

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

LUT Kone

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

KAUPALLISTEN KOMPOSIITTITUOTTEIDEN MATERIAALIOMINAISUUKSIEN  
MÄÄRITYS JA VERTAILU

(Determination and comparison of commercial composite products' material properties)

Lappeenrannassa 10.10.2013

Juho Paajanen

0373840

## SISÄLLYS

### SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>5</b>
2.1	Puumuovikomposiitit .....	5
2.2	Tutkimuksia ja tuotteita .....	6
2.3	Tuotteet .....	9
2.4	Tuotteiden testausmenetelmät .....	11
2.4.1	Väripysyvyys- ja säänkestävyyskoe .....	12
2.4.2	Charpy –iskulujuuskoe .....	13
2.4.3	Veden absorptiokoe .....	14
2.5	Mittausten luotettavuus .....	15
<b>3</b>	<b>TULOKSET</b> .....	<b>17</b>
3.1	Charpy -iskulujuus .....	17
3.2	Väripysyvyys .....	18
3.3	Veden absorptio .....	21
<b>4</b>	<b>TULOSTEN TARKASTELU</b> .....	<b>24</b>
4.1	Veden absorptio .....	24
4.2	Väripysyvyys .....	25
4.3	Iskulujuus .....	26
4.4	Tutkimuksen luotettavuus .....	27
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>29</b>
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>31</b>

**SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

$a_{cU}$	Iskulujuus [ $kJ/m^2$ ]
$\Delta a$	Punavihervärimuutos [yksikötön luku]
$\Delta b$	Keltasinivärimuutos [yksikötön luku]
$\Delta E$	Kokonaisvärimuutos [yksikötön luku]
$\Delta L$	Vaaleudenmuutos [yksikötön luku]
HDPE	Suuritiheksinen polyeteeni
LDPE	Pienitiheksinen polyeteeni
PLA	Polylaktidi
PP	Polypropeeni
PVC	Polyvinylikloridi
WPC	Puumuovikomposiitti

## 1 JOHDANTO

Kiinnostus puumuovikomposiittituotteita kohtaan on lähtenyt jyrkkään nousuun 2000-luvulla. Erityisen kiinnostuneita niistä ollaan mm. öljyn hinnan nousun takia. Luonnonkuidut ovat uusiutuvia, kierrätettäviä ja helposti saatavilla, esimerkiksi sahajauhoa on helposti saatavilla suuria määriä. Suurin WPC -tuotteiden käyttökohde on terassirakentamisen tuotteet, joita tässä työssä tutkittiin. (Klyosov, 2007)

Tämän kandidaatintyön taustalla on viiden eri valmistajan WPC:sta valmistetut terassinrakennustuotteet, joiden materiaaliominaisuuksia tutkittiin ja verrattiin pääasiassa säänkestävyyden näkökulmasta. Mukana oli sekä Suomessa, että muualla maailmassa valmistettuja tuotteita. Väripysyvyys, vähäinen veden absorptio ja iskulujuus ovat terassinrakennustuotteelle tärkeitä ominaisuuksia, joita mittaamalla ja vertaamalla saadaan melko kattavat tulokset tuotteiden materiaaliominaisuuksista ja säänkestävyydestä. Väripysyvyyskokeen kesto rajattiin 500 tuntiin, koska hyvin usein merkittävin värinmuutos tuotteille tapahtuu ensimmäisen 100 - 400 tunnin aikana ja sen jälkeen pysyy lähes tasaisena. Samoin veden absorptio alkaa yleensä tasaantua 28 vuorokauden upotuksen jälkeen, joten tänä aikana saadaan luotettavat ja standardin mukaiset tulokset. (Klyosov, 2007)

Tavoitteena oli saada tutkittavana olevien tuotteiden Charpy -iskulujuudesta, väripysyvyydestä ja veden absorptiokyvystä luotettavat ja vertailukelpoiset tulokset, verrata niitä sekä keskenään, että muiden vastaavanlaisien tutkimuksien tuloksiin, ja pohtia materiaalikoostumusten vaikutusta ominaisuuksiin. Lisäksi mukana oli LUT:n valmistama referenssimateriaali, johon tuotteita verrattiin. Tuloksena saatiin vastaukset mm. seuraaviin kysymyksiin:

- Miten tuotteiden iskulujuudet muuttuvat ja millä on suurin iskulujuus?
- Mihin materiaaliin vesi aiheuttaa pienimmän turpoaman?
- Minkä tuotteen väri säilyy parhaiten UV-säteilylle altistettuna?
- Miten testatut tuotteet pärjäävät suhteessa muualla testattuihin tuotteisiin?
- Miten tuotteet pärjäävät suhteessa referenssimateriaaliin?

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2000-luvulla WPC -tuotteita on alettu tutkimaan enemmän ja enemmän, koska kiinnostus niitä kohtaan on ollut kasvussa. Varhaisimmat tutkimukset on aloitettu jo 1980-luvulla. USA:ssa WPC -tuotteiden markkina-arvo on jo suuri, mutta Suomessa markkinat ovat vasta kehittymässä, ja täten markkinoille tulevien tuotteiden tulee olla laadukkaita, jotta ne pystyvät kilpailemaan perinteisien puutuotteiden kanssa. Terassinrakennustuotteille säänkestävyys on tärkein ominaisuus, koska niiden käyttökohde on ulkoilmassa ja niiden halutaan kestävän kymmeniä vuosia.

### 2.1 Puumuovikomposiitit

WPC -tuote koostuu puukuidusta, muovista ja mahdollisista lisäaineista. Materiaaliominaisuudet vaihtelevat pääsääntöisesti käytetyn muovin ja puukuidun mukaan, mutta lisäaineiden avulla niitä voidaan muokata hyvinkin suurissa määrin. Yleisimmin käytettyjä muovilaatuja ovat polyeteeni (HDPE ja LDPE), polypropeeni (PP) ja polyvinyylidikloridi (PVC), lähinnä niiden alhaisten sulamispisteiden ja suhteellisen alhaisen hinnan ansiosta. WPC -tuotteiden valmistuksessa ei voida käyttää yli 200°C lämpötiloja, koska sitä korkeammassa lämpötiloissa puukuidut alkavat vaurioitua heikentäen valmiin tuotteen mekaanisia ominaisuuksia. Tässä työssä tutkituissa tuotteissa on käytetty edellä mainittuja muovilaatuja. Tuotteissa käytettävät puukuidut määräytyvät yleensä paikallisen kasvillisuuden mukaan, eli mitä on helposti ja edullisesti saatavilla. Esimerkiksi Suomessa valmistetuissa WPC -tuotteissa havupuukuitu on hyvin yleisesti käytettyä. (Klyosov, 2007)

Jokaisella muovilaadulla on erilaiset materiaaliominaisuudet. Veden imeytyminen on varsin alhaista kaikkiin edellä mainittuihin muoveihin, Klyosovin (2007) mukaan 24 tunnin aikana PVC absorboi vettä 0,1 %, kun taas LDPE ja HDPE absorboivat ainoastaan 0,01 % ja PP 0,008 %. PVC:n taivutuslujuus on suurin, vaihdellen välillä 41,4 – 110,3 MPa. PP:n taivutuslujuus vaihtelee välillä 41,4 – 48,3 MPa. LDPE on liian joustava materiaali murtakseen, kuten on myös HDPE, mutta välillä sille on saatu mitattua 9,7 MPa taivutuslujuus. Vaikka PE:n mekaaniset ominaisuudet ovat varsin heikot verrattuna muihin käytettyihin muoveihin, se on silti yleisimmin WPC -tuotteissa käytetty muovilaatu. PVC:n käyttöä

vähentää se, ettei se ole kovin ympäristöystävällinen materiaali sen sisältämän kloorin vuoksi. (Klyosov, 2007)

Yleisimmin WPC -tuotteissa käytettyjä puukuituja ovat puu- ja sahajauho, sekä selluloosakuidut. Yhdessä tutkituista tuotteista oli käytetty lämpökäsitellyn puun sahanpuruja. Istanbulin yliopistossa on tutkittu lämpökäsiteltyjen puukuitujen vaikutusta kuumapuristetuissa WPC -tuotteissa. Tutkimuksessa havaittiin, että mitä korkeammassa lämpötilassa puukuidut käsiteltiin, sitä vähemmän tuotteet absorboivat vettä ja turposivat. Sen sijaan mekaaniset ominaisuudet heikkenivät, murtolujuus 5 – 19 % ja kimmomoduuli 7 – 22 % riippuen käsittelylämpötilasta. (Ayrilmis et al., 2011)

Yleensä muovin ja puukuidun pinnan adheesio on riittämätön, joten sitä parantamaan käytetään kiinnitysaineita, kuten maleoitua PP:a. Nämä aineet kiinnittävät pinnat paremmin toisiinsa, ja se parantaa tuotteen mekaanisia ominaisuuksia. On myös todettu, että ne vähentävät tuotteen huokoisuutta, jolloin veden absorptiokyky pienenee. Samoin tuotteissa voidaan käyttää UV-suoja-aineita parantamaan värinpysyvyyttä. (Klyosov, 2007)

