

Antti Lankinen

# TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET

Levyn lujuusominaisuudet

Lahden ammattikorkeakoulu, tekninen ala, Puutekniikan koulutusohjelma, Opinnäytetyö, kevät 2011



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



**Euroopan unioni**  
Euroopan aluekehitysrahasto

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikan koulutusohjelma

Antti Lankinen

# **TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET**

Levyn lujuusominaisuudet

Puutekniikan opinnäytetyö, 39 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2011

## TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on osa Lahden ammattikorkeakoulussa toteutettavaa TERMO-projektia. Termomuovattava puulevyvalmiste on uusi levy materiaali, joka koostuu ABS-ydinmateriaalista ja siihen liimatuista pintaviiluista. Työn tarkoituksena on selvittää projektissa kehitettävän termolevyn lujuus ja kestävyysominaisuuksia.

Työn teoriaosuudessa käsitellään termolevyssä käytettävien materiaalien ominaisuuksia lujuuden ja kestävyuden kannalta sekä niiden vaikutusta levyrakenteen kokonaisominaisuuksiin. Lisäksi käsitellään termolevyn lujuus- ja kestävyysvaatimuksia vastaavien levytuotteiden, kuten vanerin ja lastulevyn, vaatimusten ja standardien avulla. Myös huonekalutestauksen vaatimuksia käsitellään huonekalujen ollessa yksi termolevyn mahdollisista käyttökohteista. Teoriaosuudessa käydään myös yleisesti läpi termolevyn rakennetta ja valmistusta.

Termolevyä testattiin sen ominaisuuksia mahdollisimman hyvin kuvaavin testein. Testimenetelmät tulivat pääosin joko suoraan tai hieman mukailtuna olemassa olevista levy materiaalien standardeista. Testattavia ominaisuuksia olivat muun muassa levyn taivutuslujuus ja kimmomoduuli sekä kosteudenkestävyys. Termolevyn ominaisuuksia testattiin useilla eri pintaviiluvaihteludoilla ja käytettäväksi valituilla liimoilla. Kaikki pintaviilut olivat koivua.

Tulokset antoivat paljon tuotesuunnittelua helpottavaa tietoa materiaalin ominaisuuksista. Parhaat taivutuslujuus- ja kimmomoduuliarvot saavutettiin käyttämällä fleecekankaalla vahvistettua sorvattua 0,6 mm paksua koivuviilua, joka on liimattu ydinmateriaaliin 3M Scotch-Weld 30 -liimalla. Kosteudenkestävyys oli parasta Kiilto Akvapur SM1200 liimatuilla levyillä. Mutta koska levyn valmistusmenetelmät ovat erilaisia riippuen käytettävästä liimasta ja pintaviilusta tulee, paras mahdollinen rakennevaihtoehto aina miettiä tapauskohtaisesti.

Avainsanat: muotopuristus, ABS-muovi, lujuusominaisuudet, viilu, termomuovattava puulevy

Lahti University of Applied Sciences

Faculty of technology

LANKINEN, ANTTI: Thermoformable wood panel products

The strength and durability features of the panel

Bachelor's Thesis in wood technology, 39 pages, 3 appendixes

Spring 2011

## **ABSTRACT**

This thesis is a part of the TERMO project in Lahti University of Applied Sciences. The project developed a thermoformable wood based panel, which is a new type of panel consisting of ABS as a core material and veneer as a surface layer material glued on it. The objective of the thesis was to study the strength and durability features of the panel.

The theoretical part of the thesis deals with the strength and durability features of the materials used in the panel and also how they affect the overall features of the panel. In addition the requirements of thermoformable wood panels are considered by comparing them to the requirements and standards of other wood panels, such as plywood and particle board. As one of the possible uses of thermo panel is in furniture production, the requirements of furniture testing are also considered. The structure and manufacturing basics of thermo panels are also dealt with.

Thermoformable wood panels were tested with the tests that described the properties as well as possible. The test methods were taken from existing wood panel standards, either straightly or with some changes. Such properties as bending strength, modulus of elasticity and moisture resistance were tested. Thermo panels were tested with several different birch veneer options and glues.

The results of the study gave a lot of information that will help product design. The best results of bending strength and the modulus of elasticity were reached by using 0.6 mm thick birch veneer peeled on lathe, strengthened with fleece textile and glued with 3M Scotch-Weld 30. The moisture resistance was best with the panels glued with Kiilto Akvapur SM1200. Because the manufacturing methods of the panel are different depending on what veneer and glue is used, the best possible structure should be considered case by case.

Key words: form-pressing, ABS plastic, strength properties, veneer, thermoformable wood panel

# SISÄLLYS

<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Lujuusominaisuuksien Käsitteitä</b>	<b>8</b>
2.1 Taivutuslujuus	8
2.2 Kimmomoduuli	8
2.3 Taivutusjäykkyys	9
<b>3 Muotopuristeiden lujuusvaatimukset</b>	<b>10</b>
3.1 Mekaaninen kestävyys	10
3.2 Muodon pysyvyys	12
3.3 Kosteuden kestävyys	12
<b>4 Muotopuristeiden lujuuteen vaikuttavat tekijät</b>	<b>13</b>
4.1 Mekaaninen kestävyys	13
4.1.1 Pintaviilut	13
4.1.2 Ydinmateriaali	14
4.1.3 Liimasauma	14
4.2 Muodon pysyvyys	15
4.2.1 Viilun ominaisuudet	15
4.2.2 Ydinmateriaalin ominaisuudet	16
4.2.3 Liiman ominaisuudet	16
4.2.4 Jännitykset muovin ja pintaviilun välillä	16
4.3 Kosteudenkestävyys	17
<b>5 Termomuovattava puulevy</b>	<b>18</b>
5.1 Rakenne	18
5.1.1 Ydinmateriaali	18
5.1.2 Pintaviilut ja -nahkat	18
5.1.3 Liimat	19
5.2 Valmistus	20
5.3 Käyttökohteet	21
<b>6 Testauksessa käytetyt ja sivutut standardit</b>	<b>22</b>
6.1 SFS-EN 314 osat 1 ja 2: Vaneristandardit	23
6.2 SFS-EN 1372: Kuorimislujuustesti	23
6.3 SFS-EN 310: Puulevyt. Taivutuskimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittäminen	24
6.4 ISO 7173: Istuinhuonekalujen lujuus- ja kestävyystestit	24

<b>7 Termolevyn ja muotopuristeiden testaus</b>	<b>25</b>
7.1 Mekaaninen kestävyys	25
7.1.1 Taivutuskokeet suoralle levyllä	26
7.1.2 Staattiset rasiustestit muotopuristeille	29
7.2 Muodon pysyvyys	30
7.2.1 Virumatestit suoralle levyllä	30
7.2.2 Dynaamiset rasiustestit muotopuristeille	32
7.3 Kosteuden kestävyys	32
<b>8 Termolevyn valmistus kahdesta ABS-levystä</b>	<b>34</b>
<b>9 Yhteenveto</b>	<b>35</b>
<b>Lähteet</b>	<b>36</b>
<b>Liitteet</b>	<b>37</b>

# 1 Johdanto

Termomuovattava puulevyvalmiste on Lahden ammattikorkeakoulussa vuonna 2008 alkanut tutkimushanke, joka päättyy vuoden 2010 loppuun mennessä.

Termomuovattava puulevy on Lahden ammattikorkeakoulun kehittämä ja patentoima muotopuristeiden valmistusmenetelmä, jota on mukana hankkeessa kehittämässä alan yhteistyöyrityksiä sekä Tampereen teknillinen yliopisto. Yhteistyöyritykset ovat Huonekalutehdas Korhonen Oy, P. O. Korhonen Oy, UPM-Kymmene Wood Oy sekä Vilkon Oy. Lahden ammattikorkeakoulusta mukana on tekniikan ala sekä muotoilun ala.

Hankkeen päätavoitteena on kehittää uusi puulevyvalmiste, joka mahdollistaa aikaisempaa voimakkaampien ja monipuolisempien kolmiulotteisten muotojen käytön esimerkiksi huonekaluja ja sisustustuotteissa. Tavoitteena on myös kehittää tuotantomenetelmä, jolla voidaan valmistaa kilpailukykyisesti, nopeasti ja tehokkaasti massaräätälöityjä tuotteita.

Tämä opinnäytetyö käsittelee termomuovattavan puulevyvalmisteen lujuus- ja kestävyysominaisuuksia, kuten taivutuslujuutta sekä kosteudenkestävyyttä. Tutkimustuloksia verrattiin vastaaviin perinteisempiin ratkaisuihin, kuten perinteisiin muotopuristeisiin ja vaneriin. Hankkeesta on tehty aikasemmin kolme opinnäytetyötä, joissa käsitellään muun muassa valmistukseen sopivia muotteja, valmistukseen soveltuvia liimoja ja niiden ominaisuuksia, puristusmenetelmiä sekä valmistuksessa käytettävien viilujen ominaisuuksien parantamista. Näiden opinnäytetöiden tuloksia hyödynnetään osaltaan myös tässä työssä.

## 2 Lujuusominaisuuksien Käsitteitä

Puulle ja kaikille muillekin materiaaleille on olemassa yleisesti tunnettuja käsitteitä, jotka kertovat niiden ominaisuuksista. Tässä luvussa on esiteltyä tässä työssä käytettävät käsitteet ja se, mitä ne kertovat materiaalista.

### 2.1 Taivutuslujuus

Taivutuslujuus kertoo materiaalin murtolujuudesta sitä taivutettaessa. Puulla lujuutta kuvataan yleensä sillä jännityksen arvolla, joka vallitsee materiaalin murtorajalla. Yleisesti käytetään nimitystä murtolujuus. Kohtisuoraan puun syitä vastaan ilmoitettu taivutuslujuus on eniten käytetty puun lujuuden mittari. Tämä johtuu siitä, että se on monessa puun käyttökohteessa ratkaisevassa asemassa. Puun taivutuslujuus määritellään standardin ISO 3133 mukaan. Taivutuslujuuden yksikkönä käytetään joko MPa tai N/mm<sup>2</sup>. Nämä yksiköt vastaavat toisiaan. Tässä työssä käytetään yksikkönä N/mm<sup>2</sup>. (Kärkkäinen 2007, 221, 223.)

Taivutuskokeet tehtiin standardia SFS-EN 310:1993 mukaillen kolmeen pisteen taivutuksena. Taivutuskokeita tehtäessä koekappaleen alapinnalle muodostuu vetojännitystä ja yläpinnalle puristusjännitystä. Neutraaliakseli, jolla ei esiinny kumpaakaan näistä jännityksistä, sijoittuu kappaleen muodosta riippuen yleensä poikkileikkauksen keskikohtaan. (Kärkkäinen 2007, 223.)

Taivutuslujuus voidaan laskea seuraavasta kaavasta 1:

$$\delta = \frac{3 \times P_{\max} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad \text{KAAVA 1.}$$

jossa

- $\delta$  on taivutuslujuus (N/mm<sup>2</sup>)
- $P_{\max}$  voima murtorajalla (N)
- $L$  taivutuskappaleiden jänneväli (mm)
- $b$  taivutuskappaleiden leveys (mm)
- $h$  taivutuskappaleiden paksuus (mm)

(SFS-EN 310 1993, 5).

### 2.2 Kimmomoduuli

Kimmomoduuli kertoo materiaalin jäykkyyden ja rakenteen taipuman kun sitä rasitetaan tietyllä voimalla. Taipuma on useassa tilanteessa rajoittavampi tekijä kuin murtolujuus. Kimmomoduulin avulla voidaan ennustaa taivutuslujuutta, niiden välillä on suora yhteys. Tätä tietoa hyödynnetään muun muassa sahatavaran koneellisessa lujuuslajittelussa, joka perustuu sahatavaran taivuttamiseen. Kimmomoduulin yksikkönä käytetään niin ikään N/mm<sup>2</sup>. (Kärkkäinen 2007, 215–217.)

