

Ohutviiluvanerin taivutussäteen määrittäminen

Koskisen Oy

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Puutekniikka

2021

Toni Strömberg

Tiivistelmä

Tekijä(t) Strömberg, Toni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 43	Valmistumisaika 2021
Työn nimi Ohutviiluvanerin taivutussäteen määrittäminen Koskisen Oy		
Tutkinto Insinööri (AMK), Puutekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Mika Hurri, Sales Development Manager, Koskisen Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Koskisen ohutviiluvaneritehtaalle. Vanerit on suunniteltu rakennusmateriaaliksi käyttökohteisiin, joissa tarvitaan materiaalilta jäykkyyttä, mutta kevyttä rakennetta. Vaneri on hyvin muotonsa pitävä, johtuen pääsääntöisesti viilujen ristiin ladonnasta. Ohutviiluvanerien rakenne on samanlainen, mutta ohuet vanerit ovat silti hyvin taipuisia. Ohutviiluvanereita käytetään sekä käyttökohteissa, joissa tarvitaan rakenteellista lujuutta, että koristeellisissa kohteissa, joissa pinnan laatu on tärkeä, mutta pelkkä viilu on liian ohut. Joskus käyttökohteissa tarvitsee taivuttaa vaneria, esim. lentokoneteollisuus ja soitinteollisuus.</p> <p>Työn tarkoituksena oli saada selville eri vahvuisten ohutviiluvanerien taivutuskykyä. Taivutustestejä varten suunniteltiin ja valmistettiin erillinen taivutuslaitteisto, jolla vanereita voitiin taivuttaa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena voitiin todeta ohutviiluvanereiden taipuvan helposti 1,0 mm vahvuuteen asti, minkä jälkeen taivutukseen tarvittava voima lisääntyy merkittävästi. Tulosten perusteella Koskisen Oy:lle laadittiin asiakaspalvelun tueksi taivutusohje-malli.</p>		
Asiasanat Ohutviiluvaneri, Lentokonevaneri, Taivutus		

Abstract

Author(s) Strömberg, Toni	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 43	
Title of Publication Determination of thin plywood mending radius Koskisen Oy		
Name of Degree Engineer (UAS), Wood technology		
Name, title and organization of the client Mika Hurri, Sales Development Manager, Koskisen Oy		
Abstract <p>Thesis was made as an assignment for Koskisen Oy thin plywood factory. Plywood was designed to be used in places where rigidity and light weight is needed. Plywood maintains its form very well due to its cross-banded lay-up structure. Structure of the thin plywood is the same but because plywood is thin it has some flex already. Thin plywood is used both for constructions where rigidity is needed, and in decorative places where good quality of the face is needed but only one ply is not enough. In some cases, thin plywood must be bent e.g., in aircraft industries, and instrument industries.</p> <p>The purpose of the thesis was to determine how thin plywood bends with different plywood thicknesses. For bending tests, the bending jig was designed and built.</p> <p>As a result of the thesis the thin plywood will bend easily as thick as 1,0 mm after which the force needed for the bend increases significantly. In addition, the bending instructions-sample was made to help customer service at Koskisen Oy.</p>		
Keywords Thin plywood, Aircraft plywood, Bending		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Koskisen Oy	2
2.1	Yritys	2
2.2	Sahatavara ja -jalosteet	2
2.3	Vaneri	3
2.4	Lastulevy	3
2.5	Ohutviiluvaneri ja viilut	3
3	Ohutviiluvaneri	4
3.1	Erikoiskoivun laatuvaatimukset ja materiaalin valinta	4
3.2	Ohutviiluvanerin valmistusprosessi	4
3.2.1	Viilun sorvaus	7
3.2.2	Ohutviiluvanerin valmistus	10
3.3	Ohutviiluvanerin käyttö	12
3.4	Muut ohutviiluvaneria valmistavat yritykset	13
4	Materiaalin taivutussäteen testaus	15
4.1	Testaussuunnitelma	15
4.1.1	Testilaitteen valmistus	20
4.1.2	Lentokonevaneri	24
4.2	Testit	25
4.2.1	Testattavat tuotteet	26
4.2.2	180-asteen taivutus	26
5	Tulokset ja tulosten tarkastelu	31
6	Kehitysehdotukset	41
7	Yhteenveto	42
	Lähteet	43

Liitteet

Liite 1. Alustavat testit

Liite 2. Testilaitteen piirustukset

Liite 3. Testiryhmän 1 tulokset

Liite 4. Testiryhmän 2 tulokset

Liite 5. Testiryhmän 3 tulokset

Liite 6. Testiryhmän 4 tulokset

Liite 7. Testiryhmän 5 tulokset

Liite 8. Testiryhmän 6 tulokset

Liite 9. Testiryhmän 7 tulokset

Liite 10. Testiryhmän 8 tulokset

Liite 11. Testiryhmän 9 tulokset

Liite 12. Taivutusohje-malli

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Koskisen Oy:n ohutviiluvaneri- ja vaneritehtaalle Hirvensalmelle. Koskisen Oy on ainoa Suomessa ohutviiluvanereita valmistava yritys. Ohutviiluvaneria käytetään usein koriste- ja korutuotannossa, mutta myös rakenteellisia käyttökohteita ohutviiluvanerille on olemassa. Ristiin ladotut vanerit, joita tässäkin opinnäytetyössä tutkittiin, on suunniteltu jäykäksi rakenteeksi, joka pitää muotonsa ja jäykkyytensä hyvin. Kuitenkin esimerkiksi soitin- ja lentokoneteollisuus ovat hyviä esimerkkejä käyttökohteista, joissa vaneria tarvitsee myös taivuttaa.

Asiakaspalvelun parantamiseksi Koskisella on tarve selvittää kuinka paljon heidän vanerinsa taipuvat hajoamatta, ja kuinka vanereita kannattaa taivuttaa. Opinnäytetyössä selvitettiin eri paksuisten vanereiden taipuisuutta. Lisäksi testejä tehtiin eri liimalla liimatuille vanereille.

Testit rajattiin viiteen vaneripaksuuteen siten, että yleisin asiakastuotepaksuus otettiin tarkkailun keskikohdaksi. Taivutusten pääsuunta rajattiin pintaviilun syysuuntaan, mutta yhdestä vaneriluokasta taivutustestejä tehtiin myös poikkisyysuuntaan. Taivutustestaukset rajattiin myös kuivan, ns. hyllytavarana, vanerit taivutuksiin. Näin jokaisella asiakkaalla olisi yhtäläiset mahdollisuudet vanerin taivutukseen.

Työ aloitettiin suunnittelemalla taivutusten testilaitteisto, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Tämän jälkeen testeihin valitut vanerit taivutettiin testilaitteiston avulla niin pienelle säteelle, että testikappaleet murtuivat. Opinnäytetyön tavoitteena on saada ohjeelliset arvot eri vanerien taivuttamiseen asiakaspalvelun tueksi.

2 Koskisen Oy

2.1 Yritys

Koskisen Oy on 1909 perustettu perheyritys, jonka toimiala on saha- ja levyteollisuudessa. Koskisella työskentelee yhteensä noin 900 henkilöä kolmella eri paikkakunnalla ja neljässä toimipisteessä. Koskisen Oy valmistaa suomalaisesta kuusesta männystä ja koivusta tuotteita niin rakentamiseen, kuljetusvälineisiin, huonekaluihin, puusepänteollisuuteen kuin pakkauksiinkin. Koskisen Oy käyttää hankkimansa puuraaka-aineen lähes sata prosenttisesti omiin tuotteisiinsa. (Koskisen tarina 2021.) Vuonna 2020 Koskisen liikevaihto on ollut 220 M€, josta vientiin on mennyt 56 %. Suurimman vientimaat ovat Saksa, Japani, Puola, Ranska ja Hollanti. (Koskisen Oy 2020, 3.)

Koskisen ammattitaitoinen henkilökunta on mukana puun koko matkan metsästä sahatavaraksi asti, ja vastaa siitä, että puu on vastuullisesti kasvatetuista metsistä hankittu. Koskisen Oy palvelee asiakastaan läpi koko prosessin aina hakkuista metsänhoitoon ja taimien uudelleen istutuksiin. (Koskisen tarina 2021.)

2.2 Sahatavara ja -jalosteet

Sahatoiminta on Koskisen toiseksi suurin toimiala 40 % osuudella koko Koskisen liikevaihdosta (Koskisen Oy 2020, 3.) Suomalaisesta kuusesta ja männystä valmistetaan sahatavaraa rakentamisen tarpeisiin tuotteita laajalla mittavalikoimalla. Pääosin sahatavarat tuotetaan Järvelän sahalla, mutta Hirvensalmen Kissakoskella oleva saha on erikoistunut lisäksi pieniläpimittaisen puun sahaukseen. Kissakosken saha on Koskisella vuokralla. Lisäksi tuotevalikoimaan kuuluu mitallistettu ja lujuuslajiteltu sahatavara sekä lattialaudat. Ulko- ja sisäverhouspaneelit kuuluvat valikoimaan sekä pinta-, että pohjamaalattuna. Kaikki Koskisen sahatavara merkitään KKN-laivausmerkillä, joka on maailmallakin tunnettu. Kesäkuusta 2021 lähtien myös Kissakosken sahalla valmistetut tuotteet ovat saaneet Koskisen KKN-laivaustunnuksen. (Sahatavara ja -jalosteet 2021.)

Jalostettuna sahatavarana Koskisen Oy tarjoaa maalattujen verhouspaneelien lisäksi erilaisia höylättyjä tuotteita sekä palosuojattua sahatavaraa. Palosuojaukseen kuuluu sinistymä-, home- ja lahonsuoja-aine sekä itse palosuojamaali. Näin tuotteille on saatu jopa P1-luokan palosuojat. (Sahatavara ja -jalosteet 2021.)

2.3 Vaneri

Järvelässä sijaitsee myös Koskisen vaneri- ja lastulevytehdas. Yhdessä nämä ovat liikevaihdollisesti Koskisen suurin liikeala 45 % osuudella koko yhtiön liikevaihdosta (Koskisen Oy 2020, 3). Koskisen Oy valmistaa kestäviä ja laadukkaita vanereita suomalaisesta koivusta aina rakennusteollisuuden tarpeista dekoratiivisiin sisustustuotteisiin ja kulkuneuvoihin.

Yhteensä Koskiselta on 29 erilaista vanerituoteperhettä asiakkaiden tarpeisiin. Perusvanereiden lisäksi Koskisen vaneri- ja lastulevytehtaalta saa erilaisia pinnoitettuja vanereita, jotka soveltuvat erityisen hyvin erilaisiin valumuotteihin tai ajoneuvojen lattiarakenteiksi. Erilaisilla pinnoitteilla saadaan esimerkiksi lattialevyihin liukuesteitä, valumuotteihin sileät ja tarraamattomat pinnat, tai vain värikäs koristepinta sisustustarpeisiin. (Vaneri 2021.)

2.4 Lastulevy

Järvelän Vaneri- ja lastulevytehtaalla valmistetaan myös Koskisen lastulevyt. Koskisen lastulevytehdas on Suomen ainoa lastulevytehdas. Koskinen valmistaa lastulevyjä niin rakentamisen, kuin huonekaluteollisuudenkin tarpeisiin, yhteensä kymmeneen eri tuotepereeseen. Koskisen lastulevyt valmistetaan 90 % sahateollisuuden sivutuotteista. Lastulevyt ovat saatavilla joko ilman pinnoitetta, tai erilaisilla paperipinnoitteilla, laminaatilla tai fenolifilmillä pinnoitettuna (Lastulevyt 2021.) Erilaisilla pinnoitteilla saadaan tuotteeseen ulkonäön lisäksi myös lisättyä esimerkiksi lattialevyihin kitkapinta tai pöytätasoihin näyttävä ja paremmin kosteutta kestävä pinta.

2.5 Ohutviiluvaneri ja viilut

Koskinen valmistaa lujaa ja taipuisaa ohutviiluvaneria suomalaisesta koivusta Koskisen Hirvensalmen tehtaalla. Ohutviiluvaneri ja viilut yhteensä ovat Koskisen liikevaihdosta n. 2 % ja ne työllistävät 42 henkilöä. Koivuvaneria Koskinen valmistaa n. 4050 m³ vuosittain ja lähes 296 000 m³ ohutviiluvaneria. Tuotannosta lähes puolet menee Euroopan markkinoille, 20 % jää Suomeen ja loput Euroopan ulkopuolelle. (Koskisen Oy 2020, 4.)

Ohutviiluvanerit soveltuvat hyvin laser- ja vesileikkaamiseen. Siistin pinnan ja ohuen rakenteen ansiosta ohutviiluvanerit soveltuvat hyvin myös designtuotteisiin sekä valaisimiin. Ohutviiluvaneritehtaalla valmistetaan myös CLW-koivuvaneri, joka soveltuu lujutensa ansiosta hyvin kohteisiin, joissa yleisesti muuten käytettäisiin muovia tai metalleja (Ohutviiluvaneri ja viilut 2021.) Lisää ohutviiluvanerista kappaleessa 3.

3 Ohutviiluvaneri

3.1 Erikoiskoivun laatuvaatimukset ja materiaalin valinta

Ohutviiluvanerin valmistus alkaa jo metsästä, jossa puunhankinta, yhdessä osaavien metsureiden kanssa, valitsee vain parhaat koivut Hirvensalmelle tuotavaksi. Valitussa koivutukeissa ei sallita oksia ollenkaan ja lenkous 15 dm tukissa saa olla vain 20 mm tukin läpimitasta riippumatta, kun tavallisen vaneritukin lenkous saa olla yli 24 cm halkaisijaltaan olevissa tukeissa joka 40 mm. Kovaa värillistä puuta sydämässä sallitaan koko tukin matkalla vain 1/3 tukin läpimitasta ja tunkin on oltava muutenkin virheetön. Myöskään korjuuvaurioita ei sallita, eikä konekorjuusta tulevat jäljet eivät saa olla ainespuussa asti. Tukin minimipaksuus mitataan tukin ohuimmalta puolelta kuoren päältä ja saa olla minimissään 26 cm. Maksimissaan tukki saa olla 65 cm paksu. Tukkien pituudet ovat 37 dm, 49 dm ja 52 dm. (Puu-kauppapalvelut 2021.) Mitat ovat Koskisen internetsivuilla ilmoitettuja mittoja.

3.2 Ohutviiluvanerin valmistusprosessi

Koskisen Oy valmistaa ohutviiluvanerinsa Hirvensalmen tehtaalla ja tehdas pyörii pääsääntöisesti kahdessa vuorossa. Valitut koivurungot tuodaan Hirvensalmen tukkikentälle, jonne ne lajitellaan omiin mittapinoihinsa. Tukkikentällä tukit pidetään märkänä sprinklereiden avulla ja näin estetään niiden kuivumishalkeileminen. Kesäaikaan lämpötilavaihtelut vaikuttavat valtavasti tukkien elämiseen, joten kastelu on erittäin tärkeää (kuva 1). Talvisin tukkien kuivuminen ei ole niin suuri ongelma tukkien jäätyksen vuoksi. Tästä syystä tukkeja voidaan varastoida myös lumivarastoissa (kuva 2) pidemmän aikaa, jotta tukkeja riittää tuotantoon ympäri vuoden. Lumivarastoinnissa tukit haudataan paksun lumipeitteen alle ja lumen päälle levitetään kuori tai sahanpurukerros eristeeksi.



Kuva 1. Koskisen Oy:n Hirvensalmen tehtaan tukkikentän sadettimia



Kuva 2. Koskisen Oy:n tukkeja lumivarastossa

Tukkikentältä tukit upotetaan haudonta-altaaseen. Haudonnalla parannetaan sorvatus viilun laatua, sillä lämpö ja kosteus lisäävät puun elastisuutta. Tavallisen vanerin haudonta tapahtuu noin +40 °C mutta ohutviilun sorvaus vaatii enemmän lämpöä – jopa +85 °C. (Varis 2017, 50.) Tukkeja haudotaan Koskisella ohutviilua varten haudonta-altaassa kolme päivää, että tukeista saadaan riittävän elastisia myös ohuimpien viilujen sorvaukseen.



Kuva 3. Tukkien haudonta-allas

Tukit lasketaan kuvassa 3 vasemmalla puolella olevaan altaaseen, josta ne uitetaan seinän toiselle puolelle. Haudonnan jälkeen tukit nostetaan kuvassa 3 oikealla puolella olevalla nosturilla kuljettimelle, joka kuljettaa tukit tämän jälkeen kuorittavaksi. Haudonta voidaan suorittaa myös valmiiksi kuorituille tukeille, jolloin haudonta-aika on hieman lyhyempi. Haudonta-altaan sijasta haudontaan voidaan käyttää erilaisia höyrykuumentimia, vesisuihkua tai näiden yhdistelmiä. (Varis 2017, 51.) Hirvensalmen tehtaalla kuitenkin haudotaan koivutukit +85 °C vedessä, sen linjastorakenteen takia.

Kuljetinlinjalta tukit kulkevat seuraavaksi kuorinnan ja katkonnan läpi kohti viilusorvia. Viilua voidaan valmistaa myös leikkaamalla, mutta Hirvensalmen tehtaalla on vain kaksi sorvia,

joilla viilua valmistetaan. Koskisen Oy valmistaa vanereita pääsääntöisesti kahdessa koossa, jotka ovat 1220 x 1220 mm ja 1450 x 1450 mm (KoskiFlex 2021.) Koska ohutviiluvanereita ei jatketa, määrittää tukin pituus lopullisen tuotteen mitat. Tämän takia vanerin valmistamista varten tukit sahataan 50 ja 60 tuuman mittaan. Lisäksi Hirvensalmella sorvataan 100 tuuman mitalla olevia tukkeja, mutta tästä sorvattu viilu menee pääasiassa viiluna suoraa asiakkaille.

3.2.1 Viilun sorvaus

Koskisen ohutviiluvaneritehtaalla on kaksi Rauten viilusorvia, joilla ensiluokkainen ohutviilu sorvataan. Vaikka sorvit ovat vanhoja, on ne pidettävä kunnossa, jotta tukeista saataisiin paras mahdollinen saanti. Viimeisin päivitys sorveihin on tullut muutama vuosi sitten, kun sorveihin asennettiin laserit, joilla tukin mittaus tapahtuu. Mitattu tukki asettuu automaattisesti optimaaliseen asentoon sorville keskittäjien avulla, kuten kuvassa 4.



