuraaka-aine. Kustannusten vuoksi valmistuksessa on pidettävä huolta, että puu käytetään mahdollisimman taloudellisesti. Pölliä sorvatessa pyritään niin suureen raaka-aine saantoon kuin mahdollista, millä tarkoitetaan hyödyksi saatavan tuotteen määrää käytetyn raaka-aineen määrään nähden. (Koponen 2002, 45-46.)

4 VIILUN KUIVAUS

4.1 Viilun esikuivaus

Esikuivaus on prosessi, jossa viilusta saatetaan mekaanisesti puristamalla niin paljon vettä pois kuin mahdollista rikkomatta viilun solurakennetta. Prosessi suoritetaan ennen varsinaista kuivausta. Viilujen kuivaaminen ilman esipuristusta vaatii paljon lämpöenergiaa. Kuivaus onkin viilun käsittelyssä yksi eniten kustannuksia aiheuttavista valmistusvaiheista. Esikuivauksella pyritään lyhentämään kuivausaikaa ja näin pienentämään kustannuksia. Samalla kun varsinaiseen kuivauksen käytetty aika lyhynee, lyhenee myös koko valmistusprosessiin käytetty aika. Tehdas pystyy näin ollen valmistamaan enemmän tuotteitaan. (Lappalainen 2015.)

Puristuskuivauksessa puristetaan viilupinkkoja. Viiluissa oleva vesi lähtee liikkelle ja poistuu viilupinkan reunoilta pois. Suurin hyöty tästä saadaan silloin, kun kyseessä on erityisen märkiä viiluja, joiden kuivaukseen ilman esikuivausta menisi todella paljon lämmitysenergiaa. Puristamalla viilujen kosteusprosentti pienenee huomattavasti ja kuivausprosessi nopeutuu. (Lappalainen 2015.)

4.2 Kuivaus

Sorvauksesta tullut viilu on todella kosteaa, eikä sitä voida niin kosteana liimata (Koponen 2002, 49). Liimauksen onnistumiseksi, viilut kuivataan noin kahdesta kahdeksan prosentin kosteuteen (Paloheimo 1998, 121). Viilun kuivaus voidaan suorittaa heti sorvauksen jälkeen. Tässä menetelmässä pitkä viilumatto kuivataan viiraverkkojen päällä verkkokuivauskoneella. Kuivatut viilut leikataan arkeiksi kuivauksen jälkeen. Toisella kuivaustavalla viilut leikataan sorvauksen jälkeen arkeiksi ja lajitellaan koon ja laadun mukaan tärkeimpiin ryhmiin. Lajitellut viilut kuivataan telojen päällä telakuivauskoneessa. Kuivat viilut lajitellaan vielä uudelleen. Kuivatun viilun loppukosteus riippuu liimausmenetelmästä ja levyjen käyttötarkoituksesta. (Koponen 2002, 49.)

Viilu kutistuu sitä kuivattaessa. Kutistuminen tulee ottaa huomioon jo sorvissa viilun paksuutta asetettaessa sekä leikkausmitan määrittämisessä. Kuivauksessa tapahtuvalla kutistumisella on vaikutuksia myös kuivauskoneen toimintaan. Koneen nopeus täytyy sovittaa viilunkutistumisen edistymiseen, jotta viilu ei menisi rikki. Koneiden säätö oikein vaatii paljon kokemusta. (Koponen 2002, 51.)

4.3 Kuivausaikaan vaikuttavat tekijät

Kuivausilman lämpötila on suoraa verrannollinen kuivumisaikaan. Mitä kuumempaa ilmaa kuivauskoneessa liikkuu, sitä nopeammin viilu kuivuu. Lämpötilaa ei kuitenkaan voida määrättömästi nostaa. Rajan lämmön nostolle asettaa viilun tummuminen ja myöhemmin viilun palaminen. (Koponen 2002, 53.)

Kuivausilman suhteellinen kosteus vaikuttaa paljon kuivausprosessiin ja sen nopeuteen. Mitä alhaisempi ilman suhteellinen kosteus, toisin sanoen mitä kuivempaa ilma on, sitä nopeammin viilu kuivuu. Ilman suhteellinen kosteus vaikuttaa merkittävästi myös kuivaustulokseen. Liian kuivalla ilmalla kuivatessa viilun laatu heikkenee, siitä tulee epätasaista eikä sitä voida käyttää sille suunnitellussa käyttötarkoituksessa. Kuivausilman suhteellinen kosteus ei saa myöskään olla liian korkea. Parhaimman kuivaustuloksen saavuttamiseksi kuivausilman kosteus pyritään säätämään niin, ettei kastepiste ylitä. Mikäli kuivaajaan ei tiivisty vettä voidaan päätellä, ettei kastepiste ole ylittynyt. (Kauttonen 2014.)