## 2.2 Tutkimuksia ja tuotteita

Kaupallisia WPC -tuotteita on tutkittu eniten USA:ssa, jossa WPC -markkinat ovat suuremmat kuin muualla maailmassa. Polymer Engineering Company on testannut useita eri kaupallisia puumuovikomposiittituotteita. He mm. testasivat USA:ssa vuonna 2003 14 eri valmistajan WPC -tuotteen veden absorptio- ja värinpysyvyysominaisuuksia. Kokeessa tuotteet absorboivat vettä 15 - 44 % alkupainoonsa nähden. Koe kesti useita kuukausia, mutta ensimmäisen kuukauden jälkeen absorptio oli enää hyvin vähäistä. Värimuutosmittauksissa havaittiin ainoastaan vähäistä tummumista tai vaalenemista 2000 tunnin UV-valolle ja säänkestävyyskokeelle altistamisen jälkeen. Värimuutosta kuvasi suure  $\Delta E$ , joka vaihteli tuotteilla 1,4 - 24,8 välillä. Tutkimuksessa oli mukana myös muutamia kokeellisia tuotteita, joille mitattiin 15 - 27 % veden absorptiot. (Gnatowski & Mah, 2003)

Sama yhtiö esitteli vuonna 2009 tutkimuksen, jossa WPC -laidat olivat ulkoilmassa kuuden vuoden ajan. Tuotteet olivat kaupallisia USA:ssa vuosina 2001 ja 2002 valmistettuja lautoja. Veden absorption arvioinnissa keskityttiin ajan, puukuidun osuuden, sään, puulajien, UV suoja-aineiden ja sinkkiboraatin vaikutuksiin. Havaittiin, että puukuidun määrä on

merkittävin tekijä veden absorptio-ominaisuuksissa. Kun puukuidun määrä kasvoi 50 %:sta 65 %:iin, tuotteen kosteuspitoisuus lähes kaksinkertaistui. Myös puulajilla on merkitystä. Tammipuukuitua sisältäneet tuotteet absorboivat 3 - 5 %-yksikköä vähemmän vettä kuin mäntypuukuitua sisältäneet tuotteet. Sama, joskaan ei niin suuri vaikutus oli sinkkiboraatilla. UV suoja-aineet sen sijaan nostivat veden absorptiokykyä. Sinkkiboraattia sisältäneet näytteet säilyttivät mekaaniset ominaisuutensa paremmin. (Gnatowski, 2009)

Puukuidun osuuden kasvattaminen vaikuttaa muihinkin mekaanisiin ominaisuuksiin kuin kimmomoduuliin. Suuremman määrän puukuitua sisältävät tuotteet omasivat suuremman taiputuslujuuden, mutta iskulujuus on heikompi. (Cui et al., 2007)

Puukuidun määrällä näytti olevan vaikutusta myös tuotteiden värinmuutokseen. Puujauhon osuuden kasvattaminen 50 %:sta 60 %:iin kaksinkertaisti L:n, eli valkoisuuden muutoksen. (Klyosov, 2007) Lisäksi kuitumateriaalilla oli merkitystä. Pinnan muuttumista tutkittiin kolmella eri tuoteella, joissa kaikissa käytettiin HDPE:ä, mutta kuitumateriaaleina oli käsittelemätön mäntypuukuitu, uuteaineeton puukuitu ja holoselluloosa. Näiden kolmen eri tuotteen pinnan värin muuttumista seurattiin 1200 tunnin ajan, kun ne altistettiin xenonkaapin keinotekoisille olosuhteille. Holoselluloosaa sisältänyt tuote muutti väriä vähiten, ja käsittelemätöntä mäntypuukuitua sisältänyt tuote muutti väriä eniten. Kaikki olivat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan,  $\Delta E$ :n ollessa noin 30. Valoisuuden muutos, eli  $\Delta L$ , oli kuitenkin selvästi pienempi holoselluloosaa sisältäneellä tuotteella, noin 30 %. Käsittelemätöntä mäntypuukuitua sisältäneen tuotteen  $\Delta L$  oli noin 44 % ja uuteaineetonta puukuitua sisältäneen noin 43 %. Havaittiin että harmaantuminen ja värinmuutos olivat vähäisempiä, kun kuitujen ligniinipitoisuus oli pienempi. (Fabiya et al., 2007)

Pinnan muuttumista tutkittiin myös vuonna 2008 Idahon yliopistossa. Tutkimuksen kohteena oli kaksi lähes samanlaista WPC -tuotetta, joista toinen sisälsi HDPE:ä 31 %, puukuitua 58 %, talkkia 8 % ja sinkkistearaattia 2 %. Toinen tuote sisälsi PP:a 33,8 %, puukuitua 58,9 %, 4 % talkkia ja 2,3 % maleoitua PP:a. Tutkimuksessa havaittiin, että PP:a sisältänyt tuote muutti väriä enemmän kuin HDPE:ä sisältänyt lähes samanlainen tuote. 500 tunnin xenonkaapissa olon jälkeen PP:a sisältäneen tuotteen  $\Delta E$  oli 30 ja HDPE:ä sisältäneen tuotteen  $\Delta E$  oli 25. (Fabiya et al., 2008)

Samassa tutkimuksessa mitattiin tuotteen pinnan puupitoisuutta, joka laski molemmilla tuotteilla ensimmäisen 500 tunnin aikana 58 %:sta 25 %:iin. 2000 tunnin xenonkaapissa olon jälkeen puupitoisuus oli enää 20 %. (Fabiyyi et al., 2008)

USA:ssa valmistettujen kaupallisten WPC -tuotteiden veden absorptiota tutkittiin vuosina 2004 ja 2005 American Architectural Manufacturers Associationin toimesta. Kaikilta koekappaleilta mitattiin suhteellinen absorptio 7 vuorokauden upotuksen jälkeen. Kuuden tuotteen absorptiot olivat 4,1 – 13,9 %. (Klyosov, 2007)

Klyosov (2007) tutki 16 amerikkalaisen tuotteen veden absorptiota yhden ja seitsemän vuorokauden upotuksen jälkeen. Vuorokauden jälkeen vaihteluväli oli 0,7 – 1,9 %, joskin suurin osa tuotteista oli absorboinut yli 1,0 %. Yksi ruiskupuristettu tuote absorboi ainoastaan 0,3 %. 7 vuorokauden jälkeen vaihteluväli oli 1,7 – 4,8 %, pois lukien sama ruiskupuristettu tuote, joka oli absorboinut 1,0 %. Samalla verrattiin näitä arvoja painekyllästettyyn puuhun, jolle mitattiin 24 % ja 36 % absorptiot. (Klyosov, 2007)

Eräiden amerikkalaisten tuotteiden värinpysyvyyttä tutkittiin 1000 tunnin säänkestävyys-simuloinnilla. 36 tuotteen  $\Delta L$ :n arvot vaihtelivat 0,4 ja 35 välillä. Kaikki, paitsi yksi tuote haalistuivat alle 24 yksikköä. Tutkimuksessa jälleen todettiin ligniinipitoisuuden vaikutus värinpysyvyyteen, sillä vähiten haalistunut tuote sisälsi erittäin vähän ligniiniä. Sen sijaan muovilaadulla ei näyttänyt olevan niin suurta vaikutusta, kuin koekappaleen värillä. Kaksi koostumukseltaan samanlaista, mutta väriltään erilaista tuotetta haalistuivat hyvin eri tavoin. Harmaa lauta haalistui 4,6 yksikköä, kun ruskea haalistui jopa 7,4. Värinmuutoksen voitiin katsoa johtuvan pääasiassa pigmenttien määrästä. (Klyosov, 2007)

Eräässä Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa mitattiin mm. iskulujuutta kokeellisilta ja eräältä kaupalliselta tuotteelta. Kokeelliset tuotteet sisälsivät PLA:a ja 50 % puukuitua. Kaupallinen tuote sisälsi 70 % pehmeää puukuitua ja PP:a, ja sen iskulujuudeksi mitattiin  $7,6 \text{ kJ/m}^2$ . Kokeellisista tuotteista käsittelemätöntä puukuitua sisältäneen iskulujuus oli  $8,3 \text{ kJ/m}^2$ . Furfuroidulla alkoholilla käsiteltyä puukuitua sisältäneelle tuotteelle mitattiin iskulujuudeksi  $5,2 \text{ kJ/m}^2$ . (Westin et al., 2008)



Nykyajan trendinä on käyttää WPC -tuotteiden valmistuksessa kierrätysmateriaaleja uusien materiaalien sijaan. Tällöin saadaan hyödynnettyä esimerkiksi puutuoteteollisuuden sivutuotteita. Myös kierrätysmuovien käyttäminen on mahdollista, kun käytetään kestumuoveja kertamuovien sijaan. Täten WPC -tuotteesta itsestään tulee myös kierrätettävä. Kierrätysmateriaalien käyttäminen ei kuitenkaan heikennä niiden laatua. Vuonna 2006 Iranissa Noorin yliopistossa tutkittiin sahanpurusta ja kierrätetyistä HDPE:stä ja PP:stä valmistettujen komposiittien mekaanisia ominaisuuksia, ja todettu, että materiaaliominaisuudet pysyvät hyvin samoina kuin käyttämällä uutta muovia. Samassa tutkimuksessa myös havaittiin, että tuotteilla, joissa oli käytetty HDPE:ä, omasivat korkeamman iskulujuuden vaikka muut lujuusarvot olivat heikommät kuin tuotteissa, joissa oli käytetty PP:a. (Kazemi Najafi et al., 2006) Kierrätetyllä muovilla ei näyttänyt olevan vaikutusta myöskään tuotteiden värin haalistumiseen (Klyosov, 2007).

