

Antti Patrikainen

TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET

Viilun murtovenymän parantaminen 3D-muotopuristuksessa

Lahden ammattikorkeakoulu Tekniikan ala Puutekniikka Opinnäytetyö Kevät 2010



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan ala Puutekniikka Opinnäytetyö Kevät 2010

Antti Patrikainen

TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET

Viilun murtovenymän parantaminen 3D-muotopuristuksessa

Lahden ammattikorkeakoulu
Tekniikan koulutusala

PATRIKAINEN, ANTTI TAPIO: Termomuovattavat puulevyvalmisteet
Viulun murtovenymän parantaminen 3Dmuotopuristuksessa

Puutekniikan opinnäytetyö
Kevät 2010

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön teoriaosa käsittelee koivun taivutettavuuteen vaikuttavia tekijöitä, sekä koivuviulun rakenteen fysikaalista muokkausta sen taipuman parantamiseksi. Teoriaosuuden pääasiallinen tarkoitus on selvittää puun rakenteellisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat puun taipumaan, kuten kimmoisuutta, veto-, puristus-, ja taivutuslujuutta, kosteuden vaikutusta sekä puun plastisia ominaisuuksia.

Työn kokeellinen osuus koostuu eri pintaviilujen testauksesta, modifioinnista, analysoinnista sekä koepuristuksista 3D-muotilla. Työn kokeellisen osuuden päätavoite oli määrittää eri viiluille murtovenymät sekä tutkia mahdollisuuksia niiden venymän parantamiseksi.

Teoriaosan jälkeen kehitettiin testimenetelmä viilujen murtovenymien määrittämiseksi. Saatuja testituloksia käytettiin hyväksi käytännön puristuskokeissa. Käytännön koepuristuksissa saadut tulokset vahvistivat murtovenymämittauksissa saatuja tuloksia.

Ongelmana termolevyn 3D-taivutuksessa on sen puisen pinnan venyminen. Levyn sisusmateriaali taipuu jyrkkiinkin muotoihin, mutta rajoittavana tekijänä on pinnassa oleva koivuviilu, joka hauraana materiaalina pyrkii repeämään 3D-taivutuksessa.

Opinnäytetyö auttoi löytämään uusia menetelmiä pintaviilujen venymän parantamiseksi termolevyn 3D-puristuksessa, kuten viilujen kalanterointi sekä viulun taakse liimattava tukimateriaali tukemaan pintaviilua muotopuristuksessa. Projekti antoi myös hyvän pohjan kehittää tuotantomenetelmiä edelleen.

Avainsanat: 3D-viilu, muotopuriste, murtovenymä, termomuovattava puulevy

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

PATRIKAINEN, ANTTI TAPIO: Thermoformable wood panel product
Birch veneer 3D-bending

Bachelor's Thesis in Wood Technology
Spring 2010

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the bendability of birch and different methods of physically modifying the structure of birch veneer in order to improve its bendability.

The primary objective of the theory part of this thesis is to describe the structural properties of wood that have an effect on its bendability. These include elasticity, tensile, compressive, and bending strength, the effect of humidity, and the plastic properties of wood, among others.

In the experimental part of the thesis, different types of veneers were tested, modified, analyzed, and form-pressed with a three-dimensional mould. The primary objective of the experiments was to determine the tensile strength of the veneers and investigate the possibilities of improving these strengths.

A test method was developed for determining the tensile strength of veneers. The test method was used in form pressing experiments. The results of the form pressing experiments confirmed the results of the tensile strengths measurements.

The main problem in 3D form pressing is that wood is a rigid material and it has a tendency to tear when forced into different shapes. The inner material of the thermoformable wood panel is capable of bending even in sharp angles, but the rigid birch on the surface ruptures easily when bent three-dimensionally.

In this thesis, new methods were presented for improving the tensile strength of veneer on the surface of a thermoformable wood panel which is form-pressed three-dimensionally. The useful improvements included a backing material which supports the top layer of the veneer. The project provides a useful basis for further experiments and development of production methods.

Key words: 3D veneer, thermoformable wood panel, vacuum forming, form pressing

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 MUOTOPURISTAMINEN	8
2.1 Mikä on muotopuriste	8
2.2 Ongelmat 3D-puristuksessa	8
3 VIILUN TAIVUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	8
3.1 Puun lujuusominaisuudet	9
3.2 Puulajin merkitys	10
3.3 Puun muovailtavuus	10
3.4 Koivun taivutettavuus	12
3.5 Solukon rakenteen merkitys	13
4 ERIKOISVIILUT	13
4.1 2ply ja 3ply pe	14
4.2 2ply int	14
4.3 Rampport fleece	14
4.4 Lasikuituverkolla vahvistettu viilu	15
4.5 Reholz	15
5 TERMOMUOVATTAVA PUULEVY	15
5.1 Termolevyn valmistus	16
5.1.1 Kovaliikaus	16
5.1.2 Märkäliikaus	16
5.1.3 Akvapur SM 1200	17
5.1.4 3M Scotch-Weld	17
5.1.5 Novox	18
6 VIILUN FYSIKAALINEN MODIFIONTI	19
6.1 Kalanterointi	19
6.2 Shokkikäsittely	20
6.3 Sorvaushalkeamien hyödyntäminen	20
6.4 Lasertyöstö	20
7 MURTOVENYMIEN TESTAUS	21
7.1 Testimenetelmän kehitys	21
7.2 Testauslaitteisto	22
7.3 Kosteuden vaikutus	23
7.4 Tulokset	23

7.4.1 Ramport fleece	23
7.4.2 2ply pe ja 3ply pe	24
7.4.3 2ply int	24
7.4.4 Lasikuituverkolla vahvistettu viilu	24
7.4.5 Reholz	24
7.4.6 Leikattu pyökki- ja tammiviilu	25
7.4.7 Viilun sorvaushalkeamien hyödyntäminen	25
8 TERMOLEVYJEN PURISTUSKOKEET	26
8.1 Puristusmenetelmät	26
8.1.1 Lämpömuovaus	26
8.1.2 Tyhjiömuovaus	26
8.1.3 Kylmämuottipuristus	26
8.2 3D-muotti	27
8.2.1 Alipainemuotti	28
8.2.2 Future Laminations	29
8.3 Tulosten tarkastelu	30
9 YHTEENVETO	31
LÄHDELUETTELO	33
LIITTEET	34

1 JOHDANTO

Lahden ammattikorkeakoulussa alkoi syksyllä 2008 tutkimusprojekti, jonka tarkoituksena on kehittää uusi muotopuristustekniikka, joka mahdollistaa aikaisempaa voimakkaammat ja monipuolisemmat kolmiulotteiset muodot esimerkiksi huonekaluissa ja sisustuslevyissä. Tutkimus käsittää muun muassa termolevyssä käytettävien liimojen testausta, tutkimusta viilujen murtovenymän parantamiseksi, eri muovausmenetelmien tutkimista sekä muotopuristeen rasituksen testaamista. Projekti alkoi osaltani syksyllä 2008 termolevyyn sopivienliimojen tutkimisella ja jatkui kevääseen 2010 murtovenymien tutkimisella, sekä muotopuristamisen eri tekniikoilla. Jokaisesta tutkimuksen osiosta on myös tehty tai on tekeillä opinnäytetyö. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tutkimusta termolevyssä käytettävien pintaviilujen murtovenymien määrittämisestä, niiden murtovenymien parantamisesta sekä 3Dmuotopuristamisesta eri muovausmenetelmiä käyttäen.

Uusi tekniikka tehostaa tuotteiden suunnittelun lisäksi niiden valmistusta, ja se soveltuu myös erinomaisesti pienten yritysten valmistusmenetelmäksi, sillä se ei vaadi suuria investointeja. Uuden menetelmän patentti kuuluu Lahden ammattikorkeakoululle ja sen käyttöoikeudet ovat tutkimushankkeen rahoitukseen osallistuneilla osapuolilla. Tutkimusta rahoittaa Tekes, ja projektissa ovat mukana myös muun muassa Huonekalutehdas Korhonen Oy, Vilkon Oy ja UPM Kymmene Oy.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia termomuovattavassa puulevyssä käytettävien viilujen venyvyyttä ja soveltuvuutta 3D-puristukseen. Työn kokeellinen osuus koostuu eri pintaviilujen testauksesta, modifioinnista, analysoinnista sekä koepuristuksista 3D-muotilla. Muotopuristus on vanha valmistusmenetelmä, jonka käyttö on yleistä huonekaluteollisuudessa. Menetelmää käytetään paljon esimerkiksi tuolin selkä- ja istuinosa valmistuksessa. Termomuovattavalla puulevyllä on kuitenkin tarkoitus päästä entistä suurempiin taivutussäteisiin varsinkin 3D-muodoissa. Ydinmateriaali taipuu lämmitettynä varsin jyrkkiin muotoihin, joten myös pintaviilun venymää on syytä parantaa huomattavasti.

Viilun taipumaan molemmissa suunnissa vaikuttaa joukko muuttujia, esimerkiksi puun kosteus, lämpötila, syysuunta ja solurakenne. Viilun taivutettavuutta on mahdollista muokata eri tavoin. Tässä työssä viilun venyvyyden parantamista käsiteltiin sen fysikaalisia ominaisuuksia muokkaamalla. Tavoitteena oli lisätä viilun venymää mahdollisimman paljon tuotantoon sopivalla menetelmällä taloudellisuuden siitä kärsimättä. Työn alussa oli tarkoitus määrittää viilun venyvyydelle konkreettisia arvoja, joita voitaisiin käyttää hyväksi 3Dmuotopuristeita valmistettaessa.

Muotopuristuksesta 3D-suunnassa on verrattain vähän tutkimustietoa, eikä myöskään viilujen venymästä murtorajalla löydy juuri tietoa, joten työ aloitettiin kehittämällä testausmenetelmä, jolla saatiin määriteltyä ensin normaalin koivuviilun murtovenymä. Samalla menetelmällä määriteltiin murtovenymät jokaiselle modifoidulle viilulle ennen 3Dpuristusta. Käytännön 3D-puristuskokeita tehtiin perinteisillä huonekaluteollisuuden käyttämillä tekniikoilla, mutta myös käyttäen alipainetekniikkaa.

2 MUOTOPURISTAMINEN

2.1 Mikä on muotopuriste

Yleensä muotopuristeilla tarkoitetaan puuviiluista erilaisiin muotoihin puristettuja tuotteita, kuten tarjottimia tai tuolien istuimia ja selkänöjia. Valmistuksen kannalta muotopuristeille yleisiä piirteitä ovat esimerkiksi materiaalin säästö, liitosten väheneminen sekä esteettiset pyöreät muodot. Muotopuristuksen edelläkävijänä Suomessa pidetään Alvar Aaltoa. Alvar Aalto nosti suomalaista osaamista ja erityisesti koko suomalaista muotoilua maailmalle. Muotopuristaminen on kehittynyt ajan kuluessa kauas siitä, mistä se oli lähtöisin. Muotopuristaminen perustuu puun taivutukseen, jota varten on kehitetty taivutusprosessia helpottavia toimenpiteitä, kuten puun tyssäys sekä sen kostuttaminen ja lämmittäminen. Näiden toimenpiteiden avulla materiaali saadaan elastisemmaksi, jolloin se taipuu helpommin. Kuivuttuaan puukappale jää taivutettuun muotoonsa, vaikka se pyrkiikin hieman oikeenemaan kuivumisen yhteydessä.