Kosteudella on suuri merkitys viilun kuivauksessa. Vaikka viilut olisi sorvattu samasta tukista, voi viilujen kosteus vaihdella paljonkin keskenään. Viilun kosteuteen vaikuttaa, mistä osasta tukkia kyseinen viilu on. Koivupuulla ei ole suuria kosteuseroja pinta- ja sydän puun välillä. Sen sijaan havupuilla, eli kuusella ja männyllä, kosteusero pinta- ja sydänpuunvälillä on suuri. Näiden kosteuserojen vuoksi kuivauskonetta ohjataan märempien viilujen perusteella. (Koponen 2002, 51.)

4.4 Menetelmät

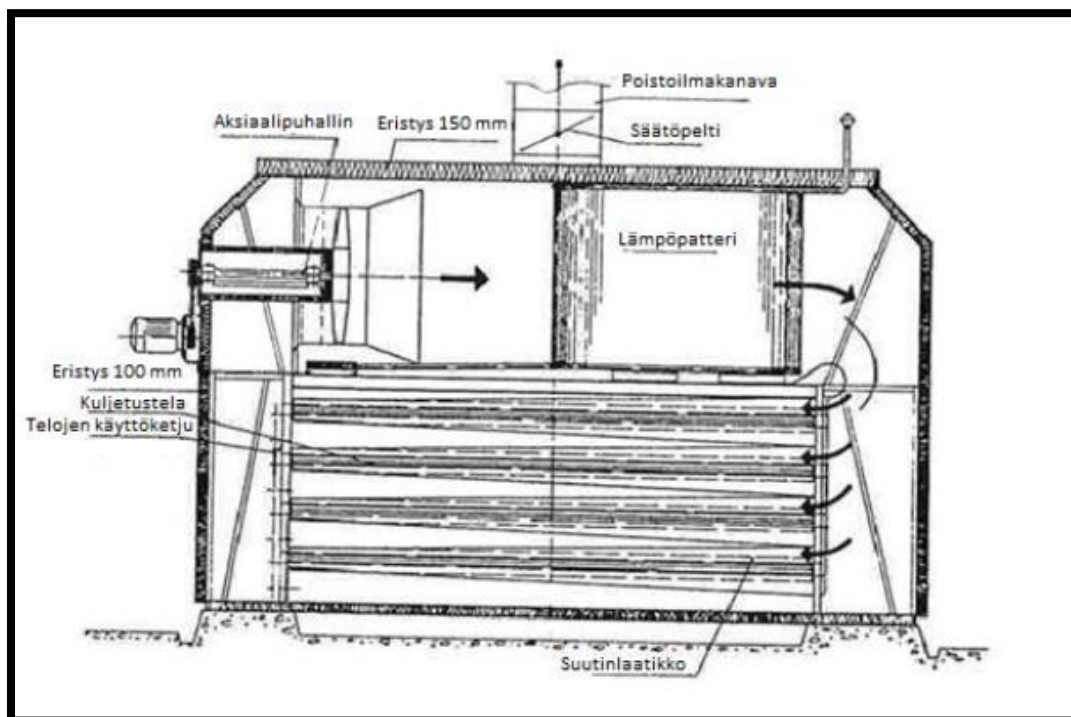
Viilun kuivauskoneet voidaan jakaa verkko- ja telakuivaajiin. Kuivaimen valintaan vaikuttaa viilun kuljetustapa. Kuivauskoneet valmistetaan lähes aina kuivaus- ja jäähdytysyksiköstä. Kuivausyksikkö koostuu lämmönvaihtopatterista, kiertoilmapuhaltimesta, suutinpuhalluslaitteista ja viilun kuljetuslaitteistoista. Kuivauskoneet on myös kaiken varalta varustettu palonsammutuslaitteistolla. (Koponen 2002, 53.)

