

Asko Sievänen

TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET

ABS-muovin ja koivuviilun liimaus muotopuristeissa

Lahden ammattikorkeakoulu Tekniikan ala Puutekniikka Opinnäytetyö Kevät 2010



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan ala Puutekniikka Opinnäytetyö Kevät 2010

Asko Sievänen

TERMOMUOVATTAVAT PUULEVYVALMISTEET

ABS-muovin ja koivuviilun liimaus muotopuristeissa

Lahden ammattikorkeakoulu
Puutekniikka

SIEVÄNEN, ASKO: Termomuovattavat puulevyvalmisteet
ABS-muovin ja koivuviulun liimaus muotopuristeissa

Puutekniikan opinnäytetyö
Kevät 2010

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa koivuviulun ja ABS-muovin liimaamiseen soveltuvia liimoja muotopuristeiden valmistukseen. Liimoja etsitään eri valmistajilta ja näistä valitaan sopivat testien perusteella. Opinnäytetyö on osa Lahden ammattikorkeakoulussa toteutettavaa TERMO-projektia, ja valittuja liimoja hyödynnetään siinä.

Teoriaosuudessa käsitellään puun ja muovin perusominaisuuksia sekä koivuviulun ja ABS-muovin ominaisuuksia liimaamisen kannalta. Tämän lisäksi tutustutaan liimausteoriaan, osaan yleisistä liimatyypeistä, sekä liimausprosessiin. Opinnäytetyön tutkimusosassa kuvaillaan käytettyjä testimenetelmiä sekä kerrotaan testatuista liimoista ja testituloksista. Lisäksi pohditaan hieman liimauksen kehittymistä ja tulevaisuuden näkymiä.

Valituille liimoille etsittiin jokaiselle sopivat puristusolosuhteet, sekä riittävä kovettumisaika. Riittävän nopeasti kovettuville, sekä muilta ominaisuuksiltaan soveltuville liimoille tehtiin lujustestit, joiden perusteella löydettiin kolme käyttökelpoista liimaa: Akvapur SM 1200, Scotch Weld 30 ja Novox. Näistä liimoista Novox -pinnoituskalvon käyttö vaatii vielä jatkotestejä, koska se tarvitsee tarttuakseen korkean puristustilän. Myös Akvapur- ja Scotch Weld -liimoilla tullaan tekemään jatkossa testejä liimattavuuden parantamiseksi.

Avainsanat: liimaus, liimat, ABS, kestopuovi, viilu, lujuskokeet

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

SIEVÄNEN, ASKO: Thermoformable wood panel products
Gluing ABS plastic and birch veneer for shape moulding

Bachelor's Thesis in Wood Technology
Spring 2010

ABSTRACT

The objective of this thesis was to study adhesives for joining ABS plastic with birch veneer in thermoforming use. Enquiries for suitable adhesives were sent by email to different manufacturers. Adhesives were then tested and based on the results appropriate adhesives were selected. The thesis is part of the TERMO project that focuses on developing thermoforming products made of ABS plastic and birch veneer.

The theoretical part consists of information about basic properties of wood and plastic materials. The focus is on how the properties of birch veneer and ABS plastic affect the joining of these materials. The theory of adhesion, some of basic adhesives and joining process with adhesives are also introduced.

In the empirical part the used test methods are described and some information is given about the tested adhesives. Also test results and conclusions are included in this section. The final part presents some thoughts about the development and future of the adhesive industry.

Proper press conditions and curing time were determined for every adhesive. Adhesives with acceptable quality were then tested and based on these test results three adhesives were chosen: Akvapur SM 1200, Scotch Weld 30 and Novox. Further tests with Novox coating film are needed, because of high pressing temperatures used for adhesion. In the future all three adhesives will be tested to achieve better adhesion.

Key words: gluing, adhesives, ABS plastic, thermoplastic, veneer, strength tests

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 KOIVU	7
2.1 Koivu materiaalina	7
2.2 Puun mekaaniset ominaisuudet	8
2.3 Puun termiset ominaisuudet	8
3 VIILU	9
3.1 Viilujen valmistusmenetelmät	9
3.2 Viilujen liimaus	9
4 ABS – AKRYYLINITRIILI-BUTADIEENI-STYREENI	10
4.1 Kestomuovi	11
4.2 Muovipolymeerien lisäaineet	13
4.3 Muovien ominaisuudet	13
4.3.1 Termiset ominaisuudet	13
4.3.2 Mekaaniset ominaisuudet	15
4.3.3 Kosteusominaisuudet	18
4.4 Levyjen valmistus	18
5 LIIMAUS	19
5.1 Liimauksen teoriaa	20
5.2 Kovettuminen	21
5.3 Liimaukseen liittyviä aikakäsitteitä	21
5.4 Puun liimaus	22
5.5 Muovin liimaus	23
5.6 Liiman ominaisuudet	24
5.7 Liimausvirheet	25
5.7.1 Liiallinen imeytyminen	25
5.7.2 Paksu liimasauma	25
5.7.3 Virheet puristuksessa	25
5.7.4 Liiman esikovettuminen ja kuivuminen	26
5.8 Ympäristötekijöiden vaikutus liimasaumaan	26
6 SOVELTUVAT LIIMATYYPIT	26
6.1 Epoksiliimat	26
6.1.1 Huoneen lämpötilassa kovettuvat kaksikomponenttiset epoksiliimat	27
6.1.2 Kaksikomponenttiset kuumakovettuvat epoksiliimat	27
6.1.3 Yksikomponenttiset epoksiliimat	28
6.2 Polyuretaaniliimat	28
6.3 Akryyliiliimat	28
6.3.1 Akryylirakenneliimat	29
6.3.2 Toisen sukupolven akryyliiliimat	29
6.3.3 Syanoakrylaattiliimat	29

7 LIIMOJEN VALINTA JA TESTAUS	30
7.1 Testausmenetelmät	31
7.1.1 Puustamurtumatesti	32
7.1.2 Kuorimisljuustesti (peeling-testi)	32
7.1.3 Nappitesti	34
7.1.4 Leikkauslujuustesti	35
7.2 Testatut liimat	35
7.3 Tulokset	38
8 YHTEENVETO	40
LÄHDELUETTELO	42
LIITTEET	45

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on osa Termomuovattavat puulevyvalmisteet -tutkimushanketta, jota johtaa Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitos. Projektissa on mukana useita kotimaisia yrityksiä ja yhteistyötä tehdään myös Muotoiluinstituutin ja Tampereen teknillisen yliopiston kanssa. Opinnäytetyöni käsittelee projektissa käytettävien materiaalien, ABS-muovi ja koivuviilu, liittämistä liimaamalla.

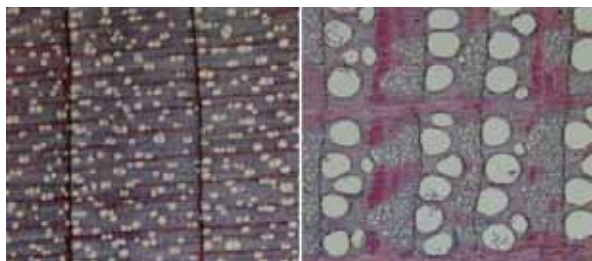
Liimaus voi olla haasteellista, jos liimattavat materiaalit ovat hyvin erilaiset. ABS-muovi on synteettisesti valmistettu, ja koivuviilu on luonnonmateriaali. Niiden ominaisuuksissa on eroja, mutta niissä on myös samankaltaisuuksia, esimerkiksi molemmat ovat polaaraisia aineita. Jotta materiaalien liimaus onnistuisi luotettavasti, on löydettävä soveltuva liima tai liimat ja oikeat prosessiolosuhteet liimaamiselle. Projektin aikana etsimme valmistajilta sopivia liimoja ja testasimme liimojen ominaisuuksia valmistamalla koekappaleita ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Koekappaleilla suoritettiin lujuustestausta ja tutkittiin liimasauman lämmönkestävyyttä.

2 KOIVU

2.1 Koivu materiaalina

Suomessa yleisimmät koivulajit ovat hies- ja rauduskoivu. Lajit ovat ominaisuuksiltaan lähes samanveroisia, mutta hieskoivu on pehmeämpi, hauraampi ja muilta ominaisuuksiltaan hieman heikompi. Muihin puulajeihin verrattuna koivu on lujuusominaisuuksiltaan suhteellisen kestävä ja sen sorvattavuus ja työstettävyys ovat hyvät, koska se on rakenteeltaan varsin homogeeninen. Koivua on myös helppo liimata, koska se ei sisällä samoissa määrin hartseja, öljyjä, parkkihappoja ja muita liimausta haittaavia aineita kuin eräät ulkomaiset lehtipuulajit. (Kilpeläinen 1989, 28–29; Koponen 2002, 23.)