Kuva 4. Viilusorvi

Sorvaajat asettavat sorviin kulloinkin tarvittavat asetukset, jolla sorvi hoitaa varsinaisen sorvauksen lähes itsenäisesti. Kuitenkin sorvaajalle jää sorvauksen valvontatehtävän lisäksi

tärkeitä tehtäviä, joita täytyy joka vuorossa hoitaa ensiluokkaisen viilun aikaansaamiseksi. Jos viilun laadussa on pienintäkään huomautettavaa, on usein sorvin terä päässyt tylsymään. Sorvaajan on tällöin vaihdettava terä. Vaikka terät vaihdetaan aina kun ne tylsyvät, vaihtavat sorvaajat terän joka tapauksessa ainakin kerran työvuoron aikana. Työvuoron päätteeksi sorvaajat teroittavat terät tehtaan omalla pajalla (kuva 5). Hirvensalmella sorvatut viilut alkavat 0,15 mm:n paksuudesta aina 1,0 mm:n paksuuteen asti (Ohutviiluvaneri ja viilut 2021). Näin ohuilla viiluilla ei hionnalle ole enää varaa. Tästä syystä terän kunto on erityisen tärkeää ohutviilun sorvauksessa, sillä pinnan on oltava sileä jo sorvauksen jälkeen.



Kuva 5. Sorvin terän teroituskone

Viilu sorvataan yhtenäisenä mattona ja pätkitään sorviliinjan päässä olevalla leikkurilla haluttuihin mittoihin. Vanereita varten leikatut viilut kone pinkkaa arkit kuvan 6 mukaisesti lavalle, jolla ne siirretään kuivurille. Asiakkaille menevät pelkät viilut leikataan asiakasmittoihin erikseen, ja niputetaan erikseen kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 6. Viilupino leikkurin jälkeen



Kuva 7. Asiakasviiluja

Hirvensalmen tehtaalla viiluarkit asetetaan käsin kuivurin liukuhihnalle yksitellen, kuten kuvassa 8. Kuivauksen jälkeen viilut ovat noin 8 % kosteudessa. Kuivatut viilut pinkataan käsin, ja samalla lajitellaan eri laatuluokkiin. Laatuluokkia Hirvensalmen tehtaalla on neljä – AB, B, C ja BR, josta AB on paras (Koskisen Oy 2020, 5). Lisäksi Koskisen oy valmistaa ilmailuvaneria joko TG tai GL laatuvaatimuksella (Koskisen Oy 2020, 7.) Näistä lisää kappaleessa 4.1.1.



Kuva 8. Viiluarkit menossa kuivuriin

3.2.2 Ohutviiluvanerin valmistus

Hirvensalmen ohutviiluvanertehtaalla on myös vanerin valmistus. Viilujen ja liimakalvojen ladonta puhdasta käsityötä. Ladontapisteelle (kuva 8) tuodaan viilulavoja siten, kuin kulloinkin on tarve, kuitenkin siten, että saatavilla on helposti tarvittavat viilun paksuudet ja laadut niin pinnalle, kuin väliinkin. Viilulavat asetetaan ladontapisteelle siten, että viiluja ei tarvitse erikseen käännettä, vaan pisteelle tuodaan useampi lavaa, josta osa on 90°:en kulmassa toisiin nähden. Myös oikeanlainen liimakalvolava tuodaan paikalle, kuten kuvan 8 oikeassa laidassa. Hirvensalmen tehtaalla on käytössä ainoastaan liimakalvoja vanereiden liimaukseen – Exterior, Interior ja Flex. Interior-liimakalvot ovat väritään valkoisia (kuva 8) ja Exterior-liimakalvo on ruskea. Tämä näkyy myös tuotteissa, joissa on käytetty ohuimpia pinta-viiluja.



Kuva 8. Vanereiden ladontapiste

Pääsääntöisesti viilut asetellaan vuoron perään poikittain ja pitkittäin, kuitenkin siten, että molemmat pintaviilut ovat samansuuntaiset. Jos vaneri valmistetaan parillisesta määrästä viiluja, kuten esim. Koskisen KoskiPLY Economy 3,0 mm 4-ply-vaneri, vanerin keskimmäiset

viilut ovat samansuuntaiset. Valmiin vanerin reunasta on sekä nähtävissä, että laskettavissa viilut, kuten kuvassa 9.



Kuva 9. 3 mm 4-ply vaneri. Samansuuntaiset väliviilut

Ladonnan jälkeen vanerit viedään kuumapuristimeen, jonka lämpötila on 140–150 °C. Puristusaika on 300 sekuntia. Puristimen ovat monivälipuristimia, joten Hirvensalmien tehtaalla voidaan yhdellä puristimella puristaa kolme levyä samanaikaisesti.

Puristuksen jälkeen vanerilevyt sahataan lopullisiin mittoihinsa. Samalla levyihin tulostetaan leima, johon on merkitty tuotetiedot ja valmistusviikko. Tapauksessa, jossa asiakas valmistaa vanerista esimerkiksi pieniä koruja, voidaan tulostus jättää asiakkaan pyynnöstä tekemättä, hukan minimoimiseksi.

Lopuksi valmiit asiakastilaukset pakataan ja toimitetaan varastoon odottamaan kuljetusta. Lavat kääritään pahviin, ja lavan kylkeen merkitään asiakkaan tiedot.

3.3 Ohutviiluvanerin käyttö

Ohutviiluvaneri on kokoonsa nähden erittäin kestävä. Samassa tuotteessa kulkee niin suomalaisen koivun kaunis pinta kuin luja ja kestävä rakenne ohuudesta huolimatta. Lisäksi ohuet vanerit taipuvat hyvin ja niitä on helppo työstää. Ohutviiluvaneri sopii hyvin tuotteisiin, joissa perinteisesti on käytetty muovia. Tästä syystä ohutviiluvanereita käytetään paljon esimerkiksi koriste-esineiden, kuten korujen, valmistukseen. Myös erilaisia käyttöesineitä mm. näyttäviä lampunvarjostimia voidaan ohuesta vanerista valmistaa, sillä vaneri päästää hyvin valoa läpi. Kuten kuvassa 10, valoa vasten Koskisen 0,4 mm, 3-ply-vanerin läpi pystyy vielä lukemaan tekstiäkin läpi. Koskisen logo on tulostettu paperille verkkosivujen materiaalipankista ja paperi on asetettu vanerin taakse.



Kuva 10. 0,4 mm Ohutviiluvaneri (Logo Materiaalipankki 2021)

Koskiply Birch -ohutviiluvaneri sopii myös hyvin niin laser- kuin vesileikkaukseenkin. On kuitenkin huomioitava, että eri liimat vaikuttavat lopputulokseen. Koskisen Oy suosittelee laserleikkaukseen käytettäväksi Interior-liimalla liimattua vaneria ja vesileikkaukseen Exterior-liimalla liimattua vaneria. (Koskiply Birch 2021.)

Koivulla on lisäksi hyvät akustiset ominaisuudet, joten ohutviiluvanerit ovat tuttuja myös monille soitinvalmistajille. Lisäksi hyvän ja tasaisen pinnanlaadun takia ohutviiluvanerit soveltuvat myös hyvin tulostukseen, joten ohutviiluvaneri soveltuu myös esimerkiksi erilaisten valokuvien ja postikorttien pohjaksi. Käyntikortit ja erilaiset avainkortit esimerkiksi hotelleissa ovat yleistyneet. Samalla ne tuovat ympäristönäkökannan perinteisen muovituotteen korvaajana.

Jo vuodesta 1903, kun Wrightin veljekset rakensivat ensimmäisen lentokoneensa, puu on ollut tärkeänä osana lentokonerakentamisen historiaa. Puulla on ollut hyvä lujuus-painosuhte. Lisäksi puu on ollut helposti työstettävissä ja se on ollut tuolloin edullinen vaihtoehto verrattuna alumiiniin. 1926 Lockheed Aircraft Company patentoi uuden tyyppisen lentokoneen rungon, jossa käytettiin muotoon puristettua kuusivaneria. (The history of wooden aircraft 2021.) Tämä ei vielä ollut nykypäivän ohutviiluvaneria, mutta oli alku sen käytölle. Nykyään ohutviiluvaneria ilmailukäytössä käytetään pääsääntöisesti vanhojen koneiden korjauksiin tai replikakoneiden rakentamiseen, mutta silloin vanerin täytyy olla ilmailukäyttöön luokiteltu. Ilmailuluokitellusta vanerista lisää kappaleessa 4.1.2.

3.4 Muut ohutviiluvaneria valmistavat yritykset

Tavallisen koivuviilun nimellispaksuus on 1,5 mm (Varis 2017, 43), joten vain tätä ohuempaa viilua sorvaavat tai sellaisesta vaneria valmistavat yritykset on otettu huomioon. Kaikki yritykset eivät kerro käyttämänsä viilun paksuutta, mutta alla olevissa yrityksessä on myös yrityksiä, jotka ilmoittavat valmistavansa mm. 3 mm:n 3-ply-vaneria. Tällöin viilun paksuuden on oletettu olevan alle 1,5 mm.

Puhuttaessa ohutviiluvanerista, käytetään usein myös nimitystä lentokonevaneri. Englanniksi käytetään nimityksiä mm. craft plywood ja aircraft plywood. Lentokonevaneri ja aircraft plywood nimitystä käytettäessä on kuitenkin muistettava, että nämä ovat erillisen ilmailustandardin mukaan tarkastettuja ja testattuja. Amerikkalaiset suosivat omaa MIL-P-6070B-standardiaan, kun taas muualla maailmassa käytetään yleisesti Germanischer Lloydin standardia. Germanischer Lloydista lisää kappaleessa 4.1.2. Maailmalta löytyy myös eri nimillä, esim. Bendy board tai Wiggle board, taipuisaa vaneria. Suomessa Koskisen Oy on ainoa ohutviiluvaneria valmistava yritys.

Amerikassa lentokonevaneria valmistaa ainakin yritys nimeltään Aircraft plywood Mfg. Yritys on perustettu 80-luvun lopulla. Se tekee vaneria lähinnä experimental-lentokoneiden valmistajille. Kun Lockheed Martin -niminen ase-, lentokone- ja avaruusteknologian yritys tarvitsi C-130-rahtilentokoneelleen lattiavanereita, tuli Aircraft plywood Mfg. -yrityksestä sertifioitu vanerinvalmistaja. Nimestään huolimatta yritys valmistaa ohutviiluvanereita myös

muihin tarpeisiin kuin vain lentokoneteollisuuteen. (Aircraft plywood Mfg. 2019a.) Aircraft plywood Mfg. (2019b) käyttää vanereissaan koivua, lehmusta, poppelia, mahonkia ja pähkinää. Poppelia yritys käyttää ainoastaan keskiviiluina. Lehmus ovat pääsääntöisesti myös keskiviilu mutta yritys valmistaa myös pelkkää lehmusvaneria. Muut vanerit ovat yhdistelmiä. Vanerit alkavat 0,07 tuuman paksuudesta (1,8 mm) ja koostuvat minimissään kolmesta viilusta. Yritys käyttää sekä 90° että 45° kulmaa viilujen ladonnassa.

EKSForest valmistaa Turkissa sekä poppelista että pyökistä vaneria 0,4 millimetristä ylöspäin. EKSForestin internetsivuilla ei kerrota, kuinka monesta viilusta vanerit muodostuvat. Yritys on perustettu 80-luvun alussa ja on yksi merkittävimmistä vanerinvalmistajista Turkissa. (EKSForest 2018.)

Kiina on suuri vanerinvalmistajamaa, mutta tiedot ovat melko rajoitetusti saatavilla. Yritys nimeltään Bait group valmistaa vanereita Linyin kaupungissa Shandongin maakunnassa. Yritys on perustettu 1998 ja se valmistaa vanereita 0,2 mm–1,2 mm viiluista, joita tuodaan maahan pääosin kaakkois-Aasiasta ja Afrikasta ja lisäksi muilta alueilta. Päätuotteena yrityksellä on itse valmistamansa vaneri 1,8 millistä ylöspäin. Tämän lisäksi yritys myy 0,2 mm–1,2 mm viiluja. (Bait group 2021.) Myöskään Bait groupin kotisivuilla ei ole ilmoitettu vanerin viilumääriä.

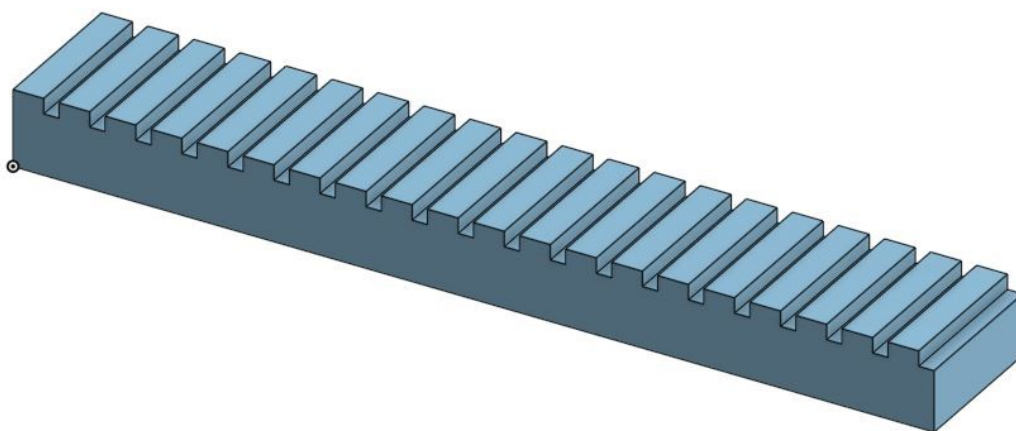
Kiinassa valmistaa Vaneria myös yritys nimeltä ROC. Se on perustettu 1993, jolloin poppeliviilun sorvaus oli pääliiketoimi. Vuonna 1997 tuotantoon tuli myös vanerit. 2010-luvusta tähän päivään yritys on kasvanut valtavasti ja se omistaa nykyään 9 tytäryhtiötä (Roc International 2020a). Yritys valmistaa taipuisaa vaneria joko 3- tai 5-viiluisena, 1 mm porrastuksella aina 9 mm:n saakka. 3:n viilun rakenteessa pintaviilut ovat ohuita viiluja ja 5:n viilun rakenteessa pintaviilujen lisäksi keskellä on yksi ohutviilu. Tämän tarkemmin ei yritys kerro mistä taipuisa (bending plywood) vaneri on valmistettu. Yrityksen tuotesivuilla on tarjolla niin koivu-, poppeli-, kovapuu- kuin yhdistelmävaneritkin, mutta tarkemmin tuotteita selatessa kaikissa voi olla keskiviiluina lähes mitä vain. Kuitenkin yrityksen tarjoama 2,7 mm:n koivuvaneri on kuvan mukaan kolmesta viilusta valmistettu. (Roc International 2020b.)

4 Materiaalin taivutussäteen testaus

4.1 Testaussuunnitelma

Opinnäytetyön testeissä haluttiin saada selville, kuinka pienelle säteelle Koskisen oy:n ohutviiluvanerit saadaan taivutettua niiden murtumatta. Tieto tulisi pääosin asiakaspalvelun käyttöön, jolloin voitaisiin antaa asiakkaille osviittaa siitä, kuinka vaneri taivuttaessa käyttäytyy. Aikaisempia tutkimuksia aiheesta ei ole lukuun ottamatta ilmailuvanerin taivutustestejä, joten suunnittelu oli aloitettava alusta. Ilmailuvanerista lisää kappaleessa 4.1.2.

Taivutussuunnitelmat aloitettiin tietokoneen ääressä siten, että internet pohjaisella OnShape-nimisellä CAD-ohjelmalla mallinnettiin erilaisia vaihtoehtoisia taivutusapuvälineitä. CAD lyhenne tulee sanoista Computer Aided Design. Suunnitelmia tehtiin sekä 180°:lle että täydelle ympyrälle. Ensimmäiset suunnitelmat 180°:en taivutuslaitteelle olivat listamalli (kuva 11) ja 180°:en uramalli (kuva 12). Kuvissa harmaat osat kuvaavat taivutettavaa vaneria ja siniset osat testilaitteita.

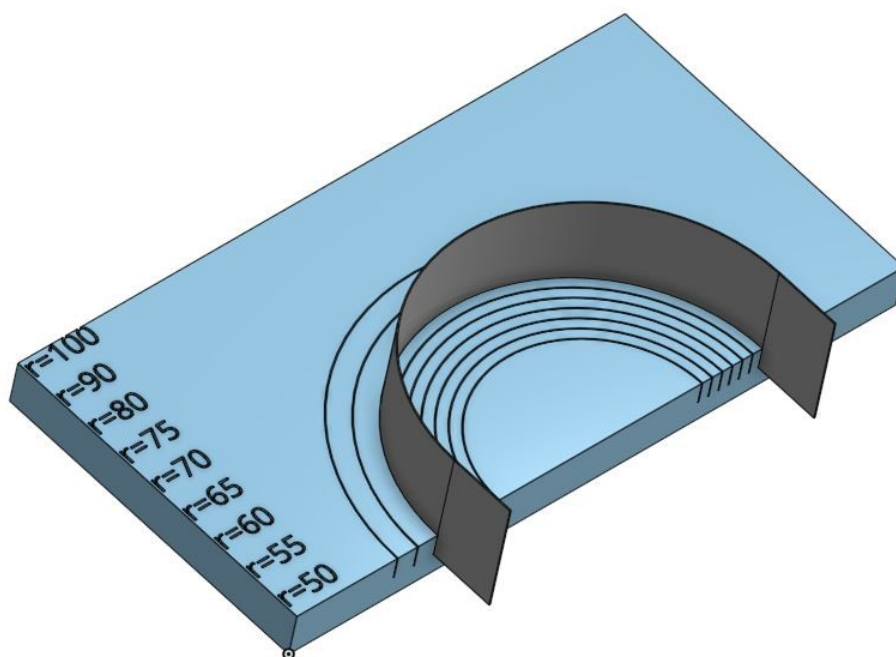


Kuva 11. Testilaitteen listamalli

Listamallissa ajatus oli asetta vanerin toinen pää toiseen laitaan, jonka jälkeen toista päätä taivutetaan ura kerrallaan lähemmäksi toista reunaa. Urat suunniteltiin 15 mm:n porrastuksella. Näin olisimme saaneet mahdollisen minimihalkaisijan, jolle vaneri taipuu. Ongelmaksi kuitenkin olisi muodostunut kaksi pääseikkaa, joista ensimmäinen olisi mahdollisesti tutkitavan kappaleen pituus ja toinen lopullisen asteluvun määrittäminen. Testikappaletta olisi

pitänyt lyhentää jokaisen uran kohdalla. Pitkän vanerin taivuttaminen olisi näin muodostanut ilmapallon muotoisen taivutuksen, jolloin taivutussädettä ei pystyisi helposti määrittämään. Toinen ongelma urataivutuksessa olisi se, että vanerin päät eivät koskaan olisi keskenään samansuuntaiset, eli varsinaista 180° :en kulmaa ei koskaan todellisuudessa saavutettaisi.