4.4.1 Verkkokuivaus

Sorvilta tuleva viilumatto sijoitetaan verkkokuivauskoneen päällä sijaitsevalle varastointikuljettimelle. Koneeseen mennessä viilun syysuunta on poikittain koneeseen nähden. Viilumatto syötetään koneen takaa parillisten verkkojen väliin. Viilua kuljetetaan monia kertoja läpi koneen lämmitysvyöhykkeen, jotta viilu kuivuisi. Verkkokuivauskoneen alaosassa on jäähdytysvyöhyke, joka kulkee koneen päästä päähän. (Koponen 2002, 53.)

4.4.2 Telakuivaus

Viilujen syöttäminen telakuivaimen suoritetaan leikattuina arkkeina heti sorvauksen jälkeen (kuva 2). Viilut kulkevat kuivaimen sisään pituussuunnassa. Arkkeja voi olla useampi arkki vierekkäin. Useassa kerroksessa olevat telaparit vetävät viilut kuivaajaan. Kone on jaettu kahteen osaa. Ensin viilut kulkevat kuivausvyöhykkeen läpi, jossa varsinainen kuivaus tapahtuu. Loppuosassa konetta on jäähdytysvyöhyke. Tällä vyöhykkeellä viilu jäähdytetään puhaltamalla viilun pintaa ulkoilmalla. (Kauttonen 2014.)



KUVA 2. Telakuivauskone (Koponen 2002, 54)

5 KOKEELLINEN OSA

5.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nopeuttaako esikuivaus viilun lopullista kuivausta. Lisäksi sen tavoitteena oli selvittää optimaalinen puristus aika, paine ja puristusykli viiluille.

5.2 Koekappaleiden valmistus

Koekappaleet olivat 3,2 millimetrin paksuisia havupuusta valmistettuja pintaviiluja. Pintaviiluja käytettiin sen vuoksi, että ne ovat kosteudeltaan sydänviiluja kosteampia. Kosteampien viilujen ansioista testituloksista saatiin selkeämpiä.

Koekappaleiksi tarkoitetut viilut saapuivat Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratorion varastoon. Laboratorion varasto on katettu ulkotila, jossa ei ole lämmitystä. Tilan viileys katsottiin eduksi viilujen säilymisen kannalta. Viilut saapuivat noin 1000 kilogramman nipussa. Viilut olivat kooltaan noin 1200 x 1200 millimetrin kokoisia arkkeja (kuva 3). Koulun puristimen puristinlevyt olivat kooltaan kuitenkin vain 600 x 600 millimetriä. Puristimella sai kuitenkin halutun 50 baarin paineen ainoastaan 530 x 530 millimetrin kokoisille arkeille. Viilut päätettiin sahata 500 x 500 millimetrin kokosiksi arkeiksi, että puristinta ei tarvinnut käyttää ihan täydellä teholla. Viilujen sahaukseen käytettiin koulun laboratorion pyörösahaa (kuva 4).



KUVA 3. 1200 x 1200 millimetrin viilut ennen sahausta.



KUVA 4. Pyörösahalla sahattuja 500 x 500 millimetrin viiluja.

Viilut kannettiin viiden kappaleen nipuissa varastosta laboratorion puolelle sahaukseen. Varastossa sahausta odottavat viilut peiteltiin huolella muovilla kosteuden haihtumisen ehkäisemiseksi. Yhdestä 1200 x 1200 millimetrin kokoisesta viiluarkista voitiin sahata neljä koekappaletta. Tietenkin joukossa oli huonompia viiluja, joita ei voitu käyttää koekappaleina laatunsa vuoksi. Tällaisia vikoja viilussa olivat liiallinen kuoren määrä, reiät ja halkeamat. Valmiit koekappaleet kuljetettiin nipuissa takaisin laboratorion varastoon ja peiteltiin hyvin.

Viilujen suuren määrän vuoksi osa viiluista pääsi kuivumaan ja homehtumaan muovilla peittelystä ja ilman viileydestä huolimatta. Lisäksi tammikuun kovat pakkaset pääsivät jäädyttämään varastossa olevan viilunipun käyttökelvottomaksi. Näin ollen testauksia jatkettiin Raute Oyj:n laboratoriossa. Sinne tilattiin samanlainen 1000 kilogramman nippu 1200 x 1200 millimetrin havupintaviiluja. Rauten laboratorion puristimen pintalevyt olivat hieman pienemmät kuin koululla. Päästäkseen haluttuihin paineisiin Rauten puristimella, jouduttiin testikappaleiden kokoa muuttamaan 500 x 500 millimetristä 480 x 480 millimetriin. Viilut sahattiin tähän kokoon käyttämällä Rauten pyörösahaa. Rauten tiloissa viilujen sahaus onnistui nopeammin kuin koululla, koska 1000 kilogramman viilunippu oli mahdollista sijoittaa aivan pyörösahan viereen. Tämä mahdollisti myös viilujen nostamisen yksin sahan pöydälle.

