

VIILUN JÄYKKYYDEN VAIKUTUS VANERIN TAIVUTUSLUJUUTEEN

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Puutekniikan koulutusohjelma
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Milla Pirskanen

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikka

PIRSKANEN, MILLA:

Viilun jäykkyyden vaikutus vanerin
taivutuslujuuteen

Puutekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö, 72 sivua, 9 liitesivua

Syksy 2015

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee viiluraaka-aineen ominaisuuksien, ensisijaisesti jäykkyyden, vaikutusta vanerin taivutuslujuuteen. Tutkimus on suoritettu UPM-Kymmene Wood Oy:n toimeksiantamana Lahdessa keväällä 2015.

Työ voidaan jakaa kahteen osioon, joista ensimmäinen on kirjallisuusosa ja toinen kokeellinen tutkimusosa. Kirjallisuusselvityksessä perehdytään koivuviiluun raaka-aineena, aiempiin viiluun kohdistuneisiin tutkimuksiin sekä tutkimusmenetelmiin.

Kokeellisessa osassa saadaan selville viilun jäykkyyden vaikutus vanerin taivutuslujuuteen ja kimmomoduuliin. Viilun tutkimusmenetelminä käytettiin kimmomoduulin, pitkittäisen vetolujuuden, vinosyisyyden, valonläpäisevyyden, tiheyden ja taivutuslujuuden mittauksia. Viilut lajiteltiin taipumamittauksen perusteella paremmuusjärjestykseen ja lajitelluista viiluista valmistettiin koelevyjä. Havaittiin, että raaka-aineen ominaisuuksista voidaan ennustaa lopputuotteen lujuutta.

Kokeellinen osa on toteutettu kokonaisuudessaan laboratorio-olosuhteissa. Tutkittava viiluraaka-aine on satunnaisotanta UPM:n Jyväskylän vaneritehtaalta ja tutkimuksen aikana valmistetut vanerilevyt liimattiin ja puristettiin Lahden esikunnan tiloissa.

Tutkimusdatan määrä on lukuisten mittausten jälkeen suuri ja tässä työssä sitä tarkastellaan ja analysoidaan tilastollisin menetelmin. Viilun jäykkyyden korrelaatio (0,652) vanerin taivutuslujuuteen oli huomattava. Tutkimuksessa havaittiin myös vahva korrelaatio (0,733) viilun jäykkyyden ja vanerin kimmokertoimen välillä.

Viilujen, etenkin pintaviilujen, tarkemmalla lajittelulla tuotannossa on mahdollista parantaa vanerin taivutuslujuutta ja kimmomoduulia. Jäykkyyden vaikutuksen lisäksi havaittiin hyviä korrelaatioita keskenään korreloivien valonläpäisevyyden ja tiheyden vaikutuksesta vanerin lujuusominaisuuksiin.

Asiasanat: koivuvaneri, viilun jäykkyys, lujuus, vinosyisyys, raaka-aine, lujuuden ennustaminen, mittausmenetelmät

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Wood Technology

PIRSKANEN, MILLA:

The Effect of Veneer Stiffness
According to Bending Strength of
Plywood

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 72 pages, 9 pages of appendices

Autumn 2015

ABSTRACT

This thesis deals with how the properties of veneer raw material, especially veneer stiffness, affect the bending strength of plywood. The study was commissioned by UPM Kymmene Wood Oy in Lahti, in spring 2015. The work is divided up to two parts, a literature review and an experimental research part.

The literature review concentrated on birch veneer as a raw material, and previous studies focusing on veneer. Research methods were also studied.

The experimental part involved determining the influence of veneer stiffness on the bending strength and the modulus of elasticity of plywood. The properties measured were the modulus of elasticity, tensile strength in grain direction, the slope of grain, light penetration, density, and bending strength. The results were first compared to each other, and afterwards to the plywood's bending strength results.

The experimental part was completely executed in a laboratory. Veneer samples were randomly chosen from the UPM Jyväskylä plywood factory and the plywood boards that were manufactured during the study were glued and compressed in the UPM Lahti laboratory.

Data obtained from the research were analyzed by using statistical methods. The correlation (0.652) between the stiffness of the veneer and bending strength of plywood was significant. Strong correlation (0.733) was also observed between the stiffness of the veneer and the modulus of elasticity of plywood.

By more detailed sorting of veneers during the process, it is possible to produce plywood with improved bending strength and modulus of elasticity. In addition to the effects of the stiffness, there can also be found great correlations between light penetration and density on the strength properties of plywood.

Key words: birch plywood, stiffness of veneer, strength, raw material, prediction of strength, measurement methods.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty UPM-Kymmene Wood oy:n toimeksiantamana osana Lahden ammattikorkeakoulun insinööritutkintoa. Työn kirjallinen osa on kirjoitettu keväällä 2015. Laboratoriotutkimukset on suoritettu UPM-Kymmene Wood oy:n Lahden esikunnan tuotekehityslaboratoriossa kevään ja kesän 2015 aikana.

Työn ohjasi Lahden ammattikorkeakoulun puutekniikan lehtori Ilkka Tarvainen ja yrityksen ohjaavina henkilöinä toimivat vanhempi tutkija Simo Koponen ja vanhempi tutkija Jani Kiuru.

E erityiskiitokset työn onnistuneesta läpiviennistä kuuluu ohjaajalleni Simo Kuposelle ja suuret kiitokset myös muulle UPM Lahden henkilökunnalle joka opasti ja auttoi allekirjoittanutta työn toteuttamisessa.

Lahdessa 29.09.2015

Milla Pirskanen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimusongelma ja taustat	1
1.2	Tavoite	1
1.3	Insinööriyön rakenne	1
2	UPM KYMMENE WOOD OY	3
2.1	Yrityksen yleisesittely	3
2.2	Vaneriliiketoiminta	3
3	KOIVUVIILU	5
3.1	Koivu raaka-aineena	5
3.2	Koivuvanerin historia lyhyesti	5
3.3	Ominaisuudet	6
3.4	Laatuun vaikuttavat tekijät	7
3.5	Puuraaka-aineen ominaisuudet	7
3.6	Valmistusolosuhteista riippuvat ominaisuudet	8
3.6.1	Haudonta	9
3.6.2	Sorvausolosuhteet	10
3.6.3	Kuivaus	12
3.7	Viilun yleisimmät viat ja niiden merkitys	13
3.8	Viilulaadut	14
3.9	Taivutuslujuuden merkitys vanerille	15
3.10	Viilun jäykkyyteen vaikuttavat tekijät	16
3.11	Koesuunnitelma	16
3.12	Tutkittavat ominaisuudet	17
3.13	Viiluarkista suoritettavat mittaukset	17
3.14	Koekappaleista suoritettavat mittaukset	18
3.15	Mittausjärjestelyt	18
4	KOKEELLINEN OSA	20
4.1	Viilututkimukset	20
4.1.1	Viiluarkkien jäykkyyden määrittäminen	22
4.1.2	Koekappaleiden tutkimukset	23
4.1.3	Taivutusjäykkyys ja murtotaivutus	24
4.1.4	Syysuunnan vetolujuus	26
4.1.5	Vinosyisyys ja valonläpäisevyys	27

4.1.6	Lajitteluperusteet	28
4.1.7	Pintaviilut	29
4.1.8	Kuiva- ja liimaviilut	30
4.2	Koelevyjen valmistusprosessi	31
4.2.1	Liimaus	32
4.2.2	Puristus	32
5	TUTKIMUSTULOKSET	37
5.1	Alku- ja arkkimittaukset	37
5.2	Viilun taivutusjäykkyys	38
5.3	Vetolujuus	39
5.4	Viilun tiheys	39
5.5	Vinosyisyys ja valonläpäisevyys	40
5.6	Vanerin lujuus	40
6	TULOSTEN TARKASTELU	42
6.1	Tulosten analysointimenetelmät	42
6.2	Viilututkimusten ja vanerin lujuusominaisuuksien vertailu	43
6.2.1	Viilun jäykkyys	45
6.2.2	Viilun tiheys	51
6.2.3	Vinosyisyys ja valonläpäisevyys	53
7	TILASTOLLINEN ANALYYSI	57
7.1	ANOVA-Analyysi	57
7.2	T-Testi	62
8	YHTEENVETO	69
	LÄHTEET	71

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimusongelma ja taustat

Vanerin valmistuksessa käytettävän puuraaka-aineen laatu ja ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi lopputuotteen lujuusominaisuuksiin. Tuotannon tukitoimena suoritettavassa laadunvalvonnassa on havaittu vanerin taivutuslujuuden vaihtelevan vaneritehtaiden välillä. Lujemman vanerin aikaansaamiseksi syitä lujuusvaihteluihin on lähdetty tutkimaan. Tässä tutkimuksessa käsitellään viiluraaka-ainetta ja tutkitaan sen jäykkyyden vaikutusta vanerin taivutuslujuuteen.

1.2 Tavoite

Tämän insinööriyön tavoitteena on tutkia ja selvittää, vaikuttaako koivuviilun lujuusominaisuudet, erityisesti sen jäykkyys, siitä laboratoriossa valmistettavan vanerin taivutuslujuuteen. Viilun lujuusominaisuuksia ja jäykkyyttä mitataan eri menetelmin ennen vanerin valmistusta ja verrataan tuloksia vanerilevyjen taivutuslujuustuloksiin.

1.3 Insinööriyön rakenne

Insinööriyö koostuu kirjallisuusanalyysiin perustuvasta teoria- ja laboratorio-olosuhteissa suoritettavasta kokeellisesta osasta. Teoriaosuus perustuu aiemmin julkaistuihin tutkimuksiin ja vanerin valmistukseen liittyviin muihin teoksiin. Tässä työssä ei tulla käsittelemään yksin vanerin valmistusprosessia, vaan tutkimuksessa keskitytään tarkemmin siihen kuinka viilun laatu prosessivaiheiden ja ulkoisten tekijöiden aikaansaamana, vaikuttaa koivuvanerin jäykkyysominaisuuksiin.

Kappaleessa kaksi on yleiskatsaus insinööriyön toimeksiantavaan yritykseen liikevaihtoineen ja toimialoineen. Kappaleesta kolme alkaa opinnäytetyön kirjallinen osa, joka jatkuu aina kappaleeseen neljä asti. Kappaleessa kolme käydään läpi koivuviilun ominaisuuksia ja

ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä, kerrotaan aikaisemmista tutkimuksista aiheeseen liittyen ja esitellään laadittu koesuunnitelma eri vaiheineen.

Työn kokeellinen osa käydään läpi kappaleessa neljä. Kokeellisen osan pohjana toimii aiemmin esitelty koesuunnitelma, jota myötäillen yksittäiset työvaiheet käydään yksityiskohtaisesti läpi. Tutkimuksen tulokset on esitelty kappaleessa viisi ja niiden tarkempi analysointi tapahtuu kappaleessa kuusi. Ideat ja kehitysehdotukset on listattu työn loppuun ennen yhteenvetoa.

2 UPM KYMMENE WOOD OY

2.1 Yrityksen yleisesittely

UPM Kymmene Oyj on kansainvälinen bio- ja metsäteollisuuden suuryritys, joka jalostaa kierrätettäviä tuotteita uusiutuvista raaka-aineista. Sen liiketalouden toimialat jakaantuvat kuuteen ryhmään: UPM Biorefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Paper Asia, UPM Paper ENA ja UPM Plywood. (UPM Kymmene Oyj 2015b.)

UPM:n liikevaihto oli vuonna 2014 kokonaisuudessaan yli 9,9 miljardia euroa. Sen osakkeet on listattu NASDAQ OMX Helsingin pörssissä. Vaneriliiketoiminnan osuus liikevaihdosta on marginaalinen, mutta vuonna 2014 on se nostanut kannattavuuttaan joka oli 440 miljoonaa euroa. (UPM Vuosikertomus 2014.)

Tällä hetkellä yhtiön palveluksessa on maailmanlaajuisesti noin 20 000 henkilöä. Toiminta ulottuu laajalti ympäri maailman ja varsinaisia tuotantolaitoksia sijaitsee 13 maassa. Osakkeenomistajia yhtiöllä oli vuonna 2014 noin 90 000. (UPM Vuosikertomus 2014.)

2.2 Vaneriliiketoiminta

UPM on tunnettu maailmalla WISA-vanereista ja -viiluista. Yhtiö on Euroopan suurin vanerinvalmistaja. Yhdeksästä vaneritehtaasta seitsemän sijaitsee Suomessa. Tehdaspaikkakunnat Suomessa ovat Jyväskylä, Joensuu, Savonlinna, Ristiina, Vuohijärvi (Kalso) ja kaksi muuta tehdasta sijaitsevat Viron Otepäässä ja Venäjän Chudovossa.

Tuotantolaitoksilla valmistetaan sekä standardi- että erikoisvanerituotteita. Vanerituotteiden loppukäyttökohteita ovat esimerkiksi rakennus-, kuljetus-, huonekalu- ja parkettiteollisuus. UPM pyrkii tuotannollaan vastaamaan näiden tuotteiden kysyntään maailmanlaajuisesti. (UPM-Kymmene Oyj

2015c). Koska suurin osa tuotetusta vanerista myydään ulkomaille, on ala erittäin riippuvainen maailmankaupan suhdannevaihteluista. (Metla 2015.)

3 KOIVUVIILU

3.1 Koivu raaka-aineena

Koivua on sorvattu Suomessa vaneriteollisuuden tarpeisiin vuodesta 1912 lähtien (Koponen 1995, 14). Teknisiltä ominaisuuksiltaan käyttökelpoisia koivulajeja vaneriteollisuuden tarpeisiin ovat rauduskoivu, *Betula verrucosa* ja hieskoivu, *Betula pubescens* (Koponen 1995, 22). Molemmat kotimaiset koivulajit ovat ominaisuuksiltaan likimain samankaltaisia. Yleisimmin vanerin valmistuksessa käytetty koivuviilu on 1,4 mm nimellispaksuuteen sorvattua, mutta koivun hyvien ominaisuuksien ansiosta myös ohuempia vahvuuksia on mahdollista sorvata.

Koivupuun käyttö vaneriteollisuuden raaka-aineena ei ole sattumaa. Koivu on lehtipuuksi hyvin homogeenistä ja sorvattavuus-, kuivattavuus- ja liimattavuusominaisuuksiltaan erinomaista. (Koponen 1995, 23). Koivua ei kuitenkaan voida pitää säänkestävänä materiaalina ja se on useiden muiden puulajien tapaan altis sieni- ja hyönteistuhoilille. (Koponen 1995, 23.)

3.2 Koivuvanerin historia lyhyesti

Koivuraaka-aineen käyttöön perustuva vaneriteollisuus alkoi Suomessa siis vuonna 1912. Koivua sorvattiin aina kestävän kehityksen kipurajoille asti, jonka koettiin tulleen 1960-luvulla. Tällöin järeän koivutukin rinnalla alettiin sorvata myös kuusiviilua. (Koponen 2010, 13.)

Vaneriteollisuus on vanha teollisuuden ala, joka on vuosikymmenten saatossa seurannut yleistä teollisuuden kehitystä aina näihin päiviin asti. Huomioitavia kehityksen osa-alueita ovat etenkin konetekniikan menetelmien sekä kemianteollisuuden jatkuvasti kehittyvien liima- ja pinnoiteaineiden vaikutus. (Koponen 1995, 15.)

3.3 Ominaisuudet

Yleisimmin vanerin valmistuksessa käytetään 1,5 mm:n nimellispaksuuteen sorvattua koivuviilua, joka kuivauksen jälkeen on paksuudeltaan 1,4 mm. Koivupuun tiheyden ja tasalaatuisuuden ansiosta myös ohuempien viilulaatujen sorvaaminen on mahdollista. Kuten aiemmin mainittua, on koivun käyttö vanerin raaka-aineena kannattavaa. Alla olevaan taulukkoon XX on listattu tarkemmin koivun tekniset ominaisuudet, jotka on poimittu Hannu Koposen teoksesta ”Puulevyteollisuus”. Tämän tutkimuksen yhteydessä tarkastellaan taulukon sarakkeita 1 [tiheys], 5 [taivutuslujuus], 7 [vetolujuus syiden suunnassa] ja 12 [kimmokerroin].

TAULUKKO 1. Koivuraaka-aineen tekniset ominaisuudet

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
min	460				75	37	34		12	2.2		14	1.5	
keskiarvo	610	0.6	5.3	7.8	144	50	134	6.9						4.8
max	800				152	98	265		14	2.7		16	2.7	
Numero	Selitys											Yksikkö		
1	Tiheys											kg/m ³		
2	Kutistumisprosentti syiden suunnassa											%		
3	Kutistumisprosentti säteen suunnassa											%		
4	Kutistumisprosentti tangentin suunnassa											%		
5	Taivutuslujuus											MPa		
6	Puristuslujuus syiden suunnassa											MPa		
7	Vetolujuus syiden suunnassa											MPa		
8	Vetolujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa											MPa		
9	Leikkauslujuus											MPa		
10	Brinell-kovuus syitä vastaan kohtisuorassa											MPa		
11	Brinell-kovuus syiden suunnassa											MPa		
12	Kimmokerroin											MPa		
13	Vesiliukoisuus kylmään veteen											%		
14	pH-arvo													

3.4 Laatuun vaikuttavat tekijät

Sorvatun viilun laatuun vaikuttavat erinäiset tekijät kasvuympäristöstä, koneelliseen työstöön. Nämä tekijät voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään: puuraaka-aineen ominaisuuksiin ja valmistusolosuhteista riippuviin ominaisuuksiin.

3.5 Puuraaka-aineen ominaisuudet

Hyvälaatuisen viilun lähtökohtana on laadukas puutavara. Puuaines ei ole absoluuttisen homogeenistä, vaan puuraaka-aineen laatuun vaikuttavat kasvusta johtuvat poikkileikkauksessa erottuvat osat: vuosirenkaat kertovat kasvuajankohdasta ja sydän- ja pintapuu solukon elinvoimasta (Puutuoteteollisuus 2015). Puu myös tallentaa ikään kuin muistiin ulkoisia muutoksia, joista tärkeimpänä ilmaston ja lämpötilan vaihtelut, jotka vaikuttavat vuosilustojen leveyteen. Näiden avulla voidaan määrittää hyvinkin tarkasti, millaiset sääolosuhteet ovat kulloinkin olleet. (PuuProffa 2015.)