Kimmomoduuli voidaan laskea seuraavasta kaavasta 2:

$$E = \frac{kk \times L^3}{4 \times b \times h^3}$$

KAAVA 2.

jossa

- $E$  on kimmomoduuli (N/mm<sup>2</sup>)
- $kk$  koestuksesta saatu kulmakerroin (N/mm)
- $L$  taivutuskappaleiden jänneväli (mm)
- $b$  taivutuskappaleiden leveys (mm)
- $h$  taivutuskappaleiden paksuus (mm)

(SFS-EN 310 1993, 5–6).

### 2.3 Taivutusjäykkyys

Taivutusjäykkyys kuvaa sitä, kuinka hyvin materiaali vastustaa taipumista. Siis mitä jäykempi materiaali, sitä vaikeampi sitä on saada taipumaan. Jäykkyyden vastakohta on notkeus. (Alanen 1961, 31.)

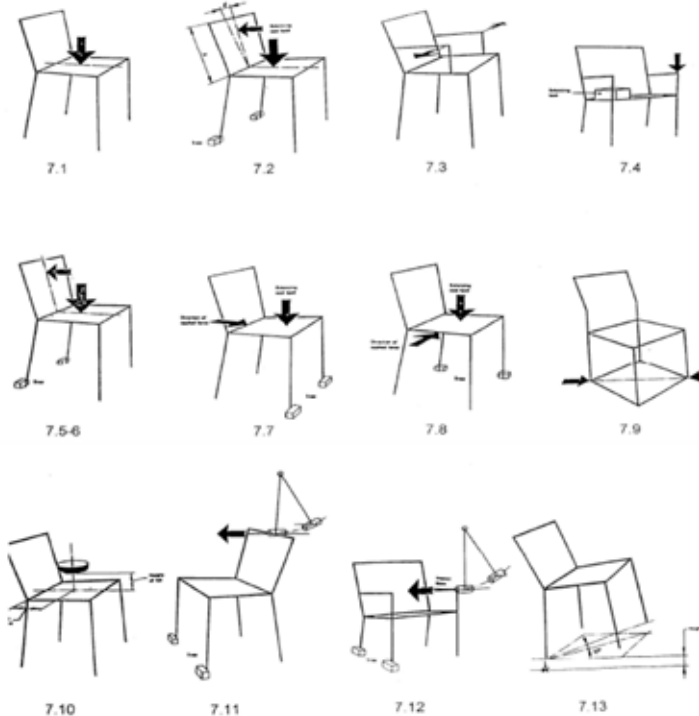
### 3 Muotopuristeiden lujuusvaatimukset

Muotopuristeille sinällään ei ole olemassa mitään vaatimuksia lujuuden tai kosteudenkestävyyden suhteen. Vaatimukset riippuvat täysin tuotteen käyttökohteesta. Lähes kaikki termolevyn mahdollisista käyttösovelluksista vaativat materiaalin joidenkin ominaisuuksien tuntemista. Ominaisuuksien tunteminen voi olla edellytyksenä tuotesuunnittelulle, mutta se voi myös huomattavasti helpottaa sitä.

Termolevyn ominaisuuksia käsiteltäessä voidaan tarkastella esimerkiksi istuinhuonekalujen standardin ISO 7173 mukaisia vaatimuksia. Kyseinen standardi määrittelee muun muassa istuinosan ja selkänöjan kestävyysvaatimukset dynaamisessa ja staattisessa rasituksessa sekä iskumaisessa rasituksessa. Dynaaminen rasitus kuvaa paremmin tässä tapauksessa termolevyn lujuutta, kun taas staattinen kestävyys levyn muodonpysyvyyttä. Käyttökohteesta riippuen voidaan termolevyn ominaisuuksia verrata myös muille puulevyille, kuten vanerille ja lastulevyille, määriteltäviin standardeihin.

#### 3.1 Mekaaninen kestävyys

Mekaanisen kestävyuden vaatimukset voivat olla hyvinkin erilaisia käyttökohteesta ja sovelluksesta riippuen. Jos termolevyä esimerkiksi käytetään pelkästään dekoratiivisessa tarkoituksessa, kuten esimerkiksi seinäpaneelissa tai koriste-esineessä, ei lujuusvaatimuksia luonnollisestikaan ole. Jos levyä taas käytetään vaikkapa tuolin selkänöjassa tai istuimessa, tulee lujuuden olla käytettävien standardien mukainen.



KUVIO 1. Standardin ISO 7173 mukaisia testejä istuinhuonekalulle (ISO 7173 1989, 4–12)

Huonekaluja testataan niiden mahdollisimman hyvän käyttökestävyyden takaamiseksi. Lujuiden testaamiseksi huonekaluille tehdään erilaisia pudotus- ja iskutestejä sekä staattisia ja dynaamisia rasiustestejä (KUVIO 1). Pudotus- ja iskutestien tarkoituksena on selvittää huonekalujen kestävyys kaatumistilanteessa sekä silloin kun niiden päälle pudotetaan jokin tietyn painoinen esine. Iskutesteissä käytetään iskuvasaraa tai iskutestipunnusta. Staattisilla testeillä voidaan tutkia huonekalun kestävyyttä, kun siihen kohdistuu hetkellisesti suuria rasiuksia, rasiuskertoja on tällöin yleensä yhdestä kymmeneen. Dynaamiset testit taas ovat pitkäkestoisempia testejä, joissa kuormituskertoja voi olla kymmeniä- tai jopa satojatuhansia ja voimat vastaavat noin satakiloisen ihmisen aiheuttamaa kuormitusta. (ISO 7173 1989, 4–12)

Testi	Kuormitus	Testi tasot				
		1	2	3	4	5
7.1 Istuimen staattinen kuormitus	10 * 10 s voima, N	-	1 100	1 300	1600	2 000
7.2 Selkänöjan staattinen kuormitus	10 * 10 s voima, N	-	410	560	760	760
Istuimen kuormitus		-	1 100	1 300	1 600	2 000
7.3 Käsinojen staattinen kuormitus sivulle	10 * 10 s voima, N	200	300	400	600	900
7.4 Käsinojen staattinen kuormitus alas	10 * 10 s voima, N	300	700	800	900	1 000
7.5-6 Selkänöjan ja istuimen dynaaminen kuormitus	toistot selkänöja 330 N istuin 950 N	12 500	25 000	50 000	100 000	200 000
7.7 Jalkojen staattinen kuormitus takaa	10 * 10 s voima, N	300	375	500	620	760
Istuimen kuormitus		780	780	1 000	1 250	1 800
7.8 Jalkojen staattinen kuormitus sivusta	10 * 10 s voima, N	250	300	390	490	760
Istuimen korkeus		780	780	1 000	1 250	1 800
7.9 Diagonaalinen kuormitus	10 * 10 s voima, N	125	250	375	500	620
7.10 Istuimen iskutesti	10 kertaa pudotuskorkeus, mm	-	140	180	240	300
7.11 Selkänöjan iskutesti	10 kertaa iskukulma	20°	28°	38°	48°	68°
7.12 Käsinojan iskutesti	10 kertaa iskukulma	20°	28°	38°	48°	68°
7.13 Pudotustesti - tuoli pinottava sekä jalkojen mitat yli 200 mm - tuoli ei-pinottava sekä jalkojen mitat yli 200 mm - tuolin jalkojen mitat alle 200 mm	Pudotuskorkeus, mm 10 kertaa etu- ja takajalalle 10° kulmassa	15	300	450	600	900
		-	150	200	300	450
		-	75	100	150	250

TAULUKKO 1. Standardin ISO 7173 mukaisia testejä istuinhuonekalulle (ISO 7173 1989, 18)

Taulukkoa 1 tarkastelemalla huomataan, että esimerkiksi tason 5 testi sisältää siis muun muassa istuimen staattisen kuormituksen 2000 N:n voimalla, kymmenellä kymmenen sekunnin

toistolla sekä selkänöjan ja istuimen dynaamisen kuormituksen selkänöjaan 330 N:n ja istuimeen 950 N:n voimalla ja 200 000 kuormituskerralla. (ISO 7173 1989, 18)

Muiden puulevyjen, kuten vanerin ja lastulevyn, olemassa olevia standardeja voidaan joissakin tapauksissa soveltaa myös termolevyyn. Esimerkki tällaisesta standardista on puulevyjen taivutuskimmomoduulin ja taivutuslujuuden määrittäminen SFS-EN 310.

### **3.2 Muodon pysyvyys**

Muodon pysyvyydellä tarkoitetaan materiaalin, tässä tapauksessa termolevyn, kykyä palautua siihen kohdistetusta rasituksesta aiheutuneesta muodon muutoksesta. Muodon pysyvyydellä tarkoitetaan myös materiaalin muodon pysymistä muuttumattomana olosuhteiden muuttumisesta huolimatta.

Puusta valmistetuilla tuotteilla ja eritoten muotopuristeilla tämä on kohtalaisen suuri haaste puun hygroskooppisen luonteen takia. Muodon pysyvyydellä ei ole muita vaatimuksia kuin se, että se on riittävä kuhunkin käyttökohteeseen. Jälleen esimerkkinä tuolin selkänöja, joka ei saa vääntyillä liikaa normaalin ilmankosteuden vaihtelun aiheuttamana.

### **3.3 Kosteuden kestävyys**

Yleensä muotopuristeita ei käytetä kosteudenkestoa vaativissa kohteissa. Periaatteessa kuitenkin tällaisia kohteita voi olla esimerkiksi kylpyhuoneissa tai keittiöissä. Termolevyille voidaan osittain soveltaa vanerin kosteudenkestävyydelle määritettyä standardia. Tosin vanerin käyttökohteet voivat olla huomattavasti alttiimpia kosteuden vaikutuksille kuin termolevyn, joten suoraa vertailua ei kannata tehdä.

## 4 Muotopuristeiden lujuuteen vaikuttavat tekijät

Perinteisten muotopuristeiden lujuuteen ja kestävyysvaikutteisiin vaikuttavia tekijöitä ovat käytettyjen viilujen ominaisuudet, käytetyn liiman ominaisuudet, puristeen rakenne sekä viilujen välisten liimasaumojen ominaisuudet ja määrä. Tietenkin myös viilujen ja liiman määrä vaikuttaa puristeen eri ominaisuuksiin, kuten mekaaniseen kestävyysvaikutteeseen. Muotopuristeen rakenteella on suuri merkitys sen muodonpysyvyyden kannalta. Rakenteen pitää olla symmetrinen puristeen parhaan muodonpysyvyyden saavuttamiseksi. Muodonpysyvyyden lisäksi mekaaniseen kestävyysvaikutteeseen vaikuttaa viilujen paksuudet ja syynsuunnat.

Termolevyn lujuuteen ja kestävyysvaikutteisiin vaikuttavat kutakuinkin samat tekijät kuin perinteisillä muotopuristeilla. Erona perinteisiin puristeisiin on kuitenkin se, että ydinmateriaalina on viilujen sijasta ABS-levy ja lujuutta lisääviä liimasaumoja on yleensä vain kaksi. Muovilevy on viiluihin verrattuna homogeenisempi ja sen ominaisuudet ovat lähestulkoon samat molempiin suuntiin, kun taas viilujen syynsuunnalla on suuri merkitys perinteisessä muotopuristeessa. Tämän vuoksi erot termolevyn lujuuksessa eri suuntiin johtuvat pintaviilujen syynsuunnasta.

### 4.1 Mekaaninen kestävyys

Mekaanisen kestävyysvaikutteisiin tärkeimpiä mittareita levytuotteessa ovat taivutuslujuus, taivutusjäykkyys ja kimmomoduuli. Levyn tärkeimmät ominaisuudet riippuvat tietysti käyttökohteesta, mutta esimerkiksi tuolin istuimella tai selkänäjällä nämä ovat kriittisempiä ominaisuuksia kuin vaikkapa puristuslujuus. Tämytyypisillä tuotteilla huomioitava ominaisuus on myös pinnan iskunkestävyys, mutta sitä ei toistaiseksi tutkita erikseen termolevyllä.