### 2.3 Tuotteet

Tutkittiin viiden eri kaupallisen WPC -tuotteen materiaaliominaisuuksia, joita mitattiin kolmella eri kokeella. Tutkittavat tuotteet valittiin sattumanvaraisesti saatavuuden perusteella. Niiden värivalikoimasta kuitenkin valittiin mahdollisimman tummia sävyjä, jotta värinmuutos tulisi säänkestävyyskokeessa parhaiten esille. Tuotteiden valmistajilta selvitettiin tietoa niiden koostumuksista, sekä vertailuarvoja heidän omista kokeistaan.

Tuote A on valmistettu polyeteenistä, sekä puu- ja bambujauhosta. Se on valmistettu kokonaan kierrätetyistä materiaaleista ja sisältää muovia 50 % ja puuta 50 %. Taulukossa 1 on esitetty tuotteelle A ilmoitetut materiaaliominaisuudet.

**Taulukko 1.** Tuotteelle A ilmoitetut materiaaliominaisuudet.

Värinmuutos	ASTM D 7032 [2000 h]	$\Delta E = 4,6$
Veden absorptio	ASTM D 1037	0,91 %
Paksuuden turpoama	ASTM D 1037	0,24 %

Tuote B on valmistettu polypropeenista ja lämpökäsitellyn puun sahanpuruista. Puun osuus tuotteesta on 65 %. 60 % tuotteeseen käytetyistä materiaaleista on uusiomateriaaleja. Val-

mistaja ilmoitti seuraavat taulukon 2 mukaiset arvot tuotteen B materiaaliominaisuuksille, ja värinmuutos vuoden ulkoilmassa olon jälkeen on esitetty kuvassa 1.

**Taulukko 2.** Tuotteelle B ilmoitetut materiaaliominaisuudet.

Veden absorptio	SFS-EN 317 [24h]	< 1,5 %
Paksuuden turpoama	SFS-EN 317 [24h]	< 0,5 %



**Kuva 1.** Tuotteen B pinta uutena ja vuoden käytön jälkeen.

Tuotteen C materiaali on kierrätettyä HDPE muovia ja vehnän korsista valmistettua selluloosakuitua. Tuotteen C värin muutos 2500 tunnin säänkestävyyskokeen jälkeen on esitetty kuvassa 2, ja materiaaliominaisuudet taulukossa 3.



**Kuva 2.** Tuotteen C värinmuutos 2500 tunnin säänkestävyyskokeen jälkeen.

**Taulukko 3.** Tuotteelle C ilmoitetut materiaaliominaisuudet.

Värinmuutos	ASTM D-4329	11,54 dE
Iskulujuus	ASTM D 256-93A	1,4 Ft-lb./in. [53,4 J/m]
Veden absorptio	ASTM D 570-98 [24h]	< 2,2 %

Tuote D on valmistettu polyvinyylikloridista eli PVC:stä ja mäntypuukuidusta. Valmistaja ilmoitti tuotteelle D taulukon 4 mukaiset ominaisuudet.

**Taulukko 4.** Tuotteelle D ilmoitetut materiaaliominaisuudet.

Värimuutos	ISO 4892-2 [300 h WOM]	< 20 dE
Iskulujuus	ISO 179-1 fU	>5 kJ/m <sup>2</sup>
Iskulujuuden muutos	ISO 4892-2 [300 h WOM]	< 20 %
Veden absorptio	EN 317 [28vrk]	< 8 %
Paksuuden turpoama	EN 317 [28vrk]	< 4 %

Tuote E on valmistettu polypropeenista ja selluloosaperäisistä kuiduista. Kierrätysmateriaalien osuus on yli 50 %. Valmistajan mukaan väripysyvyys on hyvä ja haalistumista tapahtuu vain hieman. Muut valmistajan ilmoittamat materiaaliominaisuudet on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5.** Tuotteelle E ilmoitetut materiaaliominaisuudet.

Iskulujuus	EN 477	>15 J (ei murtunut)
Veden absorptio	EN 317 [24h]	< 2,5 %
Paksuuden turpoama	EN 317 [24h]	< 1 %

Referenssimateriaalina oli R 262, joka sisälsi 65 % puukuitua, 30 % PP:a ja 5 % kiinnitys- ja voiteluaineita. Sen materiaaliominaisuudet on esitetty myöhemmin kappaleessa 3, tulokset.

#### 2.4 Tuotteiden testausmenetelmät

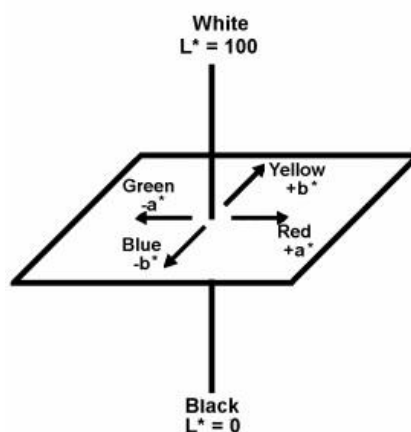
Tutkittiin ja verrattiin viiden eri komposiittituotteen materiaaliominaisuuksia. Testattavat tuotteet olivat kaupasta ostettavissa ja täten kaikkien saatavilla. Niistä valmistettiin tarvittava määrä mallikappaleita, joille suoritettiin seuraavat kokeet mittauksineen:

- Säänkestävyyden tutkiminen (Resistance to artificial weathering) SFS-EN ISO 4892-1 ja SFS-EN ISO 4892-2 mukaan
- Charpy iskulujuuden määrittäminen (Charpy impact strength) SFS-EN ISO 179-1 mukaan
- Turpoaman sekä veden absorption tutkiminen (Swelling and water absorption) SFS-EN 317 mukaan.

### 2.4.1 Väripysyvyys- ja säänkestävyyskoe

Väripysyvyys- ja säänkestävyyskokeeseen leikattiin 300 x 110 x 4mm kokoiset koekappaleet kunkin tuotteen kannesta. Kappaleet asetettiin xenonkaappiin 500 tunnin ajaksi, jossa vallitsi 60°C lämpötila ja 65 % suhteellinen ilmankosteus. Kappaleiden pinnalle ruiskutettiin vettä sykleittäin: kahden tunnin syklistä oli 102 minuutin kuiva osuus, jonka jälkeen ruiskutettiin vettä 18 minuuttia. Kaiken kaikkiaan syklejä tuli 250 kappaletta. Tällä simuloitiin ulkoilman ja sään vaikutusta tuotteisiin. (SFS-EN ISO 4892-2)

Koekappaleiden pinnan värin muuttumista seurattiin värimittarilla. Mittari käytti CIELAB -väriskaalaa. Se mittasi kolmea eri arvoa, L, a ja b, joista L kuvaa valkoisuutta, a punaviherhasapainoa ja b sinikeltatasapainoa. L:n arvo voi vaihdella välillä 0-100, jossa lukuarvo 0 kuvasi täysin mustaa ja 100 täysin valkoista. Parametreilla a ja b ei ole varsinaisia rajoja, positiivinen a:n arvo kuvaa punaista ja negatiivinen vihreää, kun taas positiivinen b:n arvo kuvaa keltaista ja negatiivinen sinistä. CIELAB -väriskaalan periaate on esitetty kuvassa 3. (CIE L\*a\*b\* Color Scale, 2008)



**Kuva 3.** CIELAB -väriskaala (CIE L\*a\*b\* Color Scale, 2008).

Kappaleiden värinmuutos laskettiin kaavan 1 avulla,

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

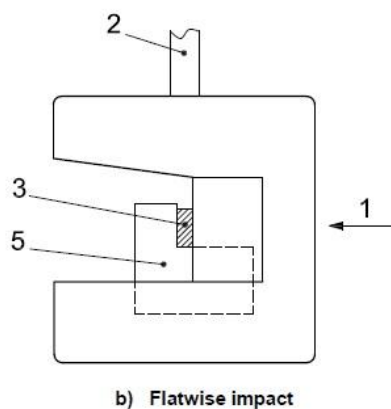
jossa on otettu huomioon jokaisen parametrin muutos alkutilanteesta.

(CIE L\*a\*b\* Color Scale, 2008)

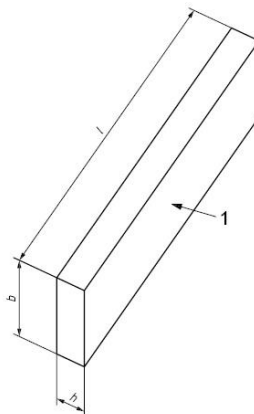
Ennen xenonkaappiin asettamista kunkin kappaleen pinnasta otettiin värimittaus kolmesta kohdasta ja paikat merkattiin, jotta värimittaus otettiin aina samasta kohti. Mittaus uusittiin 100 tunnin välein aina 500 tuntiin asti. Kokeen loputtua kappaleet otettiin pois kaapista, ja niistä valmistettiin koekappaleet toista Charpy –iskulujuuskoetta varten.