Koivu on hajaputkiloinen lehtipuu, sen kevät- ja kesäpuun tiheys on pieni ja kesäpuun osuus vähäinen. Näistä syistä koivu on suomalaisiin havupuihin verrattuna tasalaatuista. Koivun tiheys vaihtelee rungon eri osissa hieman, mutta keskimäärin se on 460–800 kg/m³. Hajaputkiloisena lajina koivun pystysuuntaiset putkilot, joissa nesteet kulkevat, ovat poikkileikkauksessa sijoittuneet tasaisesti ja selviä vuosiluston rajoja ei ole. (Kuikka & Kunelius 1992, 40; Niemistö, Viherä-Aarnio, Velling, Herajärvi & Verkasalo 2008, 189.) Kuviossa 1 on vasemmalla puolella hajaputkiloinen koivu ja oikealla kehäputkiloinen tammi.



KUVIO 1. Mikrokooppikuva koivun ja tammen poikkileikkauksesta (Kärkkäinen 2007, 45)

Koivu on väriltään vaaleaa, ja sitä on helppo värjätä tasaisesti ja tummentaa haluttuun sävyyn. Koivun mekaaniset ominaisuudet ovat paremmat kuin muilla kotimaisilla pääpuulajeilla, mutta heikommalla jalopuilla ja joillakin trooppisilla lehtipuulajeilla. (Niemistö ym. 2008, 190.) Koivu on väriltään vaaleaa, ja sitä on helppo värjätä tasaisesti ja tummentaa haluttuun sävyyn. Koivun mekaaniset ominaisuudet ovat paremmat kuin muilla kotimaisilla pääpuulajeilla, mutta heikommalla jalopuilla ja joillakin trooppisilla lehtipuulajeilla. (Niemistö ym. 2008, 190.)

2.2 Puun mekaaniset ominaisuudet

Puun lujuutta testataan yleensä murtorajalle saakka, missä puun rakenne hajoaa. Tällöin saadaan paras kuva puun lujuusominaisuuksista ja testitulokset ovat havainnollisia. Puun anisotrooppisen rakenteen takia sen lujuusominaisuudet ovat erilaiset säteen, syiden ja tangentin suunnassa, mikä huomioidaan myös testeissä. Testikappaleissa käytetään virheetöntä puuta, jotta saadaan toisiinsa nähden vertailukelpoisia tuloksia. (Kuikka & Kunelius 1992, 32–33.) Tällöin lujuusarvot ovat normaalia puuta selvästi parempia ja tämä on otettava huomioon, jos tuloksia käytetään esimerkiksi tuotesuunnittelussa.

Puun vetolujuus on suurin syiden suuntaan: koivulla 135 MPa ja syitä vastaan vain 5 % syiden suuntaisesta. Käytännössä vetolujuutta vaaditaan esimerkiksi palkkirakenteissa, joissa kuorma aiheuttaa palkin taipumista. Palkin taipuessa suurin vetojännitys kohdistuu sen alareunaan. (Kuikka & Kunelius 1992, 33–35.) Samanlaista rasitusta syntyy myös muissa kaareissa muodoissa.

Puun puristuslujuus on suurin syiden suuntaan: koivulla 53 MPa ja syitä vastaan 4–25 % syiden suuntaisesta (Kuikka & Kunelius 1992, 34–35). Käytännössä puristuslujuutta vaaditaan muotopuristeilta, kun kappaleet puristetaan yhteen liimausvaiheessa.

Taivutuslujuus kohtisuoraan puun syitä vastaan on koivulla 110 MPa. Puuta taivutettaessa kuperalla puolella esiintyy vetojännitystä ja koveralla puristusjännitystä. (Kuikka & Kunelius 1992, 34–35). Veto- ja puristuslujuuksista poiketen syiden suuntainen taivutuslujuus on hyvin pieni.

Puun leikkauslujuus on melko pieni, koivulla 13 MPa syiden suuntaan. Liimausliitoksiin kohdistuu yleensä leikkausjännityksiä. Puun kovuus Brinell-menetelmällä on koivulla 24 MPa. Kovuus vaikuttaa naula ja ruuviliitoksissa, ja sitä testataan painamalla määrätyn kokoinen teräskuula tietylle syvyydelle puuhun. (Kuikka & Kunelius 1992, 35; Niemistö 2008, 191.)

2.3 Puun termiset ominaisuudet

Puu kuten muovikin laajenevat lämpötilan noustessa. Lämpölaajeneminen vaikuttaa liimaliitoksen lujuuteen käytettäessä kuumapuristusta. Hyvän lopputuloksen kannalta olisi parasta, että muovi, puu sekä liima laajenesivat lämmön vaikutuksesta samalla tavalla. Muovin lämpölaajeneminen on kuitenkin noin kaksinkertaista puuhun verrattuna. Puun lämpölaajeneminen on suurinta tangentin suunnassa ja pienintä syiden suunnassa (Kuikka & Kunelius 1992, 36).

Lämpölaajenemisen vaikutus kappaleen pituuteen voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä: $\Delta l = \alpha \Delta T l$, jossa Δl on pituuden muutos, α pituuden lämpötilakerroin, l kappaleen alkuperäinen pituus

ja ΔT lämpötilan muutos (Kuikka & Kunelius 1992, 36). Useista tietolähteistä huolimatta en löytänyt koivun lämpötilakerrointa, mutta koska puulajien välinen vaihtelu on melko vähäistä, voidaan olettaa koivun lämpötilakerroimen olevan lähellä muiden lehtipuiden arvoja. Tangentin suuntainen lämpötilakerroin on tammella $47,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, saarnilla $41,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ja pyökillä $49,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, kun vastaavat säteen suuntaiset arvot ovat $36,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $38,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ja $44,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (Kärkkäinen 2007, 242).

3 VIILU

3.1 Viilujen valmistusmenetelmät

Viiluja valmistetaan monista eri puulajeista, ja tunnetuimmat käyttösovellukset ovat vaneri ja viilun käyttö päällysteenä eli viilutus. Yleisin viilun valmistusmenetelmä on sorvaus, jossa viilu leikkautuu pölliä irti spiraalimaisesti, vuosirenkaiden suuntaan. Toisena menetelmänä on leikkaus, jossa viilu irrotetaan leikkaavalla tason suuntaisella liikkeellä. (Koponen 2002, 37.)

Viilun leikkauksessa työstö on samantapaista kuin höyläyksessä ja viilu leikkautuu yleensä vuosirenkaiden suuntaa vastaan. Viilun kuviointia saadaan muutettua vaihtamalla leikkaussuuntaa. Verrattaessa sorvattua ja leikattua viilua jälkimmäisessä työstömenetelmässä viilusta voidaan tehdä ohuempaa ja pinnaltaan sileämpää sekä tiiviimpää. Toisaalta leikatun viilun valmistus on kalteuempaa kuin sorvatun ja leikattua käytetäänkin lähinnä pintamateriaalina, koska pintakuviosta saadaan jatkuva ja pinnasta korkealaatuinen. (Koponen 2002, 47.)

Viilut lajitellaan ulkonäön perusteella vähintään hyviin pintaviiluihin, muihin pintaviiluihin ja keskiviiluihin (Niemistö ym. 2008, 210). Pintaviilut voidaan jakaa vielä tarkemmin viiteen eri luokkaan, mutta laatulajittelu on tehdaskohtaista ja laatuluokat vaihtelevat.

3.2 Viilujen liimaus

Viilun valmistukseen liittyvät standardit ja laatuvaatimukset vaikuttavat myös viilun liimattavuuteen. Näitä vaikuttavia tekijöitä ovat pintaviilujen ulkonäköön liittyvät vaatimukset sileydelle, halkeilulle ja ulkonäkövirheille kuten oksille (Koponen 2002, 37). Myös viilun tasomaisuus ja liiallisten jännitysten välttäminen parantavat liimattavuutta.

Koneellisessa prosessissa tasapaksu ja sileä viilu ovat liiman levityksen ja taloudellisuuden kannalta olennaisia, koska ne vaikuttavat liiman määrään ja tarvittavaan puristuspaineseen. Sorvatussa viilussa epätasaisuutta voi aiheuttaa kevät- ja kesäpuun ero. Kevätpuu on kesäpuuta pehmeämpää ja antaa enemmän periksi leikkuuterälle ja jää näin työstössä pinnasta hieman koholle. Etenkin vaneristandardien mukaan viilun on oltava poikittaisvetolujuudeltaan riittävän vahvaa. (Kilpeläinen 1989, 26; Koponen 1990, 25; Koponen 2002, 37.)

Viilun ominaisuuksista paksuutta ja poikittaisvetolujuutta voidaan mitata. Viilun tasomaisuutta, jännityksettömyyttä ja muita ulkonäkötekijöitä seurataan näköhavainnoin. (Koponen 2002, 38.) Nykyisin myös konenäkösovellukset ovat yleisiä. Vertailukohtana viilun liimaukseen ABS-muoviin voidaan käyttää vanerin liimauksen vaatimuksia.