Suomi kuuluu pohjoisboreaaliseen kasvuvyöhykkeeseen, mikä käytännössä tarkoittaa lyhyttä kasvukautta ja hidasta kasvua. Hitaasti kasvava puuraaka-aine on ominaisuuksiltaan tiivistä ja kovaa (Kuusipalo, J. 2015, 11). Kotimaisissa koivulajeissa sydän- ja pintapuun välillä ei tästä johtuen ole havaittavissa suuria ulkonäköeroja, mutta viilua kuivattaessa korkeissa lämpötiloissa voi se värjäytyä sisältämiensä rautayhdisteiden vuoksi punertavaksi (Koponen, H. 2010, 23). Myös pinta- ja sydänpuun muut ominaisuudet, kuten paino ja kovuus, ovat keskenään samankaltaiset (Metsäteollisuuden Työnantajaliitto 1979, 26.)

Sorvattavaksi kelpaavan koivutukin laatuvaatimukset kohdistuvat erityisesti sen suoruuteen ja tiheyteen. Sorvausta haittaavia tekijöitä ovat pahat sydänhalkeamat, äkkimutkat ja laho (Metsäteollisuuden Työnantajaliitto 1979, 26). Koposen teoksessa (2010, 27) todetaan myös

kovan, värillisen puun, oksaryhmien ja pystyoksien sekä 30 mm ylittävän lenkouden olevan kiellettyjä ominaisuuksia sorvitukille.

Jokseenkin merkittävänä vaikuttavana tekijänä viilun- ja sitä myöten vanerin lujuusominaisuuksiin on todettu olevan vaneritukin tiheyden. Tukin tiheyden kasvaessa viilun taivutus- ja vetolujuus sekä viilun tiheys ovat kasvaneet. Niin ikään positiivinen vaikutus on havaittu vanerin tiheydessä sekä taivutus- ja vetokimmokertoimessa. (Söyriä, P. 1981, 19.)

Myös tukin kosteuden vaikutusta viiluun on tutkittu Söyriän toimesta. On havaittu, että vaikka tiheys ja kosteus korreloivat keskenään, on kosteusvaihteluiden vaikutus huomattavasti vähäisempi viilun lujuusominaisuuksien kannalta. (Söyriä 1981, 19.)

Raaka-aineen lahouden, lenkouden, oksaryhmien, sydänhalkeamien ja äkkimutkien osuuksien määrän kasvaessa tukissa siitä sorvattavan ehjän viilumaton saanto heikkenee. Repaleinen viilumatto ei edusta koivuviilulle ominaista lujuutta. Tämä tarkoittaa sitä, ettei heikosta viilusta voida näin ollen valmistaa koivuvanerille tyypillisiä kriteereitä täyttävää vanerilevyä.

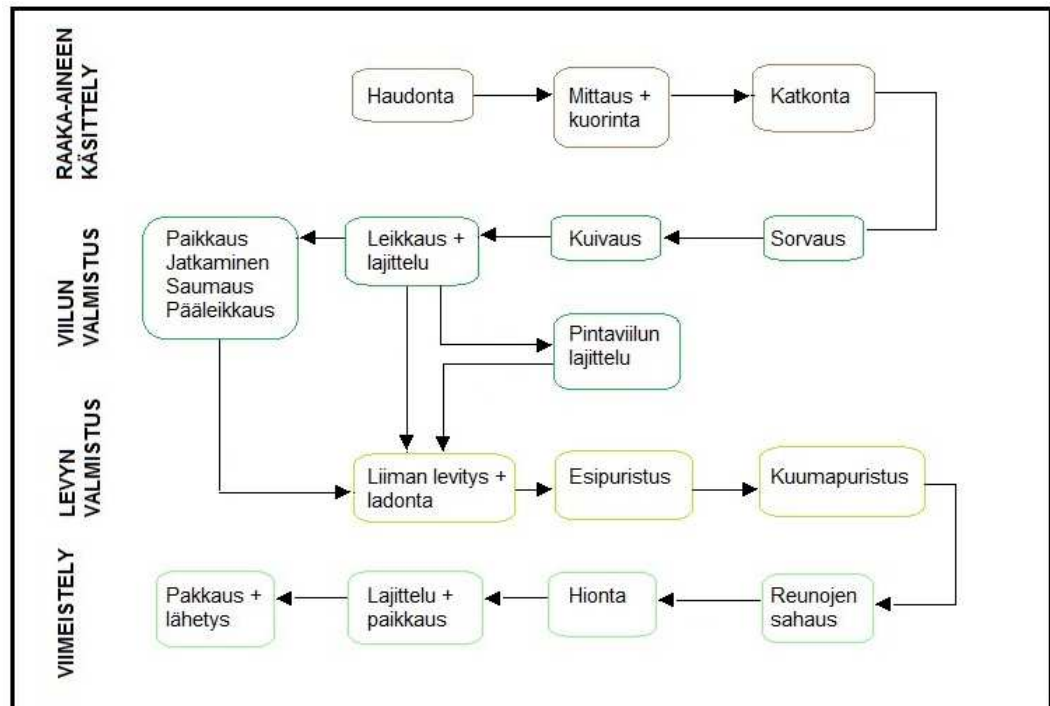
3.6 Valmistusolosuhteista riippuvat ominaisuudet

Kaaviokuva (Kuvio 1.) ilmentää vanerilevyn valmistusprosessia; kullakin prosessivaiheella on oma vaikutuksensa lopputuotteen laatuun.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu tuotannon aikaisten olosuhteiden ilmenevän eri tavoin viilun laadussa. Näistä tutkimuksia käydään läpi myöhemmin tässä työssä.

Tässä tutkimuksessa keskitytään pääasiallisesti koivuviilun ominaisuuksiin ja niihin vaikuttaviin tekijöihin. Näin ollen oleelliset osat prosessikaaviosta ovat raaka-aineen käsittely: haudonta, kuorinta ja katkonta, sekä viilunvalmistusvaihe: sorvaus, kuivaus ja leikkaus. Nämä prosessit käyvät ilmi kuvion 1. kahdesta ensimmäisestä rivistä. Viilun paikkaus, jatkaminen ja saumaus sekä pääleikkaus ovat yleisesti

teollisuudessa käytössä olevia toimenpiteitä, mutta aiheen rajaamiseksi niiden vaikutus viiluun on jätetty tämän tutkimuksen ulkopuolelle.



KUVIO 1. Vanerin valmistusprosessi

3.6.1 Haudonta

Haudonta on vanerin valmistusprosessin ensimmäinen varsinainen työvaihe heti kuljetuksen ja varastoinnin jälkeen. Sen tarkoituksena on sulattaa mahdollisesti kuljetuksen ja varastoinnin aikana jäätyneet tukit, pehmittää niiden kuori kuorinnan mahdollistamiseksi ja pehmentää puuainesta helpommin sorvattavaan elastiseen muotoon. Korotetussa lämpötilassa haudotusta tukista viilu leikkaantuu tasaisesti ja sileästi sekä pysyen riittävän lujana.

Haudontatapoja on erilaisia, mutta Suomessa yleisimmin käytössä on tukkien haudonta lämpimässä vedessä, jonne ne päätyvät niputuksesta kuorineen. Mikäli tukit ovat jäässä, ne sulatetaan max. 5 – 7 °C lämpötilassa, minkä jälkeen sulat ja sulatetut tukit siirretään vesihautteeseen, jonka lämpötila on 15 - 40 °C. Haudonta kestää noin 1 – 2 vuorokautta, jonka aikana tukit kulkeutuvat haudonta-altaassa eteenpäin sorvataavaksi. (Koponen H. 2010, 31.)

Toinen tapa hautoa puutavaraa on vesihöyry- ja sadetus, mutta näitä menetelmiä ei kotimaisille puulajeille (koivu, kuusi, mänty) juuri käytetä. Sen sijaan ne ovat optimaalisia öljypitoisille ja vaikeasti haudottaville puulajeille, kuten tammelle ja pyökille.

Pär-Gustaf Relander on diplomityössään (2003) tutkinut haudonnan ja sorvauksen vaikutusta viilun lujuusominaisuuksiin. Tutkimusmenetelminä hän on käyttänyt sorvaushalkeamien syvyyden mittausta ja pitkittäis- ja poikittaisvetolujuustestejä. Hän on tutkimuksissaan saanut selville laajalti haudontalämpötilan ja sorvausolosuhteiden vaikutuksia viilun laatuun. Tutkimuksesta todetaan jälleen esimerkiksi korkeamman haudontalämpötilan positiivinen vaikutus pöllin sorvattavuuteen, eli mitä lämpimämpää käsiteltävä raaka-aine oli, sitä parempilaatuista viilua siitä saatiin. Haudontalämpötilan havaittiin vaikuttavan erityisesti poikittaisvetolujuuteen ajatusmallilla: lämpö + kosteus = elastisuus. Kuumassa vedessä hautomisen on oletettu yleisestikin olevan edellytys hyvälaatuisen viilun valmistukselle.

3.6.2 Sorvausolosuhteet

Sorvaus tapahtuu vaneritehtailla viilusorvilla, johon katkaistu pölli keskitetään, optimoidaan ja sorvataan viilumatoksi. Sorvaus vaikuttaa merkittävästi viilun laatuun. Oleellisesti sorvauksen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat teräasetteet ja sorvausnopeus.

Relanderin tutkiessa sorvausolosuhteita todettiin yhteys sorvausnopeuden ja viilun laadun välillä. Mitä suurempi sorvausnopeus oli, sitä parempi oli

myös lopputulos. Sorvauksen puristusasteen kasvaessa paksuushajonnan, karheuden ja sorvaushalkeamien todettiin vähenevän, mikä tarkoittaa suoraan sitä, että liimattavuus ja sitä myöten vanerin lujuusominaisuudet paranevat. Relander havainnoi tutkimuksessaan myös sorvaushalkeamien sijainnin ja kulman vaikutuksia sekä merkitystä lujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin

Pertti Söyriälä on selvittänyt tutkimuksessa ”Raaka-aineen sorvaus ja liimausolosuhteiden vaikutus koivuvanerin lujuusominaisuuksiin” (VTT 1981) mitkä raaka-aineen ominaisuudet vaikuttavat eniten koivuvanerin lujuusominaisuuksiin. Tutkimuksessa on vanerin ja viilun lujuusominaisuuksia kuvaavien mallien avulla tarkasteltu eri muuttujia. Näitä muuttujia ovat olleet puuraaka-aineen ominaisuudet, sorvausolosuhteet, viilun ominaisuudet ja liimausolosuhteet.

Tutkimus on tehty kuudella vaneritehtaalla, jotka valikoituivat mukaan suuren taivutuslujuuksien- ja liimasaumojen leikkauslujuuden hajonnan ansiosta. Taustatiedot tutkimusta varten ja vertailuaineisto valmiille koelevyille oli selvitetty FinPly-laadunvalvonta-aineistosta.

Söyriälän tutkimuksessa selvitettiin viilujen perusominaisuuksia prosessin eri vaiheissa. Näitä ominaisuuksia olivat kosteudet, tiheydet, karheudet, vuosilustot sekä sorvaushalkeamien määrä ja syvyys. Arvoja mitattiin niin märästä ja kuivasta viilusta, että eri vuodenaikoihin kesä- ja talviolosuhteissa valmistetuista viiluista.

Tutkituista viiluista valmistettiin tutkimuksen edetessä 9-ply hiomatonta koivuvaneria. Osa levyistä valmistettiin tehdas- ja osa laboratorio-olosuhteissa.

Tasaannutuksen (RH = 65 %, t = 20°C) jälkeen vakioikosteudessa olevista koelevyistä mitattiin taivutuslujuus ja – kimmokerroin, vetolujuus ja – kimmokerroin, liimasauman leikkauslujuus ja puusta murtuma (keiton jälkeen), sekä absoluuttisen kuivan kappaleen tiheys. Lopputuloksena

Söyrlän tutkimuksessa todettiin oikean sorvausasetteen ja sorvipölin tiheyden vaikuttavan eniten lujuusominaisuuksiin.

3.6.3 Kuivaus

Tuoreet sorvilta tulleet viilut kuivataan liimauksen mahdollistamiseksi. Viilujen kuivaus tapahtuu joko verkkokuivaimella yhtenäisenä mattona tai telakuivaimella arkeiksi katkaistuina. Liimausmenetelmästä ja levyjen loppukäyttökohteesta riippuen 1,5 mm:n koivuviilut kuivataan noin 6 %:n kosteuteen, vaihteluväli loppukosteudella on kuitenkin olosuhdesyistä 0 – 10 % välillä. (Koponen H. 2010, 49.)

Kuivaus on ensimmäinen työvaihe, jossa lämpötila nousee lähes kahteensataan asteen. Puuaineksen kuivaus perustuu sen hygroskooppisuuteen ja ennen kaikkea vapaan veden pois kiehumiseen eli kuivausprosessin aikana se pyrkii asettumaan ilmankosteutta ja lämpötilaa vastaavaan tasapainotilaan.

Vaikka yleisesti ottaen kuivauksen aikana haihtuvan veden myötä puuaineksen soluseinämät liikkuvat toisiaan lähemmäksi ja puusta tulee puristus- ja taivutuslujuudeltaan vahvempi, on Lehtinen työssään todennut kuivauksen aikaisten korkeiden lämpötilojen vaikuttavan heikentävästi puun lujuuteen. Lehtisen tutkimusten perusteella kuivauksen aikana puussa tapahtuvista fysikaalisista ja mekaanisista muutoksista merkittävämpänä voidaan viilun lujuuden heikkenemistä ja haurastumista. (Lehtinen M. 1998, 13.)

Kuivausprosessin ja kuumuuden vaikutusta viilun laatuun on tutkittu siis muun muassa Maaria Lehtisen toimesta Teknillisellä korkeakoululla. Tutkimuksessa: "Effects of manufacturing temperatures on the properties of plywood" keskityttiin vanerin valmistusprosessissa käytettäviin kuumiin lämpötiloihin ja siihen, miten ne vaikuttavat viilun ja vanerin laatuun.

Normaalisti keskimääräinen kosteus kuivauksen jälkeen on noin 3 %. Lehtisen tutkimuksesta käy ilmi, että haurauden lisääntyessä viilun

jäykkyyden voidaan katsoa kasvavan. Esimerkiksi alle 3 %:n kosteuteen kuivattu viilu on hyvin jäykkää, mutta hajoaa taas toisaalta helposti seuraavien työvaiheiden aikana sitä käsitellessä.

3.7 Viilun yleisimmät viat ja niiden merkitys

Kuten kaikkien puulajien osalta, myös koivussa on lujuutta heikentäviä ominaisuuksia. Yleisimmät lujuuteen heikentävästi tai laatuun alentavasti vaikuttavat viat ovat erilaiset lahot, vino- ja poikkisyisyys, oksat- ja oksien lähialueet sekä sorvaushalkeamat ja väriviat.

Puuaineen vikaisuus riippuu paljolti puun kasvupaikasta. Karuissa olosuhteissa kasvanut puu on heterogeenisempää ja vahvempaa kuin esimerkiksi rehevän suon tuntumassa kasvanut koivu, joka on altis sienitartunnoille ja muille lahottajille.

Oksat heikentävät viilun jäykkyyttä, ja myös vanerin taivutuslujuuteen niillä on todettu olevan vaikutusta. Antti Komulainen on tutkinut opinnäytetyössään ”Viilujen lujuuslajittelu: Raaka-aineen ja tiheyden vaikutus koivuviilun lujuusominaisuuksiin” (2013) muun muassa oksan ja oksan lähialueen vaikutusta vanerin taivutuslujuuteen. Tutkimuksessa hän on tullut siihen lopputulokseen, että oksat heikentävät vanerin lujuutta etenkin pintaviiluun sijoituessaan. Sen lisäksi oksista aiheutuu ympäröivään puuhun vinosyisyyttä, mikä niin ikään aiheuttaa lujuuden heikkenemistä etenkin vetolujuuden suhteen.

Vinosyisyyttä syntyy oksakohtien lisäksi puuhun luonnollisesti kasvuvaiheessa puuaineksen kiertyessä. Vinosyisyydellä tarkoitetaan puun solukkojen suunnan poikkeamaa yleisestä syysuunnasta. (Puuproffa 2015a.) Vinosyisyydellä tai kierresyisyydellä tarkoitetaan poikkeamaa puun rungon pituussuunnasta tai puusta valmistetun tuotteen, kuten sahatavarakappaleen pituussuunnasta tai viiluarkin sivun suunnasta. (Koponen S. 2015.)

Lahot ovat mikro-orgaanien aiheuttamia vaurioita puun ligniinissä, selluloosassa ja hemiselluloosassa. Koivupuun yleisin lahotyyppi on valkolaho. Lahot vaikeuttavat ehjän viilumaton sorvausta ja vähentävät etenkin viilun jäykkyyttä, vetolujuutta ja kovuutta. Sinistäjäsienet ovat lujuusominaisuuksien osalta harmittomia, mutta voivat kuitenkin olla merkki muiden lahottajien olemassaolosta. Homesienet sen sijaan eivät vaikuta lujuuteen, mutta sinistäjien tapaan niiden vaurioittamia viiluja ei voida käyttää pintaviiluina. (Puuproffa 2015b.)

3.8 Viilulaadut

Vaneriteollisuudessa käytettävät viilut jaotellaan edellisessä kappaleessa mainittujen vikaisuuksien perusteella eri luokkiin. Eri luokkien käyttötarkoitukset poikkeavat toisistaan. Kaikkein vähinten vikaiset viilut käytetään pintaviiluina ja pinnoiksi kelpaamattomat vanerin sisärakenteessa.

UPM:n koivulevyt luokitellaan pintaviilun laadun perusteella neljään eri laatuluokkaan SFS 2413-standardin perusteella. Yksinkertaistettuna lajittelu näiden eri laatujen välillä on seuraava:

Laatu B	Lakattavat pinnat, ainoastaan helmioksat ja lievä väri vaihtelu sallitaan
Laatu S	Hyvä yhtenäinen laatu, sopii maalattavaksi pinnaksi
Laatu BB	Käytetään rakenteissa, pienet viat korjattu synteettisellä aineella
Laatu WG	Rakennuskäyttöön, jossa ulkonäkö ei ole tärkeää.

(Wisa Plywood 2015.)

Keskimmäisten viilujen ei ulkonäöllisesti tarvitse olla yhtä laadukkaita kuin pintaviilujen. Periaatteena niiden lajittelussa on oksien halkaisijan suuruus ja halkeamien maksimileveys ja niiden pituus. Mitä riekaleisempi viilu on, sitä todennäköisemmin se siirretään leikattavaksi. Leikatut viilut saumataan, mutta niin kuin aiemmin mainittua, tämä tutkimus ei käsittele saumausten vaikutusta vanerin laatuun.