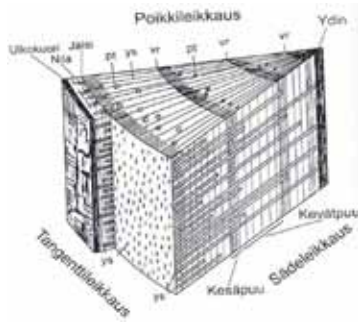
Tässä opinnäytetyössä muotopuristeella tarkoitetaan kappaletta, joka on valmistettu viiluista ja abs-muovista liimaamalla ne yhteen puristimessa, jossa puriste saa myös muotonsa. Toinen tapa on liimata viulut levyyn jo ennen muotopuristusta, jonka jälkeen levy voidaan lämmittää uunissa ja puristaa sen jälkeen muotoonsa muotissa erilaisilla tekniikoilla. Edellä mainittuja menetelmiä voidaan käyttää sarjatyössä sekä myös yksittäiskappaleiden valmistuksessa. Muotopuristamalla valmistettu kappale on rakenteeltaan luja ja jäykkä, varsinkin jos sen taipuma kahteen suuntaan on suuri. Uusi tuote on nimetty termolevyksi, joka muodostuu ydinmateriaalista sekä ohuesta pintaosasta. Ydinmateriaali on abs-muovia ja pintamateriaali ohutta pintaviilua. Termolevyä voidaan muovata lämmön avulla halutuksi lopputuotteeksi. Muotoon puristetun termolevyn rakenne on myös lähes elämätön.

2.2 Ongelmat 3D-puristuksessa

Ongelmana 3D-muotopuristuksessa on puun rakenne. Puu on lujaa vain syiden suunnassa ja murtovenymäpiste on alhainen, joten taivuttaminen kahteen suuntaan on ollut mahdollista vain hyvin loiville muodoille. Kuitenkin jo pieni kolmiulotteisuus muodossa lisää rakenteellista lujuutta ja tekee mahdolliseksi kevyempien rakenteiden valmistamisen (Malinen 2006, 12.) Mitä enemmän kahteen suuntaan taivutusta kappaleessa on, sitä helpommin puriste siis repeää. Verhoilun alla tämä ei ole ongelma, kun puristeesta tulee joka tapauksessa luja. Ympäriverhoiltu istuinkuppi voi olla hyvin syvä ja kolmiulotteinen (Holmberg 2000, 96.)

3 VIILUN TAIVUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Puun rakenteita ja ominaisuuksia kuvailtaessa on hyvä käyttää sopivaa kuvailukoordinaatistoa. Puun runko on poikkileikkaukseltaan pyöreä ja kohtuullisen symmetrinen myös ytimen suhteen sekä myös pituussuunnassa suhteellisen suora, joten voidaan käyttää tarkoituksenmukaisista sylinterikoordinaatistoa. Koordinaattiakselien suuntia kutsutaan säteen suunnaksi, tangentin suunnaksi ja piteuden suunnaksi. Puun lujuusominaisuudet ovat erilaiset puun syiden, säteen tangentin suunnissa (Kärkkäinen 2007, 18.)



KUVIO 1. Puun leikkusuunnat (Kärkkäinen 2007, 18)

3.1 Puun lujuusominaisuudet

Puun vetolujuus on tärkeässä osassa muotopuristuksessa. Vetolujuus on suurimmillaan syiden suunnassa. Myös puristuslujuus on suurin syiden suuntaan ja suuruusluokaltaan noin puolet samansuuntaisesta vetolujuudesta. Ongelmaksi muodostuu useimmiten puun syitä vastaan kohdistuva kohtisuora vetolujuus, joka mitataan yleensä tangentin suunnassa. Tämä vetolujuus on vain 2–20 % puun syiden suuntaisesta vetolujuudesta (Kärkkäinen 2007, 221; Puuproffa 2009.)

	Kuiva tiheys 0%	Taivutus- lujuus	Puristus- lujuus syiden suunnassa	Vetolujuus syiden suunnassa	Vetolujuus kohtisuor. syihin	Isku-lujuus	Kimmo- moduuli
Puulaji	kg/m ³	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	kJ/m ²	Mpa
Haapa	490-540	75- 82	42- 47	110	2,8- 5,4	35	11000-13500
Harmaaleppä	500-530		41				
Hieskoivu	630-670	107- 123	54- 60	137	7	100	13000-15000
Jalava	550-610	68- 105	34- 56	18	4	59	7000-11000
Kataja	550-650	93	46	69			
Kuusi	300-480	66- 84	35- 44	88	3,3	50	8300-13000
Lehmus	530-570	92- 106	34- 52	85	4	50- 55	6750-7400
Lehtikuusi	550-640	92- 94	47- 54	105	2,3	70	9900-13500
Kirsikka (Linnun)	650	85	45				
Luumupuu	800						
Mänty	480-530	83- 89	45- 47	104	5	70	10000-12000
Omenapuu(12%)	700						
Pihlaja	640	106	60	103		108	6800-19600
Poppeli	400	47- 65	27- 36	28- 77		34- 46	7700-8800
Pyökki	670-720	105- 118	52- 56	135	7	100	10000-16000
Pähkinäpensas	600						
Päärinäpuu	700	83	46				7900
Raita	530	57- 63	35	60			7200-1600
Rauduskoivu	630-610	107- 123	54- 60	137	7	100	13000-15000
Ruotsinpihlaja	720	64(laho)	270(laho)				10000(laho)
Saarni	550-800	80- 120	38- 58	165	7	70	8300-13400
Salava	440	63	28				
Syreeni	800-900						
Tammi	690-700	90- 100	53- 65	90	4	60- 15	10000-13000
Tervaleppä	550	78- 95	39- 52	92	2	55	9000-12000
Tuomi	520-620						
Vaahtera	560-650	95- 117	48- 53	82- 100	3,5	65	9400-11300
Valkopaju	560	57	34	64			
Valkopyökki	830	130	66	135	20	80	13000

TAULUKKO 1. Puulajien lujuusominaisuuksia (Puuproffa 2009)

3.2 Puulajin merkitys

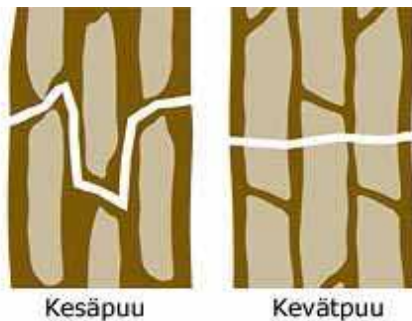
Puulajilla on suurempi merkitys massiivipuun taivutuksessa kuin muotopuristuksessa. Havupuut soveltuvat taivutukseen keskimäärin huonommin kuin lehtipuut, joista kehäputkiloiset taipuvat hajaputkiloisia paremmin. Koivu, pyökki, saarni ja tammi soveltuvat erityisen hyvin taivutukseen (Kärkkäinen 2003, 232.) Puulajin merkitys taivutettavuudessa johtunee siitä, että havu- ja lehtipuilla kevät- ja kesäpuun välinen rakenteellinen eroavuus poikkeaa toisistaan ja on havupuilla suurempi kuin lehtipuilla.

Huonon taivutettavuuden vuoksi havupuusta ei juurikaan valmisteta massiivipuusia taivutettavia rakenteita, mutta muotopuristeissa myös havuviilujen käyttö on mahdollista (Kollman & Côté 1968, 543.)

3.3 Puun muovailtavuus

Puuta voidaan tarkastella elastisena materiaalina ainoastaan lyhytaikaisissa kuormituksissa. (Elastisuus tarkoittaa sitä, että rasituksen aiheuttamat muodonmuutokset palautuvat täysin rasitus poistettaessa.) Pitkäaikaisessa tai erityisen suuressa kuormituksessa puu käyttäytyy enemmän plastisen materiaalin tavoin ja saa pysyviä muodonmuutoksia tai puumateriaali rikkoutuu.

Käytännössä puun lujuusominaisuudet ovat ilmiönä hyvin monimutkaisia verrattuna esimerkiksi metalleihin, joiden fysikaaliset ominaisuudet ovat yksiselitteiset. Voitaisiin jopa sanoa, että puu ei ole ainetta, vaan rakenne, koska esimerkiksi vuosilustossa on tiheydeltään erilaista kevät- ja kesäpuuta. Kesäpuussa on paksummat soluseinät ja pienemmät soluontelot kuin kevätpuussa, joten se on tiheämpää kuin kevätpuu (Kärkkäinen 2007, 216; PuuProffa 2009).



KUVIO 2. [PuuProffa 2009]

Koska muotopuristuksessa puussa tapahtuu muodonmuutoksia, on syytä tarkastella puun elastisia ja plastisia ominaisuuksia ja tätä kautta puun kimmomoduulia, joka kuvaa materiaalin jäykkyyttä Hooken lain $\delta = E\varepsilon$ mukaisesti. Tässä δ on jännitys eli voima pintaalaysikköä kohti, ε on kappaleen suhteellinen venymä ja E on kimmomoduuli eli kimmokerroin. Hooken lakia esittävästä kaavasta voidaan päätellä, että kimmokertoimen yksikkö on sama kuin jännityksen yksikkö eli voiman yksikkö pinta-alan yksikköä kohti, siis paineen yksikkö. Puun tapauksessa yksikkönä käytetään yleensä paineen perusyksikön pascalin Pa kerrannaista megapascalina MPa.

Hooken lain mukaan jännitys on suoraan verrannollinen venymään, mikä toimii tiettyyn rajaan, suhteellisuusrajaan asti. Tämän jälkeen Hooken laki ei ole enää voimassa, vaikkakin jännityksen kasvaessa jonkin verran suhteellisuusrajaa suuremmaksi, venymä on vielä palautuvaa, mutta suoraan verrannollisuus jännityksen ja venymän välillä ei päde. Jännityksen yhä kasvaessa tiettyyn rajaan asti kappaleeseen jää pysyvä venymä kuormituksen poistamisen jälkeen. Tätä jännityksen arvoa kutsutaan kimmorajaksi (Aalto 2002, 116, 120.)

Puun kimmomoduuli on erilainen syiden, tangentin ja säteen suunnassa. Esimerkiksi syiden suuntainen kimmomoduuli on havupuilla 41–122-kertainen ja lehtipuilla 12–62-kertainen säteen suuntaiseen kimmomoduuliin verrattuna. Säteen suuntainen kimmomoduuli on taas 1,5–6 kertaa tangentin suuntaista kimmomoduulia suurempi.

Perinteisistä luonnonmetsistä tehdyn sahatavaran tapauksessa kimmomoduuli kasvaa likimain suoraviivaisesti puun tiheyden lisääntyessä. Nykyisin suuri osa sahatavarasta tuotetaan kuitenkin nopeakasvuisista viljelymetsistä, joista saatavalle puutavaralle edellä mainittu sääntö ei pidä paikkaansa. On jopa havaittu, että ytimen lähellä kimmomoduuli saattaa joskus olla riippumaton puuaineen tiheydestä. Joka tapauksessa on selvää näyttöä siitä, että joillakin viljellyillä puilla kimmomoduuli ytimen lähellä on pienempi kuin tiheydestä voisi päätellä, ollen jopa vain puolet siitä mitä se on pinnan lähellä.

Tutkittua tietoa on myös siitä, että kasvunopeuden lisääntyessä kimmomoduuli pienenee, vaikka tiheys olisi sama. Puun eri osissa kimmomoduulin arvot poikkeavat toisistaan siten, että oksissa se on erityisen alhainen ja latvaa kohti mentäessä se pienenee. Kosteuden lisääntyessä tavanomaisesta ulkokuivan sahatavaran kosteudesta kimmomoduuli alenee suoraviivaisesti aina puun syiden kyllästymispisteeseen saakka, minkä jälkeen kosteuden lisääntymisellä ei ole merkitystä kimmomoduuliin.

