

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU

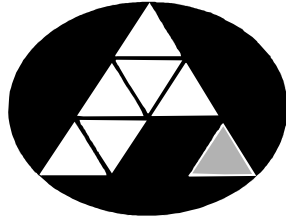
Puutekniikan koulutusohjelma

Pauli Poikonen

LÄMPÖPUUKOMPOSIITIN KÄYTTÖ IKKUNAN VALMISTUKSESSA

Opinnäytetyö

Toukokuu 2011



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATIKORKEAKOULU

**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2011**  
**Puutekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu  
80100 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)  
Pauli Poikonen

Nimeke  
Lämpöpuukomposiitin käyttö ikkunan valmistuksessa

Toimeksiantaja  
Karelia-Ikkuna

Tiivistelmä

Opinnäytetyö tehtiin Karelia-Ikkunan toimeksiantona ja sen päämääränä oli tutkia puumuovikomposiitin (WPC) mahdollisuuksia ikkunateollisuudessa. Opinnäytetyö koostuu taustatutkimuksesta, tutkimuksesta ja omista päätelmistä. Tutkimus keskittyi lämpöpuukomposiitin ominaisuuksien selvittämiseen, sekä liimalla kasatun komposiittipäällysteisen puuikkunan tuotekehitykseen.

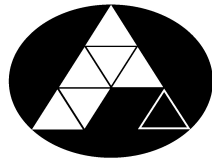
Taustoissa käydään läpi komposiitin historiaa, valmistusmenetelmiä, sekä ikkunoiden vaatimuksia ja viranomaismääräyksiä. Lämpöpuukomposiitista tutkittiin sen kosteuskäyttyminen, sekä taivutus-, veto- ja iskulujuus. Tuoteprototyyppejä tutkittiin säätetillä.

Lämpöpuukomposiitti on muovimaisesti käyttäytyvä materiaali, jolla on puumaisia ominaisuuksia. Lämpöpuukomposiitilla on sellukomposiittia pienempi veden absorptio. Ruiskuvaletun lämpöpuukomposiitin vetolujuus on 17 MPa, taivutuslujuus 32 MPa ja kimmokerroin 5,93 GPa. PUR-liimalla valmistettu komposiitti-puuikkunan puite ei sellaisenaan sovellu ikkunan valmistukseen. Liiman valinta tai liitostapa ja profiilin muoto vaativat vielä lisätutkimusta.

Kieli  
suomi

Sivuja 57  
Liitteet 5  
Liitesivumäärä 11

Asiasanat  
puumuovikomposiitti, lämpöpuu, taivutuslujuus, ikkunan valmistus



NORTH KARELIA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**THESIS**  
**May 2011**  
**Degree Programme in**  
**Wood Technology**  
Karjalankatu  
FIN 80100 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260 6960

Author(s)  
Pauli Poikonen

Title  
Thermowood Plastic Composite in Window Manufacture

Commissioned by  
Karelia-Ikkuna

Abstract

This thesis was made for Karelia-Ikkuna Oy. The main goal of this thesis was to develop a recyclable window frame and research the benefits of wood plastic composites (WPC) in the window industry. The research focused on properties of thermowood based WPC and product development of composite coated wooden window frame.

The theoretical part of the thesis focuses on history, manufacturing methods and requirements as well as order of authorities. The thermowood composite was tested as for its moisture behaviour, bending, tensile and impact strength. The product prototype was tested by means of a weather test.

Thermowood based WPC resists moisture better than cellulose based WPC. Injection moulded thermowood plastic composite's tensile strength is 17 Mpa, and bending strength is 32 MPa. E-Modulus of WPC is 5,93 GPa. The composite coated wooden window frame, made by PUR glue is not applicable to window making as such. Choice of glue or the jointing method and the profile shape require further research.

Language  
Finnish

Pages 57  
Appendices 5  
Pages of Appendices 11

Keywords  
Wood plastic composite, thermowood, bending strength, window industry

## SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO .....	1
1.1.	Tavoite.....	2
1.2.	Muovin historia .....	3
1.3.	Muovi-ikkunan edelläkävijä.....	3
2.	SANASTO .....	4
	Muovi.....	4
	Lyhenteet.....	5
3.	EASTWOOD-PROJEKTIN YHTEISTYÖYRITYKSET .....	6
3.1.	Karelia-Ikkuna.....	6
3.2.	Lunawood.....	7
3.3.	Lunacomp.....	7
4.	PUU-MUOVIKOMPOSIITTI .....	8
4.1.	Puu-muovikomposiitin raaka-aine .....	10
4.2.	Lisäaineet .....	11
4.3.	Puu-muovikomposiitin hyödyt ja haitat .....	13
4.3.1.	Ekologisuus .....	14
4.3.2.	Ominaisuudet .....	15
5.	MUOVIN JA KOMPOSIITIN VALMISTUS.....	16
5.1.	Ruiskuvalu .....	16
5.2.	Ekstruusio.....	17
5.3.	Kalibrointi .....	18
6.	IKKUNAT .....	19
6.1.	Suomalainen ikkuna .....	20
6.2.	Ulkomaalainen ikkuna .....	21
6.3.	Tulevaisuuden ikkuna .....	21
6.4.	RT-kortti: Puuikkunat/Puu-alumiini-ikkunat.....	22
6.4.1.	Ikkunan rakennusmääräykset .....	23
6.4.2.	Puuikkuna.....	23
7.	LÄMPÖPUUKOMPOSIITIN TUTKIMUS SAVONIA-AMK.....	24
7.1.	Kitkaominaisuus.....	24
7.2.	Kosteuseläminen .....	25
7.3.	Brinell-kovuus.....	25
7.4.	Taivutuslujuus .....	26
7.5.	Vetolujuus.....	27
7.6.	Tiheys .....	28
7.7.	Lämpölaajeneminen .....	28
8.	TUTKIMUS .....	29
8.1.	Turpoamiskoekappaleet .....	29
8.2.	Ruiskuvalukappaleet .....	30
8.3.	Turpoamiskoe.....	30
8.4.	Lujuuskokeet .....	31
8.4.1.	Vetolujuustesti .....	31
8.4.2.	Taivutuslujuustesti.....	31
8.4.3.	Iskulujuustesti .....	32
8.5.	Sääkoe .....	32
8.5.1.	Standardin mukainen testi .....	32

8.5.2.	Muokattu testi .....	33
8.5.3.	Sääkokeen järjestelyt.....	34
8.5.4.	Sääkoekappaleet .....	35
8.5.5.	Kappaleiden valmistus .....	35
9.	TULOKSET .....	37
9.1.	Turpoaminen .....	37
9.2.	Vetolujuus.....	39
9.3.	Taivutuslujuus .....	39
9.4.	Iskulujuus .....	40
9.5.	Sään vaikutus .....	40
9.5.1.	Ensimmäinen erä: ohuet kappaleet.....	41
9.5.2.	Toinen erä: paksut kappaleet .....	42
10.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	45
10.1.	Turpoamistestin analysointi .....	45
10.2.	Lujuustestin analysointi .....	46
10.3.	Lujuustestin tulosten analysointi.....	47
10.4.	Säätestin analysointi.....	48
10.4.1.	Säätestin tulokset.....	49
10.4.2.	Säätestin lopputulos .....	51
11.	POHDINTA.....	51
11.1.	Tuotekehitys .....	51
11.2.	Alumiinin ja puun erot lämpöpuukomposiittiin nähden .....	52
11.3.	Komposiitin käyttö.....	53
11.4.	Jatkotutkimuksia .....	53
11.5.	Päätelmät .....	54
11.6.	Loppusanat .....	54
	LÄHTEET .....	55

## LIITTEET

Liite 1	Yleisimmät muovit
Liite 2/1	Ikkunatyypit
Liite 2/2	Ikkuna sanastoa
Liite 3	Turpoamiskoe
Liite 4/1	Puumuovikomposiitin taivutuskoe sivu 1
Liite 4/2	Puumuovikomposiitin taivutuskoe sivu 2
Liite 4/3	Puumuovikomposiitin vetolujuuskoe
Liite 5/1	Komposiittipuitteen kokoonpanokuva
Liite 5/2	Komposiittipuitteen osakuva 1
Liite 5/3	Komposiittipuitteen osakuva 2
Liite 5/4	Komposiittipuitteen työstökuva

## 1. JOHDANTO

Maailmalla asiantuntijat pelkäävät, että osa uusiutumattomista raaka-aineista, kuten öljy, ovat loppumassa maaperästä. Öljyn käydessä yhä harvinaisemmaksi, malmin louhinta-kustannukset kasvavat ja öljypohjaisten tuotteiden hinnat nousevat. Uuden materiaalin tuottamista pitäisi rajoittaa niin kauan, kun edellistä ei kunnolla kierrätetä.

Yrity maailma on joutunut kehittymään raaka-aineiden hinnan nousun ja asiakaskunnan painostuksen takia luontoystävällisempään suuntaan. Suomessakin on herätty kehittämään ekologisesti kestävämpiä tuotteita. Puu-muovikomposiitti voisi olla ratkaisu teollisuuden kierrätysasteen parantamiseksi. Ikkunan valmistuksessa komposiittia hyödyntämällä voitaisiin päästä halvempiin, kestävämpiin ja luontoa säästävämpiin komponentteihin. Opinnäytetyön tarkoituksena olisi löytää pitkäikäinen ja ekologisesti kestävä ikkunamalli puu-muovikomposiittia käyttäen.

Haluaisin herättää kysymyksen perinteiden kunnioittamisesta. Suomessa on totuttu tekemään puuikkunoita osaksi materiaalin saatavuuden ja pitkän puuseppäperinteen johdosta, mutta onko puu tarkoituksenmukainen materiaali ikkunoihin? Perinteinen puuikkuna vaatii Suomen olosuhteissa valtavasti huoltoa, ja sen ominaisuudet heikkenevät ajan saatossa. Puuikkunoita verhoillaan alumiinilla, jolla parannetaan ikkunan säänkestävyyttä. Alumiinin valmistus on hyvin epäekologista ja siksi sille pitäisi löytää ekologisempi korvaaja.

Maailmansotien aikaan materiaalit olivat vielä halpoja, ja energia lähes ilmaista. 1970-luvun energiakriisin jälkeen valmistuskustannukset kasvoivat. Nykypäivän teollisuudessa pyritään kustannussyistä minimoimaan tuotteisiin käytetty materiaali. Mistään tuotteesta ei pyritä tekemään ikuista, koska monen tuotteen käyttöikä lyhentää teknologian kehitys ja trendien nopea muuttuminen. Jo suunnitteluvaiheessa ajatellaan tuotteen oletettu elinkaari, huollettavuus, sekä kierrätettävyyys.

Vielä 1950- luvulla ikkunoiden kestävyys varmistettiin suurella materiaalivahvuudella, mutta nykyään profiilien tarkemmalla suunnittelulla ja materiaalivalinnoilla päästään toivottuun lopputulokseen. Komposiitit ovat yleistymässä, koska aineiden yhdistämisellä saadaan optimoitua materiaalia erilaisiin käyttökohteisiin. Kahden tai useamman aineen yhdistämisestä saadaan synergiaetua, koska yhdistelmän ainesosien huonot ominaisuudet kompensoidaan toisella aineella.

### **1.1. Tavoite**

Opinnäytetyö tehdään Karelia-Ikkunan antamana toimeksiantona. Toimitusjohtaja Kauko Ahtonen toimii tämän opinnäytetyön yhteyshenkilönä. Työ on esiselvitys lämpöpuu-komposiitin mahdollisuuksista ikkunateollisuudessa.

Tavoitteena on viedä ikkunateollisuutta eteenpäin ja luoda yritykselle uusi kilpailuvaltti puu-muovikomposiitista. Matkan varrella olemme pohtineet saatuja tuloksia ja eliminoineet vaihtoehtoja siten, että jäljelle jäisi se paras tapa lähteä kehittämään komposiitti-ikkunaa.

Suomalaiset kaksipuiteikkunat poikkeavat huomattavasti keskieuropalaisesta- ja amerikkalaisesta ikkunan valmistuksesta. Muualla Euroopassa suositaan enimmäkseen yksipuiteikkunoita, joten suomalaisen ikkunan markkina-alue rajoittuu lähes täysin kotimaahan. Opinnäytetyössä pyritään selvittämään vaihtoehtoisen tuotteen hyödyt, sekä löytämään parempi ja ekologisempi vaihtoehto olemassa oleville malleille.

## 1.2. Muovin historia

Ensimmäisiä muovimaisia aineita olivat luonnonmuovit, joita saatiin puun selluloosasta, sokerin glukoosista ja maidon kaseiinista. Ensimmäinen muoviksi laskettava keksintö esiteltiin Lontoon maailmannäyttelyssä vuonna 1862. Se oli Alexander Parkensin selluloosanitraatin ja kamferin yhdiste, selluloidi. Vuonna 1869 Amerikassa kehitettiin selluloidin valmistusmenetelmää ja siitä löydettiin norsunluun korvaaja. (Kurri ym. 2002, 11–12.)

Ensimmäinen kokonaan teollisesti valmistettu synteettinen muovi oli fenoliformaldehydiharts, joka nimettiin keksijänsä mukaan bakeliitiksi. 1980-luvulta lähtien muovien ominaisuuksia on parannettu kuituvahvikkeilla. Muovia lujitetaan luonnonkuiduilla, lasikuidulla ja metallipartikkeleilla. (Kurri ym. 2002, 12.) Lujitemuovia kutsutaan myös komposiitiksi (Kurri ym. 2002, 135).

## 1.3. Muovi-ikkunan edelläkävijä

Pohjoisamerikkalaisilla on pitkä historia muovi-ikkunoiden valmistajana. Pohjois-Amerikassa Wisconsinin osavaltiossa Hans Andersen aloitti toimintansa jo vuonna 1903. Nykyään Andersen Windows työllistää 9000 henkeä yli 20 paikassa ja heidän tuotantonsa on kuusi miljoonaa ikkunaa vuodessa. Amerikkalaiset ovat maailman muovituotannon edelläkävijöitä ja Andersenkin aloitti muovi-ikkunoiden tuotannon jo 1960-luvulla. Komposiittimateriaalista valmistettu Fibrex®-malli tuli myyntiin vuonna 1991. (Andersen Windows 2010.)



## 2. SANASTO

### **Muovi**

#### Absorptio

Kosteuden imeytyminen aineeseen.

#### Ekstruusio

Suulakepuristus. Sula materiaali kuljetetaan kiertoruuvia pitkin suuttimelle jonka läpi pursottuu jatkuvalla syötöllä haluttua profiilia.

#### Granulaatti

Muovirae. Raaka-aineen kuljetusmuoto. Valmistetaan pieniksi palloiksi tai pelleteiksi suulakepuristamalla reikälevyn läpi. Komposiittituotannossa puukuitu lisätään granulaattiin.

#### Kalibrointi

Muovattavan materiaalin mittojen säätö.

#### Kertamuovit, thermoset

Molekyyli­rakenteeltaan monisidoksinen, eikä siksi voi uudelleen muokata ilman kemiallisia rakennemurtumia. Esimerkiksi bakeliitti ja polyuretaani.

#### Kestomuovi, thermoplastic

Suurimolekyylinen polymeeri. Koostuu suorista polymeeriketjuista, jotka on sidottu toisiinsa heikoilla sekundäärisidoksilla. Voidaan muokata ja käyttää uudelleen ketjua rikkomatta.

#### Lujitemuovi, Reinforced plastic

Muovikomposiitti. Yleisnimitys muoville, jossa käytetään kuitulujitetta.

#### Pigmentti

Kiinteä väriaine.

#### Pultruusio

Komposiittituote vedetään suulakkeen läpi jatkuvalla syötöllä.

#### Stabilaattori

Lisäaine, jolla lisätään muovin vastustuskykyä UV-lämpösäteilyä, tai kemiallisia aineita vastaan.

#### Viruminen

Hitaasti tapahtuva, paineen alla syntyvä muodonmuutos. Palautuva tai pysyvä.

(Kurri, Malén, Sandel, Virtanen; 2002, Muovitekniikan perusteet, sanasto)

## **Lyhenteet**

PSKP Puunsolujen kyllästymispiste

Kuivaessaan puunsoluista poistuu ensin vapaa vesi, jonka jälkeen puusta haihtuva kosteus kutistaa sitä. Puu alkaa kutistua veden tilavuuden ollessa noin 30 %

PVC polyvinyylidikloridi.

RH Ilman suhteellinen kosteus. Ilmassa olevan absoluuttisen vesimäärän suhde kyllästyskosteuteen (RH 100 %)

WPC WoodPlasticComposite = Puumuovikomposiitti  
puu-muovikomposiitti

### 3. EASTWOOD-PROJEKTIN YHTEISTYÖYRITYKSET

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Karelia-Ikkuna. Karelia-Ikkuna osallistui vuoden 2010 aikana EU-rahoitteiseen Eastwood-projektiin, jonka tarkoituksena on kehittää suomalaista puuosaamista. Eastwood-projektista rahoitusta saava Miktech kehittää yhteistyö-yritysten välistä toimintaa, sekä vastaa projektin sisältämästä tuotekehityksestä.

Lunawoodin tytäryhtiö Lunacomp aloittaa puu-muovikomposiitin tuotannon vuoden 2011 alussa. Karelia-Ikkuna on kiinnostunut aloittamaan yhteistyön komposiitin kehittämiseksi ikkunan valmistukseen sopivaksi. Lunacomp pystyy toimittamaan suulakepuuristettua komposiittia, kunhan koneeseen hankitaan suulake haluttua profiilia varten. Tehtävänäni on hankkia mahdollisimman paljon tietoa komposiitin mahdollisuuksista ikkunan valmistuksessa ennen suurempien investointien tekemistä.

#### 3.1. Karelia-Ikkuna

Joensuun Hammaslahdessa sijaitseva Karelia-ikkuna on suomalaisiin tyyppi-ikkunoihin erikoistunut ikkunatehdas jo 20 vuoden kokemuksella. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Kauko Ahtonen. Yrityksessä on 30 työntekijää, joista 24 toimii tuotannon piirissä. Liikevaihto yrityksessä on ollut 5,5 miljoonaa euroa viimeisen viiden vuoden ajan. Myynti on keskittynyt pääosin Pohjois-Karjalan alueelle ja pääkaupunkiseudulle, mutta välillä yksittäisiä asiakkaita tulee myös Venäjän puolelta. (Ahtonen 2010.)

Karelia-Ikkuna toimittaa suurimman osan ikkunoista valmiiksi asennettuna. Heillä on edustajia, asennusryhmiä ja jälleenmyyjiä ympäri Suomea. Toimintavaltteja ovat asiakaspalvelu ja joustava tuotantokoneisto. Linjastolla voi tehdä tuote- tai asiakas kohtaisesti ikkunoita. He toteuttavat tilauksia yksittäisistä kappaleista aina kokonaisen kerrostalon tarpeisiin asti. (Ahtonen 2010.)

Karelia-Ikkunan tuotantoa ovat puu- ja puu-alumiini-ikkunat. Ikkunat täyttävät standardin SFS-EN 3304 vaatimukset (Karelia-Ikkuna 2006). Heidän tuotantoansa kehitetään jatkuvasti ja tällä hetkellä energialasi-ikkunoiden kysyntä onkin nousemassa. Valmistus-

prosessi on pitkälti automatisoitua. Karelia-ikkunalla on automaattinen puuosien valmistus- ja maalauslinja. Tuotantoa kehitetään nykyisten energiamääräysten mukaisesti, ja materiaaleja kehitetään jatkuvasti. Yhtenä suuntana saattaisi olla puu-muovikomposiitin hyödyntäminen ikkunan valmistuksessa. (Ahtonen 2010.)

### **3.2. Lunawood**

Iisalmessa sijaitsevan Lunawoodin ovat perustaneet Olavi ja Aulis Kärkkäinen vuonna 2000. He ovat keskittyneet lämpöpuun valmistamiseen ja kehitykseen. Lunawood työllistää yhteensä 50 henkilöä Iisalmen Soininlahdessa ja Joensuun Hammaslahdessa. Valmistama lämpöpuuta kertyy 30 000 m<sup>3</sup> vuodessa. (Lunawood 2010a.)

Lunawoodilla on Iisalmessa itse suunniteltu, jatkuvatoiminen uuni, ja Hammaslahdessa on kolme yksikamarista lämmitysuunia. Joensuussa käsitelty materiaali rahdataan Iisalmen tehtaalle höylättäväksi. Yli puolet yhtiön tuotannosta menee vientiin (55–60 %). (Korhonen 2008.)

### **3.3. Lunacomp**

Lunawoodin tytäryhtiö perustettiin vuonna 2008. Se aloittaa komposiittituotannon vuoden 2011 alussa (Lunawood 2010b). Aluksi Lunacomp työllistää 10 henkeä. Se sijaitsee Iisalmessa, Lunawoodin Soininlahden tehtaan yhteydessä. Lämpöpuun tuotannosta syntyy 15000 m<sup>3</sup> purua, josta saadaan 5000 m<sup>3</sup> komposiittia. (Iisalmen Sanomat 2010.) Käytetty muovi on kierrätettyä polypropeenaa (PP) (Knuutinen 2010a).