Katkomattomat keskimmäiset lajitellaan käyttöluokkiin seuraavasti:

K2	∅ 15 mm	5 x 600 mm
K3	∅ 25 mm	7 x 600 mm
K4	∅ 50 mm	10 x 600 mm.

(Forsblom 2007.)

Keskimmäisistä viiluista parhaat ja ehjimmät lajitellaan liimaviiluiksi. Eniten vikaiset käytetään kuivina keskiviiluina, sillä reikien ja halkeamien vuoksi liiman levitys on niihin hankalaa.

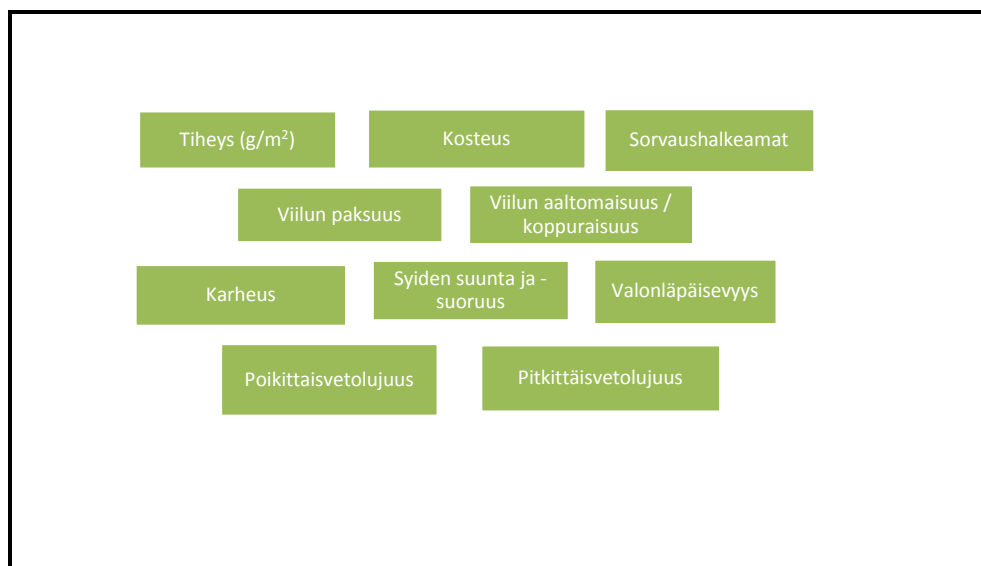
Tämän tutkimuksen levyjen pintaviiluina on käytetty laatua BB ja WG. Keskimmäisiksi viiluiksi päätyi osin pintalaatuja, osin K2- ja K3-laatuja.

3.9 Taivutuslujuuden merkitys vanerille

Taivutuslujuus on yksi merkittävin ominaisuus koivuvanerituotteiden kilpailukyvyn kannalta, virumiskestävyyden, leikkauslujuuden ja pintakovuuden ohella. Taivutuslujuuden merkitys korostuu, kun loppukäyttökohteena ovat kestävyyttä vaativat loppukäyttökohteet, kuten ajoneuvojen-, raskaasti kuormitettujen rakennusten- ja työskentelytasojen lattiat, kuormitettavat telineet ja hyllytasot. Myös kaasutankkereihin (LNG), vaaditaan lujuusominaisuuksiltaan priimaa vaneria.

3.10 Viilun jäykkyyteen vaikuttavat tekijät

Kuvioon 2. on koottu koivuviilun jäykkyyteen hypoteettisesti vaikuttavia tekijöitä. Mukana on sekä paljaalla silmällä havaittavia, että tutkimusten kautta selville saatavia ominaisuuksia. Tämän tutkimuksen aikana perehdytään kuvassa esitettyihin otsikkoihin ja niiden todelliseen merkitykseen lopputuotteen laatua ajatellen.



KUVIO 2. Viilun jäykkyyteen vaikuttavia tekijöitä

3.11 Koesuunnitelma

Tutkimuksen onnistumisen kannalta koesuunnitelman laatiminen ja tutkimuksen aikatauluttaminen olivat keskeisiä toimenpiteitä.

Tutkimusmenetelmät valittiin yhdessä yrityksen edustajien kanssa.

Pohjana käytettiin ohjaajieni aiempaa kokemusta käytännön

lujuustutkimuksista ja kirjallisuusselvityksessä läpikäytyjen tutkimusten antamaa taustatietoa.

Oletuksena tutkimusta suunniteltaessa käytettiin vanerikäsikirjassa mainittua teoriaa kakkosviilun niin sanotusta nollavaikutuksesta ja pintaviilun suuresta vaikutuksesta 9 mm paksuun 7 ply koivuvaneriin. Nollavaikutuksella tarkoitetaan, ettei poikittaisella pintaviilun alla olevan viilun ominaisuuksilla ole vaikutusta lopputuotteen lujuusominaisuuksiin.

3.12 Tutkittavat ominaisuudet

Tutkittavien viilujen erilaisia ominaisuuksia lähdettiin kartoittamaan rajaamalla kyseisen tutkimuksen kannalta kiinnostavat osa-alueet. Oleellisiksi ominaisuuksiksi aiempien tutkimusten ja omakohtaisten kokemusten perusteella valittiin seuraavat:

- viilun syysuuntainen taivutuslujuus- ja kimmomoduuli
- viilun vetolujuus syysuunnassa
- vinosyisyys
- valonläpäisevyys
- tiheys ja kosteus
- vikaisuus

Tutkimukset jakoutuivat karkeasti kahteen osaan. Ensimmäinen osa käsittelee 600 x 600 mm kokoisesta viiluarkista suoritettavia mittauksia, toinen osa puolestaan määrämittaisen viilukoekappaleiden mittauksia. Seuraavaksi esitellään tarkemmat mittausmenetelmät kummankin kokoluokan ja tutkimusosan kappaleiden suhteen.

3.13 Viiluarkista suoritettavat mittaukset

Kokonaisista viiluarkeista päätettiin mitata paino, paksuus ja muut mitat, arvioida viilun laatu ja suorittaa kokeellinen, mahdollista käytäntöä simuloiva taivutusjäykkyysmittaus. Taivutusjäykkyysmittausta varten suunniteltiin rakennettavaksi mittausyksikkö. Mittauksen oli määrä

tapahtua koko kappaleen levyisten tukipisteiden varassa punnuksia ja mittakelloa käyttäen.

3.14 Koekappaleista suoritettavat mittaukset

Koekappaleista oli määrä suorittaa tarkempia mittauksia viilun ominaisuuksien selvittämiseksi. Koekappaleita varten tehtiin paloittelusuunnitelma toteutettavien kokeiden perusteella. Alla on listaus suoritettavasta kokeesta, koestusmenetelmästä ja kuhunkin kokeeseen tarvittavan koekappaleen mitoista sekä rinnakkaisten kappaleiden lukumäärästä. Rinnakkaisten lukumäärällä tarkoitetaan koekappaleita per viilu.

TAULUKKO 2. Koekappaleiden koestussuunnitelma

Mitattava ominaisuus	Mittausmenetelmä	Koekappaleiden koko	Rinnakkaisten lkm.
Taivutusjäykkyys	3-p. taivutuskoe	200 x 50 mm	4 kpl / viilu
Vinosyisyys	Lasermittaus	200 x 50 mm	4 kpl / viilu
Valonläpäisevyys	Lasermittaus	200 x 50 mm	4 kpl / viilu
Vetolujuus	Viilun vetokoe	200 x 50 mm	2 kpl / viilu
Taivutusjäykkyys (murtokuormitus)	3-p. taivutuskoe	200 x 50 mm	2 kpl / viilu
Taivutusjäykkyys	3-p. taivutuskoe	200 x 100 mm	2 kpl / viilu

3.15 Mittausjärjestelyt

Kuten taulukosta 2. käy ilmi; veto-, taivutusjäykkyys- ja murtolujuuskokeet päätettiin suorittaa TIRA-aineenkoestuslaitteella, jota yritys käyttää laadunvalvonnassa ja muissa tutkimuksissa. Koekappaleiden kevyen

rakenteen ja pienen koon vuoksi täytyi koestusohjelmiin tehdä säätöjä ja laitteen voima-anturit vaihtaa pienempiin.

Kokeellista viiluarkin jäykkyysmittausta varten suunniteltiin oma koestusyksikkö, joka rakennettiin Lahden tuotekehitysyksikön Pilot-halliin. Taipuman suuruutta mittausta varten valittiin sopivat punnukset ja kalibroitu mittakello.

Vinosyisyyttä ja valonläpäisevyyttä mitattiin eräällä lasersäteeseen ja kuva-analyysiin perustuvalla sovelluksella, joka määrittää läpimenevän valon määrää ja viilun syysuuntaa. Lasermittaus on tutumpi muilta mekaanisen metsäteollisuuden aloilta, kuten sahatavaran tuotannosta.

Mittausmenetelmä ei ole vielä laajalti käytössä, mutta sitä on tutkittu jo aiemmin Metropolia ammattikorkeakoulussa. Insinööriyönsä (2015) aiheesta ”Koivuviulun sorvaushalkeamien syvyyden ja syysuunnan samanaikainen mittaus.” tehnyt Toni Antikainen on tutkinut työn nimen mukaisesti sorvaushalkeamien ja syykulman vaihtelun lasermittausmenetelmää. Menetelmä on periaatteeltaan osin sama kuin tässä tutkimuksessa käytetty lasermittaus.

Vastaavalla tavalla tässä tutkimuksessa käytetään hyväksi lasersäteiden etenemää puukuiduissa, vastakkaiselle puolelle säteestä muodostuvaa soikiota ja valon intensiteetin määrää. Lasersäteiden läpäistessä puuaineksen se kuvataan vastapäätä asetetulla kameralla ja lähetetään tietokoneelle, jossa kuva-analysointimenetelmää käyttäen saadaan lukuarvot syysuunnalle, valon määrälle ja värille.

Viulun vinosyisyyden mittaukseen laseria on käytetty laboratoriotutkimuksissa jo 15 vuoden ajan, mutta valonläpäisyn määrästä ei ole yhtä paljon kokemusta (Koponen S. 2015). Mittausmenetelmä on vielä kokeiluvaiheessa, mutta rohkaisevia tuloksia on lasermittauksesta jo aikaansaatu.

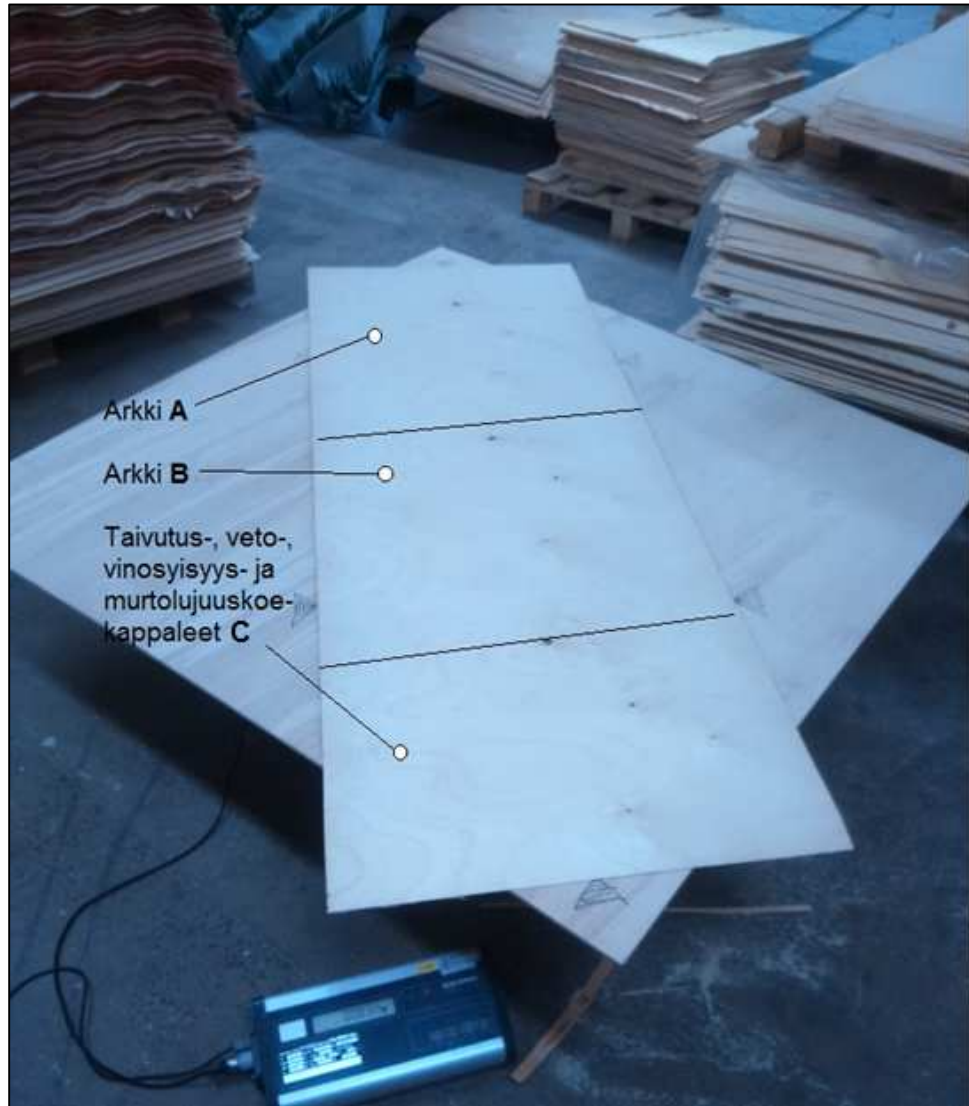
4 KOKEELLINEN OSA

Kokeellisen osan aluksi tutkimuksen kohteena ovat viilut ja niiden ominaisuudet. Kun viilut on tutkittu ja tutkimusdataan perehdytty, siirryttiin vanerin valmistukseen ja sen lujuusominaisuuksien tutkimiseen. Lopuksi tuloksia vertailtiin keskenään lopputuloksen selvittämiseksi.

4.1 Viilututkimukset

Viilun jäykkyyden merkitystä lähdettiin selvittämään tuotannosta aiemmin toimitetun viiluerän avulla. Tutkimukseen valittiin viilupinkasta 120 kpl satunnaista viilua niin, että kaikki viilulaadut WG-pintalaadusta K3 ja K4 väliiilulaatuihin olivat edustettuina. Tutkimusmateriaalin esivalinnan, punnituksen ja paksuusmittauksen yhteydessä pyrittiin välttämään silmämääräistä lujuuslajittelua lopputuloksen vääristymisen minimoimiseksi. Näin mukaan valikoitui myös heikompaa puuainesta.

Tutkimukseen mukaan valitut viilut punnittiin ja paloitetiin kuvion 3. mukaisella tavalla. Sekä arkit A ja B, että tarkempia tutkimuksia varten leikattu siivu säilytettiin viiluvastossa, jossa lämpötila ja kosteus ovat vakiot. Tutkimuksen ulkopuolelle jääneet viilunpinnan viilut lasketaan niin sanotusti luonnolliseen poistumaan. Ne olivat mitoiltaan joko vajaita tai laadullisesti käyttökelvottomia. Tällä perusteella myös tuotannossa aiheutuu viiluhävikkiä.



KUVIO 3. Vanerin valmistukseen käytetyt arkki A ja B ($600 \times 600 \text{ mm}^2$) sekä viilukoe-kappaleiden valmistukseen käytetty siivu ($600 \times 300 \text{ mm}^2$)

Viilu koekappaleita varten esivalinnan aikana kustakin viilusta taitettiin sivuun noin 30 cm leveä kaistale, josta viilutestien koekappaleet oli mahdollista valmistaa. Kappaleet paloitetiin siivuista paperileikkurilla. Toimenpiteen aikana vältettiin jälleen "lujuuslajittelua", eli viilut olivat kaikkine vikoineen edustettuina koekappalesarjoissa.

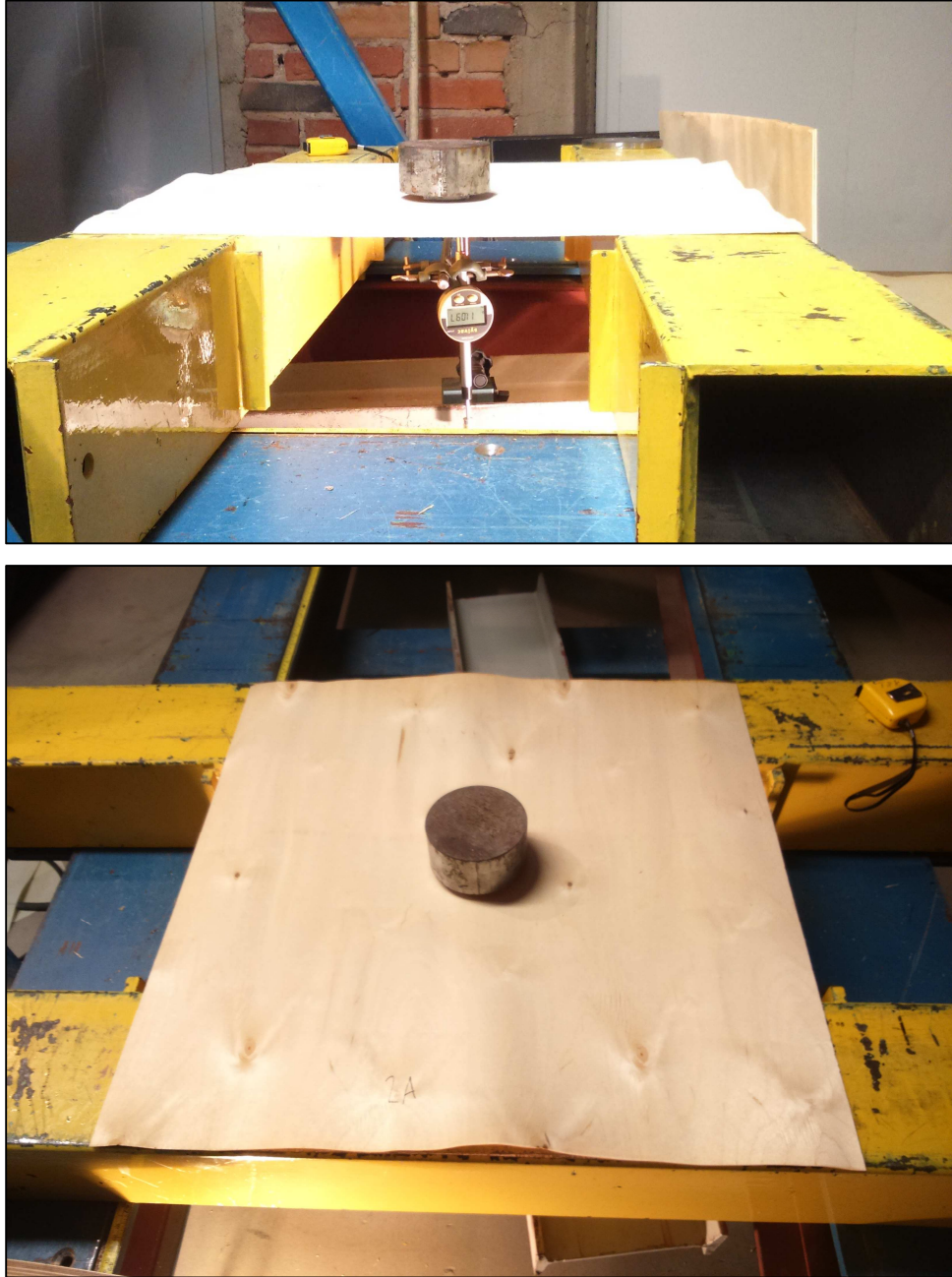
Selvittääksemme tarkasti viiluarkkien ominaisuudet ja sekä niiden vaihtelun arkkien sisällä ja keskenään niiden välillä, kustakin viilusta katkaistu näytesiivu paloiteltiin 10 osaan: kahdeksaan syysuuntaiseen 200 mm x 50 mm palaan ja kahteen 200mm x 100 mm niin ikään syysuuntaiseen koekappaleeseen.