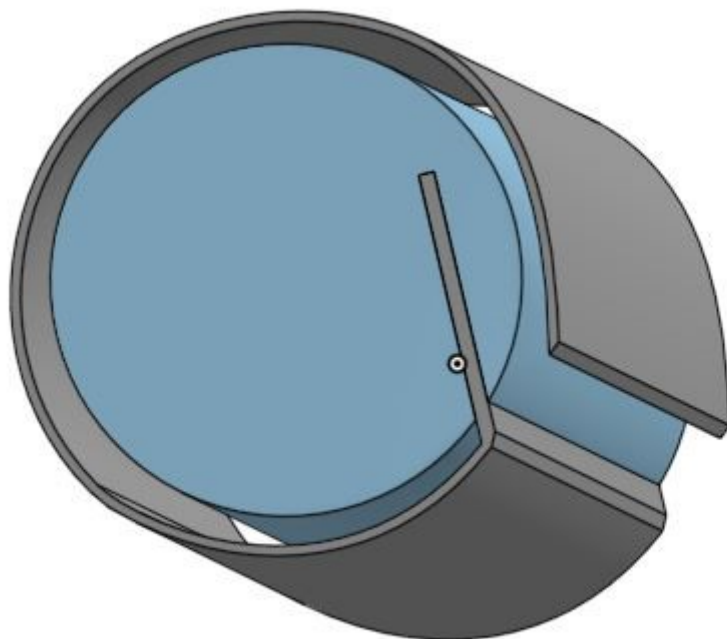
Toinen suunniteltu vaihtoehto 180° :en kulmalle oli uramalli, jossa eri pituisille säteille vanerille olisi jyrskyttä uria, johon testattava kappale olisi pakotettu.



Kuva 12. Testilaitteen uramalli

Tällä laitteella olisi saatu varmasti 180° :en kulma. Ongelmaksi olisi muodostunut se, että jokaiselle vaneripaksuudelle olisi pitänyt olla oma testilaitteisto varman tuloksen saamiseksi. Lisäksi epäilystä herätti testattavien kappaleiden taivutukseen vaadittava voima, jolloin urien välinen seinä ei ohuena välttämättä kestä.

Seuraavaksi pohdittiin täyden ympyrän taivutusta. Vaihtoehtoina oli vanerin taivutus erikoisten renkaiden sisään taivutus, jolloin saataisiin selville taivutetun vanerin ulkokehän halkaisija. Tässä mallissa heräsi kysymys, olisiko tärkeämpi saada tietää taivutuksen sisäsäde kuin ulkosäde. Lisäksi todettiin renkaan toimivan lähinnä taivutusmittana kuin taivutusapuvälineenä. Näiden pohdintojen myötä suunniteltiin sylinterimallinen taivutuslaite (kuva 13), jossa sylinterin ympärille vaneri olisi taivutettu.

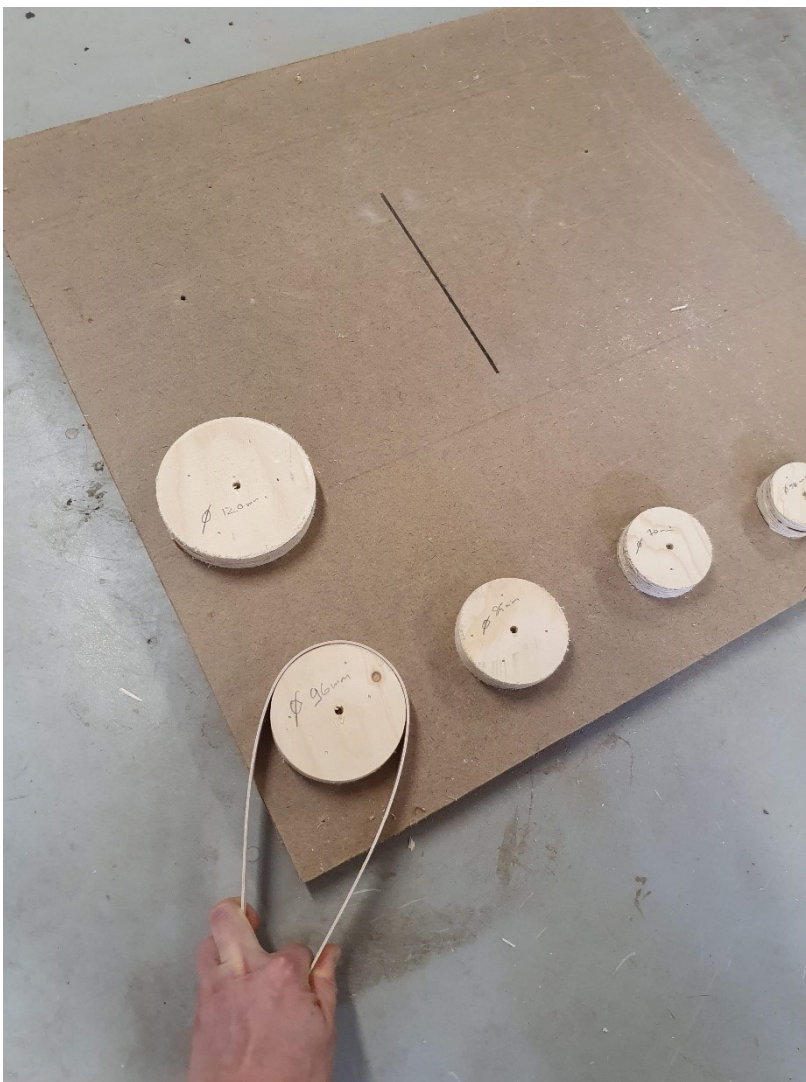


Kuva 13. Testilaitteen sylinterimalli

Tässä mallissa sylinterin kylkeen olisi jyrskitty ura, johon testattavan vanerin pää olisi työnnetty, jonka jälkeen vaneri olisi voitu taivuttaa sylinterin ympärille. Myös tässä, samoin kuin uramallissa, jokaiselle vanerinpaksuudelle olisi pitänyt tehdä omat versiot.

Seuraavaksi määriteltiin kulma, johon testit suoritetaan. Vaihtoehtoina testikulmille olivat 90°:en, 180°:en ja 360°:en. Nämä astekulmat tulivat esille asiakaskysymyksistä; ideana 90°:en kulmalle esimerkiksi kirjahyllyn rakentaminen, ja 360°:en kulmalle ajatuksena rakentaa kaiutin. Astekulmaksi valikoitui näistä 180°:en kulma siitä syystä, että sen katsottiin palvelevan tiedollisesti valtaosaa kohderyhmistä. Lisäksi päätöstä tukee ilmailuvanerin testit, jotka suoritetaan 180°:en kulmalle.

Seuraavaksi suoritettiin alustavia testejä vanereilla, joita Koskiselta saatiin. Alustavissa testeissä testattiin liitteen 1 mukaiset vanerit. Alkutesteissä valmistettiin eri kokoisilla reikäsahoilla kiekkoja, joiden ympärille vanereita yritettiin taivuttaa (kuva 14).



Kuva 14. Alkutestien taivutuksia

Tätä kehitettiin hieman pienempään muotoon, jolloin kiekot ovat irrallisia ja vaihdettavia. Lisäksi kokeiltiin kalavaa'an avulla, saataisiinko taivutukseen tarvittavaa voimaa mitattua (kuva 15).



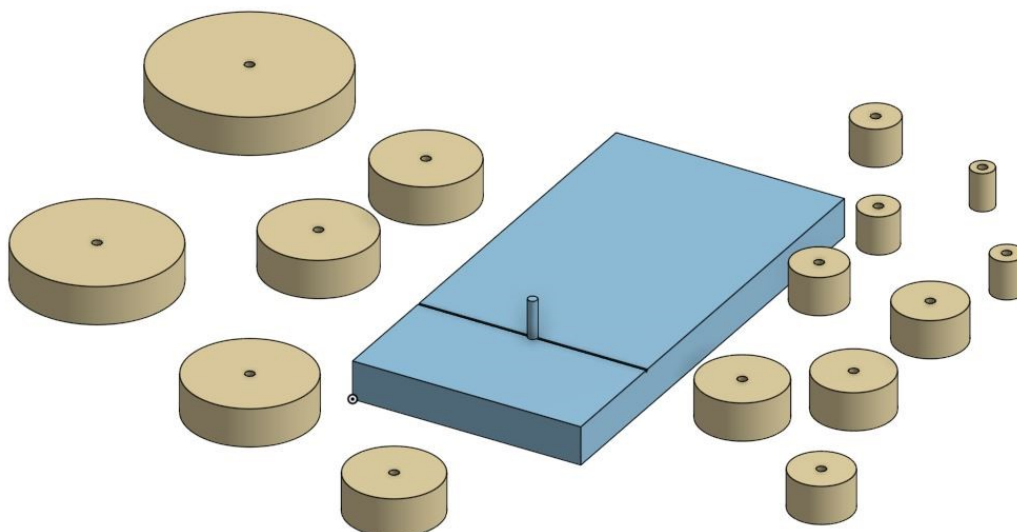
Kuva 15. Taivutusvoiman mittaaminen

Tässä ongelmaksi ilmeni ensimmäiseksi se, että vaneria ei saa vedettyä 180°:en kulmaan niin, että ei vedettäisi varsinaisesti mittakiekkoa. Tämä vääristäisi mittarin voimaa. Toinen ilmennyt ongelma tuli vastaan siinä, että taivutettavaa vaneria täytyy tukea taivutuksen ajan koko matkalta. Näin mittarilla vedettäessä vain päistä vaneri tekee taitoksen ja katkeaa helpommin. Tarvittavan voiman määrittäminen jätettiin tästä eteenpäin suunnitelman ulkopuolelle, ja keskityttiin vain säteen määrittämiseen.

Alkutesteissä ilmeni, että jos koekappaleella on riittävästi mittaa, saa 3 mm paksun vanerin vielä taipumaan n. 35 mm:n säteelle. Vanerin paksuuden kasvaessa 1,5 mm:stä ylöspäin, ja liiman vaihtuessa Flex-liimasta Interior-liimaan, taivutukseen vaadittava voima kasvaa merkittävästi. Kuitenkin kaikki vanerit 3 mm:n paksuuteen asti on käsivoimin taivutettavissa. 4 mm:n vanerin säde, johon vaneri taipuu, kasvaa niin merkittävästi 3 mm:iin verrattuna, että tämän testaaminen lopetettiin tähän.

4.1.1 Testilaitteen valmistus

Alkutestien perusteella ryhdyttiin suunnittelemaan lopullista taivutustestilaitetta. OnShapenimisellä ohjelmalla mallinnettiin myös lopullinen testilaite (kuva 16). Malli pysyi yksinkertaisena, ja toimi testeissä varsin hyvin. Lopullisen version etuna on myös se, että laite toimii kaikille vanereiden testivahvuuksille, eikä erillisiä laitteita tarvita.



Kuva 16. Lopullinen testilaite

Testilaitteen pohjasta suunniteltiin suorakaiteen muotoinen ja mitoiltaan sellainen, että pohja on hieman leveämpi kuin suurin kiekko, ja pituussuunnassa sellainen, että testilaitteen saisi tarvittaessa puristimella pöytään kiinni. Suurimman testikiekon säteestä tehtiin 60 mm, joten pohjan leveydeksi suunniteltiin 150 mm. Pituus testilaitteen pohjalle suunniteltiin 300 mm:n pituiseksi, jolloin tilaa jäisi riittävästi tarvittaessa puristimelle ja testilaite näyttäisi vielä sopusuhtaiselta. 60 mm:n säteen todettiin alkutestien perusteella olevan riittävän suuri alkutaivutuskoko vielä 3 mm:n vahvuiselle vanerille. Seuraavat kiekot suunniteltiin olevan 50 mm:n ja 40 mm:n säteellä, jonka jälkeen kiekkojen halkaisijaa pienennettiin 5 mm jokaisen kiekon kohdalla. Koska alkutesteissä ohuin vaneri oli 1 mm:n paksuinen, joka saatiin taivutettua n. 15 mm:n säteelle, tarvittiin pienimmistä kiekkoista tätä pienempiä. Näin ollen pienin kiekko, joka valmistettiin, oli 7,5 mm:n säteellä. Kiekoissa on 6 mm:n reikä keskellä, jotta kiekkojen vaihto olisi vaivatonta. Pohjaan suunniteltiin vastaavasti 6 mm:n metallinen tanko. Tarkemmat mitat testilaitteesta liitteessä 2.

Muilla mitoilla, kuin kiekkojen säteellä ei testien kannalta ole merkitystä, joten varsinainen testipenkki tehtiin materiaaleista, joita oli saatavilla. Pohjalla piti kuitenkin olla paksuutta sen verran, että tapille voitiin porata reikä. Täten pohja muodostui kahdesta päällekkäin liimattusta 18 mm:n vanerista, jolloin pohjan kokonaispaksuudeksi tuli 36 mm. Pohja sahattiin lopulliseen kokoonsa pöytäsahalla. Reikä tappia varten porattiin 6,5 mm:n poranterällä, jotta tappi oli helposti asennettavissa ja poistettavissa. Lopuksi pohjan sivut siistittiin hiomakoneella. Tapiksi valikoitui sileäpintainen halkaisijaltaan 6 mm oleva metalliputki.

Kiekkojen paksuuden suunniteltiin olevan testikappaleen paksuinen, mahdollisimman suuren tuen takaamiseksi. Tätä varten liimattiin kaksi 14 mm:n vahvuista vaneria päällekkäin, jolloin saatiin 24 mm:n paksu levy, mikä todettiin olevan riittävä. Kiekkojen ympärystoista täytyi saada tarkat, jotta testitulokset olisivat mahdollisimman tarkkoja ja luotettavia, joten kiekot päätettiin valmistaa CNC-koneella. Kiekkojen malli oli riittävän yksinkertainen siihen, että koulun CNC-koneella pystyttiin työstämään kiekot suoraan (kuva 17) käyttämättä erillistä CAM-ohjelmaa. CAM lyhenne tulee sanoista Computer Aided Manufacturing.



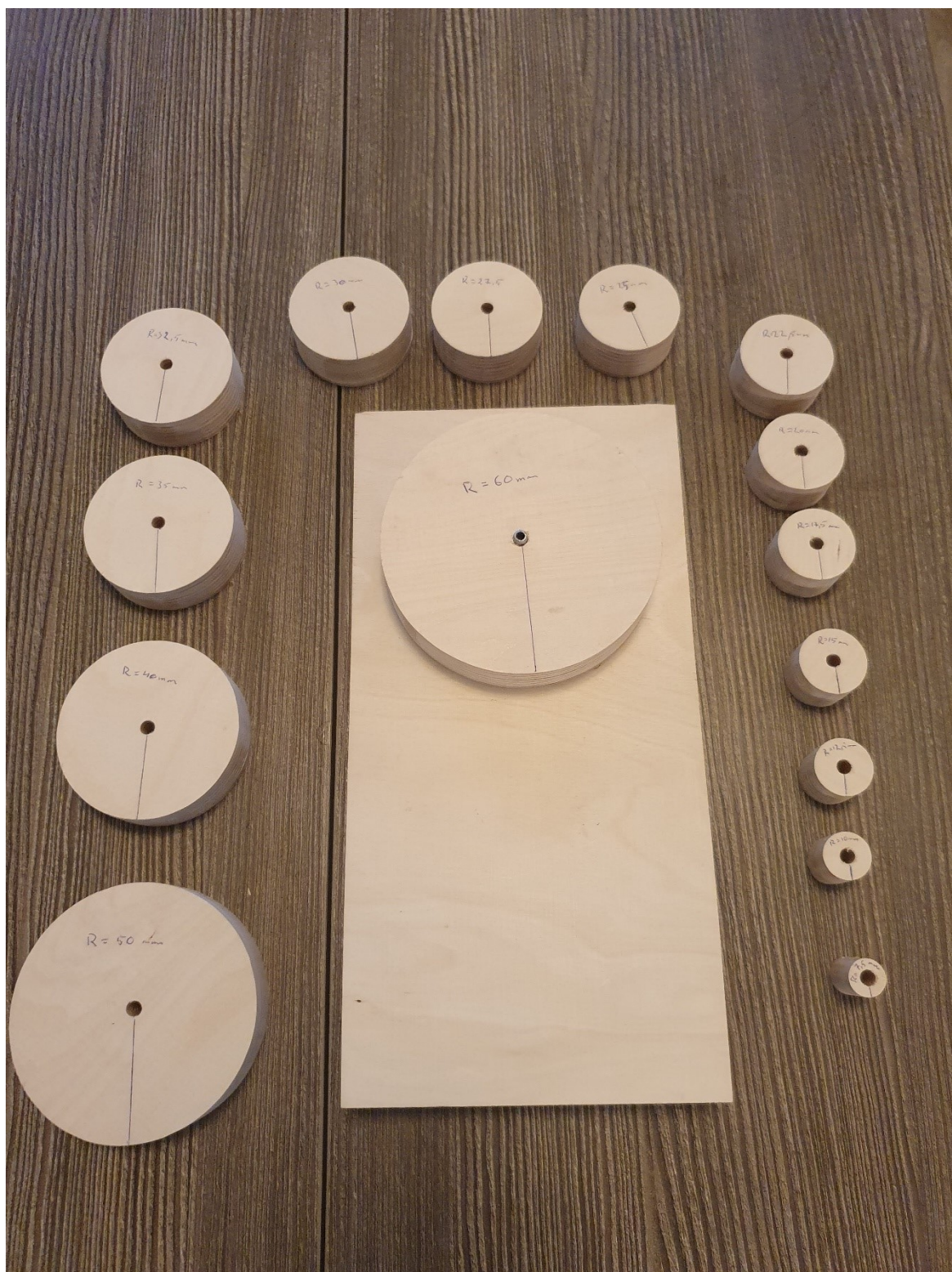
Kuva 17. CNC-koneelle mallinnetut työstettävät kiekot

CNC-koneella työstettiin myös kiekkojen keskelle 6 mm:n reikä. CNC-koneella ei kuitenkaan pystynyt kappaleita työstämään loppuun asti, sillä pienet irralliset osat olisivat saattaneet tuhoutua joutuessaan CNC-koneen työstöradalle. Tästä syystä kaikki kappaleet jätettiin CNC-koneen jäljiltä vielä yhtenäiseksi kappaleeksi (kuva 18), ja osat sahattiin vanne-sahalla irti toisistansa.



Kuva 18. Kiekot CNC-koneen jälkeen

Myös reiät porattiin pylväsporakoneella läpi, mutta kuten pohjassa, käytettiin porassa 6,5 mm poranterää, jotta kiekkojen vaihto olisi sujuvampaa. Kiekot hiottiin hiomakoneella tasaisiksi sahan jäljiltä, jonka jälkeen kiekkoihin vielä piirrettiin säde ja merkittiin sen mitta (kuva 19). Kiekot myös numeroitiin 1–16 siten, että suurin kiekko on numero 1 ja pienin 7,5 mm:n kiekko on numero 15. Testilaitteen tappi on numero 16.



Kuva 19. Testilaite

4.1.2 Lentokonevaneri

Vuoden 1903 jälkeen, kun Wrightin veljekset rakensivat ensimmäisen lentokoneen, alkoi ilmailun aikakausi. Lentokoneita valmistettiin ja kehitettiin valtavia määriä, mikä loi tarpeen yhteisille säännöille ja toimintatavoille. Varsinaisen lentämisen lisäksi, tarvittiin lentokoneiden rakentamiselle ja rakenteille tutkittua ja standardoituja osia ja säädöksiä, lentoturvallisuuden saavuttamiseksi. Vuodesta 1931 saksalainen Germanischer Lloyd yhdistys on ilmailijoiden pyynnöstä ruvennut testaamaan ja standardoimaan ilmailuun käytettäviä vanereita (Germanischer 1953).