#### 4. PUU-MUOVIKOMPOSIITTI

Maapallollamme vallitsee merkittävä jäteongelma, jota helpottamaan on kehitetty muovijätettä hyödyntäviä uusiutuotteita. Yksi niistä on puu-muovikomposiitti, jota voidaan valmistaa lähes täysin kierrätetyistä materiaaleista. Muovia ja puuta saadaan teollisuuden hukkamateriaalista.

Pohjois-Amerikka on toiminut kierrätysmateriaalin pioneerina. Pohjois-Amerikassa on käytetty jo 1980-luvulta lähtien sekalaista kierrätysmuovia erilaisissa pakkausteollisuuden tarvitsemissa suojalautoissa (Kuvio 1). Myös komposiittien kehittäminen on aloitettu USA:ssa. Kuviossa 2 näkyy amerikkalainen kierrätysmuovista ja puunkuidusta valmistettu terassilauta. USA:n vanhin ikkunanvalmistaja Andersen Windows on kehittänyt vinyyli-ikkunoita (PVC) jo vuodesta 1966. Heidän komposiitti-ikkunoidensa valmistus alkoi vuonna 1991. (Andersen Windows 2010.)



Kuvio 1. Kierrätysmuovilauta.



Kuvio 2. Komposiittilauta.

Pohjois-Amerikka on selvästi pisimmällä komposiittien kehityksessä, mutta Eurooppa on ottamassa kiinni komposiittiteknologian kehityksessä. Euroopassa on keskitytty alusta alkaen suuren volyymin sijaan komposiitin tarjoamiin ominaisuuksiin.

Eurooppalaisista valmistajista voisi mainita esimerkiksi Lunacomp Oy:n ja UPM:n. Iisalmelainen Lunacomp parantaa komposiitin ominaisuuksia käyttämällä lämpöpuuta (Kuvio 3). UPM valmistaa komposiittituotteita oman tuotantonsa sellusta, sekä tarralaminatitehtaan muovista. Suomen komposiittituottajilla on pitkälle kehittyneet prosessit ja suurimmaksi osaksi omavaraista raaka-ainetta.



Kuvio 3. Lämpöpuukomposiitti (Knuutinen 2010a).

Luonnonkuituja käytetään muovituotannossa täyteaineena. Pellavalla, hampulla ja selluloosalla saadaan kasvatettua muovin massaa, lisättyä lujuutta, ja pienennettyä tuotantokustannuksia. Luonnonkuidut ovat muovia halvempia materiaaleja, ja ne nopeuttavat myös pursotusta. Lisäksi niillä parannetaan muovin jäykkyyttä, painoa ja viskositeettia. (Kurri ym. 2002, 28.)

#### **4.1. Puu-muovikomposiitin raaka-aine**

Puu-muovikomposiitti on useamman raaka-aineen yhdistemateriaali, jossa pyritään hyödyntämään jokaisen raaka-aineen parhaita ominaisuuksia. puu-muovikomposiitti koostuu puun kuiduista, muovista, sekä erilaisista lisä- ja täyteaineista. Tärkeimmät komposiitin valmistukseen käytetyt muovit ovat PP, PE ja PVC. Ne kaikki ovat ns. kesto-muoveja eli ne sisältävät suoria polymeeriketjuja.

Polymeeriketjut ovat toisissaan kiinni heikoilla sekundäärisidoksilla, jotka antavat helposti periksi sulatettaessa. Näin kestopuovut voidaan sulattaa ja muotoilla uudelleen useamman kerran. Sekundaarisen sidoksen sulaessa primaarisidokset pysyvät edelleen ehjinä. (Kurri ym. 2002, 35.) Lähes kaikki kuituvahvisteiset komposiitit valmistetaan kestopuoveista, koska ne pystytään uudelleen sulattamaan ja kierrättämään takaisin raaka-aineeksi. (Kurri ym. 2002, 21, 135–136.)

Käytettävä muovilaatu valitaan haluttujen ominaisuuksien perusteella. Kovilla puoveilla saadaan kestävyyttä ja pehmeillä puoveilla joustoa. Puovin valintaan vaikuttaa myös olennaisesti kustannustehokkuus suhteessa haluttuihin ominaisuuksiin. Tarkempi erittely muovien ominaisuuksista löytyy liitteestä 1.

Puulajin valitsemiseen vaikuttaa myös tavoitellut ominaisuudet. Kovat lehtipuut lisäävät komposiitin lujuutta. Lehtikuusi ja lämpökäsittely puu kestävät kosteutta parhaiten. Havupuun sahausjäte on halpaa täyteainetta. Puu voi olla pelkästään täyteainetta puovinvalmistuksessa. Täyteaineen tarkoitus voi olla painon keventäminen, tai valmistuskustannusten leikkaaminen.

Puuta lisätään puoviin hintasäästön takia, mutta puovia lisätään kierrätyspuuhun myös, koska Euroopan puuvarat ovat hyvin rajalliset (Carus, Gahle; 2008). Suomessa puu on huomattavasti halvempi materiaali kuin puu. Maailman markkinahinta mm. polypropylenille (PP) oli (24.12.2010) 920 €/m<sup>3</sup> (Metalprices 2010), kun samalla oksatonta mäntyä saa 400 €/m<sup>3</sup>, ja kutterinlastua alle 20 euroa irtokuutiolta.

#### **4.2. Lisäaineet**

Lisäaineiden tarkoitus on parantaa komposiittituotteen ominaisuuksia. Niiden osuus on n.10 % kokonaistilavuudesta. Lisäaineilla parannetaan komposiitin iskun-, korroosion-, sekä palonkestävyyttä. Talkilla parannetaan komposiitin veden absorptiota, jolloin paksuusturpoama vähenee, eivätkä home ja lahottajasienet pääse iskemään luonnonkuituihin. UV-suojaa-aineilla pinta ei haalistu eikä haurastu, jolloin tuotteen elinkaari pitenee vuosilla. (Kurri ym. 2002, 28–31.)



Komposiitin pursotusvaiheessa massaan voidaan lisätä pigmentti eli väriaine, jolloin tuote on syvävärijätty, mutta väriaine kasvattaa lisäainemäärää ja siten heikentää lujuutta. Kaikki pulverimaiset lisäaineet heikentävät komposiitin lujuutta. Koska jauhomaisilla aineilla ei ole mitään sidosominaisuuksia, niin polymeerien ja kuitujen muodostamat sidokset vähenevät suhteessa kokonaismassaan. (Kurri ym. 2002, 28–29.)

Komposiitteja voidaan vahvistaa lisäämällä massaan pitkiä kuituja, kuten lasikuitua (Marsh 2009). Käytettävän puulajin valinta vaikuttaa myös lujuuteen. Kovien lehtipuiden kuidut ovat luonnostaan jäykempiä kuin pehmeiden havupuiden. Lehtipuiden rakenne on huomattavasti havupuita kehittyneempi, koska lehtipuissa on tukisoluja, jotka puuttuvat havupuilta, ja ovat siksi havupuita jäykempiä. (Rento 2004; 10, 19.)

Jokaisella puulajilla on oma värityksensä, ja se vaikuttaa yhdessä käytettävän muovin kanssa lopputuotteen pinnan väriin (Kuvio 4). Kuusi ja koivu ovat vaaleita, mänty ja lehtikuusi kellertäviä. Lämpökäsitelty puu, sekä monet jalopuut ovat tummia, kuten esimerkiksi tammi, wenge ja tiikki.



Kuvio 4. Puulajin vaikutus komposiitin väriin (Fitzhenry 2010).

### 4.3. Puu-muovikomposiitin hyödyt ja haitat

Nykypäivän teollisuudelle on asetettu kolme tavoitetta: ekologisuus, matala tuotantohinta, sekä laatu. Kaikkia kolmea tavoitetta ei aina voida saavuttaa yhdessä tuotteessa. Esimerkiksi halvalla tehdystä tuotteesta on yleensä jouduttu tinkimään laadusta, koska pitkälle viety suunnittelu ja toteutus lisäävät aina kustannuksia. Ekologisuusasteen nostaminen tarkoittaa tehtaassa uusien investointien tekemistä, joka myös lisää kuluja.

Puu-muovikomposiitin ekologisuusaste on moninkertainen muoviin ja metalliin nähden, koska sen voi kierrättää, tai sen energia saadaan talteen polttamalla. Puu-muovikomposiittituotteet ovat puutuotteita kalliimpia, mutta ominaisuuksiltaan parempia. Komposiitin työstömahdollisuudet antavat suunnittelijoille aikaisempaa vapaammat kädet. Puu-muovikomposiitin hyödyt ja haitat löytyvät tiivistettynä taulukosta 1.

Taulukko 1. Puu-muovikomposiitin ominaisuudet (WPC Info 2010).

<i>Hyödyt</i>	<i>Haitat</i>
– Kierrätysmateriaalien käyttö	– Tuotannon korkeat alkukustannukset
– Vähäinen huollon tarve	– Pienempi jäykkyys kuin puulla
– Termisesti stabiilimpi kuin muovi	– Maalattavuus
– Homogeeninen	– Paino
– Alhainen kosteuden imeytyminen	– Lämpölaajeneminen
– Ei rappeudu	
– Hyönteisiä vastustava	
– Rajattomasti eri profiileita	
– Mittapysyvyys	
– Ei siruja, halkeamia	
– Hyvä työstettävyys	
– Kiinnikepitävyys	

### 4.3.1. Ekologisuus

Muovituotanto syö maapallon väheneviä öljyvaroja, ja alumiinivarat vähenevät maaperästä, joten kierrätyksen tehostaminen auttaa säästämään hupenevia luonnonvaroja. Puumuovikomposiittia voidaan valmistaa muovituotannon ylijäämämateriaalista tai kierrätystavarasta. Puuta saadaan sahanpurusta, kutterinlastuista, haketetuista puutuotteista, sekä sellusta.

Komposiittia valmistetaan kierrätysmuovin ohella neitseellisestä muovista (WPC Info 2010). Neitseellisiä raaka-aineita joudutaan käyttämään vaativissa kohteissa, joissa ominaisuuksien heikkenemistä ei haluta. Muovi menettää ominaisuuksia jokaisella sulatuskerralla ja useamman uudelleenmuokkauksen jälkeen se kelpaa vain energiajätteeksi (Kurri ym. 2002, 204–205). Muovin puhtaus voidaan varmistaa kierrättämällä materiaali oman yrityksen tai yritysketjun sisällä, jolloin muovin koostumus tunnetaan (Kurri ym. 2002, 204).

Puu on itsessään täysin luonnonmukainen materiaali. Puuta poltettaessa vapautuu saman verran hiilidioksidia, mitä puu sitoo itseensä kasvaessaan, joten pelkän puun polttaminen ei kuormita luonnon omaa hiilidioksidin kiertokultua. (Tengvall 2000.) Puun tuotanto on ekologisempaa kuin muovin ja metallin, koska puuta voidaan työstää mekaanisesti, eikä se tarvitse suuria sulatusuuneja tai kemiallisia prosesseja.

Komposiitti kierrätetään uudelleen tuotantoon, kuten muovikin. Se murskataan ja puristetaan granulaateiksi, jonka yhteydessä mahdollisilla lisäaineilla parannetaan muovin laatua (Kurri ym. 2002, 204). Kierrätyskomposiittia voidaan lisätä neitseelliseen tuotteeseen alle 10 % kerrallaan, ilman värin tai ominaisuuksien muuttumista olettaen, että kierrätettävän materiaalin koostumus tunnetaan (Knuutinen 2010b). Komposiitti voidaan polttaa muun jätteen mukana.

Komposiittituotteen uudelleenkäyttökertojen suurimmat rajoittavat tekijät ovat muovimatriisin heikentyminen, sekä puukuitujen murtuminen. Lämpöpuukomposiitin testeissä on huomattu, että vasta kolmannella kiertokerralla komposiitin ominaisuudet heikkenevät (Knuutinen 2010b).

### 4.3.2. Ominaisuudet

Komposiitin jäykkyys ei kuitenkaan tule pelkällä puukuidulla puhdasta muovia paremmaksi, koska kaikki jauhomaiset lisäaineet heikentävät komposiitin jäykkyyttä (Kurri ym. 2002, 26). Erittäin jäykkiä komposiitteja saadaan lisäämällä massaan metallilastuja tai lasikuitua, mutta silloin tuotteen kierrätettävyys romahtaa. Lasikuitu on luonnonkuituja parempi lisäaine, jos halutaan muovista äärimmäisen ohut ja kestävä (Martin 2006).

Komposiitissa pyritään synergiaan puun ja muovin välillä. Kuidut vahvistavat komposiittia ja muovi takaa tuotteen mittapysyvyyden. Komposiitti käyttäytyy kuten muovi, mutta sillä ei ole muoville tyypillistä virumista. Lisäaineilla parannettu UV- suoja ja säänkestävyys antavat huomattavan lisäarvon ulkosovellutuksissa.

Muovi antaa komposiitille parhaat ominaisuutensa, kuten vettä imemättömän, homogeenisen rakenteen; sileän, säänkestävän ja tikkuilemattoman pinnan, sekä hyvät työstömahdollisuudet. Muovi on teollisesti valmistettu materiaali, josta puuttuvat puun luonnolliset ominaisuudet. Puu sisältää soluja, jotka voivat varastoida vettä, säilytyä tikuiksi ja bakteerit voivat käyttää elävää solukkoa ravintonaan. Muovi poistaa nämä puun heikkoudet. Muovia valmistetaan sulasta materiaalista, joka voidaan muotoilla mitä mielikuvituksellisimpiin muotoihin ennen jäähdystä (WPC-Info 2010).

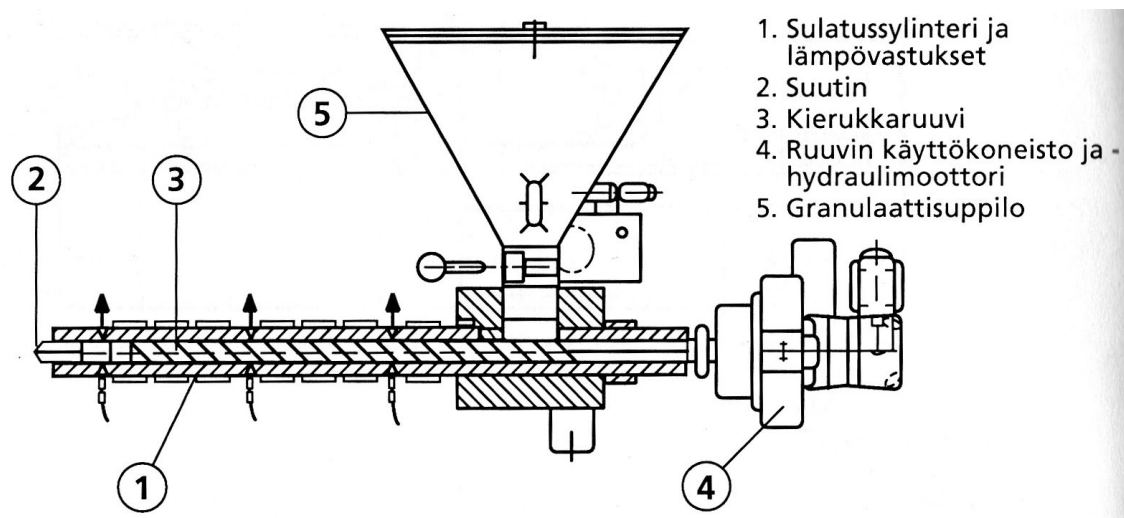
Puun ontto rakenne jättää solukkoon ilmataskuja ja siksi puu on lujuteensa nähden kevyttä. Esimerkiksi männyn kuivatiheys on noin  $550 \text{ kg/m}^3$ . Muovimatriisi on puuta painavampaa; PE  $930\text{--}960 \text{ kg/m}^3$  ja PVC  $1200\text{--}1400 \text{ kg/m}^3$  (Kurri ym. 2002, 23). Komposiitti tulee huomattavasti puuta raskaammaksi, mutta komposiitin lujuus on puuta heikompi. Komposiitin paino lasketaan sen heikkoudeksi.

## 5. MUOVIN JA KOMPOSIITIN VALMISTUS

### 5.1. Ruiskuvalu

Ensimmäiset ruiskuvalukoneet tulivat Suomeen 1940-luvulla. Jo 1950-luvulla mäntäpuuristeisista koneista siirryttiin kierukkaruuvikoneisiin. Nykyiset ruiskuvalukoneet ovat sähköisiä, täysautomatoituja ja CNC-ohjattuja. Ruiskuvalukone soveltuu suuriin eräkokoihin, koska muotit ovat kalliita ja asetteen hienosäätö aikaavievää. (Kurri ym. 2002, 71–72.)

Ruiskuvalukoneessa kappaleita valmistetaan ruiskuttamalla sula massa muottiin, jossa polymeerit kovettuvat. Granulaatit kaadetaan annostelusäiliöön (Kuvio 5, kohta 5), josta ne annostellaan ruiskuvaluyksikön sylinteriin (kuvio 5, kohta 1). Sylinterissä granulaatit sulatetaan sähkölämmittimellä homogeeniseksi massaksi ja kierukkaruuvi (Kuvio 5, kohta 3) kuljettaa massan kohti suutinta (Kuvio 5, kohta 2). Ruiskutusvaiheen aikana massa painetaan hydraulisesti ruuvilla muottiin (Kuvio 5, kohta 4).

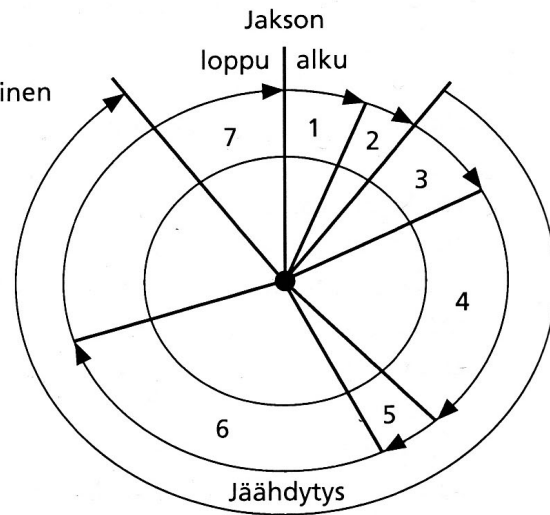


Kuvio 5. Ruiskuvalukoneen osat (Kurri ym. 2002, 74).

Kierukkaruuvi paksuuntuu loppua kohden, joten massan nopeus ja paine putkessa kasvavat. Ruuvia liikuttamalla sula massa puristetaan halutulla paineella (100–200 MPa) ja vauhdilla suuttimen läpi muottiin. Sulkyyksikkö painaa muotin kiinni ruiskutuksen ja jälkipaineen ajaksi. Tarkemmat ajat löytyvät kuviosta 6. Kun kappale on jäähtynyt, niin

sulkuyksikkö avautuu ja ulosvetäjät pudottavat valmiin kappaleen muotista. (Kurri ym. 2002; 73–75, 77,80.)

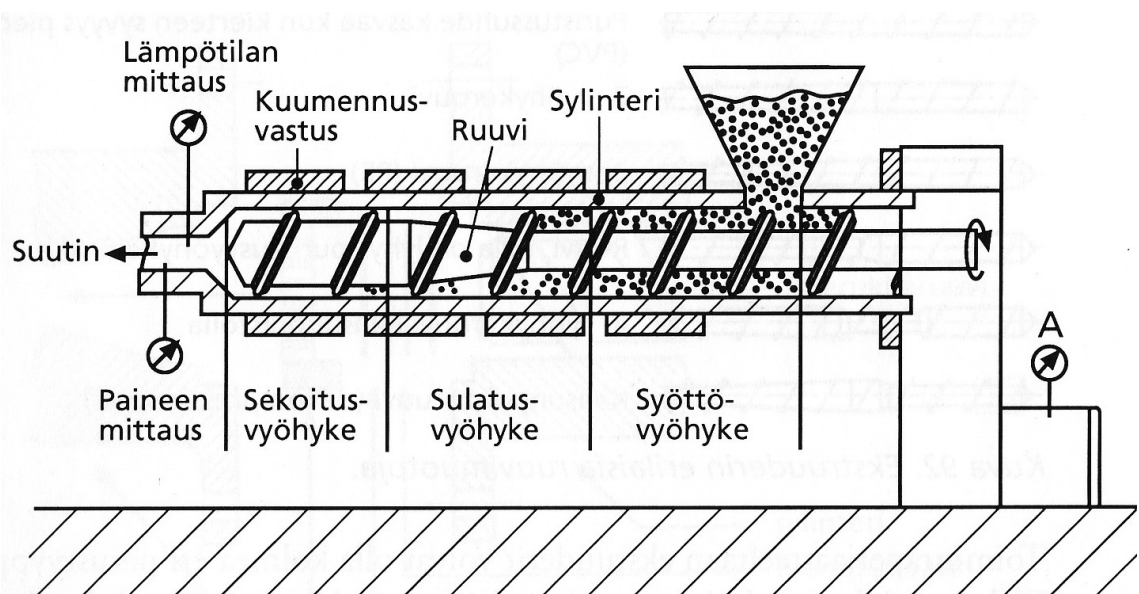
1. Muotin sulku
2. Ruiskutusyksikön liike eteen
3. Ruiskutus ja jäähtymisen alkaminen
4. Jälkipaine
5. Ruiskutusyksikön liike taakse (yleensä automaattiajolla ei käytössä)
6. Annostus ja plastisointi
7. Muotin aukaisu ja kappaleen ulostyöntö



Kuvio 6. Ruiskuvalun työnkierto (Kurri ym. 2002, 78).