Lämpötila vaikuttaa kimmomoduuliin siten, että lämpötilan kohoaminen pienentää kostean puun kimmomoduulia, alenemisen ollessa hidasta välillä 0 °C – 20 °C ja voimakkaampaa tämän jälkeen. Pakkaslämpötiloissa kasvava puu on erityisen jäykkää. Ilmiö aiheutunee siitä, että vettä siirtyy soluseinästä soluonteloon, jolloin syntyy jännitystilaa mantopuuhun eli uloimpiin ja nuorimpiin vuosilustoihin.

Myös kuormitustapa vaikuttaa kimmomoduulin suuruuteen. Kuormitusnopeuden kasvaessa kimmomoduulikin kasvaa jatkuvasti hidastuvalla nopeudella.

Edellä mainittujen tekijöiden vaikutukset kimmomoduuliin eivät ole toisistaan riippumattomia. Kimmomoduulin suurentuminen puun tiheyden kasvaessa on vähäisempää kosteassakuin kuivassa puussa. On myös havaittu, että lämpötilan nousu alentaa kimmomoduulia suhteellisesti enemmän kosteassa kuin kuivassa puussa (Kärkkäinen 2007, 215, 217, 218, 220.)



KUVIO 3. Lumen painosta taipuneita nuoria koivuja Tiirismaan hiihtomaastossa helmikuussa 2010 (Kimmomoduuli on lumioloissa riittämätön).

3.4 Koivun taivutettavuus

Koivu kuuluu Suomen puusepänteollisuuden tärkeimpiin puulajeihin. Koivusta tehtävien tuotteiden valmistamiseksi tarvitaan tietämystä mm. koivun lujuusominaisuuksista, esimerkiksi taivutuslujuudesta. Koivun taivutettavuutta on tutkittu VTT:llä (Valtion teknillinen tutkimuskeskus) jo 1940-luvulla. Tutkimuksen mukaan vesihaudonnalla saatiin paremmat tulokset kuin höyryplastisoinnilla. Vesihaudonnassa optimilämpötila on noin 70°C. Korkeammissa lämpötiloissa puun lujuusominaisuudet alkavat heiketä. Taivutukseen sopivaksi puun kosteudeksi saatiin 28...30 %. Kuivatut ja uudelleen kostutetut puut taipuvat paremmin kuin kaatotuoreet. Tyviosasta valmistetut kappaleet käyttäytyvät taas taivutuksessa paremmin kuin läheltä latvaa valmistetut. Pinta- ja sydänpuun välillä ei myöskään havaittu olevan suurta eroa taivutuksessa. Tutkimuksessa havaittiin myös leikkaussuunnista tangenttisuunnan olevan edullisempi kuin sä-

desuunnan. Suuremman tiheyden omaavilla kappaleilla saatiin taas paremmat tulokset. Puun puristaminen muottia vasten myös edistää onnistumista (Malinen 2006, 19, 20.)

Kokeet on tehty massiivipuilla koekappaleilla, mutta samojen tekijöiden voidaan olettaa pitävän myös paikkaansa koivuviilulla (Malinen 2006, 20.) Puuaineen taivutuslujuus on siis erilainen puun syiden, säteen ja tangentin suunnissa. Rauduskoivun taivutuslujuus syiden suunnassa ilmaisivana on 113,9 MPa ja hieskoivun 104,1 MPa, jotka ovat selvästi suurempia kuin esimerkiksi kuusella (85,7 MPa) tai männyllä (85,8 MPa). Lujuusominaisuuksiin vaikuttaa yleensä eniten tiheys. Esimerkiksi rauduskoivun suurempi taivutuslujuus hieskoivuun verrattuna selittyy tiheyserosta (Kärkkäinen 2007, 224, 227.)

Kuormitusnopeuden on havaittu vaikuttavan puun taivutuslujuuteen lyhytaikaisessa kuormituksessa, jolloin murtojännitys saavutetaan 1 – 700 sekunnin kuluessa. Koivun taivutuslujuus riippuu ajasta kaavan $122 - 7,75 \lg t$ mukaisesti, missä \lg on kymmenjärjestelmän logaritmi ja s on aika sekunteina murtojännityksen saavuttamiseen. Kun luvulla 100 merkitään standardikokeissa käytettyä aikaa, niin kaavan perusteella esimerkiksi yhden sekunnin aikaa käytettäessä taivutuslujuus on selvästi suurempi ja kuormitusaikaa lyhennettäessä taivutuslujuus kasvaa jatkuvasti (Kärkkäinen 2007, 232, 233.)

3.5 Solukon rakenteen merkitys

Ohutseinäiset solut, joiden soluseinät pyrkivät taipumaan haitarimaisesti kokoon, edesauttavat hyvää puristuvuutta. Myös ohutseinäisten kuitujen osuus ja niiden pitoisuuden poikkileikkauksen, soluseinän paksuuden ja soluonteloiden keskinäiset suhteet vaikuttanevat taipuisuuteen. Ydinsäteet vaikuttavat puristumurtuman syntyyn vastustaessaan puristumista ja aiheuttaessaan vaurioiden synnyn läheisiin soluseiniin. Erityisesti leveät moniriviset ydinsäteet pystyvät vastustamaan puristusta ja aiheuttamaan viereisiin soluseinämiin liukutasoja ja nurjahduksia (Malinen 2006, 21.)

Muotopuristeessa taivutettavan kappaleen kaaren yläpintaan syntyy vetojännitystä ja sisäpintaan puristusjännitystä. Puun venymä on murtoarjalla suhteellisen pieni verrattuna vastaavaan muotopuristumaan. Tämän vuoksi kriittiseksi tekijäksi muodostuu taivutettavan kappaleen kupera puoli. Esimerkiksi E. Kivimaan (1948) tekemässä märän koivun vetokokeessa 70°C lämpötilassa murtovenymä oli 2,4 %, mutta puristuskokeessa 28,7 %. Käytännössä yläpinnan vetojännityksestä aiheutuva murtuminen voidaan estää tukemalla taivutettava kappale päistään siten että tuet estävät venymisen. Tällä tavoin puu voidaan taivuttaa niin pienisäteiseksi kuin muotopuristuma sallii. Uudempi menetelmä puun pysyväksi taivuttamiseksi on puun tyssääminen, haudotetun kostean puun puristaminen puun syiden suunnassa. Tällä menetelmällä puun soluseinämiin muodostuu laskoksia (Kärkkäinen 2007, 240-241.)

4 ERIKOISVIILUT

Muotopuristuksessa käytettävät viilut ovat yleensä 0,6 – 1,5 mm paksuja, mutta yhdensuuntaisessa taivutuksessa voidaan käyttää myös paksumpia viiluja, jolloin ei tosin ehkä voida enää puhua viiluista. Viilutyyppejä/-lajiketta valitessa tulee ottaa huomioon myös muut kuin esteettiset seikat.

Pintaviiluna käytetään yleensä ohuempia viiluja, koska ne kestävät paremmin taivutusta. Pintaviiluksi halutaan monesti parempilaatuista viilua tai kalliimpaa puulajia kuten tammea, pyökkiä, pähkinäpuuta tai kirsikkapuuta, jolloin ohuemmalla pintaviilulla säästetään kustannuksissa. Pintaviilulla on merkittävä vaikutus muotopuristeen lujuuteen, joten myös suurta lujuutta tavoiteltaessa pintaviilun tulisi olla hyvälaatuista. Pintaviilut on mahdollista hioa ennen muotopuristusta, koska hionta on monessa tapauksessa hankala tehdä muotopuristuksen jälkeen. Ohuen viilun hionta vaatii sille tarkoitettua hiomakoneen, tai hionnan voi teettää muualla (Backman, 2008, 12.)

Käytössämme oli eri valmistajien muotopuristukseen tarkoitettuja ns. mikroviiluja. Mikroviilu on hyvin ohutta viilua, jonka taustapuolelle on kiinnitetty paperia, muovia tai kuitukangasta.

3D-viilulla taas tarkoitetaan teknistä viilua, joissa ohuiksi suikaleiksi sahatut viilut on käännetty ja sidottu uudelleen yhteen siten, että näin aikaansaatu viilu muovautuu hyvinkin hankaliin monisuuntaisiin, jopa pallomaisiin muotoihin (PuuProffa 2009). 3D-viiluissa ei murtovenymä ole ratkaiseva tekijä. Kriittisiä kohtia ovat pienemmät taivutussäteet sekä kuppimaisissa muodoissa tapahtuva säleiden limittyminen (Malinen 2006, 53.)

4.1 2ply ja 3ply pe

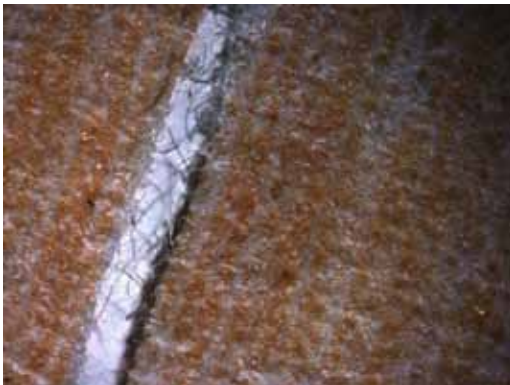
KoskiPly-ohutviiluvaneri on ristiinliimattu vanerilevy, jonka pinnassa on saumaton koivuviilu. Viilujen väliin liimatun polyeteenikalvon on tarkoitus auttaa ohutviiluvaneria venymään jyrkkiin kaariin.

4.2 2ply int

Vilkon 2ply on interior liimauksella valmistettu ohutviiluvaneri, joka on liimattu yhteen kahden eri suuntaan kulkevasta ohuesta viilusta.

4.3 Rampport fleece

Viilun taustapuolelle on liimattu fleece-kangas tasaamaan puristuksessa aiheutuvaa venymistä.



KUVIO 4. Rampportin fleece-kankaalla vahvistetun viilun taustapuoli

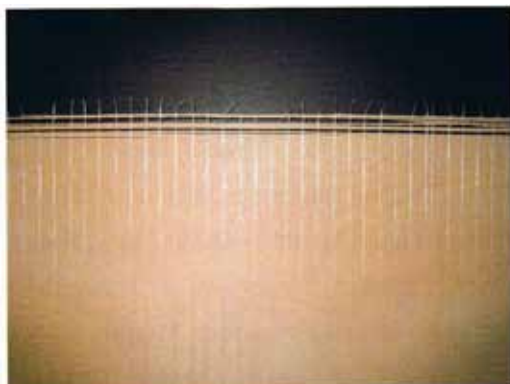
4.4 Lasikuituverkolla vahvistettu viilu

Aikaisemmissa kokeissa oli huomattu, että liimaamalla lasikuituverkko viilun ja ydinmateriaalin väliin saatiin viilun venymää parannettua.

Pintaviilujen esivalmistukseen käytettiin viilujen väliin liimattua lasikuituverkkoa. Myös puristuskokeissa saatiin selville, että lasikuituverkolla voidaan vahvistaa pintaviilua, jolloin niissä ei esiinny pintaviilun repeämiä yhtä paljon kuin vahvistamattomissa viiluissa (Backman 2008, 22.)

4.5 Reholz

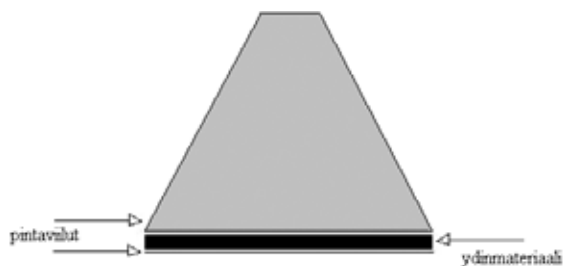
Reholz valmistaa 3D-viiluja mm. huonekalu- ja autoteollisuuteen, sekä myös muovi- tai metallirakenteiden päällystämiseen. Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on tehty tutkimusta viilujen käyttäytymisestä 3Dpuristuksessa. Parhaat tulokset on saatu Reholzin 3D-viilulla, jossa itse puumateriaali ei varsinaisesti jousta, vaan venymä tapahtuu säleitä sitovissa liimalangoissa (Malinen 2006, 23.)



