



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# VANERIN SORMIJATKAMINEN

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Puutekniikan koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Syksy 2014  
Jani Kinnunen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Puutekniikka

KINNUNEN, JANI:

Vanerin sormijatkaminen

Puutekniikan opinnäytetyö, 68 sivua, 37 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia vanerin sormijatkamista erilaisten profiilien ja liimojen avulla. Tutkimus jaettiin kolmeen osaan. Ensimmäisen osan tarkoituksena oli työstää sormijatkoskursolla eri teräprofiileilla sormiliitoksia vanerikappaleisiin. Tämän jälkeen liitokset liimattiin ja kavennettiin. Tutkimuksen toisessa vaiheessa valmiit liitokset testattiin EN 310- ja EN 789 -standardien mukaan. Kolmannessa vaiheessa tuloksia analysoitiin Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla. Lujuustestauksen tavoitteena oli verrata sormijatkosliitoksen lujuutta jo nyt kohdeyrityksessä käytössä olevaan vanerin jatkamistapaan. Tutkimuksen toimeksiantajana oli Metsä Woodin vaneritehdas Suolahdessa.

Teoriaosiossa on käsitelty sormijatkamisen yleisiä asioita ja vanerin soveltuvuutta sormijatkamiseen. Erityishuomiota on kiinnitetty sormiprofiilien muotoon ja sormenpituuteen. Teoriassa on pyritty ottamaan mahdollisemman laajasti huomioon tärkeimmät asiat sormijatkamisprosessista ja esittämään ne mahdollisimman laajasti teollisuuden kannalta.

Käytännönosuus opinnäytetyöstä tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa, jonne Metsä Wood toimitti työssä tarvittavat vanerit, liimat ja sormijatkosterät. Sormiliitoksien työstämiseen käytettiin koulun laboratoriossa olevaa CNC-konetta. Testikappaleet puristettiin kiskopuristimen avulla ja kavennettiin määrämittaan pöytäsiirkelillä. Kappaleiden testaus hoidettiin laboratorion materiaalinkoetuskoneella, johon hankittiin uusia komponentteja.

Yhteistyön tuloksena saatiin testituloksia, joita analysoimalla saatiin tietoa sormijatkoksen soveltuvuudesta vanerin jatkamiseen. Tuloksista selvitettiin myös, millainen sormiprofiili, sormenpituus ja liima olisi optimaalinen mahdollisimman lujan liitoksen aikaansaamiseksi eri levyjen paksuuksilla.

Asiasanat: vaneri, sormijatkos, vanerin jatkaminen, MUF, RF, PUR, sormijatkosterä, sormijatkaminen

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Wood Technology

KINNUNEN, JANI:

Finger jointing of plywood

Bachelor's Thesis in Wood Technology, 68 pages, 37 pages of appendices

Spring 2015

ABSTRACT

---

The objective of this thesis was to examine finger jointing of plywood with various profiles and adhesives. The research was divided into three parts. In the first part finger joints were machined to plywood pieces, using the finger jointing cutter's different blade profiles. After that, the joints were glued and tapered. In the second part of the research, the joints were tested according to the EN 310 and EN 789 standards. The third part consisted of analyzing the results using the Excel program. The objective of strength testing was to compare the strength of the finger joint with the current finger jointed plywood of the client. The client in this research was Metsä Wood's plywood factory in Suolahti.

The theory part explains the general aspects of finger jointings and plywood's suitability for finger jointing. Special attention was given to finger profiles and the length of the fingers. The objective of the theory part was to present as comprehensively as possible the most important aspects of the finger jointing process and explain them from the industrial perspective.

The research part was done in the wood laboratory of Lahti University of Applied Sciences, where Metsä Wood delivered the necessary plywood, adhesives and finger joint cutters. Finger joints were manufactured with the school's CNC machine. Test pieces were pressed with a bar press and cut to appropriate sizes with a circular saw. Testing of the pieces was done by the laboratory's material testing machine, for which new components were acquired.

By analyzing the test results, it was possible to determine whether finger jointing is suitable for plywood lengthening. It was also examined from the results which kind of profile, what length of the finger and which glue would lead to the strongest possible joint in different thicknesses of the plywood.

Key words: plywood, finger joint, plywood lengthening, MUF, RF, PUR, finger joint cutter, finger jointing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SORMIJATKAMINEN	2
2.1	Yleisesti sormijatkamisesta	2
2.2	Vanerin jatkamisen nykytilanne	4
2.2.1	Vanerin viistejatkaminen	4
2.2.2	Viistejatkamisen materiaalihukka	6
2.3	Vanerin soveltuvuus sormijatkamiseen	7
2.4	Sormijatkaminen	8
2.4.1	Sormijatkoksen muoto	8
2.4.2	Sormijatkoksen jrsintä	11
2.4.3	Sormenpituus ja lujuus	12
2.4.4	Alkulujuus	15
2.4.5	Sormijatkoksen puristuspainet ja puristusajat	17
2.5	Sormijatkamisessa käytetyt liimat	18
2.5.1	Liimaus	18
2.5.2	Liimasauman kovettuminen	19
2.5.3	Melamiiniureaformaldehydi eli MUF	20
2.5.4	Resorsinoli-formaldehydi eli RF	21
2.5.5	Polyuretaaniliima eli PUR	22
3	VANERITEOLLISUUDEN STANDARDIT	24
3.1	SFS-EN 310 -standardi	24
3.2	SFS-EN 789 -standardi	27
3.3	SFS-EN 14358- ja SFS-EN 326-2 -standardit	28
4	SORMIJATKOSTEN TUTKIMINEN	31
4.1	Tavoitteet	31
4.2	Sormijatkoksien valmistus	33
4.2.1	Ensimmäisen sormiprofiilin (Profiili 2) mukainen valmistus	34
4.2.2	Toisen sormiprofiilin (Profiili 1) mukainen valmistus	36
4.2.3	Kolmannen sormiprofiilin mukainen valmistus	37
4.2.4	Sormiliitoksien liimaaminen	38
4.3	Sormijatkoksen testausmenetelmät	40
	LÄHTEET	43

## 1 JOHDANTO

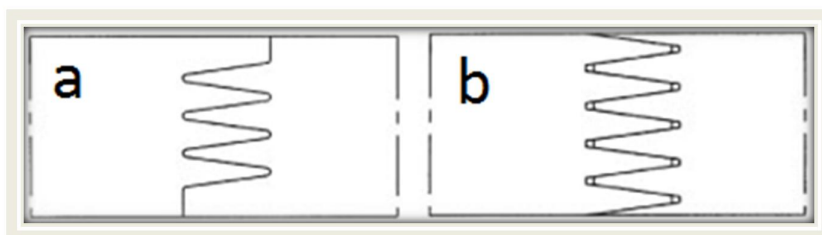
Opinnäytetyö käsittelee vanerin sormijatkamista teorian ja käytännön kannalta. Työn tarkoituksena on pyrkiä löytämään mahdollisimman luja liitosprofiili sormijatkettulle vanerille. Vanerin sormijatkamista tarvitaan suurkokolevyjen valmistuksessa, sillä tällä hetkellä vaneria on jatkettu suurkokolevyiksi viistejatkamalla. Viistejatkamisen seurauksena tulevaa suurta materiaalihukkaa pyritään vähentämään sormijatkamisen avulla. Suurlevyjä käytetään sellaisten teollisuuden tuotteiden valmistuksessa, jossa tarvitaan jopa 13 m yhtenäinen vaneripinta ilman, että väliin voitaisiin jättää levyjen saumoja. Opinnäytetyön kappaleiden työstäminen ja testaaminen suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun laboratiotiloissa kevään 2014 aikana. Työn toimeksiantajana oli Metsä Woodin vaneritehdas Suolahdessa. Opinnäytetyö on toimeksiantajan toimesta luokiteltu salaiseksi.

## 2 SORMIJATKAMINEN

Teoriaosiossa pyritään käymään läpi yleisesti sormijatkamista ja sen soveltuvuutta vanerille. Osiossa käydään myös läpi vanerille nykyisin tehtävää jatkamistapaa.

### 2.1 Yleisesti sormijatkamisesta

Sormijatkos määritellään yleisesti itse paikantuvaksi päätyliitokseksi, joka muodostetaan työstämällä useita samanlaisia, kiilamaisia ja symmetrisiä sormia puutavarakappaleiden päätyihin, jotka sitten kiinnitetään toisiinsa liimaamalla (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 1995, 3). Sormijatkaminen jaetaan kahteen pääryhmään, jotka ovat rakennesahatavaran jatkaminen ja huonekalu- ja puusepänteollisuuden raaka-aineen jatkaminen. Rakennesahatavaran jatkaminen tapahtuu sahatavaran pituussuunnassa ja lujuudella on suuri merkitys jatkamisprosessissa. Huonekalu- ja puusepänteollisuudessa taas pyritään puuraaka-ainetta jatkamalla korjaamaan raaka-aineen vikoja, jolloin puuaineen laatu kasvaa. Huonekalu- ja puusepänteollisuuden raaka-aineen sormijatkaminen on pääasiassa ulkonäön parantamista raaka-aineella. (KUVIO 1.)



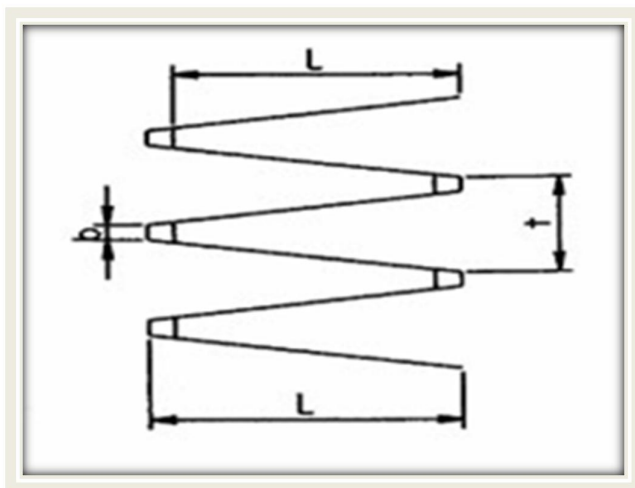
KUVIO 1. Puusepänteollisuuden (a) ja kantavan rakennesahatavaran (b) jatkostyyppit (Pro Puu ry 2012)

Rakennesahatavaran jatkamisessa sormijatkoksella liitettävien kappaleiden väliset vetojännitykset pystytään muuttamaan liimasauman leikkausjännityksiksi. Jatkettaessa lujuuslajiteltua puutavaraa on liimasauman pintojen yhteisen leikkauslujuuden oltava vähintään puun vetolujuuden suuruinen, mikäli halutaan

päästä sormijatkoksen ideaalilanteeseen. Leikkauslujuus on 1/10 vetolujuuden arvosta, jolloin liimasaunan pinta-alan on oltava 10-kertainen verrattuna kappaleen poikkileikkauksen alaan. (Kurkela 1996, A12/6.)

Rakennesahatavaran jatkamista pyritään ohjaamaan seuraavien standardien avulla: DIN 68140-1 ja DIN 68140-2 sekä DIN 1052-1 (Kananen 2004, 10). Näille rakennesahatavaran jatkamista koskeville standardeille yritykset joutuvat aika ajoin hakemaan uusia päivityksiä.

Sahatavaran sormijatkamisen mitoitusparametrit voidaan havainnoida seuraavan kuvan perusteella (KUVIO 2), jossa  $L$  on sormen pituus,  $t$  on sormijako ja  $b$  on sormenpään leveys. Kuviossa 2 havaitaan myös, etteivät sormet pohjaa lovien päissä. Sormien pohjaamattomuus varmistaa sahatavaran kiilvaikutuksen aikaansaaman riittävän puristuksen loviin. Sormenpään ja loven pohjan välille jäävä kolo toimii ikään kuin liimataskuna, joka täyttyy liimauksen yhteydessä ylimääräisellä liimalla.



KUVIO 2. Sormijatkoksen mitoitusparametrit (Pro Puu ry 2012)

$L$  = Sormen pituus

$t$  = Sormijako

$b$  = Sormenpään leveys

## 2.2 Vanerin jatkamisen nykytilanne

Suurkoko-vanerit ovat pintaviilujen syynsuunnassa erikoismenetelmällä jatkettuja suurlevyjä. Suurkoon levyjä pystytään tekemään sekä pinnoittamattomista että pinnoitetuista vanereista. Vanereita yhdistetään toisiinsa levyjen pintaviilun syynsuuntaan tehtävien viisteiden avulla. Viistetyt levyt liimataan toisiinsa sää- ja keitonkestävällä resorsinoli-fenoliliimalla tai melamiiniureaformaldehydiliimalla suurlevyiksi. Jatkoksen lujuudeksi saavutetaan 1:10 jatkoksella noin 90 % jatkamattoman levyn lujuudesta. (Veistinen 1997, 46.)