Näihin ominaisuuksiin levytuotteilla vaikuttaa levyssä käytetyt materiaalit, tässä tapauksessa pintaviilut ja ydinmuovi, sekä levyn rakenne. Arvioitaessa termolevyn lujuusominaisuuksia täytyy käsitellä erikseen pintaviilujen, eli puumateriaalin sekä ydinmateriaalin ominaisuuksia. Lisäksi täytyy tarkastella liimasaumojen vaikutusta kokonaistulokseen. Vanerin ja muiden viiluvälikomponenttien taivutuslujuus on moninkertainen vastaavanpaksuiseen kokopuuhun verrattuna juuri liimasaumojen johdosta. Tarkasteltaessa tavallista ristiinliimattua koivuvaneria voidaan todeta, että periaatteessa mitä enemmän liimasaumoja on, sitä enemmän sillä on taivutuslujuutta. Termolevy on kuitenkin melko lailla erityyppinen, koska sen liimasaumat muodostuvat kahden täysin erilaisen materiaalin välille, jonka lisäksi käytetty liima on hyvin erityyppinen kuin vanerilla. Liiman ominaisuuksista elastisuus on merkittävin tässä tapauksessa. Lisäksi termolevyn lujuusominaisuudet vaihtelevat riippuen testaussuunnasta, silloin kun pintamateriaalina käytetään tavallista koivuviilua. Poikkisyin testattaessa pintaviilut vaikuttavat huomattavasti vähemmän ominaisuuksiin kuin syynsuuntaan testattaessa.

#### 4.1.1 Pintaviilut

Termolevyä kehitettäessä käytettiin pääasiassa sorvattua koivuviilua. Viilua voidaan tehdä myös leikkaamalla sitä tukista, mutta huonekalu- ja vaneriteollisuudessa käytettyä koivuviilua tehdään pääasiassa spiraalimaisesti sorvaamalla. Viilun ominaisuudet riippuvat hieman juuri valmistustavasta, koska leikkaussuunta vaihtelee käytetystä menetelmästä riippuen. Viilua leikatessa leikkaussuunta vaihtelee tangentiaalisen ja säteensuuntaisen välillä. Viilua sorvattaessa muodostuva

leikkauspinta on vuosilustojen mukainen eli täysin tangentin suuntainen. Oli leikkauspinta sitten tangentin tai säteen suuntainen, on taivutuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa lähes olematon 0,6 mm paksun viulun ollessa kyseessä. Enemmän merkitystä on taivutuslujuudella syynsuuntaan.

#### 4.1.2 Ydinmateriaali

Muovien yleisiä ominaisuuksia ovat muun muassa niiden keveys ja lujuus suhteessa niiden painoon. Huonoista ominaisuuksista mainittakoon muovien mekaanisten ominaisuuksien riippuvuus käyttölämpötilasta sekä viruminen. Termolevyssä käytettävä ABS on kestonmuovi eli se koostuu suorista ja haarautuneista polymeeriketjuista. Ketjut ovat sitoutuneet toisiinsa heikoilla sekundäärisidoksilla, ja lämmitettäessä ne tulevat liikkuviksi ja näin ollen muovi pehmenee. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2002, 20–21.)

#### 4.1.3 Liimasauma

Kuten vanerilla, myös termolevyllä suuren osuuden levyn kokonaiskestävyydestä muodostaa liimasaumat. Se, kuinka paljon liimasaumat vahvistavat levyn rakennetta, riippuu liiman tartunnasta sekä muoviin että pintaviiluun. Lisäksi liiman ominaisuudet, kuten elastisuus, vaikuttavat lopputulokseen.

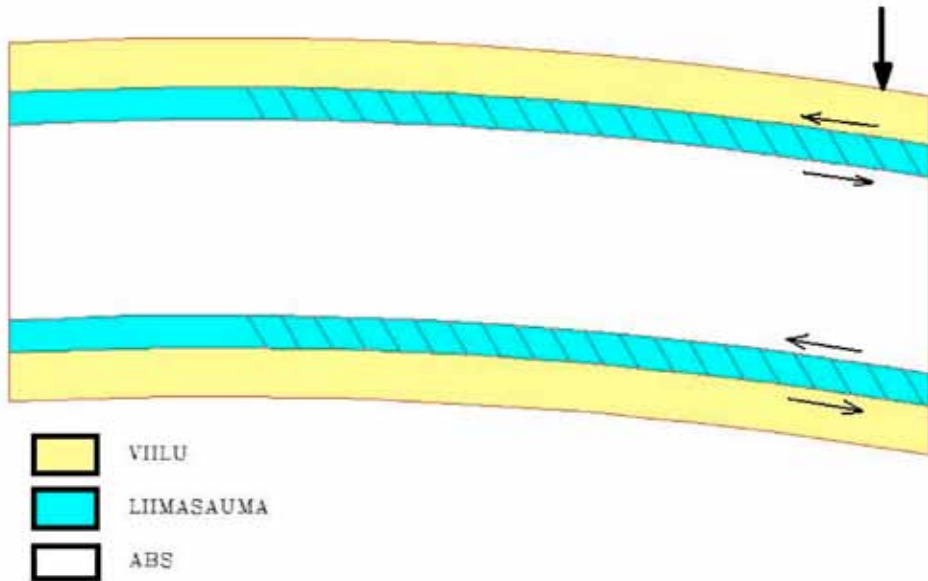
Hyvän tartunnan aikaansaamiseksi puuhun tulee liimasauman ja liimaustapahtuman täyttää tiettyjä vaatimuksia. Liimauksen kannalta kriittisiä asioita ovat muun muassa seuraavat:

- Liiman tulee kostuttaa liimattava puupinta riittävän hyvin.
  - Puun, tässä tapauksessa viulun, kosteuden tulee olla sopiva liiman imeytyvyyden kannalta.
  - Puristuspaineen tulee olla riittävä.
  - Puristuslämpötilan tulee olla riittävä.
- (Koponen 1990, 27.)

Muovinliimauksessa tulee ottaa huomioon liimattavan muovin erikoisominaisuudet. ABS on kestonmuovi, jonka liimausominaisuuksiin vaikuttavat muovilajin ohella muovin koostumus, täyteaineet ja pinnanlaatu. Muovin ja puun liimausta on termolevyn kannalta käsitelty tarkemmin Askon Sieväsen opinnäytetyössä. (Kurri ym. 2002, 180.)

Liiman ja sitä kautta liimasauman elastisuus on merkittävä tekijä levyn taivutuslujuuden ja kimmokertoimen kannalta. Elastinen liimasauma antaa liimattujen pintojen liikkua toisiinsa nähden (KUVIO 2). Pinnat voivat liikkua pitkittäin toisiinsa nähden, mitä ne pääasiassa tekevätkin, kun levyä taivutetaan kohtisuoraan pintaansa nähden. Pinnat voivat myös liikkua siten, että niiden etäisyys toisistaan kasvaa tai pienenee. Liimasauman ollessa elastinen sallii se siis enemmän taivutusta levyille eikä suuresti jäykistä levyä. Toisaalta se taas saattaa edesauttaa liimasauman kestävyttä, jos levyä käytetään kohteessa, jossa sen tarvitsee jatkuvasti taipua suuntaan taikka toiseen. Tämä johtuu siitä, että rasitus liimasauman rajapintoihin on vähäisempi. Tällaisesta kohteesta esimerkkinä on tuolin selkänoja. Jos taas liimasauma ei ole elastinen, jäykistä se levyn rakennetta enemmän, mutta toisaalta saattaa aiheuttaa liimasauman rajapinnoille enemmän rasitusta. Jos rasitus on liian suuri verrattuna liiman tartuntaan, saattaa rajapinnassa tapahtua jonkinasteisia murtumia.

Termolevyssä käytettävien liimojen elastisista ominaisuuksista ei ole tutkimustietoa, mutta niiden elastisuutta voidaan arvioida silmämääräisesti. Lisäksi erilaisten liimasaumojen vaikutusta levyn ominaisuuksiin on suhteellisen helppo vertailla levyn muiden osien ollessa samoja. Kun levyissä käytetään samaa ydinmateriaalia ja samoja pintaviiluja, muodostuu ominaisuuksiin eroja lähinnä liimasaumojen ansiosta.



KUVIO 2. Rasitukset liimasaumassa

## 4.2 Muodon pysyvyys

Kun materiaalia rasitetaan staattisesti, voi siinä tapahtua muodonmuutoksia. Tällaiset muodonmuutokset aiheutuvat yleensä virumasta. Viruminen ilmiönä tarkoittaa staattisen kuormituksen aiheuttamaa ajasta riippuvaista pysyvää muodonmuutosta (Kurri ym. 2002, 57). Muodon pysyvyyden kannalta avainasemassa on siis termolevyssä käytettävien materiaalien alttius virumiselle.

Muodon pysyvyydellä voidaan tarkoittaa myös muotopuristeiden pysyvyyttä halutussa muodossa. Tähän vaikuttaa lukuiset eri tekijät, kuten ilmankosteuden vaihtelun aiheuttamat muutokset viilussa sekä lämpötilan muutosten aiheuttamat muutokset muovin ja viilun pituuksissa ja tilavuuksissa.

### 4.2.1 Viilun ominaisuudet

Perinteisillä muotopuristeilla muodon pysyvyyteen vaikuttaa puun hygroskooppisuus ja sitä kautta viilujen syysuunnat. Hygroskooppisuus tarkoittaa puun kykyä imeä vettä ja vesihöyryä

itseensä. Puu siis imee itseensä myös ympäröivän ilman vesihöyryä ja näin ollen sen kosteus muuttuu ympäröivistä olosuhteista riippuen. (Kärkkäinen 2007, 177.) Kosteuden vaihteluiden vuoksi puussa tapahtuu kosteuselämistä eli turpoamista ja kutistumista. Kosteuseläminen on anisotrooppista eli puun turpoaminen ja kutistuminen on erisuuruista säteen, tangentin ja pitiuuden suunnassa. (Kärkkäinen 2007, 195.) Muotopuristeessa viilut ovat yleensä periaatteessa ristikkäin eli vuorotellen poikkisyyriin toisiinsa nähden. Tämä ei kuitenkaan usein täysin toteudu ja viilujen syysuunta saattaa poiketa 90°:n kulmasta, usein huonolaatuisen viilun epäsäännöllisestä syrakenteen vuoksi. Myös viilujen, joilla on erilainen kosteus, käyttö aiheuttaa ongelmia kun kosteus puristeessa tasaantuu. Tästä johtuen puristeisiin usein muodostuu jännityksiä, jotka aiheuttavat puristeen kieroontumista ja vääntymistä. (Sandberg 2009, 12-13.) Termolevyllä voi näistä syistä johtuen ongelmia siis muodostua, jos pintaviilujen syysuunnat vaihtelevat toisiinsa nähden. Muoviin ilmankosteuden muuttuminen ei luonnollisestikaan vaikuta.

Jos puuta kuormitetaan pitkäaikaisesti, käyttäytyy se kuten plastinen materiaali, eli se saa pyyviä muodonmuutoksia. Toisin sanoen pitkäaikainen kuormitus aiheuttaa puussa virumaa. (Kärkkäinen 2007, 216.)

#### 4.2.2 Ydinmateriaalin ominaisuudet

Muovien ominaisuuksista eniten muodon pysyvyyteen vaikuttava seikka on niiden alttius virumiselle. Viruminen on kestonuoveilla huomattavasti voimakkaampaa kuin kertamuoveilla. Kuten muutkin muovien ominaisuudet, myös virumisnopeus on riippuvainen vallitsevasta lämpötilasta. Huoneenlämpötilassa muovin virumista tapahtuu jo pienillä kimmorajan alittavilla jännityksen arvoilla. (Kurri ym. 2002, 57.)

#### 4.2.3 Liiman ominaisuudet

Joillekin liimoille ominaista voi olla muovin tavoin niiden muodostaman liimasauman viruminen. Tällainen ominaisuus antaa liimattujen kappaleiden liukua toisiinsa nähden pitkäaikaisen rasituksen aiheuttamana. Jos liimasauma yhdistää materiaaleja, jotka vastustavat virumista, voi kappaleen muoto palata entiselleen liimasauman virumisesta huolimatta. Tässä tapauksessa kuitenkin, kun termolevy koostuu muovista ja puusta, jotka molemmat ovat virumalle alttiita materiaaleja, tapahtuu rakennekokonaisuuden virumista.