KUVIO 5. Reholzin 3D-viilu koostuu säleistä jotka on liitetty yhteen liimalangoilla.

5 TERMOMUOVATTAVA PUULEVY

Termolevy muodostuu ydinmateriaalista sekä ohuista pintaosista. Ydinmateriaali on absmuovia ja pintamateriaali ohutta pintaviilua. Termolevyä voidaan muovata lämmön avulla halutuksi lopputuotteeksi. Levy saadaan tarpeeksi elastiseksi puristusta varten 130 °C lämpötilassa.



KUVIO 6. Termolevyn rakenne

5.1 Termolevyn valmistus

Projektin alkuvaiheessa tutkittiin abs-muovin ja koivuviulun välille soveltuvia liimoja. Jokaiselle tutkitulle liimalle tehtiin myös erilaisia rasiustestejä sauman lujouden varmistamiseksi. Koska materiaali on uusi, ei standardisoituja testimenetelmiä ollut vaan niitä on kehitetty projektin aikana itse. Tarkoituksena on ollut kehittää testimenetelmiä, joilla saadaan luotettavia tuloksia liimasauman kestävydestä ja jotka ovat myös vertailukelpoisia keskenään. Lukuisten liimaus- ja rasiustestien jälkeen parhaiksi vaihtoehdoiksi osoittautui kolme hyvin erityyppistä liimaa, mistä johtuen myös muotopuristukseen valmistettävien muottien pitää olla erilaiset. Liimaus- ja rasiustesteistä on tulossa toinen opinnäytetyö, jossa on tarkemmin kuvattu eri menetelmiä ja menetelmillä saatuja mittaustuloksia.

Ydinmateriaalin pintojen esikäsittelyllä voidaan vaikuttaa jonkin verran liimasauman pitävyyteen. Muovin karhennus mekaanisesti hiomapaperilla antoi rasiustesteissä liimasauman lujudelle hieman paremmat tulokset kuin karhentamattomalla pinnalla oleva muovi. Muoveille kokeiltiin myös rasvanpoistoa erilaisilla kemikaaleilla, kuten isopropanolilla, mutta tällä ei tuntunut olevan merkitystä lopputulokseen.

5.1.1 Kovaliimaus

Levy voidaan valmistaa liimaamalla pintaviilut kiinni ydinmateriaaliin ennen muotopuristusta, jolloin suora pinnoitettu levy vain lämmitetään uunissa ja puristetaan muotoonsa kylmässä muotissa. Tällä tavalla puristettaessa ongelmaksi muodostuu pintaviilujen venyminen. Viilut eivät pääse liukumaan puristusvaiheessa ja ne repeävät helposti jyrkissä kaarissa.

5.1.2 Märkäliimaus

Toinen vaihtoehto on käyttää folioliimoja. Folioliimoja käytettäessä liima levitetään viiluun, johon sen annetaan kuivua. Seuraavaksi ydinmateriaali kuumennetaan uunissa elastiseksi, minkä jälkeen sekä viilut että ydinmateriaali asetetaan muottiin, jossa on lämmitys. Muotissa on oltava lämmitys, koska esilämmitetyn muovin lämpöenergia ei riitä ylläpitämään tarvittavaa puristuslämpötilaa koko liimausprosessin ajan. Liimasauma aktivoidaan puristusvaiheessa lämmön avulla. Tämä tapa antaa viilujen liukua puristusvaiheessa, mikä myös auttaa niiden taipumista jyrkempiin muotoihin.

Käytetään kumpaa valmistustekniikkaa tahansa, on tärkeää, että termolevyn annetaan jäähtyä puristuksen jälkeen muotissa alle 40 °C lämpötilaan. Levy tarvitsee jäähtyessään puristusta muovin suuren lämpölaajeneman takia. Ilman jäähtytysvaiheessa tapahtuvaa puristusta pintaviilut eivät pysy kiinni muovissa vaan irtoavat siitä irti muovin vielä eläessä. Tämä ilmiö tapahtuu aina liimasta, puristusaineesta tai ajasta riippumatta, jos jälkijäähtytystä ei tehdä.

Seuraavissa kappaleissa on esitetty työohjeet liimoille. Työohjeet ovat monien kokeiden kautta modifioitu valmistajien ohjeista toimimaan abs-muovin ja koivuviulun välisessä saumassa parhaalla mahdollisella tavalla.

5.1.3 Akvapur SM 1200

Akvapur SM 1200 on vesiohenteinen dispersioliima, joka on alun perin kehitetty MDF tai muiden puuperustaisten, jyrstyneiden levyaihioiden PVC-foliopinnoitukseen. Liimaa levitetään levyaihiolle (viiluun) tasainen ja peittävä kerros, jonka annetaan kuivua kirkkaaksi. Kuivumisaika huoneenlämpötilassa noin 30...60 min. Tämän jälkeen kappaleet tulee puristaa yhteen 72 tunnin kuluessa. Liimakalvo tarvitsee aktivoituakseen vähintään +70 °C lämpötilan. Puristusai-ka 90°C lämpötilassa n. 4...5min.

Ennen liimausta muovi on kuumennettava uunissa tai infrapunalampan alla +130 °C lämpötilaan, jolloin se muuttuu tarpeeksi elastiseksi muotoon puristamista varten. Tämän jälkeen kuuma muovi ja viilut puristetaan muotissa, jonka lämpötila on vähintään +70 °C. Puristettava kappale on myös jäähdettävä puristuksessa alle 40 °C lämpötilaan.

Tiivistettynä:

- puristuslämpötila +70 °C
- puristusaika 4,0...5,0 min
- puristusaine n. 2,0 N/mm²
- jälkijäähdytys 40 °C
- muotti vaatii lämmityksen ja jäähdytyksen.



KUVIO 7. Liimoitettut viilut

5.1.4 3M Scotch-Weld

Scotch-Weld on vesiohenteinen kontaktiliima. Liimaa levitetään levyaihiolle (muoviin sekä viiluun) tasainen ja peittävä kerros, jonka annetaan kuivua kirkkaaksi. Kuivumisaika huoneenlämpötilassa noin 30 min. Tämän jälkeen kappaleet tulee puristaa yhteen neljän tunnin kuluessa. Puristus tapahtuu prässissä n. 90 °C lämpötilassa, jonka jälkeen puristettu kappale on jäähdettävä puristuksessa alle 40 °C lämpötilaan. Liiman levitys tapahtuu ruiskulla, telalla tai pens-

selillä. Pintojen tulee olla puhtaat pölystä rasvasta yms. Muovin pinnan karhennuksella saadaan aikaiseksi pitävämpi sauma. Muoville tehdään tarvittaessa rasvanpoisto isopropanolilla.

Tiivistettynä:

- levitysmäärä n. 60g/m²
- puristuslämpötila 90°C
- puristusaika 0,5...1,0 min
- puristuspaine n. 2,0 N/mm²
- jälkijäähdytys 40 °C

Valmis levy voidaan lämmittää uudelleen elastiseksi noin 20 minuutissa esimerkiksi uunissa 130 °C lämpötilassa. Tämän jälkeen lämmin levy puristetaan muotoonsa kylmässä muotissa, esimerkiksi alumiinipintaissa vanerimuotissa. Mitä nopeammin jälkijäähdytys tapahtuu, sitä pitävämpi saumasta saadaan.

5.1.5 Novox

NOVOX-pinnoituskalvot ovat puolivalmisteita, joissa imukykyinen dekoratiivinen paperi on impregnoitu erikoiskertamuovilla. Pinnoituskalvo asetetaan viulun ja abs-levyn väliin. Kalvo tarvitsee noin 150...160 °C lämpötilan tarttuakseen kunnolla muoviin. Muovin kasaan puristumisen estämiseksi puristettava kappale tulee laittaa kappaleen paksuisiin kehyksiin, jotka eivät lämmön vaikutuksesta puristu kasaan. Liimauskokeissa on käytetty 4 mm paksuja alumiinikehyksiä. Prässiin on mahdollista rakentaa myös muunlaiset rajoittimet oikeaa puristuspaksumusta varten.

Puristusaika on noin 5 minuuttia. Puristuspainetta ei ole määritelty. Puristettava kappale on myös jäähdytettävä puristuksessa alle 40 °C lämpötilaan. Käytännössä kappaleen voi siirtää kuumasta prässistä ja asettaa kylmään prässiin tasaantumaan.

Tiivistettynä:

- puristuslämpötila +150 °C
- puristusaika 4,0...7,0 min
- puristuspainetta ei määritelty
- jälkijäähdytys 40 °C

Myös tässä tapauksessa valmis levy voidaan lämmittää uudelleen elastiseksi noin 20 minuutissa esimerkiksi uunissa 130 °C lämpötilassa. Tämän jälkeen lämmin levy puristetaan muotoonsa kylmässä muotissa, esimerkiksi alumiinipintaissa vanerimuotissa.



KUVIO 8. Liimauskokeissa käytetyt kehykset

6 VIILUN FYSIKAALINEN MODIFIONTI

Fysikaalisella modifoinnilla pystyttiin lisäämään viilun venymiskykyä. Erilaisilla viilun modifiointimenetelmillä pyrittiin rikkomaan puun solurakenne tavalla, joka parantaisi sen venymää. Menetelminä tutkittiin myös viilun urittamista mekaanisilla keinoilla sekä sen vahvistamista liimaamalla tai sulattamalla siihen erilaisia materiaaleja.

6.1 Kalanterointi

Viilun kalanteroinnissa viilu ajetaan pyörivien metallitelojen läpi joiden etäisyys toisistaan säädetään mahdollisimman pieneksi. Tällä menetelmällä viilun solurakenne murskataan kasaan. Viilujen paksuus ennen kalanterointia oli 0,6 mm ja kalanteroinnin jälkeen 0,3 mm.

Viilut kalanteroitiin ns. huonekalukuivina (kosteus 6–8 %).



KUVIO 9. Viilun kalanterointia

6.2 Shokkikäsitely

Viilun shokkikäsitelyssä sen solurakennetta pyritään muokkaamaan puristamalla viilu kasaan korkeassa lämpötilassa ja puristuspaineessa. Puun lämmitessä nopeasti korkeaan lämpötilaan pyrkii siinä oleva kosteus myös poistumaan siitä nopeasti. Puristuspaineen ollessa tarpeeksi suuri ei kosteus pääse haihtumaan puusta vapaasti, vaan se pyrkii rikkomaan puun solurakennetta siitä poistuessaan. Tällä tavoin pyritään myös lisäämään viilun venymisominaisuuksia.

Lämpötila puristimessa käsittelyn aikana oli n. 200 °C ja puristuspaine n. 35 bar. Puristusaikojä vaihdeltiin 8...16 sekunnin välillä. Viilujen kosteusprosentti käsittelyn jälkeen oli puristusajasta riippumatta aina alle 2. Kosteus kuitenkin tasaantui ennen murtovenymätestejä n. 7 %:iin.

6.3 Sorvaushalkeamien hyödyntäminen

Sorvauksessa viilu irrotetaan spiraalimaisesti, jolloin yläpinnalle syntyy puristusjännityksiä ja alapinnalle vetojännityksiä, jotka näkyvät alapinnan halkeiluna. Halkeiluun voidaan vaikuttaa mm. oikealla puristusasteella ja vastaterällä. Sorvauksessa syntyvät mikrohalkeamat heikentävät viilun vetolujuutta syitä vastaan kohtisuoraan. Sorvaushalkeamia voidaan hyödyntää viilun murtovenymän parantamiseksi. Termolevy voidaan valmistaa ns. paistamalla viilu kiinni abs-muoviin korkeassa lämpötilassa. Muovin ollessa tarpeeksi lämmin (n. 160°C) ja paineen tarpeeksi suuri, tunkeutuu sula abs-muovi viilun sorvaushalkeamiin samalla parantaen sen venymisominaisuuksia.