4.1.1 Viiluarkkien jäykkyyden määrittäminen

Kuten kuviosta 3. ilmenee, kustakin viilusta jatkotarkasteluun päätyi kaksi viiluarkkia (A ja B). Näistä 600 mm x 600 mm viiluista määritettiin kokeellisesti jäykkyysominaisuus. Jäykkyyttä mitattiin tässä tilanteessa taipumalla.

Taipuman eli jäykkyyden määrittämistä varten kehitettiin mittauspiste. Mittaus tapahtui 300 mm:n jännevälillä. Viilujen taipumaa tarkasteltiin asettamalla viilun alapuolelle mittakello ja yläpuolelle punnuksia. Viilu asetettiin nolatasoon pienellä 200 g punnuksella ja tulos kirjattiin ylös. Sitten päälle lisättiin varsinainen kuormitus 3120 g, jonka antama lukema kirjattiin samaan tiedostoon.

Näin saatiin selville suurpiirteisesti kunkin viiluarkin jäykkyys käytännönläheisin mittausmenetelmin. Mittaustuloksen perusteella arkit jaettiin paremmuusjärjestykseen.



KUVIO 4. Viiluarkkien kokeellinen jäykkyyssmittaus

4.1.2 Koekappaleiden tutkimukset

Kappaleessa kolme kerrotaan tutkimussuunnitelmasta koekappaleiden suhteen. Tätä suunnitelmaa mukailten suoritettiin koekappaleille jäykkyyss-

vetolujuus-, taivutuslujuus- ja vinosyisyys- sekä valonläpäisevyytestit. Koestukset suoritettiin vaiheittain. Tutkimusten välillä kappaleita varastoitettiin kosteus- ja lämpötilaolosuhteiltaan stabiilissa viiluvastossa. Koestusten aikana säilytys tapahtui muovipusseissa, jotteivat kosteudelle herkät viilut tasaantuisi koestushuoneen ilmankosteuteen ja aiheuttaisi tuloksiin poikkeavuutta.

4.1.3 Taivutusjäykkyys ja murtotaivutus

Taivutusjäykkyyttä ja murtolujuutta testattiin 3-p. taivutuksella TIRA – aineenkoestus koneella (Kuvio 7.). Jänneväli taivutus- ja murtokokeissa oli 50 mm. Koekappaleet testattiin molemmissa testeissä yksitellen ja kustakin kappaleesta mitattiin leveys, paksuus ja paino ennen koestuksen suorittamista (Kuvio 6.). Pituus oli vakio, joten se syötettiin ohjelmaan ennen testin suorittamista.

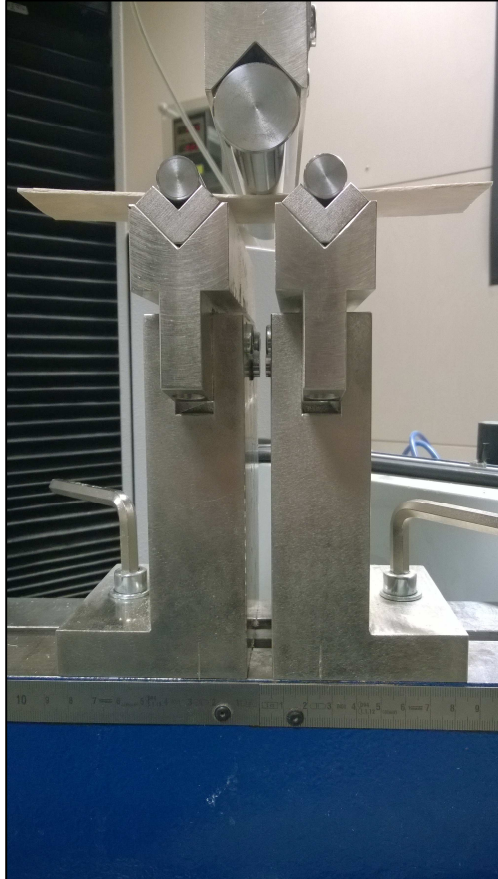


KUVIO 5. Testikappaleita numeroituina.

Kappaleet oli numeroitu viilun mukaan ja työn selkeyttämiseksi ne numeroitiin koestusten yhteydessä järjestysnumeroin. Kappaleet, joilla koestettiin taivutusjäykkyyttä, testattiin myös valonläpäisevyysskokeella.



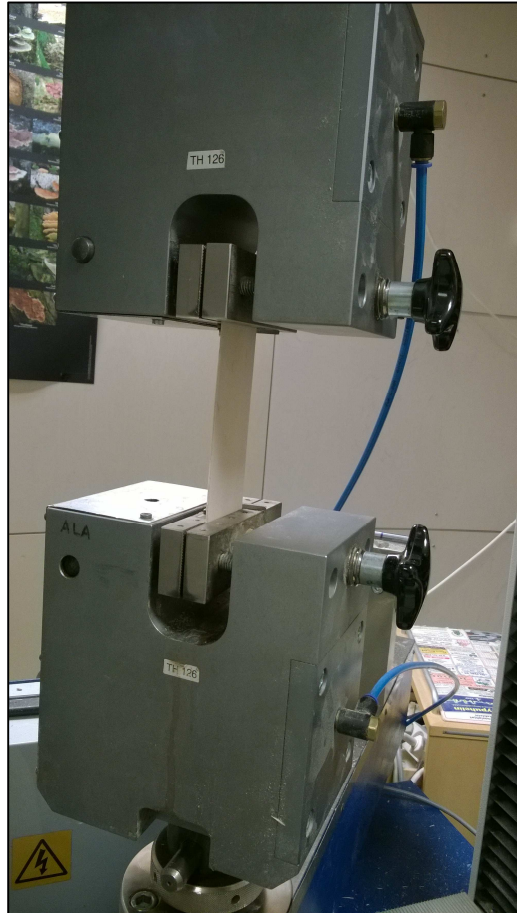
KUVIO 6. Koekappaleen dimensioiden syöttö tietokoneelle tapahtui koestusten yhteydessä.



KUVIO 7. Taivutusjäykkyydestä käynnissä

4.1.4 Syysuunnan vetolujuus

Vetolujuutta testattiin viilujen syysuunnassa TIRA – aineenkoestuskoneen viilun syysuuntaisella vetokokeella. Koekappale kiinnitettiin paineen avulla vetoleukoihin ja testi aloitettiin. Koestus tapahtui kuvion 8. mukaisesti syysuunnassa. Mittaustulokset kopioitiin testiohjelmasta käsittelyä varten Excel-taulukkoon. Kustakin viilusta testattiin kaksi rinnakkaista näytettä.



KUVIO 8. Viilun vetolujuuskoe käynnissä

4.1.5 Vinosyisyys ja valonläpäisevyys

Vinosyisyyttä ja valonläpäisevyyttä mitattiin lasersäteen ja kuva-analyysin avulla (Kuvio 9. ja 10.). Vaakasuunnassa liikutetun pystyasennossa olevan viilukappaleen läpi sironneen lasersäteen kulma viilun syiden mukaisesti (trached effect) ja läpäistyn valon määrä ja väri tallentuivat vastaanottavan kameran välityksellä tietokoneelle numeroarvoina. Lasermittaukseen sovelletusta ohjelmasta taltioitiin mittadata Exceliin, ja tuloksia analysoitiin ja verrattiin muihin suoritettujen viilumittausten tuloksiin.



KUVIO 9. Lasersäteen vastaanottava kamera



KUVIO 10. Laserlähetin ja mitattava viilu

4.1.6 Lajitteluperusteet

120 kappaleesta viiluja paloiteltiin kustakin kaksi kappaletta viiluarkkeja vanerin valmistusta varten. Levyt haluttiin latoa niin, että rakenteesta muodostuisi raaka-aineeltaan symmetrinen ja näin ollen helpommin analysoitava. Huomiota kiinnitettiin erityisesti pintaviiluun ja sen ominaisuuksien vaikutusta vanerin ominaisuuksiin tutkittiin

Vanerin valmistusta varten viilut jaoteltiin ensimmäisten arkkeihin kohdistuneiden jäykkyyssmittausten tulosten perusteella paremmuusjärjestykseen. Punnuksella suoritetuista jäykkyyssmittauksista saatiin selville kunkin arkin keskimääräinen jäykkyytaso.

Arkkimittauksen tulokset valittiin viilujen valintaperiaatteeksi siksi, että mittausmenetelmä simuloi tuotannossa toteuttamiskelpoista menetelmää mittaavasta voimapyörästä tai muusta vastaavasta ratkaisusta.

Tiheyden oletetaan vaikuttavan merkittävästi vanerin taivutuslujuuteen. Tästä syystä tutkimuksen alussa suoritettujen paksuusmittausten ja punnitusten perusteella selvitettiin laskemalla levykohtaisista viilunipuista tulevan levyn hypoteettinen tiheys viilujen painon perusteella.

Vaikka käytännönläheinen testausmenetelmä ei vaikuttanutkaan tarkempien aineenkoestuskoneella koekappaleista suoritettujen koestusten perusteella kovin tarkalta, ei niiden perusteella oletettua paremmuusjärjestystä lähdetty muuttamaan. Jäykkyysmittausten perusteella tehdyn jaon jälkeen viilut jaoteltiin käsin levypinoiksi. Tarkemmat ominaisuudet ja viilujako levyihin käy ilmi liitteestä 1.

4.1.7 Pintaviilut

Pintaviilun merkityksen tiedetään olevan ohuen vanerin taivutuslujuudelle huomattava. Pintaviiluiksi valikoitui kustakin levykohtaisesta viilunipusta hyvälaatuinen ja mahdollisuuksien mukaan taivutusjäykkyydeltään kilpailukykyinen viiluarkkipari. Kaikkien levyjen kohdalla lujimmat viilut eivät kuitenkaan ole pinnassa, sillä esimerkiksi lahon, avohalkeamien ja oksaisuuden vuoksi ne jouduttiin sijoittamaan kuiviksi keskimmäisiksi.

Antti Komulainen on tutkimuksessaan ”Viilujen lujuuslajittelu – Raaka-aineen ja tiheyden vaikutus koivuviilun lujuusominaisuuksiin” todennut etenkin alapinnan laadulla olevan suuri merkitys vanerin taivutuslujuudelle. Oksat, niiden koot ja sijainnit heikentävät taivutuslujuutta oleellisesti niiden sijoituessa pintaviiluun. Tutkimuksessaan hän myös totesi alapinnalla olevan suuremman merkityksen taivutuslujuuden kannalta

4.1.8 Kuiva- ja liimaviilut

Jokaisessa levyssä rakenne on symmetrinen, eli pintoina, kakkosviiluina ja kuivina keskimmäisinä on aina saman viilun A- ja B-arkki. Vanerirakenteen sisään tulleet viilut olivat pääosin K3- ja K4-laatuisia, joissain tapauksissa hieman parempia. Ehjät viilut käytettiin liimaviiluina. Liimaviiluja 7-ply-rakenteiseen levyyn tulee kolme, joista keskimmäinen on pariton. Loput kaksi satunnaislaatuista viiluarkkiparia sijoitettiin kuiviksi keskimmäisiksi (Kuvio 11.).



KUVIO 11. Viilujen lajittelua levyihin

4.2 Koelevyjien valmistusprosessi

Levykohtaisiin pinoihin valmiiksi lajitelluista viiluista valmistettiin 34 koelevyä. Levyt valmistettiin Lahden tuotekehityslaboratoriossa.

Valmistusta varten varattiin yksi kokonainen päivä, jonka aikana tapahtui kaikki liimanvalmistuksesta kuumapuristukseen.

Liiman valmistus

Levyjen valmistusta varten valmistettiin liimauspäivän aamuna 18 kg liimaa. Liimahartsin, -kovetteen ja veden suhteet, eli liima resepti käy ilmi alla olevasta taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Liimaresepti vanerinvalmistusta varten

	%	kg
PREFERE 14J021	70.4	12.7
PREFERE 24J662	14.1	2.5
VESI	15.5	2.8
YHT.	100 %	18

Liimavalmistajan ohjeen mukaisesti ensin annettiin Prefere 14J021 -hartsin ja Prefere 24J662 -kovetteen sekoittua n. 5 min keskenään, minkä jälkeen seokseen lisättiin vesi. Veden lisäyksen jälkeen annettiin liimamassan täyteaineiden ”kohota” ja seoksen sekoittamista jatkettiin vielä 10 min.

4.2.1 Liimaus

Liima levitettiin ennalta määrättyihin ja merkittyihin liimaviiluihin telalevittimellä. Levitysmäärä saatiin selville, ja sitä säädettiin punnitsemalla satunnaisia viiluja ennen ja jälkeen liiman levityksen.

Kahden henkilön latoessa viiluista levypinoja, yksi seurasi viilujen järjestyksen säilymistä ja kuluvaan aikaan. Jokaisen levyn alapuolelle tuli valittujen viilujen A-arkit ja satunnaisen keskimmäisen jälkeen yläpuolelle B-arkit. Levyraakileiden pintaan kirjattiin vielä kertaalleen levyn numero sekaannusten välttämiseksi.



KUVIO 9. Esipuristusta odottava ladottu viilupinkka

4.2.2 Puristus

Koelevyt puristettiin esipuristimen sallimissa mitoissa, eli 8-9 levyn pinkoissa. Avoimeksi ajaksi levypinkoille tuli n. 15 - 20 minuuttia, mikä vastaa ohjeellista aikaa myös tuotannossa. Esipuristus tapahtui

kylmäpuristimella, johon säädettiin puristuspaine ja -aika ohjetaulukosta. Esipuristus tapahtui 73 bar paineessa, ja sen kesto oli 8 min.

Kun kaikki koelevyt oli liimattu, ladottu ja esipuristettu, siirryttiin esilämmitetylle kuumapuristimelle. Kuumapuristus tapahtui yksivälisellä laboriopuristimella. Puristusohjelma valittiin 9 mm:n levyn- ja 1,4 mm:n koivuviilujen mukaisesti. Kuumapuristus oli paineohjattu, ja taulukossa 4. on esitettyinä käytetyt paineet, ajat ja lämpötilat.

TAULUKKO 4. Kuumapuristusaineet, ajat ja lämpötilat

	Paine	Aika	Lämpötila
Täyspaine	17 bar	3 min	130 °C
Puolipaine	9 bar	2 min	130 °C
Kevennys	2 bar	1 min	130 °C

Valmiiden levyjen annettiin jäähtyä pinkattuina seuraavaan aamuun. Näin vältettiin levyjen kieroutuminen ja käytettiin hyväksi pinkkalämpö. Pinkassa lämpö säilyy useita tunteja puristuksen jälkeen ja täydentäen näin liiman kovetuimmista vielä varsinaisen kuumapuristuksen jälkeenkin (Söyriä 1981). Jäähtyneistä levyistä sahattiin kuvion 12 mukaisesti koekappaleet.

Kukin levy paloitetiin kuuteen syysuuntaiseen ja kuuteen poikkisyin olevaan kappaleeseen. Näiden kappaleiden mitat määräytyivät 9 mm paksun vanerin taivutuslujuuskokeen vaatimien mittojen perusteella ollen 50 mm x 230 mm.



KUVIO 12. Vanerikoekappaleiden sahaussuunnitelma

Koekappaleet tasaannutettiin laadunvalvonnan ilmastointihuoneessa vakiokosteuteen koestusta varten. Vertailukelpoisten tulosten aikaansaamiseksi tämän tutkimuksen koekappaleiden annettiin tasaantua kaksi viikkoa huoneessa, jonka ilman suhteellinen kosteus oli 65 % ja lämpötila 20 °C. Ilmastointi tehdään käytännössä kaikille sekä laadunvalvonnan että tutkimusten koekappaleille, jotta kosteusvaihtelut saadaan poissuljettua ja mittausdata olisi vertailukelpoista. Tasaannutetut vanerikoekappaleet koestettiin standardin EN310 mukaisella 3-p. -taivutustestillä



KUVIO 13. Sahatut koekappaleet tasaannutettiin ilmastointihuoneessa

5 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimuksen tulokset on esitetty taulukoiden muodossa. Tuloksia tarkastellaan tarkemmin kappaleessa kuusi. Tutkimustulosten esittämisen yksinkertaistamiseksi ovat rinnakkaisten koekappaleiden tulokset yhdistetty yhdeksi keskiarvon perusteella ja nämä kappaleet koestustulosten perusteella jaoteltu ryhmiin.

Ryhmä numero yksi on kulloiseltaankin ominaisuudeltaan paras. Toinen ryhmä on keskimäinen ja kolmas lujuusominaisuuksiltaan heikoin. Aineiston oletetaan olevan normaalisti jakautunut ja kuten tilastollisesti normaalisti jakautuneessa aineistossa yleensä, myös tässä tilanteessa keskimäisten tulosten ryhmä on suurin ja kaksi muuta hieman suppeampia.