## 5.2. Ekstruusio

Ekstruusiossa sula massa puristetaan profiilisuulakkeen läpi jatkuvana tankona, josta tulee nimitys ”suulakepuristus”. Profiilit voivat olla: onttoja putkia, umpinaisia lankkuja ja kaikkea siltä väliltä. Suulakepuristuskoneita on yksi- ja kaksiruuvisena. Komposiitin ekstruuderiksi käy normaali muoviekstruuderit. Suulakepuristuskoneen toimintaperiaate on esitelty kuviossa 7.



Kuvio 7. Ekstruuderit (Kurri ym. 2002, 99).

Ekstruuderissa granulaatit kulkevat, kuten ruiskuvalukoneessa, annostelusuppilon kautta sylinteriin, jossa ruuvi kuljettaa sulavan massan suulakkeelle. Ruuvit on suunniteltu siten, että ruuvi paksuuntuu lopussa, jolloin materiaalin virtaus nopeutuu ja paine kasvaa. Ruuvin lopussa on ennen suutinta sihtipakka, jolla poistetaan mahdolliset roskat ja tasaataan paine.

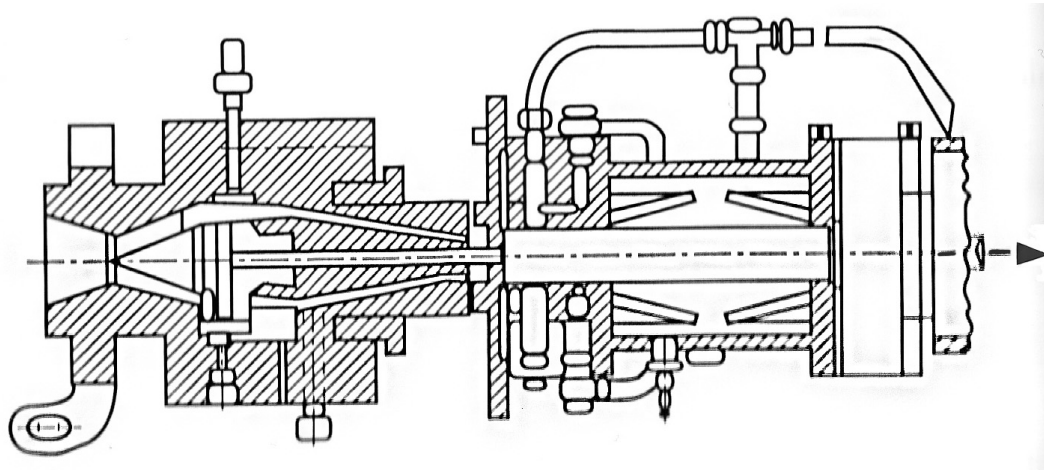
Ruuveja on eripituisia ja muotoisia, toimintaperiaatteesta riippuen. Vastuslämmitys- kitkaruuvit ovat pitkiä 20:1–35:1 L/D (pituus suhteessa halkaisijaan) ja pelkällä kitkalla lämpiävät 10–15:1 L/D. Kitkaruuvi pyörii 100–1000 1/min ja sähkövastuslämmitteinen ruuvi 20–250 1/min kierroksen nopeudella.

Muovista voidaan valmistaa ekstruuderilla kalvoja, köysiä, kaapeleita, tankoja, levyjä ja putkia, mutta komposiitista valmistetaan lähinnä umpinaisia rimoja, onttoja lankkuja ja profiililistoja. Jokainen profiili vaatii omat suulakkeet ja kalibrointiosat, joten ekstruuderilla kannatta tehdä vain suuria eräkokoja. Yksi suulake saattaa maksaa jopa 20 000 €.

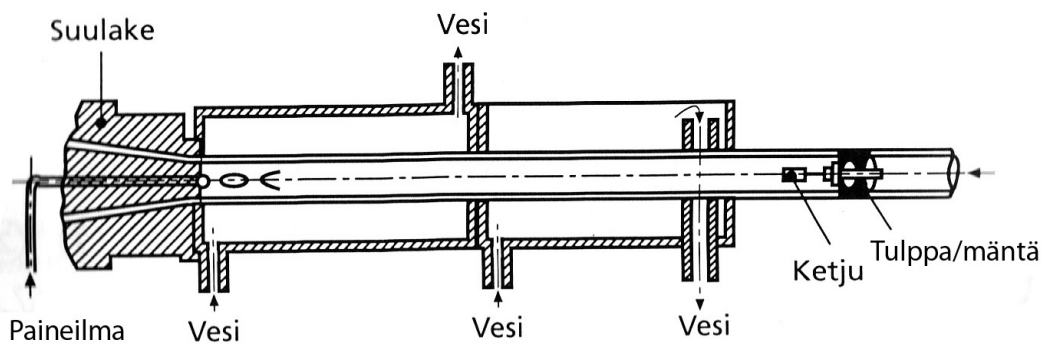
### 5.3. Kalibrointi

Onnistuneen tuotteen perusedellytys on tarkka kalibrointi. Pursotussuulakkeen jälkeen on kalibrointiosa, jonka aikana tuote muotoillaan ja jäähdytetään lopullisiin mittoihinsa. Jäähdytykseen käytetään suihkuja ja vesialtaita. Pursotettua tuotetta voidaan vielä käsitellä samalla linjalla. Linjaan voidaan lisätä pinnoitus, pinnan käsittely ja katkaisukoneita. (Kurri ym. 2002, 113–114.)

Kalibrointilaitteiden toimintaperiaatteita ovat vetokalibrointi, sekä ali- ja ylipainekalibrointi. Vetokalibroinnissa sulaa tankoa vedetään suulakkeen läpi, jolloin profiili saa lopullisen muotonsa. Tällöin suulakkeen pitää olla tarkasti muotoiltu ja 10 % lopullista tuotetta väljempi. Se sopii lähinnä umpiprofiileille. Ali- ja ylipaineella kalibroidaan onttoja profiileja. Tällöin suulake on muotoiltu siten, että se päästää massan vain jäähdytysputken seinämille. (Kurri ym. 2002, 114.) Ylipainekalibroinnissa työnnetään paineilmaa profiilin onteloihin, jolloin materiaali puristuu tasaisesti putken seinämille (Kuvio 8). Samalla tuotteen pintaa jäähdytetään ulkoa päin, jotta tangon pinta jähmettyisi ja pitäisi muotonsa. Alipaineisessa versiossa materiaali imetään suuttimen seinämille (Kuvio 9).



Kuvio 8. Alipaine kalibrointi (Kurri ym. 2002, 114).



Kuvio 9. Ylipainekalibrointi (Kurri ym. 2002, 114).

## 6. IKKUNAT

Ensimmäiset ikkunat otettiin käyttöön 1000-luvulla, kun lasinvalmistus yleistyi Euroopassa. Ensimmäiset ikkunat olivat lyijylasi-ikkunoita, jotka olivat yksinkertaista lasia ja kasattu pienistä ruuduista. Lasin kiinnitysmateriaalina käytettiin lyijyä. Ruutujen koko oli enintään 30 cm x 30 cm. 1700-luvulla kehitetyn sylinteripuhallusmenetelmän avulla ikkunoista saatiin jopa 2,5 m korkeita. Nykyikkunoiden kokoa rajoittaa enää jokaisen valtion sisäiset rakennusmääräykset, kuten Suomen rakennusmääräyskokoelma RakMk.

Suurimmat lasit kiinnitetään nykyäänkin suurimmaksi osaksi vanhalla tavalla, eli kiinteänä suoraan karmiin. Normaalikäyttöön tarkoitettujen avattavien ikkunoiden kokoa rajoittaa ikkunan puitteen kestävyys. Ensimmäiset avattavat puiteikkunat otettiin käyt-



töön 1800-luvun alussa. Lyijyn syrjäyttämä puu oli ikkunoiden ainoa puitemateriaali aina 1970-luvulle, jolloin alettiin käyttää ulkopuitemateriaalina alumiinia.

Ikkunat valmistettiin 1920-luvulle asti käsityönä. Teollisen ikkunanvalmistuksen, sekä materiaalien kehityksen myötä on ikkunan valmistukseen otettu 1900-luvun loppupuolella mukaan erilaiset muovit. Ikkunat olivat pitkään yksipuitteisia, mutta 1970-luvun energiakriisi pakotti kehittämään energiatehokkaampia ikkunoita, jolloin kaksi- ja kolmilasiset ikkunat yleistyivät.

Ikkunalasien määrän lisääminen neljään ei ollut enää tarkoituksenmukaista, koska neljäs lasi söi liikaa auringon valoa. Ikkunalaseista alettiin tehdä tuplavahvuisia, jolloin lämmöneristävyys kasvoi huomattavasti. Nykyään ikkunoiden energiatehokkuutta parannetaan erilaisilla selektiivilaseilla, jotka suodattavat valoa ja lämpöä halutulla tavalla. Nyt, kun lasin valmistus on kehittynyt huippuunsa, niin aletaan päivittämään ikkunan puitteita.

### **6.1. Suomalainen ikkuna**

Suomessa yleisin ikkunamalli on sisäänpäin aukeava, kaksipuitteinen kolmilasinen ikkuna (Ikkunakäsikirja 2004; 12,16). Kaksipuiteratkaisut ovat yksipuitteista yleisempiä, oletettavasti paksuuden karmisyyden takia. Suomen olosuhteissa taloihin tarvitaan paksu eristekerros. Rakennusmääräysten mukaan ulkoseinän paksuus on oltava vähintään 25 cm. Nykyisissä passiivienergiataloissa seinäpaksuus nousee jo 35 cm:iin. Ikkuna voidaan asentaa koko seinän paksuiseksi tai liittää seinän ulkopintaan, ja täyttää ikkunan syvennys leveällä ikkunalaudalla. Seinään integroitu ikkunalauda lisää huonetilaa, koska ikkunalaudaa ei tarvitse enää ruuvata sisäseinään.

Uusien selektiivi-ikkunalasien ansiosta ei tarvita montaa lasikerrosta. Lasien määrää vähentämällä saadaan enemmän valoa sisään, mutta silloin ääneneristävyys kärsii. Toisaalta tyhjiölasien ääneneristävyys on riittävää luokkaa jo tuplalasina. Tyhjiölasia mahdollistaa yksipuiteikkunan käytön Suomen olosuhteissakin.

## 6.2. Ulkomaalainen ikkuna

Suomalainen ilmasto on maailman mittakaavassa harvinaisen vaativa, koska Suomessa on kovat säätilan vaihtelut (-30 – +35 °C). Suomalaiset ikkunat ovat suhteellisen pieniä, koska pitkä pimeä kausi aiheuttaa enemmän lämmönhukkaa kuin mitä ikkunasta ehtii heijastua auringonvaloa sisään. Lauhkean vyöhykkeen alueella arvostetaan suuria ikkunoita, koska siellä ei tarvitse eristää taloa ja valoa riittää nautittavaksi ympäri vuoden.

Keski-Euroopassa suurin osa ikkunoista on yksipuitteisia ja kiinteitä eristyslasi-ikkunoita. Kaksipuiteikkuna eristää lämpöä yksipuitteista paremmin, mutta UV-suojaan riittää yksi eristyslasi. Siinä, missä Suomessa pyritään pitämään lämpö sisällä, niin lämpimillä alueilla halutaan pitää auringon lämpösäteily ulkona.

Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa puuikkunan ovat syrjäyttäneet muovi- ja alumiini-ikkunat. Alumiinista ja muovista saadaan ohuempia ja kevyempiä rakenteita kuin puusta, joten ikkunoiden toimintamahdollisuudet ovat kaksipuitteisia puuikkunoita runsaammat.

## 6.3. Tulevaisuuden ikkuna

Alumiinin käyttö vähenee ikkunan valmistuksessa, koska se on kilpailevia materiaaleja kalliimpaa ja epäekologisempaa. Ikkunateollisuudessa yleistyvät PVC-muovi, lujitemuovi (lasikuitu), sekä puu-muovikomposiitti (Martin 2006). Komposiitit yleistyvät, koska tuotteen ominaisuudet suhteessa hintaan halutaan optimoida. Muovi-komposiitti-ikkunoita tehdään joko komposiitti-profiilista, tai komposiittipäällysteisenä puuikkunana.

Vuonna 2004 Pohjois-Amerikassa uskottiin alumiinin häviävän kokonaan 5–10 vuoden sisällä. Vielä alumiini ei ole hävinnyt kokonaan, mutta sen käyttö on spesifioitunut ohuisiin, mutta lujutta vaativiin kohteisiin, kuten suuriin julkisivuihin. PVC-ikkunat nostattivat myyntiään vuosituhannen alussa 40 % vuosittain, mutta trendi on vähitellen tasaantunut. (Martin 2006.)

Pohjois-Amerikan suurin ikkunavalmistaja Andersen Windows käyttää ikkunoiden sisäpinnassa vielä mäntyä, mutta heidän ikkunamalliensa ulkopuite on päällystetty PVC:llä. Toinen selkeästi yleistyvä ikkunan päällystysmateriaali on lasikuituvahvisteinen muovi. Lasikuidun edut ovat luja rakenne, mittapysyvyys, monimutkaiset rakenteet ja keveys.

Lasikuidulla lujitettua muovia markkinoidaan ekologisena, koska sen valmistamiseen ei tarvita yhtä paljon energiaa kuin alumiinin, ja sen käyttöikä on huomattavasti muita ikkunamateriaaleja pidempi eli roskaa tulee vähemmän (Koukhtenkov 2009). PVC-ikkunoita joudutaan vahvistamaan metallipalkilla sisältä päin, joten sekään ei vähennä metallin käyttöä. Eli täysin kierrätettävään materiaaliin pyrittäessä puu ja komposiitti ovat ainoat tämänhetkiset vaihtoehdot.

#### **6.4. RT-kortti: Puuikkunat/Puu-alumiini-ikkunat**

Rakennusalan työturvallisuuskansio RT 41-10644 määrittää puuikkunat ja niiden asennuksen, sekä teollisuuden yhteiset käytännöt ja viranomaismääräykset. Ikkunoiden kaikki määräykset voi tarkistaa uusimmasta Rakentamismääräyskokoelmasta (RakMk). Puu- ja puu-alumiini-ikkunoiden tekniset ominaisuudet on listattu tuotestandardissa SFS-EN 14351-1.

RT-kortissa on määritetty ikkunoiden mallit puitteiden lukumäärän, ikkunoiden määrän ja aukeamissuunnan perusteella (Liite 2/1). Ikkunoita ovat yleisimmin 1–3 puitteisia, joko yhteen kytkettynä tai erillissaranoituina. Laseja on erillisinä tai useampikerroksisina lasielementteinä.

Suomen yleisin ikkunamalli, sisäänpäin aukeava, kaksipuitteinen ja kolmilasinen ikkuna, on lyhenteeltään MSE. Suuret julkisivuikkunat ovat yleisimmin kiinteästi asennettuja kaksi- tai kolmilasisia erityislasi-ikkunoita, joiden lyhenne on MEK. Ennen tuplalasi-ikkunoita käytettiin taloissa kaksipuitteisia ja kaksilasisia ikkunoita, joista ulompi lasi aukeaa ulospäin ja sisempi sisään (MSU) tai kummatkin lasit aukeavat sisäänpäin (MS). Täydellinen lista ikkunatyypeistä liitteestä 2/1.

#### 6.4.1. Ikkunan rakennusmääräykset

Rakennus on suunniteltava siten, että melu pysyy siedettävällä tasolla (RakMk 1998). Lämmön eristettävyyškertoimen on oltava määräysten mukaan  $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  (RakMk 2007). Osastoivien rakennusten ikkunoiden tulee täyttää puolet rakenteille määrätystä palonkestävyysajasta (RakMk 2002).

Tilanteissa, joissa itsensä voi loukata särkyvään lasiin, kuten portaiden alapäässä, lasin tyypille ja paksuudelle on määräykset. Tuuletusikkunat on suunniteltava siten, etteivät pikkulapset mahdu putoamaan tuuletusikkunan aukosta. Asuinhuoneen valoaukon tulee olla vähintään 10 % huonealasta, mutta enintään 70 % huoneen ulkoseinän pinta-alasta (RakMk 2005).

#### 6.4.2. Puuikkuna

Puuikkunan pitää kestää sen oletetun elinkaaren ajan ilman suuria korjauksia. Maalauksesta ja lahoamisen suojauksesta on omat suositukset standardissa *SFS-EN 351-1, Durability of wood and wood-based products*. Kuultokäsittelyyn ikkunan suositeltu huoltokäsittelyväli on 1–3 vuotta ja maalatun ikkunan 5–10 vuotta. (RT 41-10644 Puuikkunat ja niiden asennus.)

Sormijatkettua puuta käytetään maalatuissa ikkunoissa. Sormijatkoksella poistetaan puusta oksat ja muut viat, ja siten saadaan aihioista suurempi. Vaikka sormijatkettu pui-teaihio on massiivipuuta työläämpi valmistaa, niin kustannussäästöt tulevat pienemmässä raakkikappaleiden määrässä.

## 7. LÄMPÖPUUKOMPOSIITIN TUTKIMUS SAVONIA-AMK

Miktech on teettänyt testejä lämpöpuukomposiitille Kuopion Savonia-ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa 4.10–21.10.2010. Testit tehtiin samalla raaka-aineella, mitä itse käytän tutkimuksessani (Knuutinen 2010c). Komposiitin rakenne löytyy osiosta ”8.2 Ruiskuvalukappaleet”. Lämpöpuukomposiitista tutkittiin materiaalin tiheys, brinell-kovuus, kitkaominaisuudet, taivutus- ja vetolujuus, sekä suoritettiin pinnankarheusmittaus. Testit suoritettiin standardien mukaisesti laboratorio-olosuhteissa. Testit suoritti projekti-insinööri Kalle Kiviranta yhdessä projektityöntekijä Eeva Niilo-Rämän kanssa.

### 7.1. Kitkaominaisuus

Koelaitteena Savonia-ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa on All Test Pendum -heilurilaite kitkaominaisuuksien mittaukseen. Testi tehtiin standardin CEN/TS 15676 mukaan. Koekappaleet (10 kpl) olivat pinta-alaltaan 136 mm x 86 mm. Kokeessa heiluri hipaisi kappaleen pintaa 126 mm:n matkalta, jolloin laite näytti liikekitkan arvon. Jokaisesta kappaleesta testattiin kolme eri kohtaa ja mittausten keskiarvosta saatiin vertailuluku.

Kitkaa arvioidaan kolmiportaisella taulukolla (Taulukko 2): erittäin liukas, kohtalaisen liukas ja vähän liukas (CEN/TS 15676). Vertailuluku lasketaan koekappaleiden keskiarvosta. Vertailuluvun ollessa alle 24, kappale on erittäin liukas ja sen ollessa yli 36 on kappale vähemmän liukas. Koekappaleiden keskiarvo on 28,53 eli lämpöpuukomposiitti on kohtalaisen liukas. Kuitenkin yksi koekappale omaa hyvät kitkaominaisuudet, joten vaihtelua esiintyy tuotteen sisällä.

Taulukko 2. Pinnankarheustestin arviointi (Kiviranta, Niilo-Rämä 2010)

	<b>PTV</b>
High slip potential	0–24
Moderate slip potential	25–35
Low slip potential	36 +

## 7.2. Kosteuseläminen

Kosteuselämistä tutkittiin upotusmenetelmällä. Upotustestit tehtiin standardin SFS-EN 317 mukaisesti. Koe suoritettiin kahdessa vaiheessa: ensin viikon (167 h) mittainen upotus ja sen jälkeen vuorokauden (24 h) mittainen upotus veteen. Kummassakin upotuskokeessa koekappaleet mitattiin ja punnittiin aina kuivana ja märkänä. Kappaleet olivat tasaannutuksen jälkeen noin 40,2 g painavia ja 30 cm paksuja.

Yhden vuorokauden turvotuskokeessa kappaleet turposivat keskimäärin 0,21 % ja imivät vettä 1,68 % kuivapainostaan. Viikon kestävässä turvotuksessa kappaleet turposivat 1,61 % paksuussuunnassa ja paino kasvoi 5,97 %. Tulokseen saattaa vaikuttaa veden lämpötilan vaihtelu 20,7 °C – 21,8 °C:een. Kivirannan raportissa sanotaan: ”UPM ilmoittaa internet sivuillaan

([www.upmprofi.fi/upm/internet/upm\\_profi.nsf/images/UPMProfi\\_Deck\\_Technical\\_FI.pdf/\\$FILE/UPMProfi\\_Deck\\_Technical\\_FI.pdf](http://www.upmprofi.fi/upm/internet/upm_profi.nsf/images/UPMProfi_Deck_Technical_FI.pdf/$FILE/UPMProfi_Deck_Technical_FI.pdf)) profideck:lle 24 tunnin veden imeytymisen olevan alle 2,5 % ja turpoamisen alle 1 % (viitattu 21.10.2010)” (Kiviranta ym. 2010a, 8).