KUVIO 10. Abs-muovi sulaneena mikrohalkeamiin

6.4 Lasertyöstö

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa on selvitetty viilun osittaisen paksuuden pienentämisen vaikutusta sen taivutettavuuteen. Menetelmällä pystyttiin vähentämään poimuuntumista ja repeilyä. Menetelmässä viilun alapintaan leikataan tai hiotaan uria. Urat antavat lisätilaa viilun kokoon puristumista varten ja estävät näin sen rikkoutumista. Jännityksistä vapaa alue eli neutraaliakseli siirtyy lähemmäksi vetopuolta vähentäen näin viilun pintaan syntyvää vetojännitystä. Taivutettavuuteen vaikuttivat huomattavasti urien lukumäärä pinta-alaa kohti sekä urien syvyys. Urien syvyys tutkimuksessa oli 50–70 % viilun paksuudesta. Yhdistämällä käsittely muihin prosesseihin pystyttiin taivutettavuutta parantamaan entisestään (Malinen 2006, 27.)



KUVIO 11. Mikroviiste viulun alapinnalla (Malinen 2006, 27)

7 MURTOVENYMIEN TESTAUS

Tavoitteena oli selvittää muotopuristeissa käytettävien pintaviilujen venymiskykyä. Testaukseen otettiin mukaan kaupallisia erikoisviiluja sekä itse modifioidut koivuviilut. Viilut testattiin ns. huonekalukuivina (6–8 %) ja n. 15 % kosteudessa. Viilujen murtovenymien määrittämiseksi ei ollut olemassa valmista testiä vaan sellainen piti kehittää itse.

7.1 Testimenetelmän kehitys

Pelkän viulun testaaminen aineenkojeistuslaitteistolla ei ole käytännössä mahdollista, koska ohut huonekaluviilu on niin heikko poikkisyin, ettei se kestä vetoa juuri ollenkaan. Jos viilua testattaisiin syynsuunnassa, koe voisi onnistuakin pelkkää viilua venyttämällä, mutta ei siis tässä tapauksessa.

Kehitimme testausmenetelmän, jossa viilu liimataan 4 mm abs-levyyn ja tämän jälkeen levystä sahataan ja jyrsitään vetokoesauvoja. Koetta varten valmistetut vetokoesauvat olivat 170 mm pitkiä, päistä 20 mm leveitä ja keskeltä 9 mm leveiksi kavennettuja. Vetosauvojen valmistamisen helpottamiseksi valmistettiin tarkoitukseen sopiva jyrsintäjigi (Kuvio 10).

Sauvojen kavennettuun keskiosaan piirrettiin ennen vetoa 50 mm välein merkit, joiden välimatkaa voitiin verrata keskenään ennen vetoa ja sen jälkeen. Vetokoe suoritettiin siten, että sauvaa venytettiin hyvin hitaasti, kunnes viilussa näkyi silminnähtävää murtuma tai viulun murtumisen pystyi kuulemaan. Viulun murruttua vetokoe pysäytettiin ja vetosauvasta mitattiin, paljonko siihen merkitty 50 mm viivojen väli oli kasvanut. Venymä mitattiin vetosauvan vielä ollessa kojeistuslaitteessa kiinni, jottei vetosauva pääsisi palautumaan. Mitatusta venymästä voitiin laskea viulun prosentuaalinen murtovenymä vertaamalla uutta mittaa alkuperäiseen. Työ aloitettiin määrittämällä normaalille koivuviilulle murtovenymä. Menetelmä on hyvä, koska se kuvastaa samalla termolevyn ominaisuuksia.



KUVIO 12. Jyrsintäjä ja vetosauva

7.2 Testauslaitteisto

Testaus suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puutekniikan laitoksen puulaboratoriossa Alwertron TCT50 -vetokoneella. Vedon siirtymänopeus testatessa oli 0,1 mm/s. Muilla parametreilla ei ole merkitystä, koska veto pysäytettiin manuaalisesti viulun murruttua, ja myös mitaukset suoritettiin käsin käyttämällä työntömittaa.



KUVIO 13. Koivuviilulla pinnoitettu abs-muovi vedon jälkeen

7.3 Kosteuden vaikutus

Viilujen laadulla ja suhteellisella kosteudella on suuri vaikutus muotopuristuksen lopputulokseen. Huonolaatuinen tai viallinen viilu voi aiheuttaa repeytyviä puristusvaiheessa tai esiintyä värvikoina valmiissa muotopuristeissa. Liian kuiva viilu ei ole luja ja on siten herkkä repeytymään. Liian kostea viilu taas aiheuttaa ongelmia varsinkin jos puristuksessa käytetään korkeita lämpötiloja. Viilussa oleva vesi höyrystyy ja purkautuu yleensä puristinta avattaessa, aiheuttaen kappaleen muotopuristeen vahingoittumisen. Kosteus vaikuttaa viilun lujuuteen samalla tavalla kuin massiivipuuhunkin. Puun kuivuminen aiheuttaa myös muodonmuutoksia, mutta niiden vaikutukset pienissä muotopuristetuissa kappaleissa on suhteellisen vähäiset (Backman 2008, 9.) Kosteus ja viilujen laadut vaikuttavat samalla tavalla myös termolevyn lujuuteen ja siinä käytettävien pintaviilujen kestävyuteen.

Käytössä olleet viilut testattiin ns. huonekalukuivina ja niiden ollessa n. 15 % kosteudessa. Jokaiselle viilulaadulle tehtiin 30 mittausta kummassakin kosteusluokassa. Tulokset taulukoitiin, ja niistä laskettiin keskiarvot. Huonekalukuivan ja kosteamman koivuviilun ero on vetokokeissa selvä kosteamman viilun hyväksi. Huonekalukuivan sorvatus koivuviilun murtovenymäksi saatiin määritettyä 1,4 % (liite 5, taulukko 8) ja 15 % kosteudessa olevan koivuviilun murtovenymäksi 2,3 % (liite 3, taulukko 4). Kosteuden lisäys ei kuitenkaan vaikuttanut teknisiin viiluihin ratkaisevasti. Muotopuristaessa voidaan kuitenkin pintaviilu jyrkimmistä kohdista kastella esimerkiksi pensselillä tai sienellä täysin märäksi, jolloin se taipuu murtumatta vielä enemmän. Vetokokeissa täysin märäksi kastellun viilun venymäksi saatiin määriteltyä 3,4 %.

7.4 Tulokset

Ydinmateriaalin ja koivuviilun välinen liimasauma tasaa viilun venymistä, mistä johtuen murtovenymäkokeen tulokset ovat hieman suurempia kuin kirjallisuuslähteistä saadut lukemat. Tulokset ovat kuitenkin samansuuntaisia esimerkiksi Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa tehtyjen tutkimusten kanssa. (Malinen 2006, Liite 4). Testikappaleet vastaavat täysin niitä vaihtoehtoja, joita tultiin käyttämään varsinaisissa puristuskokeissa, joten tätä projektia ajatellen testi on toimiva. Mittauksista saadut tulokset kirjattiin ja niistä laskettiin suhteelliset venymät ja niiden keskiarvot.

7.4.1 Ramport fleece

Korkeimmat murtovenymän arvot saavutettiin Ramportin fleece-kankaalla vahvistetulla viilulla, joka poikkesi merkittävästi muista käytössä olleista viiluista. Materiaali on myös erittäin tasa-laatuista, ja viilu murtui hiljalleen, kun taas muissa teknisissä viiluissa viilu murtui napsahtaen tiettyssä kohdassa vetoa, mikä taas ennustaa ongelmia käytännön puristuskokeissa. Fleece-tausta ja liimaus tukevat viilua, jolloin rakenteen murtovenymä on selvästi suurempi kuin normaalilla koivuviilulla. Lisäksi viilulla on etuna sileä pinta, joka ei vaadi hiontaa ennen pintakäsittelyä. Fleece-kankaalla vahvistetun viilun murtovenymäprosentiksi saatiin määriteltyä 3,8 (liite 2, taulukko 1). Käsittelemättömälle sorvatusalle 0,6 mm paksulle koivuviilulle saatiin määriteltyä murtovenymäprosentiksi 1,4. Käytännössä esimerkiksi 1,4 % murtovenymä merkitsee 400 mm:n matkalla 5,6 mm:n venymää, kun taas 3,8 % venymällä saadaan aikaiseksi jo 15,2 mm:n venymä.

7.4.2 2ply pe ja 3ply pe

Vilkon teknisillä ohutviiluvanereilla saadut murtovenymätestien tulokset vastasivat lähes täysin normaalin sorvatus koivuviilun murtovenymän lukemia. Viilujen välissä oleva polyeteenikalvo ei paranna viilujen murtovenymää, vaan vetolujuus pintaviilussa kohtisuoraan syitä vasten on täsmälleen sama kuin normaalilla koivuviilulla (liitteet 4 ja 5, taulukot 6 ja 7).

7.4.3 2ply int

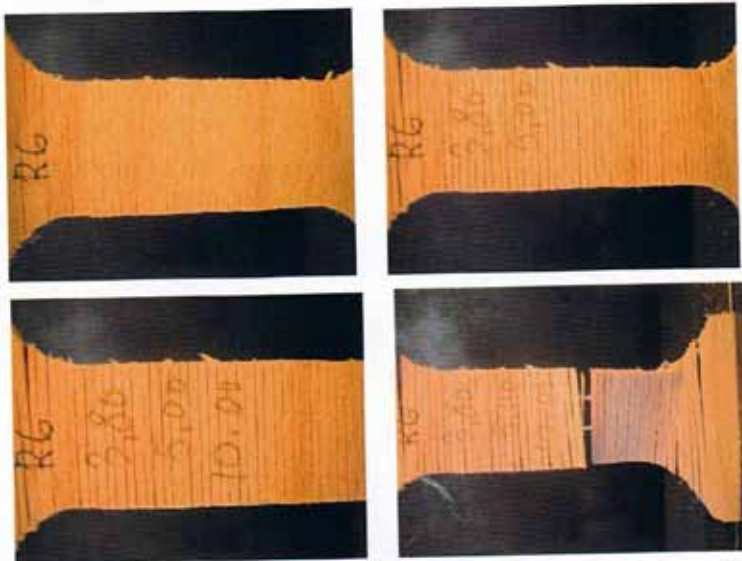
Tämä viilu eroaa 2ply pe ohutviiluvanerista, jossa on polyeteenikalvo viilujen välissä, siten että tässä viilussa on joustamattomalla interiöriiimauksella toteutettu rakenne. Käytännössä vetolujuus syiden suunnassa ja syitä vastaan kohtisuorassa on sama. Tästä johtuen viilu ei jousa ja murtovenymättestissä saavat katkesivat. Näistä viiluista ei murtovenymää voitu määrittellä.

7.4.4 Lasikuituverkolla vahvistettu viilu

Lasikuituverkolla vahvistetun koivuviilun murtovenymä on huomattavasti normaalia koivuviilua parempi. Viilun taustalle liimattu lasikuituverkko tukee viilua venytyksessä antaen sille noin 3 % murtovenymän (liite 2, taulukko 2).