5.1 Alku- ja arkkimittaukset

Aivan tutkimuksen alussa 120 kappaletta kokonaisia viiluja punnittiin, paksuusmitattiin kahdesta eri pisteestä ja määritettiin oksaväli oksan keskikohdasta seuraavan keskikohtaan. Mikäli oksia ei ollut, oksaväliksi kirjattiin nolla.

Tutkimuksessa käytetyn viiluaineksen (arkin koko n.586 mm x 1600 mm) perustiedot on esitetty alla alkumittausten keskiarvoina.

Paino 790,8 g Paksuus 1,4 mm Oksaväli 412 mm.

Kun täysmittaiset viilut oli paloitetu arkkeihin, suoritettiin kullekin arkille jäykkyyksmittaus. Jäykkyyttä lähdettiin määrittämään punnusten aiheuttaman taipuman avulla. Taipuma kirjattiin ylös viilun alapuolelle sijoitetusta digitaalisesta mittakellosta.

Viilut asetettiin tämän mittauksen perusteella paremmuusjärjestykseen ja jaettiin sitten levyiksi. Yhdestä viilusta tullutta kahdesta arkista (A ja B) laskettiin taipuman keskiarvo. Taulukossa 5. on esitetty ryhmäkohtaisten taipumien ja alkupainojen keskiarvot.

TAULUKKO 5. Kokeelliset jäykkyysmittaukset ryhmittäin

Ryhmä	N	Taipuma[mm]*	Paino [g]**
1	25	11.1	824.2
2	67	12.7	793.0
3	28	14.1	752.2
Keskiarvo		12.6	789.8
Keskihajonta		1.5	36.1

*Painoilla 3120 g ja 200 g mitattujen taipumien erotukset

**Ei yksittäisen arkin paino, tiheydelle suuntaa-antava paino (ala = n. 586 mm x1600 mm).

5.2 Viilun taivutusjäykkyys

120 valitusta viilusta määritettiin taivutusjäykkyys TIRA-aineenkoestuslaitteella 3-p. taivutuksessa. Rinnakkaisia näytteitä oli jokaisesta viilusta neljä kappaletta. Tulosten selkiyttämistä varten on viilut jälleen jaettu kolmeen ryhmään, tässä tapauksessa jäykkyyden (EI) perusteella. Toisin kuin koesuunnitelmassa (taulukko 2.) on esitetty, 100 mm leveitä viilukoekappaleita ei testattu. Jatkossa käsiteltävät arvot ovat 50 mm x 200 mm kokoisten koekappaleiden koestusten tuloksia.

TAULUKKO 6. 3-p. taivutuskokeen tuloksia ryhmittäin

Ryhmä	N	EI[kN*mm]	Emod[N/mm ²]	Tiheys [kg/m ³]
1	14	4373.9	18795.7	620.2
2	90	3518.4	14365.9	574.7
3	16	2730.4	10274.8	547.3
Keskiarvo		3540.9	14478.8	580.8
Keskihajonta		822	4261.5	36.8

5.3 Vetolujuus

Vetolujuutta testattiin kahdella rinnakkaisella näytteellä per viilu. Vetolujuuksien keskiarvoksi saatiin 83,6 N / mm². Jos tulokset jakaa paremmuusjärjestykseen jakauma viiluryhmien välillä on taulukon 7 mukainen. Ryhmittely on tapahtunut vetolujuuden (RH) perusteella.

TAULUKKO 7. Viilun syysuuntaisen vetokokeen tuloksia ryhmittäin

Ryhmä	N	RH [N/mm ²]
1	32	113.4
2	52	86.3
3	38	56.3
Keskiarvo		85.3
Keskihajonta		28.6

5.4 Viilun tiheys

Viilujen tiheys (kg/m³) määritettiin eri tutkimusvaiheissa erikseen, mutta yleiskatsaus viilujen tiheyteen käy ilmi taulukon 6. vasemmasta reunasta. Viilujen tiheyksien keskiarvo on 580,8 kg/m³ ja keskihajonta 36,8.

Valmistettujen 34 vanerin tiheydet on esitetty luokittain taulukossa 10. Keskimääräinen tiheys levyille oli noin 730 kg/m^3 . Keskihajonta syysuunnassa mitattujen suhteen oli 13 ja poikkisyin mitatuissa kappaleissa 13.

5.5 Vinosyisyys ja valonläpäisevyys

Vinosyisyysmittauksissa saatiin selville vinosyisyyden vaihteluväliksi $0,002^\circ - 13,99^\circ$. Keskiarvo vinosyisyyden kaikille mittauksille oli $2,746^\circ$ ja keskihajonnaksi 2,2. Valonläpäisevyydeksi, IX lasermittauksella saatiin 126,5. Valonläpäisevyydeksi, Red tulos oli 687,4. Arvot on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Lasermittauksen tuloksia valonläpäisevyyden ja vinosyisyyden osalta

	IX	Nred	Vinosyisyys °
Keskiarvo	126.5	687.4	2.75
Keskihajonta	42.8	113.3	2.2

5.6 Vanerin lujuus

Vanerit koestettiin sekä syy- että poikkisyynsuunnassa. Levyt jaettiin kolmeen ryhmään syysuuntaisen taivutuslujuuden (FM) mukaisessa paremmuusjärjestyksessä. Ryhmäjako kappalelukumäärineen ja taivutuslujuuden vaihteluväleineen käy ilmi taulukosta 9. Ryhmäkohtaiset taivutuslujuuksien, kimmokertoimien ja tiheyksien keskiarvot on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 9. Vanerin ryhmäkohtaiset taivutuslujuuksien vaihteluvälit

Ryhmä	Levyjen lukumäärä	Taivutuslujuuksien vaihteluväli
1. Hyvät	8 kpl	100 – 112 N/mm ²
2. Keskiverrot	19 kpl	90 – 100 N/mm ²
3. Heikot	7 kpl	79 – 90 N/mm ²

TAULUKKO 10. Vanerin taivutuslujuudet, kimmokertoimet ja tiheydet

Syiden suuntaisesti			
Ryhmä	FM [N/mm ²]	Emod [N/mm ²]	Tiheys [kg/m ³]
1	104.2	11919.5	745.8
2	96.2	11017.6	730.3
3	85.7	9399.8	719.0
Keskiarvo	95.3	10779.0	731.7
Keskihajonta	9	1277	13
Sytä vastaan kohtisuorasti			
Ryhmä	FM[N/mm ²]	Emod[N/mm ²]	Density[kg/m ³]
1	60.8	5165.2	742.6
2	55.7	4771.3	731.9
3	52.9	4524.9	721.7
Keskiarvo	56.5	4820.5	732.1
Keskihajonta	4	323	10

6 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen kannalta kiinnostavaa oli selvittää, vaikuttaako viilun jäykkyys vanerin taivutuslujuuteen. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että viilun jäykkyys korreloi sekä vanerin taivutuslujuuden että kimmokertoimen kanssa.

6.1 Tulosten analysointimenetelmät

Laboratoriossa tehdyt tutkimukset tuottivat suuren määrän mittausdataa. Kertynyttä tietoa lähdettiin jäsentelemään ja käsittelemään tulosten aikaansaamiseksi. Kaikki data kerättiin ensin Microsoft Excel – laskentaohjelmaan, jonka avulla tietoa lajiteltiin ja karsittiin.

Kun aineistoa oli luokiteltu ja jäsennelty selkokielisemmäksi, tarkemman tilastollisen tarkastelun apuna Excelin rinnalla käytettiin Minitab – tilastolaskentaohjelmaa. Se mahdollisti useamman muuttujan samanaikaisen vertailun selkeästi ja helposti, monimuuttuja-analyysiä tässä työssä ei kuitenkaan ole käytetty. Luokitellun aineiston luokkien välisien erojen olemassaoloa selvitettiin laatimalla yksisuuntaisia ANOVA – analyysyjä, ja t-testillä varmistettiin, onko tilastollisesti mahdollista, että olettamukset aineistosta toteutuisivat.

Suurta tutkimusdatamäärää lähdettiin purkamaan lajittelemalla ja erottelemalla kiinnostavat muuttujat erilleen. Kiinnostaviin muuttujiin mittausmenetelmästä riippuen kuuluivat taipumamittaus, viilun jäykkyys, vetolujuus, tiheys sekä valonläpäisevyys ja vinosyisyys. Näiden arvojen suhdetta lähdettiin vertaamaan vanerin taivutuslujuuteen ja kimmokertoimeen.

Mikäli raa'assa mittadatassa oli suuria poikkeavuuksia tai virheitä, niiden syyt selvitettiin ja tilannekohtaisesti karsittiin ne analysoitavasta joukosta pois. Tulosten esittämisen selkeyttämiseksi on viiluja ja valmiita levyjä ryhmitelty paremmuusjärjestykseen.

6.2 Viilututkimusten ja vanerin lujuusominaisuuksien vertailu

Tutkimuksessa saadut tulokset vanerin taivutuslujuudelle ja kimmokertoimelle täyttävät jokaisen kolmen laaturyhmän osalta koivuvanerille asetetut vaatimukset. Saadaksemme selville parhaan parametrin vanerin lujuuteen vaikuttavasta viiluraaka-aineen ominaisuudesta, verrattiin jokaista suoritettua mittausta vanerin EN310 standardin taivutuslujuuteen ja kimmomoduuliin. Lopullinen ennustus-toteuma -taulukko viilujen ja valmiiden vanereiden suhteen löytyy liitteestä 4.

Tutkimusten edetessä havaittiin, että pintaviilun ominaisuuksilla on tässäkin tapauksessa muita viiluja suurempi vaikutus vanerin (vrt. s. 44 2. viilun vaikutus) lujuusominaisuuksiin. Koska kuhunkin levyyn käytetyt viilut olivat tarkasti selvillä, oli viilun ominaisuuksien vaikutuksia yksittäisiin levyihin helppo lähteä selvittämään. Yhtäläisyyksiä alettiin käydä lävitse levykohtaisten pintaviilujen ominaisuuksien koonnilla. Viilumittausten ja vanerin lujuustutkimusten välisiä korrelaatiokertoimia laskettiin ensin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla ja kun tuloksia alkoi syntyä, voitiin siirtyä tarkempaan tarkasteluun. Taulukossa 11. esitetään eri muuttujien väliset korrelaatiot suhteessa vanerin lujuusominaisuuksiin.

TAULUKKO 11. Viiluominaisuuksien korrelaatioita R^2 vanerin lujuusominaisuuksiin

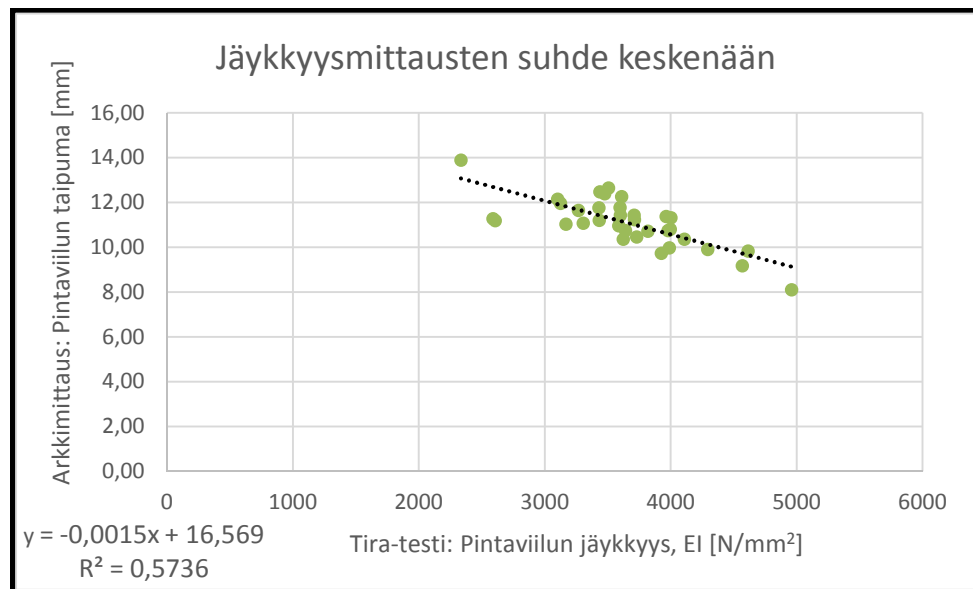
VIILU	VANERI	
	Taivutuslujuus, FM [N/mm ²]	Kimmokerroin Emod [N/mm ²]
Taipuma [mm]	0.304	0.345
Lopputaipuma [mm]	0.551	0.505
Jäykkyys EI [N/mm ²]	0.652	0.709
Tiheys [kg/mm ³]	0.517	0.453
Kimmokerroin Emod [N/mm ²]	0.664	0.733
Vetolujuus	0.258	0.241
NRed	0.356	0.414
Vinosyisyys [°]	0.036	0.186
IX	0.490	0.501

Kuten taulukosta 11. käy ilmi, parhaiten suoritetuista mittauksista vanerin lujuusominaisuuksien kanssa korreloi 3-p. taivutuksella mitattu viilun jäykkyys (EI, leveys 50 mm), jonka arvoksi vanerin kimmokertoimen (Emod) kanssa saatiin 0,709. Viilun jäykkyydellä saatiin hyvä 0,652 korrelaatio myös vanerin taivutuslujuuteen (FM) nähden. Viiluarkin päästä (C-alue kuviossa 3.) mitattu syysuuntainen taivutusjäykkyys korreloi parhaiten vanerin lujuusominaisuuksien kanssa.

Taulukkoon 11. listatuista korrelaatioista viilun ja vanerin välillä voidaan päätellä, että tutkituista muuttujista heikoiten lopputuotteen lujuuteen vaikuttaa pintaviilun syysuunta. Vinosyisyyden korrelaatio 0,036 taivutuslujuuteen on erittäin heikko, eikä sen korrelaatio 0,186 kimmokertoimeen nähdenkään ole paljon vahvempi. Tarkemmin taulukon arvoja tullaan avaamaan seuraavaksi.

6.2.1 Viilun jäykkyys

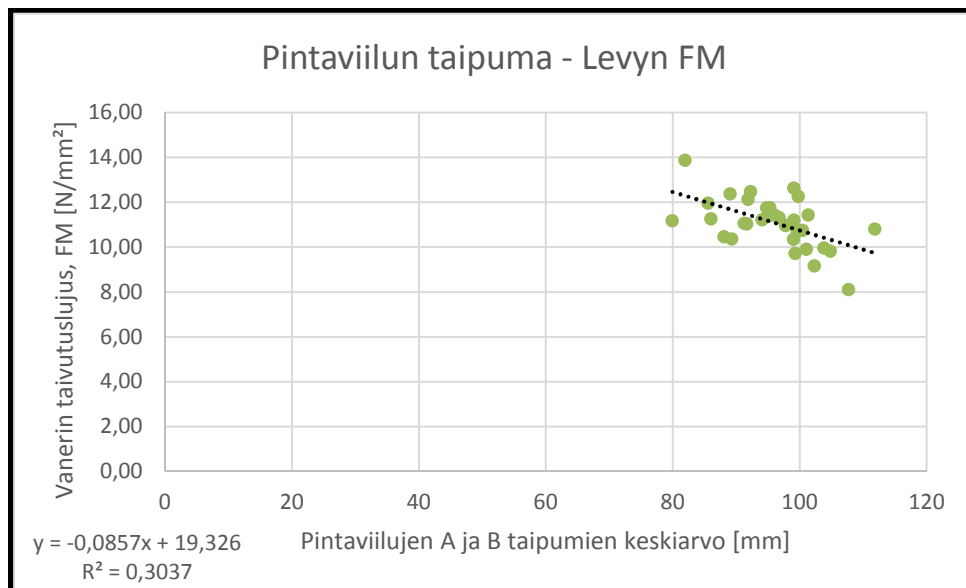
Viilun jäykkyyttä mitattiin kahdella eri mittausmenetelmällä. Ensimmäinen mittaus tapahtui kokonaisille arkeille vapaita painoja ja niiden aikaansaamaa taipumaa käyttäen. Toinen mittaus suoritettiin koekappaleista Tira-aineenkoestuskoneella 3-p. -taivutuskokeella. Kuviossa 14. käy ilmi yhteys kahden eri mittaus-tavan välillä. Korrelaatio on 0,5736, mistä voidaan päätellä, että arkista suoritettu jäykkyyssmittaus vastaa koekappaleista suoritettua taivutusjäykkyyssmittausta.