#### 2.4.2 Charpy –iskulujuuskoe

Iskulujuuden määrittämistä varten valmistettiin kustakin tuotteesta 20 kpl 80 x 10 x 4 mm suuruisia koekappaleita. Koekappaleet valmistettiin siten, että leikattiin palat kunkin tuotteen kannesta, 80 mm pituisen sivun ollessa samansuuntainen alkuperäisen tuotteen pituussuunnan, eli ekstruudaussuunnan kanssa. Lisäksi kunkin tuotteen säänkestävyyskoekappaleesta valmistettiin toiset 20 Charpy -koekappaletta uutta iskulujuuden mittausta varten. Nämä kappaleet valmistettiin sen jälkeen, kun säänkestävyyskoe ja värimittaukset olivat valmiit. Mittaukset suoritettiin 22 °C lämpötilassa. Tasaannutusta 23 °C lämpötilassa ja 50 % suhteellisessa ilmankosteudessa ei suoritettu. Kappaleet asetettiin iskulaitteeseen siten, että 4 mm sivu oli heiluriliikkeen kanssa samansuuntaisesti, kuten kuvissa 4 ja 5 on esitetty. (SFS-EN ISO 179-1)



**Kuva 4.** Kappaleen asetustapa iskulaitteeseen. Numero 1 kuvaa iskusuuntaa ja numero 3 koekappaletta. (SFS-EN ISO 179-1)



**Kuva 5.** Charpy -koekappale. Numero 1 kuvaa iskusuuntaa. (SFS-EN ISO 179-1)

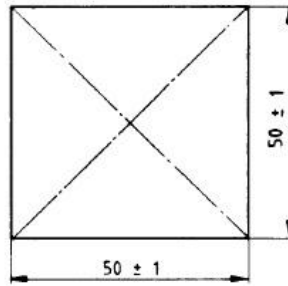
Iskulujuus määritettiin jokaiselle kappaleelle ensin säänkestokokeelle altistamattomana ja 500 tunnin altistuksen jälkeen. Mitattiin heilurin liike-energia, ja laskettiin iskulujuus sen ja kappaleen dimensioiden perusteella, kaavan 2 mukaisesti,

$$a_{cU} = \frac{E_c}{h*b} * 10^3 \quad (2)$$

jossa  $E_c$  on heilurin liike-energia Jouleina,  $h$  on kappaleen paksuus millimetreinä, ja  $b$  on kappaleen leveys millimetreinä. (SFS-EN ISO 179-1)

#### 2.4.3 Veden absorptiokoe

Veden absorptiomittausta varten valmistettiin jokaisesta tuotteesta 20 kpl 50 x 50 mm kookoisia, kuvan 6 mukaisia koekappaleita. Paksuussuunnassa kappaleita ei työstetty, joten kappaleiden paksuudeksi jäi tuotteen profiilin paksuus. Tasaannutusta 20 °C lämpötilassa ja 65 % suhteellisessa ilmankosteudessa ei kappaleille suoritettu, vaan ne olivat laboratoriossa, jonka lämpötila oli 21 °C ja suhteellinen ilmankosteus 30 %. Kappaleista mitattiin niiden massa 0,01 g tarkkuudella, sekä paksuus 0,01 mm tarkkuudella. (SFS EN 317)



**Kuva 6.** Malli veden absorptiomittauksen koekappaleesta. Dimensiot millimetreinä. (SFS EN 317)

Mittaukset suoritettiin ensin kuivana, jonka jälkeen ne asetettiin altaisiin 21°C veteen upoksiin siten, että vesi pääsi ympäröimään ne joka puolelta. Vettä oli kappaleiden pinnan yläpuolella vähintään 25 mm. Mittaukset uusittiin 24 tunnin, sekä 7, 14 ja 28 vuorokauden jälkeen. Ennen mittauksia kappaleiden pinnoista pyyhittiin ylimääräinen vesi pois, jotta se ei päässyt vaikuttamaan tulokseen. (SFS EN 317)

Jokaisen mittauksen jälkeen laskettiin kappaleen suhteellinen turpoama kaavan 3 mukaisesti, ja absorboituneen veden osuus alkuperäisestä massasta kaavan 4 mukaisesti. Kappaleiden suhteellisista turpoamista ja massan kasvusta laskettiin keskiarvot, joita käytettiin tuotteen vertailuarvoina. (SFS EN 317)

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100 \% \quad (3)$$

jossa  $t_2$  on kappaleen paksuus tai leveys upotuksen jälkeen ja  $t_1$  on kappaleen alkuperäinen paksuus tai leveys (SFS EN 317).

$$M_t = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \% \quad (4)$$

jossa  $m_2$  on kappaleen massa upotuksen jälkeen ja  $m_1$  on kappaleen alkuperäinen massa.

## 2.5 Mittausten luotettavuus

Upotuskappaleiden dimensioiden mittaukset suoritettiin käsin mikrometrillä, jonka tarkkuus oli 0,01 millimetriä. Jokainen mittaus otettiin keskeltä kappaletta samasta kohtaa joka kerta, ja mikrometrin leuat puristettiin kappaleeseen mahdollisimman identtisellä voimalla.

Puristusvoimaa ei kuitenkaan voitu mitata, joten sadasosamillien heittoa voi esiintyä. Lisäksi on mahdollista, mutta epätodennäköistä, että mittauskohtaan on kappaletta valmistessa jäänyt lastu, joka on sitten irronnut altaassa ollessa ja vaikuttanut tuloksiin. Uputuskappaleiden massaa mitatessa ylimääräinen vesi poistettiin kappaleen pinnasta, mutta on mahdollista, että sitä on jäänyt pieniä määriä jäljelle. Täten sadasosagrammojen suuruisia mittausvirheitä on voinut syntyä.



### 3 TULOKSET

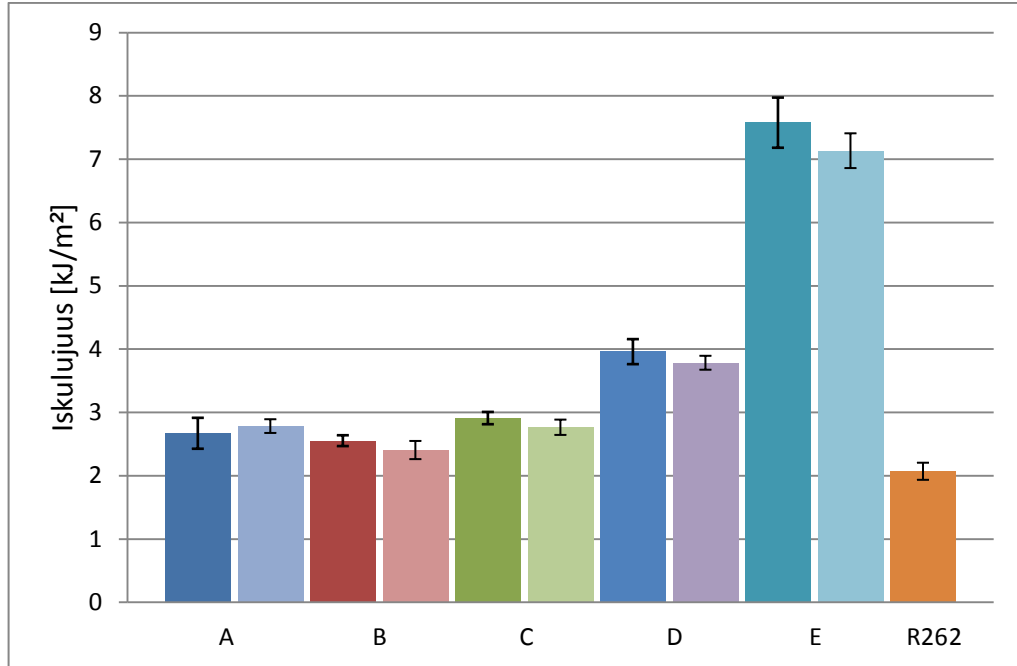
Tuotteista valmistetuille koekappaleille suoritettiin kappaleen 2 mukaiset kokeet ja mittaukset, joiden tulokset on esitetty tässä kappaleessa.

#### 3.1 Charpy -iskulujuus

Taulukosta 6 ja kuvasta 7 nähdään, että tuotteella E oli selvästi suurin iskulujuus muihin verrattuna, mutta myös hajonta oli suurinta. Toiseksi suurin iskulujuus oli tuotteella D, jonka iskulujuus oli hieman yli puolet tuotteen E iskulujuudesta. Tuotteiden A, B ja C välillä oli vain pieniä eroja, mutta kolmanneksi parhaan tuloksen sai tuote C, neljänneksi tuote A, ja pienin iskulujuuden arvo mitattiin tuotteelle B. Säänkestokokeen jälkeen mitattiin uudet iskulujuuden arvot. Tuotteen A iskulujuus kasvoi 4,1 %, ja kaikkien muiden tuotteiden laskivat 4,5 – 5,9 % verrattuna ensimmäisiin mittaustuloksiin. Tuotteen A hajonta oli suurta ensimmäisillä koekappaleilla. Säänkestokokeen jälkeiset iskulujuudet ovat nähtävissä taulukosta 6 ja kuvasta 7.