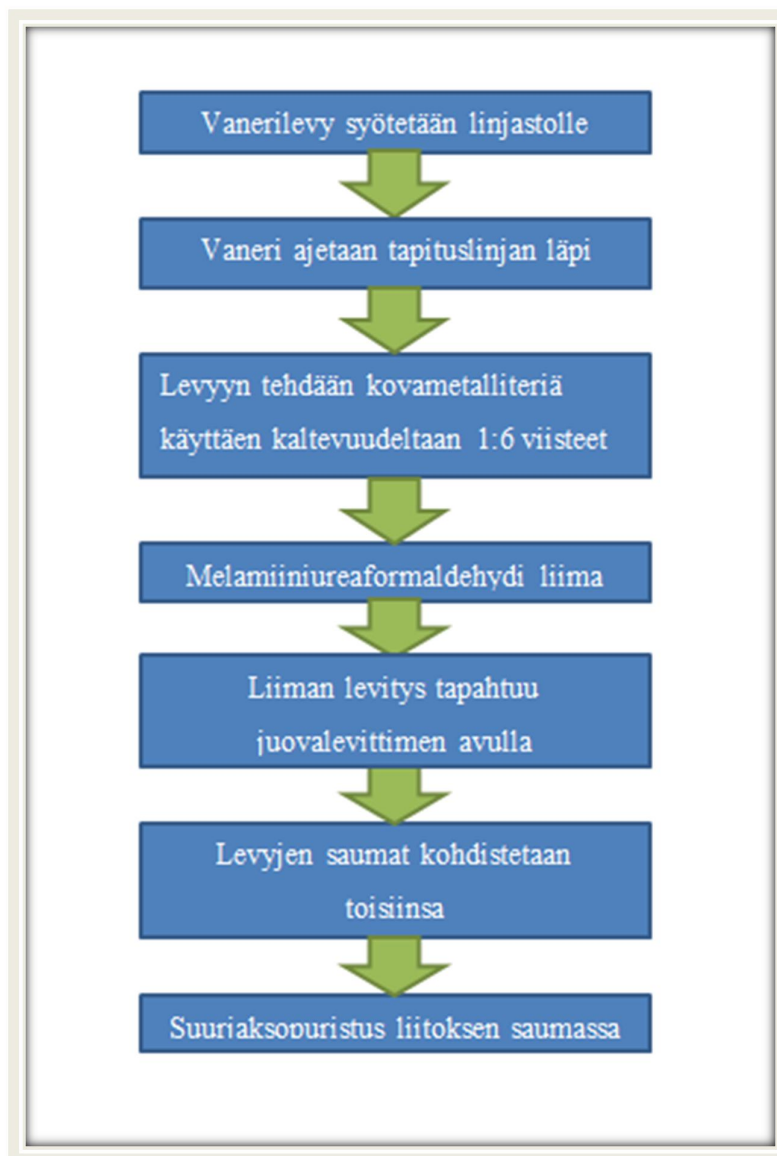
Jatkettavien vanerien paksuudet vaihtelevat 9 ja 27 mm:n välillä. Suurlevyjen levykoot vaihtelevat vanerityypistä riippuen, mutta suurin levykoko on 13 000 mm x 3 000 mm. (Metsäteollisuus ry 2005, 15.)

Vanerin jatkamisella pyritään parantamaan puusta saatavaa hyötyä, kun pystytään tekemään entistä suurempia levyjä pienempiä levyjä yhdistelemällä. Suurlevyjen kysyntä on myös pienempää kuin vakiomittojen mukaisten levyjen. Tämän takia on taloudellisempaa pystyä tekemään suurimmat levykoot useammasta levystä viistejatkamista hyväksi käyttäen, kuin että pyrkisi tekemään levyn lähelle maksimikokoa jo valmiina.

### 2.2.1 Vanerin viistejatkaminen

Metsä Woodin vaneritehtaalla Suolahdessa vakiomittaisista vanereista tehdään suurkoko-levyjä viistejatkamista hyväksikäyttäen. Tehtaalla vanereihin ajetaan viisteet erityisesti tähän tarkoitukseen tarkoitettussa jatkoslinjassa. Tällä hetkellä viisteissä käytetään 1:6 kaltevuista työstöä. Levyjen työstäminen tapahtuu kuvion 3 mukaan.





KUVIO 3. Suurkoko-levyjen työstön vaiheet

Vanerien jatkoksen tekeminen lähtee käyntiin, kun vaneri puretaan pinnoista suurkokolevyjen linjastolle. Vaneri syötetään työstölinjastolla viistejatkamista varten rakennettuun tapituskoneeseen. Tapituskoneessa levyn laitaan jyrsitään kaltevuudeltaan 1:6 oleva viiste, kun levy liikkuu tasonsuuntaan jyrsinyksikön ylitse. Viistoavassa jyrsimessä käytetään kovametallisia teriä, pidemmän teroitusvälin takia. Viiste työstetään pintaviilun syiden suuntaan. Levyn vastakkaiselle laidalle tehdään toisinpäin oleva viiste samanaikaisesti. Levy siirretään liimoittimelle, jossa levy kulkee juovalevittimen läpi. Näin saadaan

levitettyä haluttu määrä liimaa viistetyille pinnoille, joka on tässä tapauksessa noin  $150 \text{ g/m}^2$ . Liimoittimessa käytetään liimana melamiiniureaformaldehydiliimaa. Seuraavaksi viistetyt pinnat kohdistetaan toisiinsa. Kohdistaminen tulee tehdä huolella, sillä liitettävien levyjen pintaviilut halutaan mahdollisimman tasoihin keskenään. Ensimmäiset pintakerrokset tuovat levyn lujuudesta huomattavan suuren osan, joten pintaviilun tulee olla hyvin liimattu levyn saumassa. Sauman kohdistamisen jälkeen varsinainen sauman puristus ja kuumennus tapahtuu suurjaksopuristusta käyttäen. Suurjaksopuristuksessa saumakohtaan puristuksen yhteydessä kohdistetaan vaihteleva sähkökenttä, joka saa pooliset molekyylit lämpenemään niiden pyöriessä sähkökentän mukana. Kun puristimessa vaihdetaan puristuselektrodien napaisuutta, alkavat molekyylit kiertyä, minkä seurauksena lämpötila alkaa kohota. Molekyylien liikkeeseen liimasaumassa vaikuttaa pääasiassa liiman polaarisuus, molekyylien liikemahdollisuudet, käytetty jännite ja jaksoluku. Yleisesti suurjaksopuristuksessa käytetään jaksolukualuetta 3 - 30 MHz. (Koponen 1990, 97.)

Viistejatkamisessa käytetty melamiiniureaformaldehydiliima soveltuu hyvin suurjaksopuristukseen alhaisen kovettumislämpötilan ja hyvän läpilyöntikestävyuden takia. Edellä mainittujen asioiden vuoksi melamiiniureaformaldehydiliima soveltuu hyvin jopa lyhyillekin 60 - 120 sekunnin puristusajoille. Liiman kovettuessa energian kulutus vähenee ja energian kulutuksen loputtua voidaan jännite katkaista, jolloin levyn viileämmät osat jäädyttävät nopeasti sauman. Lämpö syntyy itse saumassa eikä sitä tarvitse johtaa siihen. Siksi tämän seurauksena kiinteä olotila saavutetaan nopeasti. Kun suurlevyyn on liimattu kaikki tarvittavat viistejatketut levyt, kokonaismittana voi olla jopa 13 000 mm.

### 2.2.2 Viistejatkamisen materiaalihukka

Viistejatketuista vanereista saadaan noin 60 – 90-prosenttisesti yhtä lujia kuin tavallinen jatkamaton vaneri, mutta viistejatkamisen huonona puolena on hyvin suuri materiaalihukka (TAULUKKO 1). Viistejatkamisessa 1:6 viisteellä materiaalihukkaa muodostuu viisinkertainen määrä verrattuna 20 mm sormeen.

Materiaalihukka kasvaa huomattasti kun viisteen kaltevuudeksi otetaan 1:10 ja sormenpituus muuttuu 25 mm:n.

TAULUKKO 1. Materiaalihukanosuus erilaisilla jatkamistavoilla

Vanerin paksuus 18 mm			
Vanerin leveydet 1000 x 1000 mm			
Viistejatkaminen		Sormijatkaminen	
Viiste 1:6		Sormen pituus 20 mm	
Hukka mm <sup>2</sup>	1944	Hukka mm <sup>2</sup>	360
Hukka dm <sup>3</sup>	1,944	Hukka dm <sup>3</sup>	0,36
Hukka %	10,80 %	Hukka %	2,00 %
Viiste 1:10		Sormen pituus 25 mm	
Hukka mm <sup>2</sup>	3240	Hukka mm <sup>2</sup>	450
Hukka dm <sup>3</sup>	3,24	Hukka dm <sup>3</sup>	0,45
Hukka %	18,00 %	Hukka %	2,50 %

Materiaalihukasta muodostuu tätä kautta huomattavia kustannuksia vuositasolla. Onkin järkevää pohtia vaihtoehtoisia tapaa suurlevyjen valmistamiseksi vähemmällä hukalla ja tätä kautta pienemmillä kustannuksilla.

### 2.3 Vanerin soveltuvuus sormijatkamiseen

Vanerilla on hyvät työstöominaisuudet, ja sitä pystytään työstämään helposti useilla puuntyöstöön tarkoitetuilla työkaluilla. Puuntyöstötyökaluja käytettäessä tulee muistaa, että vanerin liimauksessa käytetyt liima-aineet ovat kuivuneina hyvin kovia. Suuren liimamäärän vuoksi työstöterät joutuvat hyvin koville ja tylsyvät nopeasti jatkuvassa käytössä. Työstettäessä tulisi käyttää kovametalliteriä, joiden teroitussväli voi olla pitempi. (Veistinen & Pennala 1997, 178.)

Vaneri soveltuu huomattavan hyvin myös sormijatkamiseen, sillä vanerin helpon työstettävyyden lisäksi se on myös hyvin lujaa materiaalia verrattuna vaikka samankokoiseen kokopuuhun. Suuri lujuus vanerissa selittyy juuri ristiinliimatulla

rakenteella ja viilujen välisillä liimasaumoilla. Vaneriin tehtävät sormet voivat olla terävämpiä ja pidempiä ilman, että ne hajoaisivat tai taipuisivat työstössä. Vanerin lujuus paranee luonnollisesti mitä enemmän levyssä on liimasauvoja ja viiluja. Vanerin lujuudesta pintaviilut muodostavat huomattavan osan, joten pintaviilujen tulee pysyä mahdollisimman ehjänä ja samassa tasossa toisiinsa nähden sormijatkoksessa.

## 2.4 Sormijatkaminen

Vanerin sormijatkamista ei ole hyödynnetty vielä teollisessa mittakaavassa. Näin pystyttäisiin kumminkin säästämään huomattavasti materiaalia ja käyttämään entistä tarkemmin hyväksi myös pienemmät levykoot.

Sormijatkaminen on yleisesti käytetty sahatavarassa, mutta vanerissa se käyttäytyy hieman eri tavalla. Sahatavaran sormiliitosta puristettaessa kiinni liitos puristuu hieman kokoon paineen vaikutuksesta. Vanerilla kokoon puristumista ei tapahdu läheskään yhtä paljon, joten voidaan käyttää suurempia puristusaineita ja pidempiä sormia. Sormijatkos saavuttaa lujuudeltaan melkein jatkamattomaan vaneriin verrattavat lujuusarvot, sillä sormijatkoksen jäykkyys on jopa 100 % ja lujuus 70 - 80 % verrattuna jatkamattomaan vaneriin. (Lindroos 2013.)

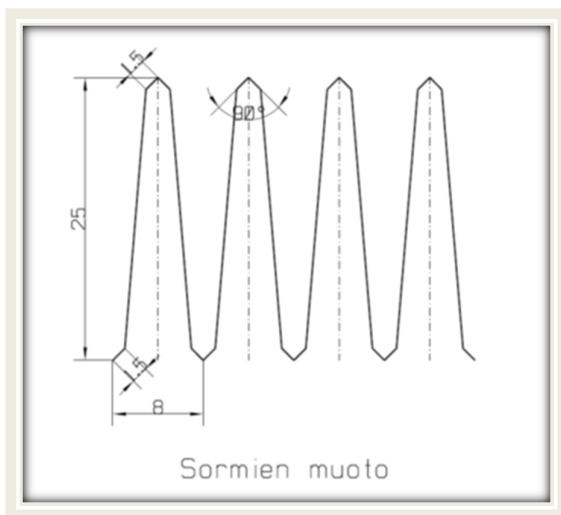
### 2.4.1 Sormijatkoksen muoto

Vaneriin jyröntäjätyksellä työstöjä tehtäessä tulisi käyttää pientä teroituskulmaa ja suurta leikkausnopeutta. Myös pieni syöttönopeus on hyvä repimisen vähentämiseksi. Terissä tulee käyttää kovapalateria. (Veistinen & Pennala 1997, 178.)

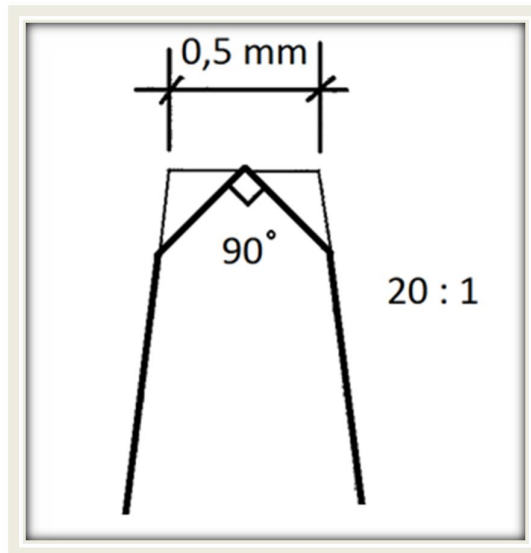
Sormijatkos tulee pyrkiä tekemään vaneriin niin, että sormien päihin jää mahdollisimman vähän rakoja tai ei ollenkaan. Sahatavaran sormijatkamisessa sormienpään ja sormenpohjan välinen rako on siitä syystä, että saavutetaan riittävän suuri puristus liitoksen kylkien välille. Toisena syynä sormen

pohjaamattomuuteen raossa on se, että näin pyritään välttämään sormenpään halkaisevaa kiilavaikutusta sormien välisen loven pohjassa. Vanerilla sormien pohjaamattomuus ei ole pääasia, sillä halkaisuvaikutusta ei synny vanerin rakenteen takia. Vanerin ristiin liimattujen viilujen ansiosta kiilaantuva sormenpää ei pysty halkaisemaan vanerin rakennetta. Kiilavaikutuksen tulee olla kumminkin riittävä tarvittavan lujuuden saavuttamiseksi.