Viilun on oltava tasapaksua ja tasaista koneellisessa liiman levityksessä. Viilun kosteuden on pyydyttävä tietyn arvon alapuolella, koska liian suuri vesimäärä aiheuttaa kuumapuristuksessa liiallisen vesihöyryn paineen puristuksen loppuvaiheessa ja liimasaumat rikkoutuvat. Tasainen liiman levitys auttaa kestäväen ja yhtenäisen liimasauman muodostamisessa. (Koponen 2002, 72.) Viilun hyvistä ominaisuuksista on hyötyä myös muotopuristeita valmistettaessa.

Vanerin liimauksessa yleisin liimausvika on liimasauman liiallinen kuivuminen, jolloin liima ei kostuta viiluja tarpeeksi. Vika johtuu liimassa olevan veden imeytymisestä viiluun tai haihtumisesta, ja sitä on vaikea havaita. Syyinä liimasauman kuivumiseen voivat olla liian pitkät ladontaseisotusajat tai puristimen käytössä ilmenevät viivytykset. (Koponen 2002, 72.) Ongelma ei ole yhtä suuri ABS-muovin ja viilun yhdistämisessä, koska ABS-muovi absorboi hyvin vähän vettä viiluun verrattuna.

Kosteuden lisäksi itse liima voi imeytyä liiaksi viiluun ja sideainetta ei jää riittävästi liimasauman muodostamiseen. Tämä voi johtua liiman alhaisesta viskositeetista, liian kosteasta tai huokoisesta viilusta sekä matalasta puristuslämpötilasta. (Koponen 2002, 72.)

Muita liimausvirheitä ovat kovettumaton liimasauma, jossa liima ei ole reagoinut riittävästi ja sidos jää heikoksi. Syyinä ovat yleensä lyhyt puristusaika tai matala puristuslämpötila. Lisäksi ongelmana voi olla liiman tunkeutuminen viilun pinnalle eli läpilyönti, mikä johtuu liiman alhaisesta viskositeetista tai harvasta viilusta. (Koponen 2002, 72.)

4 ABS – AKRYYLINITRIILI-BUTADIEENI-STYREENI

ABS eli akryylinitriili-butadieeni-styreeni, kuten kaikki muovit, on polymeeri. Polymeeri on suuri molekyyli, joka rakentuu pienemmistä molekyyleistä, monomeereistä. Monomeerien yhdistämistä polymeeriksi kutsutaan polymeroinniksi. Kun polymeeri muodostuu useammasta kuin yhdestä lähtöaineesta eli monomeerilajista, käytetään nimitystä kopolymeeri. ABS on akryylinitriilin, butadieenin ja styreenin kopolymeeri (Seppälä 2005, 15, 25, 195.) Näiden lähtöaineiden alkukirjaimista muodostuu myös muovin nimi.

ABS on kestonmuovi. Kestomuovia riittävästi lämmittämällä sitä voidaan muovata ja sulattaa useita kertoja, ilman että se hajoaa kemiallisesti. Monomeerit muodostavat rakenteestaan riippuen polymeroituessaan erilaisia avaruusrakenteita, mikä vaikuttaa olennaisesti polymeerimateriaalien ominaisuuksiin. Muovit voidaan jakaa muovattavuusominaisuuksien mukaan elastisiin, kertamuoveihin ja kestonmuoveihin. (Kurri, Mälén, Sandell & Virtanen. 2002, 37; Järvinen 2000, 15.)

ABS on rakenteeltaan amorfinen. Amorfisissa muoveissa molekyylit ovat epäjärjestyksessä, eikä niissä esiinny järjestäytyneitä kiderakenteita. Amorfisilla muoveilla ei ole tarkkaa sulamispistettä (Järvinen 2008, 23, 41.)

ABS on styreenin kopolymeeri, minkä takia ABS:n ja polystyreenin (PS) ominaisuuksissa on samankaltaisuuksia. Kukin akryylinitriili-butadieeni-styreenin lähtöaineista vaikuttaa muovin ominaisuuksiin. Akryylinitriili parantaa kemikaalien- ja lämmönkestoa sekä vähentää muovin ikääntymistä; butadieeni antaa muoville sitkeyttä ja iskulujuutta sekä parantaa muovin muotoon

palautumista matalissa lämpötiloissa; styreeni lisää jäykkyyttä, kiiltävyyttä ja muovin soveltuvuutta tuotantoprosesseihin (Rotheiser 2004, 83). Näiden kolmen lähtöaineiden sekoitussuhdetta muuttamalla voidaan ABS:n ominaisuuksia muokata huomattavasti. Tästä syystä markkinoilla on useita ABS-muovilaatuja eri nimikkeillä teollisuuden vaihteleviin käyttötarkoituksiin.

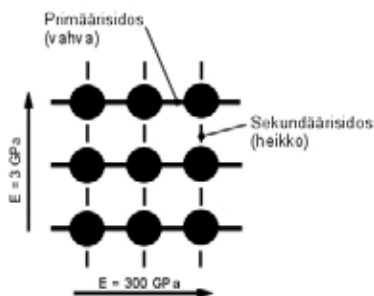
Muovit voidaan jakaa kolmeen ryhmään käyttömäärien mukaan: valtamuovit, tekniset muovit ja erikoismuovit. ABS luokitellaan tekniseksi muoviksi, jotka ovat yleensä hinnaltaan kalliimpia sekä vähemmän käytettyjä kuin valtamuovit. (Järvinen 2008, 22–23.)

ABS:n tunnistettavia ominaisuuksia ovat sen hyvä pinnanlaatu ja mittatarkkuus. ABS soveltuu levy- ja profiilikonstruusioon ja ruiskuvaluun. ABS-puolivalmisteet ovat joustavia, iskunkestäviä ja pinnaltaan kiiltäviä ja niitä voidaan metalloida kalvolla galvaanisesti. Puolivalmisteista tehdään mm. autojen osia, elektroniikkalaitteiden kuoria ja hyvän kylmänkestävyyden ansiosta levyjä käytetään myös pakastimien sisäosissa, koska styreenin kopolymeerit haurastuvat pakkasessa vain lievästi. (Järvinen 2008, 67–68, 136.)

Huonona puolena on ABS:n kellastuminen pitkäaikaisessa ulkokäytössä, mutta muovi voidaan suojata UV-säteilyltä ja sään vaikutuksilta ASA-pinnoitteella, joka on ABS:n kaltainen akryylin, styreenin ja akrylonitriliin kopolymeeri. Muita mahdollisia pintakäsittelytapoja ovat TPU-pinnoite, joka tekee pinnasta nahkamaisen, sekä martinointi, jolloin pinnasta tulee rosokuvioinen. (Järvinen 2008, 67–68, 136.)

4.1 Kestomuovi

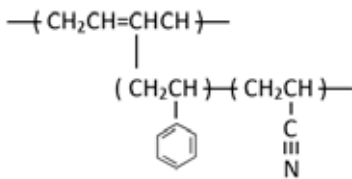
Kestomuovit rakentuvat lineaarisista eli suorista tai haarauneista polymeeriketjuista, jotka yhdistyvät toisiinsa poikittain sekundäärisidoksilla. Nämä molekyyliketjujen väliset sidokset ovat heikkoja, ja muovia lämmitettäessä ne pääsevät liikkumaan, mikä havaitaan muovin pehmenemisenä. Kuviossa 2 on esitetty polyeteenin kimmomoduulin arvot eri sidossuunnissa. Kun lämpötilaa nostetaan riittävästi, sekundäärisidokset katkeavat ja muovi sulaa. Tämän rakenteen ansiosta kestomuoveja voidaan sulattaa ja jäähmettää toistuvasti, mikä mahdollistaa muovin uudelleen muotoilun. (Kurri ym. 2002, 21.) Rakenteella on myös haittapuolensa: koska molekyyliketjut pääsevät liikkumaan toistensa suhteen, voi kestomuovissa pitkällä aikavälillä tapahtua staattisen kuormituksen vaikutuksesta virumista eli pysyvää muodonmuutosta. (Kurri ym. 2002, 57–58; Seppälä 2005, 74.)



KUVIO 2. Kimmomoduuli E primääristen ja sekundääristen sidosten suunnassa

Monomeerit ovat suhteellisen yksinkertaisia jaksoittain toistuvia yksiköitä, joista rakentuu polymeeroimalla pitkiä, suoria tai haaroittuneita ketjuja. Muodostuneet sidokset ovat vahvoja, ja ketjujen pituutta voidaan säädellä muuttamalla valmistusprosessin olosuhteita, kuten painetta, lämpötilaa ja katalyyttiä. (Kurri ym. 2002, 25.)