#### 4.2.4 Jännitykset muovin ja pintaviilun välillä

Puulaji	Kuivatiheys kg/m <sup>3</sup>	Lämpötilakerroin *10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	
		Tangentin suunainen	Säteen suuntainen
Kuusi	377	47,0	35,0
Mänty	429	35,0	26,1
Tammi	622	47,7	36,4
Saarni	656	41,7	38,6
Pyökki	749	49,7	44,7

TAULUKKO 2. Eräiden puulajien lämpötilakertoimet (Kärkkäinen 2007, 242)

Termolevy on rakenteensa puolesta siinä mielessä hankala, että se koostuu kahdesta hyvin eri tyyppisestä materiaalista. Yksi suuri ero ABS-muovin ja puun välillä on niiden termiset ominaisuudet. Puulla lämpölaajeneminen on hyvin pientä, kuivan puun lämpötilakerroin on käytännössä vakio sellaisissa lämpötiloissa, jotka puun käyttö sallii. (Kärkkäinen 2007, 242.)

Taulukossa kaksi on esitettyinä joidenkin puulajien lämpötilakertoimia. Vaikka taulukossa ei ole koivulle omaa lämpötilakerrointa, voidaan olettaa koivun arvojen olevan lähellä muita lehtipuita. Vertailuarvoksi voidaan siis ottaa esimerkiksi pyökin lämpötilakertoimet  $49,7 \cdot 10^{-6}$  K-1 tangentin suuntaan ja  $44,7 \cdot 10^{-6}$  K-1 säteen suuntaan. (Kärkkäinen 2007, 242.)

ABS-muovin lämpötilakerroin on  $7-11 \cdot 10^{-5}$  K-1 lämpötilan ollessa 20-50 °C. (Seppälä 2005, 106-107). Termolevyssä ydinmateriaalin lämpötilakerroin on siis noin kaksinkertainen verrattuna pintaviulun vastaavaan. Tämä aiheuttaa ongelmia puristeen muodon pysyvyyden kannalta. Puristettaessa muovin lämpötila on korkea ja viilujen lämpötila alhainen ja tämä aiheuttaa sen, että niiden välinen liimasauma muodostuu lämmön vaikutuksesta laajentuneen muovin ja kutakuinkin normaalimitoissa olevien viilujen välille. Kun puriste jäähdytetään, vetäytyy muovi takaisin alkuperäisiin mittoihinsa viilujen pysyessä edelleen samoissa mitoissaan. Tämän vuoksi ydinmuovin ja pintaviilujen välille muodostuu jännityksiä, mikä aiheuttaa puristeiden vääntyilyä.

### 4.3 Kosteudenkestävyys

Kosteudenkestävyys on monessa käyttökohteessa vanerille hyvin tärkeä ominaisuus. Vanerilla kosteudenkestävyyttä pystytään parantamaan käyttämällä kosteudenkestävää liimaa, kuten fenolihartsia. Merkittävin termolevyn kosteudenkestävyyttä rajoittava tekijä kehityksen tässä vaiheessa on levyn valmistuksessa käytetyt liimat. Akvapur SM 1200 on vesiohenteinen dispersioliima, jonka soveltuvuus kosteudenkestävyyttä vaativissa kohteissa on heikko. 3M Scotch-Weld 30 puolestaan on vesiohenteinen kontaktiliima, joka ei myöskään varsinaisesti ole kosteudenkestävä. Termolevyn liimasaumat eivät siis periaatteessa ole kosteudenkestäviä, mikä tekee sen käytöstä kosteissa olosuhteissa hankalaa. Liimojen kestävyys kosteissa olosuhteissa täytyy kuitenkin testata.

Termolevyn kehityksessä haetaan menetelmää myös viilujen käsittelyyn paremmin vettä ja kosteutta hylkiväksi. Tällä hetkellä yleisin puun kyllästämistapa on ylipainekyllästys useilla erilaisilla aineilla. Termolevyssä käytettävien viilujen kyllästämiseen ylipainemenetelmällä tutkitaan parhaita mahdollisia aineita.

Termolevyn todennäköisin käyttökohde on jokin sisustuksellinen, kuten huonekalu tai koriste-esine. Tässä tapauksessa kosteudenkestävyydeltä ei mitään suuria vaatimuksia olisikaan. Käyttö esimerkiksi kylpyhuoneessa tai keittiössä olisi mahdollisesti vaativin kohde. Viilujen ja liimasauman kestävyden lisäksi tärkeäksi kriteeriksi muodostuisi myös pinnankäsittelyn kosteudenkestävyys. Termolevylle ei ole vielä määritetty parasta pinnankäsittelymenetelmää eikä -ainetta. Yleisesti käytössä olevista lakoista ja maaleista sekä niiden kosteudenkestävyyssominaisuuksista on kuitenkin paljon tietoa ja tärkeämmäksi oikeaa menetelmää ja ainetta haettaessa muodostuukin aineen soveltuvuus puun ja muovin käsittelyyn.

## 5 Termomuovattava puulevy

### 5.1 Rakenne

Termomuovattava puulevy muodostuu ydinmateriaalista ja pintaviiluista tai pintanahkoista. Levyn ydinmateriaali on 2–4 mm paksua ABS-muovia eli akrylinitriiliibutadienistyreeniä. Pintaviilut ja nahkat voidaan liimata ydinmateriaaliin kolmella eri liimalla. Käytettävät liimat ovat Kiilto Akvapur SM 1200,

3M Scotch-Weld 30 sekä Stora Enson Imprex Novox -pinnoituskalvo.

Termolevy voidaan valmistaa myös siten, että se koostuu kahdesta yhtä paksusta toiselta puolelta viilutetusta ydinmateriaalilevystä, jotka on liimattu yhteen. Tämänkaltaisen rakenteen helpottaisi termolevystä valmistettujen muotopuristeiden tuotantoprosessia, koska tällöin ydinmateriaali voitaisiin viiluttaa suorana levynä ja viilulle saataisiin paras mahdollinen tartunta. Itse muotopuristuksessa voitaisiin siten keskittyä muodon luomiseen. Muovilevyjen liimaus toisiinsa voitaisiin tehdä tavallisilla muoviliimoilla, mutta tämä kuitenkin käytännössä estäisi aihiolevyjen lämmittämisen. Levyjen liimausmenetelmäksi onkin testattu kahta muuta vaihtoehtoa, jotka voisivat helpottaa tämän rakennevaihtoehdon toteuttamista.

ABS-muovia voidaan liuottaa asetonilla, ja kun levyjen pinnat käsitellään asetonilla, ne pehmenevät siten, että ne voidaan puristamalla liittää yhteen. Tässä ratkaisussa on kuitenkin se ongelma, että lopputuotteeseen jää jonkin verran liuotetta.

Toinen valmistusta helpottava ratkaisu on käyttää kalvon muodossa olevaa sulateliimaa. Kalvo voidaan puristustilanteessa asettaa levyjen väliin kiinteänä ja se sulaessaan lämmön vaikutuksesta kiinnittää levyt toisiinsa. Tätä menetelmää on testattu PE EVA -terpolymeerikalvolla. Tähän tarkoitukseen on olemassa myös polyuretaaniliimakalvoja.

#### 5.1.1 Ydinmateriaali

Ydinmateriaalina käytettävä ABS luokitellaan tekniseksi muoviksi, ja sillä on hyvä työstettävyys, pinnanlaatu sekä lämpömuovattavuus. ABS on kestonmuovi, eli sitä lämmitettäessä se pehmenee uudelleen muovattavaksi. Materiaalin lämmönkestävyys on noin 90°C, eli sitä suuremmissa lämpötiloissa se muuttuu elastiseksi. (Kurri ym. 2002, 21.)

ABS:stä valmistetaan paljon muun muassa autojen näkyviä muoviosia, pienveneitä, katsomoistuimia sekä kodinkoneiden ja kaukosäätimien kuoria. Myös vesihanojen sekoittimet ja kahvat sekä suihkupäät ovat usein kromattua ABS:ää. ABS:ää on saatavana luonnonvärisenä, mustana, valkoisena sekä värillisenä. Luonnonvärinen on edullisinta, musta ja valkoinen hieman kalliimpaa ja värillinen kalleinta. (Järvinen 2008, 136.)

#### 5.1.2 Pintaviilut ja -nahkat

Termolevyn pintaviiluna voidaan käyttää kaikkia huonekaluvalmistukseen tarkoitettuja viiluja. Tällaisia viiluja on esimerkiksi sorvattu 0,6 mm paksu koivuviilu sekä leikatut 0,6 mm paksut

tammi- ja pyökkiviilut. Kehitysvaiheessa eniten käytetty viilu oli koivuviilu. Pintamateriaalina voidaan käyttää myös niin sanottuja pintanahkoja, eli esimerkiksi 3 ply- tai 2 ply -ohutviiluvanerina. Tavallisten viilujen ominaisuudet, erityisesti murtovenymän osalta, eivät kuitenkaan useinkaan riitä toteutettaessa jyrkkiä 3D-muotoja. Viilujen murtovenymä on liian pieni verrattuna toteutettavan muodon aiheuttamaan pintaviilun venymään, mikä johtaa siihen, että viilu repeää jostain kriittisestä kohdasta. Tämänkaltaista pintaviilujen repeilyä voidaan estää parantamalla viilun murtovenymää. Menetelmiä murtovenymän parantamiseksi ovat esimerkiksi viilun kasteleminen, viilun kalanterointi, shokkikäsittely ja viilun vahvistaminen lasikuidulla tai fleecekankaalla. Näitä menetelmiä ja niillä saavutettuja tuloksia on käsitelty Antti Patrikaisen opinnäytetyössä.

### 5.1.3 Liimat

Pintaviilujen ja ydinmateriaalin liimaamiseen on valittu kolme tarkoitukseen parhaiten sopivaa liimaa. Liimat ovat kaikki erityyppisiä, ja näin ollen niillä on kaikilla erilaiset ominaisuudet, niin käytettävyyden kuin toimivuudenkin suhteen. Käytettävät liimat ovat dispersioliima Akvapur SM 1200, kontaktiliima 3M Scotch-Weld 30 ja vanerin pinnoituksessa käytetty Stora Enson valmistama fenolihartsilla impregnoitu pinnoituskalvo Imprex Novox. Liimoilla voidaan tehdä joko niin sanottuja märkä- tai kuivaliimauksia. Märkäliimaus tarkoittaa, että aihion liimasaumamat muodostetaan vasta muotoon puristettaessa. Tämä tarkoittaa sitä, että viiluihin levitetty liima aktivoidaan uudelleen vasta puristettaessa. Tämä antaa viilujen liukua paremmin muovin pinnalla, mikä edesauttaa viilujen ehjänä pysymistä. Kuivaliimauksessa aihion liimasaumamat muodostettu aikaisemmin tasapuristimessa liimaamalla. Muotoon puristettaessa valmis levy lämmitetään ja liimasauama aktivoidaan uudestaan elastiseksi ja aihio voidaan puristaa muotoonsa kylmässä muotissa. Käytettäviä liimoja ja niiden valintaan johtaneita tekijöitä on käsitelty tarkemmin Asko Sieväsen opinnäytetyössä.

Akvapur SM 1200 on alun perin MDF:n ja muiden puupohjaisten, jyrskyjen levyaihioiden PVC-foliopinnoitukseen kehitetty vesiohenteinen dispersioliima. Liima toimii käytännössä siten, että sitä levitetään viiluun tasainen ja peittävä kerros, joka annetaan kuivua huoneenlämpötilassa kirkkaaksi. Kuivumisaika on noin 30–60 minuuttia, jonka jälkeen liima tulee aktivoida uudelleen 72 tunnin kuluessa. Aktivoituakseen liima tarvitsee vähintään +70°C:n lämpötilan. Liiman puristus aika on vähintään noin 4–5 minuuttia. Liimalle sopivaksi puristus paineeksi on määritetty noin 2,0 N/mm<sup>2</sup>. Riittävien puristusolosuhteiden saavuttamiseksi alipainepuristimessa tulee muovi esikuumentaa uunissa tai infrapunalämmittimen alla 130°C:n lämpötilaan ja lämmitystä tulee jatkaa infrapunalämmittimellä aihion ollessa puristumassa. Riittävän puristus- ja lämmitysajan jälkeen tulee aihio jäädyttää puristuksessa alle 40°C:n lämpötilaan. Akvapur SM 1200 -liima soveltuu vain niin sanottuun märkäliimaukseen, koska se ei kestä uudelleen lämmittämistä. (Kiilto tuotetietokanta 2010.)