**Taulukko 6.** Koekappaleiden Charpy – iskulujuus uutena, sekä säänkestokokeelle altistuksen jälkeen.

Tuote	Iskulujuus uutena [ $kJ/m^2$ ]	Iskulujuus säänkestokokeen jälkeen [ $kJ/m^2$ ]	Suhteellinen muutos
A	2,67	2,78	4,1 %
B	2,55	2,41	-5,5 %
C	2,91	2,76	-5,2 %
D	3,96	3,78	-4,5 %
E	7,58	7,13	-5,9 %
R262	2,07	Ei mitattu	Ei mitattu



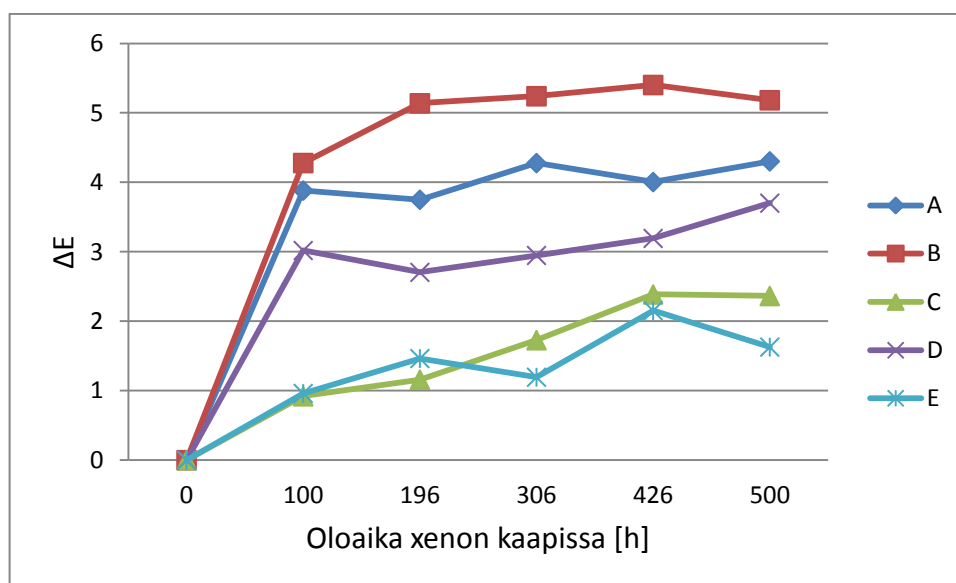
**Kuva 7.** Koekappaleiden keskimääräiset iskulujuudet ja niiden keskihajonnat ennen säänkestokoetta ja sen jälkeen.

### 3.2 Väripysyvyys

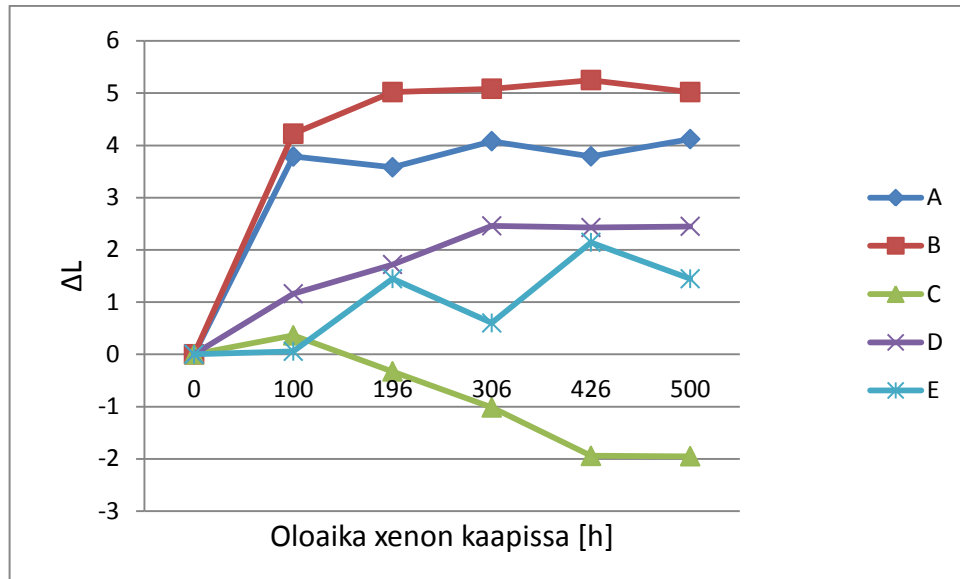
Ensimmäiset värimittaukset otettiin ennen kuin koekappaleet asetettiin xenonkaappiin säänkestävyyskokeeseen. Tämän jälkeen mittaukset suoritettiin 100, 196, 306, 426 ja 500 tunnin xenonkaapissa olon jälkeen. Taulukossa 7 ja kuvassa 8 on esitetty värimuutostulokset. Niistä havaitaan, että pienin värimuutos oli tuotteella E ja toiseksi pienin tuotteella C. Näiden kahden tuotteen värimuutos oli hyvin lähelle samaa suuruusluokkaa lähes koko kokeen ajan, mutta viimeisessä mittauksessa tuote E erottui hieman paremmaksi. Tuotteen B väri muuttui sen sijaan eniten. Kaikkien tuotteiden värit muuttuivat eniten ensimmäisen 100 tunnin aikana, jonka jälkeen muutos hiipui ja tasoittui viimeistään viimeisellä mittausvälillä. Tuotteen E pinnan värityys oli epätasainen, joten mittauksissa esiintyi vaihtelua. Tuotteiden A ja D kokonaisvärimuutos oli mittausten keskitasoa.

**Taulukko 7.** Koekappaleiden keskimääräinen värinmuutos  $\Delta E$ .

Tuote \ Aika	100h	196h	306h	426h	500h
A	3,88	3,75	4,28	4,00	4,30
B	4,28	5,14	5,24	5,40	5,18
C	0,92	1,16	1,73	2,39	2,36
D	3,02	2,70	2,95	3,19	3,70
E	0,96	1,46	1,19	2,15	1,63
R262	6,95 (50 h)	26,16 (205 h)	31,75 (366 h)	32,49 (455 h)	33,09 (600 h)

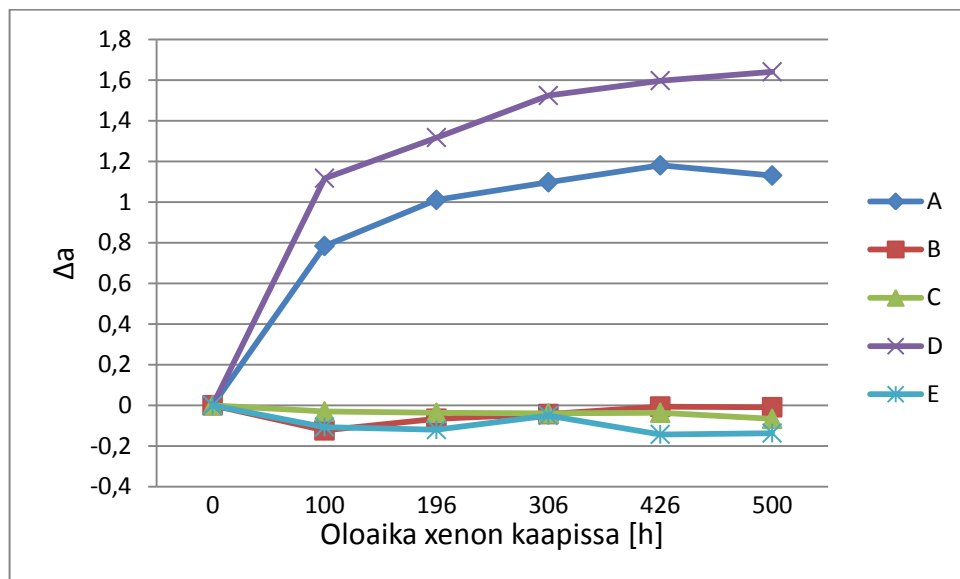
**Kuva 8.** Koekappaleiden keskimääräinen värinmuutos  $\Delta E$ .

Valoisuuden muutos, eli  $\Delta L$  noudatti hyvin pitkälti kokonaisvärinmuutoksen käyriä. Ku-  
vasta 9 nähdään, että tuote B haalistui eniten ja A toiseksi eniten. Tuote C vaaleni ensim-  
mäisen 100 tunnin aikana kuten kaikki muutkin tuotteet, mutta sen jälkeen se alkoi tum-  
mua. Lopputuloksena 500 tunnin jälkeen se oli tummunut kahden yksikön verran.



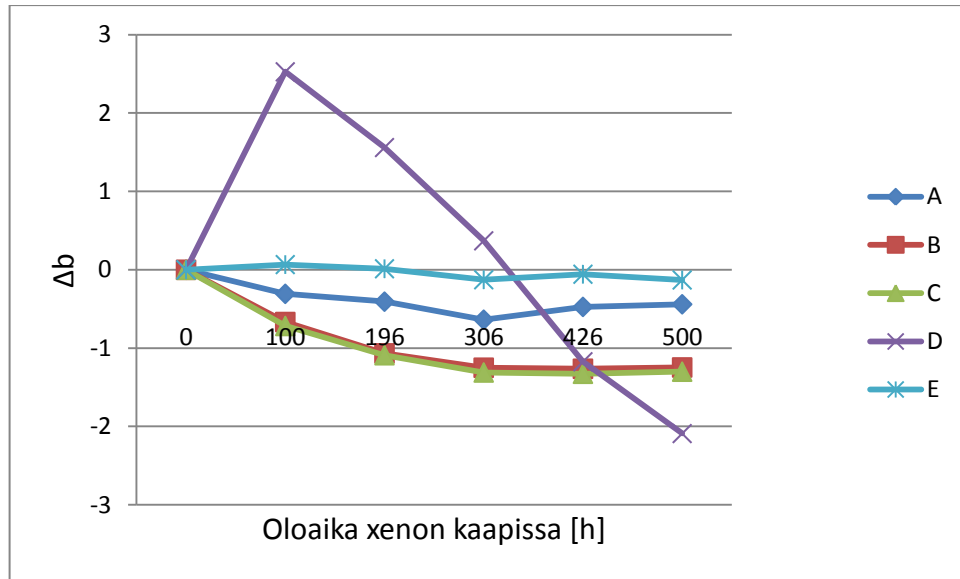
**Kuva 9.** L:n muutos ajan funktiona.