## 7.3. Brinell-kovuus

Brinell- eli pintakovuus määritettiin Tira-aineenkoestuslaitteella. Testi perustuu standardiin SFS-EN 1534. Siinä koekappaleita painetaan pyöreällä pallolla 25 sekunnin ajan 1 kN voimalla. Painumisjälki mitataan kolmen minuutin päästä painatuksesta ja tulosten keskiarvosta lasketaan brinell-kovuus-luku.

Testissä käytettiin 20 koekappaletta, joista jokaiseen tehtiin kolme painauma. Pintakovuustestin keskiarvoksi saatiin 11,41 N/mm<sup>2</sup>. Vertailukappaleiksi testattiin myös UPM:n ProFi Deck-terassilauta, sekä kiinalainen komposiittinäyte. ProFi Deck antoi tuloksen 11,00 N/mm<sup>2</sup> ja kiinalainen 10,41 N/mm<sup>2</sup>. Kivirannan mukaan UPM ilmoittaa omilla sivuillaan ProFi:n pintakovuudeksi 28 N/mm<sup>2</sup> (Kiviranta ym. 2010a, 8). Raportissa ei perusteltu syytä näin isolle erolle.

#### 7.4. Taivutuslujuus

Taivutuslujuustesti suoritettiin myös Tira-aineenkoestuslaitteella. Testi suoritettiin standardin SFS-EN 310 mukaan. Koe suoritettiin kolmipistepainatuksena (Kuvio 10). Murtovoimasta laskettiin taivutuslujuus kaavalla

$$fm = \frac{3 F_{max} l_1}{2 bt^2} \quad (1)$$

jossa  $fm = (\text{N/mm}^2)$

$l_1$  ja  $b$  ovat millimetreinä

ja kimmokerroin laskettiin kaavalla

$$Em = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4 bt^3 (a_2 - a_1)} \quad (2)$$

jossa  $l_1 =$  Painatuspiste ( $1/2$  taivutusväli)

$b =$  Kappaleen leveys (mm)

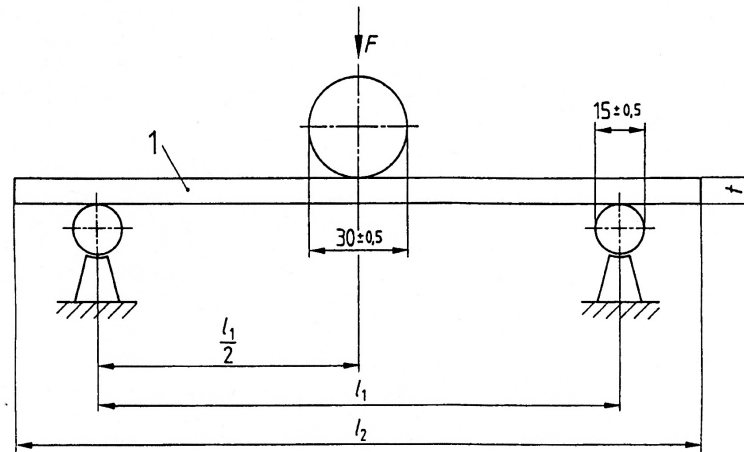
$t =$  Kappaleen paksuus (mm)

$F_2 - F_1 =$  Voiman kasvu taivutuksessa (N).

$F_1$  n.10 % ja  $F_2$  n.40 % maksimikuormasta

$a_2 - a_1 =$  Poikkeaman kasvu kappaleen keskeltä

Testi tehtiin kymmenelle koekappaleelle (leveys 50 mm ja pituus 650 mm), sekä kymmenelle kokonaiselle lankulle (leveys 150 mm ja pituus 650 mm). Vertailukappaleina taivutettiin ProFi Deck -lautoja (150 mm x 650 mm).



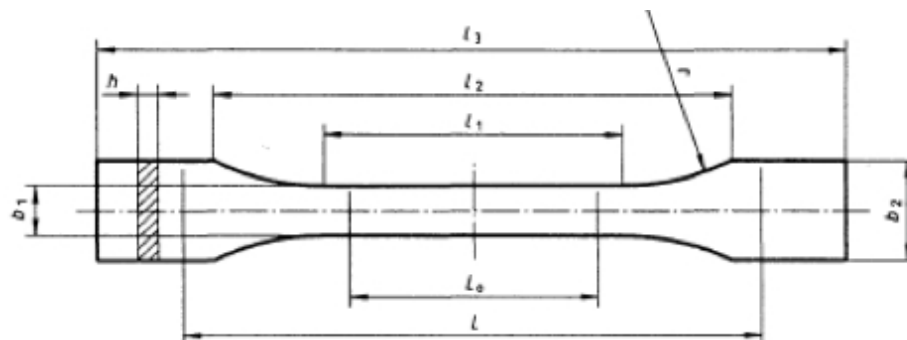
1 - test piece  
 $F$  - load  
 $t$  - thickness of the test piece  
 $l_1 = 20 t$   
 $l_2 = l_1 + 50$   
 Dimensions in millimetres.

Kuvio 10. Taivutuskoe kolmipistetuella. (SFS EN 310)

Taivutuslujuudeksi saatiin keskiarvosta  $17,673 \text{ N/mm}^2$ . Maksimivoiman keskiarvoksi tuli  $883,6 \text{ N}$ , ja tulokset vaihtelivat  $816,2\text{--}958,6 \text{ N}$ . Elastisuusmoduulin keskiarvo oli  $4927,79 \text{ N/mm}^2$ . ProFi Deckin tulokseksi tuli  $16,614 \text{ N/mm}^2$ . UPM ilmoittaa kyseisen materiaalin taivutuslujuudeksi  $13 \text{ N/mm}^2$  (Kiviranta ym. 2010a, 9).

## 7.5. Vetolujuus

Vetotestit tehtiin Tira-aineenkoestuslaitteella, standardin SFS-EN ISO 527-2 mukaisesti. Koetta varten sahattiin lankuista kuvion 11 mukaisia kappaleita. Kappaleiden leveys päistä oli  $20\text{mm}$ , keskeltä  $10\text{mm}$ , paksuus  $5\text{mm}$  ja pituus  $150\text{mm}$ . Testissä kappaleet vedetään rikki ja kone laskee maksimivoiman, maksimivenymän ja vetojännityksen.



Kuvio 11. Lujuskoekappale (SFS-EN ISO 527-2).



Maksimivoimaksi saatiin keskiarvosta laskettuna 0,78 kN ja tulokset vaihtelivat 0,62–0,88 kN. Vetojännityksen keskiarvo oli 15,53 N/mm<sup>2</sup>. Maksimivenymä (dLH) keskiarvo oli 2,24 mm ja vaihteluväli 1,88–2,99 mm.

### 7.6. Tiheys

Tiheys laskettiin jakamalla kappaleen paino sen tilavuudella. Mittaus suoritettiin kymmenelle kappaleelle luotettavan tuloksen varmistamiseksi. Mittaus suoritettiin digitaalisella työntömitalla, 0,01 mm tarkkuudella. Puu-muovikomposiitin tiheys on 1,2 g/cm<sup>3</sup>. ProFi- Deckille valmistaja ilmoittaa 1,1 g/cm<sup>3</sup>.

### 7.7. Lämpölaajeneminen

Koe suoritettiin standardin ISO CEN/TS 11534–1:2007 Wood-plastics composites (WPC). Test methods for characterisation of WPC materials and products, sekä standardin ISO 11359-2 mukaan. Koe suoritettiin sääkoekaapissa 31.8–16.9.2010 aikana. Kappaleet leikattiin 300 mm pitkiksi.

Kokeessa kappaleet tasaannutettiin alussa -30 °C lämpötilassa. Kappaleita pidettiin sääkaapissa, jonka olosuhteet muuttuivat -30 °C:sta aina +80 °C:een. Kaapin suhteellinen kosteus (RH) pidettiin testin aikana (50 ± 5) %:ssa. Kappaleiden pituus mitattiin aina kymmenen asteen välein. Kymmenen koekappaleen lisäksi kokeessa oli mukana UPM:n ja TorroTimberin komposiittilautoja antamassa vertailupohjaa. Vertailukappaleet ehtivät olla testissä 0–80 °C aikana.

Lämpöpuukomposiitin lämpöeläminen 30 cm mittaisella laudalla aiheutti keskimäärin 0,72 mm turpoamisen (-30°C – +80°C). Samanmittaisten UPM:n lautojen mittamuutos oli +0,90 mm ja TorroTimberin +0,86 mm. Laskennallisesti testilaudan lämpötilakerroin on 0,020 mm/1°/1m; UPM 0,037 mm/1°/1m ja TT 0,036 mm/1°/1m. ”Kirjallisuus antoi UPM tuotteelle 0,04 mm/1°/1m kertoimen (16.9.2010)” (Kiviranta ym. 2010b, 5). Lämpöpuukomposiitilla on vertailukappaleihinsa nähden 80 % parempi lämpötilakerroin, joka johtuu todennäköisesti suuresta lämpöpuun määrästä.

## 8. TUTKIMUS

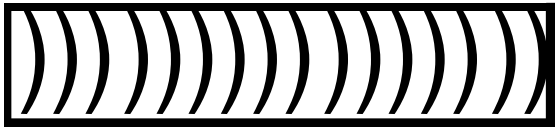
Tämä opinnäytetyö koostuu taustatutkimuksesta, sekä käytännön kokeista yhteistyökumppanin materiaalille. Materiaalina käytettiin iisalmelaisen Lunacompin lämpöpuunpurusta valmistettua komposiittia. Kokeita varten saatiin kahta erilaista komposiittituotetta, sekä raaka-ainetta granulaatteina.

Lujuustestejä varten tehtiin ruiskuvalamalla koekappaleet. Ruiskuvalussa käytetyn granulaatin on valmistanut italialainen Plasmec. Turpoamistestiä varten saatiin Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa suulakepuristettua profiilia. Säätetissä käytettyjen terrasilautojen granulaatin valmistaja on englantilainen MTI. (Knuutinen 2010d.)

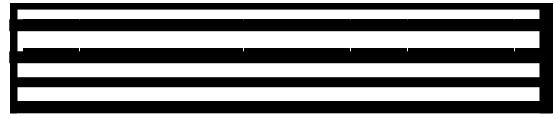
### 8.1. Turpoamiskoekappaleet

Turpoamistestiin käytetyn komposiitin lisäainepitoisuuksia ei tunneta, koska materiaali on vuodelta 2008. Kyseinen komposiittimateriaali otettiin mukaan testeihin, koska turpoamistesti oli testisarjan ensimmäinen, eikä muuta materiaalia ollut silloin vielä valmiina. Komposiitti oli paksuudeltaan 4 mm ja leveydeltään 45 mm. Testin koekappaleiksi sahattiin kuusi komposiittilaattaa (45 mm x 100 mm x 4 mm).

Puiset koekappaleet sahattiin Karelia-Ikkunan käyttämästä ikkunanpuiteaihiosta, josta saatiin enimmillään 42 mm leveitä levyjä. Koekappaleet katkaistiin 100 mm pitkiä. Puukappaleet leikattiin kolmesta eri syysuunnasta. Kappaleet olivat kuusi säteen suuntaan (Kuvio 12) ja kuusi tangentin suuntaan (Kuvio 13) sahattua mäntylaattaa. Lisäksi testiin valittiin neljä mäntylaattaa, joihin syynsuunta jäi päädyistä katsottuna 45° kulmaan. Koekappaleet merkittiin juoksevilla numeroilla: komposiittilaatat 1-6, säteen suuntaan leikatut mäntylaatat S1-S6, tangentin suuntaan leikatut T1-T6 ja sekalaiset laatat 1-4.



Kuvio 12. Säteen suuntainen leikkaus.



Kuvio 13. Tangentin suuntainen leikkaus.

## 8.2. Ruiskuvalukappaleet

Granulaattia ruiskuvalukappaleita varten saatiin All-Plastilta Joensuun Heinävaarasta. He olivat itsekin tehneet koe-erän ruiskuvalutuotteita samasta granulaatista. Materiaalin koostumus on: lämpöpuupuraa 65 % tilavuudesta, 10 % talkkia, 1 % väriainetta sekä 24 % muovia ja sidosaineita (Knuutinen 2010c). Muovi on polypropeenaa (PP).

Testejä varten valmistettiin KraussMaffei-ruiskuvalukoneella standardissa määrätyn kokoiset koekappaleet (kuvio 11). Ruiskuvalussa käytettiin standardissa hyväksyttyä koekappalemuottia. Koekappaleiden annettiin tasaantua vuorokausi ennen testien tekemistä. Kokeet suoritettiin laboratoriovastaava Panu Karttusen avustuksella.

Ruiskuvalukone KraussMaffeissa on 800 kN sulkupää ja 25 kN ruuvi, jonka annostelumatka on 75 mm. Koekappaleet ruiskutettiin 90 bar paineella. Ruiskutusnopeus oli 50 mm/s, ruiskutusaika oli 10 s kappaleelle. Jälkipuristusta pidettiin 10 sekuntia 100 bar paineessa. Jälkijäähdytysaika oli 20 s.

## 8.3. Turpoamiskoe

Kosteusturpoamatesti tehtiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun Utran toimipisteen laboratoriossa 30.9.2010. Koe tehtiin muokatusti standardin EN 317 mukaan. Kokeen erona viralliseen testiin oli koekappaleiden koot. Koelaitteina olivat vesikattila, digitaalinen työntömitta, mikrometri ja digitaalinen vaaka. Mikrometrillä mitattiin kappaleiden paksuus, sekä työntömitalla leveys ja pituus. Kummankin mittauslaitteen tarkkuus oli 0,01 mm ja vaa'an 0.1 g.

Ennen koetta kappaleet tasaannutettiin huoneen lämmössä 24 h ( $20 \pm 1$  °C, RH 48 %). Kappaleiden alkukosteus oli n. 8 %. Kappaleet laitettiin vesikattilaan vuorokaudeksi, jonka aikana kappaleet kokivat maksimiturpoaman (PSKP 30 %). Kappaleet mitattiin ja punnittiin tasaannutettuina ennen vesikylpyä ja turvonneina vesikylvyn jälkeen. Turvonneista kappaleista annettiin veden valua pois pinnalta ennen punnitsemista.

## **8.4. Lujuuskokeet**

Kokeet suoritettiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun Wärtsilä-talossa toimivassa muovitekniikan laboratoriossa. Lämpöpuukomposiitille tehtiin taivutuslujuuskoe vetokoe ja iskunkestotesti. Kokeen aikana laboratorion lämpötila oli 22 °C ja suhteellinen kosteus RH ( $50 \pm 5$ ) %.

### **8.4.1. Vetolujuustesti**

Vetolujuustesti suoritettiin Instron koelaitteella. Koe tehtiin standardin SFS-EN ISO 527-2 mukaisesti. Koe suoritettiin kymmenen kappaleen otannalla, riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi. Koekappaleet kiinnitettiin päistä koelaitteen puristimilla. Laite veti kappaletta pystysuoraan, kunnes kappale murtui. Laite säädettiin vetämään kappaletta 2mm/min vauhdilla. Kone laski vetolujuuden ja tulosti tulokset kaavioksi (Liite 4/3).

### **8.4.2. Taivutuslujuustesti**

Taivutustesti tehtiin Zwickin-koestuslaitteella. Koe tehtiin standardin SFS-EN 310 mukaan kolmipistetäivutuksena (Kuvio 10). Kokeeseen valittiin sattumanvaraisesti kymmenen kappaletta. Koekappale asetettiin kahden tukikappaleen väliin (64 mm taivutusvälillä) ja kolmas painoi koekappaleen rikki keskeltä. Koestuslaite mittasi murtovoiman ja laski taivutuslujuuden (Kaava 1), sekä kimmokertoimen (Kaava 2).

### 8.4.3. Iskulujuustesti

Koe suoritettiin Pendulum-iskutestilaitteella. Laitetta varten koekappaleista täytyi sahata kummatkin päädyt lyhemmiksi, jotta ne sopivat koestuslaitteeseen. Testi tehtiin kymmenelle kappaleelle. Iskulaitteessa kappale asetettiin vastetta vasten. Heilurin päässä olevalla 0,9 kg:n vasaralla iskettiin kappaleet rikki. Heiluri lukittiin aina samaan asentoon ja vapautettiin liipaisimesta tarkan tuloksen saamiseksi.

## 8.5. Sääkoe

Testi tehtiin muokatusti standardin SFS-EN 321 ”Wood-based panels. Determination of moisture resistance under cyclic test conditions” -mukaan. Kyseistä testiä suositellaan komposiittien ominaisuuksien testejä esittelevässä standardissa CEN/TS 15534-1 (8.5 Moisture resistance s.15). Tarkoituksena oli selvittää vuodenaikojen vaihtelun vaikutus komposiittipäällysteiseen puikkunan pokaan. Mittalaitteena testissä käytettiin analogista työntömittaa, jonka tarkkuus on 0,05 mm.

### 8.5.1. Standardin mukainen testi

Standardin SFS- EN 321 mukaan kappaleet pitää ensin tasaannuttaa RH (65 ± 5) % suhteelliseen kosteuteen (20 ± 2) °C lämpötilassa. Kappaleet leikataan standardin EN 326-1 mukaisesti ja mitataan standardin EN 325 mukaan. Kappaleiden tiheys määritetään standardin EN 317 mukaan. Testi koostuu kolmesta syklistä, jossa jokaisessa kappaleet kastellaan, jäädytetään ja kuivataan. Sykliä lopuksi kappaleille tehdään uudet tiheyden määritykset, lujuusmittaus ja taivutuslujuustesti.

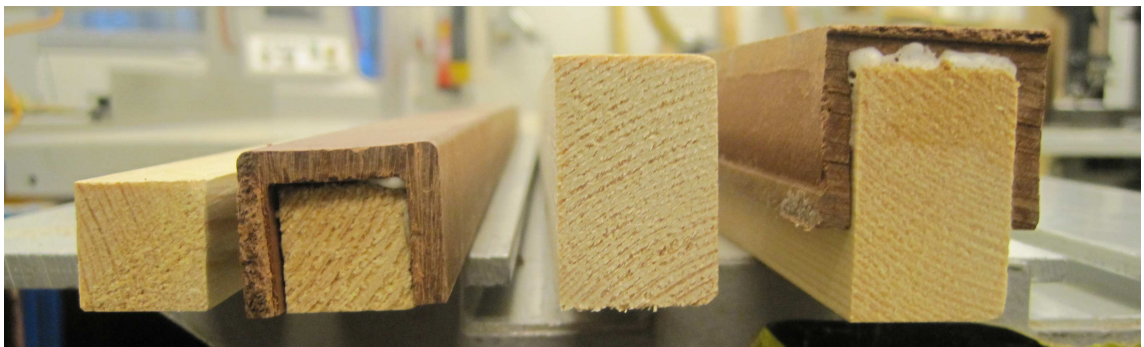
Jokaisessa syklistä kappaleet upotetaan (20 ± 1) °C veteen (70 ± 1) h ajaksi. Kappaleet tulisi erottaa pohjasta ja toisistaan 15 mm etäisyydelle ja veden pinnan pitäisi olla 25 mm kappaleiden yläpuolella. Vesikylvyn jälkeen kappaleista valutetaan ylimääräinen vesi pois ja laitetaan pakkaseen (-12 – -25 °C). Pakastusjakso kestää (24 ± 1) h.

Kuivaus tapahtuu ( $70 \pm 2$ ) °C lämpöisessä kammiossa ( $70 \pm 1$ ) h ajan. Kammiossa pitää ilman vaihtua riittävästi eikä kappaleiden kokonaistilavuus saa ylittää 10 % kammion tilavuudesta. Kuivauksen jälkeen kappaleiden pitää antaa tasaantua ( $4 \pm 0,5$ ) h ennen uutta sykliä. Testin kokonaisaika on noin 500 h eli 21 vuorokautta.

### 8.5.2. Muokattu testi

Standardin mukaisen testin tavoite on materiaalin ominaisuuksien muutosten seuraaminen, mutta tässä kokeessa tärkeämpää oli selvittää tuotteen sääeläminen. Standardin suosituksista poiketen testi tehtiin täysikokoisilla ikkunanpuitteilla, jotka ovat osa opinnäytetyöhön liittyvää tuotekehitystä. Uputuksen sijaan kappaleet jätettiin kellumaan, jotta kappaleiden taustapuu ei pääsisi suoraan kosketukseen veden kanssa.

Koekappaleita olivat kahdeksan 35 x 40 mm ja kahdeksan 30 x 24 mm puutangon päälle liimattua komposiittirimaa (Kuvio14). Määrä oli suhteellisen pieni siksi, jotta kaikki kappaleet mahtuivat yhtä aikaa testauskaappiin. Niiden tarkoitus on mallintaa liimamalla kasattua komposiitti-puuikkunan puitetta.



Kuvio 14. Testikappaleet kahta eri kokoa.