3M Scotch-Weld 30 on vesiohenteinen kontaktiliima. Liimaa levitetään muoviin sekä viiluun tasainen peittävä kerros, jonka annetaan kuivua huoneenlämpötilassa kirkkaaksi. Liima voidaan levittää myös pelkästään viiluun; tällöin on kuitenkin varmistettava riittävästä levitysmäärästä sekä riittävästä liiman kuivumisesta. Kuivumisaika on noin 30 minuuttia, jonka jälkeen liima tulee aktivoida uudestaan neljän tunnin kuluessa. Aktivoituakseen liima tarvitsee puristettaessa noin 90°C:n lämpötilan ja 0,5–1 minuutin puristusajan. Sopiva puristus paine on noin 2,0 N/mm<sup>2</sup>. Akvapurin tapaan tarvitsee aihio jäädyttää puristuksessa alle 40°C:n lämpötilaan. Scotch-

Weld-liimalla voidaan tehdä märkäpuristuksia, mikä on kuitenkin vaikeaa viilujen tarrautuessa helposti muoviin kiinni jo ennen puristusta. Tällöin viilu jää helposti kurttuun eikä levity tasaisesti muovin päälle. Scotch-Weld-liima kestää uudelleen lämmityksen ja valmis levy voidaan lämmittää uudelleen elastiseksi esimerkiksi uunissa 130°C:n lämpötilassa ja puristaa tämän jälkeen muotoonsa kylmässä muotissa. Tämä aiheuttaa usein kuitenkin viulun halkeilua, kun viulut eivät toisiinsa nähden pääse liikkumaan riittävästi. Ratkaisuna tähän ongelmaan on se, että liimataan viulut toispuolisesti kahteen ohuempaan muovilevyyn. Nämä levyt voidaan lämmittää uudelleen elastiseksi uunissa ja niiden väliin voidaan puristettaessa asettaa jollakin muulla liimalla liimoitettu muovikalvo. Näin ohuet levyt pääsevät liukumaan toisiinsa nähden puristettaessa ja viilujen halkeilu vähenee. (3M tuotetiedot 2010.)

Stora-Enson kehittämä Imprex Novox -pinnoituskalvo on vanerin pinnoituksessa käytettävä puolivalmiste. Se on imukykyinen paperi, joka on impregnoitu erikoiskertamuovilla. Termolevyä valmistettaessa sitä voidaan käyttää ABS-levyn ja viulun välissä. Kalvo tarvitsee korkean, noin 150–160°C:n lämpötilan tarttuakseen muoviin. Näin korkea lämpötila aiheuttaa muovin kasaanpuristumisen, ellei puristuspaksuutta rajoiteta erillisillä mekaanisilla rajoittimilla. Rajoittimet voivat olla esimerkiksi alumiinikehykset, jotka eivät lämmön vaikutuksesta painu kasaan. Imprex Novox -kalvolla liimattaessa puristusaika on noin 4–7 minuuttia. Sopiva puristusaine on noin 2,0 N/mm<sup>2</sup>. Myös tässä tapauksessa tulee liimattu levy jäädyttää puristuksessa alle 40°C:n lämpötilaan. 3M Scotch-Weldin tapaan Imprex Novox sallii valmiin levyn uudelleenlämmittämisen. Näin ollen uudelleen elastiseksi lämmitetty suora levy voidaan puristaa muotoonsa esimerkiksi kylmässä muotissa. Imprex Novox -kalvon muoviin tarttuvuuden kanssa oli kuitenkin jonkin verran ongelmia, joten sillä liimatut levyt jätettiin lujuustutkimuksista pois. (Imprex Films 2010).

## 5.2 Valmistus

Termolevyn valmistamiseen tarvitaan ydinmateriaalin, pintaviilujen ja liiman lisäksi ulkoinen lämpölähte sekä jonkinlainen puristin. Lämpöä tarvitaan sekä liiman toimivuuden ja tarttuvuuden takaamiseksi että ydinmateriaalin muuttamiseksi elastiseksi. Ulkoisena lämpölähteenä voidaan käyttää esimerkiksi lämmitysunia tai infrapunalämmitintä. Suoria testilevyjä valmistettaessa voidaan käyttää myös tasopuristimen lämpölevyjä. Testilevyjä valmistettaessa käytettiin myös perinteistä kuumailmapuhallinta.

Valmistettaessa suoria levyjä puristimena voidaan käyttää tasopuristinta. Valmistettaessa muotopuristeita puristimena voidaan puolestaan käyttää joko uros- ja naarasmuotilla varustettua tasopuristinta tai tarkoitusta varten valmistettua alipainepuristinta. Alipainepuristin on tässä tapauksessa siinä mielessä helpompi käyttää, että siinä tarvitaan vain urosmuottia. Näin ollen erilaisten muotojen testaaminen helpottuu huomattavasti. Projektia varten rakennetussa alipainepuristimessa (KUVIO 3) on silikonimatto, joka imukoteloon muodostettavan alipaineen avulla imetään urosmuottiin kiinni. Urosmuotin ja silikonimatton väliin jäävä puristeaihiot muotoutuu näin ollen muotin mukaiseksi. Puriste vaatii lämmityksen jälkeen myös jäädytyksen, mikä pitää tapahtua puristuksen aikana. Jäädytys hoidettiin talviaikaan lumella ja jäällä täytetyllä jätesäkillä. Myöhemmin käyttöön otettiin nestepussi, joka täytettiin pakkasnesteellä ja joka jäädytettiin pakastimessa -20°C:ksi.

Esimerkiksi TUISKU-vadin puriste tehtiin Akvapur SM 1200 -liimaa käyttäen seuraavalla tavalla:

- viilujen leikkaus ja liimoitus vähintään 30 minuuttia ennen puristamista
- muovin sahaus aihiomittaan
- muovin pinnan puhdistaminen
- muovin esilämmitys uunissa noin 150–160 °C:n lämpötilaan
- muovin ja viilujen siirto alipainepuristimeen
- alipaineen imeminen
- infrapunalämmitin päälle lämmittämään puristetta yläpuolelta, lämmitysaika noin 20 min
- lämmityksen jälkeen jäähditys pakkasnestepussilla, jäähditysaika noin 15 min
- jäähdytyksen jälkeen alipaine pois ja puristeen poisto puristimesta
- vadin sahaus puristetusta aihioista
- vadin reunojen viimeistely.

### 5.3 Käyttökohteet

Termolevyä voidaan käyttää korvaamaan perinteiset muotopuristeet ja sillä voidaan saavuttaa niitä monipuolisempia muotoja. Mahdollisia käyttökohteita ovat muun muassa huonekalut ja sisustuspaneelit sekä erilaiset koriste-esineet.



KUVIO 3. Alipainepuristin ja infrapunalämmitin

## 6 Testauksessa käytetyt ja sivutut standardit

Termo-projektissa on testattu lukuisia termolevyn erilaisia ominaisuuksia, kuten sen kestävyysominaisuuksia ja liimasauman ominaisuuksia. Koska tuote on täysin uusi, ei sen testaukselle ja ominaisuuksille luonnollisestikaan löydy valmiita standardeja. Osa testausmenetelmistä on täysin uusia ja projektia varten kehitettyjä, mutta monet käytetyistä testeistä on sovellettu jostain olemassa olevasta standardista. Sivuttuja ja sovellettuja standardeja ovat muun muassa jotkut vanerin ominaisuuksia varten määritellyt standardit. Seuraavassa on käsiteltyä kaikki standardit, joihin projektia tehtäessä on viitattu, käsittäen myös muut projektista tehdyt opinnäytetyöt.

### 6.1 SFS-EN 314 osat 1 ja 2: Vaneristandardit

SFS-EN 314 osat 1 ja 2 -standardit määrittelevät viiluvanerin vaatimukset liimasauman lujuudelle kussakin kolmesta vanerin käyttökohteesta. Osa yksi esittelee testausmenetelmät ja osa kaksi liimauslujuuden vaatimukset. Testi pyrkii simuloimaan liimasauman ikääntymistä ja pitkäaikaisista altistumisista kosteudelle. Standardin mukaiset käyttökohdeluokat ja niiden vaatimukset ovat esitettyinä oheisessa luettelossa ja taulukossa kolme.

Luokat:

- Luokka 1: kuivat sisätilat
- Luokka 2: suojatut ulkotilat
- Luokka 3: suojaamattomat ulkotilat

Esikäsittelyt:

- 5.1.1:
  - 24h liotus vedessä (20±3)°C
- 5.1.2:
  - 6h liotus kiehuvässä vedessä, jonka jälkeen vähintään 1h jäähditys (20±3)°C vedessä
- 5.1.3:
  - 4h liotus kiehuvässä vedessä, jonka jälkeen kuivatus ilmastoidussa uunissa 16-20h (60±3)°C lämpötilassa. Tämän jälkeen taas 4h liotus kiehuvässä vedessä, jonka jälkeen vähintään 1h jäähditys (20±3)°C vedessä
- 5.1.4:
  - (72±1) h liotus kiehuvässä vedessä, jonka jälkeen vähintään 1h jäähditys (20±3)°C vedessä

(SFS-EN 314-1 2005, 8.)

Termolevylle tehtiin luokkien yksi ja kaksi mukaiset testit. Luokan yksi sisältää 24 tunnin liotuksen 20±3°C:n vedessä, luokka kaksi sisältää kuuden tunnin keittotestin ja jäähditysliotuksen. Testikappaleet erosivat standardin mukaisista siten, että termolevyn pintaviiluun liimattiin vanerilevy kosteudenkestävällä PUR-liimalla siten, että testattava liimasauma muovin ja pintaviilun välillä oli 20 x 20 mm:n kokoinen. Pintaviilu sahattiin poikki liimasauman vierestä siten, että leikkaava voima kohdistuu ainoastaan haluttuun liimasaumaan.

<b>Table 1. Pretreatments for the three bonding classes</b>				
	<b>Pretreatments (according to EN 314-1)</b>			
	<b>5.1.1</b>	<b>5.1.2</b>	<b>5.1.3<sup>*)</sup></b>	<b>5.1.4</b>
<b>Class 1: dry interior</b>	X			
<b>Class 2: covered exterior</b>	X	X		
<b>Class 3: non covered exterior</b>	X		X	X

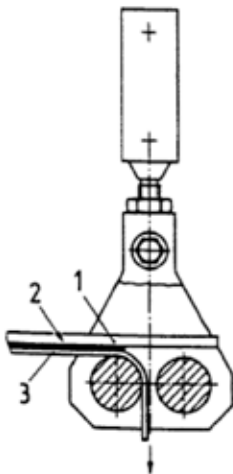
<sup>\*)</sup>When full phenolic glues are used, pretreatment 5.1.3 can be used provided pretreatment 5.1.4 is occasionally used as a test of confirmation.

TAULUKKO 3. Vanerin käyttökohteluokat ja niiden vaatimukset (SFS-EN 314-2 1993, 3)

## 6.2 SFS-EN 1372: Kuorimisljuustesti

SFS-EN 1372 -standardissa on esiteltyä testimetodit, joilla testataan lattia- ja seinäpäällysteiden liimaukseen tarkoitettujen liimojen tarttuvuutta. Testi on nimeltään kuorimisljuustesti eli peeling-testi. Standardissa esiteltyjä testimenetelmiä sovellettiin testattaessa viulun liimaukseen soveltuvia liimoja ja niiden tarttuvuutta. Testeissä käytettiin kuvio 4:n mukaista testauslaitteisto, joka valmistettiin itse. Testipalikoitten koko poikkesi hieman standardissa esitetystä, mutta kaikki käytetyt testikappaleet olivat toistensa kanssa saman kokoisia tulosten vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi. (SFS-EN 1372 1999, 3, 5.)

Testi suoritettiin siten, että kuvassa numero yksi oli koivuvaneri, numero kaksi oli vanerin ja ABS:n välinen liimasauma ja numero kolme oli siis ABS-muovi. Kuorimisljuustestin suoritti Asko Sievänen ja hän on käsitellyt sitä tarkemmin omassa opinnäytetyössään.