Germanischer Lloyd yhdistys on Saksassa perustettu vuonna 1867. Se julkaisi alun perin vuosittain tiedotteita Germanischer Lloyd luokitelluille merialuksille (Grosvenor 1916, 179). Germanischer Lloydin vaneritestaukset perustuvat sopimukseen yhdessä eri materiaalin valmistajien ja tavarantoimittajien kanssa, jotka toivovat jatkuvaa tarkastelua ja varmistelua tuotteiden valmistamisesta niin kotimaassa, kuin ulkomaillakin. Saadakseen GL-standardiluokituksen, Germanischer Lloydin omat tarkastajat tulevat tarkastamaan vanerit ja antavat tuotteille leimansa. (Germanischer Lloyd, 1953.) Germanischer Lloyd yhdistyi norjalaisen, Det Norske Veritas (DNV) yhdistyksen kanssa vuonna 2013, muodostaen yrityksen DNV GL. Vuodesta 2021 yritys uudelleen nimettiin käyttämään vanhaa DNV-nimeä. DNV on perustettu 1864 perustamaan standardeja, sekä yhteneväisiä sääntöjä ja toimintatapoja merenkulkuun. (DNV, 2021.) Koskisen on tilattava Germanischer Lloydin tarkastajat tarkastamaan jokainen GL-standardit täyttävät vanerilevyt, joten Koskisen GL-luokiteltua vaneria on saatavissa vain asiakkaan pyynnöstä.

Lentokonevanerin standardeissa määritellään mm. vanerin pinnanlaatu, viilujen minimimäärä ja hyväksytyt puulajit. Varsinaisissa testeissä määritellään ensin vanerin kosteus, jonka täytyy olla 6–12 % välillä. Testeissä suoritetaan testit myös liimalle samoin kuin vanerin jäykkyydellekin. Taivutustesteissä Germanischer Lloyd määrittää testipalojen määrän vapaavalintaiseksi, mutta testipalan koon on oltava 25 mm leveä ja pintaviilun syysuutaan nähden merkittävän pitkä. Kappaleen on taivuttava 180° kumpaankin suuntaan sylinterin ympärille, jonka koko on 100 x testikappaleen paksuus. (Germanischer, 1953.) Tätä taivutusta käytetään taivutettaessa vaneria rungon ympärille. Kuvan 20 purjelentokoneen rakentamiseen on käytetty koivuohutviiluvaneria (Martiala 2018).



Kuva 20. Koivuviiluvanerista rakennettu purjelentokone (Martiala 2018)

Vuosien saatossa standardeja ja kriteerejä on muutettu, ja vuoden 2006 versiossa lentokonevanerin standardeissa ei tällaista taivutustestiä enää ole. Standardissa mainitaan taivutustestit tehtäväksi, jos materiaalin kestävyyttä epäillään, mutta toimintatapaa tälle testille ei enää ole mainittu. (GL II-2-2.)

Amerikan puolustusvoimat määrittelevät lentokoneissakäytettävän vanerin standardit hyvin saman tyyppisesti, kuin Germanischer Lloyd. Myös heidän taivutustestinsä määrittelevät, että koepalan on oltava 1 tuuman leveä ja pituudeltaan 9–11 tuumaa pintaviilun syysuuntaan. Amerikan standardin mukaan taivutuksen on oltava tukematon ja taivutuksen on oltava 180°. Murtumat määritellään murtumaksi vasta niiden ylittäessä 1/8 tuumaa koekappaleen leveyssuuntaan. Pintaviilun syynmukaista ”repeämää” ei luokitella murtumaksi. (MIL-P-6070B.)

4.2 Testit

Koskisella on tuotannossaan vakiotuotteita yhteensä 32 eri tuotetta, jotka sisältävät kolme eri liimaa, ja 12 eri vaneripaksuutta. Koska taivutustutkimuksilla pyrittiin saamaan selville vanerien taipumiskykyä asiakaspalvelun avuksi, todettiin kymmenen koekappaleen jokaista tuotetta kohden olevan riittävä. Kuitenkin tästäkin kokonaismääräksi olisi tullut 240 kpl, joten tuotemäärää päädyttiin rajaamaan viiteen yleisimpään vaneripaksuuteen, yhdestä paksuudesta kaikkiin liimoihin. Näiden lisäksi yhdestä paksuudesta testattiin kaksi eri viilumäärää.

Taivutustesteihin oletettiin parhaiten soveltuvan Koskisen Flex -liimalla liimatut KoskiFlex -tuoteryhmän tuotteet, joten tämä valittiin päätuoteryhmäksi. Vaneripaksuuksista valittiin viisi siten, että selville saataisiin mahdolliset taivutuksille soveltuvat ääripäät, sekä yleisimpiä vaneripaksuuksia skaalan keskelle.

Taivutuskoepalojen koot suunniteltiin mukailleen sekä Germanischer Lloydin, että Amerikan puolustusvoimien standardeja lentokonevanereille. Koepalojen leveydeksi valittiin 25 mm ja pituudeksi mitta, joka ensimmäisestä taivutuksesta voidaan todeta taipuvan 180°. Alkutuotkimusten perusteella 1 mm paksuinen vaneri voidaan taivuttaa ensimmäisen kerran turvallisesti 35 mm:n säteelle. Vanerin on siis taivuttava ainakin kiekon puolikkaan kehän verran. Lisäksi todettiin 60 mm tämän mitan lisäksi riittävän siihen, että taivutus saadaan varmasti 180°:en kaarelle. Pitkä kappale taipuu keskeltä helpommin kuin lyhyt, mutta suunnitelmassa todettiin, että jos taitoksen haluaa tehdä kappaleen reunaan, vähennetään tällä 60 mm:n varalla materiaalihukkaa. Puolikkaan kehän pituus saatiin seuraavalla kaavalla (kaava 1):

$$\text{Kehän pituus} = \frac{2 * \pi * r}{2}$$

Kaava 1. Ympyrä puolikkaan kehän pituus

kaavassa r kuvaa ympyrän sädettä. Koepalat 1 mm paksuuteen asti tehtiin 160 mm:n pituisiksi ja sitä suuremmat palat 250 mm:n pituisiksi. Pituuden määritti alkutaivutuksen kiekon suuruus.

4.2.1 Testattavat tuotteet

Ensimmäiseksi testeihin valittiin KoskiFlex-tuoteryhmästä ohuin, 0,4 mm:n vaneri sekä 2-ply-, että 3-ply-rakenteella. Seuraava paksuus, joka tuoteryhmästä valittiin, oli 0,8 mm. Tämä tuote on 3-ply-rakennella. 1,0 mm:n paksuus valittiin testien keskikohdaksi, joten tätä paksuutta testattiin enemmän. 1,0 mm:n ja 3-ply-rakenteen vanerit testattiin kaikilla kolmella liimalla – Flex, Interior ja Exterior. 2,5 mm:n vaneri, ja paksuimpana 3,0 mm:n vaneri olivat viimeiset testeihin valitut KoskiFlex-tuoteryhmän vaneripaksuudet. 2,5 mm:n vaneri oli 5-ply-rakenteella ja 3,0 mm:n vaneri 6-ply-rakenteella. Kaikki vaneri olivat rakenteeltaan ristiin liimattuja.

4.2.2 180-asteen taivutus

Taivutuksen pääsuunta päätettiin suorittaa pintaviilun syysuuntaan, mukailleen ilmailuvanereiden testausstandardeja. Pintaviilun syysuuntaan taivutettaessa taivutusta vastustavien viilujen määrä on suurempi ja se lisää taivutukseen tarvittavan voiman määrää. 0,4 mm:n

2-ply-rakenteen vaneri taivutettiin pitkä viilu taivutuksen ulkopuolelle. 1,0 mm:n 3-ply-rakenteen vanerilla tehtiin taivutustestit myös pintaviilun poikkisuuntaan.

Kaikista vanereista leikattiin kosteusmittauspalat, joista mitattiin vanereiden kosteus. Ensin leikatut koepalat punnittiin, jonka jälkeen koepalat laitettiin 104 °C uuniin. Palat olivat uudessa 24 tuntia, jonka jälkeen palat punnittiin uudelleen. Kaikki vanerit olivat kosteudeltaan 5–7 % välillä. Tarkemmat tiedot löytyvät testitulosten liitteistä 1–9. Palojen kosteusprosentti saatiin seuraavan kaavan avulla (kaava 2):

$$\text{Kosteusprosentti} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} * 100$$

Kaava 2. Kosteusprosentti

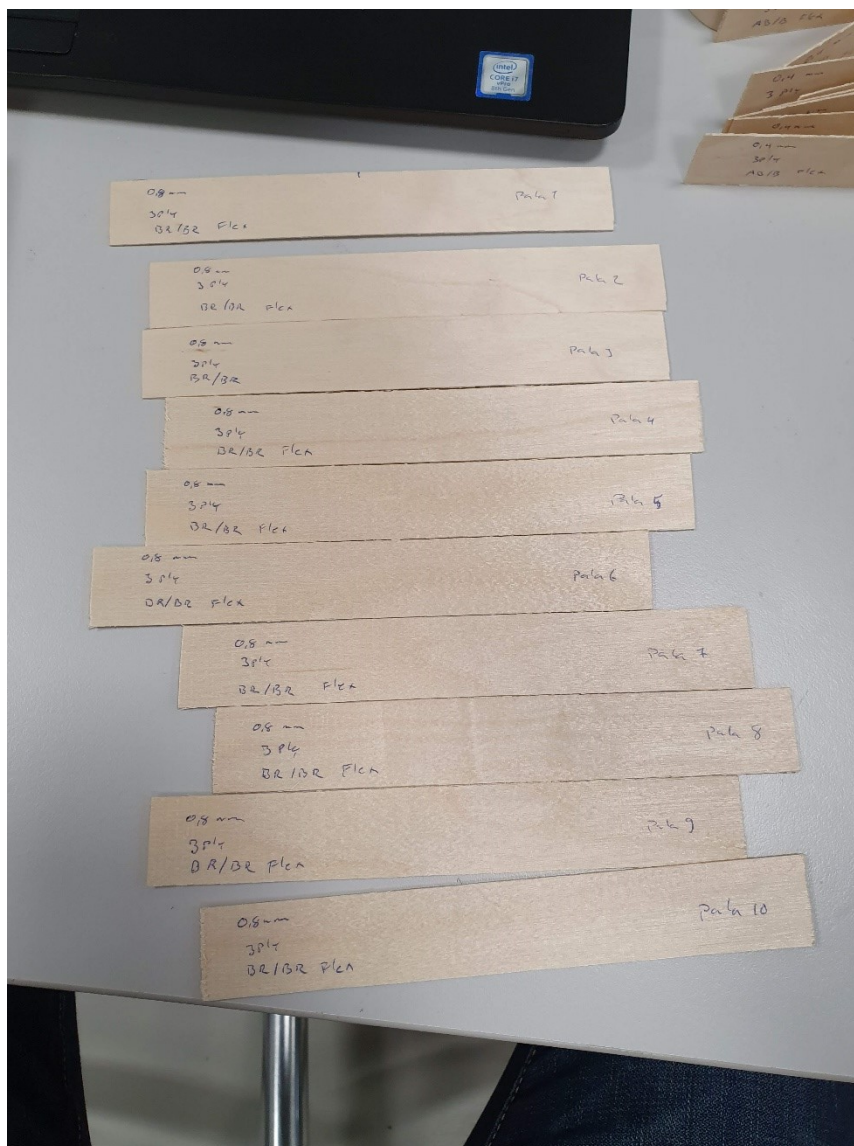
W_1 kaavassa kuvaa koepalan painoa ennen kuivausta,

W_2 kuvaa koepalan absoluuttista kuivapainoa kuivauksen jälkeen.

Taivutustestit rajattiin vain huoneenlämpöisiin kuivataivutuksiin. Huonelämpötila mitattiin olevan 23 °C. Näin tulosten katsottiin antavan raja-arvot, joihin vanerit taipuvat ilman apuvälineitä ja täten jokaisella asiakkaalla on samat mahdollisuudet taivuttaa vanerit samoihin arvoihin.

Alkutesteissä havaittiin koepalojen katkeavan, taivutettaessa suoraan pienelle säteelle. Tämän takia vanereiden taivutus piti aloittaa kiekosta, jonka säde oli riittävän suuri, että vanerin pystyi vapaasti taivuttamaan tähän. Tämän jälkeen hitaasti ja vähitellen sädettä pienentämällä päästiin lopulta säteeseen, jossa vaneri hajoaa. Alkutesteissä huomattiin myös, että koepala on tuettava taivutuksen kohdalta koko taivutuksen ajan.

Kaikista vanereista leikattiin kymmenen koepalaa. Koepalat numeroitiin ja paloihin merkittiin vanerin paksuus, viilumäärä, liima ja pinnanlaatu (kuva 21). Lisäksi koepaloihin merkittiin keskikohta, minkä avulla taivutus pystyttiin pitämään samalla alueella, kohdistettaessa se kiekkoihin piirretyn säteen kanssa. Testit suoritettiin järjestyksessä alkaen ohuimmasta vanerin paksuudesta.



Kuva 21. 0,8 mm, 3-ply vanerin koepalat

Testiryhmä 1

Ensimmäisenä testeihin otettiin 0,4 mm:n vaneri kahden viulun rakenteella, jossa pitkät syyt olivat taivutuksen ulkokaarteessa. Tämä 2-ply-rakenteen vaneri taipuu hyvin, joten taivutukset aloitettiin suoraan kiekosta nro 14. Kiekkojen porrastuksen ollessa 5 mm seuraava koko oli testilaitteen pienin puinen kiekko nro 15. Näin ohut vaneri taipuu paljon pienemmäksi, joten pienin säde, johon taivutuksia pystyttiin testaamaan, on testilaitteen tappi, johon kiekkoja vaihdetaan.

Testiryhmä 2

Seuraavaksi testattiin 0,4 mm:n vanerista 3-ply versio. Yhden viulun lisäys tuntuu selvästi jäykkyydessä, mutta on siitä huolimatta helposti taivutettavissa. Lisääntyneen jäykkyyden takia aloitussädettä kasvatettiin ja taivutusnopeutta hidastettiin hieman. Taivutukset aloitettiin kiekosta nro 12 ja kiekkoa vaihdettiin pienempään, kunnes koekappale hajosi. Erityisesti tälle vanerille olisi 5 mm:n säteellä oleva kiekko voinut antaa vielä tarkemman tuloksen.

Testiryhmä 3

0,8 mm:n vaneripaksuus, 3-ply-rakenteella oli kolmas testattavista tuotteista. Materiaalipaksuuden tuplaantuessa, tutkimukset aloitettiin huomattavasti suuremmasta kiekosta. Ensimmäisen kiekko, jolle taivutukset suoritettiin, kiekko nro 5. Kiekko kerrallaan ja taivutusaikaa pidentämällä päästiin lopulta vanereiden murtumispisteeseen.

Testiryhmä 4

Koskisen KoskiPly Birch -tuoteryhmästä valittiin 1,0 mm:n vahvuinen, Exterior-liimalla liimattu, 3-ply-rakenteellinen vaneri. Tässä koekappaleessa jäykkyyttä toi lisää materiaalipaksuuden lisäksi vanerissa käytetty liima. Kaikissa 1,0 mm:n vanereissa kokonaistaivutusaika oli noin 5 minuuttia. Mitä pienemmälle säteelle kappaletta taivutettiin, taivutuksen jälkeistä pitoaikaa kasvatettiin.

Ensitaitos kaikille 1,0 mm:n vanereille suoritettiin kiekolle nro 4, josta kiekkoja pienentämällä päästiin vanerin murtumispisteeseen.

Testiryhmä 5

KoskiFlex-tuoteryhmän, 1,0 mm:n vaneri oli testeissä paksuusluokaltaan keskimäinen. Tästä tehtiin myös vertailukohde eri liimojen välillä. Muiden 1,0 mm:n paksuisien vanereiden tavoin, tämänkin testaus aloitettiin 35 mm:n säteiselle kiekolle.

Testiryhmä 6

Kolmas, 1,0 mm:n paksuinen, vaneri valittiin KoskiPly Birch -tuotesarjasta. Tämä Interior-liimalla liimattu, 3-ply-rakenteellinen vaneri oli muita vastaavan paksuisia huomattavasti jäykempi. Testaukset aloitettiin taivuttamalla kappale kiekolle nro 4, ja siitä kiekko kerrallaan kappaletta taivutettiin, kunnes se murtui.

Testiryhmä 7

Toiseksi paksuin testattavista vanereista oli KoskiFlex-tuoteryhmän 2,5 mm:n vaneri, 5-ply-rakenteella. Edellisiin verrattuna jäykkyys lisääntyi merkittävästi, mistä johtuen ensitaivutus piti suorittaa suurimmalle kiekolle. Suurin kiekko testejä varten oli 60 mm:n säteellä. Tätä varten myös koekappaleen pituutta kasvatettiin 250 mm:n.

Testiryhmä 8

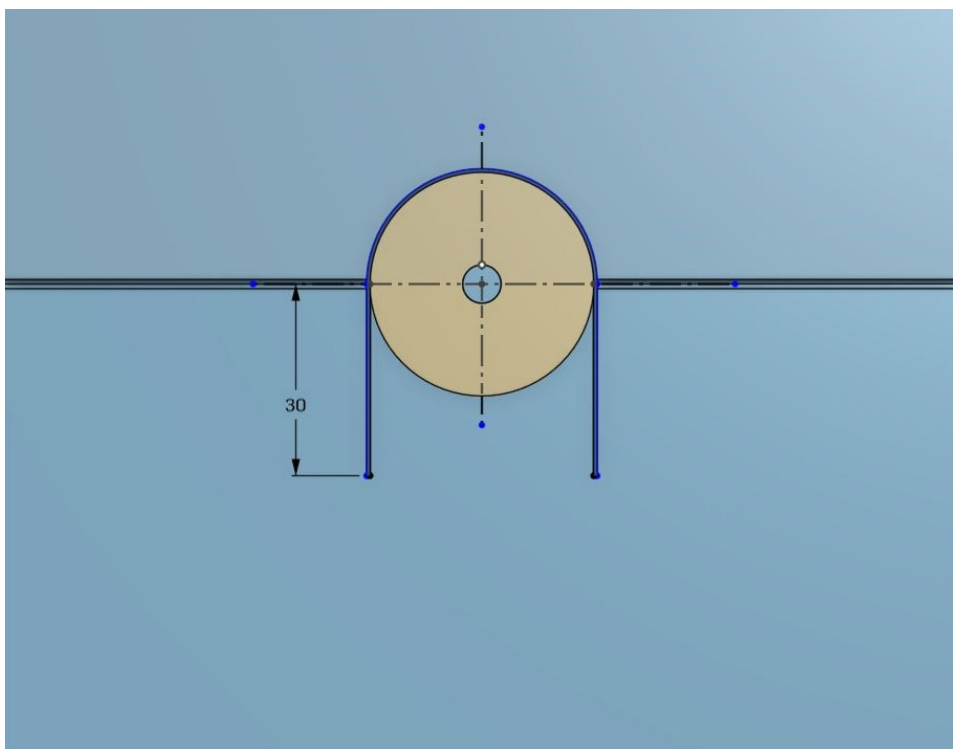
Paksuin vaneri, jota testattiin, oli KoskiFlex-tuoteryhmän 3,0 mm:n vaneri, 6-ply-rakenteella. Myös tämän koepala oli 250 mm pitkä ja ensitaivutus tehtiin suurimmalle kiekolle.