Mitattavia muuttujia ovat liiman pitävyys, komposiitin eroosio, sekä puun ja komposiitin keskinäinen kosteuseläminen. Kosteuselämisestä halutaan selvittää mittapysyvyys, sekä materiaalien kosteuskäyttäytymiserojen vaikutus tuotteessa, joka ei salli elämisvaaroja.

Opinnäytetyölle varatun aikataulun ja resurssien puitteissa ei ollut mahdollista käyttää tarpeeksi suurta sääkaappia, johon koekappaleet mahtuisivat. Niinpä koe päätettiin suo-

rittua kenttäoloissa. Kokeessa haetaan tilannetta, joka kuvaisi pahinta mahdollista olosuhdetta ikkunalle.

Aikataulullisesti pyrittiin pysymään standardin määrittämässä toleranssissa, mutta toisen jäädytysyökin aikaa jouduttiin pidentämään alhaisen pakkasen takia. Testituloksia ei voi verrata muihin standardilla tehtyihin testeihin, koska olosuhteet ja koelaitteistot eivät olleet täysin vastaavia. Kokeella on tarkoitus kerätä suuntaa antavaa informaatiota komposiitin ikääntymisestä ennen suurempia investointeja.

### **8.5.3. Sääkokeen järjestelyt**

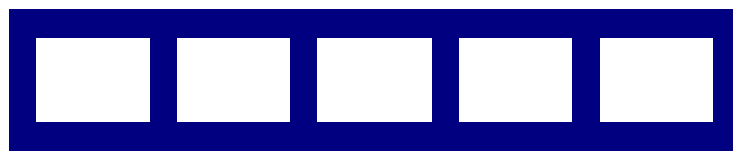
Koetta varten valmistettiin 1200 mm x 750 mm x 120 mm laatikko. Laatikkoa käytettiin vesialtaana ja kuivatuskaappina. Sen pohja on vaneria ja sivut 125 mm korkeaa paneelia. Saumat liimataan polyuretaaniliimalla ja vahvistetaan ruuveilla. PUR-liimaa käytettiin sen täyttävyyssominaisuuden ja säänkestävyyden vuoksi. Laatikosta ei ollut tarkoitus tehdä vedenpitävää, koska kuivatusta varten on porattava ilmanvaihtoreikiä.

Koekappaleiden kuivausta varten laatikon pätyyn tehtiin reikä auton sisätilanlämmittintä varten. Periaatteessa lämmittimeksi sopisi mikä tahansa 70 °C ilmaa puhaltava lämmitin. Liotuksen ajaksi laatikko vuorattiin muovipressulla. Tasaiset olosuhteet varmistettiin siten, että annettiin veden tasaantua huoneen lämmössä neljä tuntia ennen koekappaleiden upottamista.

Jäädytyskaappina voidaan käyttää normaalia arkkupakastinta. Tässä testissä koekappaleiden jäädytys toteutettiin kuitenkin ulkona pakkasessa, koska testi tehtiin joulukuussa ja ulkona oli riittävän kova pakkanen. Kappaleiden ympärille taivutettiin metalliristikko pitämään kappaleet irti toisistaan ja pohjasta.

#### 8.5.4. Sääkoekappaleet

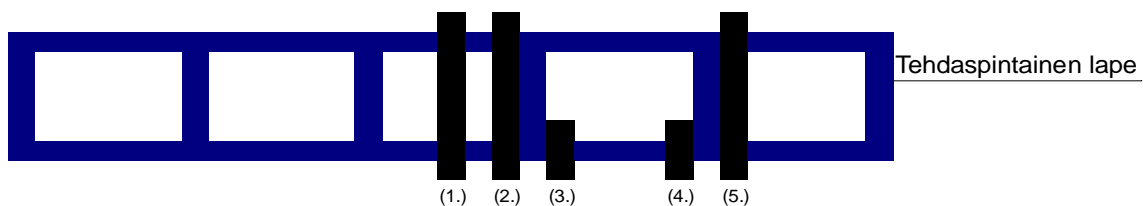
Testissä käytetään lämpöpuukomposiittista terassilautaa, koska sitä on saatavilla yhteistyökumppanilta (9.11.2010). Terassilaudat ovat 150 mm x 32 mm ontelorakenteisia, purrottamalla valmistettuja kappaleita (Kuvio 15). Laudan sisäpuoli on jaettu viiteen onteloon. Tarkoituksena ei ole vertailla säteen ja tangentin suuntien eroja, koska oletamme komposiitin olevan homogeenistä.



Seinämä	paksuus	4,5-5,2 mm
Aukon koko	korkeus	n. 20,3mm
	leveys	23,8-24,5mm
Korkeus		30mm
Leveys		150mm

Kuvio 15. WPC terassilankun profiili (Knuutinen, 2010e).

#### 8.5.5. Kappaleiden valmistus



Kuvio 16. Leikkausjärjestys, sirkkelin terän liike kuvattuna mustalla viivalla.

Kappaleet leikattiin terassilankusta kuvion 16 mukaan, jossa näkyy sirkkelin terän liikkeet ja työstöjärjestys. Aluksi laudat sahattiin keskeltä halki (1.), jolloin jokaisessa aihiossa oli yksi tehdaspintainen päätylape. Jokainen leikkaus sirkkeliöitiin tehdaspintainen lape ohjuria vasten. Keskeltä otettavista kappaleista viistettiin ulkoreunan puhtaaksi (2.).

Sitten sahattiin otettavista kappaleista alalape auki. Ensin ulommalta (3.) ja sitten sisemmältä reunalta (4.), niin että sirkkelin terä hipoi koko matkalta väliseinän pintaa. Näin varmistettiin tasainen liimauspinta sisäreunalle. Viimeisenä ajettiin keskeltä otettava kappale irti, jolloin vastetta vasten jäänyt pala oli jo valmis kappale (5.).

Komposiitit sirkkeliöitiin ja puupuitteet höylättiin kertaalleen Karelia-Ikkunan tuotantohallissa. Komposiitit olivat olleet ennen toimenpiteitä yli vuorokauden ulkona ( $-5 \pm 1$ )



°C. Komposiitit sahattiin heti sisälleoton jälkeen, mutta sillä ei näyttänyt olevan mitään vaikutusta liimaustulokseen.

Kappaleet liimattiin Sirkkalan toimipisteessä muotoilun puupajassa (Kuvio 17). Kappaleet saivat olla liimauksessa seuraavaan aamuun asti. Koekappaleista komposiitti on liimattuna puuhun kolmelta sivulta ja takalape jätetty puupinnalle. Liimatessa ja lopullisen tuotteen oikohöyläyksen aikana puupajassa oli erittäin kuiva ilma, josta tarkkoja arvoja ei ole tiedossa. Valmiit kappaleet saivat tasaantua 20 °C RH 50 % tilassa.



Kuvio 17. WPC-aihioiden liimaus.

Kappaleiden sydämenä on puuikkunan puite, joka piti testiä varten höylätä komposiitin sisälle sopivaksi. Puut höylättiin niin väljäksi, että komposiitin ja puun väliin jäi 0,2mm liimarako. Testin tarkoitus on selvittää komposiitin säänsuojaominaisuudet. Puosa piti saada mahdollisimman hyvin suojaan kosteudelta, ettei se kostuisi taustapuolelta.



Kuvio 18. Koekappaleet teipattu takasivulta.

Koekappaleiden päädyt ja takapinta teipattiin vedenkestävällä teipillä (Kuvio 18). Pienempien kappaleiden tausta höylättiin tasaiseksi, jotta teippi peittäisi puun lisäksi komposiitin reunat. Isommista kappaleista teipattiin reunat vain vedenpinnan tasolta.

Liimauksessa käytettiin PUR-liimaa. Se on täyttävä, mekaanisesti kovettuva ja säänkestävä liima. Puutuotteen liimaamiseen se on tunnetusti tehokas ja hinnaltaan suhteellisen halpa eli 26 €/l (K-Rauta Naumanen, Joensuu 10.9.2010).

## 9. TULOKSET

### 9.1. Turpoaminen

Testissä lämpöpuukomposiitin paksuus turpasi korkeussuunnassa 6,46 % ja leveyssuunnassa 2,75 %. Komposiitti turpasi samassa suhteessa männyn syysuuntien kanssa. Säteensuuntaan leikatun männyn korkeus kasvoi 6,46 % ja leveys 2,33 %. Tangentin suuntaan leikattu mänty kasvoi korkeutta 2,83 % ja leveyttä 6,86 %. Tulokset ovat nähtävissä taulukossa 3.

### Taulukko 3. Turpoamiskokeen tulokset.

TURPOAMISKOE  
Standardi SFS-EN 317

KAPPALEET TASANUTETTU (20 ± 1) °C, RH 48%  
VESIKATTILA (21 ± 1) °C

TULOKSET (Pohjautuvat testikappaleiden keskiarvosta laskettuihin arvoihin)

	Paksuus (mm)			Leveys (mm)			Pituus (mm)			Paino (g)			H <sub>2</sub> O (g)
	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	
Komposiitti	4,11	4,37	6,46	45,08	46,31	2,75	100,26	101,01	0,75	19,50	21,18	8,63	1,68
Säteen suuntaan leikattu mänty	4,05	4,31	6,46	41,93	42,90	2,33	100,30	100,51	0,21	8,98	12,13	35,10	3,15
Tangentin suuntaan leikattu mänty	4,07	4,18	2,83	41,96	44,84	6,86	100,23	100,49	0,26	8,58	11,85	38,07	3,27

Kirjallisuuden mukaan puun kutistuma PSKP:stä absoluuttisen kuivaksi on säteen suunnassa 4 % ja tangentin suunnassa 8 % (Kärkkäinen 2003, 191). Testissä koekappaleet turposivat sisätilan kosteudesta (n. 8 %) solujen kyllästymispisteeseen asti. Täydellinen taulukko on liitteenä 3.

Komposiitti absorpoo huomattavasti vähemmän vettä kuin mänty. Komposiitin paino kasvoi 8,63 % ja siihen imeytyi vettä 1,68 g. Esimerkiksi säteensuuntaan leikatut koekappaleet, jotka absorpoivat mäntynäytteistä vähiten, turposivat 35,10 % ja imivät vettä 3,15 g. Pituussuuntaan komposiitti turposi 0,75 %, kun mäntynäytteissä havaittiin enimmillään 0,33 % turpoama.



## 9.4. Iskulujuus

Pohjois-Karjalan muovitekniikan laboratoriossa tehtiin myös iskulujuustesti ruiskuvale-  
tulle lämpöpuukomposiitille. Lämpöpuukomposiitin iskulujuudeksi saatiin 2,7 kJ/m<sup>2</sup>  
(Taulukko 6).

Taulukko 6. Iskulujuustestin tulokset.

### Puumuovi komposiitin testaus

PK-AMK 27.8.2010

kappaleet:

4,1\*10,2mm

### Iskutesti

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	KA	Hajonta
2,6	3,0	2,7	3,0	2,2	2,7	2,7	2,2	2,7	3,0	<b>2,68</b>	<b>0,21</b> kJ/m <sup>2</sup>

## 9.5. Sään vaikutus

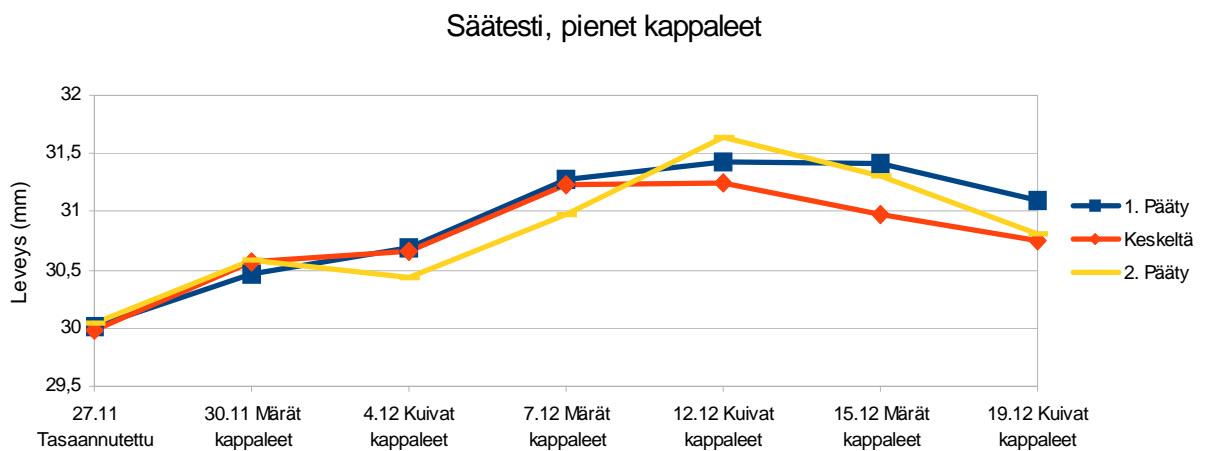
Säätestin tulokset ovat ilmoitettu kaavioissa, joissa näkyy koekappaleiden keskiarvosta  
lasketut mitat. Mittaukset on suoritettu kastelu- ja kuivaus vaiheen jälkeen. Säätetissä  
mitattiin ulkomittojen muuttumista kolmesta kohtaa: kappaleen keskeltä ja kummastakin  
päädyistä kymmenen sentin (10 cm) etäisyydeltä reunasta (Kuvio 19). Kappaleista mitat-  
tiin kolmesta kohtaa leveys ja paksuus. Paksujen kappaleiden leveys jouduttiin mittaa-  
maan ylä- ja alareunasta erikseen, koska komposiitti eli kummallakin puolella eri voi-  
makkuudella. Mittaukset tapahtuivat ennen testin aloittamista sekä aina kastelu- ja kui-  
vatusvaiheen jälkeen. Kliinisen mittaustulosten seuraamisen ohella yhtä tärkeä infor-  
maatio tulee visuaalisista havainnoista.



Kuvio 19. Sääkoekappaleiden mittauspisteet.

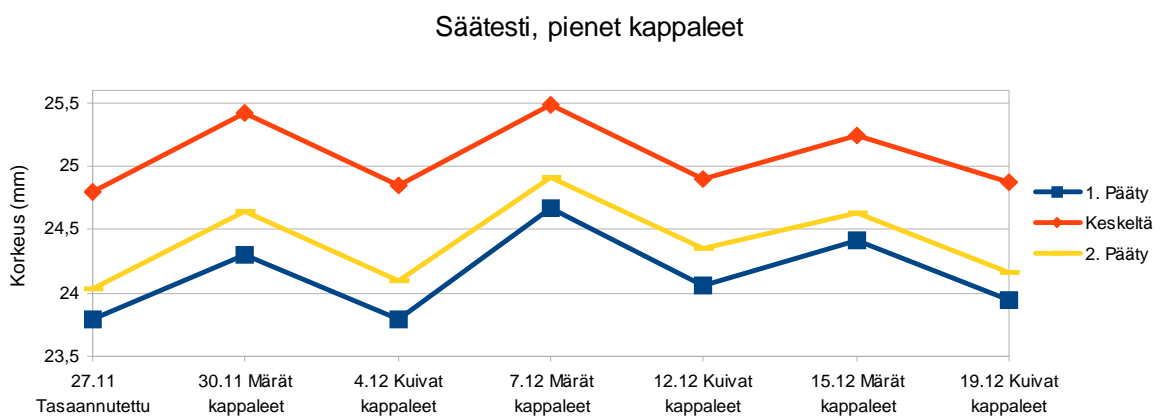
### 9.5.1. Ensimmäinen erä: ohuet kappaleet

Kosteusturpoama ensimmäisen kasteluvaiheen jälkeen oli normaali, mutta ensimmäisen kuivatuksen aikana liimasauma antoi periksi (kuvio 20). Kastuessaan ja jäätyessään puuosa turposi niin paljon, että komposiitti murtui ja kuivatus vain repi liiman komposiitin ja puun välistä. Vesi imeytyi puuhun enimmäkseen päädyistä, joten kosteuseläminen oli päädyistä paljon suurempaa kuin keskeltä.



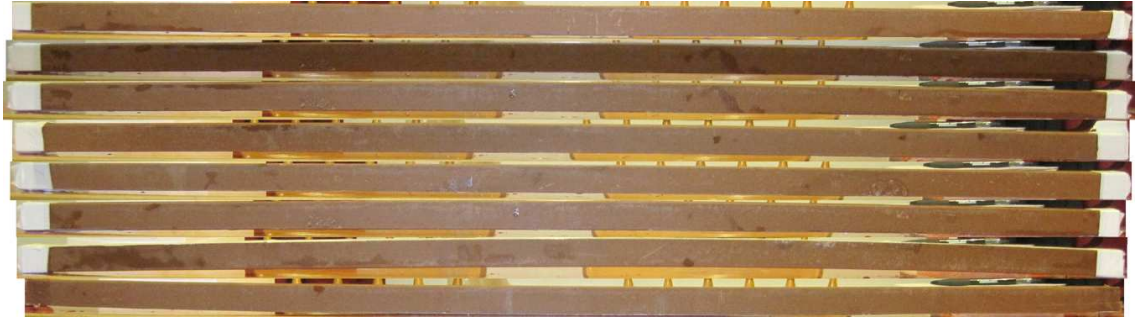
Kuvio 20. Pienten koekappaleiden sääteläminen leveysuunnassa.

Korkeussuunnassa puu pääsi vapaammin elämään, koska komposiitti on liimattuna vain yhdelle reunalle. Kuivuessaan puu palasi lähes alkumittoihinsa. Testin alussa tasaannutus paksuuden ja viimeisen kuivapaksuuden ero on keskimäärin 0,12 mm (Kuvio 21).



Kuvio 21. Pienten kappaleiden sääteläminen paksuussuunnassa.

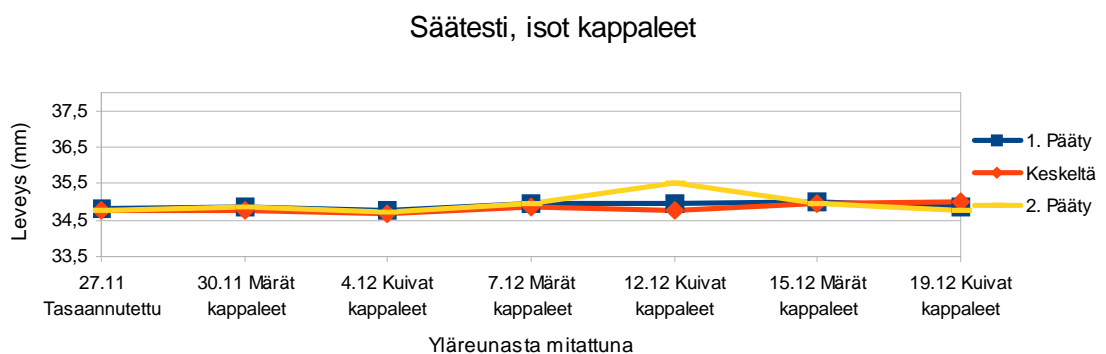
Kaikki ohuet kappaleet vääntyivät testin aikana (Kuvio 22). Komposiittiin liimattu lape ei päässyt elämään yhtä paljon kuin puupintainen lape. Tällöin kappaleet kovertuivat kosteuselämisen vaikutuksesta komposiittipintaan nähden. Kuivatuksessa puupinta kuivui nopeammin kuin komposiittipinta, jolloin kappaleet kupertuvat. Paksuissa kappaleissa puun osuus on niin suuri, että komposiitti antoi enemmän periksi ja siksi ne eivät taipuneet (Kuvio 25).



Kuvio 22. Vääntyilleet koekappaleet.

### 9.5.2. Toinen erä: paksut kappaleet

Komposiitti on liimattu puitteeseen kolmelta lappeelta: päältä ja kummaltakin sivulta. Yläreunan leveys on mitattu komposiittipinnan yläreunasta, koska puun turpoaminen ei yletä vaikuttamaan siihen tulokseen. Kuvioista 23 nähdään, että komposiitti ei turpoa veden vaikutuksesta. Kolmelta sivulta komposiitin kanssa liimassa ollut puu turposi eniten puupintaiselta lappeelta, koska komposiitti ei eristänyt kosteutta sillä reunalla.

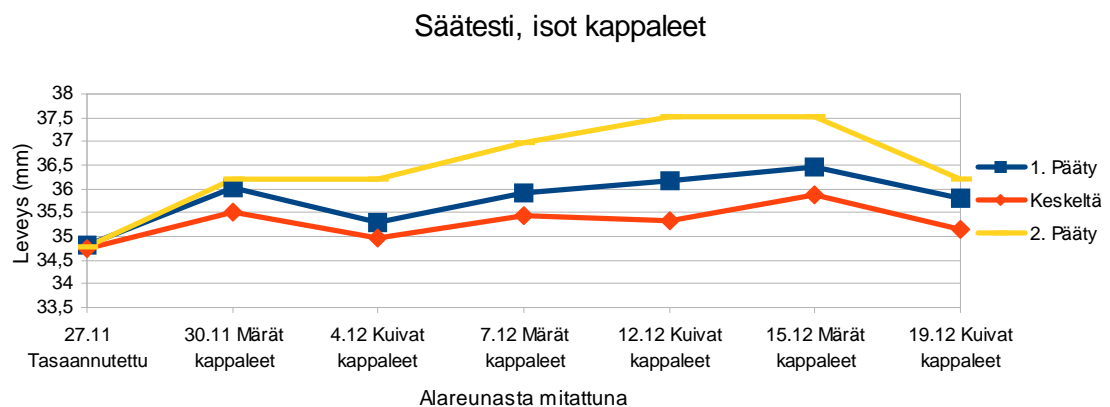


Kuvio 23. Paksujen kappaleiden sääeläminen leveyssuunnassa, yläpinnasta mitattuna.