5.3 Esikuivaus

Esikuivaus tehtiin kylmäpuristuksena 50 viiluarkin nipuissa. Ennen esikuivausta jokainen viiluarkki numeroitiin, jotta myöhemmin tiedettäisiin, mitä puristus aikaa, painetta ja sykliä kuhunkin arkkiin oli käytetty (kuva 5). Jokainen viiluarkki myös punnittiin gramman tarkkuudella ja joka viidennestä arkista mitattiin paksuus kahdesta pisteestä. Mittaukset olivat tärkeitä tutkimuksen jatkon ja tulosten kannalta. Paksuuden mittaukseen sain Rautelta langattoman paksuusmittarin, joka lähetti langattomasti viilun paksuuden nappia painamalla tietokoneeni Excel -taulukkoon. Laite nopeutti varsin paljon työskentelyäni.



KUVA 5. Viiluarkkien numerointia ja paksuusmittausta.

Esikuivauksen ensimmäisessä osassa käytettiin 20, 25, 30, 40 ja 50 baarin pintapaineita. Kylmäpuristukset tapahtuivat sykleissä, jotka olivat 1, 3 ja 5. Puristusaika oli 10 minuuttia. Sykli ilmoittaa puristuksessa käytettävien puristuskertojen määrän. 1-syklissä puristus tapahtuu yhdessä 10 minuutin jaksossa. 3- ja 5-sykleissä puristus suoritettiin kolmessa ja viidessä jaksossa. 3- syklissä puristin avattiin kaksi kertaa 10 minuutin puristusajan aikana ja 5-syklissä neljä kertaa. Tarkoituksena olisi ollut pudottaa puristusaineet syklien jälkeen nolille ilman puristimen avaamista. Koulun puristimella tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä puristimeen ei voitu tehdä puristusohjelmia. Puristusaikana käytettiin kuitenkin samaa 10 minuuttia. Lahden ammatikorkeakoulun laboratoriossa suoritettiin testauksia yhteensä 30 kappaletta. Tämä tarkoittaa siis 30 kappaletta 50 kappaleen viiluarkin pinkkaa, eli yhteensä siis 1500 kappaletta viiluarkkeja.

Tulosten luotettavuuden parantamiseksi jokainen esipuristus suoritettiin kahteen kertaan. Toisin sanoen jokaista testiä varten valmistettiin kaksi viidenkymmen viiluarkin pinkkaa. Tällä tavalla tuloksia voitiin vertailla myös keskenään saman testin sisällä.

Esikuivauksessa niput puristettiin yksi kerrallaan. Viilut ladottiin päällekkäin puristimen sisään, niin että nippuun tuli kaksi kovaa reunaa, eli kaksi sivua asetettiin tasaan. Puristus suoritettiin viiluihin merkityn numeroinnin mukaisella paineella ja syklillä. Puristuksen kestänyt 10 minuuttia puristin avattiin ja viilut otettiin pois.

Puristuksessa viiluista arveltiin valuvan vettä. Tästä syystä puristimeen rakennettiin puurimoista ja muovista kaukalo (kuva 6). Kaukalon tarkoitus oli estää veden valuminen puristimen taakse ja sivuille. Puristuksissa kaukalo ohjasi vedet sujuvasti puristimen etualalla olevaan astiaan ja kosteusvahingoilta vältyttiin.



KUVA 6. Muovinen kaukalo ohjaa poistuvan veden astiaan.