Testiryhmä 9

Viimeisenä testattiin sama materiaali testiryhmän 5:n kanssa, mutta taivutus tehtiin poikissuuntaisesti. Erona testimateriaaliin 5 on se, että taivutusta vastustavia viilukerroksia on tässä vain yksi, eli keskiviilu. Tästä syystä koepalat ovat ominaisuuksiltaan saman kaltaisia testimateriaalin 1 kanssa. Materiaalipaksuuden ollessa 1,0 mm:n aloitettiin taivutukset kiekosta nro 13.

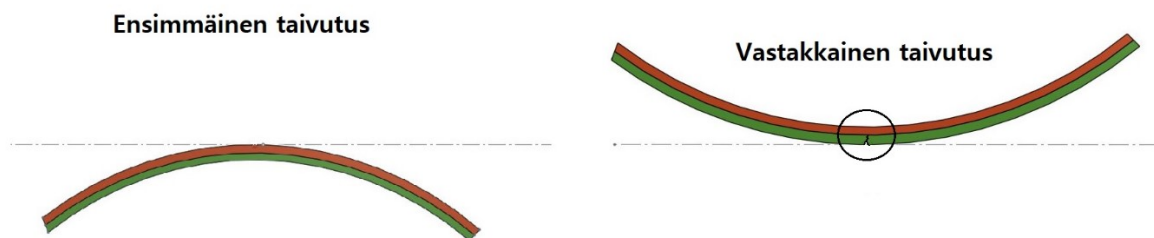
5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Alkutesteissä vanereita taivutettiin 1204 mm pitkää koekappaletta keskeltä, jolloin todettiin vielä paksuudeltaan 3,0 mm:n vanerin taipuvan niin paljon, että koekappale taipuu 180° ja kyseisen koepalan päät ovat vierekkäin. Näin jopa 3,0 mm:n vaneri saatiin taipumaan 35 mm:n säteelle. Aivan koepalan päästä materiaalia ei pysty käsin taivuttamaan, joten koepalan mitta määritettiin siten, että taivutuksen yli kummaltakin puolelta materiaalia jää 30 mm (kuva 22).



Kuva 22. Koepalan pituus ensimmäisen testikiekon ympärillä

Alkutesteissä huomattiin myös koepalan katkeavan taivutettaessa suoraan pienelle säteelle. Tämän takia taivutus piti aloittaa suurelta säteeltä ja väsyttämällä pienentää taivutussädettä. Lisäksi huomattiin taivutukseen tarvittavan ajan kasvavan materiaalivahvuuden kasvaessa. Taivutuksen jälkeen koekappale ei kestä yhtään taivutusta vastakkaiselle puolelle yli normaalitason (kuva 23), vaan murtuu keskeltä välittömästi.



Kuva 23. Kappale murtuu taivutettaessa vastakkaiseen suuntaan

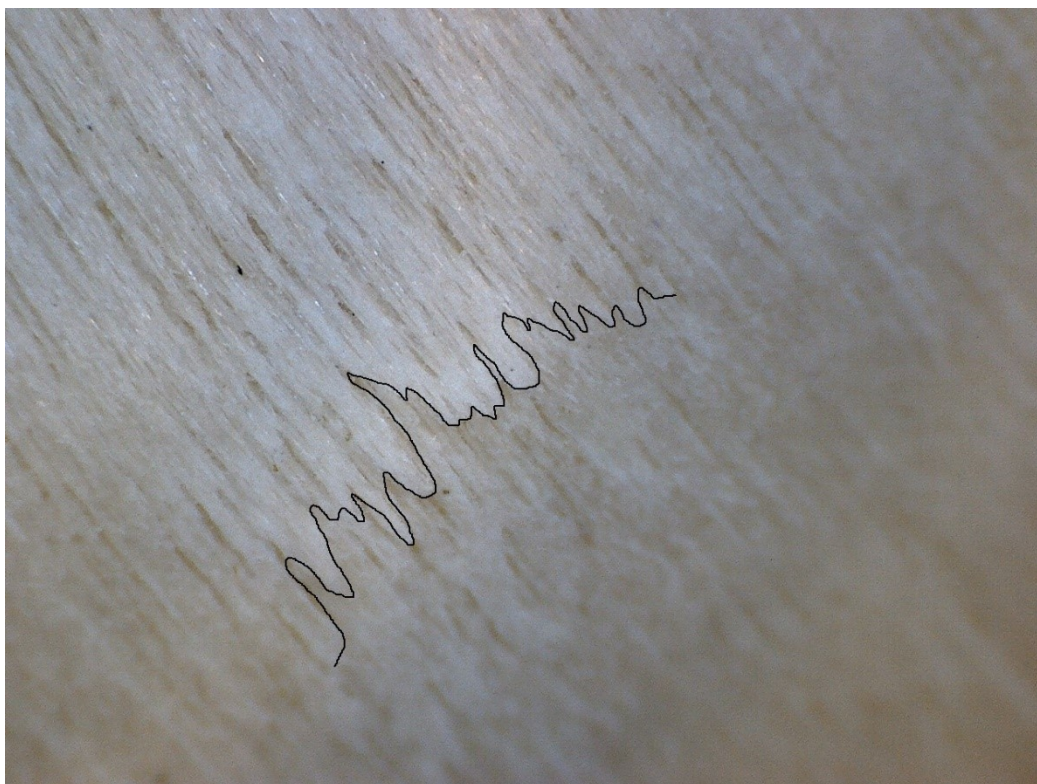
Testiryhmän 1 koepalojen taivutus aloitettiin kiekosta nro 14, josta kiekko kerrallaan sädetä pienennettiin pienimpään 3 mm:n säteeseen asti. Kiekkojen numerointi on nähtävissä liitteestä 1. Liitteen 3 diagrammista 1 selviää, kuinka testikappaleet ovat taivutuksista selvinneet. Kymmenestä koekappaleesta yhdeksän saatiin taivutettua 3 mm:n säteelle. Yhden pettäneen testikappaleen kohdalla epäiltiin liian nopeaa taivutusta. Minimisädetä taivutukselle ei näin ollen saatu, mutta tuloksen, jossa 90 % testikappaleista taipuu 3 mm:n säteelle, todettiin olevan asiakaspalvelun kannalta riittävä. Aika yhden koepalan taivutukseen alusta loppuun asti oli n. 1–2 min. Kuten kuvassa 24, tämä 2-ply, 0,4 mm vaneri taipuu helposti hajoamatta jopa kiekon 16 ympärille



Kuva 24. 0,4 mm, 2-ply vanerin taivutus 3 mm säteelle

Testiryhmän 2 testikappaleet olivat selkeästi ensimmäistä ryhmää jäykempiä yhden viilukerroksen lisääntyä. Taivutukset aloitettiin tästä syystä kiekosta nro 12. Kiekko kerrallaan taivutusta jatkettiin, kunnes testikappale murtui. Lisääntyneestä jäykkyydestä huolimatta ohut, 0,4 mm:n vaneri, on kuitenkin erittäin taipuisaa, eikä taivutusaikaa tarvinnut merkittävästi vielä lisätä. Taivutusaika oli edelleen 1–2 min jokaista taivutuskappaletta kohden.

Hajontaa testiryhmään 1 oli kuitenkin enemmän, kuten liitteen 4, diagrammista 2 nähdään. Yhtä pienelle säteelle testiryhmän 1 kanssa ei päästy. Kuitenkin 50 % testikappaleista taipui kiekon 15 ympärille ja 80 % testikappaleista taipui kiekon 13 ympärille. Viimeinen testikappaleista murtui ennen kuin se saatiin ensimmäisen kiekon ympärille. Ohuen vanerin, joka taipuu helposti, murtumista ei taivutuksen aikana voi helposti havaita. Taivutuksen jälkeen selvät terävät taitokset taittavat valoa siten, että ne ovat hyvässä valossa havaittavissa. Murtuman ollessa reunassa, se on helpompi havaita. Kuvissa 25 ja 26 on mikroskoopilla otettu kuva samasta murtuneesta vanerista. Kuvassa 25 murtuma on merkitty ja kuvassa 26 sama kuva ilman merkintää mikroskoopilla kuvattuna.



Kuva 25. 0,4 mm, 3-ply vanerin murtuma piirretty. Kuva 25-kertainen suurennos



Kuva

26. Murtuma 0,4 mm:n, 3-ply vanerissa. Kuva 25-kertainen suurennos

Testiryhmän 3 testikappaleet olivat paksuudeltaan 0,8 mm:n, mikä oli edellisiin testiryhmiin verrattuna kaksinkertainen. Vaikka viilumäärä oli sama edellisen kanssa, lisää materiaali-vahvuus jäykkyyttä huomattavasti. Taivutustestit aloitettiin tällä kertaa kiekosta nro 5 ja taivutusaika jokaisella testikappaleella oli n. 2 min. Liitteen 5 diagrammista 3 voidaan nähdä, että puolet testikappaleista taipui kiekkoon nro 14, josta vielä kaksi pienempään kiekkoon nro 15 asti. 90 % testikappaleista taipui kiekon 13 ympärille.

Kaikki edellä mainitut ohuet vanerit eivät murtuessaan anna selkeää ääntä, vaan murtuma täytyy tutkia visuaalisesti taivutuksen jälkeen. Kaikki testeissä havaitut murtumat ovat silmin nähtävissä hyvässä valossa. Valtaosa testien murtumista myös tuntuu hyvin sormella, varsinkin murtuman ollessa koekappaleen reunassa.

Testiryhmässä 4 materiaalina oli 1,0 mm:n vaneri Exterior-liimalla. Liiman tarkempi selvitys on liitteessä 1. Taivutukset aloitettiin kiekosta nro 4 ja taivutusaika oli n. 5 min jokaista testikappaletta kohden. Pitkällä ja rauhallisella taivutuksella jopa kolme testikappaleista saatiin taivutettua kiekolle nro 12 asti, mutta 80 % testikappaleista kesti taivutuksen kiekon 9 ympärille. Kuten liitteen 6 diagrammista 4 nähdään, kaikki kymmenen testikappaletta taipuivat kiekon nro 8 ympärille.

1,0 mm:n vahvuisen vanerin murtuminen on huomattavasti selkeämpää, kuin ohuempien. Testejä tehtäessä koekappaleet napsahivat selkeästi poikki. Ohuemmissa vanereissa pääsääntöisesti murtui vain taivutuksen uloin viilu, mutta kuten kuvassa 27 nähdään, 1,0 mm:n vanerista murtuu usein myös keskiviilu.



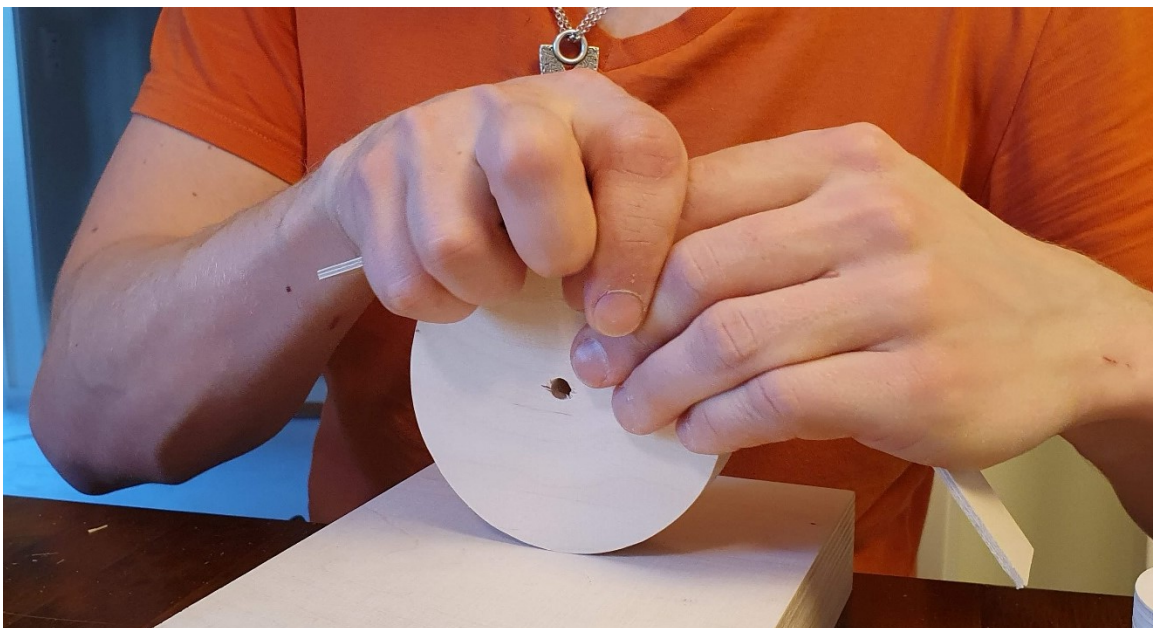
Kuva 27. 1,0 mm:n, 3-ply murtuma 25-kertainen suurennos

Testiryhmän 5 materiaalina oli 1,0 mm:n vaneri, mutta liimana Flex-liima (Liite 1). Testikappaleet osoittautuivat jäykemmiksi, kuin testiryhmän 3 vaneri, mutta joustavammaksi, kuin edellinen Exterior-liimalla liimattu testiryhmän 4 vaneri. Taivutukset aloitettiin kuitenkin samasta kiekosta nro 4. Liitteen 7 diagrammista 5 nähdään, että hajonta on 1,0 mm:n vahvuisista testeistä suurinta. Myös tässä testiryhmässä kolme testikappaletta saatiin taivutettua kiekolle 15 asti. Kuitenkin yksi testikappaleista on pettänyt jo kiekon 5 jälkeen. 80 % testikappaleista taipui kiekon 11 ympärille, mikä on testiryhmään 4 nähden 5 mm parempi tulos. Myös tässä testiryhmässä taivutusaika oli n. 5 min.

Viimeinen testattava 1,0 mm:n vaneri, joka testattiin syysuuntaan, oli testiryhmän 6 vaneri. Tällä kerralla Interior-liimalla (Liite 1). Tämä on 1,0 mm:n vanereista huomattavasti jäykin ja hajonta liitteen 8, diagrammin 6 mukaan on pienin verrattuna testiryhmiin 4 ja 5. Taivutukset aloitettiin kiekosta nro 4, kuten testiryhmät 4 ja 5. Pienin kiekko jolle testikappaleet taipuvat oli nro 11. 70 % testikappaleista taipui vielä kiekon 10 ympärille ja kaikki 10 testikappaletta taipuivat kiekon 9 ympärille.

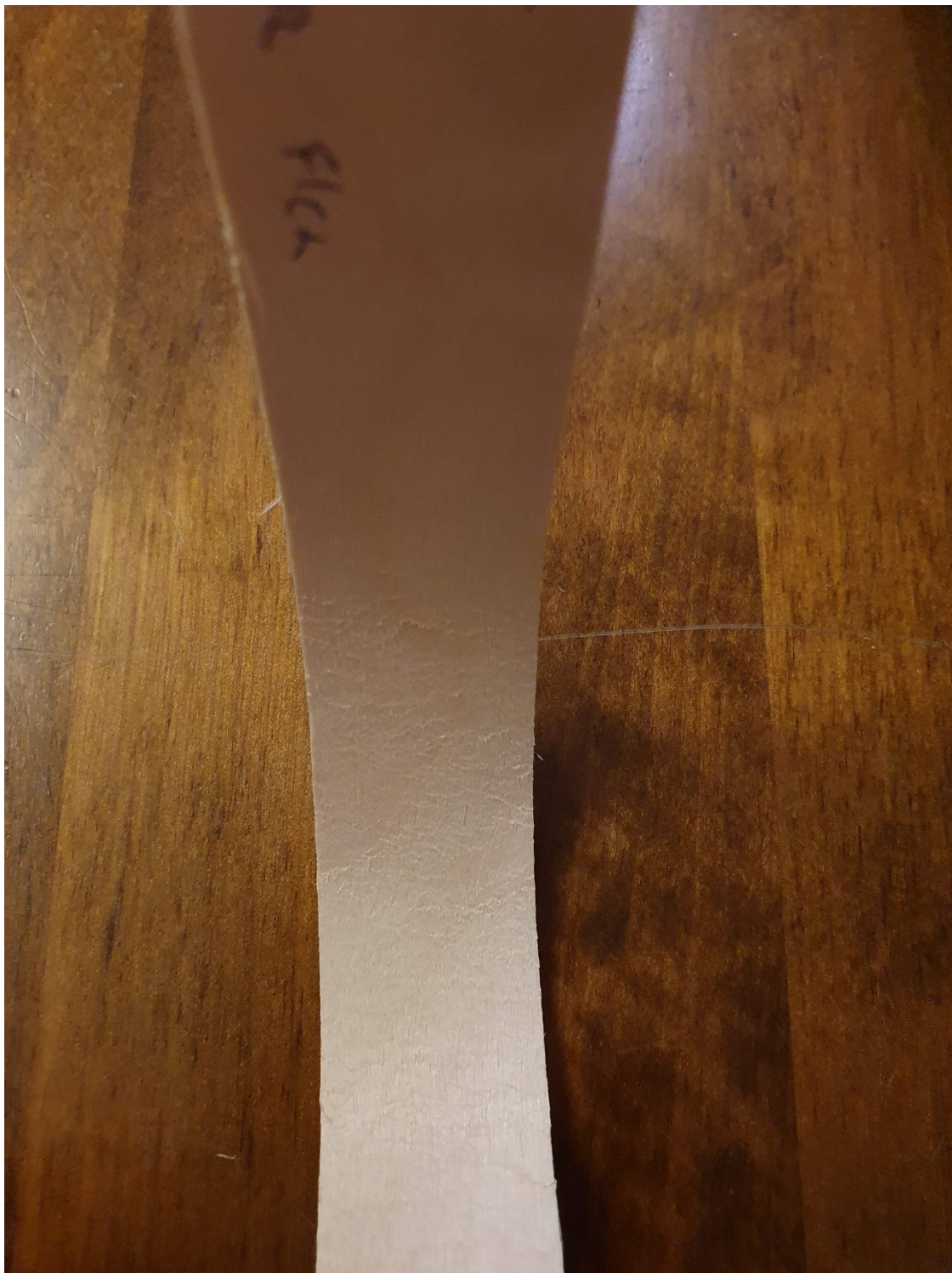
Kaikista 1,0 mm:n vanereista valtaosa taipuu kiekon 9 ympärille siten, että yhteensä 30 testikappaleesta vain 3 kpl oli murtunut ennen tätä. Flex-liimalla joustaa liimoista eniten, minkä jälkeen Exterior-liima on helpoin taivuttaa. Interior-liima on liimoista jäykin, mikä alkoi toistuvien taivutusten jälkeen tuntumaan jo sormissa. Kaikki taivutukset ovat siitä huolimatta käsivoimin taivutettuja. Aikaa kaikkiin 1,0 mm:n vanereihin oli kulunut n. 5 min. jokaista testikappaletta kohden. Lähes kaikki edellä mainitut 1,0 mm:n vanerit napsahdivat äänen kanssa murtuessaan, tai repeäminen tapahtui muuten selkeästi.