Kuviossa 23 näkyvä yläreunan leveyksien keskiarvojen mittamuutos 2. päädyssä 12.12 tapahtuneen toisen kuivatuksen jälkeen, johtuu yhden koekappaleen murtumisesta edellisen turvotusvaiheen aikana (Kuvio 26). Vesi on päässyt murtumasta puitteen sisään ja jäänyt pakastusvaiheessa, jolloin murtuma on levinnyt. Vaikka puu kutistuu kuivatuksen aikana, niin liimauksesta irronnut komposiitti ei enää muuta muotoaan.

Koekappaleiden alalape on puupintainen, ja se pääsi ajoittain suoraan kosketukseen veden kanssa. Paksujen kappaleiden päädyissä kosteuseläminen oli suhteessa yhtä voimakasta kuin ohuemmillä kappaleilla. Puu pääsi turpoamaan päädyistä, mutta keskeltä turpoaminen oli huomattavasti maltillisempaa.

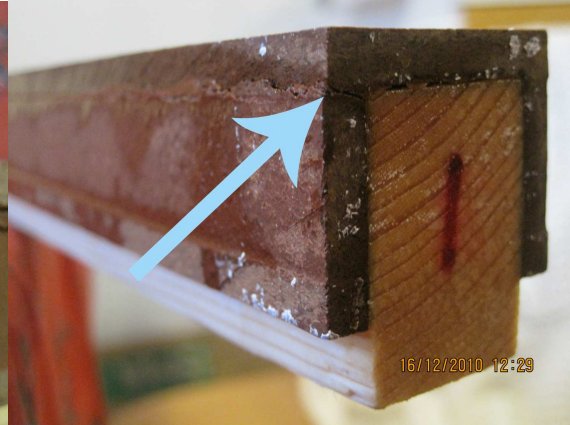
Kummassakin koe-erässä ”2. Pääty” koki rajumman turpoaman toisessa syklissä, koska kuivatuksessa käytetty kuumailmapuhallin oli kyseisellä puolella. Paksujen kappaleiden ”2. Päädyssä” komposiitti näkyy saaneen suurimmat murtumat, koska tilastoissa ei voida havaita kuivauskutistumaa (Kuvio 24).



Kuvio 24. Paksujen kappaleiden sääeläminen leveyssuunnassa, alapinta.

Koska puu turpooa komposiitti huomattavasti enemmän, niin komposiittivaippaan kohdistui turvotuksen aikana leikkausvoimia puuriman osalta. Paksuissa kappaleissa puun voima riitti murtamaan komposiitin yläreunasta (Kuvio 25), koska alareunasta poiketen se ei päässyt leviämään.

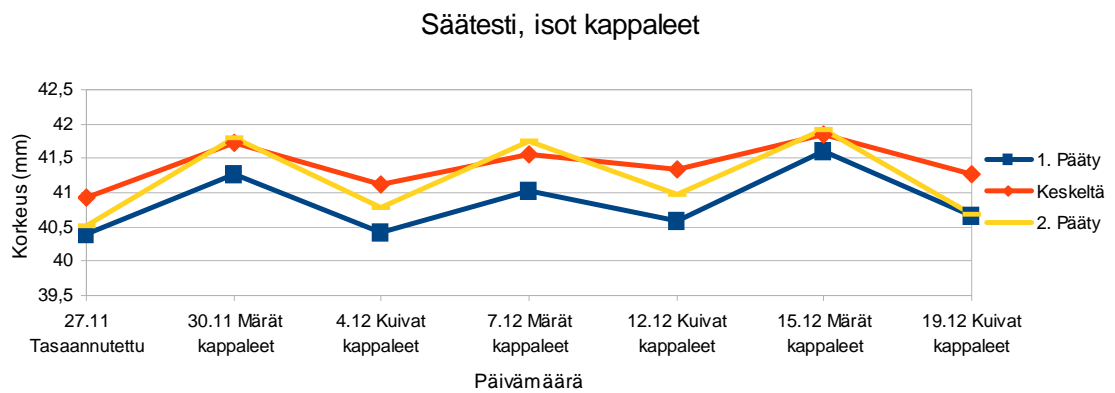




Kuvio 25. Pituussuuntainen murtuma.

Kuvio 26. Murtuma päädyssä.

Paksuussuuntainen eläminen oli testin aikana maltillista, eikä suuria muodonmuutoksia havaittu (Kuvio 27). Pahiten kosteuseläminen koetteli koekappaleiden päytyjä (Kuvio 26), vaikka ne oli testin ajan teipattu säänkestävällä teipillä. Osassa koekappaleita puu on halkeillut päästä ja liimaus on pettänyt pahiten päädyistä. Pahin komposiitin repeytymä on kappaleen päädyssä, ihan yläkulman taitteessa.



Kuvio 27. Paksujen kappaleiden eläminen korkeussuunnassa.

## 10. JOHTOPÄÄTÖKSET

### 10.1. Turpoamistestin analysointi

Testin tulosten mukaan lämpöpuukomposiitti turpoaa vuorokauden upotuksessa paksuutta 6,46 %, leveyttä 2,75 % ja pituutta 0,75 % eli samaa luokkaa puun kanssa. Pituusturpoama on jopa noin 0,5 prosenttiyksikköä suurempi kuin puulla. Komposiitin paino kasvoi 8,63 %, eli noin 23 % vähemmän kuin männyn. Savonian vastaavassa testissä kappaleet turposivat keskimäärin 0,21 % ja imivät vettä 1,68 % kuivapainostaan (Kiviranta 2010b).

Testissä lämpöpuukomposiitti käyttäytyi puumaisesti turpoamisen suhteen. Periaatteessa komposiitin partikkelien pitäisi olla tasaisesti sekoittuneet ja satunnaisessa asennossa, joten pituuden- ja paksuuden muutosten suurta eroa voi selittää vain puukuitujen asettumisella pituussuuntaisesti. Jos puunkuidut olisivat satunnaisessa asennossa, niin pituuden ja paksuuden muutos pitäisi olla lähellä toisiaan.

Savonian testaama lämpöpuukomposiitti turposi vain 0,21 %, kun omassa testissä materiaali turposi 8,62 %. Tulosten ero tulee raaka-aineen koostumuseroista. Savoniassa testatun komposiittiin raaka-aineen seosta on muokattu siten, että siinä on 10 til-% talkkia, jolloin veden absorptio paranee huomattavasti.

Säteen suuntaisesti leikattuihin kappaleisiin (S1-S6) nähden tangentin suuntaisesti leikatuissa kappaleissa (T1-T6) vuosilustot ovat 90° eri kulmassa. Tästä johtuen männystä saadut tulokset ovat keskenään yhtäläiset. Viimeisen koe-erän (1-4) levyt on leikattu siten, että puun syyt ovat 45° kulmassa paksuuteen ja leveyteen nähden. Siksi viimeisen erän tulokset poikkeavat muista männystä saaduista tuloksista.

Testin luotettavuuden varmistamiseksi männyn turvotuksesta saadut arvot. Kirjallisuuden mukaan puun solut laajenevat kosteuden vaikutuksesta enintään 8 % säteensuunnassa ja 4 % tangentin suunnassa (Kärkkäinen 2003, 191). Testissä mitattiin muutosta huoneilmasta (8 %) – läpimääräksi (30 % PSKP), joten ¼ pienempi turpoaminen maksimiin nähden selittyy koekappaleiden noin 8 % alkukosteudella (8/30 ~ ¼).

Testin perusteella voidaan todeta, että lämpöpuukomposiitin kehitys on edennyt kahdessa vuodessa hyvin pitkälle. Turpoamiskokeessa käytetyn vanhemman koe-erän lämpöpuukomposiitti ei vakuuttanut ominaisuuksillaan, mutta säätetissä käytetyssä koeerässä on saatu lisäaineiden sekoitussuhteet kohdalleen ja siinä komposiitin hyödyt pääsevät erinomaisesti esiin.

## 10.2. Lujuustestin analysointi

Testit onnistuivat erinomaisesti Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun muovitekniikan laboratoriossa 4.10.2010. Tulokset olivat samansuuntaisia kuin Savonian ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa tehdyissä testeissä samalle materiaalille.

Vetolujuustestissä kappaleet murtuivat satunnaisista kohdista. Tämä todistaa sen, että ruiskuvalumuotissa ei ollut ahtaumia, jotka olisivat heikentäneet koekappaleiden lujuutta tietystä kohtaa. Toisaalta voidaan todeta, ettei materiaali ole tasalaatuista. Kuviossa 28 kaikki kappaleet on asetettu siten, että ruiskuvalumuotin pursotusräysteet ovat kuvan ylälaidassa.



Kuvio 28. Murtuneet vetokoekappaleet.

### 10.3. Lujuustestin tulosten analysointi

Pohjois-Karjalan muovitekniikan laboratoriossa tekemäni lujuustesteissä lämpöpuukomposiitin taivutuslujuudeksi saatiin 32 MPa, vetolujuudeksi 17 MPa ja kimmomoduuliksi 5,93 GPa (Liite 4/2). Aikaisemmissa testeissä olen saanut männyn taivutuslujuudeksi 72 MPa. Komposiitin valmistuksessa käytetyn polypropeenin vetolujuus on 31 MPa (Liite 1).

Savonian tulokset lämpöpuukomposiitin veto- ja taivutuslujuudelle ovat 17 MPa ja kimmomoduuli 4,92 GPa. Erona Savonian ja oman testin välillä on tuotteen valmistustapa. Minä tein testit ruiskuvaletuilla kappaleilla ja Savonian käyttämät kappaleet olivat suulakepuristettuja. Testien antamat taivutuslujuuserot todistavat sen, että ruiskuvalulla (32 MPa) saadaan suulakepuristusta (17 MPa) kestävämpiä tuotteita. Ruiskuvalussa massa joutuu suuremman paineen alaisuuteen jäädytysvaiheessa (100 bar), joka voi aiheuttaa suuremman taivutuslujuuden.

UPM ilmoittaa ProFi Deck -komposiittiterassilaudalle taivutuslujuudeksi 13 MPa. Tulosten valossa lämpöpuukomposiitti on jäykempää kuin sellusta valmistettu komposiitti. Komposiitit ovat kehittyneet ProFin lanseerauksen jälkeen, joten todennäköisesti lämpöpuukomposiitin kaavaan on saatu lisäainepitoisuudet kohdalleen. Kuitenkin on huomioitava, että ProFi on pelkästään terassilankku eikä siltä vaadita suurta kestävyyttä. ProFin profiililla on optimoitu lujuus ja paino lattialankkuun sopiviksi.

Savonian Brinell-kovuustestissä ilmeni, että UPM:n ilmoittamat tulokset eivät välttämättä vastaa tämänhetkistä tilannetta. He mittasivat ProFi Deckille 11,00 N/mm<sup>2</sup>, vaikka omilla sivuillaan UPM ilmoittaa brinell-kovuudeksi 28 N/mm<sup>2</sup> (Kiviranta ym. 2010a, 8). En osaa selittää syytä näin suurelle ilmoitetun ja mitatun kovuuden eroille. Ristiriitaisen tiedon johdosta joudun suhtautumaan varauksella myös UPM:n ilmoittamaan taivutuslujuuteen. UPM:n jatkuvan tuotekehityksen johdosta heidän ilmoittama kovuus voi olla vanhaa tietoa, joka ei vastaa nykytilannetta.

Ruiskuvaletun lämpöpuun taivutuslujuudeksi saatiin 32,25 N/mm<sup>2</sup> eli 32 MPa. Kimmomoduuliksi saatiin 5,93 GPa. Savonian taivutustestissä pursotettu lämpöpuukomposiitti

sai  $17,67 \text{ N/mm}^2$ . Kimmomoduuliksi Savoniassa saivat  $4927,79 \text{ N/mm}^2$  eli  $4,92 \text{ GPa}$ . UPM ilmoittaa ProFi Deckille taivutuslujuudeksi  $13 \text{ N/mm}^2$ .

Ruiskuvaletut puu-muovikomposiitti kappaleet, joissa on 65 % lämpöpuuta ja 10 % talkkia, testattiin Pohjois-Karjalan muoviteknikan laboratoriossa 27.8.2010. Kappaleiden vetolujuudeksi saatiin 17 MPa. Materiaalin suurin venymä on 0,74 mm. Savonian testaama, pursottamalla valmistettu materiaali kesti keskimäärin  $15,53 \text{ N/mm}^2$  vetojännityksen eli 15 MPa. Maksimivenymä oli 2,42 mm.

#### **10.4. Säätestin analysointi**

Kaikki pienet koekappaleet kovertuivat puupintaan nähden liimauksen jälkeen. Aluksi epäilin liiman kovettumiseen tarkoitetun vesisumun aiheuttaneen puussa kosteuselämistä. Puut ajettiin viimeisimpänä tasohöylän läpi pohjan koveruuden poistamiseksi, mutta ohuemmat tangot taipuivat höyläyksen jälkeen taas kuperiksi. Viikko liimauksen jälkeen tangot ovat kuitenkin suoristuneet uudelleen. Todennäköisin syy on siinä, etteivät kappaleet ehtineet tasaantua tarpeeksi joka välissä. Samasta syystä kappaleiden paksuusmitat vaihtelevat päissä ja keskeltä.

Testit piti alun perin suorittaa Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun sääkaapissa, mutta koulun toimitilojen muuton vuoksi tarpeeksi ison kaapin löytäminen ei ollut aikataulullisesti mahdollista. Olisin halunnut testata pieniä koeikkunoita ja ehdinkin tekemään ensimmäisen komposiitti-ikkunan, mutta tarpeeksi ison otannan tekeminen olemassaolevilla laitteilla olisi vienyt kuukauden.

Standardin mukaan testit tulisi tehdä 300 mm pitkillä kappaleilla, mutta silloin en olisi päässyt näkemään liimauksen pysyvyyttä tai taipumista. Päätin käyttää 995 mm pitkiä koekappaleita, koska pitkissä kappaleissa kosteuseläminen näkyy selvästi.

Testi lähti käyntiin huonosti, koska testin suunnittelu oli tekijänsä ensimmäinen. Testauslaatikkoa piti ensimmäisen kuivatusvaiheen alussa modifioida, jonka takia ei päästy yhtenäiseen lämmitysjaksoon. Aluksi lämmitin kierrätti ilmaa laatikon sisällä, mutta sen lämpörele paukkui, joten lämmittimelle tehtiin reikä laatikon kylkeen. Nyt laatikkoon

virtasi kuivaa ilmaa ja ylipaine vei kosteutta paremmin pois. Laatikon pohjalle oli levitettävä vanerilevy, koska alustana oleva muovimatto tuntui sulavan.

Ulkolämpötilat vaihtelivat suuresti, mutta pysyivät mielestäni riittävällä pakkastasolla. Kolmannen pakkasvaiheen aikana ulkolämpötila oli alle 10 °C, joten pakastusta jatkettiin 12 h. Jatkoajalla kompensoitiin pakkasen vähyyttä.

Heti ensimmäisen liotuksen jälkeen ohuimmat kappaleet olivat kieroutuneet. Yritin pitää vedenpinnan komposiitin yläreunan tasalla, mutta kappaleiden elämisestä johtuen vettä pääsi imeytymään suoraan taustapuuhun. Paksut kappaleet pysyivät paremmin suorassa, koska komposiitti ei enää jaksanut vääntää puuta, eikä se imenyt itseensä yhtä paljon vettä kuin ohuimmat versiot.

Alkuperäinen tarkoitus oli testata ikkunan säänkestoa luonnollisessa ympäristössään. Koska puitteiden taustat pääsivät kastumaan, niin testistä ei voida vetää suoria johtopäätöksiä ikkunan käyttäytymiseen liittyen. Toisaalta kokonaiskastuminen paljasti toivottua enemmän liiman pitävyydestä ja materiaalien kosteuskäyttäytymisestä.

#### **10.4.1. Säätestin tulokset**

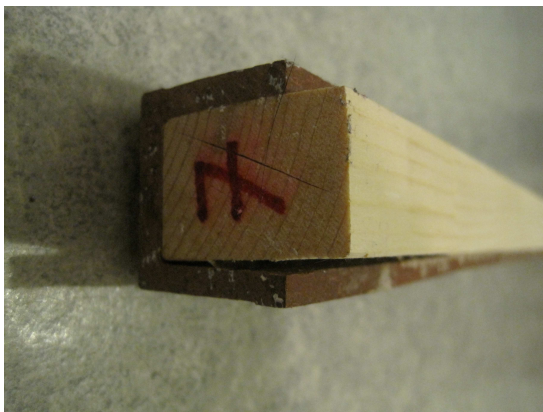
Lämpöpuukomposiitti on rakenteeltaan lähempänä muovia kuin puuta. Koekappaleet liimattiin polyuretaaniliimalla, joka on mekaanisesti kovettuva puuliima. Sen tarvitsee päästä puun huokosiin, johon liima ankkuroituu. Testissä todettiin, että komposiitin pinta on liian sileä puuliimalle. Kuvista 29 näkee miten liima on kuivunut irtokalvoksi komposiitin pinnalle. Säänvaihtelu on pehmentänyt liiman siten, että sen saa kynnellä rapsuttamalla irti.



Kuvio 29. Puuliima ei tartu komposiittiin.

Kosteudenvaihteluista huolimatta komposiitti pitää muotonsa hyvin, mutta puu elää sitäkin enemmän. Komposiitti joutui testin aikana myötäilemään puun elämistä, josta mitamuutokset johtuivat. Osassa kappaleista puun turpoaminen ylitti komposiitin murtolujuuden, eikä komposiitti palautunut enää alkutilaan (Kuvio 30). Kahdessa isossa kappaleessa komposiitti murtui puun paineesta koko kyljen matkalta.

On mahdollista, että koe oli liian ankara kyseiselle tuotteelle. Monessa kappaleessa puuosan päätyyn tuli halkeama (Kuvio 30), jonka voi aiheuttaa liian nopea kuivuminen. Kuviossa 31 näkyy sormijatkos, joka on antanut periksi testin aikana. Sormijatkoksen murtumisen syy voi olla valmistusvirhe tai liian kova kosteusvaihtelu.



Kuvio 30. Koekappaleen vauriota.



Kuvio 31. sormijatkos on pettänyt.

### 10.4.2. Säätestin lopputulos

Puu-komposiitti-ikkunanpuitetta ei voida valmistaa liimaamalla, koska puun kosteus-eläminen on yli kaksinkertainen komposiittiin nähden. Puuliimat eivät sovellu komposiitin liimaukseen, vaan siihen pitää soveltaa muovin työstöön soveltuvia menetelmiä. Testin perusteella en voi suositella puun ja komposiitin liimaamista ulkokäyttöön, mutta sisäkäytössä se voisi toimia.

Tuotteena komposiitilla päällystetty puupuite ei ole mahdoton, mutta liitostekniikkaa on vielä kehitettävä. Esimerkiksi komposiitin kiinnitykseen voidaan soveltaa alumiinin kiinnityksessä käytettyä asennuslistaa. Komposiittiprofiili voidaan muotoilla siten, että siinä on klipsireuna, joka sovitetaan puuhun leikattuun hahloon.

Testin perusteella voidaan olettaa, että komposiitin liimaamiseen tarvitaan kemialliseen sidokseen perustuvaa muoviliimaa. Tämän opinnäytetyön puitteissa ei löydetty komposiitille sopivaa liimaa, eli siinä on vielä jatkotutkimuksen paikka. Muitakin liitostekniikoita, kuten ruuvikiinnitystä tai asennuslistaa voisi soveltaa komposiitin ja puun välille. Asennuslista jättää kappaleiden väliin elämisvaraa, jolloin välttyään samanlaisilta murtumilta ja vääntelyiltä mitä säätetissä havaittiin.

## 11. POHDINTA

### 11.1. Tuotekehitys

Lähtötilanteessa tiesimme komposiitin olevan murtolujuudeltaan heikkoa ja kosteuselämiseltään stabiilia. Kuten perinteisesti muovi-ikkunan valmistuksessa käytetään metallipalkkia helojen vastakappaleena, niin komposiittipuitteeseen voisi liittää puuta. Puu antaisi puitteelle tarvittavan jäykkyyden.

Lämpöpuukomposiitin sovellutuksia pohiessamme Laboratoriomestari Keijo Silfstenin kanssa saimme idean komposiitilla päällystetystä puusta (Liite 5). Kuten Alumiinia liite-



tään ikkunan puitteeseen, niin miksi ei komposiittiakin. Lähdimme työstämään ajatusta liimaamalla valmistetusta tuotteesta.