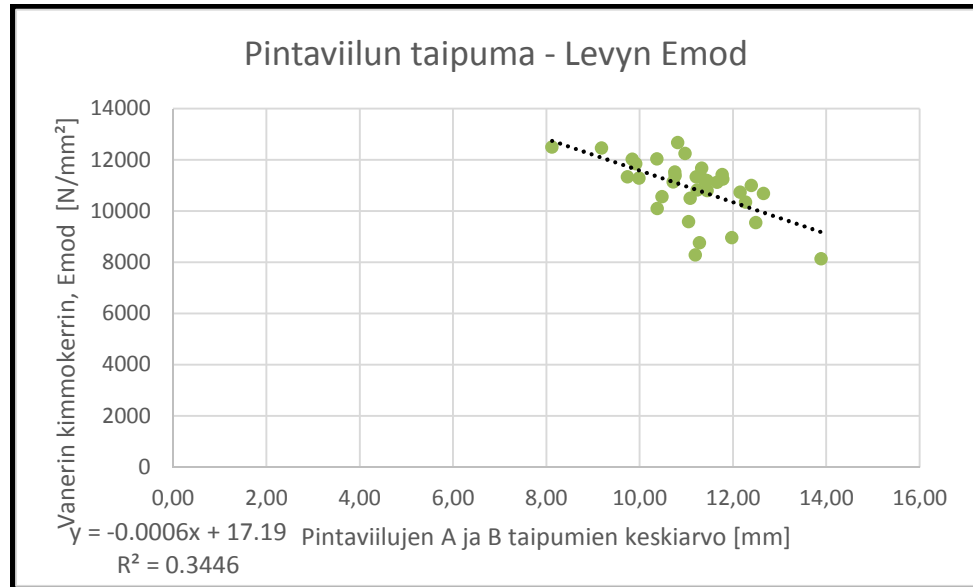
KUVIO 14. Arkista suoritettujen taipumamittausten suhde viilukoekappaleista suoritettuihin 3-p. taivutusmittauksiin (EI)

Arkkien lajitteluperusteena käytettiin kahden punnusmittauksen taipuman erotusta. Mittaustuloksia tarkasteltaessa havaittiin kuitenkin parempi korrelaatio viilun pelkän lopputaipuman ja vanerin lujuusominaisuuksien välillä. Kuviot 15 ja 16 osoittavat kahden punnusmittauksen erotuksen

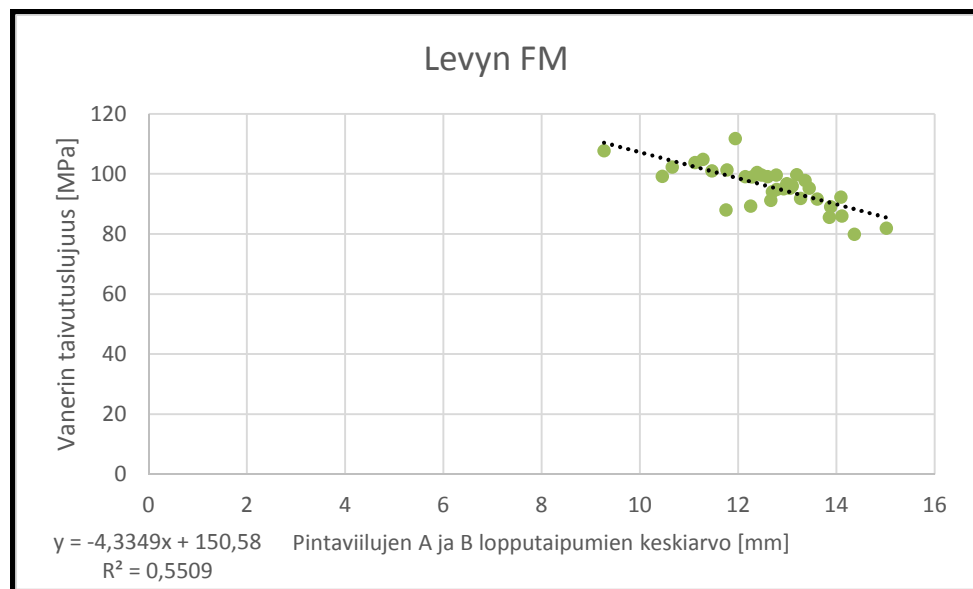
keskiarvojen suhdetta vanerin lujuusominaisuuksiin. Kuviot 17 ja 18 kuvaavat suuremman punnuksen taipuman suhdetta vanerin lujuusominaisuuksiin.



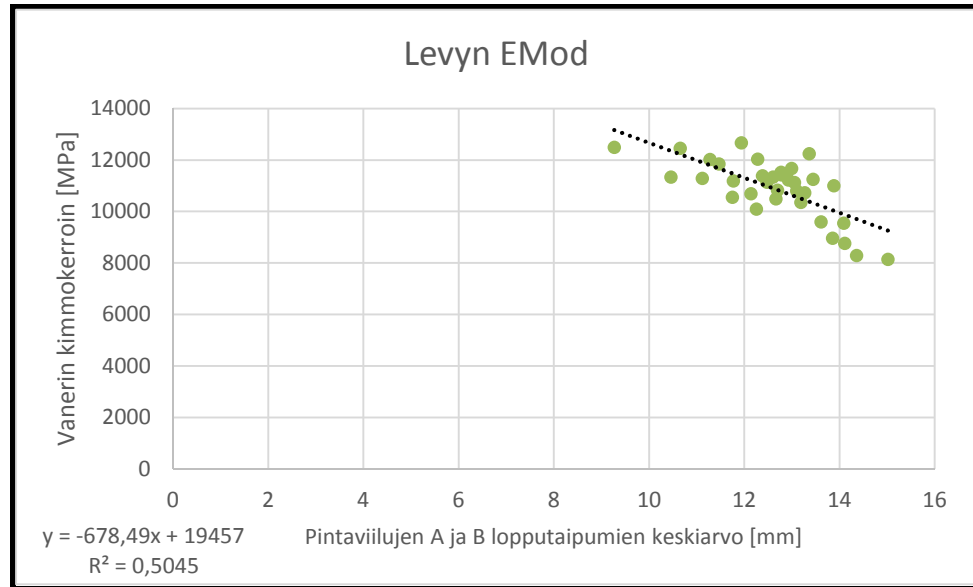
KUVIO 15. Pintaviilun kahden punnuksen taipumien erotuksen vaikutus vanerin taivutuslujuuteen



KUVIO 16. Pintaviilun kahden punnuksen taipumien erotuksen vaikutus vanerin kimmokertoimeen

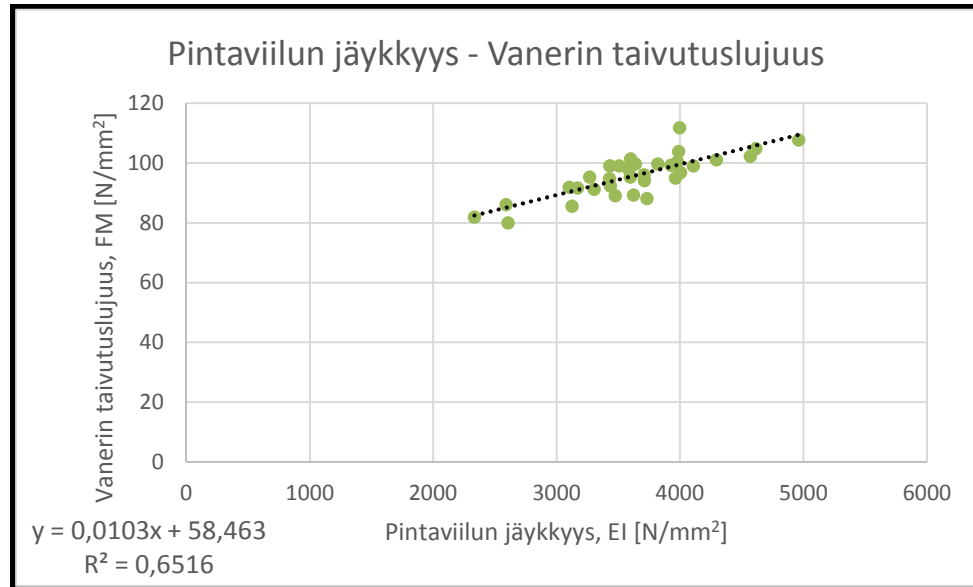


KUVIO 17. Pintaviilun lopputaipuman vaikutus vanerin taivutuslujuuteen



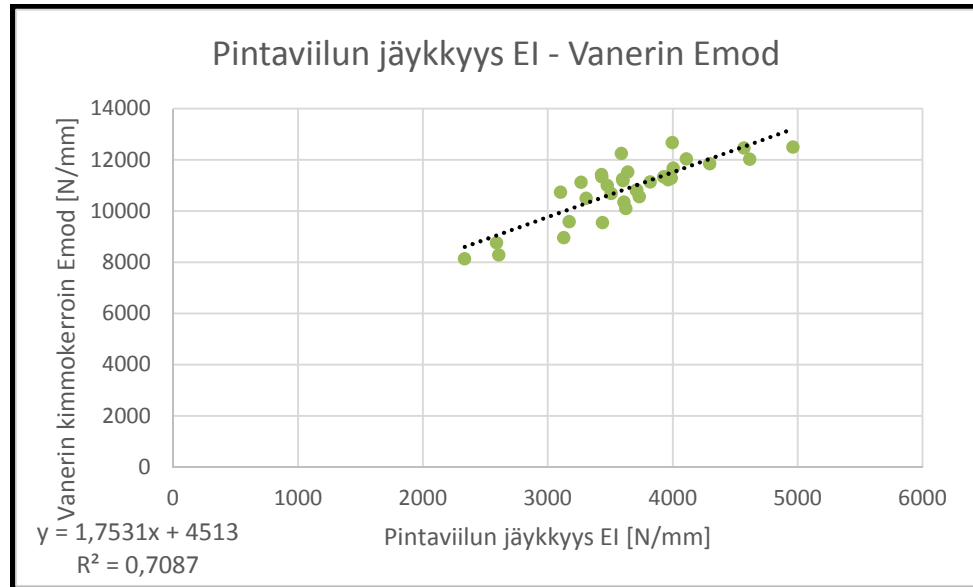
KUVIO 18. Pintaviilun lopputaipuman vaikutus vanerin kimmokertoimeen

Kuten taulukosta 11. käy ilmi, viilun jäykkyyden todettiin vaikuttavan vanerin taivutuslujuuteen, mutta vielä suurempi korrelaatio löytyi viilun jäykkyyden ja vanerin kimmokertoimen väliltä.



KUVIO 19. Pintaviilun jäykkyyden vaikutus vanerin taivutuslujuuteen

Yllä olevassa kuviossa 19. näkyy regressiosuora pintaviilun jäykkyyden vaikutuksesta taivutuslujuudelle ja alta löytyvästä kuviossa 20. näkyy regressiosuora viilun jäykkyyden vaikutuksesta vanerin kimmomoduuliin. Vastaavia korrelaatioita löytyi myös pintaviilun kimmokertoimen vaikutuksesta vanerin kimmokertoimeen.



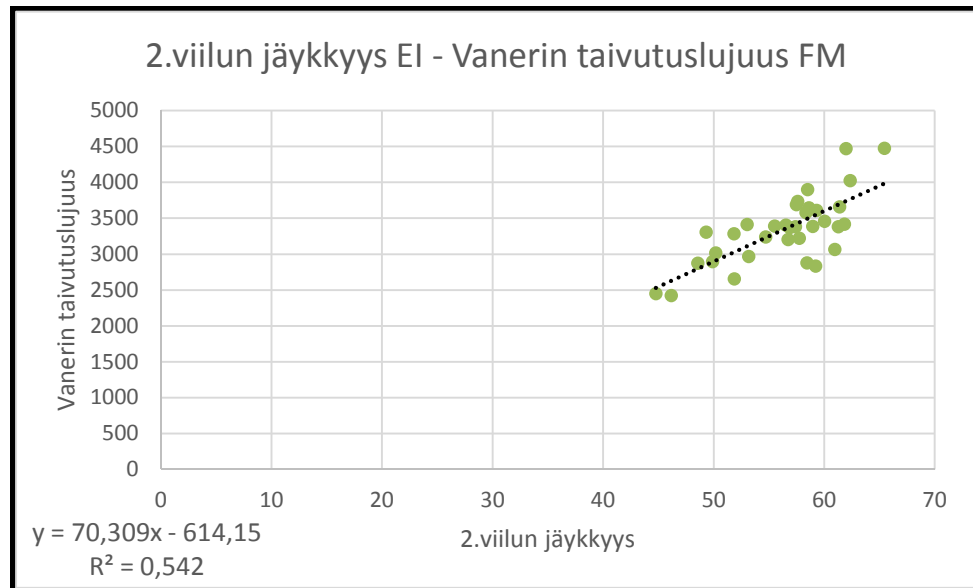
KUVIO 20. Pintaviilun jäykkyyden vaikutus vanerin kimmokertoimeen.

Kokeellisen taivutusmittauksen tulosten perusteella luokitellun aineiston luotettavuus tarkastettiin Minitab-ohjelman regressioanalyysin avulla. Taipumamittauksen ja lopputuotteen kimmokertoimen välillä todettiin tilastollisesti merkittävä yhteys ($p < 0,003$). 24,6 % vaihtelusta todettiin selittyvän kyseisellä mallilla ja korrelaatioksi saatiin -0,50, mikä kuvaa taipuman kasvaessa kimmokertoimen laskemista. Voidaan siis todeta, että viilujen lajittelu jäykkyyksiluokkiin arkin taipumamittauksen perusteella voidaan ennustaa vanerin kimmokerrointa.

Kun pintaviilun vaikutus tiedettiin, selvitettiin rinnalle myös niin sanottujen kakkosviilujen (välittömästi pintaviilujen alle jääneiden poikittaistenliimaviilujen) ominaisuuksien vaikutusta vanerin lujuusominaisuuksiin. Korrelaatioksi kakkosviilujen jäykkyyden ja vanerin pintaviilun suuntaisen taivutuslujuuden välillä tuli 0,542. Kuvaaja kakkosviilun vaikutuksesta vanerin taivutuslujuuteen on alla (kuvio 21).

Pintaviilujen jäykkyyden korrelaatio 2. viilujen jäykkyyteen on 0,266. Heikko korrelaatio viittaa siihen, että pintaviiluiksi ovat valikoituneet

selvästi parempilaatuiset viilut, eivätkä pinta- ja kakkosviilut ole riippuvaisia toisistaan. Pintaviilun lisäksi poikittainen 2. viilu näyttäisi vaikuttavan vanerin pintaviilun suuntaisiin taivutuslujuustuloksiin 7-ply vanerissa.



KUVIO 21. Kakkosviilun vaikutus vanerin syysuuntaiseen taivutuslujuuteen

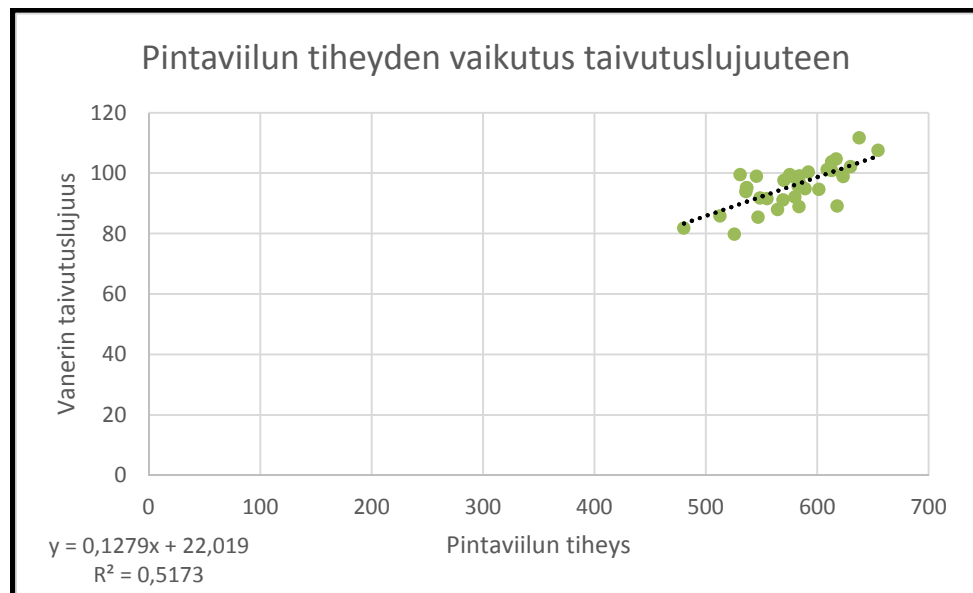
6.2.2 Viilun tiheys

Vaikka vanerin valmistuksessa käytettyjen viilujen tiheyksiä voidaan pitää täysin normaaleina, tutkittujen levyjen tiheys (n. 730 kg/m³) on hieman normaalin koivulevyn tiehyttä (n. 680 kg/m³) korkeampi. Syynä tiheämpiin levyihin voidaan pitää valmistuksessa käytettyä kuumapuristuskaavaa.

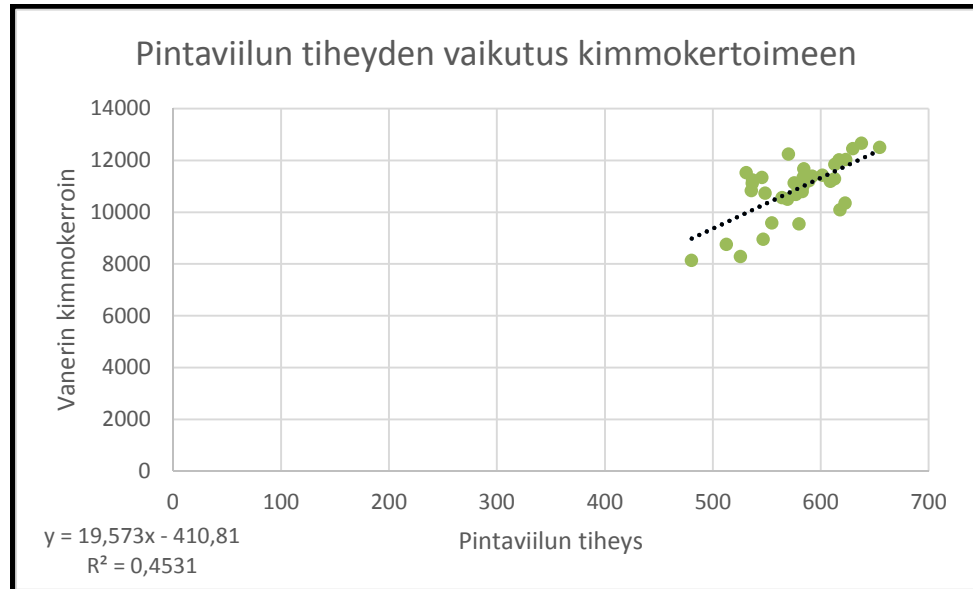
Tavallisesti tuotannossa käytössä on paksuusohjattu puristus, joka ei tihennä levyä liiaksi, vaan reagoi sen kokoonpuristumaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin kuitenkin paineohjattua puristusta, jossa täyspaine (17 bar) kesti kolme minuuttia riippumatta siitä, paljonko levy

tuona aikana todellisuudessa puristui. Todennäköisesti kaksi minuuttia täyspainetta olisi riittänyt, eivätkä levyjen tiheydet olisi nousseet näin yhtä korkeiksi. Saadut lujuuustulokset ovat hyviä ja niihin vaikuttaa hiomaton pintaviilu ja/tai paksuusohjatun puristuksen sijaan aikaohjattu kuumapuristus.

Tämän tutkimuksen osalta viilun tiheyden voidaan katsoa vaikuttavan vanerin lujuusominaisuuksiin, sillä taivutuslujuuteen sen korrelaatio oli (kuvio 22.) 0,5173 ja kimmokertoimeen 0,453 (kuvio 23.).



KUVIO 22.. Pintaviilun tiheyden vaikutus vanerin taivutuslujuuteen



KUVIO 23. Pintaviilun tiheyden vaikutus vanerin kimmokertoimeen

Viilun tiheyden ja vanerin jäykkyyden välillä tiedettiin olevan korrelaatio. Tiheämpi viiluaines taipuu vähemmän. Viilujen lujuuslajittelua tiheyden perusteella on kokeiltu tuotannossa jo aiemmin, mutta tämä tutkimus osoittaa, että viilun jäykkyydellä on parempi korrelaatio vanerin lujuusominaisuuksien kanssa kuin tiheydellä. Käytettyjen viilujen tiheyden ja jäykkyyden välinen korrelaatio on $R^2 = 0,23$.