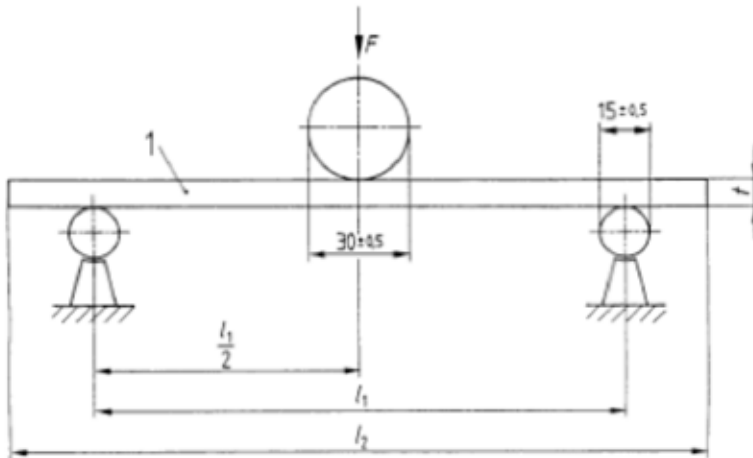
KUVIO 4. Kuorimisljuustestin testauslaitteisto (SFS-EN 1372 1999, 8)

### 6.3 SFS-EN 310: Puulevyt. Taivutuskiimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittäminen

SFS-EN 310 -standardi sisältää menetelmän, jonka avulla voidaan määrittää erilaisille puulevyille taivutuskiimmomoduli ja taivutuslujuus tason suuntaisessa taivutuksessa. Levy tulee olla vähintään kolme millimetriä paksua ollakseen standardin puitteissa testattavissa. Standardin testit perustuvat kolmen pisteen taivutukseen (KUVIO 5). Testimetodia käytettiin termolevyn testaukseen hieman testikappaleiden ja -laitteiston mittoja soveltamalla. (SFS-EN 310 1993 , 3-5.)

### 6.4 ISO 7173: Istuinhuonekalujen lujuus- ja kestävyystestit

ISO 7173 -standardi määrittelee istuinhuonekalujen lujuus- ja kestävyysvaatimukset. Standardin testeihin sisältyy muun muassa kuormitus- ja iskutestejä sekä vakaustestejä. Termoprojektissa valmistetulle tuolille tehtiin istuinosaan ja selkänojan staattiset sekä dynaamiset rasitus-testit standardin mukaisesti. Testauksen suoritti Jyrki Metso Lahden ammattikorkeakoulun huonekalutestauslaboratoriossa.



KUVIO 5. Kolmen pisteen taivutuskoe (SFS-EN 310 1993, 4)

## 7 Termolevyn ja muotopuristeiden testaus

Termolevyä testattiin useilla erilaisilla testeillä, joilla pyrittiin kuvaamaan mahdollisimman hyvin levymateriaalin eri ominaisuuksia. Testattavia ominaisuuksia oli levyn mekaaninen kestävyys, puristeiden muodonpysyvyys sekä levyn kosteudenkestävyys. Käytettyjä testimenetelmiä oli taivutuslujuustestit, virumatestit sekä liimasauman liotus- ja lujuustestit. Termolevystä valmistettiin myös yksinkertaistetut tuolin istuinosa ja selkänoja (KUVIO 6), jotka kiinnitettiin erääseen vastaavanlaisen tuolin metallirunkoon. Tuolia testattiin tämän jälkeen huonekalutestauslaboratoriossa. Tuolille tehtiin standardin ISO 7173 mukainen 4-luokan testi Lahden ammattikorkeakoulun huonekalutestauslaboratoriossa. Testausluokka on yleisin julkisen tilan istuinhuonekaluille tehtävä testi. Testin sisältö selviää taulukosta 1.



KUVIO 6. Termolevy- ja vertailutuoli

### 7.1 Mekaaninen kestävyys

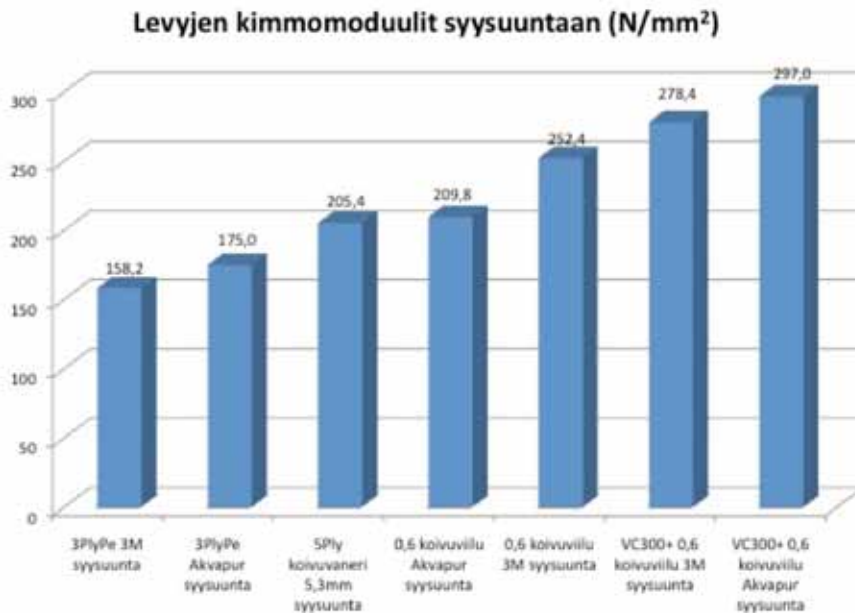
Termolevyn mekaanista kestävyyttä testattiin taivuttamalla eri liima- ja pintaviiluvaihtoehdoilla valmistettuja levysuikaleita kolmen pisteen taivutuksessa murtumaan saakka. Taivutustestit tehtiin standardia SFS-EN 310 mukailleen. Termolevystä valmistetun tuolin testauksessa staattiset rasitustestit kuvaavat parhaiten muotopuristeiden lujuutta.

### 7.1.1 Taivutuskokeet suoralle levyllä

Taivutettavat kappaleet sahattiin suorasta termolevystä, joka oli puristettu tasopuristimessa. Taivutettavat kappaleet olivat 20 mm leveitä ja 230 mm pitkiä, niiden paksuus oli noin 5 mm riippuen käytetyistä pintaviiluista. Testattavat levyt taivutettiin sekä pintaviilun syysuunnassa, että poikittain syysuuntaan nähden. Taivutuksen jänneväli oli 150 mm. Vertailun vuoksi sama taivutustesti tehtiin myös vastaavan paksuiselle koivuvanerille. Taivutustesti on kuvattuna kuviossa 7.

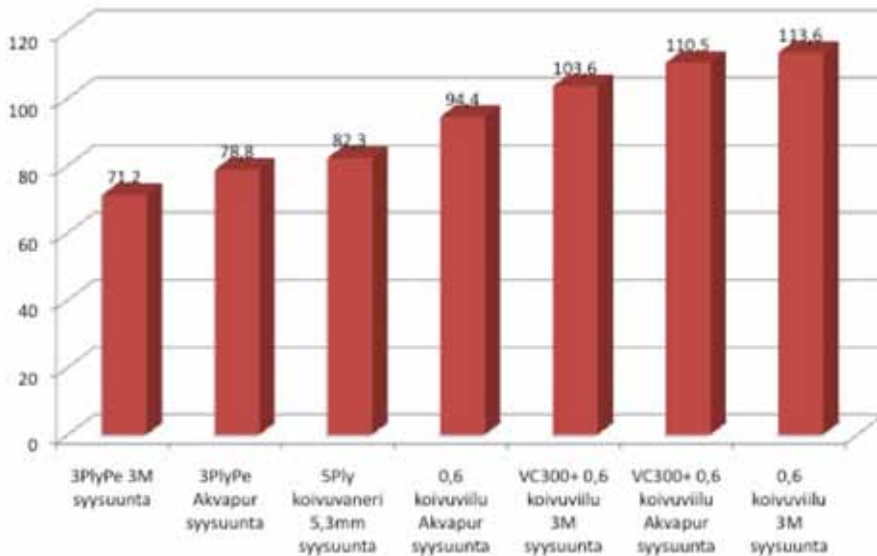


KUVIO 7. Taivutustesti suoralle termolevyllä



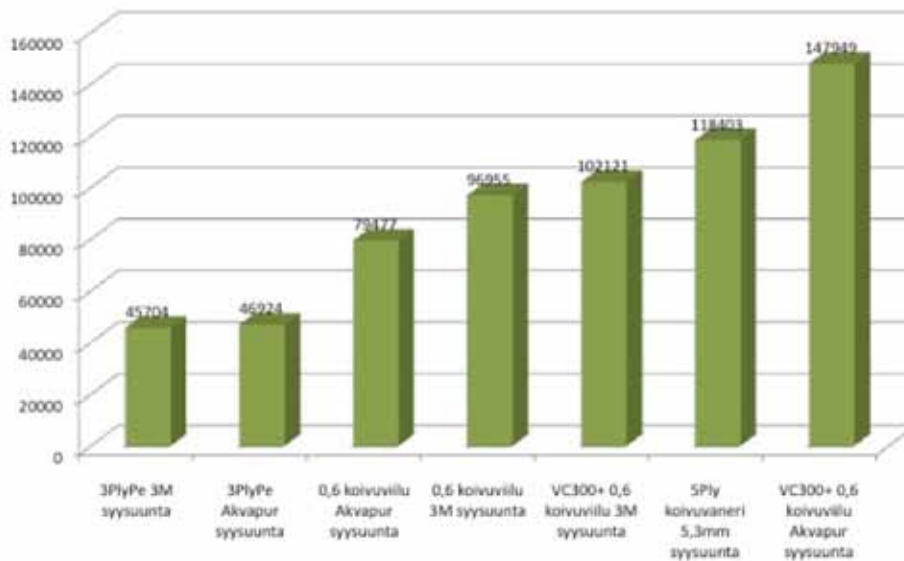
KUVIO 8. Levyjen kimmomoduulit syysuuntaan

### Levyjen lujuus syysuuntaan (N/mm<sup>2</sup>)



KUVIO 9. Levyjen taivutuslujuudet syysuuntaan

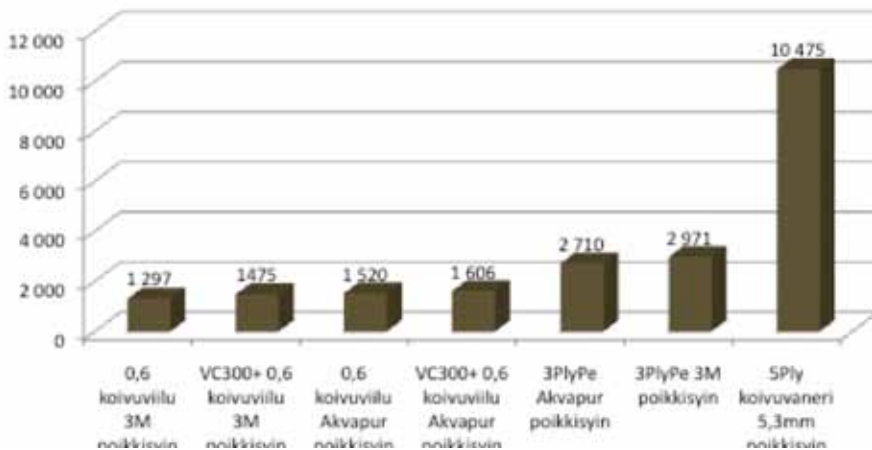
### Levyjen taivutusjäykkyys syysuuntaan (Nmm<sup>2</sup>/mm)



KUVIO 10. Levyjen taivutusjäykkyydet syysuuntaan

Kuvioista 8, 9 ja 10 nähdään, kuinka termolevyllä on taiputuslujuutensa ja kimmomoduulinsa puolesta melko hyvät ominaisuudet verrattuna vastaavan paksuiseen 5Ply-koivuvaneriin. Parhaat taiputuslujuuden ja kimmomoduulin arvot saavutettiin VC300+ -fleecekankaalla varustetulla koivuviilulla. Myös vahvistamattomalla viilulla tehty levy suoriutui vaneria paremmin. 3PlyPe-ohutviiluvanerilla tehdyt levyt olivat kaikilla mittareilla mitattuna heikoimpia. Tämä johtunee pelkästään siitä, että näissä levyissä syysuuntaan olevan puuaineksen osuus on pienin. Myöskään ohutviiluvanerin liimasaumat eivät levyä merkittävästi vahvista. Taiputusjäykkyys oli paras fleecellä vahvistetulla viilulla ja Akvapurilla tehty levy. Muut viilu- ja liimavaihtoehdot olivat vaneria huonompia. Erot liimojen välillä johtuvat liimasaumojen erilaisista elastisuuksista.