Liitteessä 5 on olemassa olevista materiaaleista modifioitu ensimmäinen prototyyppi. Sen kuori lämpöpuukomposiittirimasta leikattu U-lista (Liite 5/2). Puuosa on ikkunanpuiteaihiosta höylätty, siten että siihen jää lasille ja lasituslistalle sopiva kolo (Liite 5/3).

Testeissä käytetty puite oli ensimmäinen prototyyppi liimalla kasatusta puukomposiittipuitteesta. Koe todisti tuotteen epäkelpoisuuden, niin liiman kuin kosteuselämisenkin osalta. Komposiitti ei kestänyt puun kosteuselämistä. Kokeessa käytetty puu oli käsittelemätöntä. Jos puu olisi maalattua, niin kosteuseläminen olisi vähäisempää. Kokeessa testattu vesikylpy ei täysin vastaa tosielämän tilannetta, koska esimerkiksi lastulevypöydästäkin lähtee liotuksessa vinyylipinnoite irti, mutta ei normaalikäytössä.

Toimivia ideoita olivat komposiitin vahvistaminen puurimalla ja puun suojaaminen sään vaihteluilta komposiittipinnoitteella. Tuotteesta voisi saada toimivan parantamalla kahta seikkaa: puuosan maalaaminen vähentäisi veden absorptiota ja komposiitin liittäminen vain kahdelle sivulle antaisi puulle rajattoman elämisvaran.

## **11.2. Alumiinin ja puun erot lämpöpuukomposiittiin nähden**

Ikkunan valmistuksessa alumiinin heikkoudet ovat korkeat valmistuskustannukset ja huono kierrätettävyys. Materiaalina alumiini on kestävämpää kuin komposiitti, mutta komposiitista saadaan kevyempiä tuotteita, jolloin tuotteen ei tarvitse kannatella suurta omamassaa. Alumiinin lämpöeläminen on moninkertainen komposiittiin nähden, mutta alumiinin kosteuseläminen on pienempi.

Puuta on helppo työstää ikkunan puitteeksi. Se kestää kohtuullisen suuria kuormia ja lisäksi puuvarat ovat Suomessa vielä kestäväällä pohjalla. Puu on muilta ominaisuuksiltaan huomattavasti komposiittia huonompi. Yleisesti ajatellen puun käyttö rakennuksessa on eduksi halvemman hinnan ja luonnollisen ulkonäkönsä vuoksi.

### **11.3. Komposiitin käyttö**

Suoraan puuikkunan korvaajaksi komposiitista ei ole, koska onttoon rakenteeseen ei voida kiinnittää heloja suoraan. Umpinainen rakenne puolestaan olisi turhan raskas ja kallis. Umpinaisesta komposiitista saataisiin ohut puite, mutta ontolla profiililla voitaisiin jakaa voimat ristikkorakenteella isolle alueelle. Jos komposiitti-ikkuna tehdään kuten tavallinen muovi-ikkuna, niin nykyisiä heloja pitäisi kehittää. Helojen kiinnitykseen tarvitaan vastakappale tai helojen pitää pystyä jakamaan paino isommalle alueelle, jotta pistekuorma puitteen pinnalla pieneneisi.

Tutkimukseni mukaan helpoin komposiitin sovellutus on kiinteissä ikkunoissa, koska karmi voidaan kiinnittää seinään koko matkalta. Kiinteässä ikkunassa ei karmiin kohdistu pistekuorma, joten komposiitin lujuus riittää suuremmallekin ikkunalle. Toinen sovellutus, johon komposiitti soveltuu hyvin, on peitelistat. Listojen ei tarvitse kantaa muuta kuin oma painonsa ja niiltä vaaditaan lähinnä säänkestoa ja mittapysyvyyttä.

Lähdettäessä kehittämään Karelia-Ikkunan nykyistä ikkunamallistoa, alumiinin korvaamista komposiitilla kannattaisi mahdollisesti harkita. Alumiinia käytetään puuikkunassa sääsuojana ja tippalistana. Se kiinnitetään puuhun niin, että se pääsee elämään puusta erillään. Testeissä havaittiin, ettei komposiittia kannata liimata puuhun, koska niiden erilainen kosteuseläminen aiheuttaa pahimmassa tapauksessa komposiitin halkeamisen.

Komposiitista voidaan pursottaa samanlaisia listoja kuin alumiinista, jotka liitetään puitteeseen asennuslistoilla tai kiskoilla. Toisaalta puitteeseen voisi höylätä urat, joihin komposiittilistan voisi pujottaa. Komposiitti-puuikkunaan tulisi puun vahvuus ja komposiitin säänkestävyys. Komposiitti-puuikkuna täyttää myös kierrätettävyyksivaatimukset.

### **11.4. Jatkotutkimuksia**

Halutun ikkunamallin puitteiden lujuus täytyisi laskea saadaksemme selville, kuinka paljon komposiittiprofiilin pitää jaksaa kannatella painoa ja mihin suuntaan voimat kohdistuvat. Lujuusvaatimusten perusteella voitaisiin suunnitella riittävän kestävä komposiittiprofiili ikkunan puitteeksi.

Komposiitti-ikkunoista kannattaisi tehdä markkinointitutkimus. Siinä tulisi selvittää miten ihmiset suhtautuvat puu-muovikomposiittiin, minkälaisia ikkunamalleja menisi kau-paksi ja paljonko ihmiset olisivat valmiita maksamaan ekologisesti kestäväällä teknologi-alla valmistetusta tuotteesta.

### **11.5. Päätelmät**

puu-muovikomposiitti sopii muovin korvaajaksi, koska sillä on pitkälti samat ominai-suudet, mutta ekologisemmassa kuoressa. Vaikka komposiitti on puuta heikompi materi-aali, sen lujuutta voidaan parantaa verkkomaisella profiililla ja jäykkäkuituisilla lisäai-neilla. puu-muovikomposiitti-ikkunoiden ongelma on sama kuin muovi-ikkunoiden, eli helat tarvitsevat vastakappaleen. Muutoin lämpöpuukomposiitti on kosteuselämisen, lu-juuden ja työstettävyyden kannalta sopiva ikkunateollisuuteen.

### **11.6. Loppusanat**

Oikeastaan puu-muovikomposiitti on vain tavallista lujitemuovia. Lujitteena käytettävän puun ominaisuudet parantavat muovin heikkoja ominaisuuksia, joten komposiitti on erinomainen vaihtoehto muovi-ikkunalle. Valitettavasti tutkimuskohteena oleva lämpö-puumuovi ei ole lujuusominaisuuksiltaan lähellekään puun tai lasikuitulujitteisen muo-vin tasoinen. Lämpöpuukomposiittia voidaan käyttää ikkunan puitemateriaalina, jos ke-hitetään lujuusominaisuuksiltaan optimoitu profiili tai sitä voidaan käyttää puitteen ul-kopinnassa alumiinin sijaan.

## LÄHTEET

Ahtonen, K. 2010. Tietoa. Sähköposti: pauli.poikonen@edu.ncp.fi 9.12.2010

Andersen Windows [historiikki].

<http://www.andersenwindows.com/servlet/Satellite/AW/Page/awGeneral-3/1102951371087> [Luettu 7.12.2010]

Carus, M; Gahle, C. 22.4.2008. Injection moulding with natural fibres [artikkeli]. Reinforced plastics, <http://www.reinforcedplastics.com/view/1507/injection-moulding-with-natural-fibres>. [Luettu 2.11.2010]

Fitzhenry, R. 2010. Using Eastern Hardwoods in Wood-Plastic Composites Creates High-Value Products, US-Forest service, <http://www.fs.fed.us/r9/ssrs/story?id=4981> [Luettu 27.12.2010]

Iisalmensanommat. 22.4.2010. Lunacomp aloittaa komposiittituotannon Iisalmessa

[Artikkeli]

[http://yle.fi/alueet/savo/2010/04/lunacomp\\_aloittaa\\_komposiittituotannon\\_iisalmessa\\_1625896.html](http://yle.fi/alueet/savo/2010/04/lunacomp_aloittaa_komposiittituotannon_iisalmessa_1625896.html) [Luettu 18.10.2010]

Ikkunäkäsikirja. 2004. Rakennusteollisuus RT ry Puutuotetoimiala. Loviisa: Painoyhtymä/Uudenmaan kirjapaino.

Karelia-Ikkuna. 2006. Karelia-Ikkunat tehdään vain parhaista raaka-aineista.

<http://www.kareliaikkuna.fi/ikkunat.php> luettu [Luettu 3.12.2010]

Kiviranta, K; Niilo-Rämä, E. 2010a. Komposiittimateriaalin testaus MikTech OY [Raportti]. Savonia ammattikorkeakoulu. Kuopio 22.10.2010

Kiviranta, K. 2010b. Komposiittimateriaalin olosuhdemuutostestaus MikTech OY [Raportti]. Savonia ammattikorkeakoulu. Kuopio 20.9.2010

Knuutinen, I. 2010a. Projektipäällikkö Ilja Knuutinen, Miktech. Infoa [sähköposti]. Lähetetty sähköpostiin: pauli.poikonen@edu.ncp.fi 28.5.2010

Knuutinen, I. 2010b. Projektipäällikkö Ilja Knuutinen, Miktech [Keskustelut] (1.10 – 17.12.2010)

Knuutinen, I. 2010c. Projektipäällikkö Ilja Knuutinen, Miktech. Ruiskuvalu komposiitin testaus [sähköposti]. Lähetetty sähköpostiin: pauli.poikonen@edu.ncp.fi 30.8.2010

Knuutinen, I. 2010d. Projektipäällikkö Ilja Knuutinen, Miktech [sähköposti]. Lähetetty sähköpostiin: pauli.poikonen@edu.ncp.fi 8.12.2010

Knuutinen, I. 2010e. Projektipäällikkö Ilja Knuutinen, Miktech. Opinnäytetyön tulokset [sähköposti]. Lähetetty sähköpostiin: pauli.poikonen@edu.ncp.fi 12.10.2010

Korhonen, V. 27.6.2008. Lämpöpuufirman vauhdikas kasvu jatkuu [Artikkeli]. Iisalmensanomat. <http://www.iisalmensanomat.fi/uutiset/yla-savo/lampöpuufirman-vauhdikas-kasvu-jatkuu/152422>. [Luettu 18.10.2010]

Koukhtenkov, D. 1.6.2009. Constructive Choices [blogi]. <http://www.inlinefiberglass.com/blog/> [Luettu 3.11.2010]

Kurri, V; Malén, T; Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. Opetushallitus. Helsinki: Hakapaino Oy

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen Perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy

Lunawood. 2010a. <http://www.lunawood.fi/yritys/yritysinfo/> [Luettu 3.12.2010]

Lunawood. 2010b. <http://www.lunawood.fi/ajankohtaista/?id=101105120202EF95> [Luettu 5.12.2010]

Marsh, G. 1.2.2009. Marinas – prospects for wood plastic composites [artikkeli]. Reinforced plastics. <http://www.reinforcedplastics.com/view/1981/marinas-prospects-for-wood-plastic-composites> [Luettu 2.11.2010]

Martin, J. 31.5.2006. Pultruded composites compete with traditional construction materials [artikkeli]. Reinforced plastics. <http://www.reinforcedplastics.com/view/4717/pultruded-composites-compete-with-traditional-construction-materials-> [Luettu 2.11.2010]

Metalprices. 24.12.2010. Polypropylene (PP) Plastic Prices. <http://www.metalprices.com/pl/pl.asp> [Luettu 24.12.2010]

Rento, V. 2004. Puun rakenne [oppimateriaali]. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu

Tengvall, H. 2000. Puu palaa klapeina, pelletteinä, öljynä, kaasuna [artikkeli]. Tiede-  
lehti 2/2000.  
[http://www.tiede.fi/artikkeli/138/puu\\_palaa\\_klapeina\\_pelletteina\\_oljyna\\_kaasuna](http://www.tiede.fi/artikkeli/138/puu_palaa_klapeina_pelletteina_oljyna_kaasuna) [Luet-  
tu 17.12.2010]

WPC Info. 2010. Washington State University (WSU). Information for Consumers of  
WPCs. <http://www.wpcinfo.org/consumers/> [Luettu 1.12.2010]

### **Määräykset ja standardit:**

**CEN/TS 15534-1** Wood-plastics composites (WPC). Part 1: Test methods for charac-  
terisation of WPC materials and products 25.6.2007

**SFS-EN 321** Wood-based panels. Determination of moisture resistance under cyclic test  
conditions 21.1.2002

**SFS-EN 317** LASTULEVYT JA KUITULEVYT. PAKSUUSTURPOAMAN MÄÄRI-  
TYS VESILIOTUKSEN JÄLKEEN 20.9.1993

**SFS-EN 310** PUULEVYT. TAIVUTUSKIMMOMODULIN JA TAIVUTUSLUJUU-  
DEN MÄÄRITYS 20.9.1993

**SFS-EN ISO 527-2** MUOVIT. VETO-OMINAISUUKSIEN MÄÄRITTÄMINEN.  
OSA 2: TESTAUSOLOSUHTEET VALETTAVILLE JA EKSTRUDOITAVILLE  
MUOVEILLE.

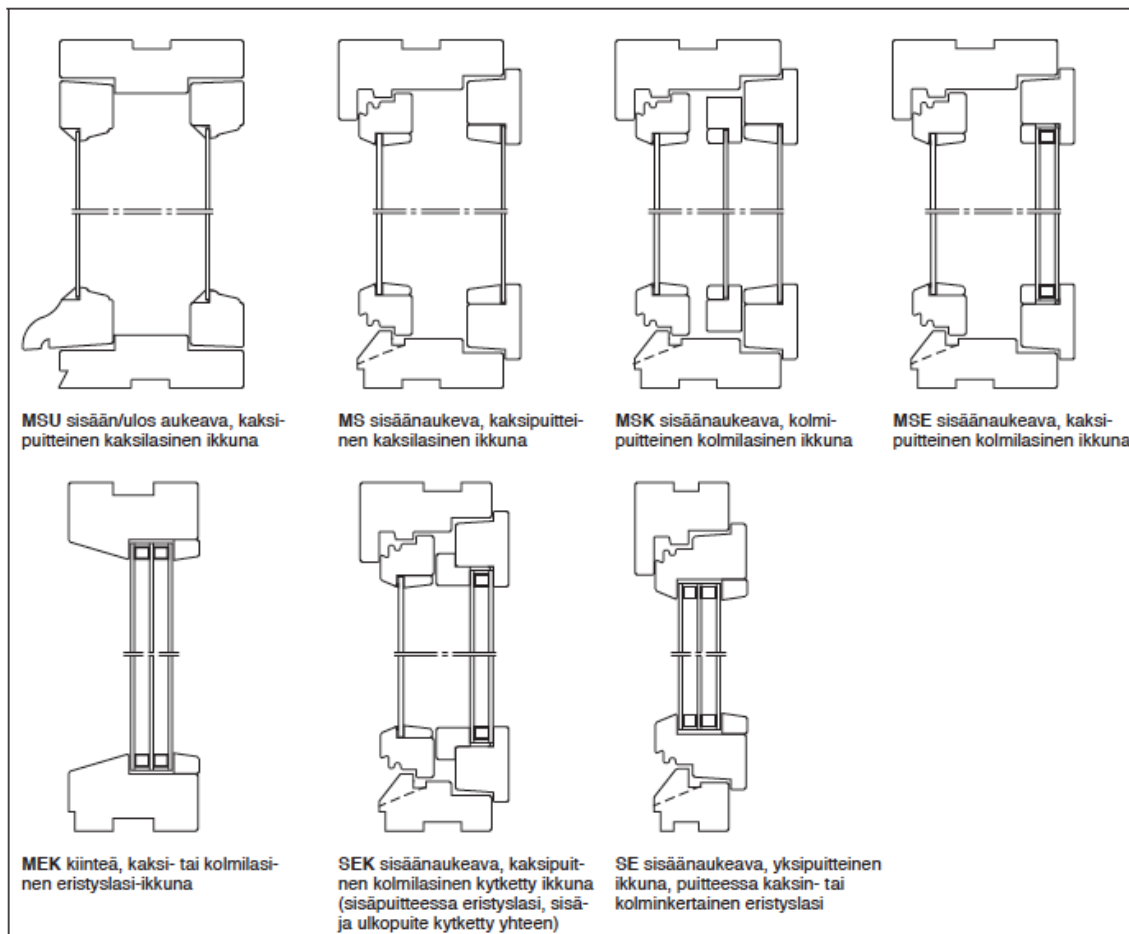
RT 41-10644-RTS-versio 1.2.08. PUUIKKUNAT JA NIIDEN ASENNUS.  
[http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/attachments/5fIPeDhrH/5wpim  
BQSi/Files/CurrentFile/rt-lausunto08-9\\_puuikkunat.pdf](http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/attachments/5fIPeDhrH/5wpimBQSi/Files/CurrentFile/rt-lausunto08-9_puuikkunat.pdf) [Luettu 5.12.2010]

## Yleisimmät muovit (Kurri ym. 2002, 230)

**Yleisimmät muovit ja niiden ominaisuuksia**  
 (Teknisten muovien yleistiedot, Teknolon Oy, Vink, 1994)

Muovilaji	Lyhenne	Tiheys g/cm <sup>3</sup>	Veto- lujuus N/mm <sup>2</sup>	Kovuus shore D	Käyttökohteita
Polyeteeni	PE	0,93–0,96	9–29	20–70	putket, säiliöt, lelut, kalvot
Polypropeeni	PP	0,91	31	73	putket, säiliöt, kalvot, narut
Polyvinyyl- kloridi	PVC	1,2–1,4	13–70	65–140	putket, säiliöt, altaat, profiilit, lattiamatot, kalvot
Polystyreeni	PS	1,05	48	150 (H358)	pakkaukset, lelut, koneiden osat, eriste (Styrox)
Polyeteeni- tereftalaatti	PET	1,37	73	140 (kuulapaine)	pullot, kuidut, hammaspyörät, pakkaukset
Polyamidi 6	PA6	1,14	75–85	58 (-"-)	laakerit, liukupinnat, hammas- pyörät, kuidut, urh.välineet
Polyamidi 6.6	PA6.6	1,14	82–94	68 (-"-)	kuten PA6
Polyamidi 11	PA11	1,04	40–50	–	suodatinlevyt, vuoraukset
Polyasetali	POM	1,42	68	130 (-"-)	liukulaakerit, venttiilien osat
Polytetra- fluorieteeni	PTFE	2,14–2,18	27	51–56	laakerit, liukukiskot, vuoraukset (kattilat), tiivisteet
Polykar- bonaatti	PC	1,2	63–68	95 (H358)	optiset laitteet, levyt, CD:t lampun osat, astiat, pistorasiat
Polymetyyli- metakrylaatti	PMMA	1,18	72	170 (H358)	optiset laitteet, ikkunat, vitriinit, lampun osat, kotelot,
Akrylinitriili- butadieeni- styreeni	ABS	1,06	47	88 (H358)	astiat, koneiden kotelot, lelut, profiilit, rasiat, auton osat
Polyuretaani	PUR	1,25	30–38	68–97	johteet, eristeet, ketjupyörät
Tyydyttämätön polyesteri	UP	1,3–1,7	60–200	150–190 (H358)	säiliöt, putket, vuoraukset, veneet, autonkorit
Melamiini- formaldehydi	MF	1,4–1,5	> 50	180–20 (H358)	laminaatit (pöydät), sähkö- tarvikkeet, tuhkakupit
Fenoli- formaldehydi	PF	1,3–1,8	55–120	210–380 (H358)	sähkötarvikkeet, laatikot, kotelot (PF = bakelliitti)

## Ikkunatyypit



Ikkunatyypin nimitykset. Mittakaava 1:5

(RT 41-10644 Puuikkunat ja niiden asennus).



## **Ikkunasanastoa**

### Ikkunan pinta-ala

Karmin ulkomittojen mukaan laskettu ala.

### Valoala

Valoa läpäisevän pinnan ala. Siihen ei lasketa jakopuitteita.

### Moduulimitoitus

Ikkunan valmismitat muuttuvat 10 cm välein. Moduulit ilmoitetaan esim. 18Mx16M (leveys x korkeus). Se tarkoittaa sitä, että ikkunan karmi on 10 mm alle moduulin ja aukko 10 mm moduulia suurempi, eli todelliset mitat ovat 1790 mm x 1590 mm ikkunalle, ja 1810 mm x 1610 mm aukolle. Moduulit eivät ole standardisoituja, mutta ovat yleisesti käytössä, koska helpottavat valmistajien ja rakentajien kanssakäymistä.

### Ikkunan käтisyys

Kertoo aukeamissuunnan. Ilmoitetaan saranapuoli. Esimerkiksi vasenkätisessä ikkunassa saranat ovat vasemmalla reunalla.

(RT 41-10644 Puuikkunat ja niiden asennus.)