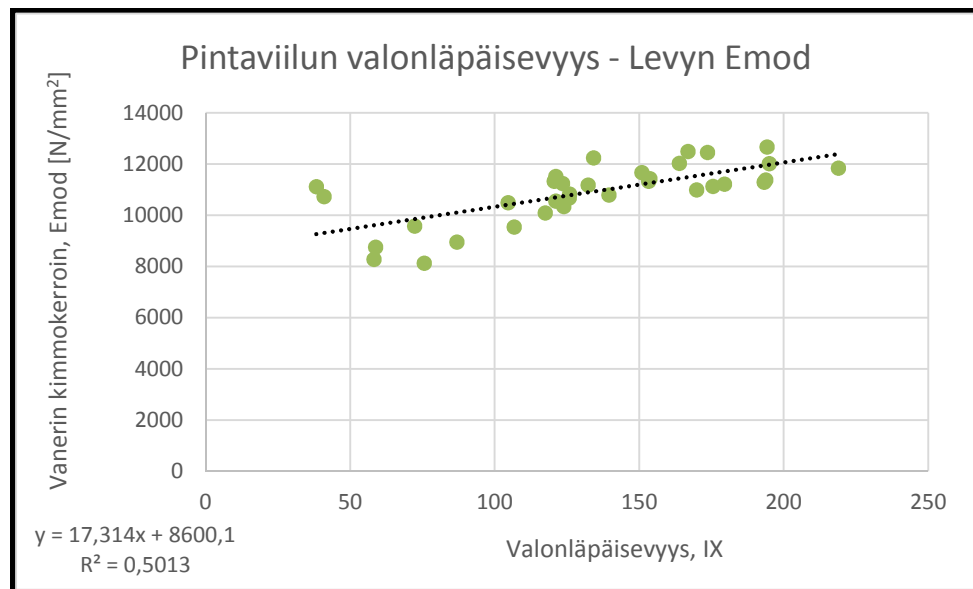
Jokseenkin pieni korrelaatio näiden muuttujien välillä osoittaa tiheyden olevan ”sokea” joillekin vioille, kuten painaville oksille. Jäykkyydsmittaus on näiltä osin tarkempi ja luotettavampi menetelmä viiluja lajiteltaessa.

6.2.3 Vinosyisyys ja valonläpäisevyys

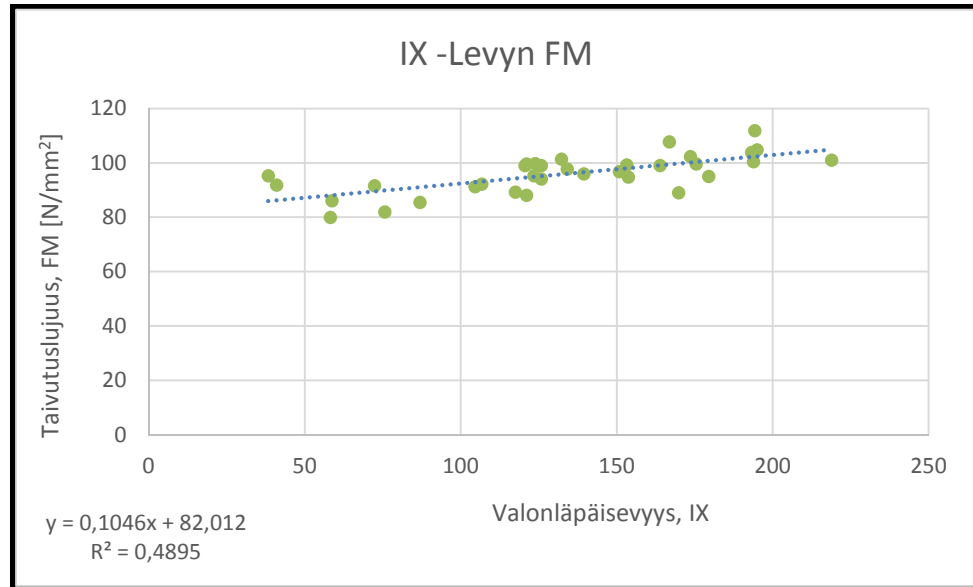
Aiemmin esitetystä taulukosta 11. näkyy, ettei vinosyisyydellä ole suurta merkitystä vanerin lujuusominaisuuksille. Lasermittauksen avulla saatiin selville kuitenkin yhteys valonläpäisevyyden merkitykselle lujuusominaisuuksien kannalta. On selvää, että valonläpäisevyys viittaa viilun muihin ominaisuuksiin, kuten tiheyteen, ja näin ollen viilun tiheys ja

valonläpäisy korreloivat sekä vanerin taivutuslujuuden että kimmokertoimen kanssa.

Alla on esitetty (kuvio 24.) pintaviilun valonläpäisevyyden vaikutus vanerin kimmokertoimeen. Mielenkiintoista asiaa tutkittaessa oli se, ettei aiemmin valon intensiteettimitattuja viiluja olla valmistettu levyiksi asti. Korrelaatio valonläpäisevyyden ja kimmokertoimen välillä on 0,5013 (kuvio 24.). Viilun valon läpäisevyyden havaittiin myös vaikuttavan vanerin taivutuslujuuteen, jolloin korrelaatio muuttujien kesken on 0,4895 (kuvio 25.).

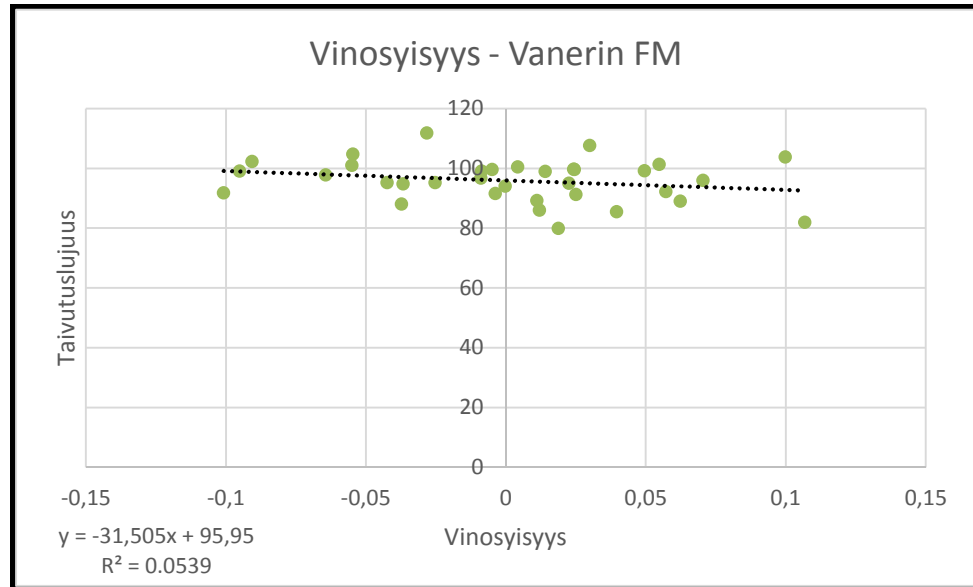


KUVIO 24. Pintaviilun valonläpäisevyyden vaikutus vanerin kimmokertoimeen

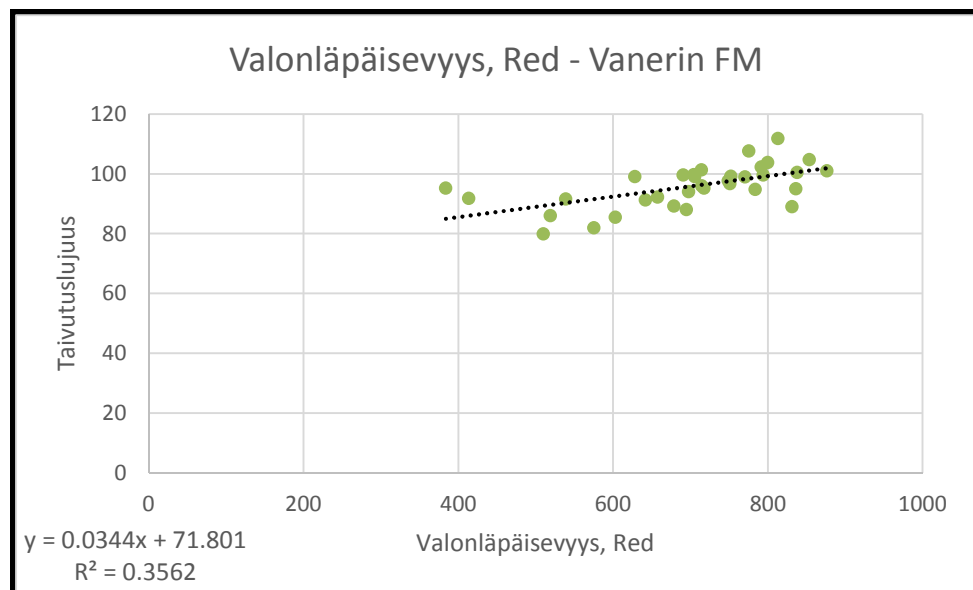


KUVIO 25. Pintaviilun valonläpäisevyyden vaikutus vanerin taivutuslujuuteen

Kuvoissa 24. ja 25. esitetään pintaviilun vinosyisyyden- ja valonläpäisevyyden, Red vaikutusta vanerin taivutuslujuuteen. Näiden muuttujien osalta vaikutus vanerin lujuusominaisuuksiin voidaan katsoa muita tekijöitä huomattavasti pienemmäksi korrelaatioiden ollessa vinosyisyyden osalta 0,0539 ja valonläpäisevyyden, Red 0,3562.



KUVIO 26. Pintaviilun vinosyisyyden vaikutus vanerin taivutuslujuuteen



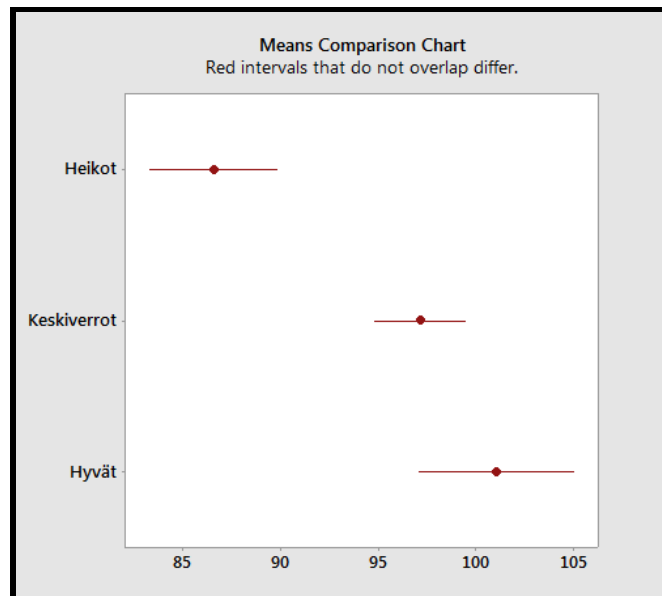
KUVIO 27. Pintaviilun valonläpäisevyyden, Red vaikutus vanerin taivutuslujuuteen.

7 TILASTOLLINEN ANALYYSI

7.1 ANOVA-Analyysi

Sopivan lajitteluperusteen löytämiseksi käytettiin apuna ANOVA-analyysiä. 34 levyn aineisto oli luokiteltu yhden muuttujan (viiluarkin taipuman) suhteen luokkiin: *Hyvät* (8 kpl), *keskiverrot* (19 kpl) ja *huonot* (7 kpl). Jokaisessa testissä luokkajako ja otoskoko pysyivät samana. Vastemuuttujaa muuttamalla etsittiin paras mahdollinen vanerin lujuudesta kertova ominaisuus.

Taipumien erotus - Kimmokerroin



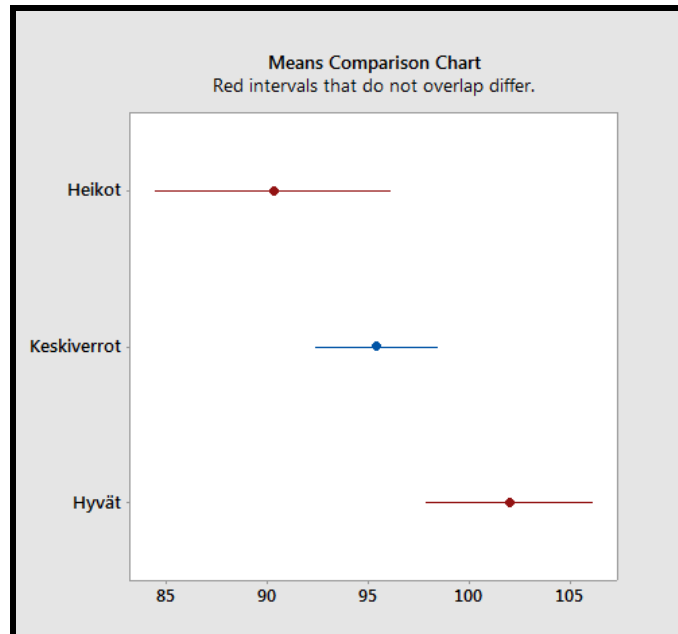
KUVIO 28. Yhdensuuntainen ANOVA taipuman suhteen luokitellulle aineistolle suhteessa vanerin taivutuslujuuteen.

Yksisuuntaisen ANOVA-testin p arvoksi saadaan $< 0,001$, joka on pienempi kuin valittu riskitaso $\alpha = 0,05$, joten H_0 - hypoteesi ($H_0: m_1 = m_2 = m_3$) hylätään. Ryhmien kimmokertoimien keskiarvot ovat siten erisuuruisia. (Kuvio 28. ja 29.)

Luokka2	Sample Size	Statistics		
		Mean	Standard Deviation	Individual 95% CI for Mean
Heikot	7	9183,1	974,63	(8281,7; 10084)
Hyvät	8	11649	673,99	(11086; 12213)
Keskiverrot	19	11211	649,43	(10898; 11524)

KUVIO 29. Yksisuuntaisen ANOVA-testin luokat, otoskoot, keskiarvot ja keskihajonnat.

Tiheys – Kimmokerroin



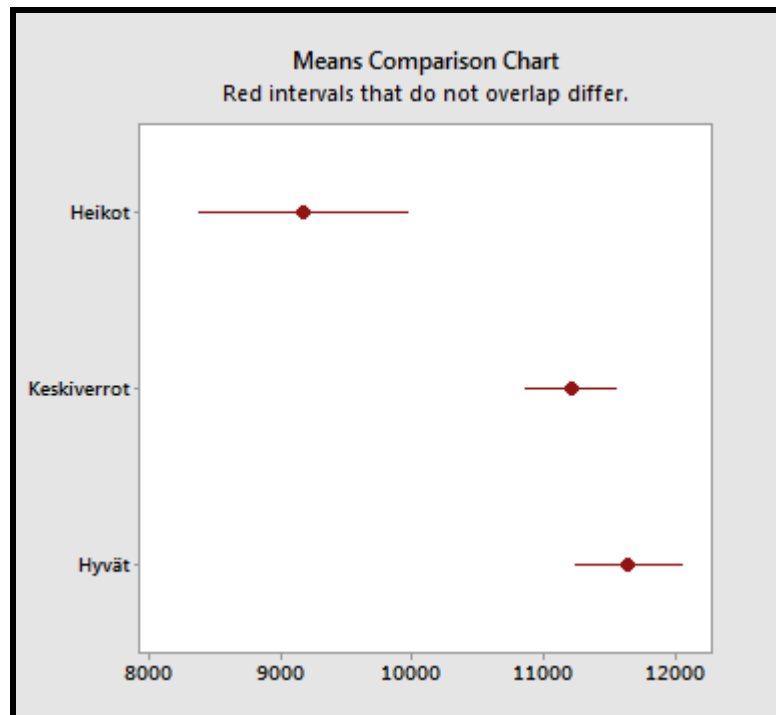
KUVIO 30. Yhdensuuntainen ANOVA tiheyden perusteella vanerin taivutuslujuudelle

Yksisuuntaisen ANOVA-analyysin p-arvoksi saadaan $< 0,028$, joka on pienempi kuin valittu riskitaso $\alpha = 0,05$, joten H_0 -hypoteesi hylätään. Luokkien väliset kimmokerrointen keskiarvot ovat tilastollisesti erisuuruisia. (Kuvio 30. ja 31.)

Luokka2	Sample Size	Statistics		
		Mean	Standard Deviation	Individual 95% CI for Mean
Heikot	7	90,294	7,5989	(83,266; 97,322)
Hyvät	8	101,95	6,6963	(96,355; 107,55)
Keskiverrot	19	95,392	4,9739	(92,994; 97,789)

KUVIO 31. Yksisuuntaisen tiheyden perusteella tehdyn ANOVA-testin luokat, otoskoot, keskiarvot ja keskihajonnat.

Tiheys – Taivutuslujuus



KUVIO 32. Yhdensuuntainen ANOVA tiheyden perusteella vanerin kimmokertoimelle

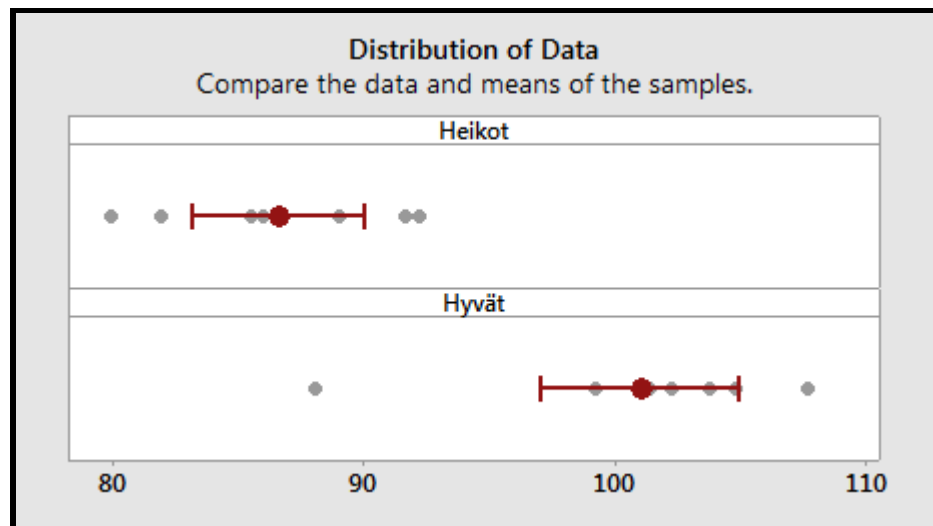
Otosten yksisuuntaisen ANOVA-analyysin p-arvoksi saadaan $< 0,001$, joka on pienempi kuin valittu riskitaso $\alpha = 0,05$, joten H_0 -hypoteesi hylätään. Luokan *Heikot* keskiarvo eroaa muista luokista. (Kuvio 32. ja 33.)