Kuvasta 10 nähdään, että tuotteiden A ja D a-arvo, eli punavihertasapaino muuttui positiiviseen suuntaan, eli punaisemmaksi. Muiden tuotteiden osalta a-arvo säilyi hyvin samana.



**Kuva 10.** Punavihertasapainon muutos koekappaleissa.

Kuvasta 11 nähdään, että keltasinitapasaino pysyy tuotteessa E lähes samana. Kaikilla tuotteilla sävy muuttui negatiiviseen suuntaan, eli sinisemmäksi. Myös tuotteen A b-arvo säilyi hyvin. Mittauksen ainut poikkeus oli tuote D, joka muuttui keltaisemmaksi ensimmäisen sadan tunnin mittausjaksolla, mutta sen jälkeen sävy muuttui sinisemmän suuntaan.



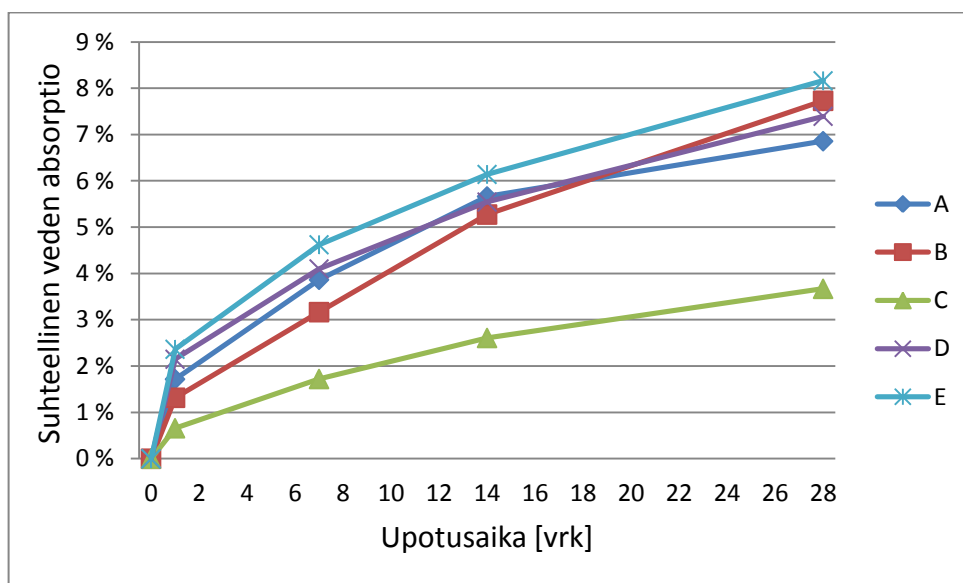
**Kuva 11.** Keltasinitasapainon muutos koekappaleissa.

### 3.3 Veden absorptio

Jokaisen koekappaleen massa mitattiin ennen upotusta, sekä yhden, seitsemän, 14 ja 28 vuorokauden jälkeen, ja laskettiin kuinka paljon vettä ne ovat absorboineet alkutilaan nähden. Näistä tuloksista laskettiin kunkin tuotteen veden absorptiolle keskiarvo, jotka ovat esitetty taulukossa 8 ja kuvassa 12. Näistä havaitaan, että tuote C absorboi vettä vähiten, ainoastaan 3,67 % 28 vuorokauden aikana, mikä on alle puolet minkä tahansa muun tuotteen absorptiosta. Sen profiili oli kuitenkin umpinainen, joten vettä absorboivaa pintaa oli vähemmän kuin muilla. Vastaavasti tuote E absorboi eniten, 8,16 %, mikä ei ole paljoa enemmän kuin tuotteilla A, B ja D. Kaikissa koekappaleissa muutos oli suurinta ensimmäisen vuorokauden aikana, ja tasoittui kohti kokeen loppua.

**Taulukko 8.** Koekappaleiden suhteellinen veden absorptio.

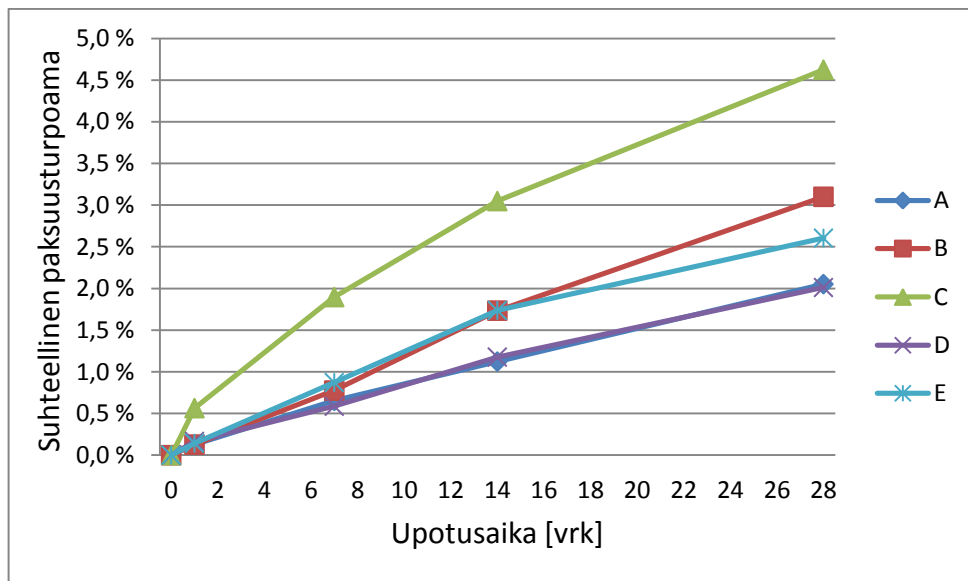
Tuote	24h	7vrk	14vrk	28vrk
A	1,72 %	3,87 %	5,66 %	6,86 %
B	1,32 %	3,17 %	5,27 %	7,73 %
C	0,66 %	1,72 %	2,61 %	3,67 %
D	2,15 %	4,10 %	5,54 %	7,40 %
E	2,36 %	4,62 %	6,14 %	8,16 %
R262	3,35 %	9,13 %	14,86 %	19,18 %

**Kuva 12.** Koekappaleiden suhteellinen veden absorptio.

Jokaisen koekappaleen paksuutta seurattiin samoin aikaväleihin kuin massaa. Myös näistä tuloksista laskettiin suhteellinen paksuuden turpoama ja niiden keskiarvot, jotka on esitetty taulukossa 9 ja kuvassa 13, joista nähdään, että tuotteen C paksuusturpoama on selvästi suurempi kuin muilla tuotteilla koko mittausjakson ajan, 4,63 % 28 vuorokauden jälkeen. Kaikki muut tuotteet turposivat hyvin tasaisesti vielä 7 vuorokauden asti, mutta sen jälkeen tuotteiden A ja D turpoaminen hidastui tuotteisiin B ja E nähden, jääden hieman yli 2 %:iin 28 vuorokauden jälkeen. Tuotteet B ja E olivat tasoissa vielä 14 vuorokauden upotuksen jälkeen, mutta sen jälkeen tuotteen E turpoaminen hidastui jääden 2,60 %:iin ja tuote B oli turvonut 3,10 % mittauksen lopussa.

**Taulukko 9.** Koekappaleiden suhteellinen paksuusturpoama.

Tuote	24h	7vrk	14vrk	28vrk
A	0,13 %	0,65 %	1,12 %	2,05 %
B	0,13 %	0,78 %	1,73 %	3,10 %
C	0,56 %	1,90 %	3,05 %	4,63 %
D	0,17 %	0,59 %	1,18 %	2,01 %
E	0,14 %	0,87 %	1,74 %	2,60 %
R262	0,69 %	2,48 %	4,51 %	6,93 %

**Kuva 13.** Koekappaleiden suhteellinen paksuusturpoama.

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä kappaleessa on tarkasteltu mittaustuloksia ja verrattu niitä muualla tutkittuihin tuotteisiin, sekä arvioitu materiaalikoostumuksen vaikutuksia materiaaliominaisuuksiin.

### 4.1 Veden absorptio

Veden absorptiokokeessa tuote C absorboi vettä selvästi vähemmän kuin muut tuotteet. Tuotteiden muovilaaduilla ei niinkään ole vaikutusta veden absorptioon, sillä PVC:lla, joka absorboi eniten vettä, suhteellinen absorptio on vain 0,1 %. Tuotteen C kuitumateriaalina oli vehnän oljista valmistettu selluloosakuitu, mutta testin toinen ääripää, tuote E käytti myös selluloosaperäisiä kuituja tuotteessaan. Selluloosa absorboi vettä hyvin, joten tästä syystä tuote C saattaisi sisältää kiinnitysaineita, tai lisäaineita, kuten kalsiumkarbonaattia, jotka vähentävät veden imeytymistä. Tuotteen C menestys kokeessa voi johtua myös siitä, että se oli ainut tuote, jonka profiili oli umpinainen. Kaikkien muiden tuotteiden profiilit olivat onttoja, joten vettä absorboivaa pintaa oli huomattavasti enemmän kuin tuotteessa C. Vesi imeytyy ensin kappaleen pintakerrokseen ja siitä eteenpäin hitaasti syvemmälle. Riippuen profiilista, onttoprofiilinen tuote voi absorboida jopa kaksi kertaa enemmän vettä kuin umpiprofiili. (Klyosov, 2007)

Tuotteen B kohdalla lämpökäsitellyn puukuidun tuli vähentää veden absorptiota, mutta heikentää mekaanisia ominaisuuksia (Ayrilmis et al., 2011). Toisaalta tuotteessa B puun osuus oli 65 %, joten absorptiokyky voi olla jopa kaksinkertainen verrattuna samanlaiseen tuotteeseen, jossa on puuta 50 %. Täten se absorboi toiseksi eniten vettä, vaikka vielä 14 vuorokauden kohdalla se oli absorboinut toiseksi vähiten. (Gnatowski, 2009)

Tuotteet A ja D saivat hyvin lähelle samanlaisia tuloksia. Suhteellisessa turpoamassa ei ollut eroa kuin 0,04 %-yksikköä. Absorptiossa eroa oli 0,54 %-yksikköä tuotteen A eduksi. Tuote A sisälsi puujauhon lisäksi bambujauhoa, tuotteessa D oli ainoastaan mäntypuukuitua.