Esikuivatut viilut punnittiin uudestaan arkki kerrallaan, ja joka viidennestä arkista mitattiin paksuus samoista pisteistä kuin ennen puristustakin (kuva 7). Viilujen punnitseminen tässä vaiheessa antoi tietoa siitä, paljonko vettä puusta oli poistunut esikuivauksen aikana. Punnitsemisen jälkeen joka viidennestä viilusta lyötiin meistiä käyttämällä kolme ympyrän muotoista koepalaa viilun syysuunnassa (kuva 8). Koepalojen avulla saatiin tietoon viilun kosteusjakauma. Kosteusjakauma ilmoittaa kosteuden jakautumisen viilun rakenteessa. Jokainen koepala numeroitiin ja punnittiin 0,001 gramman tarkkuudella. Punnitsemisen jälkeen koepalat vietiin uuniin kuivumaan, jotta niistä saataisiin kuivapainot. Mittausten jälkeen myös varsinaiset viilut kuivattiin. Kuivaukseen käytettiin koulun laboratorion kuivaajaa. Viilut ladottiin kuivaajaan viiden viilun nipuissa niin, että jokaisen nipun väliin asetettiin puurimat vaakatasossa vuorotellen eripäin. Rimoilla nopeutettiin kuivausta, sillä niiden avulla lämmin ilma pääsi liikkumaan viilujen välissä. Nopein tapa kuivattaa viilut, olisi ollut asettaa rimat jokaisen viilun väliin. Koulun kuivain oli kuitenkin niin pieni, että tällä tavoin kuivaukseen olisi mahtunut vain yksi viilunippu kerrallaan (kuva 9). Kireän aikataulun vuoksi tähän ei ollut mahdollisuutta.



KUVA 7. Viilujen paksuuden mittausta.



KUVA 8. Viiluista lyötiin meistillä koepalat irti.



KUVA 9. Viilut Lahden ammattikorkeakoulun laboratorion kuivausuunissa.

Kuivauksen jälkeen viilut punnittiin ja laitettiin vielä takaisin uuniin. Jonkin ajan kuluttua sama viilu punnittiin uudestaan. Mikäli punnitustuloksissa ei ollut muutosta, saatiin selville viilujen olevan täysin kuivia. Täysin kuivat viilut punnittiin jälleen yksitellen.

Raute Oyj:n laboratoriossa suorittevissa testeissä oli hieman eroja koululla suoritettuihin testeihin. Viilupinkat olivat edelleen 50 kappaleen nippuja. Tässä vaiheessa puristimen pintapaineina käytettiin seuraavia 20, 22,5 ja

25 baaria. Syklit olivat 1 ja 3, eli siis viides sykli jätettiin pois.

Puristusaikana käytettiin 10 minuutin sijasta 12 minuuttia. 1-syklissä puristus suoritettiin jälleen yhdessä osassa ja 3-syklissä kolmessa osassa.

Puristusaika molemmissa silti 12 minuuttia. Testejä oli yhteensä kuusi kappaletta, ja jokainen suoritettiin kahteen kertaan. Tässä vaiheessa koekappaleita oli siis yhteensä 600 kappaletta.

Rautenkin tiloissa tehdyissä puristuksissa viiluniput numeroitiin ja punnittiin ennen esipuristusta. Viiluista mitattiin myös paksuus kahdesta kohtaa joka viidennestä viilusta.

Puristimeen valmistettiin muovista kaukalo ohjamaan puristuksessa syntyvä vesi puristimen etuosassa olevaan kaukaloon (kuva 10).

Muovikaukalolla, kuten koulullakin, estettiin veden valuminen puristimen taakse ja sivuille. Toisin kuin koulun laboratorion puristimessa Rauten puristimeen pystyi tekemään puristusohjelmia. Sen puristimeen voitiin suoraan syöttää puristusaika, haluttu puristuspaine ja puristussyklien lukumäärä. Viilujen puristimeen asettamisen jälkeen puristin vain painettiin päälle. Puristimen ohjelma suoritti puristuksen siihen syötettyjen tietojen perusteella.