Sormijatkoksen muotona tulisi käyttää ideaalisen liitoksen tekemiseksi vanerissa täysin terävää sormenkärkeä, jota ei muunlaisessa jatkamisessa voitaisi edes harkita. Terävän sormenkärjen huonona puolena tulee olemaan se, että terät tylsyvät nopeasti vanerissa olevan liiman takia. Myös täysin terävä sormenkärki saattaa pahimmassa tapauksessa hajota, sillä se joutuu hyvin kovalle rasitukselle vaneria työstettäessä. Kärjen kestävyys on koetuksella etenkin silloin, mitä paksumpia työstettävät vanerit ovat. Vaihtoehtona on, että sormesta ja sen kärjestä tehdään kuvion 4 ja 5 mukainen, jolloin kärki kestää terävänä kauemmin ja on muutenkin kestävämpi.



KUVIO 4. Sormien vaihtoehtoinen muoto (Sokka 2009)



KUVIO 5. Sormenkärki (Metsä Wood 2014)

Sormijatkos valmistetaan jyrsimällä, joko alajyrsimellä tai CNC-ohjatulla jyrsimellä. Sormijatkoksen muoto saadaan käyttämällä sormijatkoskursoa, jolla saadaan valmistettua sormiin haluttu muoto. (KUVIO 6.) Kursossa leikkuuterät on sijoitettu peräkkäin niin, että peräkkäiset terät leikkaavat sormesta ensimmäiseksi toisen puolen sormea valmiiksi ja sitten toisen.



KUVIO 6. Sormijatkoskurso (LSAB 2014)

Toisena vaihtoehtona on käyttää kuvion 7 tyyppistä sormijatkoskursoa, jossa terät on ryhmitelty useampaan riviin. Rivissä olevat terät työstävät sormijatkoksen sormen kerralla molemmilta puolilta. Tämä vähentää myös sormenpään taipumista työstön aikana, jolloin sormen päästä tulee tasalaatuisempia myös vähän kuluneemmilla terillä. Rivissä olevat kursonterät vaikuttavat myös työstön nopeuteen ja raskauteen, jolloin kuvion 7 tyyppisessä kursossa jokainen terärivi pystyy tekemään sormen valmiiksi. Sormen valmiiksi saaminen ei onnistu yhtä helposti kuvion 6 terällä, jonka peräkkäiset terät leikkaavat eri puolen sormesta. Rivissä olevat kursonterät ovat yleensä erillisiä terälappuja, joita on pinotta tarvittava määrä päällekkäin. Irralliset terälaput mahdollistavat vioittuneen terän vaihtamisen ilman, että joudutaan liittämään juottamalla uusia osia terän runkoon.



KUVIO 7. Sormijatkoskurso (ACECO 2014)

#### 2.4.2 Sormijatkoksen jyrshintä

Varsinaisen sormijatkoksen tekeminen aloitetaan katkaistujen kappaleiden päihin tehtävänä päiden tasauksena ja jyrshintänä, jossa jyrsinkursossa olevat terät leikkaavat puukappaleesta tarvittavan määrän puuta pois. Seuraavaksi liitoksen

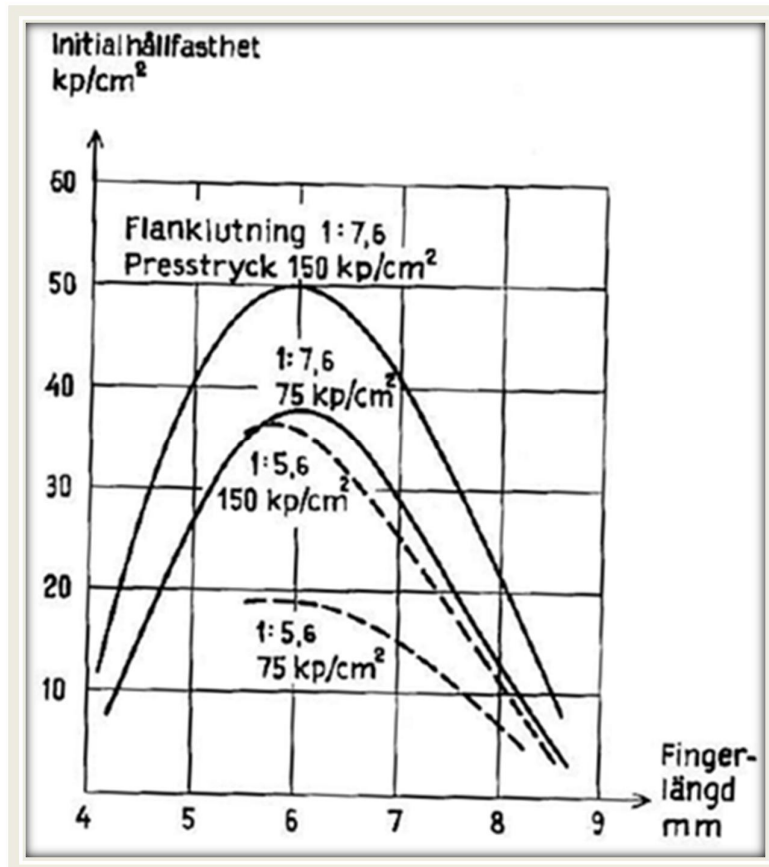
vastakappaletta työstettäessä siirretään jyrksinyksikön asetetta puolen sormen verran ylös- tai alaspäin, jotta sormijatkosta liimattaessa liitos asettuu oikeaan asemaan. (Virtanen 2005, 9.)

Sormijatkamisterät kuluvat ja tylsyvät jatkuvassa käytössä, joten tulee huolehtia niiden terävyydestä ja huollosta aika ajoin, jotta saavutetaan mahdollisimman hyvä liitoksen loppulujuus. Mikäli sormien työstövaiheessa terät ovat olleet tylsät, sormienpäissä ja lovien syvyydessä saattaa esiintyä poikkeavuuksia. Tylsillä terillä sormienpäistä pyrkii tulemaan leveämpiä kuin pitäisi. Tämä johtuu lähinnä tylsän terän aiheuttamasta sormenpään väistämisestä työstön aikana. Kun sormijatkoskurson terät leikkaavat ensimmäisenä toisen laidan sormesta ja sitten vasta toisen, tylsillä terillä sormenpää taipuu osittain työstössä ja sormenpää on leveämpi. Leveämpi sormenpää hankaloittaa puristusta ja edesauttaa jatkoksen halkeamista liimauksessa. Tylsät terät voivat työstöissä heikentyneiden leikkausominaisuuksien takia alkaa myös polttaa puuta, jolloin liimaus ei onnistu ja liitoksen lujuus kärsii.

#### 2.4.3 Sormenpituus ja lujuus

Sormijatkoksia tehtäessä tulee ottaa huomioon eri sormenpituudella saatavat lujuudet (KUVIO 8). Kuviossa alkulujuus eri mittaisille sormille on saatu aikaiseksi käyttämällä erilaisia puristusaineita ja sormenkyljen kaltevuuksia. Suurin alkulujuus  $50 \text{ kp/cm}^2$  on saatu kuvion 8 mukaan 6 mm:n sormipituudella kun sormensivun kaltevuutena on ollut 1:7,6 ja puristusaineena  $150 \text{ kp/cm}^2$ . Kuvion 8 mukaan paras alkulujuus saavutettiin 6 mm:n sormenpituudella riippumatta puristusaineesta tai sormenkyljen kaltevuudesta. Sormiliitoksen alkulujuus nousee rajusti sormenpituuden pidentyessä 4 millimetristä kohti 6:ta millimetriä. Vastaavasti sormenpituuden pidentyessä edelleen alkulujuus laskee tasaisesti. Loppulujuuden paras arvo saavutettiin käyttämällä 8 mm:n sormenpituutta ja  $75 \text{ kp/cm}^2$  puristusaineita ja 1:7,6 sormensivun kaltevuutta. (Ivansson & Ström 1973, 45.)





KUVIO 8. Alkulujuus sormenpituuden funktiona, viisteen kulma ja puristuspaaine ilmoitettuna (Ivansson & Ström 1973, 45)

Initialhållfasthet = Alkulujuus

Presstryck = Puristuspaaine

Flanklutning = Viisteen kaltevuus

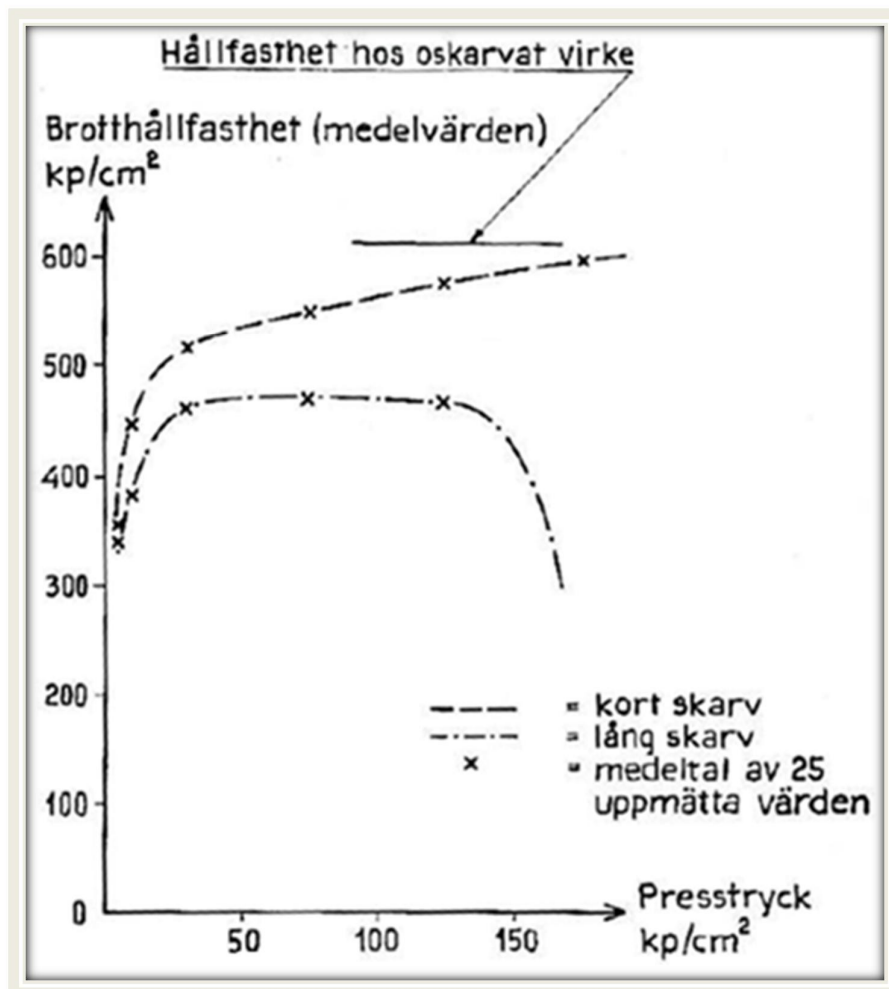
Fingerlängd = Sormen pituus

Sormenpituudella on suuri vaikutus saavutettaessa paras alkulujuus liitokseen. Myös sormijatkoksen sormenkyljen kiilavaikutus vaikuttaa ratkaisevasti, joko huonontaen tai parantaen sormijatkoksen lujuutta. Sopivan puristuspaaineen ansiosta sormenkyljet kiilaavat itsensä riittävän lujasti toisiaan vasten, jotta liiman kuivuttua liitoskohta saavuttaa melkein saman lujuuden kuin jatkamattomalla puulla.

Kuviossa 9 vertaillaan murtolujuuden arvoja erilaisilla puristuspaaineilla.

Kappaleiden testauksessa on käytetty neljän pisteen taivutusta, joka noudattelee

nykyistä EN 789 -standardia. Käytetyt sormienpituudet ovat pidemmällä liitoksella 34 mm ja lyhemmällä liitoksella 8 mm. Sormienvälinä oli käytetty lyhyemmällä liitoksella 2,5 mm:ä ja pidemmällä 10,75 mm:ä. Lyhemmällä liitoksella lujuus oli parhaimmillaan noin  $600 \text{ kp/cm}^2$ , joka on noin 96 % jatkamattoman puun lujuudesta. Sen sijaan pidemmän sormenpituuden omaavat liitokset eivät saavuttaneet kuin noin  $450 \text{ kp/cm}^2$  lujuuden, joka oli noin 80 % jatkamattoman puutavaran lujuudesta. Lyhyellä sormiliitoksella lujuus paranee, kun puristusaine kasvaa, mutta pidemmällä sormenpituudella ei tapahdu vastaavanlaista lujuuden kasvamista. (Ivansson & Ström 1973, 53.)



KUVIO 9. Murtolujuus paineen funktiona (Ivansson & Ström 1973, 53)

Hållfasthet hos oskarvat virke = Jatkamattoman puutavaran lujuus

Brotthållfasthet (medelvärden) = Murtolujuus (keskiarvo)

Kort skarv = Lyhyt liitos (8 mm)

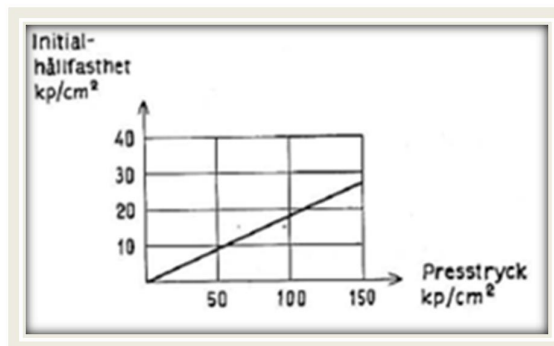
Lång skarv = Pitkä liitos (34 mm)

Medeltal av 25 uppmätta värden = Keskimäärin 25 mitaattua arvoa

Presstryck = Puristusaine

#### 2.4.4 Alkulujuus

Alkulujuudella on suuri vaikutus liimattavaan kappaleeseen, sillä riittävä alkulujuus mahdollistaa kappaleiden käsiteltävyyden heti puristamisen jälkeen. Riittävä alkulujuus muodostuu liitettäviin kappaleisiin sormienkylkien painautuessa puristuksessa toisiaan vasten. Alkulujuuteen vaikuttaa tietenkin sormenkyljen kulma, mutta myös käytettävä puristusaine. Kuviossa 10 alkulujuus on esitetty puristusaineen funktiona. Kuvioista nähdään alkulujuuden kasvavan lähes lineaarisesti puristusaineen kasvaessa.