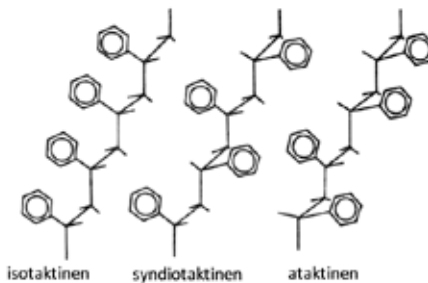
ABS:ää valmistetaan polyadditiolla, joka on kemiallinen polymeroitumisreaktio. Polymeroituminen vaatii, että monomeeri sisältää vähintään yhden kaksoissidoksen, jonka avautuminen mahdollistaa kahden monomeerin kiinnittymisen muodostuneisiin vapaisiin sidoksiin. Yleensä vaadittava kaksoissidos on kahden hiiliatomin välissä, ja hiili toimii myös muovien runkoatomina. ABS-muovissa hiileen on liittynyt vetyä, betseenirengas ja tyypeä (KUVIO 3). Polyadditiossa monomeerit liittyvät toisiinsa ilman, että reaktiossa syntyy sivutuotteita. Polyadditiolla valmistetaan myös kaikki valtamuovit (PE, PP, PS ja PVC) sekä polyuretaanit ja epoksihartsit. (Kurri ym. 2002, 25–26.)



KUVIO 3. ABS-muovin kemiallinen rakenne

Polymeerit voidaan jakaa monomeereistä koostuvan rakenteensa mukaan homopolymeereihin ja kopolymeereihin. Homopolymeeri muodostuu vain toistuvista yhdenlaisista monomeereistä, rakenneyksiköistä, ja kopolymeeri rakentuu kahdesta tai useammasta erilaisesta monomeeristä, kuten jo aiemmin mainitsin. Kopolymeerissä rakenneyksiköt voivat olla sijoittuneet lineaarisesti, vuorotellen, lohkoina tai ketju voi olla haaroittunut. ABS-muovissa peruspolymeeriin, polybutadieeniin, on lisätty oksastamalla kahta polymeerityyppiä: styreeniä ja akrylinitriiliä. Rakenne on haaroittunut, ja sitä kutsutaan oksaskopolymeeriksi. (Kurri ym. 2002, 36–37.)

Atomien ja atomiryhmien sijoittuminen molekyyli­rakenteessa vaikuttaa muovien perusominaisuuksiin, kuten mekaaniseen kestävyys­teen, kovuuteen, venymiseen ja liukoisuuteen. Taktisuus kuvaa tätä monomeerien sivuryhmien sijaintia pääketjun suhteen. Kuviossa neljä on esitetty taktisuuden kolme päätyyppiä polystyreenillä. Yleensä taktiset polymeerit ovat osittain kiteisiä ja ataktiset amorfisia. ABS-muovin rakenteessa haarat ja suuret sivuryhmät estävät kiteisyyttä. (Kurri ym. 2002, 36; Seppälä 2005, 51.)



KUVIO 4. Taktisuuden kolme päätyyppiä

ABS-muovia on kahta tyyppiä: akryylinitriilin, butadieenin ja styreenin kopolymeeri (tyyppi A) tai näiden kopolymeerien seos (tyyppi B). Tyyppi A valmistetaan oksastamalla polybutadieeniin styreeniä ja akryylinitriiliä ja tyyppi B sekoittamalla yhteen butadieeni-akryylinitriilikumia ja styreeni-akryylinitriilimuovia. Tyypillisesti sekoitussuhteet ovat seuraavat: 20–30 % akryylinitriiliä, 20–30 % butadieenia ja 40–60 % styreeniä. (Seppälä 2005, 195.)

4.2 Muovipolymeerien lisäaineet

Lähes kaikkiin teollisuudessa käytettäviin muoveihin sekoitetaan lisäaineita. Ne helpottavat muovituotteiden valmistusta ja lisäävät sekä parantavat ominaisuuksia. Lisäksi niillä saadaan kasvatettua muovin tilavuutta ja alennettua kustannuksia. (Airasmaa, Kokko, Komppa & Saarela 1991, 146; Seppälä 2005, 118.)

Stabilisaattorit estävät monomeerien ennenaikaista polymeroitumista, polymeerien hajoamista valmistusvaiheessa ja käyttöympäristön vaikutuksia (lämpö, UV-säteily, happi). Niitä käytetään muoveissa noin 0,01–2 %. Pehmittimet lisäävät muovien venyvyyttä ja muovattavuutta. Niitä käytetään 20–60% tuotteen painosta. (Seppälä 2005, 118–119.)

Liukuaineet lisäävät muovimassan muovattavuutta ja estävät massan tarttumista muotteihin sekä usein parantavat tuotteen ulkonäköä. ABS:ssä käytetään silikoneja muovattavuuden parantamiseen. Liukuaineita lisätään 0,2–5 %. Antistaattiset aineet lisäävät muovin sähkönjohtavuutta ja estävät näin staattisen sähkön muodostusta, mikä kerää pölyä tuotteen pinnalle. Antistaattisia aineita lisätään 0,1 prosentista aina muutamiin kymmeniin prosentteihin, riippuen lisättävästä aineesta. (Seppälä 2005, 120–121.)

Palonestoaineet vähentävät muovin syttymisherkkyttä ja hidastavat palamista, mutta usein myös heikentävät muita ominaisuuksia. Palonestoaineita käytetään keskimäärin 10 %. ABS-muovin värjäämiseen käytetään orgaanisia pigmenttejä 0,1–0,2 %. (Seppälä 2005, 121–122.)

Näiden aineiden lisäksi käytetään täyteaineita, jotka antavat muoveille uusia ominaisuuksia ja usein alentavat myös tuotteen hintaa. Täyteaineita voidaan käyttää parantamaan lämmön- ja kemiallista kestävyttä, kovuutta, veto-, taivutus- ja puristuslujuutta. Täyteaineilla voidaan myös vähentää palavuutta ja lämpölaajenemista sekä estää UV-säteilyn haittavaikutuksia ja pienentää kutistumista tuotteen valmistuksessa. (Seppälä 2005, 123.)

Muovien rakennetta on mahdollista vahvistaa lujitekuiduilla: lasi-, hiili-, metalli-, asbesti- ja boorikuitu. Parhaimmillaan päästään moninkertaiseen vahvuuteen ja jäykkyyteen alkuperäiseen muoviin verrattaessa, mutta myös tuotteen hinta nousee vastaavasti. (Seppälä 2005, 124–125.)

4.3 Muovien ominaisuudet

4.3.1 Termiset ominaisuudet

Puu kestää kylmiä lämpötiloja, mutta korkeissa lämpötiloissa käyttökelpoisuus rajoittuu noin 150 °C:seen. Muoveilla puhutaan ylimmästä käyttölämpötilasta, ja ABS-muovilla tämä raja on noin 80–105 °C tai Rotheiserin (2004, 82) mukaan 60–98 °C. Näissä lämpötiloissa muovin

mekaaniset lujuusominaisuudet tippuvat huomattavasti. (Seppälä 2005, 58.) Tämän seurauksena muovi muuttuu elastiseksi.

Muovit laajenevat voimakkaasti lämmön vaikutuksesta, enemmän kuin puu ja metallit. Tällä voi olla vaikutusta liimasauman muodostumiseen kuumapuristuksessa, kun muovi jäähtyessään kutistuu puuta enemmän.

Lämpötilan vaikutusta kappaleen pituuteen ilmaistaan lämpötilakertoimella α , joka kertoo pituuden muutoksen, kun lämpötila nousee yhden Kelvinin verran. Vastaavasti tilavuudella on lämpötilakerroin γ . Homogeenisilla kiinteillä aineilla γ on kolminkertainen α :aan verrattuna. Lämpötilakerroin kasvaa lämpötilan noustessa ja ABS-muovilla se on $7 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ lämpötilan ollessa välillä $20\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$. (Seppälä 2005, 106–107.)

Amorfisilla muoveilla, joihin ABS kuuluu, ei ole tarkkaa sulamispistettä vaan puhutaan lasiutumislämpötilasta (T_g). Lasiutumislämpötilan alapuolella muovi on jäähmettyneenä, kova ja lasimainen, ja yläpuolella joustavaa – kumimaista. Lasiutumislämpötilaa voidaan käyttää amorfisilla muoveilla korkeimpana käyttölämpötilana. (Kurri ym. 2002, 60.)

Vicat-pehmenemislämpötila määritetään testillä, jossa levymäistä koekappaletta lämmitetään nesteessä ja päälle tuetaan poikkileikkauspinta-alaltaan 1 mm^2 :n neula. Neulaa kuormitetaan 1 kg:n (menetelmä A) tai 5 kg:n (menetelmä B) massalla ja mitataan lämpötila, missä neula on uponnut 1 mm:n syvyyteen koekappaleeseen. ABS-muoville saadaan menetelmällä B arvot $85\text{--}105 \text{ }^\circ\text{C}$. (Seppälä 2005, 62.)