7.4.5 Reholz

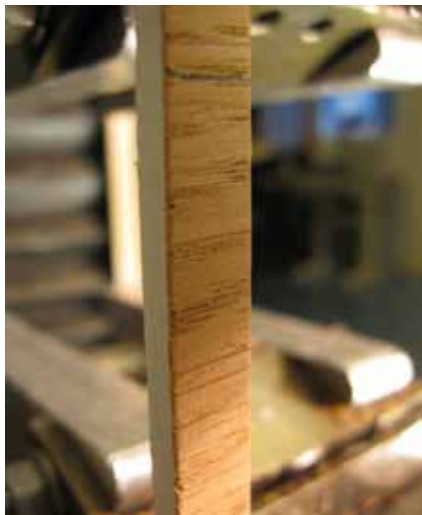
Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on tehty vastaavia murtovenymätestejä Reholzin toimittamilla 3D-viiluilla. Käytössämme ei ollut kyseistä viilua, mutta koska testimme on samansuuntainen heidän tekemänsä testin kanssa, voimme käyttää hyväksi heidän saamiaan testien tuloksia. Reholzin 3D-viilulla murtovenymäprosentiksi oli saatu määriteltyä 5,4 % (Malinen 2006, 53.)



KUVIO 14. Vasemmassa yläkulmassa viilun murtovenymä on 5,4 %, jonka jälkeen viilun venytystä jatkettiin viilun murtumispisteeseen saakka (Malinen 2006, 53)

7.4.6 Leikattu pyökki- ja tammiviilu

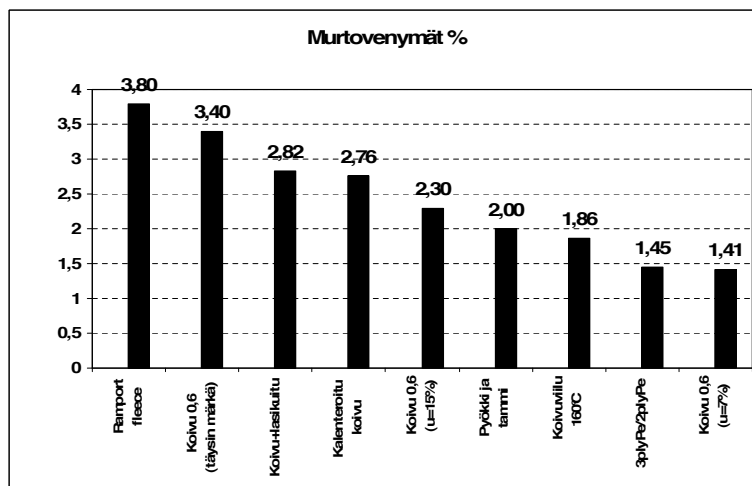
Sekä tammelle että pyökille saatiin määriteltyä murtovenymäprosentiksi noin 2,0. Pyökki ja tammiviilu sopivat taivutukseen hyvin putkilosyisen solurakenteensa ansiosta. Varsinkin tammella syyhuokokset ovat niin suuria, että venytyksessä ei selvää murtopistettä näy vaan huokokset muuttuvat suuremmiksi. Tämä tietysti aiheuttaa ongelmia pinnankäsittelyssä (liite 6, taulukot 9 ja 10).



KUVIO 15. Tammiviilun vedon jälkeen, venymäprosentin ollessa 2,0

7.4.7 Viilun sorvaushalkeamien hyödyntäminen

Kuumennettaessa esimerkiksi abs-muovia ja viilua päällekkäin, ja puristuspaineen ollessa riittävän korkea, tunkeutuu sula muovi viilussa oleviin sorvaushalkeamiin. Tällä tavoin saatiin liisätyä hieman viilun venymää, mutta ei kuitenkaan tarpeeksi auttamaan käytännön toteutusta (liite 4, taulukko 5).



KUVIO 16. Viilujen suhteelliset murtovenymät

8 TERMOLEVYJEN PURISTUSKOKEET

Puristuskokeet vahvistivat murtovenymätutkimuksissa saatuja tuloksia. Puristuskokeita tehtiin monilla hyvin erilaisilla tekniikoilla, mutta kaikissa on tärkeää että levyn annetaan jäähtyä alle 40°C lämpötilaan ennen sen irrottamista muotista. Ydinmateriaalin lämpölaajeneminen on suurta yli 40 °C lämpötilassa ja tästä johtuen liimasauma ei jaksa pitää viiluja muovissa kiinni, jos muovi irroitetaan liian korkeassa lämpötilassa puristuksesta.

8.1 Puristusmenetelmät

Perinteisesti viiluista valmistettuja muotopuristeita on tehty puusepänteollisuudessa käyttäen uros- ja naarasmuotteja. Termolevyä voidaan puristaa tämän perinteisen menetelmän lisäksi myös alipainetekniikalla. Levy voidaan puristaa muotoonsa ns. valmiina levynä, jolloin ydinmateriaaliin on jo liimattu valmiiksi pintaviilut kiinni. Puriste voidaan valmistaa myös puristamalla yhteen liimoitetut viilut ja ydinmateriaali muotissa, jossa lämpö aktivoi liimasauman.

8.1.1 Lämpömuovaus

Lämpömuovaus suoritetaan siten, että levyn ydinmateriaali lämmitetään ensin elastiseksi uunissa tai infrapunalamppun alla, minkä jälkeen se asetetaan viilujen kanssa muottiin, jossa se puristetaan muotoonsa. Viiluihin on jo valmiiksi levitetty liima, joka aktivoituu muotissa lämmön vaikutuksesta. Käytössämme olleet abs-levyn viilun liimaamiseen soveltuvat liimat tarvitsevat +70 °C lämpötilan aktivoituaakseen. Tällainen muotti vaatii myös jäähdytysjärjestelmän. Tämä tekniikka antaa viilujen liukua puristusvaiheessa ja auttaa niitä näin myös venymään paremmin jyrkkiin muotoihin. Termolevyn muovausmenetelmistä on tehty opinnäytetyö (Paulakoski 2009), jossa on tullut ilmi tällaisen jäähdytysjärjestelmällisen muotin kalleus verrattuna kylmäpuristusmuottiin tai tyhjiömuovaukseen.

8.1.2 Tyhjiömuovaus

Alipaine- eli tyhjiömuovaus on muoveille yleinen lämpömuovaustapa. Tässä tekniikassa kappaleen toinen pinta kopioituu muotin pinnasta ja toinen pinta kappaleen oheneman mukaan. Aineen oheneman tasaisuuteen vaikuttaa lämmityksen tasaisuus sekä aineen venymä (Paulakoski 2009, 2.)

Tyhjiömuovauksen selvä etu muihin puristustekniikoihin on sen edullisuus. Tyhjiömuovauslaite on suhteellisen yksinkertainen ja helppo valmistaa, mikäli käytössä on alipainepumppu.

8.1.3 Kylmämuottipuristus

Tämä menetelmä on hyvin yksinkertainen. Termolevy kuumennetaan ensin uunissa, minkä jälkeen se siirretään kuumana muottiin. Muotoonsa se puristetaan muotissa, jossa se myös jäähtyy lopulliseen muotoonsa. Lopuksi valmis kappale vain irrotetaan ja sen reunat työstetään. Kylmäpuristuksessa viilut on jo valmiiksi liimattu ydinmateriaaliin kiinni, eivätkä ne pääse liukumaan puristuksen aikana. Näin ollen puristettavat kaaret eivät saa ylittää käytettävien pintaviilujen murtovenymäprosenttia ehjän pinnan aikaansaamiseksi.

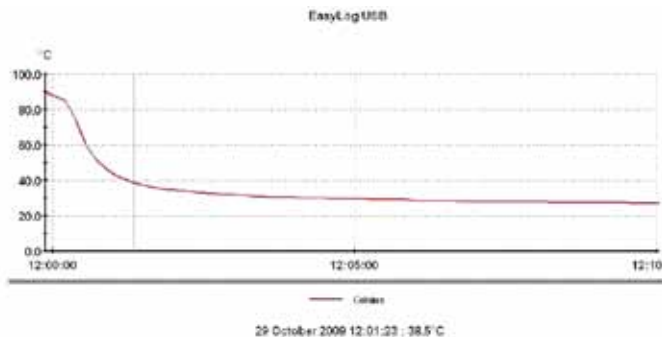
8.2 3D-muotti

Puristuskokeita suoritettiin aluksi perinteisellä vanerista valmistetulla 3D-muotilla, joka koostuu uros- ja naaraskappaleista. Tässä muotissa ei ollut lämmitystä eikä jäädytystä, joten puristaminen oli erittäin hidasta. Liimasauma vaatii aktivoituaan $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilan ja paksun vanerimuotin lämmittäminen sekä jäädytys puristuksen jälkeen alle $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan kestää tunteja.



KUVIO 17. Perinteinen vanerista valmistettu 3D-muotti

3D-muotti, jossa olisi lämmitys- ja jäädytysjärjestelmä, maksaisi taas tuhansia euroja, joten se ei ole järkevä hankinta yksittäiskappaleiden valmistukseen. Valmiin esilämmitetyn termolevyn puristaminen onnistuu kylmässä muotissa, mutta siinä pitää olla mielellään alumiininen tai jokin muu metallinen pinta, jotta levyn jäähtyminen tapahtuisi tarpeeksi nopeasti. Nopea jäädytys on valmiin esilämmitetyn levyn tekniikassa tärkeää. Hitaalla jäädytyksellä ei saada pitävää saumaa vaan viilu pyrkii kuoriutumaan irti muovin pinnasta. Suorilla levyillä tehdyissä kokeissa huomattiin, että kuuma termolevy jäähtyy jo 30 sekunnissa alle 40 asteen lämpötilaan kylmien teräslevyjen välissä ja näin saumasta saadaan pitävä. Vanerilevyjen välissä jäädytetyille levyille ei taas saada kunnon saumaa aikaiseksi. Tämä todettiin myös vanerisella 3D-muotilla tehdyissä kokeissa.



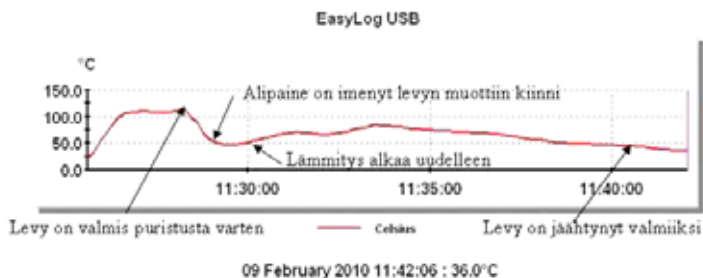
KUVIO 18. Alumiinilevyjen välissä tapahtuvaa jäädytystä esittävä kuvaaja

8.2.1 Alipainemuotti

Muovilevyjen muotoilua toteutetaan yleisesti alipainetekniikalla, joka on myös huomattavasti edullisempaa kuin edellä mainittujen muottien valmistaminen. Rakensimme yhdessä laboratoriomestari Markku Lipposen kanssa tyhjiömuovauslaitteen, jolla suoritettiin loput projektin puristuskokeista. Tyhjiömuovauslaite koostuu alipainepumpusta, imulaatikosta sekä kehyksestä, jonka välissä oleva silikonimatto jännittyy puristuksessa pinnoitettavan kappaleen päälle.