KUVIO 10. Alkulujuus puristusaineen funktiona (Ivansson & Ström 1973, 43)

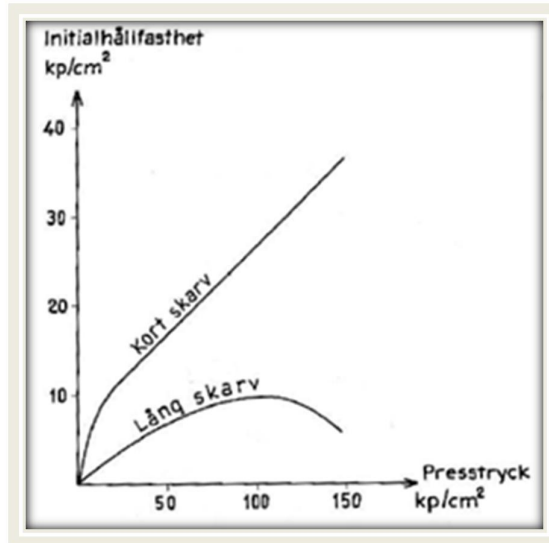
Initialhållfasthet = Alkulujuus

Presstryck = Puristusaine

Alkulujuuteen vaikuttaa myös käytetyn liitoksen pituus. Kuviossa 11 on verrattu kahden eripituisen sormiliitoksen alkulujuutta puristusaineen kasvaessa.

Liitoksissa käytetyt sormienpituudet ovat lyhyemmässä liitoksessa 8 mm ja pidemmässä liitoksessa 34 mm. Alkulujuuden arvot pidemmällä sormenpituudella eivät parane huomattavasti puristusaineen kasvaessa vaan asettuvat noin 10

kp/cm<sup>2</sup> paikkeille korkeimmillaan. Lyhyemmällä, 8 mm:n sormenpituudella alkulujuus paranee huomattavasti puristuspuheen kasvaessa ja on parhaimmillaan noin 35 kp/cm<sup>2</sup> paikkeilla.



KUVIO 11. Alkulujuus puristuspuheen funktiona (Ivansson & Ström 1973, 52)

Initialhållfasthet = Alkulujuus

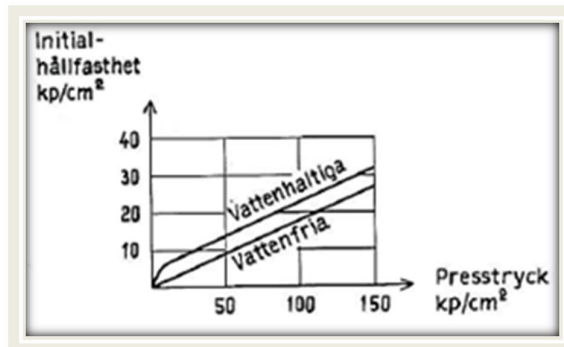
Kort skarv = Lyhyt liitos

Lång skarv = Pitkä liitos

Presstryck = Puristuspuhe

Sormijatkoksia puristettaessa alkulujuuteen vaikuttaa käytettävän liiman liimatyypin. Liimatyypit jaetaan kahteen ryhmään: vesipitoisiin ja vedestä vapaisiin liimoihin. Kuviosta 12 nähdään näiden kahden liimatyypin vaikutus alkulujuuteen eri puristuspuheineilla. Ensimmäinen liimatyypin on vedestä vapaat liimat tai liimat, joiden aineosissa on vähän vettä, jolloin vesi ei pääse välittömästi turvottamaan puuta. Tähän ryhmään kuuluvat epoksi- ja resorsinolityypiset liimat. Kuviossa vedestä vapaissa liimoissa puristuspuheen kasvaessa alkulujuus kasvaa lähes lineaarisesti. Toisena liimatyypinä on vettä sisältävät liimat. Tällaisia liimoja ovat alkoholi- PVA- ja karbamidihartsiliimat. Vettä sisältävän liiman tapauksessa alkulujuus on suurempi kuin vettä sisältämättömän liiman. Vesipitoisien liimojen vesi pääsee välittömästi

turvottamaan puuta, minkä seurauksena puristettaessa liitosta alkulujuus muodostuu paremmaksi kuin vettä sisältämättömillä liimoilla. Vettä sisältävän liiman alkulujuus nousee melkein lineaarisesti, alun poikkeamaa lukuun ottamatta, kun puristusaine kasvaa.



KUVIO 12. Liimatyyppin vaikutus alkulujuuteen puristusaineen funktiona

(Ivansson & Ström 1973, 43)

Initialhållfasthet = Alkulujuus

Vattenhaltiga = Kosteaa

Vattenfri = Kuiva

Presstryck = Puristusaine

#### 2.4.5 Sormijatkoksen puristusaineet ja puristusajat

Sormijatkoksen puristuksessa puristusaineen tulee olla riittävän suuri, jotta saavutetaan sormien välille tarpeeksi suuri tartunta. Puristusaine vaikuttaa myös kappaleiden väliseen alkulujuuteen, jonka ansiosta kappaleita voidaan liikuttaa ennen kuin liima on ehtinyt kuivua. Tulee kuitenkin muistaa, ettei liiallista puristusainetta sovi käyttää, sillä se aiheuttaa halkeamia sormien pohjiin sahatavarassa. Halkeamilla on heikentävä vaikutus liitoksen lujuuteen. (Rintala 2003, 14.)

Sormijatkoksen puristuksessa on muutamia vaikuttavia tekijöitä, joista puristusaine on yksi tärkeimmistä. Puristusaine on riippuvainen puristettavien kappaleiden sormien pituudesta taulukon 2 mukaisesti. Muita puristukseen

vaikuttavia tekijöitä on puristus aika, joka riippuu ratkaisevasti puristettavien kappaleiden dimensioista, jatkoksen lämmityksestä, käytettävästä liimasta ja käsittelystä liimauksen jälkeen. Suurimman päittäispuristuksessa käytettävän puristus paineen tulee kestää vähintään 2 sekunnin ajan (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 1995, 7).

TAULUKKO 2. Sormijatkoksen puristus paineet eri sormen pituuksille (Lipitsäinen 1995, 5)

Sormen pituus (mm)	7,5	10	15	20	25	35	40
Puristus paine (N/mm <sup>2</sup> )	12,5	12	11	10	9	7	6

## 2.5 Sormijatkamisessa käytetyt liimat

Tässä luvussa käydään läpi yleisesti liimausta sekä liimoja, joita voidaan käyttää sormijatkamisessa. Nämä liimat soveltuvat myös sormijatkamiseen vanerilla.

Sahatavaran sormijatkamisessa tulee huomioida myös sahatavaran kosteus, joka lajitelluille sahatavaralle tulisi asettua noin 8 ja 18 %:n välille. Joillain liimanvalmistajien liimoilla voidaan käyttää ylärajana 23 %:n kosteutta sahatavarassa. Myös valmiiksi työstettyjen ja liimausta ja puristusta odottavien kappaleiden kosteusero saa olla enintään 5 % kappaleiden välillä onnistuneen liimauksen saavuttamiseksi. Vanerilla kosteuseroavuudet eivät ole niin suuria, joten liimauksen tulisi onnistua helposti. Puun lämpötilan jatkoksessa on oltava vähintään 15 °C. Eräillä liimoilla alaraja on 20 °C, jotta liimasaumasta saataisiin halutun lujuinen. (Toivanen 2008, 5.)

### 2.5.1 Liimaus

Sormijatkoksia liimattaessa tulee huolehtia siitä, että liima tulee levitetyksi kaikkiin liimattaviin pintoihin kauttaaltaan. Riittävä liiman levitys takaa liitokselle

parhaan mahdollisen lujuuden ja tätä kautta hyvän käytettävyyden tuotteelle. Liimaa tulee levittää niin paljon liimattaville pinnoille, että liima alkaa pursua puristettaessa saumakohtasta ulos. Itse liiman levitys voidaan tehdä joko telaamalla, valuttamalla tai ruiskuttamalla sormijatkoksen pinnalle. Myös kampalevittimen käyttö on yleistä sormijatkoksia liimattaessa, siinä liima puristetaan kampalevittimien reikien läpi liimattaville pinnoille.

Useampikomponenttisia liimoja voidaan levittää niin, että liima itsessään levittää ensin ja sen jälkeen vasta tarvittava määrä kovetetta. Näin voidaan saavuttaa pitempi avoinaika liimasaumalle ennen puristusta. Liiman levitys tapahtuu teollisuudessa yleensä ruiskuttamalla tai kampalevittimellä silloin kun liiman viskositeetti on sopiva. Ruiskuttamisen hyvänä puolena on, että liima leviää paremmin sormienpohjaan asti.

### 2.5.2 Liimasauman kovettuminen

Sormijatkamisessa käytettyjen liimojen kovettuminen voi tapahtua kolmella tavalla: fysikaalisena reaktiona, kemiallisena prosessina tai liuottimen poistamisen ja kemiallisen prosessin yhdistelmänä. Kemialliseen reaktioon perustuvaa kovettumista edellytetään yleensä rakenteellisia liimoja käytettäessä. (Kurkela 1996, A12/1.)

Liiman kemiallisen kovettumisprosessin yhteydessä liimassa olevan hartsin kemialliset sidokset alkavat reagoida kovetteen vaikutuksesta, jolloin syntyy hyvin luja ja kestävä sidos. Kovete reagoi atomi- ja molekyyllitasolla liiman kovettumisprosessissa. Kemiallisesti kovettuvat liimat ovat kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan yleensä parempia kuin fysikaalisesti kovettuvat liimat, joiden kovettuminen johtuu yleensä liuotteen imeytymisestä tai haihtumisesta saumassa ja samalla tapahtuu voimakasta kutistumista. Tällöin sideainemolekyylit lähenevät keskenään ja kiinnittyvät toisiinsa sekundääristen voimien vaikutuksesta kiinteäksi saumaksi. (Koponen 1990, 14.)

Melamiiniureaformaldehydiliiman kovettuminen liimasaumassa nopeutuu pH-arvon laskiessa. Tämän seurauksena neutraaliin tai lievästi alkalinen liimaseos

muutetaan kovetteen avulla happamaksi. Liimaan lisättävien jatkosaineiden, kuten proteiinin, avulla voidaan sitoa liiman vapaata formaldehydin määrää ja näin hidastaa kovettumista, mikäli tarvitaan. (Koponen 1990, 51.)

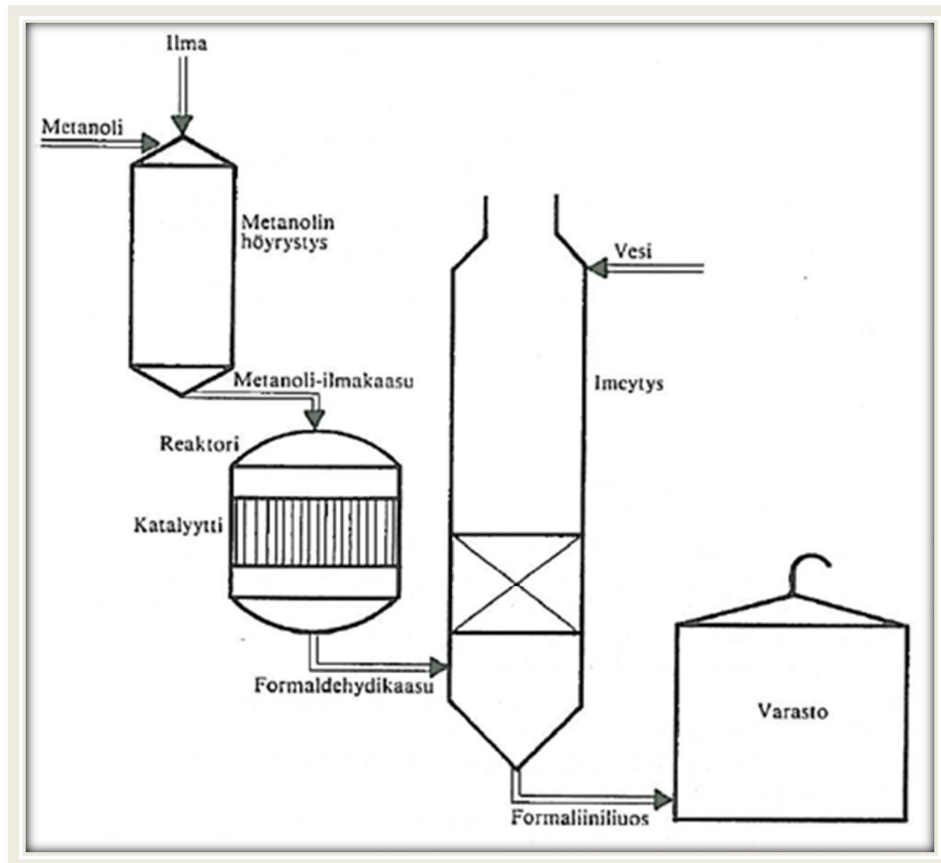
### 2.5.3 Melamiiniureaformaldehydi eli MUF

Melamiiniureaformaldehydiliimaa käytetään yleensä rakennesahatavaran jatkoksien liimauksessa. Liima on kaksikomponenttinen eli siinä on erikseen hartsi ja kovete. Väriltään liima on punertava, mutta väritönkin sauma on mahdollinen. Liima soveltuu suurjaksokuumennukseen. Liimauslämpötila on melko tarkka, normaalisti +25 - 28 astetta. (Kananen 2004, 50.)