Luokka2	Sample Size	Statistics		
		Mean	Standard Deviation	Individual 95% CI for Mean
Heikot	7	9183,1	974,63	(8281,7; 10084)
Hyvät	8	11649	673,99	(11086; 12213)
Keskiverrot	19	11211	649,43	(10898; 11524)

KUVIO 33. Yksisuuntaisen tiheyden perusteella tehdyn ANOVA-testin luokat, otoskoot, keskiarvot ja keskihajonnat.

7.2 T-Testi

Kahden toisistaan riippumattoman muuttujan yksisuuntaisella t-testillä selvitettiin pitääkö olettaus luokkajaoista edellä käytetyssä yhdensuuntaisessa ANOVA testissä paikkaansa. Käytössä oli taipuman suhteen lajiteltu aineisto ja tutkittavana kohteena taivutuslujuus.



KUVIO 34. Kahden näytteen t-testi osoittaa heikkojen ja hyvien eroavan toisistaan

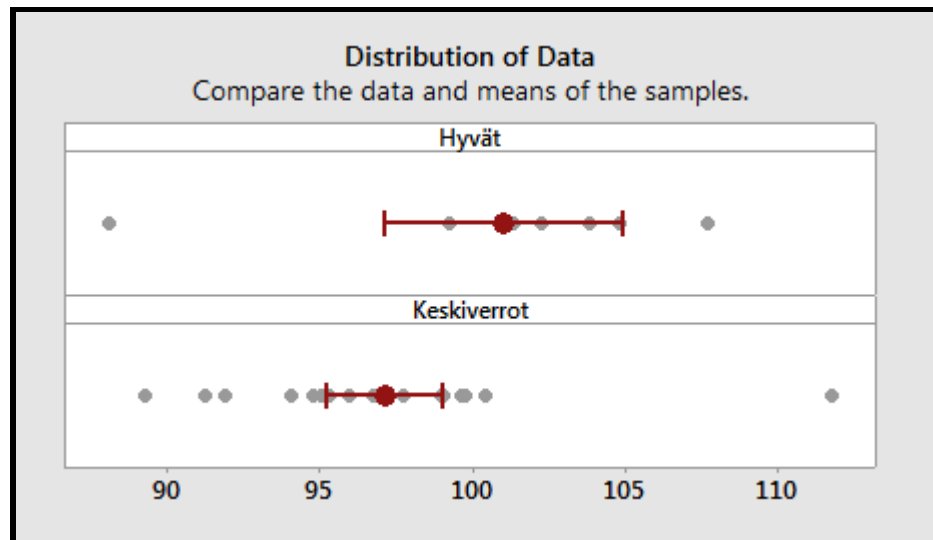
Riippumattomien otosten yksisuuntaisen t-testin perusteella p-arvoksi saadaan $< 0,001$, joka on pienempi kuin valittu riskitaso $\alpha = 0,05$, joten H_0 -hypoteesi hylätään. Ryhmien *heikot* ja *hyvät* taivutuslujuuksien keskiarvot ovat erisuuruisia. Ero ryhmien keskiarvoissa on 14,42 MPa kuvion 35 mukaisesti. (Kuvio 34. ja 35.)

Individual Samples		
Statistics	Heikot	Hyvät
Sample size	7	8
Mean	86,613	101,03
90% CI	(83,18; 90,05)	(97,113; 104,95)
Standard deviation	4,6732	5,8528

Difference Between Samples	
Statistics	*Difference
Difference	-14,42
90% CI	(-19,269; -9,5711)

*Difference = Heikot - Hyvät

KUVIO 35. Yksisuuntaisen, tiheyden perusteella tehdyn t-testin luokat, otoskoot, keskiarvot ja keskihajonnat.

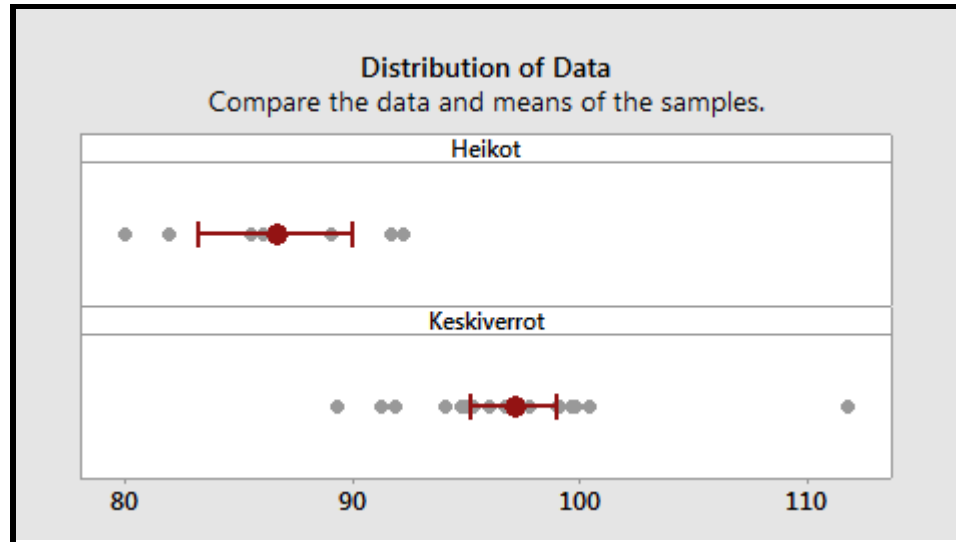


KUVIO 36. Kahden näytteen t-testi osoittaa, että hyvien ja keskiwerrojen ero on pieni

Riippumattomien otosten yksisuuntaisen t-testin perusteella p-arvoksi saadaan $< 0,062$, joka on suurempi kuin valittu riskitaso $\alpha = 0,05$, joten H_0 -hypoteesi ($H_0: m_1 = m_2$) hyväksytään. Ryhmien taivutuslujuuksien keskiarvot ovat tilastollisesti yhtäsuuria, vaikka havaittu ero on 3,89 Mpa. (Kuvio 36. ja 37.)

Individual Samples		
Statistics	Hyvät	Keskiverrot
Sample size	8	19
Mean	101,03	97,135
90% CI	(97,11; 105,0)	(95,238; 99,032)
Standard deviation	5,8528	4,7688
Difference Between Samples		
Statistics	*Difference	
Difference	3,8982	
90% CI	(-0,30535; 8,1018)	
*Difference = Hyvät - Keskiverrot		

KUVIO 37. Yksisuuntaisen tiheyden perusteella tehdyn t-testin luokat, otoskoot, keskiarvot ja keskihajonnat.



KUVIO 38. Kahden näytteen t-testi osoittaa, että heikkojen ja keskivertojen eron

Riippumattomien otosten yksisuuntaisen t-testin perusteella p-arvoksi saadaan $< 0,001$, joka on pienempi kuin valittu riskitaso $\alpha = 0,05$, joten H_0 -hypoteesi hylätään. Ryhmien taivutuslujuuksien keskiarvot ovat erisuuruisia. Havaittu ero on 10,5 MPa. (Kuvio 38. ja 39.)

Individual Samples		
Statistics	Heikot	Keskiverrot
Sample size	7	19
Mean	86,613	97,135
90% CI	(83,18; 90,05)	(95,238; 99,032)
Standard deviation	4,6732	4,7688
Difference Between Samples		
Statistics	*Difference	
Difference	-10,522	
90% CI	(-14,287; -6,7561)	
*Difference = Heikot - Keskiverrot		

KUVIO 39. Yksisuuntaisen tiheyden perusteella tehdyn t-testin luokat, otoskoot, keskiarvot ja keskihajonnat.

Tutkimustulosten luotettavuus

Tutkimustuloksien luotettavuuteen vaikuttavat useat tekijät. Osa on luonteeltaan tulosten luotettavuutta vahventavia ja osa luonnollisesti tutkimustuloksia heikentäviä.

Luotettavuutta heikentäviä tekijöitä voidaan olettaa olevan raaka-aineen laadun, olosuhteiden, kuten ilmankosteuden, vaihtelut koestusten aikana ja kehitysasteella olevien kokeellisten jäykkyyksmittausten epätarkkuus. Alkutaipumien mittauksessa havaittiin epätarkkuutta, koska alkupaino (200 g) osoittautui liian kevyeksi ja aiheutti taipumien erotukseen virhettä. Pelkän lopputaipuman havaittiin olevan parempi vanerin taivutuslujuutta ennustettaessa.

Suuresta viilumäärästä johtuen levyjen määrä oli tässä tutkimuksessa rajallinen. Suuremmalla levymäärällä tuloksesta saataisiin luotettavampi.

Luotettavuutta tutkimuksen tuloksien ja suorittamisen kannalta lisää se, että kaikki tutkimukset tehtiin yhden ja saman henkilön toimesta. Näin

voidaan sulkea pois eri ihmisten toimintatapojen aiheuttamat poikkeamat. Kaikki käytetyt viilut olivat samasta viiluerästä ja vanerin valmistuksessa käytetty hartsi oli tuoretta, mikä poissulkee osin esimerkiksi liimavikaisten levyjen olemassaolon.

Vaikka taipumamittauksessa tulos on todennäköisesti epätarkin ja vaihtelua tapahtui viilujen välillä, pystyttiin sen avulla ennustamaan kuitenkin hyvin lopputuotteen taivutuslujuutta ja kimmokerrointa. Varmistaaksemme kokeen luotettavuuden tarkasteltiin luokiteltua aineistoa ANOVA-analyysillä ja t-testillä.

Vetolujuus

Kuten tuloksista käy ilmi, suurin vaihtelu viilujen lujuusominaisuuksissa löytyy vetolujuustestien tuloksista. Tämä selittyy sillä, että viilun kaikki viilun viat ja ominaisuudet korostuvat vetotestin aiheuttamassa rasituksessa. Mikäli koestettavassa kappaleessa on oksa, oksan lähialue tai muusta syystä johtuvaa vinosyisyyttä tai lahoa, on tulos todennäköisesti heti huono.

Vinosyisyys ja valonläpäisevyys

Vinosyisyyttä määritettäessä ensiarvoisen tärkeää olisi oikeaan suuntaan paloitetut koekappaleet, joiden tulisi olla reunoista tasaiset. Pienikin vinous alareunassa, vinoon asetettu kappale tai huolimaton leikkaus vääristää tulosta.

Valonläpäisevyyden suhteen on selvää, että paksusta ja suorasyisestä viilusta menee vähemmän valoa läpi kuin ohuesta ja hauraasta.

Vaurioitunut tai vikainen puuaines pirstaloittaa valon ja näin valonläpäisevyysominaisuus on pienempi. Puukuitujen rakenne ja sijoittuminen vaikuttavat myös valosäteiden etenemään.

Valonläpäisevyysominaisuudella saadaan siis selville viilunäytteen rakenteellisia ominaisuuksia. Oksat ja tummentumat voivat vääristää tulosta.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli viilun jäykkyyden vaikutuksen selvittäminen vanerin taivutuslujuuteen. Tutkimus saatiin päätökseen aikataulussa ja yhteys viilun jäykkyyden ja taivutuslujuuden osalta löydettiin lukuisten mittausten, koestusten ja analysointien jälkeen.

Lopputuotteen laadullisiin lujuusominaisuuksiin vaikuttaa monien toisistaan riippuvien ja riippumattomien tekijöiden summa. Tutkimuksen aikana saatiin selville esimerkiksi jäykkyyden vaikutus kimmokertoimeen ja viilun tiheyden vaikutus sen valonläpäisevyyteen. Useat tekijät ovat yhteydessä toisiinsa, eikä niitä siksi voida välttämättä tutkia huomioimatta toisiaan.

Tarkoilla laboratoriotason mittauksilla selvitettiin, kuinka viilun ominaisuus vaikuttaa vanerin lujuusominaisuuksiin. Tällä menetelmällä saatiin suurin saavutettavissa oleva tarkkuus vanerin ominaisuuksia arvioitaessa viiluraaka-aineen perusteella. Laboratoriotutkimuksessa viilun taivutusjäykkyyden ja viilun paksuuden perusteella voidaan arvioida vanerin lujuutta melko tarkasti ($R^2 = 0,65 - 0,73$)

Käsin punnituksilla tehdyillä mittauksella ei viilun ominaisuuksia pystytä määrittämään aivan yhtä tarkasti kuin tarkoillalaboratoriomittauksilla. Esimerkiksi tiheyden mittaustarkkuus on 10 % todellisesta tiheydestä. Viilun syysuuntaista jäykkyyttä (EI) pystytään arvioimaan noin 15 % tarkkuudella. Sen vuoksi käytännön mittausten korrelaatiokerroin R^2 tippuu arvoista 0,65 – 0,7 tasolle 0,45 – 0,55.

Toisin kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Söyrilä, 1981) tässä tutkimuksessa viilun vetolujuudella todettiin olevan huono korrelaatio vanerin lujuusominaisuuksien kanssa ($R^2 = 0,25$). Myös viilun vinosyysydelle ja vanerin lujuusominaisuuksille saatu korrelaatio oli oletettua pienempi ($R^2 = 0,1$).

Viilun tiheyden todettiin vaikuttavan vanerin lujuusominaisuuksiin ($R^2 = 0,45 - 0,52$). Viilun tiheydellä ja taivutuskimmokertoimella todettiin olevan

merkitsevä korrelaatio, joka on syytä huomioida taivutusjäykkyyden ja taivutuskimmokertoimen tuloksia tarkasteltaessa.

Taipuman perusteella lajiteltujen viilujen hyvien ja heikkojen jäykkyyden (EI) väliseksi eroksi saatiin 21 %. Taivutuslujuuden vaihteluvälin todettiin olevan keskimäärin 85,7 N/mm² - 104,2 N/mm² siten, että jäykkyydeltään heikoimmista viiluista valmistetut levyt olivat taivutuslujuudeltaan listan loppupäässä ja jäykimmistä viiluista valmistetut levyt selvästi parempia. Samansuuntainen esiintymä todettiin myös jäykkyyden ja kimmokertoimen suhteen.

Käsivaralla jäykkyyssmitattujen ja sen perusteella paremmuusjärjestykseen lajitellut viilut vastasivat varsin hyvin lopputuotteiden taivutuslujuuden paremmuusjärjestystä. Vanerin lujuusominaisuudet ovat siis ennustettavissa raaka-aineen ominaisuuksista. Yksinkertaisen jäykkyyssmittauksen avulla vanerin taivutusluutta voidaan parantaa valitsemalla jäykkyysominaisuuksiltaan parempia viiluja.

Tutkimuksessa kävi ilmi myös se, ettei vahvempaa vaneria valmistettaessa tule etenkin unohtaa pintaviilun lujuuden- ja jäykkyyden vaikutusta lopputuotteen laatuun. Pintaviilujen taipumaa on aikaisemmin tutkittu lähinnä huonekaluteollisuudessa, mutta tämän tutkimuksen uutuusarvoa lisää käytetty mittausmenetelmä kapealla painimella sekä se, ettei taipuman mittausta ole käytetty aikaisemmin vanerin lujuusominaisuuksien tutkimiseen.

LÄHTEET

Kirjallisuuslähteet

Antikainen, T. 2015. Koivuviilun sorvaushalkeamien syvyyden ja syykulman samanaikainen mittaust. Metropolia ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala. Automaatiotekniikan Insinöörityö.

Forsblom, V. 2007. Viilun verkkokuivauslinjan lajittelun parantaminen. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala. Puutekniikan opinnäytetyö.

Komulainen, A. 2014. Viilujen lujuuslajittelu: Raaka-aineen tiheyden vaikutus koivuviilun lujuusominaisuuksiin. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala. Puutekniikan opinnäytetyö.

Koponen, H. & Opetusministeriö. 1995. Puulevytuotanto. Saarijärvi: Gummerus Oy Kirjapaino.

Koponen, H. & Opetusministeriö. 2010. Puulevytuotanto. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kuusipalo, J. 1996. Suomen Metsätyypit. Rauma: Kirjayhtymä

Lehtinen, M. 1998. Effects of manufacturing temperatures on the properties of plywood. Espoo: Teknillinen Korkeakoulu

Metsäteollisuuden Työnantajaliitto. 1979. Vanerin valmistus. Helsinki: Metsäteollisuuden Työnantajaliitto ry.

Relander, P-G. 2003. Haudonta- ja sorvausolosuhteiden vaikutus koivuviilun lujuusominaisuuksiin. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö.

Söyriä, P. 1981. Raaka-aineen sekä sorvaus- ja liimausolosuhteiden vaikutus koivuvanerin lujuusominaisuuksiin. Espoo: VTT

Tenhunen, J. 2003. Kuivausolosuhteiden vaikutus koivuviilun ja -vanerin ominaisuuksiin. Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö.

Elektroniset lähteet

Metla. 2015. Metsäsektorin osuus bruttokansantuotteesta. [Viitattu 23.1.2015]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/kestavyys/c6-contribution-of-forest.htm>

PuuProffa 2015. Puulajit [Viitattu 26.3.2015]. Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puulajit/puulajit

PuuProffa 2015. Puun rakenne [Viitattu 20.7.2015]. Saatavissa: http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puun-rakenne

UPM-Kymmene Oyj. 2015a. UPM Liiketoiminnot. [Viitattu 25.3.2015]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Liiketoiminnot/Pages/default.aspx>

UPM-Kymmene Oyj. 2015b. UPM – The Biofore Company. [Viitattu 25.3.2015]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Pages/default.aspx>

UPM-Kymmene Oyj. 2015c. Vaneri. [Viitattu 25.3.2015]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Liiketoiminnot/Vaneri/Pages/default.aspx>

UPM Vuosikertomus 2014. 2015. UPM Plywood [Viitattu 25.3.2015]. Saatavissa: http://www.upm.com/FI/SIJOITTAJAT/Documents/UPM_vuosikertomus_2013.pdf

Wisa Plywood 2015. Koivuvaneri-laadut. [Viitattu 21.7.2015]. Saatavissa: <http://www.wisaplywood.com/fi/vaneri-ja-viilu/vaneri/laadut/koivuvaneri-laadut/Pages/default.aspx>