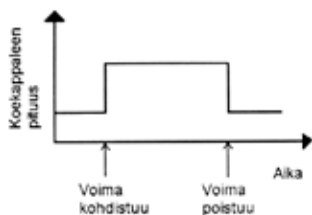
Taipumislämpötilan (HDT, heat deflection temperature) testaaminen muistuttaa puun kolmi-pistetäivutuslujuustestiiä. Koekappale tuetaan päistä ja lämmitetään nestehauteessa. Koekappaleen keskikohtaa kuormitetaan voimalla, joka saa aikaiseksi $11,8 \text{ N/mm}^2$ (menetelmä A) tai $0,45 \text{ N/mm}^2$ (menetelmä B) taiputusjännityksen. Kun kappale on saavuttanut standardin mukaisen taipumanarvon, mitataan lämpötila. ABS:n taipumislämpötila menetelmällä A vaihtelee 85 ja $110 \text{ }^\circ\text{C:n}$ välillä. (Seppälä 2005, 62–63.)

ABS-muovin lämmönjohtavuus λ on $0,33 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, kun vastaava arvo raudalla on 60 ja kuivalla puulla $0,11\text{--}0,14$. Muovin palonkestävyysominaisuuksia tutkitaan testeillä, jotka mittaavat sytymisherkkyyttä, palamista ja palon leviämisenopeutta sekä savun ja palokaasujen muodostusta. Testejä on erilaisia riippuen muovilaadusta ja käyttötarkoituksesta. ABS-muovin palonkesto on heikko, ja se palaa liekistä poistettunakin. (Seppälä 2005, 109–110)

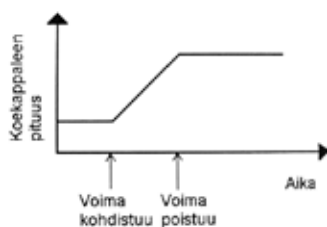
Palo-ominaisuuksia voidaan käyttää muovien tunnistamiseen palokokeessa. Palaessaan ABS-muovi kuplii ja siitä lähtee mustia nokihiutaleita ja savua. Savun haju muistuttaa styreenia ja kanelia ja on epämiellyttävä. Savukaasujen pH-arvo saadaan määritettyä kastelemalla pH-paperi veteen ja viemällä se savuun. Paperin väri muuttuu happamasta punaiseksi ja emäksisestä siniseksi. ABS-muovilla pH on neutraali, kuten muoveilla yleensä. Muita tunnistusmenetelmiä ovat liukoisuuden tutkiminen ja tiheyden määrittäminen. ABS:n liukoisuudesta ja kemikaalienkestosta on taulukko liitteenä (LIITE 1). (Kurri ym. 2002, 65–66, 230.)

4.3.2 Mekaaniset ominaisuudet

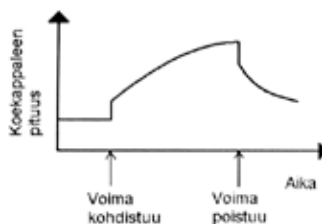
Voiman aiheuttamat muodonmuutokset kappaleeseen voivat olla pysyviä tai palautuvia riippuen muovityypistä, voiman suuruudesta ja sen vaikutusajasta. Muutosprosessi voidaan jakaa neljään tyyppiin: Hookeen kimmoisuus, viskoosinen juoksu, viskoelastisuus ja kumimainen kimmoisuus (KUVIO 5–8).



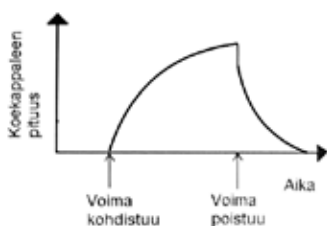
KUVIO 5. Hookeen kimmoisuus – nopea ja palautuva muodonmuutos (Seppälä 2005, 67)



KUVIO 6. Viskoosinen juoksu – muodonmuutos on palautumaton (Seppälä 2005, 67)



KUVIO 7. Viskoelastisuus – muodonmuutos ja palautuminen ovat ajasta riippuvia (Seppälä 2005, 68)



KUVIO 8. Kumimainen kimmoisuus

Muovien mekaanisten ominaisuuksien testaukseen on kehitetty useita menetelmiä, joista yleisimmin käytetty on vetolujuusmittaus. Testillä saadaan määritettyä muovin vetolujuus, vetokimmo-

moduuli, myötö- ja murtoraja. Testissä koekappaletta venytetään vakionopeudella ja seurataan venymiseen vaadittavaa voimaa. Arvoista voidaan laskea vetojännitys eli vetolujuus kaavalla $\sigma = F/A$, jossa σ on jännitys (MPa tai N/mm²), F voima (N) ja A koekappaleen poikkileikkauspinta-ala (mm²). (Seppälä 2005, 69.)

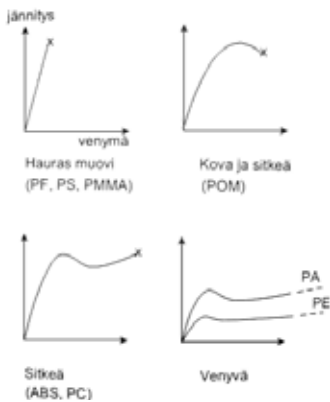
Murtovenymä eli venymä myötörajalalla tai murtumiskohdassa saadaan kaavasta

$$\epsilon = \frac{l-l_0 \cdot 100}{l_0}$$

jossa l_0 on koekappaleen lähtöpituus ja l mittapituus murtumiskohdassa. (Seppälä 2005, 70.)

Projektissa mittausmenetelmää käytettiin viulun venyvyden tutkimiseen ja testit tehtiin Walvetronin laitteistolla, jota ohjattiin tietokoneohjelmalla, mistä myös testitulokset saatiin talteen sähköisessä muodossa.

Vetolujuusominaisuuksien arvoista saadaan jännitys-venymä-käyrä (KUVIO 9), jonka avulla voidaan vertailla eri muoveja keskenään. Käyrältä voidaan lukea kappaleen myötö- tai murtoraja. Myötörajan jälkeen kappaleen venyttämiseen tarvittava voima pienenee havaittavasti ja alkaa syntyä pysyviä muodonmuutoksia, kun taas murtorajalla kappale murtuu suoraan. Koekappaleen suurin saavuttama vetojännitys, voima jolla kappaletta vedetään, vastaa kappaleen vetolujuutta, hauraalla muovilla se on murtorajalla. (Seppälä 2005, 69–72.)



KUVIO 9. Muovien jännitys-venymä-käyriä (Seppälä 2005, 71)

Jännitys-venymä-käyrältä voidaan määrittellä myös kimmomoduuli, joka on käyrän lineaariselle alkuosuudelle piirretyn tangentin kulmakerroin. Kimmomoduuli E_t saadaan kaavasta

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

jossa σ_1 on vetojännitys (MPa) määritetyn suoran alussa, σ_2 vetojännitys suoran lopussa ja vastaavasti ϵ_1 venymä suoran alussa ja ϵ_2 venymä suoran lopussa. Venymä voidaan ilmoittaa prosentteina tai ilman yksiköitä. Kimmomoduulia määritettäessä tangentti piirretään kuvaajassa venymävälille 0,05–0,25 % ja testissä käytetään vetonopeutta 1 mm/min. (Kurri ym. 2002, 191; Seppälä 2005, 72.)

Vetonopeus on tärkeää pitää vakiona, koska eri nopeudet saattavat antaa hyvin erilaisia tuloksia. Standardinmukaisia vetonopeuksia on yhdeksän, alkaen yhdestä mm/min aina viiteensataan mm/min saakka. Toinen testeihin vaikuttava tekijä on lämpötila, joka on yleensä suhteellisen vakio, kun testit tehdään huoneenlämpötilassa. Suuremmissa lämpötiloissa muovi alkaa joustaa pienemmällä vetovoimalla enemmän. (Seppälä 2005, 73–74.)

Muovien virumista testataan pitkäaikaisella kuormitustestillä, jossa koekappaleeseen kohdistuu vetojännitys, kestoltaan yleensä 1000 tuntia. ISO 899-1:1993 mukaisessa testissä mitataan kappaleen venymä tai aika, jossa kappale murtuu. (Seppälä 2005, 75.)

Muotopuristeita valmistettaessa on hyvä ottaa huomioon muovin mahdollinen elastinen luonne. Muovin puristuslujuutta testataan puristamalla koekappaletta kahden teräslevyn välissä murtumiseen saakka. Testissä otetaan ylös tähän tarvittava voima. Koekappale on mitoiltaan standardin ISO 604:1993 mukainen 50 x 10 x 4 mm tai 10 x 10 x 4 mm. Puristuslujuus saadaan jakamalla voima F (N) koekappaleen alkuperäisellä poikkileikkauspinta-alalla A (mm²). (Seppälä 2005, 76.)