Melamiiniureaformaldehydi on liimana samantapaista kuin ureaformaldehydi, mutta ureaa on korvattu osittain melamiinilla. Melamiinin lisäyksellä on saatu aikaan liimaan parempi veden- ja säänkestävyys. (Rintala 2003, 17.)

Liimassa käytetyt yhdisteet, kuten melamiini, valmistetaan raakaöljypohjaisista tuotteista. Melamiini luetaan kertamuovipohjaisiin aineisiin, jotka sitoutuvat suuremmiksi molekyyleiksi liimausprosessin aikana. Urea on taas hyvin vesiliukoinen yhdiste. Urea valmistetaan kovassa paineessa ja lämpötilassa hiilidioksidista ja ammoniakista. Sitä käytetään liimoissa formaldehydin sitomiseen kuumapuristusvaiheessa. Formaldehydi taas valmistetaan metanolista ja ilmasta hapetusprosessissa eri katalyyttien vaikutuksessa. (KUVIO 13.) Yleisesti käytetty katalyytti on hopeakatalyytti, jonka seurauksena prosessin nimi on hapetuspelkistymisprosessi. (Koponen 1990, 49 - 50.)





KUVIO 13. Formaldehydin valmistusprosessi (Koponen 1990, 49)

Melamiiniureaformaldehydiliima on hyväksytty kantavien puurakenteiden, kuten sormijatkoksien, liimapalkkien ja kattotuolien, liimaukseen.

Melamiiniureaformaldehydi liimalla liimatut kappaleet pysyvät lujuudeltaan muuttumattomana pitkäaikaisessa käytössä sääolosuhteista riippumatta.

#### 2.5.4 Resorsinoliformaldehydi eli RF

Resorsinoliformaldehydiliimoja käytetään usein rakennesahatavaran liimauksessa. Resorsinoliformaldehydiliima kovettuu jo hyvinkin alhaisessa 15 - 20 asteen lämpötiloissa. (Kananen 2004, 51.)

Resorsinoliformaldehydiliima valmistettaessa resorsinolin annetaan reagoita formaldehydin kanssa. Formaldehydiä sekoitetaan alimäärä, minkä seurauksena

kovettumisreaktio keskeytyy itsestään, kun alimäärä formaldehydiä on kulunut loppuun. Liimaan lisättävä kovettaja sisältää formaldehydiä, minkä seurauksena kovettumisreaktio käynnistyy, vieden sen loppuun asti. (Kurkela 1996, A12/2.)

Resorsinoli on orgaaninen aine, jossa bentseenirenkaaseen on liittyneenä suoraan kaksi OH-ryhmää. Resorsinoliformaldehydin reaktionopeus on oleellisesti suurempi kuin fenoleilla ja kovettuminen tapahtuu jo huoneen lämpötilassa. Liiman kestävyys on hyvä suhteellisen paksuinakin liimasaumoina, joten täyte- ja jatkosaineiden lisääminen liimaan ei ole välttämätöntä. Levitysmääränä käytetään puusta riippuen noin 150 - 300 g:aa/m<sup>2</sup> ja puristuspaineina noin 0,2 - 1,2 Mpa. Puun kosteuden tulisi olla noin 8 ja 16 %:n välillä, jotta liimaus onnistuisi kunnolla. (Koponen 1990, 67.)

Resorsinoliliimoissa on hyvät lujuusominaisuudet. Liimasaumat kestävät hyvin sään ja veden aiheuttamia rasituksia. Resorsinoliformaldehydiliimat kestävät myös suolaista vettä. (Kurkela 1996, A12/2.) Resorsinoliliimojen huonona puolena on liiman väri, joka rajoittaa liiman käyttöä näkyville jäävissä kohteissa.

### 2.5.5 Polyuretaaniliima eli PUR

Polyuretaaniliimat ovat joko yksi- tai kaksikomponenttisiä. Polyuretaaniliimat kovettuvat puun ja ilman kosteuden vaikutuksesta. Saumaltaan liima on kuivuttuaan melkein väritöntä. Polyuretaaniliima soveltuu hyvin rakennesahatavaran jatkamiseen. Liimaa voidaan käyttää hyvinkin alhaisessa noin 8 %:n kosteudessa, mutta vastaavasti kosteuden ylin arvo voi olla jopa 30 %:n kosteus. (Kananen 2004, 50.)

Polyuretaaniliimojen hyvinä ominaisuuksina ovat niiden sitkeys ja hyvä tartuntakyky. Myös liimojen lujuus- ja kestävyysominaisuudet ovat hyvät. Polyuretaaniliimoista jotkut eivät ole säänkestäviä, joten tähän seikkaan tulee kiinnittää huomiota liimaa valittaessa.

Polyuretaaniliimalla liimattaessa tulee muistaa myös, että liima laajenee kuivuessaan. Tämä johtuu siitä, että liimassa oleva isosyanaatti reagoi veden tai

ilman kosteuden kanssa synnyttäen kemiallisen reaktion seurauksena hiilidioksidia ja amiinia. Amiini taas reagoi helposti uusien isosyanaattiryhmien kanssa. (Koponen 1990, 70.) Polyuretaaniliima reagoi helposti veden tai ilmankosteuden kanssa, jolloin liimaolosuhteissa tulee ottaa tämä huomioon.

### 3 VANERITEOLLISUUDEN STANDARDIT

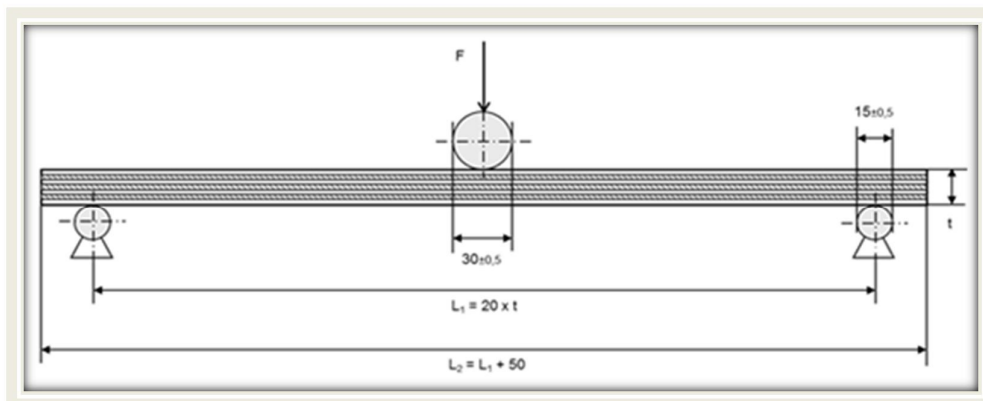
Tässä luvussa käsitellään työssä käytettäviä standardeja. Kaikki standardit ovat Suomen standardisoimisliiton hyväksymiä yleisesti käytössä olevia standardeja. Kaikki käsitellyt standardit soveltuvat vanerin testausmenetelmiksi, sillä ne ovat yleisesti käytössä vaneriteollisuuden testeissä.

#### 3.1 SFS-EN 310 -standardi

EN 310 -standardia käytetään puulevyjen testauksessa kun halutaan saada standardin mukaisia tuloksia taivutuskimmomodulille ja taivutuslujuudelle kolmen pisteen taivutuksessa. (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 1993, 1).

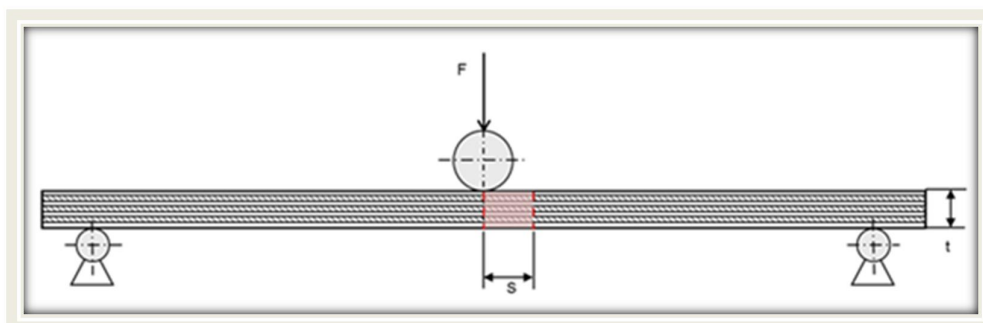
EN 310 -standardi esittää menetelmän määrittää tason suuntaisessa taivutuksessa puulevyille todennäköisen taivutuslujuuden ja taivutuskimmomodulin silloin kuin levyn paksuus on yhtä suuri tai suurempi kuin 3 mm. Standardi ei sovellu rakenteiden suunnitteluun vaan rakenteiden suunnitteluarvojen määrittämiseen tulee käyttää EN 789:n mukaista menetelmää. (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 1993, 5.)

Keskeinen testaus EN 310:n mukaan taivutuskimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittämiselle lähtee käyntiin levyn paksuudesta  $t$ , jota käytetään taivutuksen jännevälin  $L_1$  määrittämisessä. (KUVIO 14) Testattavan kappaleen kokonaispituus  $L_2$  saadaan määrittelyksi  $L_1$ :n avulla, kun tukipisteiden jänneväliin lisätään 50 mm. EN 310:n määrittelyssä tulee huomioida myös tukipisteiden ja kappaleeseen kohdistavan voima-anturin koot. Tukipisteiden halkaisijat ovat -15,5 ja +15,5 millimetrin välillä. Sen lisäksi painimen halkaisijan tulee olla -30,5 ja +30,5 millimetrin välissä, jotta testaus noudattaisi EN 310:n mukaisesti standardia. EN 310:n keskeistestauksessa voiman tulee kohdistua jännevälin keskelle.



KUVIO 14. Taivutuslujuustestaus EN 310:n mukaan (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 1993, 10)

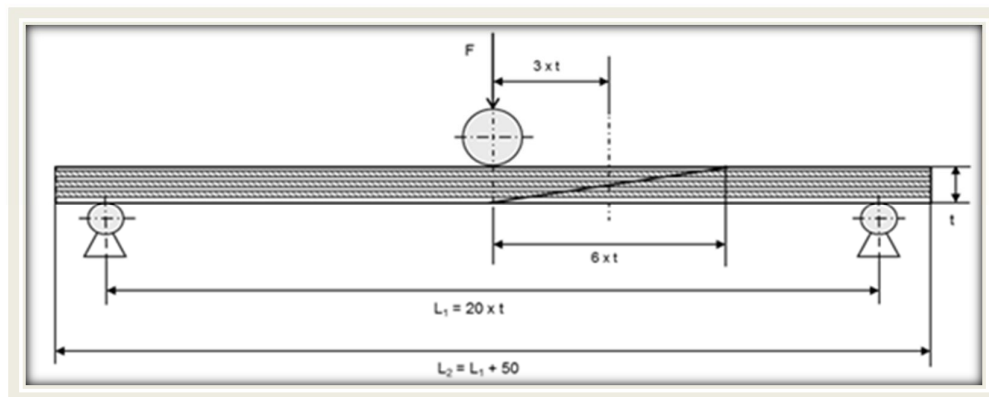
Puulevyjen jatkoksia voidaan testata myös epäkeskeisessä testauksessa, jossa tutkitaan testivoiman kohdistuskohdan vaikutusta jatkoksen lujuuteen (KUVIO 15). Epäkeskeisessä testauksessa testaus on EN 310 -standardin mukainen keskeinen testaus, mutta kappale asetetaan testattaessa vain epäkeskeisesti. EN 310 -standardin testauksella saadaan selville suurin voima  $F_{max}$ , joka on johtanut kappaleen murtumiseen testin aikana ja tätä kautta voidaan laskea kappaleelle taivutuslujuuden arvo  $f_m$  (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 1993, 9 ja 11).



KUVIO 15. Epäkeskeinen testaus taivutuslujuudelle EN 310:n mukaan (Metsä Wood 2014)

Metsä Woodin Suolahden-tehtaalla testataan EN 310 -standardin mukaisesti viistesaumalla tehtyjä vanereita (KUVIO 16). EN 310 -standardin mukainen testaus on suhteessa levyn paksuuteen  $t$ , sillä viistesauaman pituus on  $6 \times t$  pituus.

Testikappaleeseen kohdistetaan taivutusvoima kuvion 16 mukaisesti niin, että viistejatkoksen pää on kappaleen alapuolella taivutuskohdassa. Voiman kohdistuessa kappaleeseen kappaleen liitoksen saumakohta pyrkii avautumaan vetopuolelta suuren vetojännityksen takia.



KUVIO 16. Viistejatkoksen testaus taivutuslujuudelle EN 310:n mukaan (Metsä Wood 2014)

SFS EN 310 -standardin mukainen testaus on helppo toteuttaa, ja se on hyvin luotettava keino selvittää testikappaleiden lujuusominaisuuksia. Kappaleen paksuutta käytetään muiden suureiden määrittämisessä eli näin voidaan tehdä vertailukelpoisia testauksia erilaisille kappaleen paksuuksille. Testikappaleiden taivutuskokeita tehtäessä kappaleen alapinnalle muodostuu vetojännitystä ja yläpinnalle puristusjännitystä. Neutraaliakseli, jolla ei esiinny kumpaakaan näistä jännityksistä, sijoittuu kappaleen muodosta riippuen yleensä poikkileikkauksen keskikohtaan. (Kärkkäinen 2007, 223.)