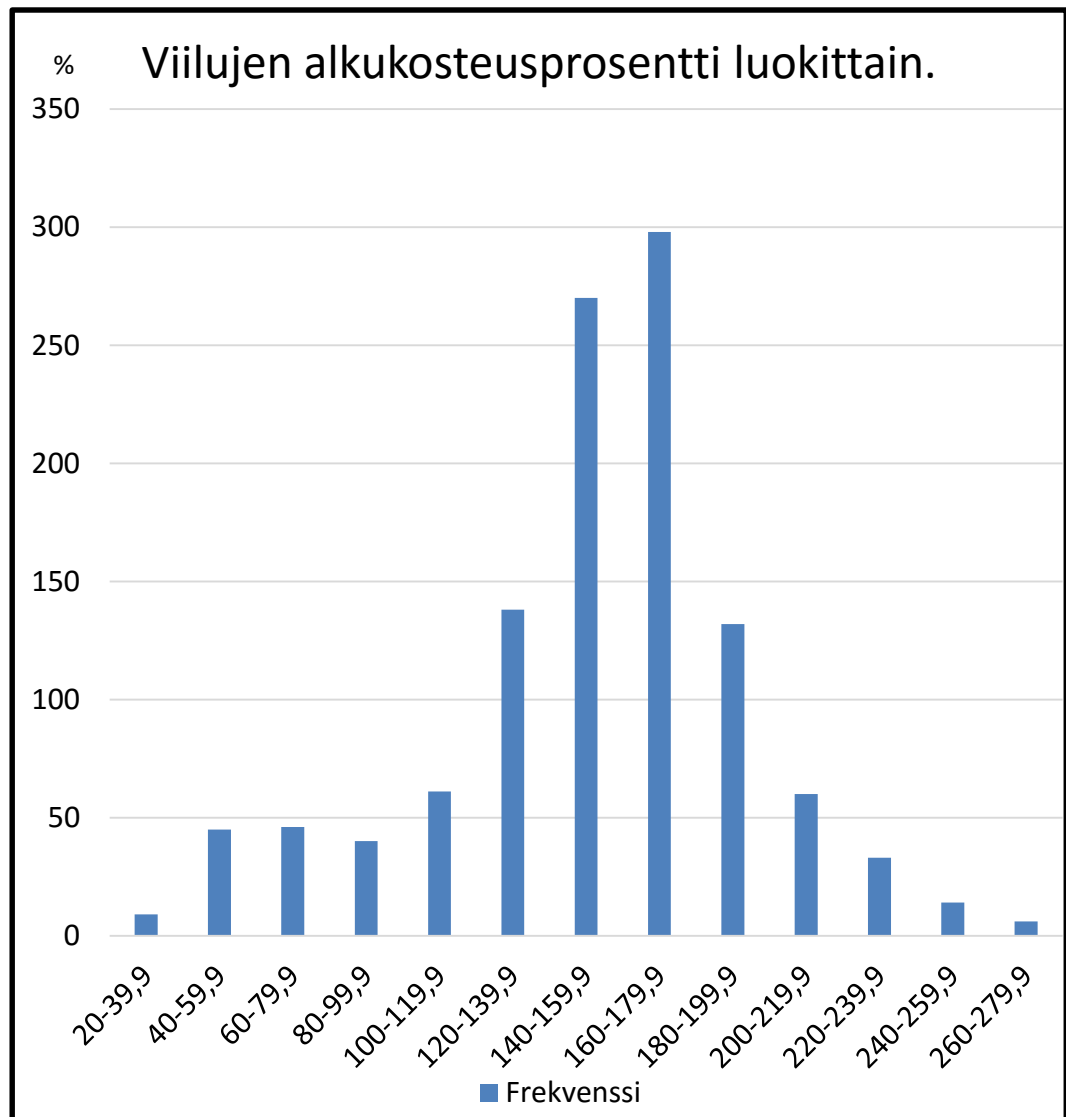
KUVA 10. Puristimeen laitettiin muovikaukalo, joka ohjasi veden asiaan.