Toiseksi paksuin testiryhmä oli ryhmä 7. 2,5 mm:n vaneri oli niin jäykkää, että alkutaivutukset täytyi aloittaa suurimmasta kiekosta. Tätä varten myös koepalojen pituutta kasvatettiin 250 mm:iin. Paksu vaneri alkoi olla niin jäykkää, että taivutukset suoritettiin pystysuunnassa kuvan 28 tapaan. Hajonta testikappaleiden välillä oli suurinta kaikista testeistä (Liite 9, diagrammi 7). Vain 80 % saatiin taivutettua kiekon 1 ympärille ja 50 % kiekosta kiekon 2 ympärille. Tämä testiryhmä näytti taivutukseen käytettävän ajan tarpeellisuuden, sillä tässä testiryhmässä taivutukseen käytetty aika oli n. 15 min kappaleella, joka saatiin taivutettua kiekolle 8 asti. Lisäksi paksuja vanereita taivutettaessa huomattiin vanerin tarvitsevan väsytystä myös varsinaisen taitoksen ympäriltä.



Kuva 28. 2,5 mm:n vanerin taivutus suurille kiekkoille

Paksua vaneria taivutettaessa taivutuksen sisäkaarteeseen alkaa muodostua havaittavaa poimuuntumista materiaalin puristumisesta johtuen, kuten kuvassa 29.



Kuva 29. Puristuksesta johtuvaa pinnan poimuttumista taitoksen sisäkaarteessa

Testiryhmän 8 3,0 mm:n vaneri oli testien paksuin. Myös tämän ryhmän testikappaleet olivat 250 mm pitkiä ja alkutaivutus suoritettiin kiekolle nro 1. Vaikka liitteen 1 taulukosta 1 näemme myös 3,0 mm:n vanerin taipuvan 35 mm:n säteelle, testikappaleen ollessa 1204 mm pitkä, ei näitä 250 mm:n pituisia testikappaleita saatu enää taipumaan, vaikka alkutaivutukset kummassakin testissä oli samansuuruiset (Liite 10, diagrammi 8).

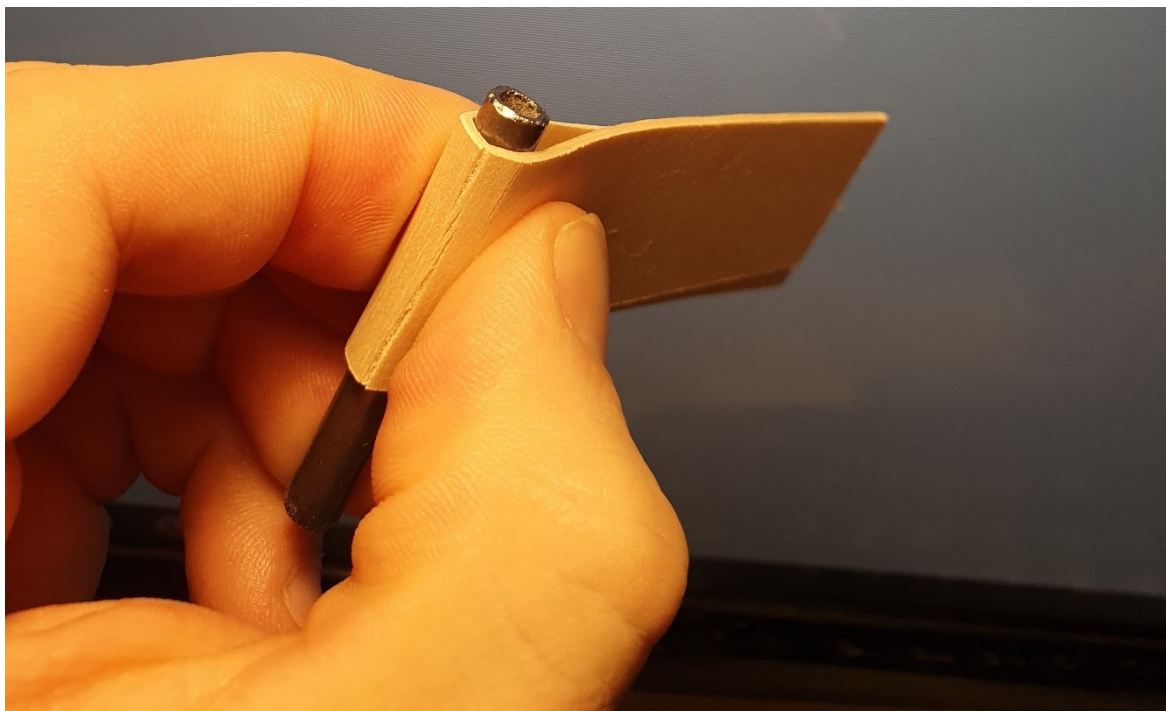
Viimeisenä testattiin 1,0 mm:n vanerin taipuminen poikkisuuntaan (Liite 11). Poikkisuuntaan taivutettaessa taivutusta ei varsinaisesti vastusta mikään. 3-ply-rakenteen vanerissa, jota testeissä käytettiin, on vain yksi ristiviilu keskellä. Tämän vuoksi taivutustulokset olivat hyvin samankaltaiset testiryhmän 1 kanssa. 1,0 mm:n paksuista kappaletta on kuitenkin hankala taivuttaa 3 mm:n säteelle tasaisesti. Kuvasta 30 ilmenee, kuinka pienen säteen taivutuksesta tulee kulmikas.



Kuva 30. 1,0 mm:n vaneri taivutettuna poikkisuuntaisesti 3 mm säteelle

Vaikka näissä testeissä ei eroa taivutustesteissä ole testiryhmien 1 ja 9 välillä, on otettava huomioon materiaalivahvuus taivutuksissa. Taivutettaessa paksua vaneria pienelle säteelle, joutuu kaarteeseen ulompi reuna venymään enemmän, mikä aiheuttaa helpommin syiden irtoamisen, kuten kuvassa 31. Tätä ei vielä tulkittu kuitenkaan murtumaksi, ennenkuin

viilu irtaava liimasaumasta. Kyseessä tulkittiin olevan syynsuuntainen repeämä, jota ei ilmaivanerinin standardeissakaan hylätä.



Kuva 31. 1,0 mm:n vanerissa tapahtuva syiden irtoaminen taivutettaessa poikkisyyn suuntaisesti

Testien perusteella todettiin ohutviiluvanereiden taipuvat varsin pienille säteille 1,0 mm:n materiaalivahvuuteen asti, liimasta riippumatta. Flex-liima kuitenkin joustaa liimoista eniten, mikä helpottaa taivuttamista huomattavasti. Vanereita on myös taivutettava porrastetusti siten, että taivutus tapahtuu ikään kuin pehmittämällä. Materiaalivahvuuden kasvaessa taivutukseen tarvittava voima kasvaa samoin kuin taivutukseen tarvittava aika. Paksut, yli 1,0 mm:n vahvuiset vanerit vaativat materiaalille lisää mittaa taivutuksen kummallekin puolelle. Tämä lisää materiaalihukkaa, jos taivutus halutaan lopullisen tuotteen reunaan.

Testeissä testattiin vain yhtä kappalelevyettä, mutta taivutettavan materiaalin leveyden ei uskota merkittävästi vaikuttavan taipumiskykyyn, perustuen mm. Germanischer Lloydin testeihin. Taivutuksia tehtäessä on kuitenkin muistettava materiaalin tukeminen koko taivutusmatkalta.

Taivutettaessa vaneria pienille säteille, on muistettava, että taivutettu vaneri ei pysy muodossansa itse, vaan sen muodossa pysyminen täytyy varmistaa. Kuitenkin taivutettu vaneri väsyä, minkä seurauksena se ei palaudu takaisin alkuperäiseen muotoonsakaan. Taivutuksen jälkeen vaneri ei kestä enää vastakkaiselle puolelle taivutusta ollenkaan.

Taivutuksen ohjearvoksi ehdotetaan jokaisen vanerin osalta sädettä, johon 80 % koekappaleista on taipunut, minkä jälkeen turvamarginaaliksi säteeseen lisätään 2 testikiekkoa. Testikiekkojen säteen porrastuksen ollessa 2,5 mm tarkoittaa turvamarginaalia 5,0 mm. Esimerkki taivutusohjeesta liitteessä 12.

6 Kehitysehdotukset

Ohutviiluvanerin ollessa luonnon tuote, se elää olosuhteiden mukaan. Sekä kosteus että lämpö lisäävät puun elastisuutta. Höyryttämällä on taivutettu puuta läpi historian, mutta vaneria höyrytettäessä täytyy ottaa huomioon myös vanerissa käytetty liima. Kuten Saaara (Nimimerkki) kirjoittaa blogissaan (Rautalangasta viäntäen 2013) vanerin taivutuksesta höyrytysastian avulla. Hänen 3 mm:n koivuvanerinensa viilut irtosivat toisistaan liian hautomisen takia. Kuitenkin tässä voisi olla mahdollisuus taivuttaa muotin avulla vanereita pienemmälle säteelle, kuin tässä opinnäytetyössä käytetyn kuivan vanerin.

Toinen taivutusmetodi, jota suositellaan kokeiltavaksi, on pelkkä lämpö. Tässäkin on huomioitava vanerissa käytetty liima. Lisäksi liika lämmönkäyttö voi aiheuttaa vaaleaan koivuvaneriin värimuutoksia. Malmström (2013) on onnistunut pelkällä lämmöllä taivuttamaan 0,8 mm:n vaneria 90 asteen kulmaan, tehdessään nukkekodin somisteita.

Taivutetun vanerin palautumista taivutuksen jälkeen, ei tässä opinnäytetyössä tutkittu. Myös muodossa pysymistä, ilman minkäänlaisia kiinnikkeitä taivutusmatkalla, voisi tutkia lisää.

7 Yhteenveto

Koskisen Oy:n ohutviiluvaneritehtaan asiakkailta on tarve taivuttaa vaneria. Tässä opinnäytetyössä testattiin Koskisen Oy:n toimeksiantona viittä eri vaneripaksuutta ja kolmella eri liimalla liimattua vaneria. Yhteensä yhdeksästä testiryhmästä kahdeksan taivutettiin pintaviilun syysuuntaan ja yksi testiryhmä vertailun vuoksi poikkisyysuuntaan. Taivutettaessa pintaviilun syysuuntaan, taivutukseen tarvittavan voiman tarve on suurempi.

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin taivutusta varten testilaitteisto, minkä jälkeen testattavat tuotteet taivutettiin murtumispisteeseen asti. Taivutukset rajattiin kuivaan ja huoneenlämpöiseen vaneriin. Sekä kosteus, että lämpö lisäävät puun elastisuutta, millä voitaisiin päästä vielä pienemmille säteille. Testikappaleet taivutettiin 180°.

Päätuloksena testeistä voitiin todeta kaikkien vanereiden taipuvan, mutta 1,0 mm paksuimmat vanerit alkavat tarvitsemaan taivutukseen enemmän niin aikaa, voimaa kuin materiaalin pituuttakin. Jos taivutuksen haluaa lopputuotteen reunaan, paksusta, yli 1,0 mm:n vahvuisesta vanerista tulee paljon hukkaa.

Murtuessaan alle 1,0 mm:n vanerit eivät anna selvää ääntä murtuessa, mistä johtuen taivutettu kappale täytyy tutkia visuaalisesti taivutuksessa ollessa. Hyvä valo auttaa huomamaan mahdolliset murtumat. 1,0 mm:n vaneri ja siitä paksuimmat yleensä napsahtavat äänen kanssa poikki, eikä murtuminen jää epäselväksi. Liimoista Flex-liima taipuu parhaiten. Muut liimat taipuvat myös, mutta voiman tarve taivutettaessa ja taivutuksen jälkeen muodossa pysymisessä kasvavat huomattavan suureksi.

Lopputuotoksena testeistä laadittiin Koskiselle taivutusesite-malli asiakaspalvelun tueksi ja asiakkaille annettavaksi. Taivutusesitteen taivutussäteen turvamarginaaliksi on otettu taivutustestitulosten arvo, johon 80 % koekappaleista on taipunut. Testitulosten säteeseen on lisäksi lisätty 1,0 mm.

Lähteet

Aircraft -plywood Mfg. 2019a. How our passion lead to -plywood construction for projects. Viitattu 19.10.2021. Saatavissa <https://aircraft-plywood.com/about-us/>

Aircrft -plywood Mfg. 2019b. Products specification. Viitattu 19.10.2021. Saatavissa <https://aircraft-plywood.com/products/>

Bait group 2021. Professional manufacturer in -plywood. Viitattu 19.10.2021. Saatavissa https://baitwood.com/company_profile/

EKSForest. 2018. Poplar -plywood. Viitattu 19.10.2021. Saatavissa http://www.eksforest.com/poplar_plywood.html

Germanischer L. 1953. Rules for surveying and testing of -plywood for Aircraft. Berliini. Saatavissa <https://www.aircraftspruce.com/catalog/pdf/Germanischer%20Lloyd.pdf>

GL II-2-2. 2016. Rules for Classification and Construction Materials and Welding. Hampuri. Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft. Saatavissa https://rules.dnv.com/docs/pdf/gl/maritime/rules/gl_ii-2-2_e.pdf

Grosvenor M. J. 1916. Navigation Laws. Washington: Government printing office. Viitattu 31.10.2021. Saatavissa https://books.google.fi/books?id=3_xOkH1JoQC&pg=RA3-PA179&dq=germanischer+lloyd&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwiykY2JovLzAhW2Q_ED-Hbz7BGIQuwV6BAgKEAs#v=onepage&q=germanischer%20lloyd&f=false

Koskisen Oy. Koskisen tarina. Viitattu 28.9.2021. Saatavissa <https://koskisen.fi/konserni/koskisen-tarina/>

Koskisen Oy. KoskiFlex. Viitattu 8.10.2021. Saatavissa <https://koskisen.fi/wp-content/uploads/2021/10/60701.pdf>

Koskisen Oy. Koski-ply Birch. Viitattu 14.10.2021 Saatavissa <https://koskisen.fi/wp-content/uploads/2021/10/60698.pdf>

Koskisen Oy. Lastulevyt. Viitattu 3.10.2021. Saatavissa <https://koskisen.fi/tuotteet/lastulevyt/>

Koskisen Oy. Materiaalipankki. Viitattu 14.10.2021 Saatavissa <https://koskisen.fi/tuotteet/materiaalipankki/?file-type=1953&product-category=1937&action=filterfiles>

Koskisen Oy. Ohutviiluvaneri ja viilut. Viitattu 3.10.2021. Saatavissa <https://koskisen.fi/tuotteet/ohutvaneri-ja-viilut/>

Koskisen Oy. Puukauppalvelut. Viitattu 4.10.2021. Saatavissa <https://koskisen.fi/wp-content/uploads/2021/01/eko-9.11.2020.pdf>

Koskisen Oy. Sahatavara ja -jalosteet. Viitattu 28.9.2021 Saatavissa <https://koskisen.fi/tuotteet/sahatavara-ja-jalostettu-puutavara/>

Koskisen Oy. Vaneri. Viitattu 30.9.2021. Saatavissa <https://koskisen.fi/tuotteet/vaneri/>

Koskisen Oy 2020. Koskisen Thin -plywood Industry, 3–4

Malmström M. 2013. Nukkekotikoti Väinölä. Blogi-kirjoitus. Viitattu 18.10.2021. Saatavissa <http://maria-malmstrom.blogspot.com/2013/11/vanerin-taivutusohje-kori.html>

Martiala K. 2018. Koivuvaneri on säilyttänyt asemansa lentokoneiden valmistuksessa. Viitattu 10.11.2021. Saatavissa <https://www.ilmailuliitto.fi/ilmailu-lehti/koivuvaneri-on-sailyttanyt-aseansa-lentokoneiden-valmistuksessa/>

MIL-P-6070B. 1968. Military specification -plywood and vaneer aircraft flat panel.