EN 310 -standardin mukaan tehdyistä koekappaleiden taivutustesteistä saadaan tuloksiksi taivutuslujuuden arvoja. Taivutuslujuus ilmaisee materiaalin murtolujuuden arvon sitä taivutettaessa. Puulla lujuutta kuvataan yleensä jännityksen arvolla, joka vallitsee materiaalin murtorajalla. Murtorajalla tapahtuvasta murtumasta käytettävä nimitys on murtolujuus. Puun syiden suuntaan ilmoitettu taivutuslujuus on eniten käytetty puun lujuuden mittari. Tämä

johtuu siitä, että se on puun käyttökohteessa yleisesti ratkaisevassa asemassa. Taivutuslujuuden yksikkönä käytetään  $\text{N/mm}^2$ . (Kärkkäinen 2007, 221, 223.)

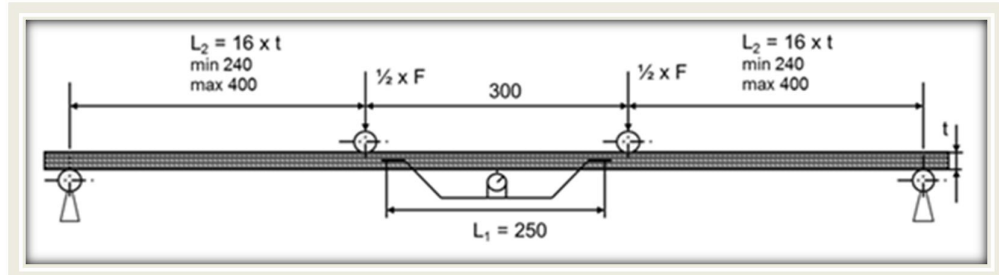
Toisena EN 310 -standardista saatavana taivutuksen tuloksena on kimmomoduuli. Kimmomoduuli kertoo materiaalin jäykkyyden ja rakenteen taipuman, kun rakennetta pyritään rasittamaan tietyllä voimalla. Taipuma muodostuu useammassa tilanteessa rajoittavammaksi tekijäksi kuin murtolujuus. Kimmomoduulin avulla voidaan ennustaa taivutuslujuutta, sillä näiden asioiden välillä on suora yhteys. Tämä tieto on yleisesti käytössä koneellisen lujuuden määrittämiseksi sahatavaralle, jota taivutetaan. Kimmomoduulin yksikkönä käytetään myös  $\text{N/mm}^2$ . (Kärkkäinen 2007, 215 - 217.)

### 3.2 SFS-EN 789 -standardi

EN 789 -standardia käytetään puurakenteiden testauksessa, kun halutaan saada standardin mukaisia tuloksia puulevyjen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiselle. EN 789 -standardi tulee ottaa jo puurakenteiden suunnittelussa huomioon, jotta saavutetaan tarpeeksi suuri lujuus rakenteille. (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2004, 1.)

Standardin mukainen neljän pisteen taivutus aloitetaan levyn paksuuden perusteella (KUVIO 17). Levyn paksuutta käytetään, kun määritetään taivutuksen jänneväliä ja kuormituspisteiden paikkoja. EN 789 -standardin mukaisessa testauksessa mitataan testikappaleen taipumaa millimetreinä, kun testikappaletta rasitetaan voimalla  $F$  kahdesta eri pisteestä. Voima  $F$  ilmoitetaan Newtonina, ja se jakaantuu kuormituspisteiden välille puoliksi. Voiman  $F$  kuormituspisteiden välinen välimatka on 300 mm ja taipumaa mittaavan anturin mitta-alue  $L_1$  on 250 mm. Testissä käytettävä väli tukipisteistä kuormituspisteisiin  $L_2$  saadaan kertomalla levyn paksuus 16:lla. Tukipisteen ja kuormituspisteen välinen väli on minimissään 240 mm ja maksimissaan 400 millia. Koko jänneväli saadaan kertomalla kahdella tukipisteiden ja kuormituspisteen välinen väli ja lisäämällä

siihen kuormituspisteiden välinen 300 mm. Koko testikappaleen pituuteen lisätään vielä 50 mm, jotta testikappale ylittää jännevälin helposti.



KUVIO 17. Puulevyn testaus neljänpisteen taipumana EN 789:n mukaan (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2004, 14)

### 3.3 SFS-EN 14358- ja SFS-EN 326-2 -standardit

EN 789 -standardin tuloksista karakterististen 5 % -arvojen laskemiseen puurakenteille käytetään EN 14358 -standardia (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2007, 3). Vastaavasti EN 310 -standardin tuloksista karakterististen 5% -arvojen laskemiseen käytetään EN 326-2 -standardia. Standardissa käsitellään myös näytteiden hyväksymiskriteerejä. (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2011.)

Testitulosten perusteella lasketaan kuvion 18 kaavojen ja taulukon 3 arvojen perusteella karakteristinen arvo  $m_k$  (EN789) ja  $L_{5\%}$  (EN 310). Tilastollisen määrityksen kautta testitulokset voidaan olettaa olevan suhteellisen varmoja niin, että 95 % tuloksista saavuttaa rakenteelle asetetun lujuuden. (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2011.)



EN 14358 (EN 789)	EN 326-2 (EN 310)
$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln m_i$ $s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln m_i - \bar{y})^2}$ $m_k = \exp(\bar{y} - k_s s_y)$	$\bar{x}_{ITT} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{ITT}} \bar{x}_{ITT,j}}{n_{ITT}}$ $s_{\bar{x},ITT} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_{ITT}} (\bar{x}_{ITT,j} - \bar{x}_{ITT})^2}{(n_{ITT} - 1)}}$ $L_{5\%} = \bar{x}_{ITT} - t_{n_{ITT}} \cdot s_{\bar{x},ITT}$
<p><b>y laskeminen</b></p> <p>Lujuuksia 68,1084; 68,5847 ja 69,8548</p> <p>KESKIARVO= 68,85</p> <p>Lujuuksien luonnonlogaritmit 4,221; 4,228 ja 4,246</p> <p>otetaan sitten keskiarvo</p> <p>KESKIARVO= 4,232</p> <p><b>S<sub>y</sub> laskeminen</b></p> <p>otetaan lujuuden luonnonlogaritmeista keskihajonta</p> <p>KESKIHAJONTA= 0,013</p> <p><b>m<sub>k</sub> laskeminen</b></p> <p>Otetaan <math>\bar{y}</math>:n ja <math>s_y</math>:n tulokset ja <math>k_s</math>, eli kerroin, joka on kolmelle kappaleelle 3,15</p> <p>EKSPONENTTI(4,232-0,013*3,15)= 66,07</p>	<p><b>X<sub>ITT</sub> laskeminen</b></p> <p>Lujuudet 69,2368; 65,3389; 65,573 ja 68,2558</p> <p>KESKIARVO= 67,101</p> <p><b>S<sub>X,ITT</sub> laskeminen</b></p> <p>Otetaan lujuuksien arvoista keskihajonta</p> <p>KESKIHAJONTA= 1,94</p> <p><b>L<sub>5%</sub> laskeminen</b></p> <p>Otetaan X<sub>ITT</sub>:n ja S<sub>X,ITT</sub>:n tulokset ja t<sub>n,ITT</sub> eli kerroin, joka on neljällä kappaleella 2,35</p> <p>L<sub>5%</sub> = 67,101-2,35*1,94= 62,53</p>

KUVIO 18. Karakterististen arvojen laskukaavat ja laskettu esimerkki (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2007, 9; Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2011, 10)

TAULUKKO 3. Testikappaleiden määrät ja niitä vastaavat vakioiden  $k_s$  ja  $t_{nITT}$  arvot (Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2007, 9; Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry 2011, 11)

EN 14358 (EN 789)		EN 326-2 (EN310)	
Kappaleita	Vastaavuus	Kappaleita	Vastaavuus
n	$k_s$	n	$t_{nITT}$
3	3,15	4	2,35
5	2,46	5	2,13
10	2,1	6	2,02
15	1,99	8	1,89
20	1,93	10	1,83
30	1,87	12	1,8
50	1,81	16	1,75
100	1,76	18	1,74
500	1,71	30	1,7
$\infty$	1,65	32	1,69

## 4 SORMIJATKOSTEN TUTKIMINEN

Tässä luvussa käydään läpi työn keskeisiä tavoitteita, joiden puitteissa sormijatkoksia alettiin valmistaa. Lisäksi käydään läpi sormijatkosten tekemiseen käytettyjä tapoja aina sormien jyrsimisestä liitosten testaukseen asti.

Jyrsintätavassa on otettu huomioon myös mahdollisuus soveltaa työstötapaa myös teollisessa mittakaavassa.

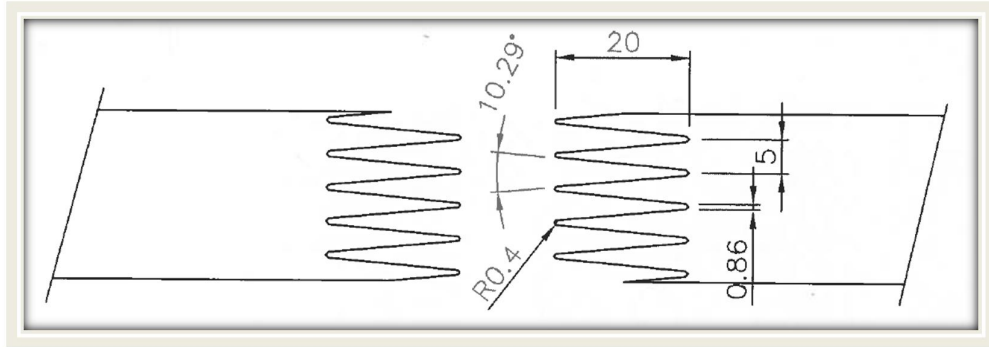
### 4.1 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli työstää ja testata sormijatkoksia eri sormenpituuksilla. Työssä selvitetään, millaisella sormiprofiililla ja liimalla saadaan paras lujuus liitossaumaan. Työssä käytettyjen vanerien paksuudet olivat 9, 18 ja 27 mm. Työstettyjä kappaleita liimattiin kolmella liimatypillä, jotka ovat MUF-liima, RF-liima ja PUR-liima. Samasta levystä otettuihin jatkettaviin kappaleisiin tehtiin liitoksia erilaisilla sormiprofiileilla, jotka on esitetty koesuunnitelmassa eri väreillä. Kullakin liitosprofiililla tehtiin mahdollisimman laaja havaintoaineisto käyttäen erilaisia liimoja ja testausmenetelmiä. Kaikista koejärjestelyn eristä tehtiin 32 kappaleen suuruisia, jotta saatiin mahdollisimman luotettava tilastollinen analyysi tehdyksi. Lisäksi testattavina kappaleina oli myös viistejatkettuja liitoksia. (TAULUKKO 4)

TAULUKKO 4. Koesuunnitelma tehtävien sormiliitosten määrästä

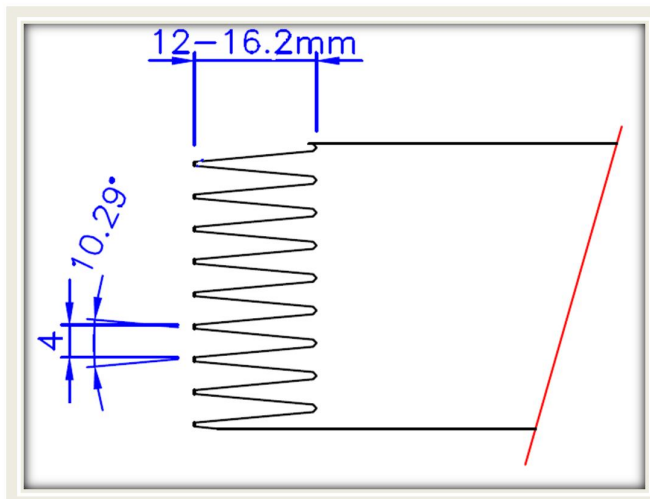
Liima	MUF						RF		PUR		
	Keskeinen			Epäkeskeinen			Keskeinen	Keskeinen			
Paksuus	9mm	18mm	27mm	9mm	18mm	27mm	18mm	18mm			
Liitosmalli	1:6 viistosauama	32	32	32						96	
	Profiili 1	32	32	32		32		32	32	192	
	Profiili 2	32	32	32	32	32	32	32	32	256	
	Profiili 3	32	32	32		32		32	32	192	
	Profiili 2, EN 789 testi			32						32	
	1:6 viistosauama, EN 789 testi			32						32	
	YHT	128	128	192	32	96	32	96	96	800	

Työssä käytettiin kolmea erilaista sormiprofiilia, joilla työstettiin kaikkiaan 672 liitosta. Ensimmäisenä sormiprofiilina oli 20 mm pitkä sormi, jolla tehtiin suurin 288 liitoksen sarja (KUVIO 19).