KUVIO 19. Puristuskokeita varten valmistettu tyhjiömuovauslaite



KUVIO 20. Aika-lämpötilakuvaaja

Kuvaajasta nähdään, että lämmitykseen laitettaessa levyn lämpötila on n. 22 °C. Lämmitys tapahtui infrapunalampun avulla. Minuutin lämmityksen jälkeen levyn lämpötila on noussut 125 °C:een. Noin kolmen minuutin kohdalla levyn lämpötila on suunnilleen 135 °C, jolloin levy on tarpeeksi elastista muotopuristusta varten. Tämän jälkeen levy otetaan infrapunalampun alta ja siirretään viilujen väliin muottiin ja alipaine kytketään päälle. Levyn lämpötila on tässä vaiheessa noin 100 °C. (Siirtämisen ja alipaineen kytkemisen aikana levyn lämpötila alenee jonkin verran.) Neljän minuutin kohdalla levyn lämpötila on pudonnut 50 °C:een, jolloin alipaine on jo imenyt levyn kiinni muottiin. Viiden minuutin kohdalla alipainemuotin päälle asetetaan infrapunalamppu, joka nostaa puristuslämpötilan yli 70 °C:een ja pitää sen suunnilleen näissä lukemissa seuraavat viisi minuuttia, minkä jälkeen infrapunalamppu nostetaan pois ja puristeen jäähtyminen alkaa. Puriste on valmis työstettäväksi levyn lämpötilan laskettua alle 40 °C:een. Aikaa jäähtymiseen on kulunut noin seitsemän minuuttia.

8.2.2 Future Laminations

Taideteollisessa korkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa on etsitty tapoja poimuttaa ja aallottaa viilumateriaalia esimerkiksi astiamaisiksi muodoiksi viulun murtovenymää ylittämättä. Työn kaikki vaiheet on tehty tietokoneavusteista suunnittelua hyödyntäen. Puristemuodon on oltava viilumateriaalia venyttämätön ja ilman mallinnusohjelmien käyttöä monimuotoisten avaruusgeometristen rakenteiden mittatarkka käsittely olisi erittäin vaikeaa. Puristeissa on käytetty materiaaleina lähinnä 0,6 mm paksua sorvattua koivuviilua, ristiinliimattua ohutviiluvaneria sekä paperivahvisteista levyhuonekalujen pinnoitukseen tarkoitettua viilua. Useimmissa koekappaleissa sisäkerrokset ovat sorvatusta viilusta. Tutkimuksessa vahvistetut viilut ovat osoittautuneet käyttökelpoisiksi viilupuristeiden pintakerroksina. Niiden käsittely on helppoa ja ne kestävät tavanomaista viilua paremmin puristamisen monipuolisiin 3D-muotoihin.

Tuisku- ja Uni-muodot ovat eräitä tutkimuksen kuppimaisista koemuodoista. Viilut joutuvat mukautumaan monensuuntaiseen taivutukseen kupin pohjan reunoilla. Muodot on laskettu etukäteen sellaiseksi, että ne ovat periaatteeltaan levittyviä muotoja. Jos valmiiden kappaleiden liimasaumat voitaisiin muuttaa uudelleen elastisiksi, voitaisiin viilut levittää takasin tasopinnaksi. Muodot on saatu kehitettyä sellaiseksi, että niiden valmistaminen onnistuu tavallisilla 0,6 mm paksuisilla koivuviiluilla. Vahvistettujen viilujen käyttö kuitenkin helpottaa puristeiden valmistamista (Vainio 2002, 18.)

Käytimme tyhjömuovauspuristuksessa muotteina näitä samoja muotoja. Käytännössä voidaan tarkistaa etukäteen onnistuuko muodon puristus viilua rikkomatta asettamalla muotin päälle paperiarkin. Jos se mukautuu muotin pintaan, silloin viilukin varmasti mukautuu. Puristuskokeissa kummatkin muodot saatiin toteutettua normaalilla koivuviilulla, mutta onnistumisprosentti erikoisviiluja käytettäessä oli kuitenkin suurempi.



KUVIO 21. Ensimmäinen onnistunut kappale koivuviilulla Tuisku-muotoa käyttäen

8.3 Tulosten tarkastelu

Koepuristukset tukivat murtovenymätesteissä saatuja tuloksia. Tuisku-muodolla tehdyissä puristuskokeissa ei viilulle juurikaan aiheudu venymistä, mutta varsinkin kupin alapinta pyrkii kuitenkin helposti halkeilemaan puristuksessa. Erikoisviiluja käytettäessä tätä ongelmaa ei ilmennyt. Kupin sisäpuoli voidaan puristaa normaalilla sorvatulla koivuviilulla sen repeämättä. Erikoisviiluja käytettäessä saadaan myös puristettavasta muodosta jäykempi viilujen kerrosrakenteen ansioista. Puristuskokeet Tuisku-muodolla osoittivat, että tuotteen pintamateriaaliksi sopii parhaiten jokin vahvistetuista erikoisviiluista. Ramportin fleece-kankaalla vahvistetussa viilussa on etuna sen kestävyuden lisäksi pintakäsittelyä vaille valmiiksi hiottu pinta.

Ongelmana erikoisviiluja käytettäessä on kuitenkin niiden hinta. Pienissä muodoissa kuten puristamissamme uni- ja tuisku-vadeissa, ei viilun hinta koostu kuitenkaan niin suureksi ongelmaksi kuin esimerkiksi suuria kolmiulotteisia sisustuslevyjä valmistettaessa.

Tuisku-vadin materiaalien kokonaishinnaksi saadaan laskettua sorvattua A-luokan koivuviilua ja 4 mm abs-muovia käyttäen 1,87 € (tarvittavien aihoiden koko 0,3 m x 0,3 m). Jos puriste taas tehdään käyttäen pelkästään sorvattuja koivuviiluja, täytyy niitä käyttää yhdeksän kerrosta, jotta päästään samaan paksuuteen termolevyrakenteen kanssa. Tällöin vadin hinnaksi muodostuu 2,62 € (Liite 7). Jos taas päädytään käyttämään kappaleen pinnoissa esimerkiksi fleece-kankaalla vahvistettua erikoisviilua, puristettavan vadin hinta luonnollisesti nousee. Fleece-kankaalla vahvistetun viilun hinta neliötä kohti on 13,80 € (Hautamäki 2010).

9 YHTEENVETO

Tärkeässä osassa pintaviilun venymää ovat sen murtovenymäominaisuudet. Aihion muodosta aiheutuva venymä ei saa ylittää viilun murtovenymää missään vaiheessa. Jyrkissä kohdissa voidaan tosin viilua kastella paikallisesti sen venymän parantamiseksi. Myös erikoistuotteissa ja yksittäiskappaleita valmistettaessa koko viiluarkki voidaan kalanteroida tai viilua voidaan kalanteroida paikallisesti kohdista, joissa muoto vaatii suurempaa venymää.

Viilun fysikaalisella modifioinnilla pystyttiin parantamaan hieman viilun murtovenymää, mutta kuitenkin käytössämme olleet kaupalliset tekniset viilut sekä 3D-viilut antoivat huomattavasti paremmat murtovenymälukemat kuin modifioidut koivuviilut.

Kaupallisten viilujen ongelmana on kuitenkin niiden korkea hinta. Liimaamalla lasikuituverkko koivuviilun taustalle päästään kuitenkin lähes yhtä hyviin tuloksiin kuin kaupallisilla viiluilla, ja tämä on lisäksi myös edullisempi menetelmä.

Kosteuden vaikutus viilujen venymään on myös suuri. Huonekalukuivan viilun taiputus ei kannata, ja kosteuden on syytä olla vähintään 12 %. Tämä saatiin myös todistettua murtovenymätesteissä.

Jokaiselle erilaiselle puristettavalle muodolle on määriteltävä puristuksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät erikseen. On valittava esimerkiksi oikea pintaviilu, muokattava tarvittaessa pintaviiluja oikeista kohdista paikallisesti tai valittava puristeelle sopiva puristustekniikka. Puristuskokeissa huomattiin, että 3D-muodot alipainetekniikkaa käyttäen onnistuvat parhaiten ns. märkäliimauksella, jossa liimoitettu viilu ja esilämmitetty ydinmateriaali puristetaan yhteen. Liima reagoi lämmössä, joten puristustapahtuman ajan on valmistettavaa puristetta lämmitettävä esimerkiksi infrapunalampan alla tai lämmitettävällä muotilla. Puristuskokeita märkäliimaustekniikalla tehdessä huomattiin, että viilujen kosteus heti folioliiman kuivumisen jälkeen on liian suuri. Liiallinen kosteus ei pääse alipainemuovauksessa haihtumaan silikonimaton välistä ja aiheuttaa yleensä puristettavan kappaleen alapinnan viilun huonon tarttuvuuden. Ongelma voidaan ratkaista liimoittamalla viilut puristusta edellisestä päivästä, jolloin liiallinen kosteus on haihtunut niistä varmasti pois ennen puristusta. Valmiiksi liimatun levyn puristamisessa ongelmana on viilujen kuivuminen lämmityksen yhteydessä, mikä taas aiheuttaa niiden helpomman repeämisen 3D-muodoissa.

Puristusmenetelmistä alipainetekniikka positiivista muotia käyttäen soveltuu selvästi parhaiten 3D-muotojen valmistukseen. Sen etuna on helpon käytettävyyden lisäksi edullinen hinta. Puristettava muoto vaatii vain muotoa vastaavan uroskappaleen, jonka päälle ydinmateriaali viilui-
neen imetään. Tällaisia alipainemuotissa käytettäviä muotojen vastakappaleita on yksinkertaista ja edullista valmistaa myös käsityönä.

Muotopuristeita tehtäessä rajoittava tekijä on edelleen pintaviilun venyminen. Jyrkissä taiputustesteissä, varsinkin jos venymää tapahtuu kahteen suuntaan, voidaan murtumista estää käyttämällä teknisiä tai modifioituja viiluja sekä kastelemalla viilut paikallisesti täysin märäksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää menetelmiä termomuovattavan levyn pintaviilun venymän parantamiseksi 3D-muotopuristeissa ja kartoittaa nykyisin tarjolla olevien kaupallisten teknisten- ja 3D-viilujen venymistä sekä soveltuvuutta termolevyn pintamateriaaleiksi. Toisena tavoitteena oli selvittää erilaisia muotopuristusvaihtoehtoja vanhojen menetelmien rinnalle. Koko projektille ja siitä erotetulle opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin.

Rajoittavana tekijänä termomuovattavassa puulevyssä ovat edelleen pintaviilut. Levyn rakennetta muutettaessa esimerkiksi siten, että pintaviilut ovat erillisiä soiroja, joiden välistä muovi tulee esille, päästään jo todella jyrkkiin taipumiin. Pintaviilusoirot voidaan myös korvata paksummilla puusuikaleilla, jolloin levystä saadaan sopivampi massiivisuutta vaativiin käyttökohteisiin. Termolevyn etu on kuitenkin sen helpossa muovailtavuudessa ja alipainetekniikalla tapahtuvassa puristuksessa, joten paksut soirot vaatisivat taas erilaisia puristustekniikoita. Myös jatkokehitys levyn ulkonäköä koskien on muotoilijoiden käsissä.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- Holmberg, K 2000. Kalustemuotoiludesign. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kollman, F. F.P., Wilfred A. Côté Jr. 1968. Principles of Wood Science and Technology, I Solid Wood. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Koponen, H. 1990. Puutuotteiden liimaus. Hämeenlinna: Otatieto Oy.
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy
- Laakkonen, P. 1996. Puutekniikka, Muoto, rakenne ja tekninen piirustus. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Vainio, P. 2002. Tietokoneen hyväksikäyttö viilupuristehuonekalujen muotoilussa, loppuraportti 7.10.2002.

Elektroniset lähteet

- Aalto J, 2002. Lujusopin peruskäsitteitä, [viitattu07.02.2010] saatavissa:
<http://www.tkk.fi/Yksiköt/Rakenteidenmekaniikka/henk/aalto/materiaalia/lujp.pdf>
- Hautamäki, K. 2010. Re: viilu [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Suominen, J. Lähetetty 22.2.2010.
- PuuProffa 2009, [viitattu07.02.2010] saatavissa: <http://www.puuproffa.fi/arkisto/lujuus.php>

LIITTEET

Liite 1



AKVAPUR SM 1200

1-komponenttinen folioliima

KÄYTTÖALA Akvapur SM 1200 on dispersioliima, joka on kehitetty MDF tai muiden puuperustais-ten, jyrstyneiden levyaihioiden PVC-foliopinoitukseen käyttäen membra- tai syvävetotekniikkaa. Liimalla saadaan hyvä, tasainen pinnanlaatu.