PWG Vaneerbackings GmbH. Technical Data Sheet Glue Film LF150+. Esite

Roc International 2020a. History. Viitattu 19.10.2021 Saatavissa <https://www.rocplex.com/history/>

Roc International 2020b. Structural use. Viitattu 19.10.2021. Saatavissa <https://www.rocplex.com/birch--plywood-2440-x-1220-x-2-7mm-cd-grade-common-18-in-x-4ft-x-8ft-birch-project-panel-product/>

Saaara 2013. Rautalangasta viäntäen. Blogi-kirjoitus. Viitattu 18.10.2021. Saatavissa <https://tn-opetus.blogspot.com/2013/05/puunkantoteline-taivutetusta-vanerista.html>

Surfactor 2012. Laser 1103. Esite

Surfactor 2012. Easybond 1104. Esite

The History of wooden aircraft. Viitattu 16.10.2021. Saatavissa <http://www.woodenaviation.com/history.html>

Varis, R. 2017. Wood-based panels industry. 1. painos. Keuruu: Kirjakaari Oy

Liite 1. Alustavat testit

Koe-pala	Vanerin paksuus (mm)	Testikappaleen pituus (mm)	Testikappaleen korkeus (mm)	Ply	Liima	Laatu	Halkaisija (mm)
1	1	1204	25	3	Flex	AB/B	28
2	1,5	1204	25	3	Flex	AB/B	34
3	1,5	600	25	3	Interior	AB/B	34
4	2	1204	25	4	Flex	BR/BR	58
5	3	1204	25	6	Flex	AB/B	70
6	3	1204	25	6	Exterior	AB/B	70
7	4	1204	25	5	Flex	AB/AB	-

Taulukko 1. Alustavat testit

Vanereissa käytetyt liimat

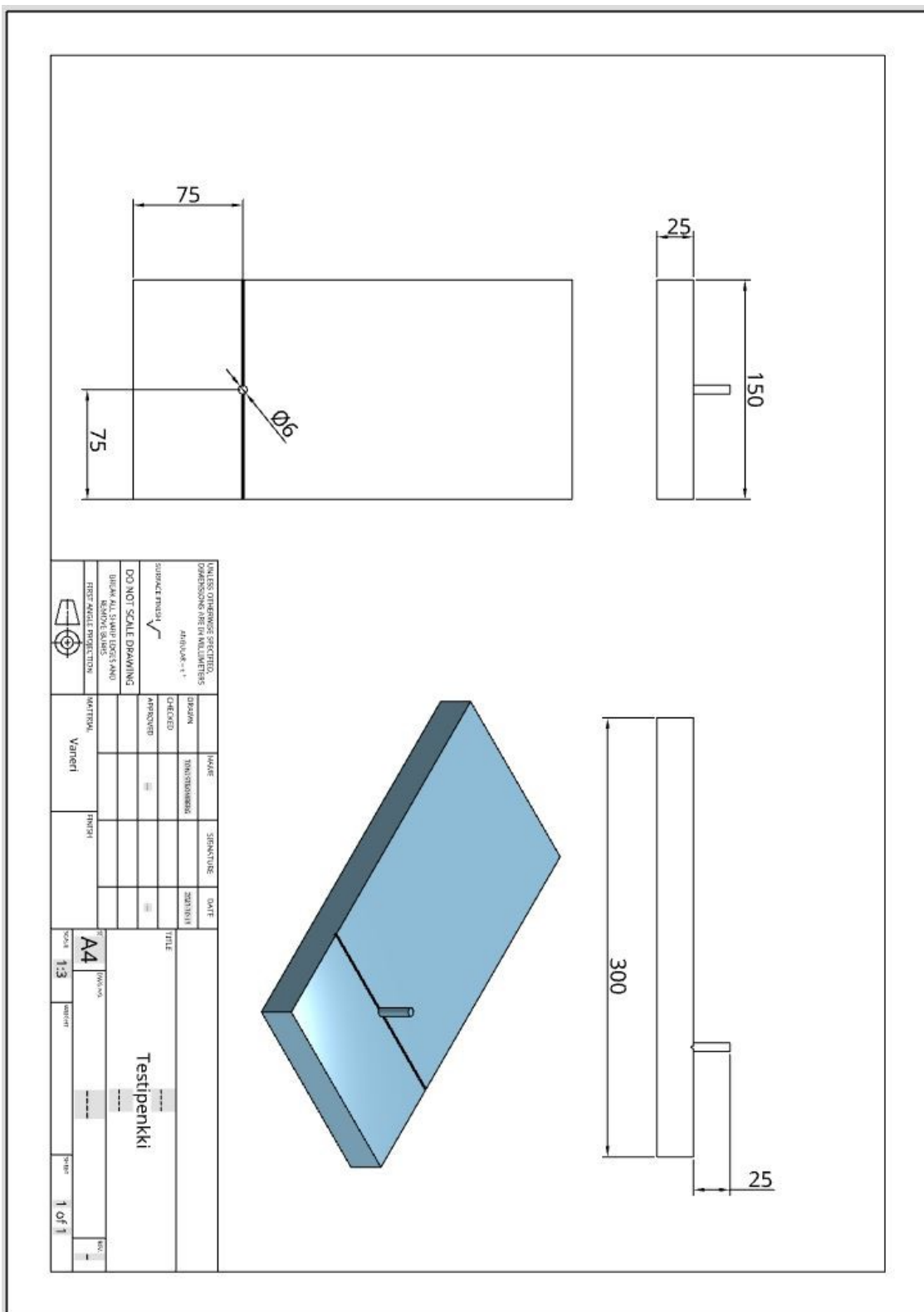
Interior (INT) liima on tuotenimeltään Laser 1103. Tuote on aminoharsilla kyllästetty, väriltään vaalea/väritön paperikalvo ja painoltaan n. 120 g/m². Liima vaatii monivälipuristimelta vähintään 125 °C lämpötilan, vähintään 1,4 N/mm² paineen ja 3–7 min puristusajan. Viulun kosteuden on oltava 6–12 %. (Laser 1103 2012, 2.)

Exterior (EXT) liima on tuotenimeltään Easybond 1104. Tuote on fenoliharsilla kyllästetty paperikalvo, joka on väriltään vaaleanruskea ja painaa n. 72 g/m². Puristimelta liima vaatii vähintään 125 °C ja vähintään 1,4 N/mm² paineen. Puristusaika 5–12 min viulun kosteuden ollessa 6–12 %. (Easybond 1104 2021, 2.)

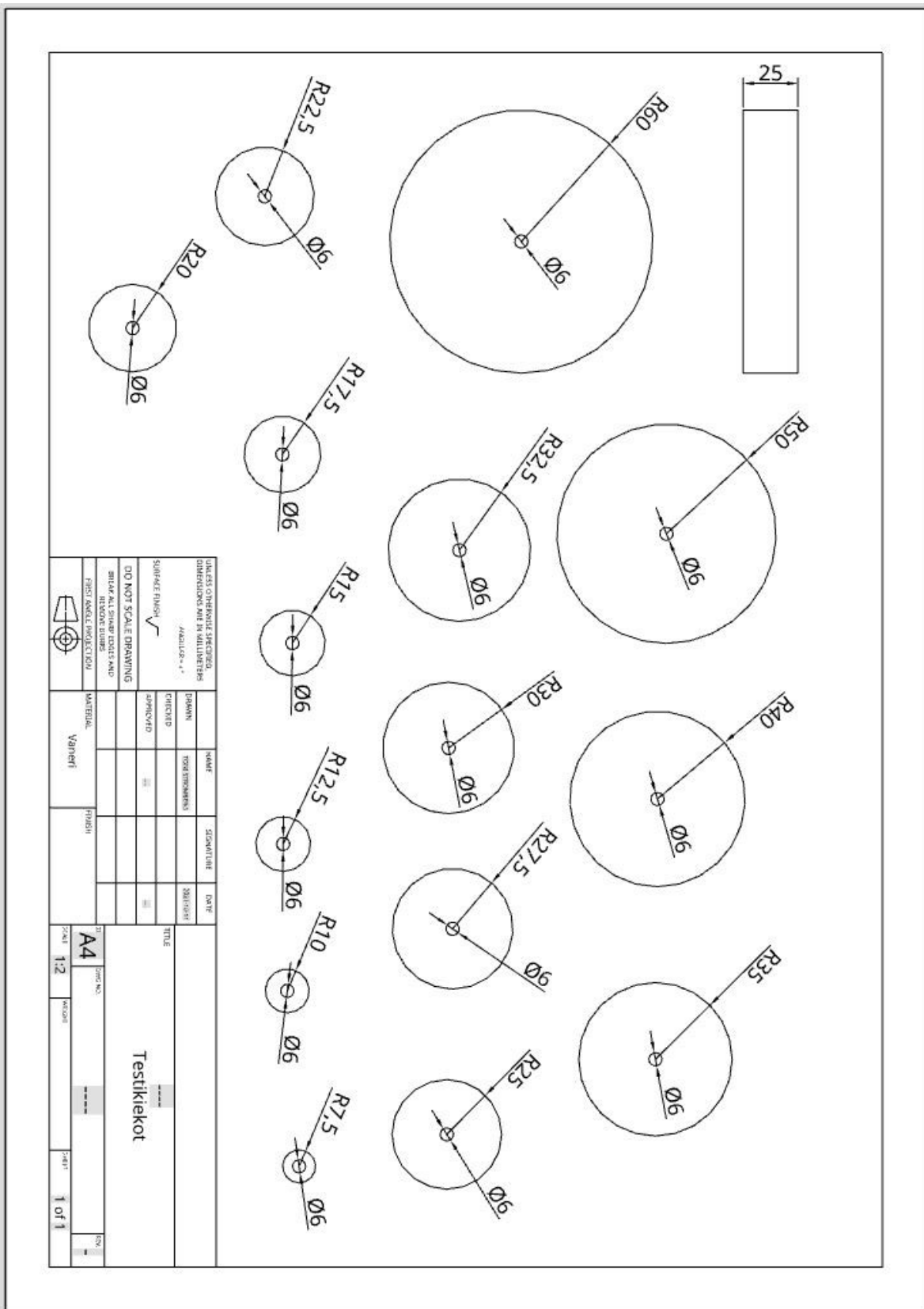
Flex liima on tuotenimeltään Glue Film LF150+. Tuote on pääsääntöisesti pitkäkuituista selluloosaa, jossa lateksi toimii sidosaineena. Flex-liimakalvo painaa n. 100 g/m². Flex -liima vaatii puristimelta 120–140 °C lämpötilan, 1,7 N/mm² paineen ja minimissään 1 min puristusajan. (PWG Vaneerbackings GmbH.)

Testikiekkon numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Testikiekkon säde (mm)	60	50	40	35	32,5	30	27,5	25	22,5	20	17,5	15	12,5	10	7,5	3

Taulukko 2. Testikiekkojen numerointi



Liite 2. Testilaitteen piirustukset



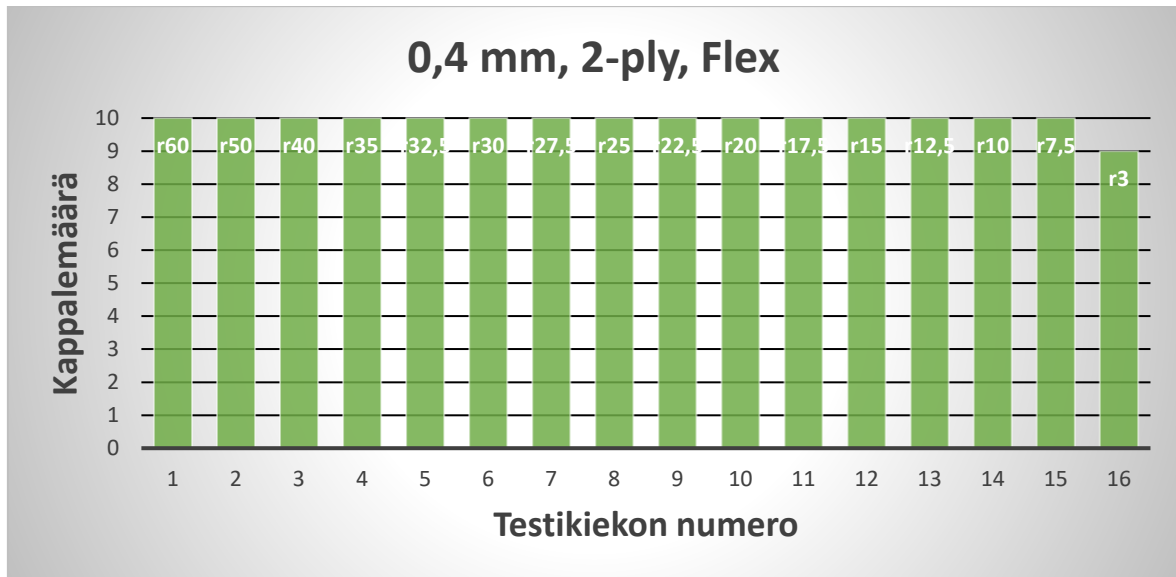
Liite 3. Testiryhmän 1 testitulokset

Testiryhmä	1
Koepalojen leveys (mm)	25
Koepalojen pituus (mm)	160
Koepalojen paksuus (mm)	0,4
ply	2
Pinnanlaatu	BR/BR
Liima	Flex

Taulukko 3. Testiryhmän 1 koepalojen alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	0,4
ply	2
Liima	Flex
Pinnanlaatu	BR/BR
Alkupaino (g)	1,2432
Loppupaino (g)	1,1835
Kosteus %	5 %

Taulukko 4. Testiryhmän 1 kosteusmittaus



Diagrammi 1. Testiryhmän 1 koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

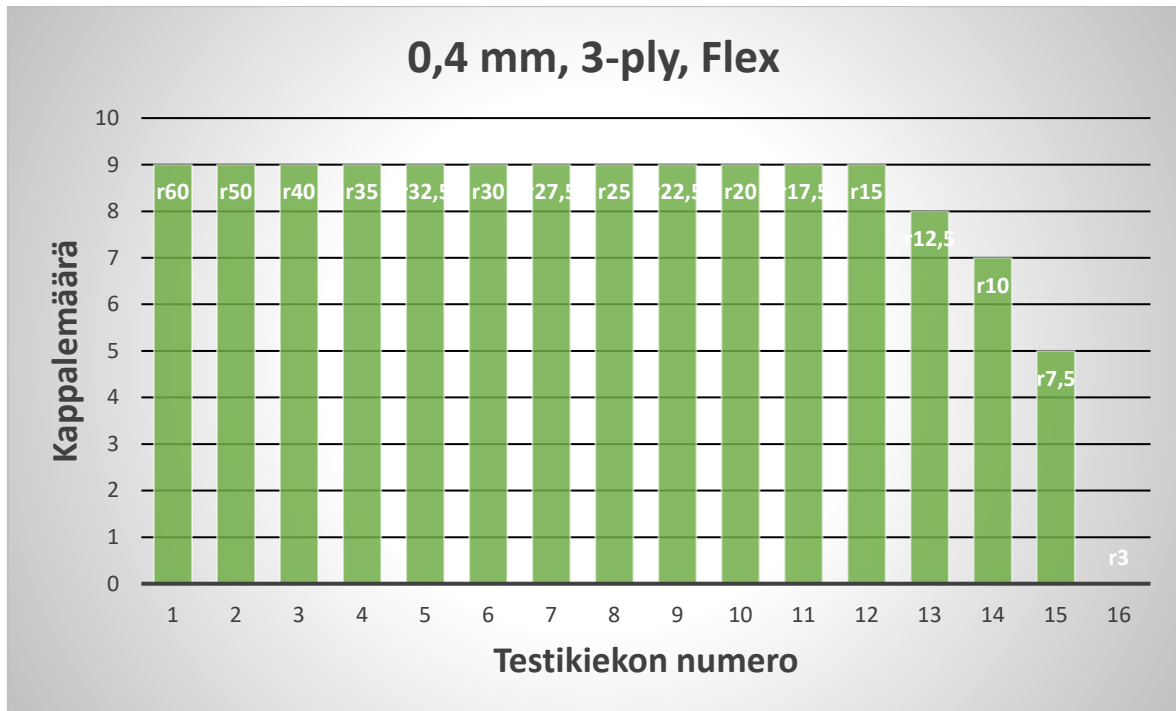
Liite 4. Testiryhmän 2 testitulokset

Testiryhmä	2
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	160
Paksuus mm)	0,4
ply	3
Pinnanlaatu	AB/B
Liima	Flex

Taulukko 5. Testiryhmän 2 alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	0,4
ply	3
Liima	Flex
Pinnanlaatu	AB/B
Alkupaino (g)	1,8545
Loppupaino (g)	1,7701
Kosteus %	5 %

Taulukko 6. Testiryhmän 2 kosteusmittaus



Diagrammi 2. Testiryhmän 2 koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

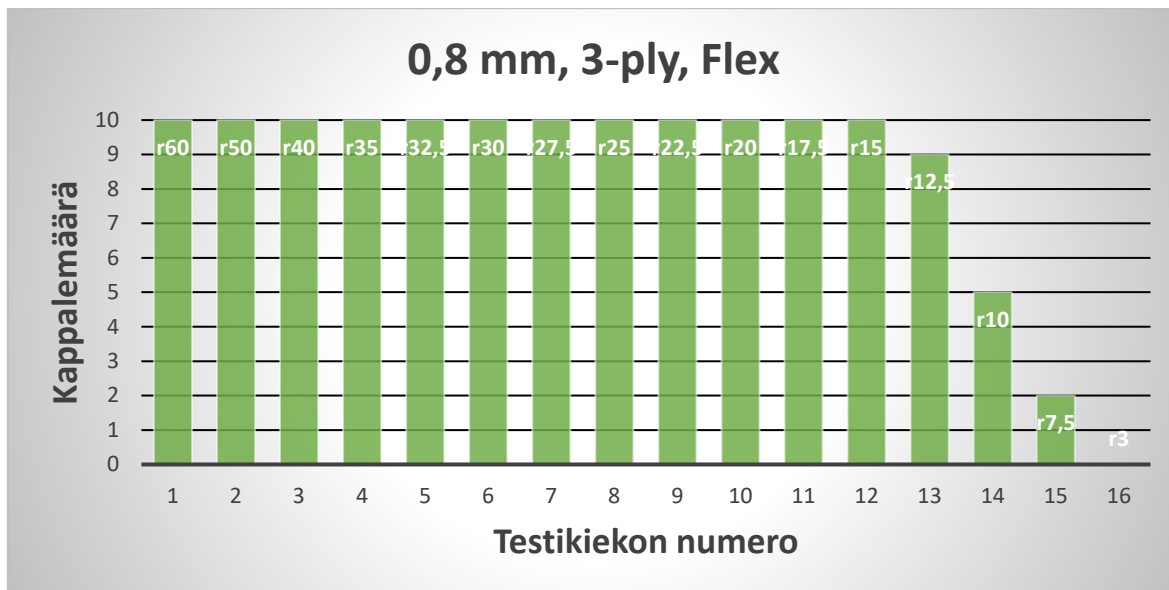
Liite 5. Testiryhmän 3 testitulokset

Testiryhmä	3
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	160
Paksuus mm)	0,8
ply	3
Pinnanlaatu	BR/BR
Liima	Flex

Taulukko 7. Testiryhmän 3 alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	0,8
ply	3
Liima	Flex
Pinnanlaatu	BR/BR
Alkupaino (g)	2,5818
Loppupaino (g)	2,4544
Kosteus %	5 %

Taulukko 8. Testiryhmän 3 kosteusmittaus



Diagrammi 3. Testiryhmän 3 koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

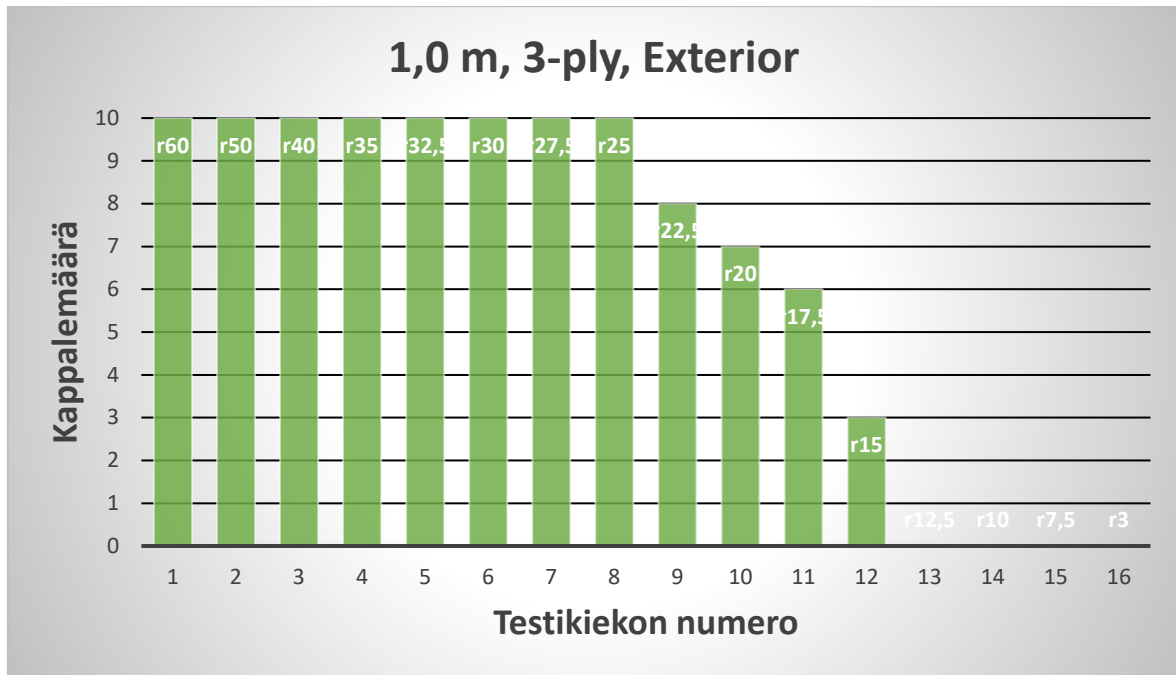
Liite 6. Testiryhmän 4 testitulokset

Testiryhmä	4
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	160
Paksuus mm)	1,0
ply	3
Pinnanlaatu	AB/B
Liima	Exterior