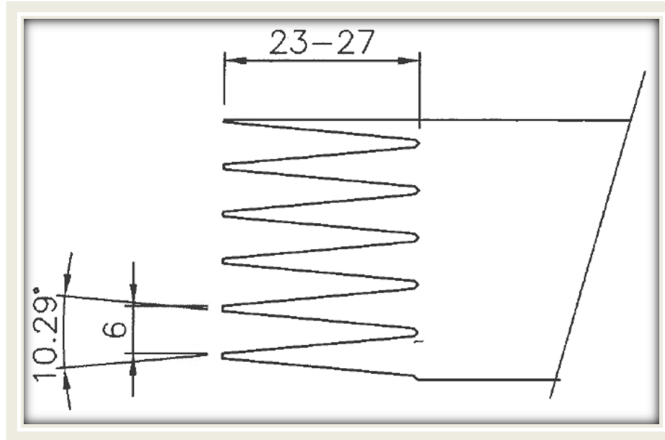
KUVIO 19. Profiilin 2 sormiliitos (Lahden Teräteos Oy 2014)

Seuraavalla sormiprofiililla oli mahdollista tehdä 12 – 16,2 mm pitkiä sormia, mutta lopullinen työstö tehtiin 13 mm:n sormella. Tehtävien liitosten määrä oli 192 kappaletta. (KUVIO 20)



KUVIO 20. Profiilin 1 sormiliitos (Lahden Teräteos Oy 2014)

Viimeisellä sormiprofiililla oli mahdollista tehdä 23 - 27 mm pitkiä sormia, mutta lopullinen työstö tehtiin 24 mm:n sormella. Tehtävien liitosten määrä oli 192 kappaletta. (KUVIO 21)



KUVIO 21. Profiilin 3 sormiliitos (Lahden Teräteos Oy 2014)

Työstettävien kappaleiden lisäksi työssä testattiin myös jatkamattomia kappaleita, joista muodostui referenssiarvo jatketuille kappaleille. Referenssiarvot testattiin sekä viistejatkeluille että sormijatketuille kappaleille erikseen. (TAULUKKO 5)

TAULUKKO 5. Koesuunnitelma testattavien referenssikappaleiden määrästä

Paksuus	9mm	18mm	27mm	9mm	18mm	27mm	18mm	18mm	
Liitosmalli 1:6 viistosauva	32	32	32						96
Sormijatkokset	32	32	32						96
EN 789 testi			32						32
1:6 viistosauva, EN 789 testi			32						32
YHT	64	64	128	0	0	0	0	0	256

#### 4.2 Sormijatkoksien valmistus

Sormijatkoksien valmistus aloitettiin tasaannuttamalla työstettävät kappaleet 65 %:n kosteuteen tasaannutshuoneessa, jossa kappaleet olivat noin kuukauden.

Kappaleiden varsinainen työstäminen tasaannutushuoneen jälkeen tapahtui CNC-ohjatulla työstökoneella. CNC-työstökoneen hyödyntämisen etuna on kappaleiden tasalaatuinen työstäminen ja Woodwop-ohjelman helppo muunneltavuus. CNC-kone on nopeampi suuremman kappalemäärän työstämisessä kuin tavallinen alajyrsin. CNC-koneeseen kappaleiden työstämistä varten rakennettiin jigi, johon kappaleet oli helppo asetella työstönajaksi (KUVIO 22).



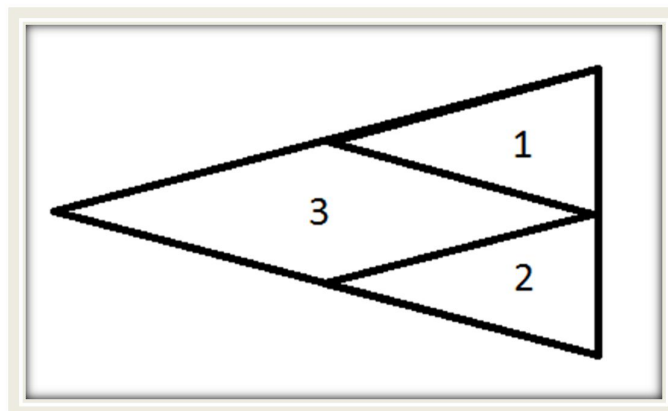
KUVIO 22. CNC-koneeseen asennettava jigi kappaleiden työstämistä varten

#### 4.2.1 Ensimmäisen sormiprofiilin (Profiili 2) mukainen valmistus

Ensimmäinen sormijatkoksien työstämistä varten hankittu terä oli pikateräksinen sormijatkoskurso, jonka sormen pituus oli 20 mm ja sormiväli 5 mm. Kurson valmistajana oli Lahden Teräteos Oy. (LIITE 1.) Tilattu kurso oli leikkaustavaltaan kuvion 6 mukainen. Siinä samaa sormea leikkaavat terät on sijoitettu peräkkäin ja itse leikkaus tapahtuu niin, että terä leikkaa ensiksi toisen puolen sormea valmiiksi ja sitten vasta toisen puolen. Sormijatkoskursolla tehtävien liitosten määrä oli kaikkein suurin, sillä ensimmäinen kurso edustaa profiilia 2 koesuunnitelmassa.

Kurso asetettiin CNC-koneen vaihtajalle niin, että sillä voitiin leikata myötäsytöllä kappaleita. Kappaleita työstettäessä ensimmäistä kertaa kursolla huomattiin, etteivät saman kappaleen sormienkärjet olleet saman paksuisia terän sisäänmeno- ja ulostulopuolilla. Tästä voitiin päätellä, että sormet olivat taipuneet huomattavasti työstön aikana. Sormenpäiden taipumisen huomasi liitosta kiinni puristettaessa, jolloin liitos jäi huomattavasti auki liian paksujen sormenpäiden takia. Ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan muuttamalla vanerin työstämistä. Seuraavaksi sovellettiin kuvion 23 mukaista työstöä, jossa ensimmäiseksi avataan sormenpäät kahdella matalammalla 10 mm:n työstöllä ja vasta sen jälkeen jyrsitään koko 20 mm:n sormenpituus kappaleeseen. Viimeiset 20 mm:n työstöt levennettiin niin, että sormien välinen välys suurentui hieman. Tästä oli se hyöty, että sormet pohjasivat miltei heti ja sormienpään välinen välys pienentyi minimiinsä. Tällaista työstötapaa käyttäen saatiin sormenpäät lähemmäksi hyväksyttävää lopputulosta.

Viimeisenä vaiheena asennettiin vaihtajalle toinen samanlainen sormijatkoskurso niin, että se leikkaisi työstettäviä kappaleita vastasyötöllä. Vastasyöttöterän tarkoituksena oli leikata myötäsytöterän jälkeä puhtaammaksi ja kaventaa sormenpäätä vielä pienemmäksi. Vastasyöttöterää käytettiin vasta aivan viimeiseksi, silloin kuin myötäsytöterä oli jyrsinyt jo valmiiksi koko 20 mm sormenpituuden. Vastasyöttöterän käyttöönotto paransi sormenpäätä ja liitoksen ilmettä entisestään.



KUVIO 23. Profiilin 2 mukainen työstö vanerille

Ensimmäisellä sormiprofiililla 2 työstettiin 288 kaikista koejärjestelyn liitoksista. Profiilin 2 kurson huonona puolena oli se, että se oli valmistettu pikateräksestä. Pikateräskurson terävyys joutui koville vaneria työstettäessä lähinnä vanerissa olevan hyvin kovaksi kovettuvan liiman seurauksena. Pikateräskurso alkoi tylsyä jo muutaman ajon jälkeen, minkä seurauksena parametreja jouduttiin muuttamaan Woodwop-ohjelmassa usein. Koesuunnitelmassa olleiden 288 liitoksen työstämiseen profiili 2 mukaisella pikateräskursolla jouduttiin kursoa teroituttamaan kaksi kertaa.

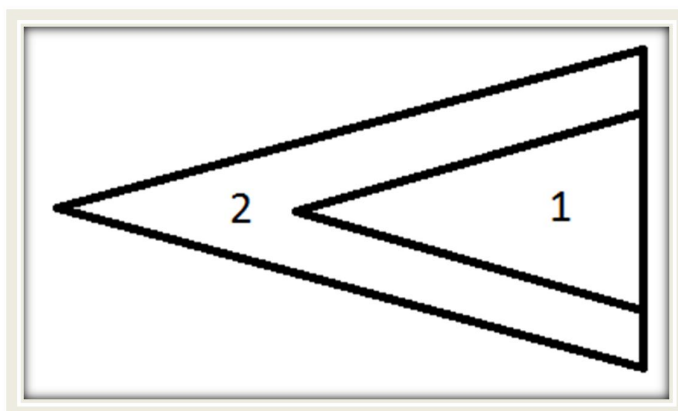
#### 4.2.2 Toisen sormiprofiilin (Profiili 1) mukainen valmistus

Sormijatkoksien työstämistä jatkettiin hankkimalla seuraavaksi kovametallinen sormijatkoskurso, jonka maksimi sormenpituus oli 16,2 mm ja sormiväli 4 mm. Kurson valmistajana oli Lahden Teräteos Oy. (LIITE 2.) Tilattu kurso oli leikkaustavaltaan kuvion 7 mukainen. Siinä samaa sormea leikkaavat terät on sijoitettu samaan riviin. Kurso leikkaa sormen molemmat puolet valmiiksi kerralla, jolloin työstön aikana ei tapahdu sormen taipumista. Kurson terät eivät voineet leikata tuotteen pohjaa valmiiksi, joten kappaleiden päät piti suoristaa 20 mm:n halkaisijalla olevaa tappiterää käyttäen, ennen varsinaisten sormien työstämistä. Toisella sormijatkoskursolla tehdyt liitokset edustivat ensimmäistä profiilia koesuunnitelmassa.

Kurso asetettiin CNC-koneen vaihtajalle niin, että sillä voitiin leikata vastasyötöllä kappaleita. Sormijatkoskurso oli rakenteeltaan hyvin painava, joten vaihtajalta jouduttiin poistamaan muita teriä 6 kg maksimi painorajan lähestyessä. Kappaleita työstettäessä ensimmäistä kertaa kursolla huomattiin, ettei terä aiheuta sormien taipumista työstössä kuten oli tapahtunut ensimmäisen sormijatkoskurson aikana. Täysleikkuisen terän ongelmaksi paljastui terän tukkeutuminen työstössä, jolloin terä jumittui kiinni kappaleisiin. Terän jumittumisen aiheutti pois leikatun lastun pakkaantuminen terälappujen väliin, sillä seurauksella, ettei terää voitu ilman puhdistamista enää käyttää. Terän purkamisen ja puhdistamisen jälkeen



tukkeutumista pyrittiin vähentämään ajamalla työstöä hiljempaa. Tästä oli apua työstön onnistumisen kannalta, mutta liian hiljainen ajaminen aiheutti palamista. Terän syötön ajoalueeksi muodostuikin pysyminen tukkeutumisen ja polttamisen välissä. Työstön raskauden vähentäminen huomioitiin myös työstöjä suunniteltaessa, jolloin kevyempää työstöä käytettäessä voitiin lisätä hieman syöttönopeutta ja vähentää palamisen riskiä. Kappaleiden työstämiseen sovellettiin kuvion 24 mukaista työstöä. Työstössä ensimmäiseksi avattiin sormiväliä matalammalla 8 mm:n työstöllä ja vasta sen jälkeen jyrkittiin koko 13 mm:n sormenpituus kappaleeseen. Sormenpituudeksi valittiin 13 mm riittävän puristuksen saavuttamiseksi sormiliitoksen kylkien välille. Sormet pohjasivat melkein kokonaan 13 mm:n sormenpituudella. Toisella sormiprofiililla 1 työstettiin 192 liitosta kaikista koejärjestelyn liitoksista.



KUVIO 24. Profiilin 1 mukainen työstö vanerille

#### 4.2.3 Kolmannen sormiprofiilin mukainen valmistus

Viimeisien sormijatkoksien työstämistä varten hankittiin kovametallinen sormijatkoskurso, jonka maksimi sormenpituus oli 26 mm ja sormiväli 6 mm. Kurson valmistajana oli Lahden Teräteos Oy. (LIITE 3. ja 4.) Tilattu kurso oli myös leikkaustavaltaan kuvion 7 mukainen. Siinä samaa sormeä leikkaavat terät on sijoitettu samaan riviin. Kurso leikkaa sormen molemmat puolet valmiiksi kerralla, jolloin työstön aikana ei tapahdu sormen taipumista. Kurson terät eivät

voineet leikata tuotteen pohjaa valmiiksi, joten kappaleiden päät piti suoristaa 20 mm:n halkaisijalla olevaa tappiterää käyttäen, ennen varsinaisten sormien työstämistä. Viimeisellä sormijatkoskursolla tehdyt liitokset edustivat profiilia 3 koesuunnitelmassa.

Kurso asetettiin CNC-koneen vaihtajalle niin, että sillä voitiin leikata vastasyötöllä kappaleita. Sormijatkoskurso oli rakenteeltaan hyvin painava, joten vaihtajalta jouduttiin poistamaan muita teriä 6 kg maksimi painorajan lähestyessä. Täysleikkuisen terän tukkeutumisongelma tiedostettiin aikaisempien kokemusten perusteella jo lähtötilanteessa. Tukkeutuminen pyrittiin estämään vähentämällä syöttöä jo koneen terätiedoissa. Työstön raskauden vähentäminen otettiin huomioon myös profiilin 3 kohdalla. Sormien työstö suoritettiin kahdessa osassa kuten oli tehty myös profiilin 1. tapauksessa (KUVIO 24). Työstössä ensimmäiseksi avattiin sormiväliä matalammalla 18 mm:n työstöllä ja vasta sen jälkeen jyrättiin koko 24 mm:n sormenpituus kappaleeseen. Sormiprofiilin 3. perusteella sormenpituus oli hyvin pitkä, jolloin kappaleiden puristusta lisättiin ruuvipuristimilla liikkumisen minimoimiseksi työstössä. Sormenpituudeksi valittiin 24 mm riittävän puristuksen saavuttamiseksi sormiliitoksen kylkien välille. Sormet pohjasivat melkein kokonaan 24 mm:n sormenpituudella. Viimeisellä sormiprofiililla 3 työstettiin 192 liitosta kaikista koejärjestelyn liitoksista.