TEKNISET TIEDOT Väri valkoinen, läpikuultava

pH-arvo n. 8,5

Viskositeetti

(Brookfield RVT, +20°C, 3/20) valmistuspäivänä n. 13 00 mPas

KÄYTTÖOHJE Liimaa levitetään levyaihiolle tasainen ja peittävä kerros, jonka annetaan kuivua kirkaaksi. Kuivumisaika huoneenlämpötilassa n. 30...60 min.

Tämän jälkeen erikois-PVC-kalvo esilämmitetään ja vedetään ja/tai puristetaan kiinni levyaihioon syväveto- tai membrakoneella.

Liimakalvo tarvitsee aktivoituakseen vähintään +70°C lämpötilan. Vähimmäispuristus aika määräytyy tapauskohtaisesti.

Liimoitus tulee aktivoida 72 h:n kuluessa liimoituksesta.

Lämpöaktivoinnin ollessa riittävä, liimasauman (PVC/MDF) jälkilämmön-kestosta tulee korkea, n. 80-90°C.

ASTIAKOKO 15 kg, 100 kg

SUOSITELTAVAT Liimattaessa tulee huomioida folion- ja koneenvalmistajan ohjeet.

KÄYTTÖ- Liimattavien pintojen tulee olla puhtaat pölystä, rasvasta ym. käytettäessä

OLOSUHTEET pientä levitysmäärää on tehtävä liimauskokeet riittävän lujuuden varmistamiseksi.

Liima levitetään hajotusilma- tai korkeapaineruiskulla.

KÄYTTÖ- JA Vältä tarpeetonta ihokosketusta tuoreen liiman kanssa.

YMPÄRISTÖ- Työvälineiden pesuvedet voi kaataa viemäriin.

TURVALLISUUS Tuotteesta on saatavissa erillinen käyttöturvallisuustiedote.

VARASTOINTI Tuote säilyy huoneenlämpötilassa, tiiviisti suljetussa alkuperäisastiassa vähintään 3 kk. **Liima on sekoitettava huolellisesti ennen käyttöä.**

HUOMATKAA Uusia materiaaleja, tuotantolaitteita tai menetelmiä käyttöönotettaessa on tehtävä koeliimaus. Suosituksemme perustuvat suorittamiimme kokeisiin sekä parhaisiin tietoihimme. Kansainvälisen tavan mukaan vastaamme vain tuotteen tasalaatuisuudesta. Koska emme voi vaikuttaa liimaustyön asialliseen suorittamiseen, emme näin ollen voi siitä myöskään vastata.

10/06 Epäselvissä tapauksissa tehtaamme tekninen neuvonta on käytettävissänne.

Liite 2

Taulukko 1

Rampport fleece		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	1,9	3,8
2	2,4	4,8
3	2,3	4,6
4	2,2	4,4
5	1,2	2,4
6	1,5	3
7	1,35	2,7
8	1,3	2,6
9	1,65	3,3
10	1,85	3,7
11	1,1	2,2
12	1,6	3,2
13	1,6	3,2
14	2,6	5,2
15	1,95	3,9
16	1,9	3,8
17	2,1	4,2
18	1,1	2,2
19	1,8	3,6
20	1,0	2,0
21	1,05	2,1
22	1,95	3,9
23	2,5	5
24	1,0	2,0
25	2,55	5,1
26	2,8	5,6
27	3,0	6,0
28	2,9	5,8
29	2,85	5,7
30	2,0	4,0
keskiarvo	1,9	3,8

Taulukko 2

Koivu + lasikuitu sm1200		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	1,4	2,8
2	0,95	1,9
3	1,1	2,2
4	1,3	2,6
5	1,45	2,9
6	1,35	2,7
7	1,3	2,6
8	1,15	2,3
9	1,8	3,6
10	1,35	2,7
11	1,4	2,8
12	1,45	2,9
13	1,3	2,6
14	1,3	2,6
15	1,7	3,4
16	1,2	2,4
17	1,1	2,2
18	1,25	2,5
19	1,3	2,6
20	1,0	2,0
21	1,55	3,1
22	1,45	2,9
23	1,5	3,0
24	1,95	3,9
25	1,7	3,4
26	1,0	2,0
27	1,95	3,9
28	1,6	3,2
29	1,6	3,2
30	1,9	3,8
keskiarvo	1,41	2,82

Liite 3

Taulukko 3

Kalanteroitu koivu 0,6		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	1,85	3,7
2	2,1	4,2
3	1,45	2,9
4	0,7	1,4 [oksa]
5	1,65	3,3
6	1,15	2,3
7	1,1	2,2
8	1,0	2,0
9	1,0	2,0
10	0,7	1,4
11	1,0	2,0
12	1,3	2,6
13	1,55	3,1
14	1,6	3,2
15	1,6	3,2
16	1,55	3,1
17	1,8	3,6
18	1,0	2,0
19	1,8	3,6
20	1,65	3,3
keskiarvo	1,38	2,76

Taulukko 4

Koivuviiilu 0,6 sorvattu ei käsittelyä, kosteus n. 15%		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	1,25	2,5
2	1,4	2,8
3	1,1	2,2
4	1,0	2,0
5	1,35	2,7
6	1,2	2,4
7	1,1	2,2
8	1,4	2,8
9	1,0	2,0
10	1,0	2,0
11	1,1	2,2
12	1,25	2,5
13	0,65	1,3
14	1,3	2,6
15	1,1	2,2
16	1,15	2,3
17	1,25	2,5
18	1,2	2,4
19	1,35	2,7
20	1,1	2,2
21	1,15	2,3
22	1,25	2,5
23	1,0	2,0
24	1,2	2,4
25	0,9	1,8
26	1,2	2,4
27	1,15	2,3
28	0,9	1,8
29	1,3	2,6
30	1,2	2,4
keskiarvo	1,15	2,3

Liite 4

Taulukko 5

Koivuviilu sorvattu 0,6 -> 160C ilman liimaa		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	1,0	2,0
2	1,35	2,7
3	1,0	2,0
4	1,05	2,1
5	0,95	1,9
6	1,1	2,2
7	0,95	1,9
8	0,85	1,7
9	0,9	1,8
10	1,0	2,0
11	0,65	1,3
12	0,7	1,4
13	0,85	1,7
14	0,7	1,4
15	0,7	1,4
16	1,1	2,2
17	0,55	1,1
18	0,9	1,8
19	1,0	2,0
20	1,3	2,6
21	0,75	1,5
22	0,65	1,3
23	1,0	2,0
24	0,95	1,9
25	0,8	1,6
26	1,3	2,6
27	1,2	2,4
28	1,0	2,0
29	0,95	1,9
30	0,7	1,4
keskiarvo	0,93	1,86

Taulukko 6

Vilkon 3ply pe		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	0,9	1,8
2	0,65	1,3
3	0,85	1,7
4	0,7	1,4
5	0,95	1,9
6	0,6	1,2
7	0,75	1,5
8	0,65	1,3
9	0,6	1,2
10	0,8	1,6
11	0,8	1,6
12	0,7	1,4
13	0,45	0,9
14	1	2
15	0,9	1,8
16	0,6	1,2
17	0,4	0,8
18	0,7	1,4
19	0,8	1,6
20	0,55	1,1
21	0,6	1,2
22	0,85	1,7
23	0,9	1,8
24	0,65	1,3
25	0,7	1,4
26	0,9	1,8
27	0,6	1,2
28	0,7	1,4
29	0,8	1,6
30	0,7	1,4
keskiarvo	0,725	1,45

Liite 5

Taulukko 7

Vilkon 2ply pe		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	0,95	1,9
2	0,8	1,6
3	0,45	0,9
4	0,55	1,1
5	0,9	1,8
6	0,8	1,6
7	1,0	2,0
8	1,05	2,1
9	0,95	1,9
10	0,7	1,4
11	0,6	1,2
12	0,4	0,8
13	0,5	1
14	0,9	1,8
15	0,6	1,2
16	0,5	1
17	0,35	0,7
18	0,6	1,2
19	0,8	1,6
20	0,45	0,9
21	0,85	1,7
22	0,7	1,4
23	1,0	2,0
24	0,65	1,3
25	0,6	1,2
26	0,8	1,6
27	0,9	1,8
28	0,55	1,1
29	0,7	1,4
30	0,95	1,9
keskiarvo	0,72	1,44

Taulukko 8

Koivuviulun murtovenymä 0,6 sorvattu ei käsittelyä		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	0,75	1,5
2	0,65	1,3
3	0,6	1,2
4	0,8	1,6
5	0,45	0,9
6	0,85	1,7
7	0,65	1,3
8	0,6	1,2
9	0,75	1,5
10	0,85	1,7
11	0,95	1,9
12	0,8	1,6
13	0,7	1,4
14	0,95	1,9
15	0,85	1,7
16	0,65	1,3
17	0,7	1,4
18	0,8	1,6
19	0,7	1,4
20	0,75	1,5
21	0,5	1
22	0,45	0,9
23	0,85	1,7
24	0,75	1,5
25	0,55	1,1
26	0,8	1,6
27	0,5	1
28	0,75	1,5
29	0,6	1,2
30	0,6	1,2
keskiarvo	0,71	1,41

Liite 6

Taulukko 9

Leikattu tammi		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	1,1	2,2
2	1,25	2,5
3	1,2	2,4
4	1	2
5	0,95	1,9
6	1,1	2,2
7	0,95	1,9
8	1	2
9	0,9	1,8
10	1	2
11	0,9	1,8
12	0,8	1,6
13	0,85	1,7
14	1	2
15	1	2
16	1,1	2,2
17	0,8	1,6
18	0,9	1,8
19	1	2
20	1,3	2,6
21	1,2	2,4
22	1	2
23	1	2
24	0,95	1,9
25	0,8	1,6
26	1,3	2,6
27	1,2	2,4
28	1	2
29	0,95	1,9
30	0,7	1,4
keskiarvo	1,005	2,01

Taulukko 10

Leikattu pyökki		
kpl	venymä (mm)	venymä (%)
1	0,9	1,8
2	0,95	1,9
3	0,80	1,6
4	0,95	1,9
5	1	2
6	1	2
7	1,2	2,4
8	1,3	2,6
9	0,75	1,5
10	0,8	1,6
11	1	2
12	1	2
13	0,85	1,7
14	1,1	2,2
15	1	2
16	1,1	2,2
17	0,8	1,6
18	0,9	1,8
19	1	2
20	1,3	2,6
21	1,2	2,4
22	1	2
23	1	2
24	1,1	2,2
25	0,65	1,3
26	1,3	2,6
27	1,2	2,4
28	0,8	1,6
29	1	2
30	0,8	1,6
keskiarvo	0,99	1,98

Suoran termolevyn raaka-ainehinnat



Pintavillit	
Koivuvillu 0,6 mm A-luokka leikattu	2,80 eur/m ²
Koivuvillu 0,6 mm A-luokka sorvattu	2,17 eur/m ²
Ydin	
ABS-muovi 4 mm valkoinen	14,00 eur/m ²
Liima	
Kestopur 1030 (8eur/kg, 150g/m ²)	1,20 eur/m ²
Levyn raaka-aine hinnat	
* Leikattu koivu	20,80 eur/m ²
* Sorvattu koivu	19,54 eur/m ²