### Levyjen kimmomoduuli poikkisysin (N/mm<sup>2</sup>)



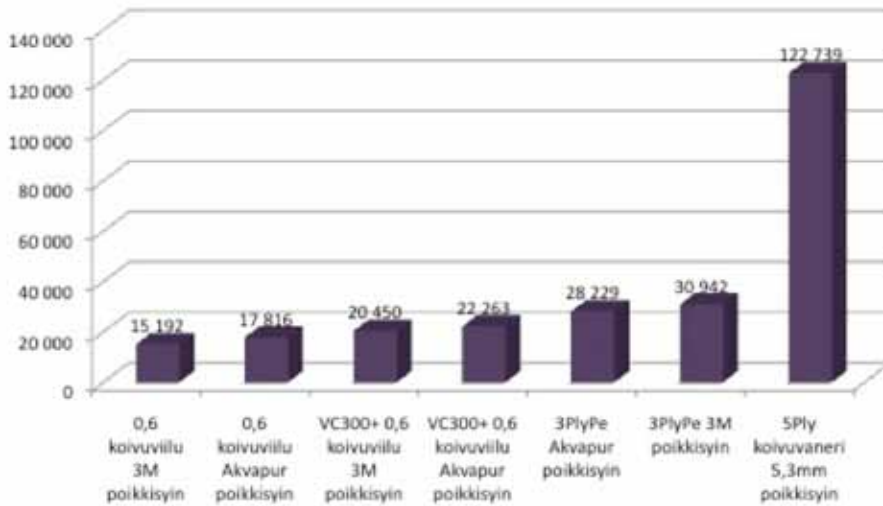
KUVIO 11. Levyjen kimmomoduulit poikkisysin

### Levyjen lujuus poikkisysin (N/mm<sup>2</sup>)



KUVIO 12. Levyjen lujuudet poikkisysin

### Levyjen taivutusjäykkyys poikkisiin (Nmm<sup>2</sup> /mm)



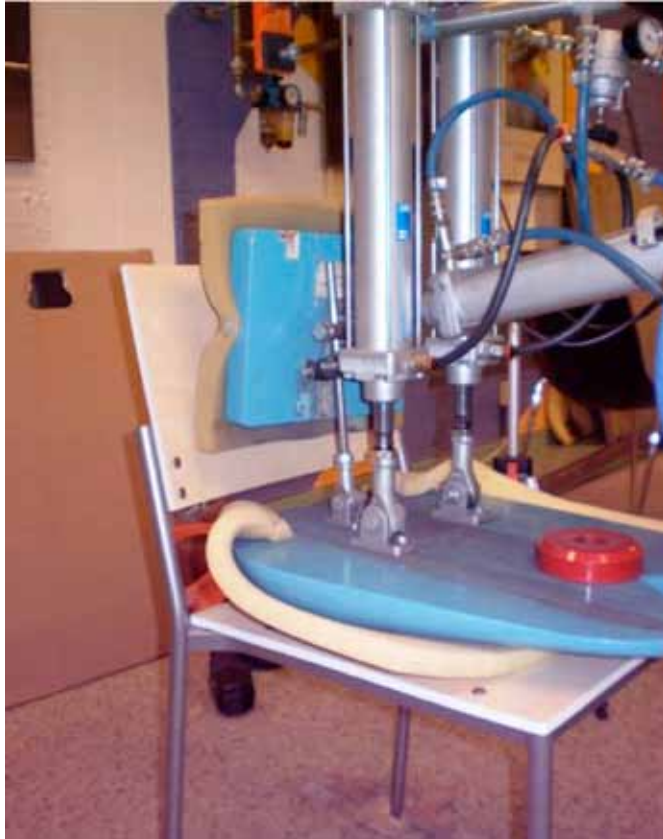
KUVIO 13. Levyjen taivutusjäykkyys poikkisiin

Levyjen ominaisuudet poikkisiin mitattuna ovat luonnollisesti paljon heikompia kuin syysuuntaan mitattuna. Poikkisiin rasitettaessa pintaviilujen vaikutus termolevyn ominaisuuksiin on lähes olematon. Poikkeuksena ovat 3PlyPe:llä tehdyt levyt, joissa on myös pinnan syysuuntaan vastaan ristiinliimattuna olevaa puuainesta. Tässä suunnassa mitattuna 5Ply-vaneri on ylivoimainen kaikkien ominaisuuksien osalta, koska siinä on kaksi viilukerrosta pintaviilua vastaan kohtisuorassa. Muiden viilu- ja liimavaihtoehtojen erot ovat suhteellisen pieniä (KUVIOT 11, 12 ja 13).

Jos termolevyä käytetään lujuusominaisuuksia vaativissa kohteissa, kuten huonekaluissa, tulee sen käyttö ja rakenne tarkkaan miettiä. Jos kohde sallii syysuunnan valinnan, voidaan levy selkeästi asentaa siten, että suurin rasitus kohdistuu levyyn syysuunnassa. Toisaalta termolevy voidaan valmistaa myös siten, että sen pintaviilut ovat ristiinliimatut ja ominaisuudet näin ollen samat molempiin suuntiin rasitettaessa. Tietenkin esimerkiksi kaksi ristiinliimattua pintaviilua molemmiin puolin jäykistävät levyn rakennetta merkittävästi.

#### 7.1.2 Staattiset rasiustestit muotopuristeille

Standardin ISO 7173 mukaiset staattiset rasiustestit kuvaavat tuolin istuimen ja selkänojan maksimikestävyyttä. Testaustapahtuma on kuvattuna kuviossa 14. Testissä rasitetaan tuolin osia suurella voimalla ja pienellä toistomäärällä. Toistoja on kymmenen kappaletta ja yksi toisto kestää kymmenen sekunnin ajan. Tason neljä rasiustesteissä istuinta rasitetaan 1600 N:n ja selkänojaa 760 N:n voimalla. (ISO 7173 1989, 18.) Selkänojan staattisen kuormituksen testiä suoritettaessa tuoli kaatui, kun vaakasuora, eli selkänojan kohdistuva voima, oli 760 N. Testi suoritettiin kuitenkin 1600 N:n pystysuoralla ja 410 N:n vaakasuoralla voimalla, eikä tuolissa ollut testin jälkeen havaittavissa minkäänlaisia vaurioita. Tarkempi raportti testistä on liitteenä (LIITE 1).



KUVIO 14. Termotuoli huonekalutestauksessa

## 7.2 Muodon pysyvyys

Termolevyn muodonpysyvyyttä kuormituksen alla testattiin sekä suorana levynä että muotopuristeena. Suoraa levyä testattiin virumatestillä, jossa suorasta levystä sahatut suikaleet asetettiin vakiovoiman alaiseen kolmen pisteen taivutukseen määräjäksi. Muotopuristeiden muodonpysyvyyttä testattiin tuolin dynaamisilla rasitustesteillä.

Testeillä pyrittiin selvittämään, miten termolevy käyttäytyy pitkäaikaisessa rasituksessa, esiintyykö siinä muoville ominaista virumista tai muita muodonmuutoksia. Koska virumatesti vei suhteellisen paljon aikaa, ei yhtä kattavaa eri viilu- ja liimavaihtoehtojilla tehtyä testiä voitu suorittaa kuin suorille levyille tehdyt kestävyystestit.

### 7.2.1 Virumatestit suoralle levyille

Testi suoritettiin siten, että testikappaleita rasittava voima oli mahdollisimman suuri, voiman kuitenkin taivuttamatta testikappaleita merkittävästi. Tarkoituksena oli, että taipumaa esiintyisi vasta pitkäaikaisen rasituksen jälkeen. Testauslaitteisto testaustilanteessa on kuvattuna kuviossa 15.

Koekappaleet olivat 15 mm leveitä ja 600 mm pitkiä molemmin puolin viilutettuja termolevyn suikaleita. Koelaitteiston jänneväli oli 500 mm. Testikappaleita keskeltä rasittava voima oli noin 14 N, mikä saatiin aikaiseksi 1,4 kg:n painoisella punnuksella. Koeaika oli 3 kuukautta. Testikappaleista mitattiin viruma kohdasta, jossa muutos oli suurin, likimain keskeltä kappaleita.

Koe tehtiin testilevyillä, jotka poikkesivat toisistaan pelkästään liiman osalta. Ydinmateriaali ja pintaviilut olivat molemmissa levyissä samanlaiset, joten tulokset kertovat pelkästään liimasauman vaikutuksesta levyn virumaan. Tulokset ovat hyvin samankaltaisia. Pieni ero virumassa 3M:n liiman hyväksi selittynee sen hieman elastisemmalla rakenteella. Liimasauma siis palautuu rasituksesta hieman Kiillon liimaa paremmin (TAULUKKO 4).



KUVIO 15. Virumatestin laitteisto

Virumatestit		
	Kiilto Akvapur SM 1200	3M Scotch- Weld 30
1	5,2	5,3
2	5,6	5,2
3	5,1	3,8
4	5,4	5,3
5	4,7	4,8
ka	5,20	4,88

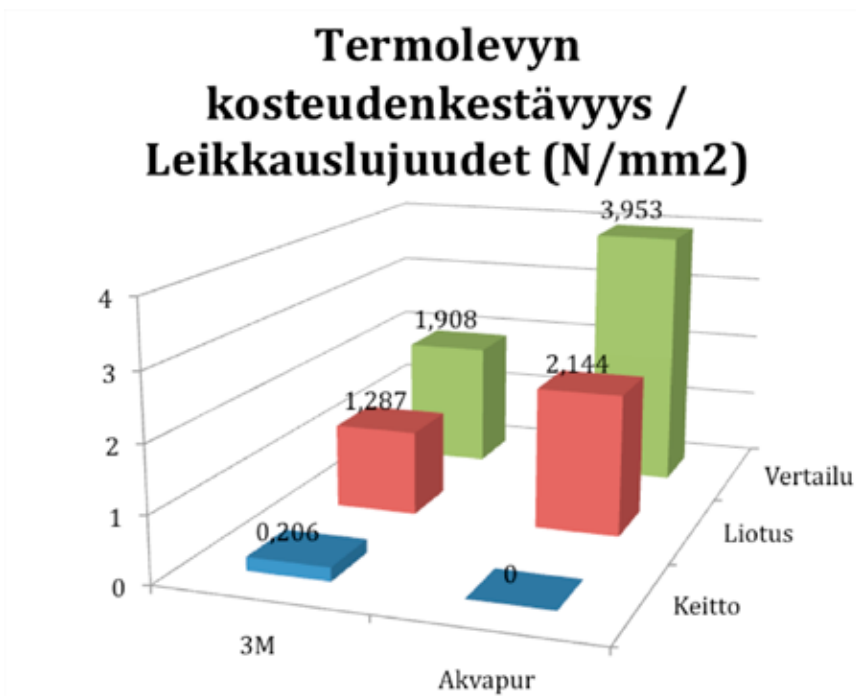
TAULUKKO 4. Virumatestien tulokset

### 7.2.2 Dynaamiset rasitustestit muotopuristeille

Standardiin ISO 7173 kuuluvat dynaamiset rasitustestit kuvaavat hyvin tuolin osien muodonpysyvyyttä ja käyttäytymistä kun niitä rasitetaan pienellä voimalla toistuvasti. Julkisen tilan kalusteille yleisessä tasossa neljä toistokertoja on 100 000 ja voima, jolla toistot tehdään on 330 N selkänojalle ja 950 N istuimelle. (ISO 7173 1989, 18.)