#### 4.2.4 Sormiliitoksien liimaaminen

Seuraavaksi liimattiin kappaleita 32 valmiin liitoksen sarjoissa. Liimoina käytettiin kaksikomponenttista melamiiniureaformaldehydi- eli MUF- liimaa, jonka hartsi oli tuotenimeltään Adhesive 1247 ja kovete Hardener 2526. MUF-liiman oli valmistanut Casco Adhesives AB. Toisena liimana oli kaksikomponenttinen resorsinoliformaldehydi- eli RF-liimaa, jonka hartsi oli tuotenimeltään Adhesive 1711 ja Kovete Hardener 2520. RF-liiman oli valmistanut Casco Adhesives AB. Kolmantena liimana oli polyuretaani- eli PUR-liimaa, joka oli tuotenimeltään Kestopur 1050 ja valmistajana oli Kiilto. Suurinosa koejärjestelyn kappaleista liimattiin MUF-liimalla. MUF-liimalla liimattiin kaikkia koesuunnitelmassa

lueteltuja levyjen paksuuksia. RF- ja PUR-liimaa käytettiin ainoastaan 18 mm:n vanerista tehtyjen rinnakkaiskappaleiden liimaamiseen.

Liitoskappaleiden liimaaminen lähti käyntiin kaksikomponenttista MUF-liimaa käyttäessä niin, että toinen liitettävistä sormiliitospäistä uitettiin MUF-liiman hartsissa ja toinen kovetteessa. Ylimääräinen liima pyrittiin valuttamaan pois kappaleiden saumoista. Kappaleet yhdistettiin toisiinsa niin, että kovete ja hartsit pääsivät sekoittumaan keskenään. Itse puristaminen tapahtui kiskopuristinta käyttäen, jolla liitosta puristettiin muutamien sekuntien ajan. Puristettu liitos nostettiin kuivumaan sivummalle noin vuorokaudeksi.

MUF-liimalle tehtiin myös puristuspainetta selvittävä yksinkertainen koejärjestely, jossa puristuspainet laskettiin Pascaleina. Puristusaine haluttiin selvittää, jotta nähtiin millaisen puristusprofiilin 2 liitos tarvitsee, jotta liitos saatiin puristetuksi kiinni. Laskuissa puristavan sylinterin pinta-ala oli 11 cm<sup>2</sup>. Koekappaleiden kokona oli leveydessä 30 mm ja paksuudessa kunkin levyn nimellispaksuus. Testin tuloksena profiilin 2 sormijatkosliitoksien puristuspainet on esitetty 6 taulukossa. Liitoksien sopiviksi puristuspaineksi saatiin 9 mm:n kappaleissa 0,75 MPa, 18 mm:n kappaleiden liitoksissa 1,87 MPa ja paksuimmalla 27 mm:n levyllä 3,5 Mpa.

TAULUKKO 6. Sormiprofiili 2 puristuspainet vertailu MUF-liimalla

Puristusprofiilin mittaus 20 mm sormella						
Kappaleet	Paksuus (cm)	Leveys (cm)	Pinta-ala cm <sup>2</sup>	Paine bar	P <sub>2</sub> bar	P <sub>2</sub> MPa
1	0,9	3	2,7	30	7,36	0,74
2	0,9	3	2,7	31	7,61	0,76
3	1,8	3	5,4	36	17,67	1,77
4	1,8	3	5,4	40	19,64	1,96
5	2,7	3	8,1	50	36,82	3,68
6	2,7	3	8,1	45	33,14	3,31

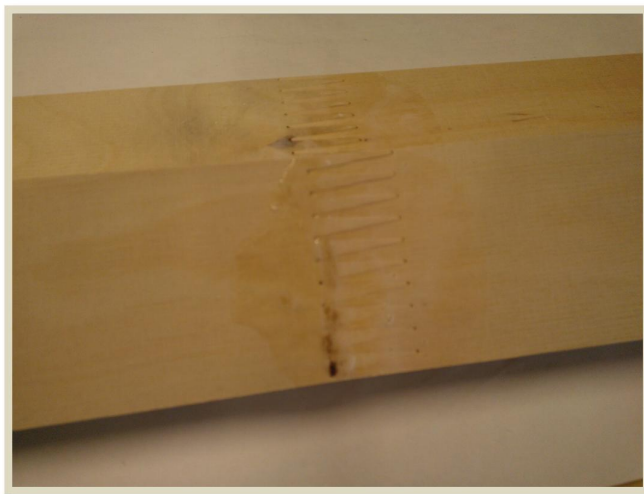
Liitoskappaleiden liimaaminen lähti käyntiin kaksikomponenttista RF-liimaa käyttäessä niin, että valmistettiin sekoitussuhteessa 15:100 liimaa. Valmiin liiman valmistukseen mitattiin 30 g kovetetta ja 200 g hartsia. Mittaamisen jälkeen aineet yhdistettiin ja levitettiin aputikkua käyttäen molempiin sormijatkoksen

liimattaviin pintoihin. Liimanlevittämisen jälkeen liitos puristettiin kiinni kiskopuristinta apuna käyttäen. Puristetut liitokset nostettiin kuivumaan liimauksen jälkeen sivummalle kuivumaan. Lopullinen loppulujuus saavutettiin liimasaumassa 24 h kuivumisen jälkeen.

Viimeisenä liimatyyppinä liitoskappaleiden liimaamisessa käytettiin yksikomponenttista PUR-liimaa. PUR-liima on hyvin jäykkää, ja siksi sen levittäminen liimasaumaan oli helpointa erillisestä astiasta levitystikkua käyttäen. Liimaa levitettiin molempiin liimattaviin pintoihin ja puristettiin yhteen kiskopuristimella. PUR-liima turpoaa huomattavasti kuivuessaan, joten tätä pyrittiin välttämään pyyhkimällä ylimääräinen liima puristuksen jälkeen saumakohtasta pois.

#### 4.3 Sormijatkoksen testausmenetelmät

Sormijatkosten liimaamisen jälkeen liitokset kavennettiin 50 mm:n testausleveyteen (KUVIO 25 ja 26). Kaventamiseen käytettiin pöytäsiikkeliä, jolla liimatuista 60 mm leveistä sormijatkosliitoksista ajettiin noin 5 mm kummaltakin puolelta pois halutun tasalevyisen lopputuloksen saavuttamiseksi testikappaleisiin.

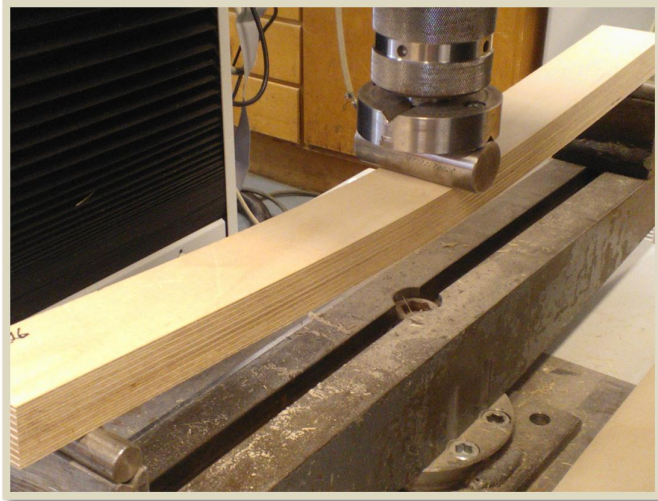


KUVIO 25. Liimatut ja kavennetut liitokset testausta vaille



KUVIO 26. Liimatut ja kavennetut liitokset testausta vaille

Kappaleiden testaaminen suoritettiin EN 310 -standardin mukaan. Standardissa kappaleita taivutetaan kolmen pisteen taivutuksella (KUVIO 27). Standardissa testin jänneväli saatiin kertomalla 20:llä testikappaleiden nimellispaksuus. Sormijatkoksen liitoksia testattiin sekä perinteisellä keskeisellä taivutuksella että asettamalla testikappale epäkeskeisesti testaukseen (KUVIO 15), jotta saataisiin selvitettyksi, kuinka paljon taivutuspaikalla on merkitystä testituloksiin. Epäkeskeistä testausta käytettiin vain MUF-liimalla sormiprofiilien 1 - 3 testauksessa. Epäkeskeisellä testauksella erien määrä oli vain 5, kun testierien kokonaismäärä EN 310:llä oli 29 testierää. Viistejatketut kappaleet ja viistejatketujen referenssit testattiin epäkeskeisessä testauksessa väärästä kohdasta, sillä testikappaleet asetettiin testaukseen väärinpäin saumapuoli voimaanturiin päin (KUVIO 16). Muissa referenssien testauksissa käytettiin myös EN 310:n mukaista keskeistä testausta. EN 310:n mukaisesti kolmipistetäivutuksella testattujen kappaleiden lujuuksille laskettiin karakteristiset arvot standardin EN 326-2 mukaisesti.



KUVIO 27. Testikappaleiden testaaminen EN 310:n mukaan

Kappaleita testattiin myös EN 789 -standardin mukaan, jossa kappaleita taivutetaan neljän pisteen taivutuksen avulla (KUVIO 17). Neljän pisteen taivutuksella testattavien kappaleiden nimellispaksuus oli 27 mm, joten kaikille testierille tuli testiin jänneväliksi sama 1164 mm. EN 789:n mukainen taivutus jouduttiin hankkimaan koulunkäyttöön tässä työssä vaadittuja testauksia takia. Standardin mukainen neljänpisteen taivutus integroitiin Simatsu-koeistuskoneeseen, jolla muutkin testit oli tehty. EN 789:n mukaan testikappaleina oli erä valmiiksi liimattuja viistejatkettuja kappaleita referensseineen. Lisäksi testattiin yksi sormijatkettu erä ja tämän referenssikappaleet. Kokonaisuutena testattiin siis 4 testierän määrä. Testituloksille laskettiin karakteristiset arvot standardin EN 14358 mukaisesti.

## LÄHTEET

### **Kirjalliset lähteet**

Ivansson, B. O. & Ström, H. 1973. Fingerkarvning av virke och plywood. Rapport R49. Stockholm: Rotobekman AB.

Kananen, H. 2004. Tehokasta sormijatkamista. Jyväskylä: Suomen kone ja terä.

Koponen, H. 1990. Puutuotteiden liimaus. Hämeenlinna: Otatieta Oy.

Kurkela, J. 1996. Step 1. Puurakenteet: suunnitteluperusteet, materiaaliominaisuudet, rakenneosat, liitokset. Helsinki: Rakennustieto.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus.

Lahden Teräteos Oy. 2014. Profiilien kuvat. Lahti. PDF-tiedosto.

Lindroos, T. 2013. Vanerin jatkaminen sormiliitoksella. Metsä Wood. PDF-tiedosto.

Lipitsäinen, R. 1995. Liimapuun valmistus ja laadunvalvonta. Liimauskurssi nro 5/95. Helsinki: VTT Rakennustekniikka.

Metsä Wood. 2014. Koesuunnitelma. Suolahti. Excel-tiedosto

Rintala, O. 2003. Sormijatkos liimapuulamelleissa. Lahti: Lahden Ammattikorkeakoulu.

Sokka, K. 2009. Sormiläpjiatkos. Finnforest.

Toivanen, T. 2008. Sormijatkoslinjan asennus, käyttöönotto ja optimointi. Kajaani: Kajaanin Ammattikorkeakoulu

Veistinen, J. & Pennala, E. 1997. Finnforest vanerikäsikirja. Lahti: Kirjapaino Markprint Oy.

Virtanen, O. 2005. Sormijatkoslinjan häiriötutkimus. Lahti: Lahden Ammattikorkeakoulu.

## **Elektroniset lähteet**

ACECO. 2014. Linger joint tooling [viitattu 3.2.2014]. Saatavissa:

[http://www.aceco.com/woodtool/finger\\_heads.html](http://www.aceco.com/woodtool/finger_heads.html)

LSAB. 2014. Tuotteet puuteollisuus. Sormijatkosterät [viitattu 13.1.2014].

Saatavissa: [http://www.lsab.se/fi/tuotteet-puuteollisuus/tuotteet-](http://www.lsab.se/fi/tuotteet-puuteollisuus/tuotteet-jatkojalostukeen/suurnopeushoylat/sormijatkosterat)

[jatkojalostukeen/suurnopeushoylat/sormijatkosterat](http://www.lsab.se/fi/tuotteet-puuteollisuus/tuotteet-jatkojalostukeen/suurnopeushoylat/sormijatkosterat)

Metsäteollisuus ry. 2005. Vanerikäsi kirja. Lahti: Kirjapaino Marketprint Oy

[viitattu 22.12.2013]. Saatavissa:

<http://www.metsateollisuus.fi/mediabank/479.pdf>

Pro Puu ry. 2012. Puusepäniitokset. Sormijatkosliitoksen suunnittelu [viitattu

20.12.2013]. Saatavissa: [http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/fi/puusepan-](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puusepan-liitokset/sormijatkoliitoksen-suunnittelu)

[liitokset/sormijatkoliitoksen-suunnittelu](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/puusepan-liitokset/sormijatkoliitoksen-suunnittelu)

Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry. 1993. SFS-EN 310. Wood-based panels.

Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength

[viitattu 11.9.2014]. Saatavissa:

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/DownloadServlet?action=getFile&forContract=10215&productId=154685>

Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry. 1995. SFS-EN 385. Sormijatkettu rakenne

sahatavara. Käyttövaatimukset ja tuotannon vähimmäisvaatimukset [viitattu

20.12.2013]. Saatavissa:

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/DownloadServlet?action=getFile&forContract=10215&productId=149084>

Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry. 2004. SFS-EN 789. Timber structures.

Test methods. Determination of mechanical properties of wood based panels

[viitattu 11.9.2014]. Saatavissa:

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/DownloadServlet?action=getFile&forContract=10215&productId=144236>



Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry. 2007. SFS-EN 14358. Timber structures. Calculation of characteristic 5-percentile values and acceptance criteria for a sample [viitattu 11.9.2014]. Saatavissa:

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/DownloadServlet?action=getFile&forContract=10215&productId=186343>

Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry. 2011. SFS-EN 326-2. Wood-based panels. sampling, cutting and inspection. Part 2: initial type testing and factory production control [viitattu 11.9.2014]. Saatavissa:

<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/DownloadServlet?action=getFile&forContract=10215&productId=153628>