Kaikki tuotteet absorboivat selvästi vähemmän vettä kuin USA:ssa 2000-luvun alussa valmistetut ja Polymer Engineering Companyn testaamat tuotteet (Gnatowski & Mah, 2003).



Mutta kun verrataan Klyosovin (2007) tutkimiin 16 tuotteeseen, jotka absorboivat vettä 1,7 – 4,8 % seitsemän vuorokauden aikana, ainoastaan tuote C olisi ollut kokeen kärkipäässä. Tuote B olisi sijoittunut puoliväliin. Ainoastaan yksi tuote olisi absorboinut enemmän kuin tuote E. American Architectural Manufacturers Associationin vuosina 2004 ja 2005 tutkitut tuotteet sen sijaan absorboivat vettä 4,1 – 13,9 %. Täten tuote D olisi ollut tasoissa tuon tutkimuksen parhaan tuotteen kanssa, ja myös tuote E olisi ollut kokeen parhaimpia. (Klyosov, 2007)

Paksuuden muutoksessa tuote C ei menestynyt. Sen paksuus suhteessa alkuperäiseen paksuuteen kasvoi lähes kaksi kertaa enemmän kuin muiden tuotteiden, vaikka se absorboi alkumassaan nähden vähiten vettä. Koska umpiprofiilisessa tuotteessa on enemmän vettä absorboivia kuituja sen paksuuteen nähden, on mahdollista, että siitä syystä suhteellinen turpoama on suurempi kuin muilla tuotteilla. Muilta osin koekappaleet turposivat lähes samassa suhteessa kuin ne absorboivat vettä, paitsi tuote B turposi hieman enemmän kuin muut.

Mittaustulokset olivat yhdenpitäviä valmistajien ilmoittamien materiaaliominaisuuksien kanssa. Ainoastaan tuotteen A veden absorptio oli ilmoitettu pienemmäksi kuin mitattiin, mutta toisaalta mittaus oli tehty eri standardin mukaan, eikä valmistaja ilmoittanut upotusaikaa.

#### 4.2 Väripysyvyys

Värimittauksissa havaittiin, että tuotteet joissa oli käytetty lujitteena selluloosakuituja normaalin puukuidun sijaan, muuttivat vähemmän väriä. Tämä johtuu selluloosan pienemmästä ligniinipitoisuudesta (Fabiyi et al., 2007). Etenkään tuote E ei sisällä kuin hyvin vähäisen määrän ligniiniä. Tästä syystä tuotteet C ja E olivat testin menestyjiä  $\Delta E$ :n jäädessä alle kolmeen. Toisaalta erään holoselluloosaa ja HDPE:tä sisältäneen WPC tuotteen värimuutos  $\Delta E$  oli 25, joten voidaan sanoa, että tuotteiden C ja E väripysyvyys on erinomainen. (Fabiyi et al., 2007)

Tuote C oli siitä erilainen kuin muut, että se tummui kokeen edetessä kun muut vaalenivat. Muutoin sen väri muuttui hyvin samankaltaisesti, eli sinistyi. Myös muualla on havaittu joidenkin tuotteiden tummuvan kulumisen myötä (Gnatowski & Mah, 2003). Pääasiassa

tällaiset tuotteet ovat omanneet matalan tiheyden, eivätkä ne sisältäneet antioksidentteja, joka johtaa niiden nopeampaan hapettumiseen ja tummumiseen (Klyosov, 2007).

Tuote B oli värinsäilyvyyden kannalta tutkimuksen huonoin,  $\Delta E$ :n tasaantuessa hieman yli viiteen. Se sisälsi 65 % lämpökäsiteltyä puukuitua. Klyosovin (2007) mukaan, korkeampi puukuitupitoisuus aiheuttaa suuremman  $\Delta L$ :n muutoksen, 60 % puujauhoa sisältänyt tuote vaaleni kaksi kertaa enemmän kuin 50 % sisältänyt tuote. Tuote B kuitenkin säilytti värinsä huomattavasti paremmin kuin referenssimateriaali, jonka  $\Delta E$  nousi yli 33:een, vaikka sekin sisälsi 65 % puuta. Tuote A oli kokeen toiseksi heikoin tuote,  $\Delta E$ :n jäädessä 4,30:een 500 tunnin jälkeen. Tässä tapauksessa tuotteen värillä ei näyttänyt olevan niin suurta merkitystä haalistumiseen kuin koostumuksella, koska kokeen ääripäissä oli mustan väriset tuotteet. (Klyosov, 2007)

Havaittiin, että kaikki tutkitut tuotteet säilyttivät värinsä erinomaisesti, joten niiden UV suoja-ainepitoisuudet ovat hyvät. Kaikilla tuotteilla  $\Delta b$  oli samansuuntainen, eli negatiivinen. Kappaleet siis muuttuivat sinisemmiksi. Tämä on yleinen käyttäytymismalli WPC - tuotteilla, sillä 21 amerikkalaisesta tuotteesta ainoastaan kolmen  $\Delta b$  oli positiivinen. Jos verrataan tutkittujen tuotteiden  $\Delta L$  arvoja amerikkalaisiin, havaitaan, että haalistuminen on hyvin vähäistä. Suurin  $\Delta L$  oli tuotteella B, joka oli viisi. 36 amerikkalaisesta tuotteesta ainoastaan kahdeksalla tämä arvo oli alle viiden. (Klyosov, 2007) Polymer Engineering Companyn kokeessa tuotteet olisivat olleet myös parhaimpien joukossa, jossa kolme tuotetta sai  $\Delta E$  arvoiksi 1,6, 14,4 ja 24,8, (Gnatowski & Mah, 2003).

### 4.3 Iskulujuus

Tuote B sisälsi 65 % lämpökäsiteltyä puukuitua, ja mittautti Charpy -kokeessa heikoimman iskulujuuden. Tästä tehtiin vastaava havainto kuin Istanbulin yliopistossa, eli lämpökäsitelty puukuitu heikentää WPC tuotteen mekaanisia ominaisuuksia verrattuna käsittelemättömään puukuituun (Ayrilmis et al., 2011). Tuotteen B iskulujuus oli 36 % heikempi kuin tuotteen D, jossa oli käytetty käsittelemätöntä mäntypuukuitua. Joskin tuote D sisälsi PVC:tä, joka on lujempi muovi kuin tuotteessa B käytetty PP (Klyosov, 2007).

HDPE:a sisältävien WPC tuotteiden sanotaan omaavan suuremman iskulujuuden kuin ne, joissa on käytetty PP:a. PE:ä sisältäneille tuotteille, eli A:lle ja C:lle mitattiinkin suurempi

iskulujuus kuin PP:a sisältäneelle tuotteelle B, poikkeuksena myös PP:a sisältänyt tuote E, joka oli kokeen paras. (Kazemi Najafi et al., 2006)

Tuote E mittautti kokeen parhaan iskulujuuden, joka oli 91 % suurempi kuin toiseksi sijoituneen tuotteen D iskulujuus, vaikka tuote E sisälsi PP:a, eikä PVC:tä. On kuitenkin havaittu, että puukuitupitoisuuden noustessa iskulujuus heikkenee. Tuotteen E tarkkaa koostumusta ei ole saatavilla, joten heidän tuote saattaisi sisältää suhteessa enemmän muovia kuin muut tuotteet. Toinen vaihtoehto on kytöntäaineet, jotka parantavat muovin ja puukuidun pinnan adheesiota. Toisaalta tuotteen E pinta oli hieman pehmeämpi kuin muiden, joten se absorboi iskuenergiaa enemmän. (Klyosov, 2007)

Tuotteen A iskulujuus kasvoi säänkestokokeen jälkeen, mikä ei ole yleinen käyttäytymismalli WPC -tuotteilla. Muilla tuotteilla iskulujuus putosi 4,5 – 5,9 %. Tuotteen A värinmuutoskoetta edeltävän iskulujuusotannon hajonta oli suuri, joten se on vaikuttanut mittauksulokseen.