6 TULOKSET

6.1 Tulosten tarkastelu

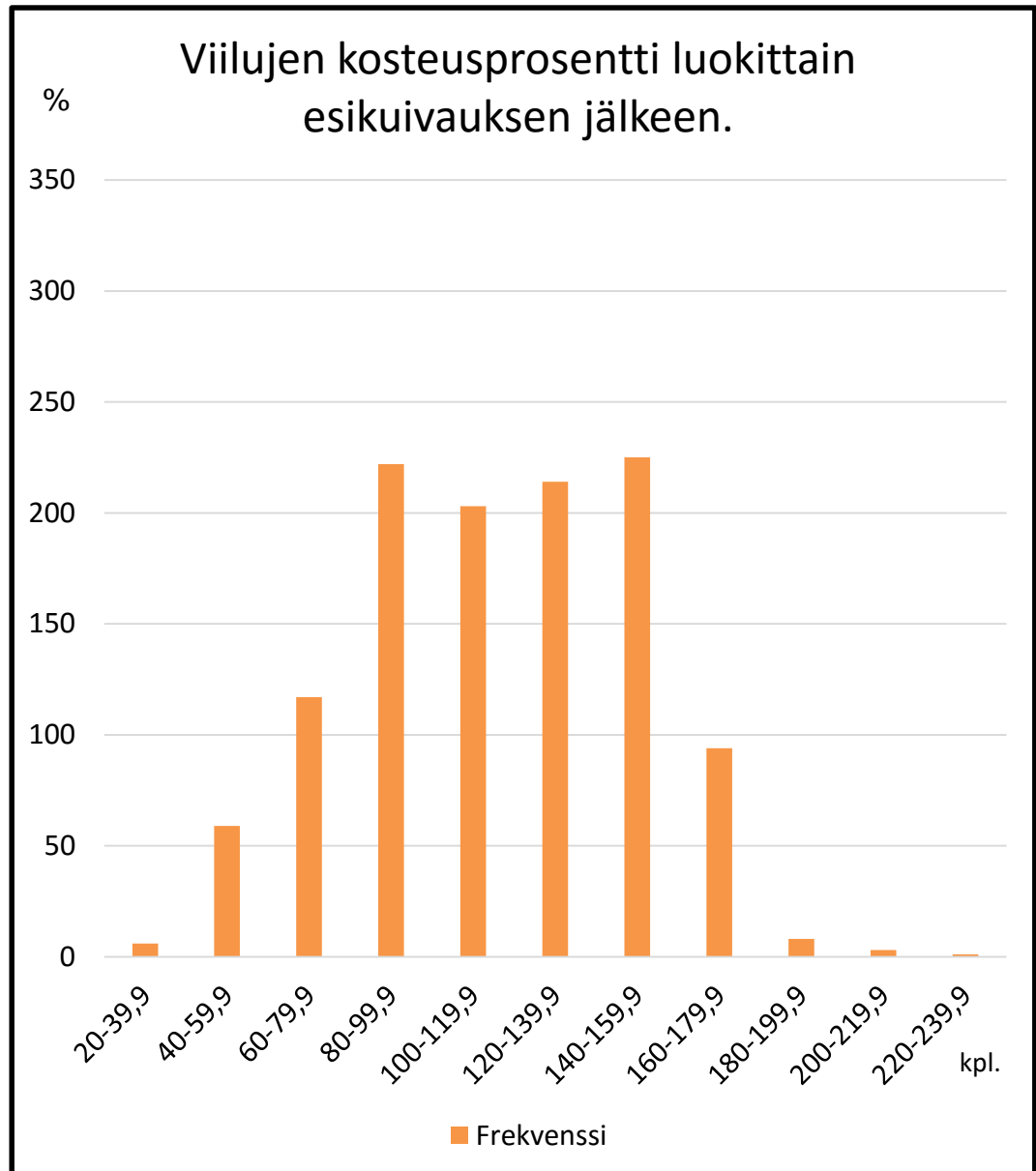
Testituloksista nähtiin millä tavoilla puristusajan, paineen ja syklien muutokset vaikuttivat poistuneen veden määrään, kosteusjakaumaan, paksuuteen sekä viilun rakenteeseen.

Viilujen alkukosteudet olivat epätasaisia (kuvio 1). Suurin osa kosteuksista oli jakaantunut 140 - 179,9 kosteusprosentin välille, mutta hajontaa oli paljon. Ero märimpien ja kuivimpien viilujen välillä oli noin 100 kosteusprosenttia. Tämä kosteuksien hajanaisuus on haitaksi teollisuudessa. Osa viiluista saattaa kuivauksessa tulla liian kuivaksi. Vastaavasti taas märemmät saattavat jäädä märäksi kuivauksen jälkeen. Märät viilut joudutaan kuivaamaan uudestaan, jotta niitä voitaisiin käyttää.



KUVIO 1. Viilujen alkukosteusprosentti luokittain.

Tutkimuksia tarkasteltaessa havaittiin, että esipuristus tasaa viilujen kosteuksia samalla kun vettä poistuu (kuvio 2). Esipuristuksen jälkeen suurin osa viilujen kosteuksista sijoittui 80 - 159,9 kosteusprosentin välille. Erot olivat määrällisesti paljon tasaisemmat alkukosteuteen verrattuna. Viilujen kosteuden tasoittaminen auttaa viilun varsinaisessa kuivaamisessa.