Taivutuslujuustesteihin on olemassa standardi ISO 178:1993. Testissä koekappale asetetaan päistään tukien päälle ja kappaletta kuormitetaan keskeltä. Kuormana käytetään vakionopeudella liikkuvaa pyöristettyä kärkeä. Jos kärki ei olisi pyöristetty, kohdistuisi kuorma kärjen reunoista koekappaleeseen sen taipuessa. (Seppälä 2005, 76–77.)

Taivutuslujuus on jännityksen suuruus kappaleen murtuessa ja jännityksen arvot saadaan kaavasta

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

jossa F on kuormitusvoima, L tukien välimatka, b koekappaleen leveys ja h koekappaleen paksuus. Kun testissä mitataan käytetyn voiman lisäksi venymää, saadaan voima-taipuma-käyrä ja käyttämällä edellistä kaavaa saadaan arvoista jännitys-taipuma-käyrä. (Seppälä 2005, 76–77.)

ABS-muovin iskulujuus on hyvä. Iskulujuutta voidaan testata heiluri-iskukokeella tai pudotusiskukokeella. Heiluri-iskukokeessa koesauva katkaistaan heilurivasaralla, testissä voidaan käyttää lovettuja tai loveamattomia koekappaleita. Iskulujuus saadaan jakamalla katkaisuun kulunut työ (mJ) koekappaleen läpileikkauspinta-alalla (mm²). (Seppälä 2005, 78–79.)

Pudotusiskukokeessa saadaan paremmin käytännönläheisiä tuloksia, koska siinä kappaleeseen kohdistuvat jännitykset muistuttavat enemmän käyttötilanteissa esiintyviä jännityksiä. Koekappaleiden muoto voi olla melko vapaa ja tämä mahdollistaa valmiiden tuotteiden testauksen. Standardin ISO 6603-1:1985 mukaisessa testissä koekappale rikotaan pudottamalla tunnettu paino tietyltä korkeudelta. Testiä on kehitetty tekniikan parantuessa ja ISO 179-2:1997 sekä ISO 6603-2:1989 standardit antavat ohjeet voima-anturilla ja tallentavalla mittalaitteistolla varustettujen testien suorittamiseen, jossa voidaan seurata murtumaprosessissa vaikuttavien voimien ja energian muutoksia ajan suhteen. (Seppälä 2005, 80–81.)

Muovien kovuutta, eli kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia, kuten painaamia pysyvän kuormituksen alaisena, mitataan painamalla koekappaleen pintaa kovalla kappaleella tietyllä voimalla ja määrätyn ajan. Pintaan muodostuneen painauman koko tai syvyys mitataan. Eri kovuustesteissä pintaa painavan kappaleen muoto ja koko vaihtelevat. Shore D -mittauksessa käytetään kojetta, jossa on neula painimena. Neula on kiinni kalibroidussa jousessa, jonka liike muutetaan mittarissa olevan viisarin liikkeeksi. Shore D -mittauksessa saadut arvot ovat yksiköttömiä. (Seppälä 2005, 82–84.)

4.3.3 Kosteusominaisuudet

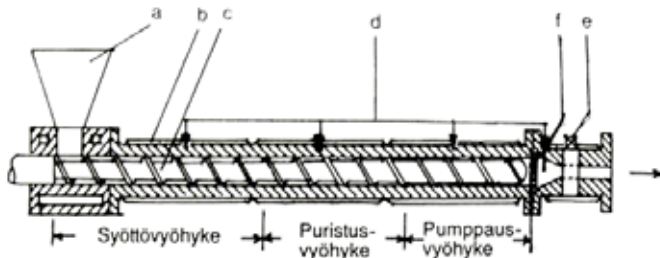
Kestomuovit voivat imeä itseensä pieniä määriä vettä kosteissa olosuhteissa. Vesi voi turvottaa muovia ja alentaa vetolujuutta sekä iskusitkeyttä, kun taas murtovenymä ja sähkönjohtavuus kasvavat veden vaikutuksesta. Veteen upotettuna ABS-muovi imee itseensä vain yhden prosentin vettä. (Kurri ym. 2002, 61.) Näin pienellä vesimäärällä ei ole oleellista vaikutusta ABS:n ominaisuuksiin.

Liitteenä (2) on englanninkielinen taulukko ekstruusiossa käytettävien eri ABS-muovilaatujen ominaisuuksista. Taulukko on jaettu kuuteen osaan: fyysiset, mekaaniset, sähköiset, termiset, optiset ja prosessi ominaisuudet. Taulukon arvot on laskettu useista eri muovilaaduista.

4.4 Levyjen valmistus

ABS-levyjä valmistetaan ekstruusiolla eli suulakepuristamalla. Ekstruusiossa muoviraaka-aine sulatetaan, sekoitetaan mahdollisten lisäaineiden kanssa homogeeniseksi massaksi ja puristetaan suulakkeen läpi. (Tammela 1990, 342; Seppälä 2005, 261.)

Ennen ekstruusiota kestmuovi on kuivaseoksena tai rakeisessa muodossa eli granulaattia. Kuivaseos on polymeerijauhetta, johon on sekoitettu nestemäiset aineosat, niin ettei muodostu vielä valmista muovia. Kuivaseoksesta valmistetaan granulaattia tai valmiita tuotteita. Granulaatti

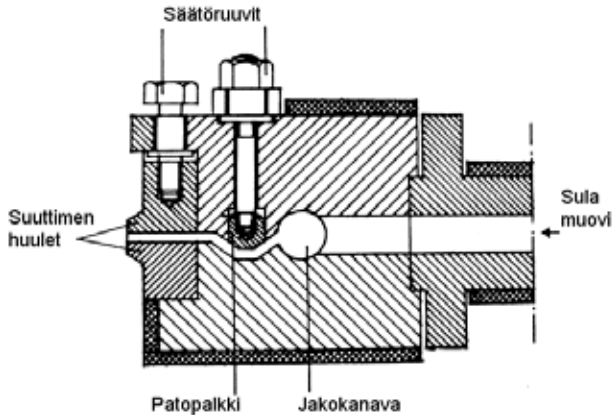


KUVIO 10. Suulakepuristimen rakenne (Tammela 1990, 344)

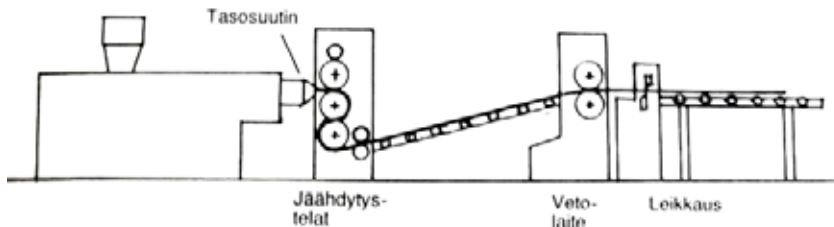
on yleensä muodoltaan pyöreää tai sylinterimäistä pientä rautaa, mikä on sinällään jo valmista muovia. Puolivalmisteita tai valmiita tuotteita tehdessä granulaatti uudelleen muovataan. (Tammela 1990, 343.)

Suulakepuristimia on montaa eri tyyppiä, ja niistä yksiruuvisia käytetään yleensä granulaateista ja moniruuvisia kuivaseoksesta valmistettaviin muoveihin. Suulakepuristimessa granulaatit syö-

tetään sylinteriin, jonka sisällä pyörii ruuvi. Sen aiheuttaman kitkan ja lämpövastusten avulla raemassa sulaa. Ruuvi kuljettaa massaa eteenpäin, samalla sekoittaen ja puristaen sitä kasaan. Sula massa puristetaan profiloituneen suulakkeen läpi, mikä antaa muoville tietyn muodon. Kuviossa 10 on kuvattu suulakepuristimen rakenne: (a) täyttösuppilo, (b) kuunnusvaipe, (c) syöttöruuvi, (d) lämpötilan mittaus, (e) vastapaineen säätöventtiili, (f) sihtilevy. Levyjen valmistuksessa käytetään



KUVIO 11. Levysuuttimen läpileikkaus [Tammela 1990, 362]



KUVIO 12. Muovilevyn valmistus [Tammela 1990, 363]

tetään suulakepuristimessa levy- tai tasosuutinta (KUVIO 11), jonka raon läpi massa syötetään teloille (KUVIO 12). Levy valssataan teloilla sileäksi ja lopulliseen paksuuteen. Tämän jälkeen reunat leikataan ja levy katkaistaan sopivaan mittaan. (Tammela 1990, 343, 362–363; Kurri 2002, 99; Seppälä 2005, 261.)

Polymeerimassa liikkuu ekstruusiossa sulavirtana ja puristuksessa suuttimen läpi tapahtuu polymeeriketjujen orientoitumista. Polymeerimolekyylit järjestäytyvät muovisulan virtaussuuntaan ja tämä lisää muovin kimmomoduulia, veto- ja iskulujuutta orientaation suuntaan. Poikkitaivassuunnassa orientoitumiseen nähden vastaavat ominaisuudet heikkenevät. (Seppälä 2005, 54.)