Taulukko 9. Testiryhmän 4 alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	1
ply	3
Liima	Exterior
Pinnanlaatu	AB/B
Alkupaino (g)	3,4392
Loppupaino (g)	3,2538
Kosteus %	6 %

Taulukko 10. Testiryhmän 4 kosteusmittaus



Diagrammi 4. Testiryhmän koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

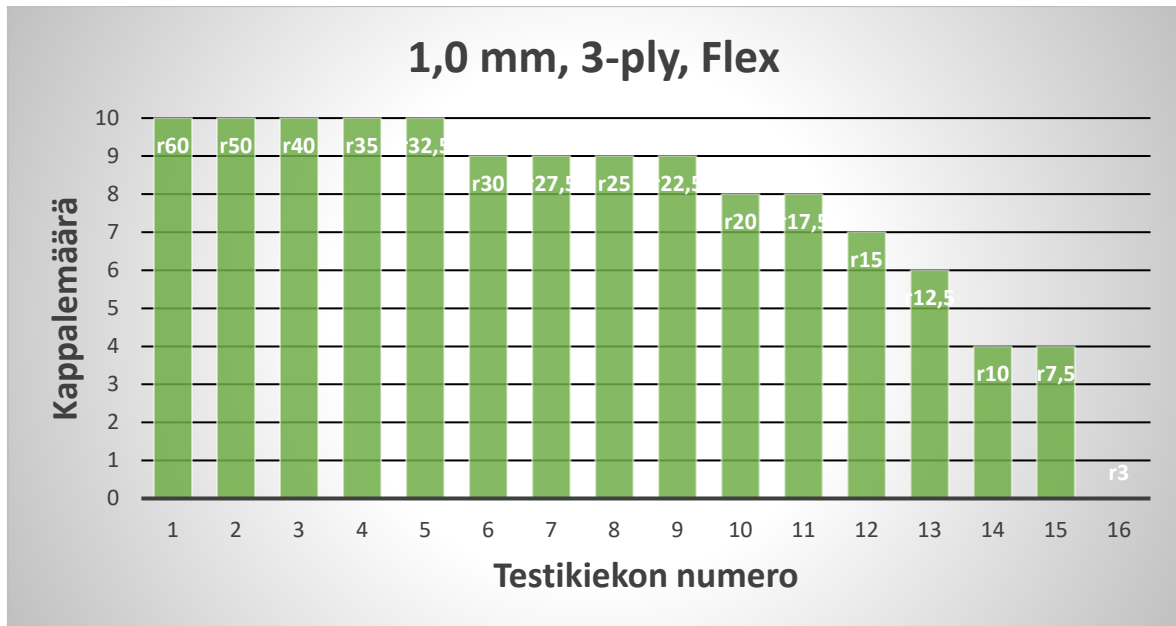
Liite 7. Testiryhmän 5 tulokset

Testiryhmä	5
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	160
Paksuus mm)	1,0
ply	3
Pinnanlaatu	AB/B
Liima	Flex

Taulukko 11. Testiryhmän 5 alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	1
ply	3
Liima	Flex
Pinnanlaatu	AB/B
Alkupaino (g)	3,1973
Loppupaino (g)	2,9798
Kosteus %	7 %

Taulukko 12. Testiryhmän 5 kosteusmittaus



Diagrammi 5. Testiryhmän 5 koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

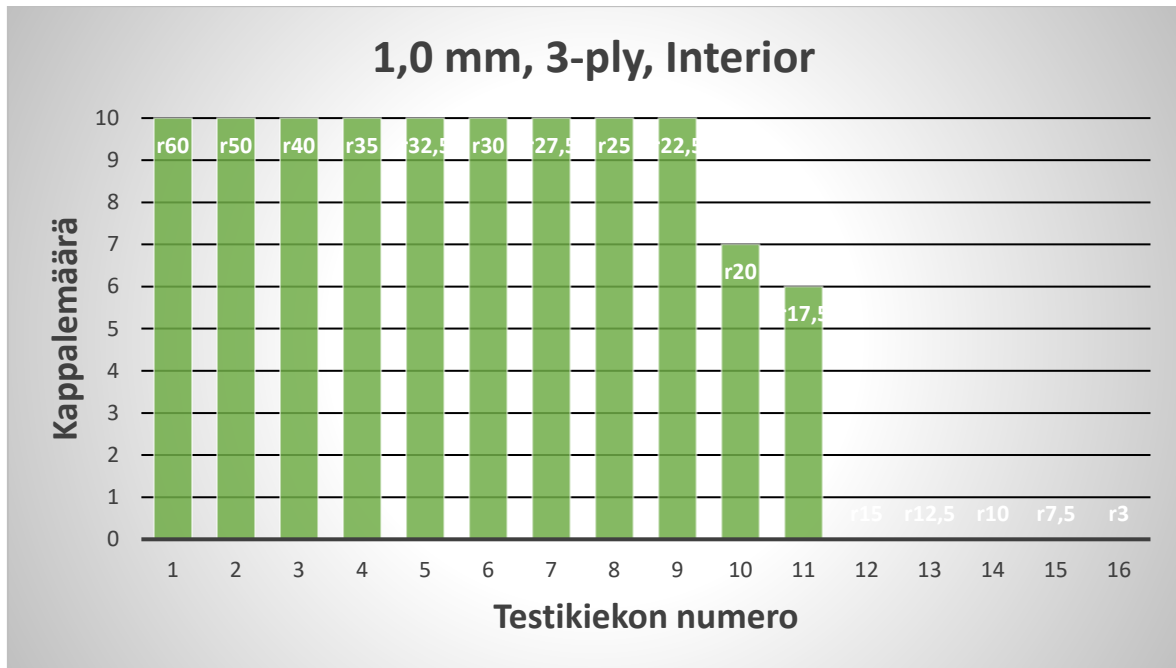
Liite 8. Testiryhmän 6 tulokset

Testiryhmä	6
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	160
Paksuus mm)	1,0
ply	3
Pinnanlaatu	BR/BR
Liima	Interior

Taulukko 13. Testiryhmän 6 alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	1
ply	3
Liima	Interior
Pinnanlaatu	BR/BR
Alkupaino (g)	3,7662
Loppupaino (g)	3,5477
Kosteus %	6 %

Taulukko 14. Testiryhmän 6 kosteusmittaus



Diagrammi 6. Testiryhmän 6 koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

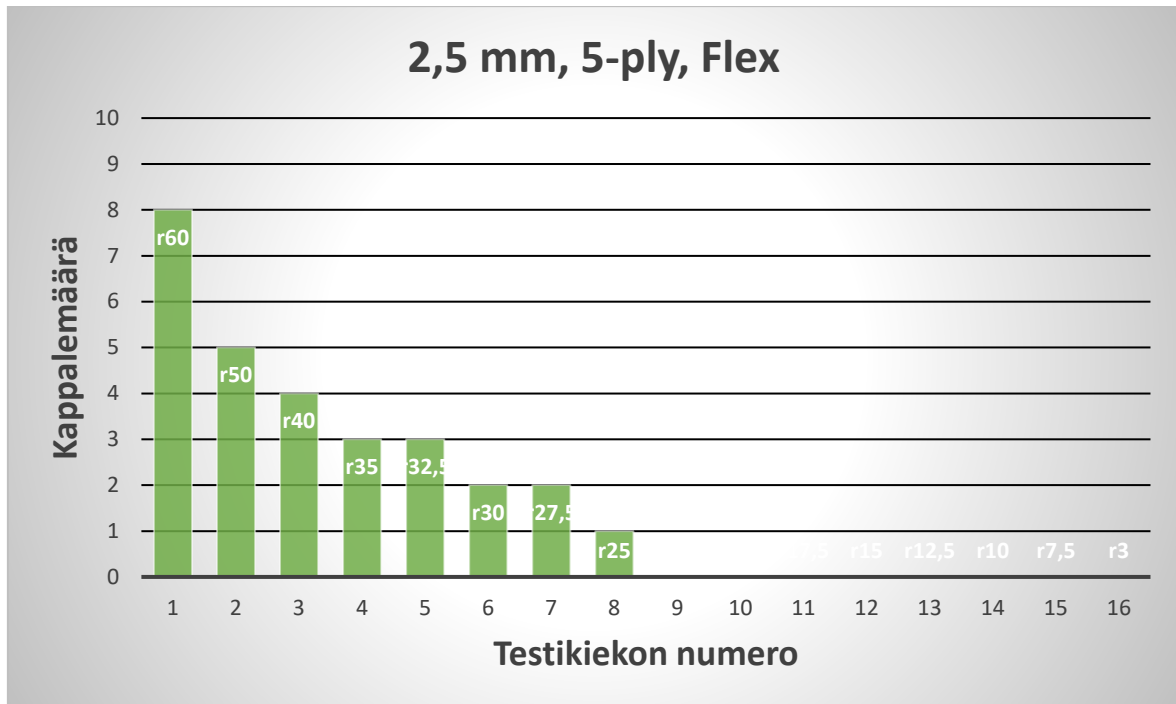
Liite 9. Testiryhmän 7 tulokset

Testiryhmä	7
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	250
Paksuus mm)	2,5
ply	5
Pinnanlaatu	BR/BR
Liima	Flex

Taulukko 15. Testiryhmän 7 alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	2,5
ply	5
Liima	Flex
Pinnanlaatu	BR/BR
Alkupaino (g)	8,8063
Loppupaino (g)	8,3671
Kosteus %	5 %

Taulukko 16. Testiryhmän 7 kosteusmittaus



Diagrammi 7. Testiryhmän 7 koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

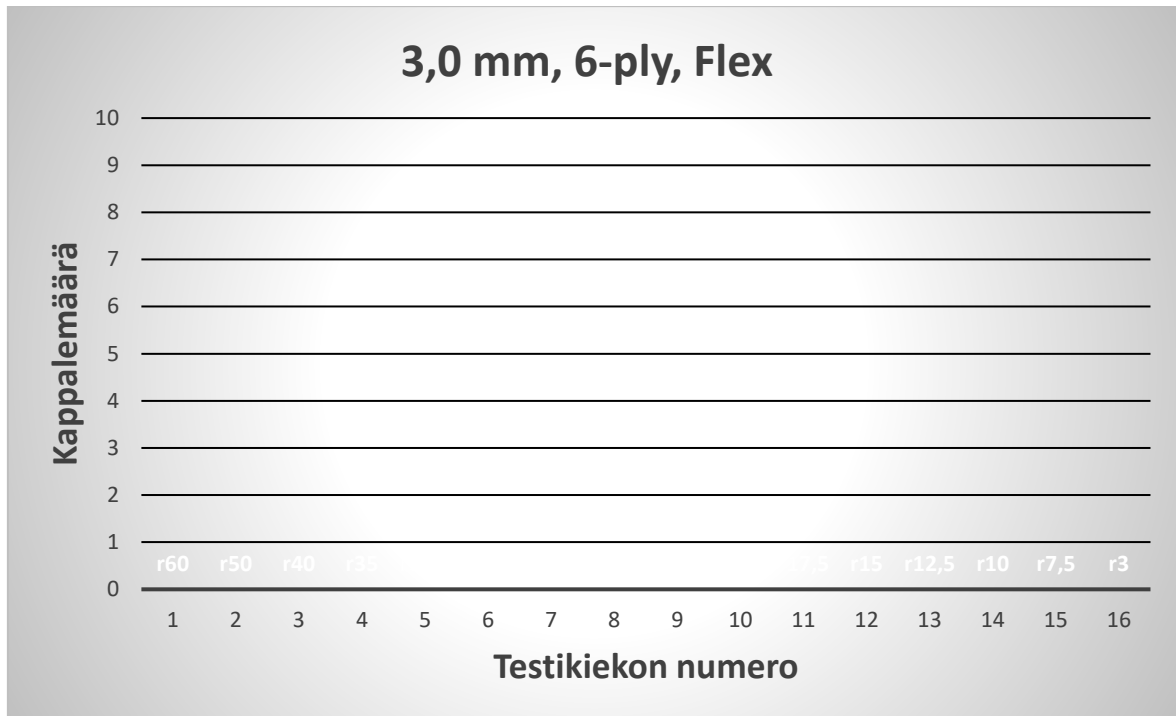
Liite 10. Testiryhmän 8 tulokset

Testiryhmä	8
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	250
Paksuus mm)	3,0
ply	6
Pinnanlaatu	BR/BR
Liima	Flex

Taulukko 17. Testiryhmän 8 alkutiedot

Kosteustestit	
Uunin lämpötila (°C)	104
Kuivausaika (h)	24
Materiaalipaksuus (mm)	3
ply	6
Liima	Flex
Pinnanlaatu	BR/BR
Alkupaino (g)	9,7995
Loppupaino (g)	9,3757
Kosteus %	5 %

Taulukko 18. Testiryhmän 8 kosteusmittaus



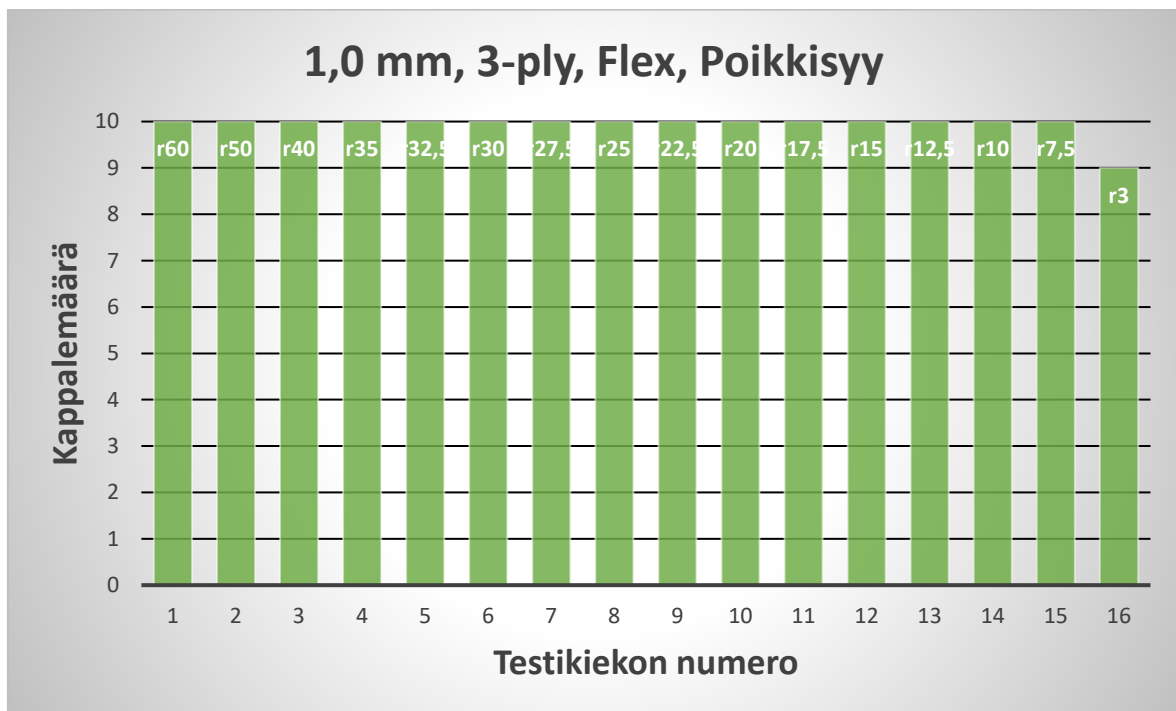
Diagrammi 8. Testiryhmän 8 koepalojen ehjien taivutusten jakauma testikiekoille

Liite 11. Testiryhmän 9 tulokset

Testiryhmä	9
Leveys (mm)	25
Pituus (mm)	160
Paksuus (mm)	1,0
ply	3
Pinnanlaatu	AB/B
Liima	Flex
Taivutussuunta	Poikkisyy

Taulukko 19. Testiryhmän 9 alkutiedot

Koepalat samasta vanerilevystä kuin testiryhmä 5. katso liite 7, taulukko 11.



Diagrammi 9. koepalojen ehjen taivutusten jakauma testikiekoille

Liite 12. Taivutusohje-malli

OHJEET OHUTVIILUVANERIN TAIVUTUKSEN

Ohutviiluvaneri on valmistettu luonnonmateriaalista, joten ohjeet taivutukseen ovat viitteellisiä ja suuntaa antavia. Ohjearvot on testattu huoneenlämpöisellä ja 5–7 % kostealla vanerilla. Taivutukset testeissä on tehty pintaviilun syysuuntaan. Arvot ja taivutusajat saattavat muuttua taivutettaessa vaneria poikkisyyn suuntaan.

Taivutuksen ohjearvot eri vanerivahvuuksille:

Vaneripaksuus	0,4 mm	0,8 mm	1,0 mm	2,5 mm
Minimisäde	17,5 mm	17,5 mm	27,5 mm	65,0 mm
Taivutusaika	1 min	1 min	5 min	15 min

- Taivutuskohdan tulee olla ehjä ja oksaton.
- Testikiekon halkaisijan yli on oltava materiaalia min. 30 mm.
- Taivutus on tehtävä hiljalleen ja porrastetusti.
- Taulukossa ilmoitettu taivutusaika on minimi, mitä taivutus tarvitsee sopeutuakseen taivutuksen aiheuttamaan stressiin ja kattaa ajan ensitaivutuksesta lopulliseen minimisäteeseen.
- Vaneri ei pysy muodossaan täysin taivutuksen jälkeen, vaan se täytyy kiinnittää halutulle säteelle jotenkin. Vaneri ei myöskään palaudu takaisin normaalitasoon taivutuksen jälkeen.
- Taivutuksen jälkeen vaneri ei kestä taivutusta vastakkaiseen suuntaan.