Termolevystä valmistettu tuoli selviytyi hyvin tason neljä testistä ja testi pystyttiin siis tekemään tältäkin osin kokonaisuudessaan. Minkäänlaista osien rikkoontumista, heikkenemistä tai muodonmuutosta ei ollut havaittavissa dynaamisen testinkään osalta (LIITE 1).

### 7.3 Kosteuden kestävyys



KUVIO 16. Liimojen kosteudenkestävyys

Termolevyn kosteudenkestävyyttä testattiin standardia SFS-EN 314 mukaillen. Testin avulla pyrittiin määrittämään termolevvyssä käytettävien Scotch-Weld 30- ja Akvapur SM 1200 -liimojen kosteudenkestävyys. Liotus- ja keittotestien jälkeen koekappaleille tehtiin liimasauman leikkauslujuustesti, jonka perusteella vertailtiin liimojen toimivuutta.

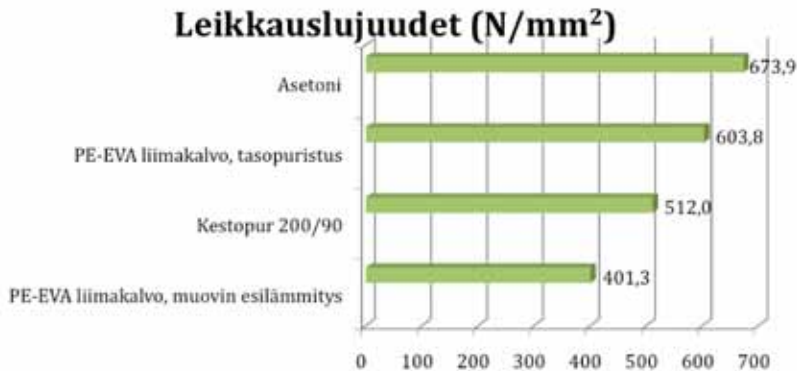
Kuviossa 16 esitetyt tulokset liimojen kosteudenkestävyydestä olivat kohtalaisen hyviä ennakkoodotuksista huolimatta. Molemmilla liimoilla liimasauman leikkauslujuudet heikkenivät liotuksessa, mutta liimat säilyttivät kuitenkin osan tartunnastaan. Keittotestiä liimat kestivät heikosti.

Akvaipurilla liimatut viilut kuoriutuivat irti muovista jo keitetessä, Scotch-Weldillä liimatut pysyivät kiinni koestukseen asti, mutta niidenkin osalta tulokset olivat hyvin vaatimattomia.

Näiden tulosten perusteella termolevyn käyttö oikein pintakäsiteltynä voisi olla mahdollista esimerkiksi kylpyhuoneissa. Suoraa altistusta vedelle levy ei todennäköisesti kestä, mutta korkean ilmankosteuden tai vesihöyryn se voisi kuitenkin kestää.

## 8 Termolevyn valmistus kahdesta ABS-levystä

Termolevyn valmistamista kahden toiselta puolelta viilutetun ydinlevyn rakenteella testattiin käytännössä tekemällä puristeita tällä menetelmällä. Lisäksi kahden muovilevyn liimattavuutta toisiinsa testattiin leikkauslujuustestein. Testattuja liittämismenetelmiä olivat asetoniliimaus, PE-EVA hot-melt -liimakalvon käyttö sekä vertailuarvona polyuretaanimuoviliiman käyttö. Testeillä pyrittiin vertailemaan keskenään näiden kolmen menetelmän toimivuutta.



KUVIO 17. ABS-ABS -liimauksen leikkauslujuudet

Kuviosta 17 nähdään, että käsittelemällä liitettävät pinnat asetonilla muovien välille saatiin näistä menetelmistä paras tartunta. Asetonia olisi kohtalaisen helppo käyttää liittämiseen, mutta ongelmana sen käytössä on sen osittainen jääminen puristeeseen. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmia, koska asetoni on voimakas liuotin.

PE-EVA -terpolymeeriliimakalvo olisi näistä vaihtoehdoista kaikkein suotuisin tuotantoprosessin kannalta. Sen avulla voitaisiin päästä eroon nestemäisistä aineista muotopuristusvaiheessa tai jopa koko prosessissa. Kalvon tarttuvuutta testattiin myös siten, että sen sulamiseen tarvitsema lämpö tuli esilämmitetystä ABS-levystä. Tulokset eivät olleet kuitenkaan yhtä hyvät kuin puristusvaiheessa lämmitettäessä. Tämä johtunee siitä, että kalvo sulaa hyvin helposti kuumen levyn pinnalle eikä näin ollen välttämättä levity tasaisesti. Kalvon tarttuvuus on kohtalainen myös puuhun, joten sen käyttö termolevyn ainoana liimana saattaisi myöskin olla mahdollista.

## 9 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli määrittää termolevyn teknisiä ominaisuuksia uutena levymateriaalina, kuten kosteudenkestävyys ja taivutuslujuus. Ominaisuuksia testattiin vastaavien levymateriaalien testaukseen standardeissa määritellyin testein sekä osittain itse kehitetyin testein. Tulosten perusteella voidaan pohtia, mihin käyttötarkoituksiin materiaali parhaiten sopii.

Keskeinen ajatus uuden levymateriaalin ja muotopuristusmenetelmän kehitykseen oli se, että uudella menetelmällä voitaisiin toteuttaa entistä monipuolisempia muotoja perinteisiin muotopuristeisiin verrattuna. Erityisesti monipuolisempiin 3D-muotoihin oli pyrkimyksenä päästä. Uudella menetelmällä pyrittiin myös perinteistä edullisempaan ja joustavampaan tuotantoon edullisempien konehankintojen ja pienempien sarjakokojen myötä.

Tiedonkeruu työn teoriaosuuteen oli haastavaa, koska työ käsitteli täysin uuden materiaalin ominaisuuksia, eikä kirjallisuuspohjaa tältä osin luonnollisestikaan ollut. Myöskin muotopuristeista ja niiden ominaisuuksista ja vaatimuksista oli tarjolla rajoitetusti tietoa. Yhdistelemällä muovin, puun ja liimojen ominaisuuksia ja käsitteleviä tietolähteitä sekä perehtymällä muiden puulevytuotteiden ominaisuuksiin ja vaatimuksiin saatiin tälle työlle kuitenkin jonkin verran teoriapohjaa, jota pystyi käyttämään työtä tehdessä.

Levymateriaalista saatiin kohtalaisen paljon tietoa työtä tehdessä. Monet saaduista tuloksista pitää kuitenkin varmistaa vielä pitempikestoisen kokemuksen kautta. Tulokset ovat kuitenkin hyvin suuntaa antavia ja tuotesuunnittelua helpottavia. Esimerkiksi kosteudenkestävyydestien perusteella voidaan harkita materiaalin käyttöä esimerkiksi kylpyhuoneissa tai keittiöissä ja lujuustestien tuloksia voidaan käyttää huonekalujen suunnittelussa. Kaiken kaikkiaan työlle saavutetut tavoitteet saavutettiin ja tuloksia saatiin jopa hieman suunniteltua laajemmalla alalla. Omalta osaltani sain paljon lisätietoa ja kokemusta levymateriaalin testauksesta ja standardeista.

Termolevyn testausta olisi hyvä jatkaa, kun on kokemuksen kautta saatu selville tuotannossa toimivimmat rakenteet ja valmistusmenetelmät. Silloin voidaan testata, mitkä todellisuudessa ovat levyn ratkaisevimmat ominaisuudet. Teknisistä ominaisuuksista myös esimerkiksi levyn kovuus ja iskunkestävyys olisi varmastikin hyvä testata ennen massatuotantoon ryhtymistä. Toimivimman pinnankäsittelyn löytäminen ja sen testaaminen ovat myöskin väistämättä edessä ennen kuin voidaan ryhtyä kaupallistamaan materiaalia toden teolla.

# LÄHTEET

## Painetut lähteet

- Alanen, J. 1961. Puualan aineoppi. Helsinki: Kirjayhtymä.
- ISO 7173. 1989. Furniture – Chairs and stools – Determination of strength and durability. Sveitsi: International Organization for Standardization.
- Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell.
- Koponen, H. 1990. Puutuotteiden liimaus. Espoo: Otatieto.
- Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus.
- Sandberg, D. 2009. Kosteus ja syysuuntien muutokset turhauttavat muotopuristeiden valmistajia. Casco Adhesives Liima-asiantuntija 1/2009, 12-13.
- Seppälä, J. 2005. Polymeeritekniikan perusteet. Espoo: Otatieto.

## Elektroniset lähteet

- 3M tuotetiedot. 2010 [viitattu 6.11.2010]. Saatavissa:  
<http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?66666UuZjcFSLXTtoXfcOxz6EVuQEc uZgVs6EVs6E666666-->
- Imprex Films. 2010 [viitattu 11.11.2010]. Saatavissa:  
<http://www.storaenso.com/products/packaging/laminating-papers/imprex-films/Pages/imprex-films.aspx>
- Kiilto tuotetietokanta. 2010. Tuote-esite/käyttöturvallisuustiedote [viitattu 6.11.2010]. Saatavissa: <http://www.kiilto.com/fi/tuotteet/tuotetietokanta/?prod=1172>
- SFS-EN 310. 1993. Puulevyt. Taivutuskimmomodulin ja taivutuslujuuden määrittäminen. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/>
- SFS-EN 314-1. 2005. Vaneri. Liimauslaatu. Osa 1: Testimenetelmät. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/>
- SFS-EN 314-2. 1993. Vaneri. Liimauslaatu. Osa 2: Vaatimukset. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/>
- SFS-EN 1372. 1999. Adhesives – Test method for adhesives for floor and wall coverings – Peel test. Saatavissa <http://www.sfs.fi/>

# LIITTEET

LIITE 1: Huonekalutestausselostus





Tilaja	Lahden ammattikorkeakoulu Tekniikan ala Jari Suominen, TERMO-projekti Ståhlberginkatu 10 15110 Lahti
Koekappale	Termolevytuoli - leveys 448 mm, korkeus 795 mm, syvyys 523 mm - istuin ja selkänoja: koivuviilutettua termolevyä, paksuus 9 mm - jalat metallia Ø19 mm - istuinrunko neliöputkea, 20 mm x 15 mm - ruuvit , 8 kpl - muovitulpat, 4 kpl
Saapumispäivä	1.12.2010
Testausajankohta	8 - 14.12.2010
Tehlävä	Selvitys tuolin lujuudesta
Testausmenettely	ISO 7173 Furniture – Chairs and stools – Determination of strength and durability (1989-07-01) -taso 4
Testausvälineet	Huonekalujen testauslaite Siemens, runko Oranssi



**TULOKSET: ISO 7173**

TESTIKOHTA	TASO 4
7.1 Istuimen staattinen kuormitus	Voima 100 mm istuimen etureunasta: Ei vaurioita. Voima mallineella määritetyssä kohdassa: Ei vaurioita.
7.2 Selkänojan staattinen kuormitus	Tuoli kaatui pystysuoralla 1600 N ja vaakasuoralla 760 N voimilla. Testissä pystysuora voima 1600 N ja vaakasuora voima 410 N: Ei vaurioita.
7.5-6 Istuimen ja selkänojan dynaaminen kuormitus	Ei vaurioita.
7.7 Jalkojen staattinen kuormitus takaapäin	Ei vaurioita.
7.8 Jalkojen staattinen kuormitus sivulta	Ei vaurioita.
7.10 Istuimen iskutesti	Ei vaurioita.
7.11 Selkänojan iskutesti	Ei vaurioita.
7.13 Pudotustesti	Pudotuskorkeus 600 mm. Ei vaurioita.

STÄHLBERGINKATU 10 • 15110 LAHTI • PUH. 050 538 2381 • FAKSI (03) 828 3015

**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
**TEKNIKAN ALA**  
TEKNOLOGIAPALVELU

Lahti 14.12.2010

Jyrki Metso  
Tutkimusinsinööri

Tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan laitokselta saadun kirjallisen luvan perusteella. Testausselostus on pätevä vain testatuille kappaleille. Testausselostuksessa olevista virheistä valitusmahdollisuus 30 vuorokautta testausselostuksen allekirjoituksesta. Vaihtokset Pekka Lavikainen puh. 050 526 5924, faksi (03) 828 3015.