TURPOAMISKOE  
Standardi SFS-EN 317

KAPPALEET TASANNUTETTU 20°C, RH 48%  
VESIKYLPY 24 h

## Komposiitti

	Paksuus (mm)			Leveys (mm)			Pituus (mm)			paino (g)			H <sub>2</sub> O (g)
	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	
1	4,09	4,35	6,36	45,08	46,32	2,75	100,17	100,93	0,76	19,50	21,20	8,72	1,70
2	4,08	4,34	6,37	45,12	46,42	2,88	100,34	101,07	0,73	19,40	21,10	8,76	1,70
3	4,19	4,42	5,49	45,09	46,27	2,62	100,40	101,15	0,75	19,60	21,20	8,16	1,60
4	4,10	4,45	8,54	45,07	46,29	2,71	100,32	101,05	0,73	19,50	21,30	9,23	1,80
5	4,11	4,36	6,08	45,09	46,38	2,86	100,22	100,94	0,72	19,60	21,20	8,16	1,60
6	4,06	4,30	5,91	45,00	46,20	2,67	100,10	100,91	0,81	19,40	21,10	8,76	1,70
<b>KA</b>	<b>4,11</b>	<b>4,37</b>	<b>6,46</b>	<b>45,08</b>	<b>46,31</b>	<b>2,75</b>	<b>100,26</b>	<b>101,01</b>	<b>0,75</b>	<b>19,50</b>	<b>21,18</b>	<b>8,63</b>	<b>1,68</b>

## Säteen suuntaan leikattu mänty

	Paksuus (mm)			Leveys (mm)			Pituus (mm)			paino (g)			H <sub>2</sub> O (g)
	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	
S1	4,01	4,24	5,74	41,91	42,85	2,24	100,26	100,47	0,21	8,90	12,00	34,83	3,10
S2	4,04	4,29	6,19	41,93	42,90	2,31	100,25	100,53	0,28	9,00	12,00	33,33	3,00
S3	4,05	4,32	6,67	41,95	42,94	2,36	100,40	100,65	0,25	9,20	12,30	33,70	3,10
S4	4,06	4,35	7,14	41,95	42,88	2,22	100,33	100,49	0,16	9,10	12,20	34,07	3,10
S5	4,06	4,31	6,16	41,92	42,88	2,29	100,28	100,51	0,23	9,00	12,10	34,44	3,10
S6	4,06	4,34	6,90	41,91	42,97	2,53	100,25	100,41	0,16	8,70	12,20	40,23	3,50
<b>KA</b>	<b>4,05</b>	<b>4,31</b>	<b>6,46</b>	<b>41,93</b>	<b>42,90</b>	<b>2,33</b>	<b>100,30</b>	<b>100,51</b>	<b>0,21</b>	<b>8,98</b>	<b>12,13</b>	<b>35,10</b>	<b>3,15</b>

## Tangentin suuntaan leikattu mänty

	Paksuus (mm)			Leveys (mm)			Pituus (mm)			paino (g)			H <sub>2</sub> O (g)
	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	
T1	4,05	4,19	3,46	42,00	44,85	6,79	100,17	100,37	0,20	8,60	12,00	39,53	3,40
T2	4,07	4,18	2,70	41,93	44,92	7,13	100,25	100,53	0,28	8,60	11,90	38,37	3,30
T3	4,07	4,16	2,21	41,91	44,77	6,82	100,32	100,57	0,25	8,60	11,90	38,37	3,30
T4	4,08	4,18	2,45	41,97	44,91	7,01	100,16	100,50	0,34	8,70	11,90	36,78	3,20
T5	4,07	4,20	3,19	41,91	44,85	7,02	100,33	100,52	0,19	8,60	11,70	36,05	3,10
T6	4,07	4,19	2,95	42,05	44,75	6,42	100,12	100,43	0,31	8,40	11,70	39,29	3,30
<b>KA</b>	<b>4,07</b>	<b>4,18</b>	<b>2,83</b>	<b>41,96</b>	<b>44,84</b>	<b>6,86</b>	<b>100,23</b>	<b>100,49</b>	<b>0,26</b>	<b>8,58</b>	<b>11,85</b>	<b>38,07</b>	<b>3,27</b>

## Puolittain tangentin ja säteen suuntaisesti leikattu mänty

	Paksuus (mm)			Leveys (mm)			Pituus (mm)			paino (g)			H <sub>2</sub> O (g)
	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	Kuiva	Märkä	%	
1	4,10	4,36	6,34	41,99	43,50	3,60	100,27	100,45	0,18	9,20	12,60	36,96	3,40
2	4,13	4,42	7,02	42,02	43,47	3,45	100,33	100,75	0,42	9,10	12,60	38,46	3,50
3	4,14	4,43	7,00	42,02	43,42	3,33	100,05	100,51	0,46	9,10	12,50	37,36	3,40
4	4,14	4,42	6,76	42,01	43,48	3,50	100,25	100,52	0,27	8,90	12,30	38,20	3,40
<b>KA</b>	<b>4,13</b>	<b>4,41</b>	<b>6,78</b>	<b>42,01</b>	<b>43,47</b>	<b>3,47</b>	<b>100,23</b>	<b>100,56</b>	<b>0,33</b>	<b>9,08</b>	<b>12,50</b>	<b>37,75</b>	<b>3,43</b>

## Puumuovikomposiitin taivutuskoe, sivu 1



Standard protocol

27.08.2010

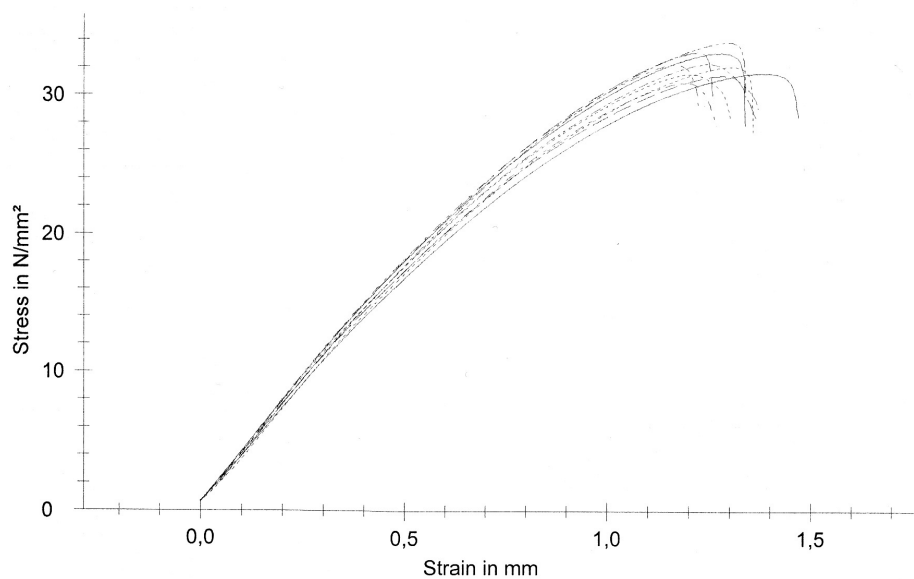
## Parameter table:

Customer : Karelia Ikkuna puukomposiitti  
 Tester : Pauli Poikonen  
 Test standard : ISO 178  
 Material :  
 Load cell : 200N  
 Extensometer (path):  
 Specimen holder :  
 Machine data : 2.5N1S WN:152541  
 Crosshead travel monitor WN:152541  
 Force sensor ID:0 WN:152543 200 N

## Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Lv mm	Fmax. N/mm <sup>2</sup>	E-Modulus GPa	ε Fmax. %
1	4,10	10,2	64	33,04	6,12	0,77
2	4,10	10,2	64	31,40	5,96	0,77
3	4,10	10,2	64	32,03	5,53	0,79
4	4,10	10,2	64	30,90	5,93	0,71
5	4,10	10,2	64	33,80	5,87	0,78
6	4,10	10,2	64	31,56	5,53	0,83
7	4,10	10,2	64	33,08	6,01	0,73
8	4,10	10,2	64	31,50	5,96	0,73
9	4,10	10,2	64	32,21	6,27	0,70
10	4,10	10,2	64	32,25	6,14	0,75

## Series graphics:



## Puumuovikomposiitin taivutuskoe, sivu 2



Standard protocol

27.08.2010

## Statistics:

Series n = 10	a0 mm	b0 mm	Lv mm	Fmax. N/mm <sup>2</sup>	E-Modulus GPa	ε Fmax. %
x	4,10	10,2	64	32,18	5,93	0,76
s	0,00	0,0	0	0,90	0,24	0,04
v	0,00	0,00	0,00	2,80	4,09	5,20

## Puumuovikomposiitin vetolujuuskoe

PKAMK liiketalouden ja  
tekniikan keskus, Muovitekniikka

koesauvat: vetokoe 5 mm/min

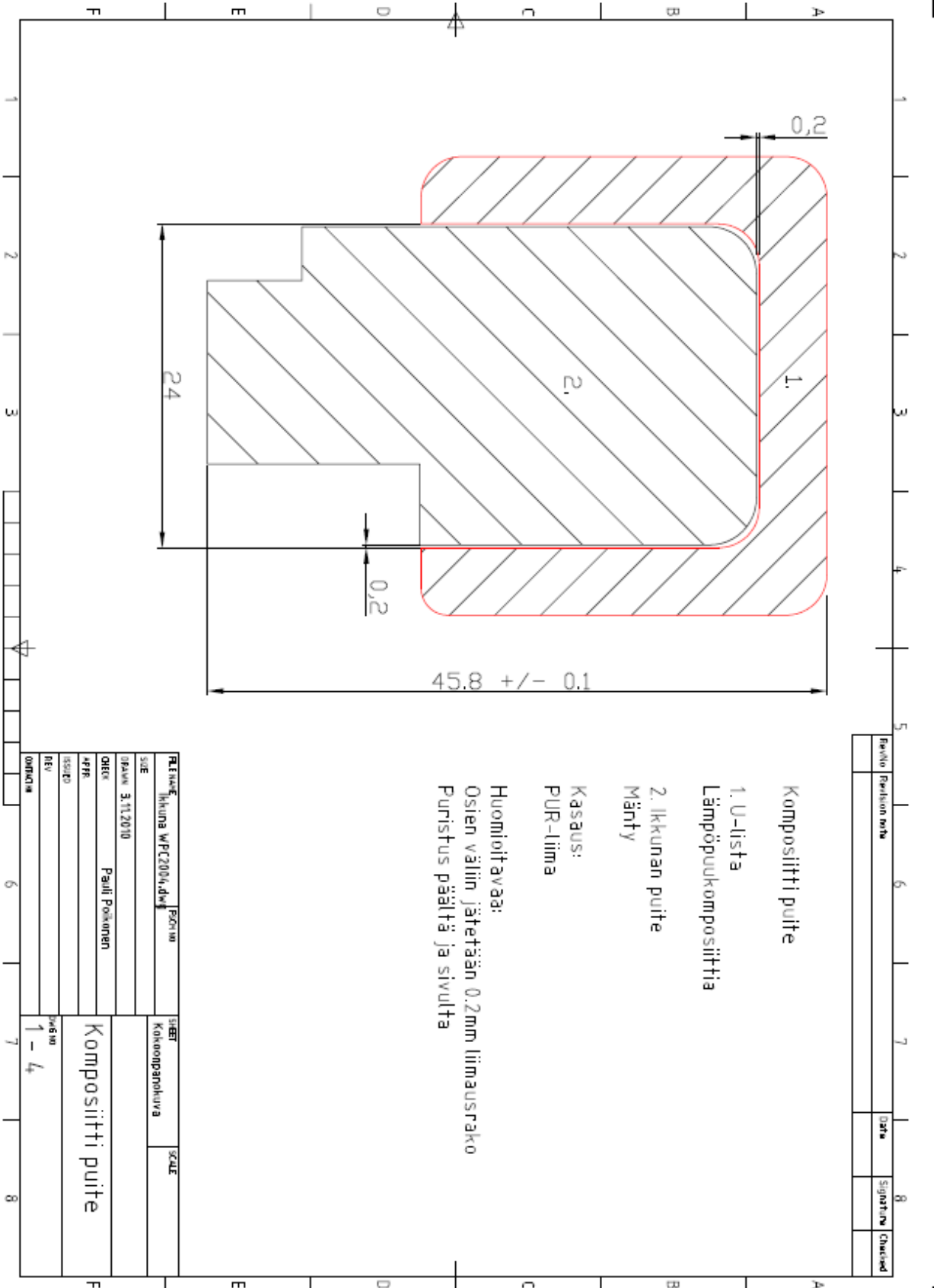
Test type:	Tensile	Instron Corporation
Operator name:	Pauli Poikonen	Series IX Automated Materials Testing System 8.25.00
Sample Identification:	PP_ikkuna	Test Date: 27. Augustta 2010
Interface Type:	TT	
Sample Rate (pts/secs):	10.0000	
Crosshead Speed:	5.0000 mm/min	Humidity ( % ):50
Second Speed:	0.0000 mm/min	Temperature: 23 C
Third Speed:	0.0000 mm/min	
Full Scale Load Range:	30.0000 kN	

Sample comments:

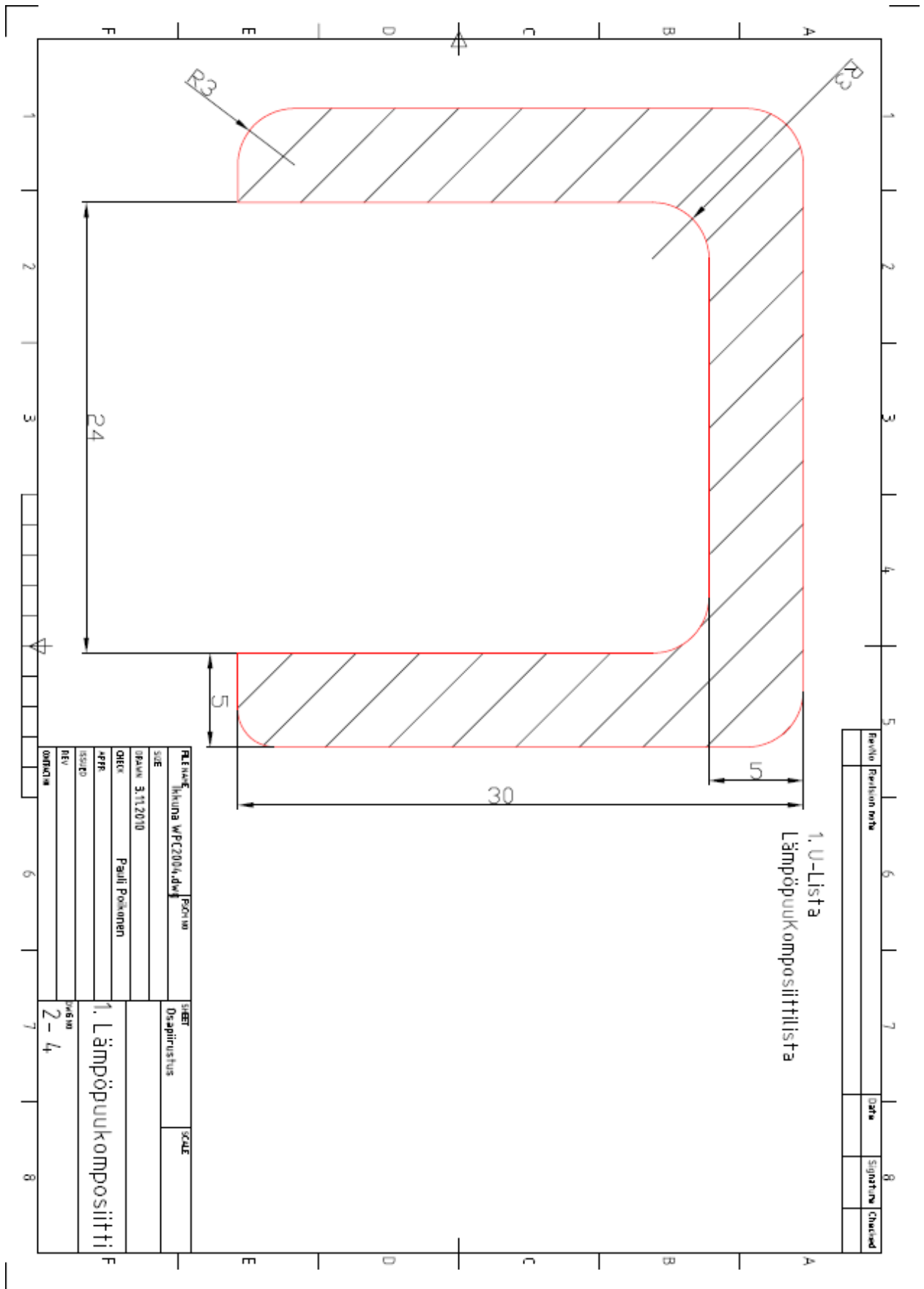
Raaka-aine:

	Stress at Max.Load (MPa)	Displement at Max.Load (mm)	Load at Max.Load (kN)	Width (mm)	Thickness (mm)
1	16.278	0.582	0.681	10.200	4.100
2	17.718	0.706	0.741	10.200	4.100
3	17.752	0.706	0.742	10.200	4.100
4	16.941	0.585	0.708	10.200	4.100
5	16.953	0.678	0.709	10.200	4.100
6	17.534	0.712	0.733	10.200	4.100
7	17.612	0.863	0.737	10.200	4.100
8	18.030	0.760	0.754	10.200	4.100
9	17.595	0.874	0.736	10.200	4.100
10	17.282	0.955	0.723	10.200	4.100
Mean	17.369	0.742	0.726	10.200	4.100
S.D.	0.516	0.123	0.022	0.000	0.000

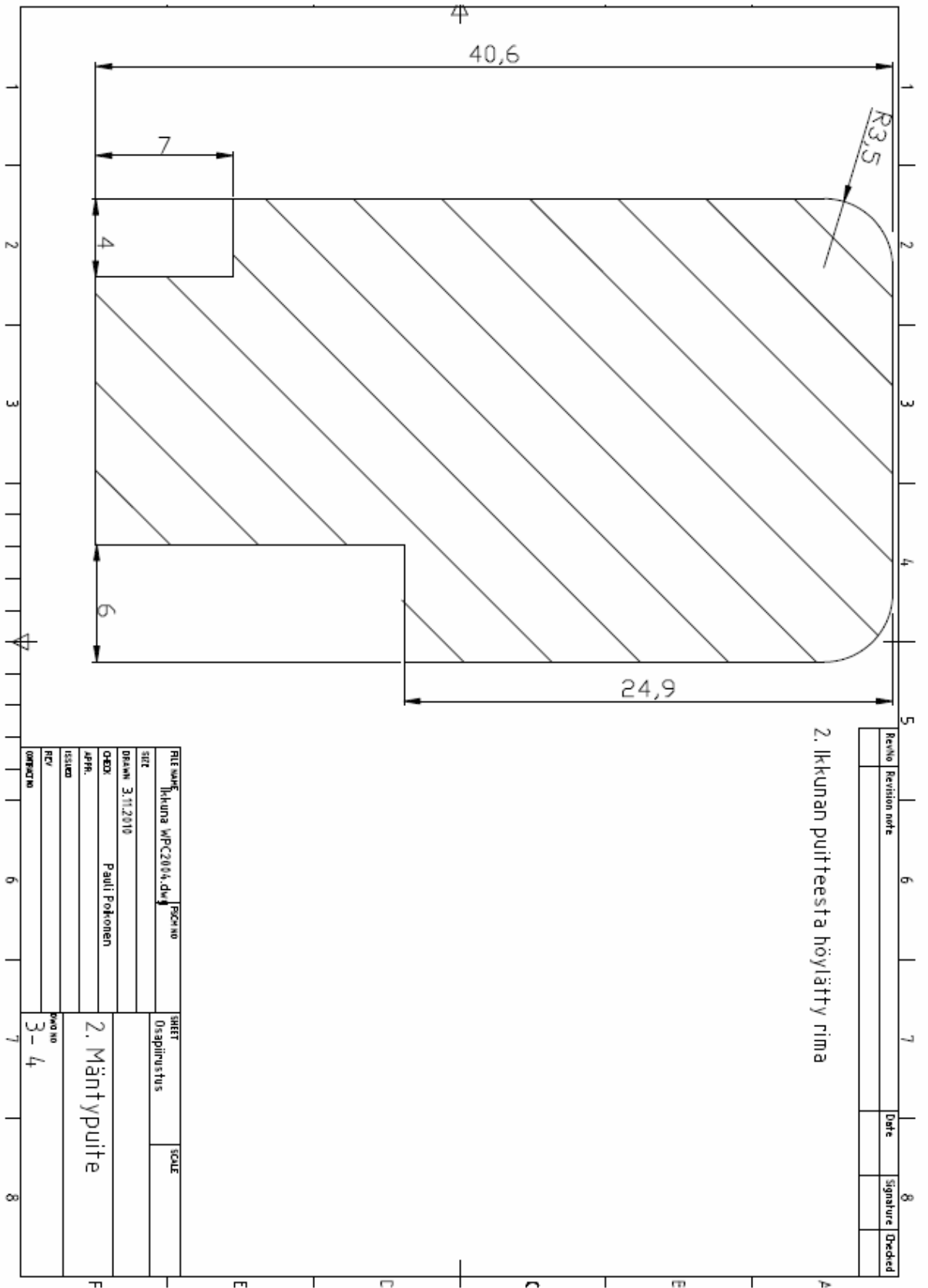
## Koposiittipuitteen kokoonpanokuva



Komposiittipuitteen osakuva 1



## Komposiittipuitteen osakuva 2





## Komposiittipuitteen työstökuva