5 LIIMAUS

Liimaus soveltuu hyvin laajasti erilaisten materiaalien liitostavaksi ja liimaamalla kappaleet yhteen saavutetaan etuja muihin liitostapoihin verrattuna. Liimaliitoksessa jännitysjaakama on tasainen, liittämisen on helppoa, liitos on tiivis ja vahva painoonsa nähden. Lisäksi liimasauma vaimentaa värähtelyä ja liitos on kohtuullisen halpa toteuttaa. (Nevalainen 2008, 58.)

Liimauksen haittapuolena on, että liitosta ei voi purkaa ja liimoissa voi esiintyä haitallisia aineita kuten isosyanaattia. Liitos ei yleensä saavuta lopullista lujuutta välittömästi ja liimaliitoksen kemikaalien kesto voi rajoittaa sen käyttöä (Airasmaa ym. 1991, 254).

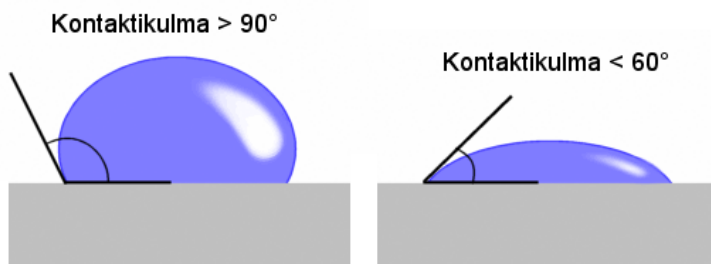
5.1 Liimauksen teoriaa

Kestävä liimasauma muodostuu viidestä onnistuneesta osatekijästä: liiman on kostutettava liimattava materiaali, adheesion ja koheesion on oltava riittävä, liiman on joustettava materiaalien eläessä sekä liiman on kestävä käyttöolosuhteet vanhentumatta (Kuikka & Kunelius 1992, 109).

Adheesio on kahden aineen välillä vaikuttavien vetovoimien vuorovaikutusta (The Columbia Encyclopedia 2008). Adsorptio, diffuusio ja elektrostaattisten voimien yhteisvaikutuksesta liimattavat materiaalit pysyvät yhdessä liimasaumassa. Adheesiota on mekaanista, kemiallista ja sekundääriin sidosvoimiin perustuvaa. Eri materiaaleilla voimien vaikutussuhteet vaihtelevat. Adsorptiossa molekyylien tai atomien välillä vaikuttavat heikot dipolaariset voimat tai Van der Waalsin voimat tai kemialliset kovalenttiset sidokset. Elektrostaattiset voimat johtuvat vastakkain varautuneiden molekyylien ionisidoksista. Diffuusiosta taas aineiden molekyylit pyrkivät sekoittumaan, pitoisuuserot rasoittuvat ja molekyyliketjut takertuvat toisiinsa. (Troughton 2008, 145.)

Diffuusio on voimakkainta, kun liiman ja liimattavan aineen liukoisuudet ovat lähellä toisiaan. Koheesiolla tarkoitetaan aineen sisäistä atomien ja molekyylien välistä vetovoimaa, joka pitää ainetta koossa ja määrää aineen oman lujuuden. Liimalla ja liimattavilla materiaaleilla on jokaisella oma koheesio. (Kuikka & Kunelius 1992; The Columbia Encyclopedia 2008.)

Liima kostuttaa eli leviää liimattavalle pinnalle, kun nestemäisen liiman pintajännitys on pienempi kuin liimattavan materiaalin pintajännitys. Tarkemmin ottaen kiinteillä materiaaleilla voidaan puhua pintajännityksen sijasta pintaenergiasta ja yksikkönä käytetään dyn/cm. Kunnollisen liimasauman saavuttamiseksi liimattavan materiaalin pintaenergia tulisi olla 10 dyn/cm suurempi kuin liiman pintajännitys. ABS-muovin pintaenergia on melko matala 35 dyn/cm. Liiman kostutuskykyä voidaan testata pisarakokeella, jossa liimattavalle pinnalle pudotetaan liimapisara. Jos liimapisara muodostaa alle 60 asteen kulman liimattavan pinnan kanssa, liima kostuttaa hyvin, kun taas yli 90 asteen kulmat viittaavat huonoon kostutuskykyyn. (Rotheiser 2004, 196–197; Troughton 2008, 145–146.) Materiaalin pintaenergiaa voidaan nostaa erilaisilla pintakäsittelyillä, joista kerron Muovin liimaus -luvussa tarkemmin.



KUVIO 13. Pintajännitys vaikuttaa liimapisaran muotoon ja liiman kostutuskykyyn

5.2 Kovettuminen

Kovettumisessa liima muuttaa olomuotoaan nestemäisestä kiinteään. Kovettunut liima voi olla geelimäistä, kumimaista tai kovaa. Kovettumisreaktio ja -tapa vaihtelevat liimatyyppin mukaan. Liimat voidaan jakaa kovettumistavan mukaan:

- kemiallisesti reagoivat, yleensä kaksikomponenttiset liimat kuten epoksi
- kosteuden vaikutuksesta kovettuvat, yleensä yksikomponenttiset, kuten polyuretaani
- anaerobiset, liima kovettuu ilman poissa ollessa, esimerkiksi anaerobiset akryylit
- sulateliimat, liima sulatetaan nesteeksi liimauksessa, esimerkiksi polyamidi (PA) pohjaiset liimat
- UV-kovettuvat, vaativat UV-valoa tai sen aallonpituutta lähellä olevaa valoa kovettuakseen, esimerkiksi UV-kovettuvat akryylit
- kuumakovettuvat, tarvitsevat riittävästi lämpöä kovettumisreaktioon, esimerkiksi yksikomponenttiset epoksit, jotka vaativat yli 120 °C kovettuakseen kunnolla.

Kestomuoviliimoilla kovettuminen tapahtuu sulatetun polymeerin jäähtyessä tai kemiallisesti polymeroitumisreaktiolla. Kertamuoviliimat kovettuvat kemiallisesti polymeeriketjujen ristisilloittuessa, ja muilla liimoilla, kuten syanoakrylaateilla kovettuminen tapahtuu nestemäisten monomeerien polymeroituessa. (Airasmaa ym.1991, 175; Troughton 2008, 149–150.)

Kertamuoviliimoilla kovettamiseen käytetty lämpötila ja aika vaikuttavat liiman lopulliseen olomuotoon ja liitoksen vahvuuteen. Kertamuoviliimoilla sopiva kovettumislämpötila on lasittumislämpötilan alueella. Jos lämpötila on riittämätön, ei kovettumista tapahdu laisinkaan. Riittävä lämpötila, mutta lyhyt kovettumisaika, voi johtaa kumimaiseen ja heikkoon liimasaumaan. Liian korkea lämpötila taas hajottaa liimaa heikentäen liiman koheesiota ja näin myös liimasaumaa. (Troughton 2008, 149.)

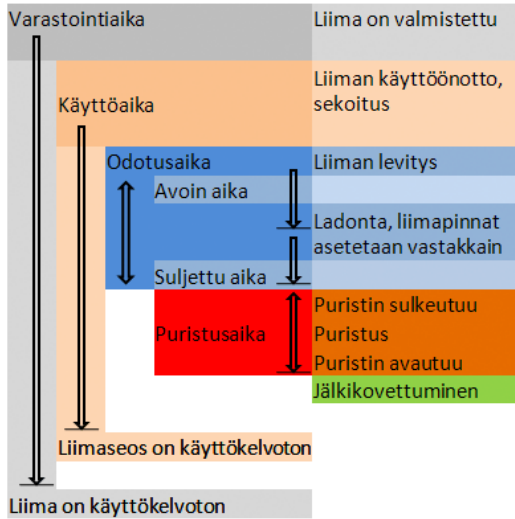
Yleensä liimat vaativat kovetteita tai initiaattoreita kovettumisreaktion käynnistämiseen. Heikot emäkset ja anioniset funktionaaliset ryhmät, kuten vesi, amiinit ja amidit, reagoivat liiman kanssa kovettaen sen. Initiaattoreina, eli reaktion käynnistäjinä voivat toimia esimerkiksi happi, peroksidit tai UV-valo, jotka muodostavat vapaita radikaaleja polymeroitumisreaktioon. Joidenkin liimojen kovettamiseen vaaditaan suoloja, happoja tai rikkiä. (Troughton 2008, 150.)