KUVIO 2. Viilujen kosteusprosentti luokittain esikuivauksen jälkeen.

Tutkimuksissa havaittiin, että viilujen rakenne murtui käytettäessä 30, 40 ja 50 baarin paineita. Murtumat tulivat pääasiassa viilujen reunoille (kuva 11). Epäilen tämän johtuvan veden liian nopeasta poistumisesta. Suuremmilla paineilla puristettaessa poistuva vesi ei pääse poistumaan syysuunnassa tarpeeksi nopeasti. Puussa olevan veden paine nousee, ja vesi pyrkii poistumaan myös syysuuntaa vastaan, jolloin paine murtaa viilujen reunan. Voi myös olla, että syy oli tuen puuttuminen reunoilta, jolloin puuaines pyrkii sivuille pakoon puristuksen luomaa painetta. Kaikissa puristuksissa vesi poistui viiluista syiden suuntaisesti. Syy halkeamiin voi olla myös sekin, että paine oli vain yksinkertaisesti liian suuri viilun

rakenteelle. Pienemmillä paineilla, jotka olivat 20, 22,5 ja 25 baaria viilut pysyivät ehjänä. Testien lähtökohtana oli ottaa selvää millä paineella puusta saadaan eniten poistettua vettä rikkomatta puun rakennetta. Tästä syystä 30, 40 ja 50 baarin paineita ei voida soveltaa teollisuudessa.



KUVA 11. Viilut hajosivat 40 baarilla puristettaessa.

YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia onko viilujen esikuivauksesta hyötyä teollisuudessa. Tarkoituksena oli tutkia kuinka paljon vettä viiluista voidaan poistaa vaurioittamatta viilun rakennetta. Tutkimukset tehtiin käyttämällä 3,2 millimetrin paksuista, tuoretta havupinta viilua. Testaukset tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun laboratoriossa sekä Raute Oyj:n laboratoriossa Nastolassa.

Tutkimuksen muuttujina toimivat puristusaika, puristuspaine ja syklit. Näitä kolmea muuttujaa vaihtelemalla pyrittiin löytämään optimaalisin yhdistelmä, jolla vettä saadaan poistettua viilusta mahdollisimman paljon rakennetta rikkomatta. Käytetyt puristuspaineet olivat 20, 22,5, 25, 30, 40 ja 50 baaria. Puristus aikoina käytettiin 10 ja 12 minuuttia ja sykleinä olivat 1-, 3- ja 5-syklit.

LÄHTEET

Finder yritystieto. 2015. Raute Oyj. [Viitattu 15.2.2016]. Saatavissa: <http://www.finder.fi/Puunty%C3%B6st%C3%B6koneita,+sahakoneita/Raute+Oyj/NASTOLA/taloustiedot/172216>.

Kauttonen, A. 2014. Viilunkuivaajan kuivausprosessin optimointi. Kotka: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Tekniikanala [Viitattu 1.3.2016]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73630/Kauttonen_Antti.pdf.pdf?sequence=1

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

Lahden Ammattikorkeakoulu. 2006. Puun rakenne [Viitattu 29.2.2016]. Saatavissa Lahden ammattikorkeakoulun Intranetissa: http://reppu.lamk.fi/pluginfile.php/437017/mod_resource/content/0/Jari/Jari_2009/PRAOpuunrakenne2006_2_.pdf.

Lappalainen, M. 2015. Kertopuuviilujen esikuivauksen hyödyt ja vaikutus lopputuotteeseen. Kuopio: Savonia- Ammattikorkeakoulu Tekniikan- ja liikenteen ala. [Viitattu: 27.2.2016]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88063/Lappalainen_Miika.pdf?sequence=1.

Metsäteollisuuden työnantajaliitto. 1979. Vanerin valmistus. Kymi Kymmene Paperi Kouvolan kirjapaino.

Paloheimo, E. 1998. Metsä ja puu 2. Tukista tuotteeksi. Gummerus Kirjapaino Oy.

Puuproffa. 2016. Solukko. Soluseinämän rakenne. [Viitattu 16.2.2016]. Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puun-rakenne/solukko.

Raute Oyj. 2016. Tietoa Rautesta. [Viitattu 15.2.2016]. Saatavissa: <http://www.raute.fi/tietoa-rautesta>.