Vaikka kaikissa tuotteissa käytettiin kierrätysmateriaaleja, niiden iskulujuudet olivat selvästi paremmat kuin referenssimateriaalilla. Havainto on sama kuin Iranissa Noorin yliopistolla tehdyssä tutkimuksessa, eli kierrätysmateriaalit eivät heikennä tuotteiden mekaanisia ominaisuuksia. (Kazemi Najafi et al., 2006)

Verrattuna Ruotsissa tutkittuihin tuotteisiin, ainoastaan tuote E pystyi vastaamaan  $7,6 \text{ kJ/m}^2$  iskulujuuteen, joka mitattiin tutkimuksen kaupalliselle tuotteelle. Heikommalle kokeelliselle tuotteelle mitattiin iskulujuudeksi  $5,2 \text{ kJ/m}^2$ , eikä tähänkään muut kuin tuote E pystynyt vastaamaan. (Westin et al., 2008)

#### 4.4 Tutkimuksen luotettavuus

Värinmittauskokeessa koekappaleisiin tehdyt mittauskohtien merkinnät kuuluivat xenonkaapissa joistakin kappaleista 100 tunnin kohdalla, joten ei voida olla varmoja, suoritettiinko mittaus täsmälleen samasta kohtaa. Merkintöjen kulumisen koski tuotteiden B, C ja E koekappaleita, jotka kaikki olivat väriltään tummia ja täten merkinnät katosivat helposti. Se saattoi aiheuttaa pieniä eroavaisuuksia mittaustuloksiin. Mittauspaikat kaikissa koekappaleissa olivat kuitenkin samat, joten ne pystyttiin melko tarkasti arvioimaan muiden kap-

paleiden perusteella. Merkinnät tehtiin uudelleen ja ne säilyivät kappaleissa mittausten loppuun asti. Koska mittaukset suoritettiin ainoastaan kolmesta kohtaa, tuloksissa esiintyi epätavallista vaihtelua etenkin tuotteen E kohdalla, jonka pinta ei ollut tasaisen musta, vaan siinä oli pieniä valkoisia täpliä. Silti kuvan 8 käyrästä on selvästi nähtävissä värinmuutoksen trendi.

Iskulujuusmittauksissa tuotteen D koekappaleet eivät olleet poikkileikkaukseltaan aivan suorakaiteen muotoisia, koska kappaleet tehtiin tuotteen pinnasta johon oli harjattu uria hyvin tiheästi. Uria oli myös muissa tuotteissa, mutta sopivan harvassa, jotta saatiin oikeanmuotoiset koekappaleet. Tästä syystä tuotteen D koekappaleiden todellinen poikkipinta-ala oli pienempi kuin millä iskulujuus laskettiin, joten todellinen iskulujuusarvo on hieman mitattua suurempi.

Veden absorptiokokeessa koekappaleiden pinnasta poistettiin ylimääräinen vesi ravistamalla ja pyyhkimällä, mutta sitä on voinut silti jäädä pintaan muutamia sadasosagrammoja. Tällä ei ollut merkittävää vaikutusta mittaustuloksiin. Paksuutta mitattaessa työntömitan leuat pyrittiin puristamaan koekappaleen pintaan aina mahdollisimman identtisellä voimalla. Voidaan olettaa, että voiman vaihtelusta johtuen on syntynyt sadasosamillien mittausvirheitä, mutta koska koekappaleita oli 20 kpl jokaisesta tuotteesta ja kappaleiden paksuudet olivat yli 20 mm, lopullinen mittausvirhe jää varsin mitättömäksi.

## 5 YHTEENVETO

Kandidaatintyössä tutkittiin viiden eri WPC:sta valmistetun terassinrakennustuotteen materiaaliominaisuuksia ja arvioitiin säänkestävyyttä niiden avulla. Tutkimuksessa saatiin luotettavat tulokset tuotteiden iskulujuudesta, värinmuutoksesta ja veden absorptiosta. Havaittiin, että 500 tunnin UV-säteilylle ja säänkestosimuloinnille altistaminen oli riittävä. Värin muuttumista osoittavat käyrät tasoittuivat kaikilla tuotteilla viimeistään 100 viimeisen tunnin mittausjakson aikana. Samoin veden absorptiota kuvaavat käyrät tasoittuivat kohti kokeen loppua, eikä oleellisia muutoksia tapahtunut viimeisen mittausvälin aikana.

Tuotteiden välillä oli vaihtelua, varsinkin iskulujuuskokeessa tuote E oli selvästi muita parempi, muiden tuotteiden ollessa tasavertaisia keskenään. Verrattuna Ruotsissa tutkittuihin tuotteisiin tuote E oli ainoa niiden tasolle yltänyt, mutta referenssimateriaaliin verrattuna kaikki tuotteet olivat erinomaisia (Westin et al. 2008).

Upotuskokeessa tuote E absorboi eniten vettä. Siinä tuote C pärjasi huomattavasti paremmin kuin muut, toisaalta tuotteen profiililla oli vaikutusta tähän tulokseen. Kaikki tässä työssä tutkitut tuotteet absorboivat vettä vähän verrattuna USA:ssa tutkittuihin kaupallisiin tuotteisiin. Tuotteet pärjäsivät vertailussa myös joillekin kokeellisille tuotteille ja tämän tutkimuksen referenssimateriaalille. (Gnatowski & Mah, 2003) Toisaalta eräät Klyosovin (2007) tutkimat tuotteet absorboivat vettä saman verran, osa hieman vähemmän kuin tässä tutkimuksessa olleet tuotteet.

Suurimmat erot tuotteiden välillä olivat värinmuutoksessa, sillä eniten haalistunut tuote B muutti väriä lähes 3 kertaa enemmän kuin kokeen paras tuote E. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että yksikään tuote olisi ollut värinpysyvyydeltään huono, pikemminkin päinvastoin. Kaikki tuotteet säilyttivät värinsä erittäin hyvin verrattuna muualla tutkittuihin kaupallisiin tuotteisiin (Fabiyy et al., 2007; Gnatowski & Mah, 2003; Klyosov, 2007).

Yleisesti ottaen tutkitut tuotteet olivat laadukkaita, mutta jatkoa ajatellen on muutamia asioita, joita voisi tutkia. Veden absorptiokokeessa tuotteiden pinnat käyttäytyivät eri tavoin, joten niiden kitkaa ja sen muutosta olisi hyvä tutkia tuotteiden käyttökohteesta johtuen.

Taivutuslujuutta, palokäyttäytymistä ja lahonkestävyyttä ei myöskään tuotteilta mitattu. Lisäksi tuotteiden ominaisuuksia voisi vertailla markkinoille tulevien uusien tuotteiden kanssa.

## LÄHTEET

Ayrilmis, N. & Jarusomputi, S. & Fueangvivat, V. & Bauchongkol, P. 2011. Effect of thermal-treatment of wood fibres on properties of flat-pressed wood plastic composites [verkkodokumentti]. Julkaistu 15.2.2011 [viitattu 7.4.2013]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391011000711> Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjälisenssin.

CIE L\*a\*b\* Color Scale. 2008. [HunterLabin [www-sivuilla](http://www.hunterlab.com)]. Viimeksi päivitetty 06/2008. [viitattu 4.4.2013]. Saatavissa: [http://www.hunterlab.com/appnotes/an07\\_96a.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an07_96a.pdf)

Cui, Y & Lee, S. & Noruziaan, B. & Cheung, M. & Tao, J. 2007. Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials [verkkodokumentti]. Julkaistu 29.10.2007 [viitattu 21.4.2013]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X07002370> Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjälisenssin.

Fabiyi, J. S. & McDonald A. G. & Stark, N. M. 2007. Surface characterization of weathered wood-plastic composites produced from modified wood flour. Madison, WI, USA: 21.5.2007 [viitattu 13.4.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://naldc.nal.usda.gov/download/46564/PDF>

Fabiyi, J. S. & McDonald, A. G. & Wolcott, M. P. & Griffiths, P. R. 2008. Wood plastic composites weatering: Visual appearance and chemical changes [verkkodokumentti]. Julkaistu 10.6.2008 [viitattu 20.4.2013]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391008001651> Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjälisenssin.

Gnatowski, M. 2009. Water absorption and durability of wood plastic composites. Burnaby, BC, Kanada: 11.5.2009 [viitattu 12.4.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.polymerengineering.ca/wp-content/uploads/2010/03/MADISON-2009.pdf>

Gnatowski, M. & Mah, C. 2003. Testing of wood plastic composites. Madison, WI, USA: 19.5.2003 [viitattu 12.4.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.polymerengineering.ca/wp-content/docs/WPC%20Conference%20Presentation.pdf>

Klyosov, A. 2007. Wood-Plastic Composites. USA. Wiley. 698 s. ISBN 978-0-470-14891-4.

Kazemi Najafi, S. & Hamidinia, E. & Tajvidi, M. 2005. Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics [verkkodokumentti]. Julkaistu 20.3.2006 [viitattu 4.4.2013]. Saatavissa: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.23159/pdf> Palvelu on maksullinen ja vaatii käyttäjälisenssin.

SFS-EN 317. Lastulevyt ja kuitulevyt. Paksuusturpoaman määrittäminen vesiliotuksen jälkeen. Helsinki: suomen Standardisoimisliitto SFS, 1993. 5 s. Vahvistettu 20.9.1993. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 179-1. Plastics. Determination of charpy impact properties. Part 1: Non-instrumented impact test. Helsinki: suomen Standardisoimisliitto SFS, 2010. 22 s. Vahvistettu 11.10.2010. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 4892-1. Plastics. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 1: General guidance. Helsinki: suomen Standardisoimisliitto SFS, 2001. 19 s. Vahvistettu 29.1.2001. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 4892-2. Plastics. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 2: Xenon-arc lamps. Helsinki: suomen Standardisoimisliitto SFS, 2006. 10 s. Vahvistettu 21.8.2006. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

Westin, M. & Larsson-Brelid, P. & Segerholm, B. K. & van den Oever, M. 2008. Wood plastic composites from modified wood [verkkodokumentti]. Julkaistu 25.5.2008 [viitattu 4.5.2013]. Saatavissa: <http://edepot.wur.nl/2918>