5.3 Liimaukseen liittyviä aikakäsitteitä

Liimoilla varastointiaika kertoo, kuinka kauan liima säilyy käyttökelpoisena suljetussa astiassa, kuivassa ja viileässä tilassa. Käyttöaika (pot life) lasketaan siitä ajankohdasta alkaen, kun liima otetaan käyttöön eli se on käyttövalmista. Käyttöajan sisällä liima pysyy levitettävässä olomuodossa eli liiman viskositeetti ei kohoa liikaa. (Kuikka ym. 1992, 110–111.) Käyttökä-termin voi johtaa harhaan, koska sitä näkee käytettävän kahdessa eri merkityksessä liimaukseen liittyen. Toisinaan käyttöiällä tarkoitetaan käyttöaikaa ja toisinaan se rinnastetaan varastointiaikaan.

Myös avoin aika -käsitteellä näkee välillä kahta merkitystä. Yleensä se kertoo, kuinka kauan liiman levityksen jälkeen on aikaa asettaa liimattavat pinnat yhteen, ei siis vielä puristaa pintoja. Kun taas toisinaan sitä käytetään nimenomaan kuvaamaan levityksen ja puristuksen välistä ai-

kaa, josta käytetään myös termiä odotusaika. Suljettu aika puolestaan kuvaa liimapintojen liittämissä jälkeistä aikaa ennen puristamista. Tästä ajasta käytetään joskus myös termiä suljettu avoin aika. Avoin ja suljettu aika muodostavat yhdessä odotusajan. Käsitteiden selkeyttämiseksi on termeihin liitetty aikanuoret kuviossa 14.



KUVIO 14. Liimauksessa aikaan liittyviä käsitteitä

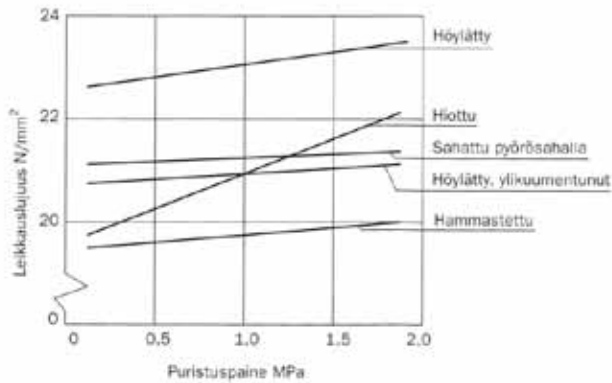
5.4 Puun liimaus

Liiman on oltava nestemäisessä muodossa, jotta se leviäisi ja tunkeutuisi puuhun. Puun pinnassa on työstön jäljiltä irtonaista puuainesta, jonka läpi liiman on tunkeuduttava ehjään puuhun. Liiman levitessä se työntää tieltään ilma- ja kaasumolekyylit ja saattaa näin kiinteät pinnat kosketuksiin. Puristuspainetta on oltava tarpeeksi, että puun ja liiman molekyylit pääsevät riittävän lähelle toisiaan ja sekundääriset voimat pääsevät vetämään molekyylejä yhteen. Puun selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini sisältävät hydroksyyliiryhmiä joiden kanssa liimojen polymeeriset isosyanaatit voivat reagoida (Koponen 1990, 27–28; Gum, Riese & Ulrich 1992, 587.)

Liiman viskositeetti, juoksevuus, on oltava sopiva, jotta liima tunkeutuisi riittävästi puuhun, mutta ei liiaksi. Liimaa on jäätävä riittävästi puun pinnalle kestävän liimasauman muodostamiseksi. Lämpö alentaa liiman viskositeettia, ja tästä syystä erityisesti kertamuoviliimoilla on liiallisen imeytymisen vaara, kun viskositeetti alenee voimakkaasti puristuksen alkuvaiheessa. Huokoisilla puulajeilla on käytettävä sakeaa, korkeaviskositeettista liimaa, koska imeytyminen on runsaampaa huokoiseen puuhun. Oksa-, kasvuhäiriö- ja vikakohdissa huokoisuus vaihtelee normaaliin puuhun verrattuna. Myös pinta- ja sydänpuun sekä kevät- ja kesäpuun välillä on eroja, liima imeytyy huokoiseen kevätpuuhun enemmän. (Koponen 1990, 28.)

Ohutta viilua liimattaessa ei kuitenkaan synny yhtä suuria jännityksiä kuin massiivipuuta liimattaessa. Viilut kuivataan käyttökohteen mukaan 5–12 %, kun liimauksen kannalta optimikosteus on 5–15 %. Liiman sisältämää kosteutta voidaan vähentää pidentämällä liimauksen avointa aikaa. (Kuikka & Kunelius 1993, 114–115.)

Liimaus olisi parasta suorittaa aina mahdollisimman pian työstön jälkeen, koska puunpinta kerää ilmasta epäpuhtauksia, jotka heikentävät liimaustulosta. Paras liimaustulos saadaan höylätylle, sileälle puupinnalle, kun taas hiotussa pinnassa on enemmän irtonaista puuainesta, mikä heikentää liimasaumaa. Työstössä kuumentunut tai palanut pintakerros on heikkoa ja tästä syystä huonoa liimata. Epätasainen työstöjälki taas vaatii paksun liimasauman. Yleensä liimasauma on sitä lujempi, mitä ohuempi se on. (Kilpeläinen 1989, 27; Kuikka & Kunelius 1992, 115–116.) Kuviossa 15 on kuvattu liimasauman leikkauslujuuden suhdetta puristuspaineeseen ja pinnan työstötapaan.



KUVIO 15. Puupinnan työstön ja puristuspaineen vaikutus liimasaumaan (Kuikka & Kunelius 1992, 116)

Puuliimat sisältävät liuotteita, jotka haihtuvat liiman kovettuessa, ja tämä aiheuttaa liimasaumassa voimakasta kutistumista ja edelleen jännityksiä. Paksuissa saumoissa kutistumista vähennetään käyttämällä kuiva-ainepitoisia ja vähän liuotetta sisältäviä liimoja. (Kilpeläinen 1989, 91.)

Puu ja muovi laajenevat lämpötilan noustessa. Lämpölaajeneminen vaikuttaa liimaliitoksen lujuuteen käytettäessä kuumapuristusta. Hyvän lopputuloksen kannalta olisi parasta, että muovi, puu sekä liima laajenesivat lämmön vaikutuksesta samalla tavalla. Muovin lämpölaajeneminen on kuitenkin noin kaksinkertaista puuhun verrattuna. Jännityksiä voidaan vähentää valitsemalla liima, jonka lämpölaajenemiskerroin on liimattavien materiaalien arvojen välissä (Nevalainen 2008, 62).

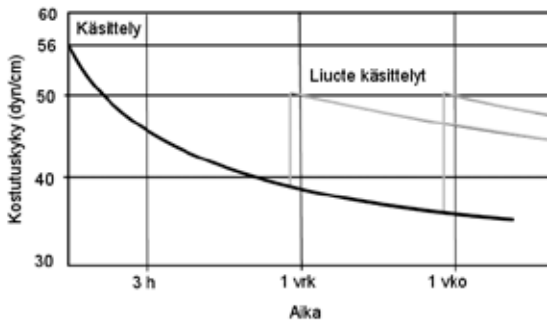
5.5 Muovin liimaus

Muoveja voidaan liimata kovettuvilla, jähmettyvillä ja liuotinliimoilla. Liuotinliimat liuottavat muovia ja liimaus perustuu muovien osittaiseen liukenemiseen toisiinsa. Liuotinliimat soveltuvat vain samojen materiaalien liimaamiseen keskenään. ABS-muovin liuotinliimaamiseen käytetään liuottimena trikloorieteeniä tai metyylietyyliketonia (MEK). Liuottimet ovat myrkyllisiä, ja niitä on käsiteltävä turvallisuusohjeiden mukaisesti ja haittavaikutukset on estettävä. Kovettuvilla liimoilla voidaan liimata eri muovityyppejä keskenään sekä muita materiaaleja muoviin. Kovettuvassa liimassa liima sitoo materiaaleja toisiinsa ja kovettuminen tapahtuu kemiallisesti. Kovettuvia liimoja ovat epoksipolyesteri-, uretaani- ja syanoakrylaattipohjaiset liimat sekä anaerobiset pikaliimat. (Kurri ym. 2002, 182; Nevalainen 2008, 58–61.)

ABS-muovin ja puun liimaamiseen soveltuvia liimoja ovat Rotheiserin (2004, 216, 221) mukaan nitrilipohjaiset elastomeeriliimat, akryyli kertamuoviliimat sekä vesipohjaiset emulsiot. Lisäksi polyuretaanit ja akryyli dispersiot voivat soveltua ABS:n liimaamiseen (Koponen 1990, 80).

Muoveja liimattaessa niiden pinnat on hyvä puhdistaa rasvoista ja muusta liasta ABS voidaan puhdistaa ketoniliuottimella. Sileiden pintojen liimattavuutta voidaan parantaa karhentamalla pinta mekaanisesti, hiekkapuhaltamalla tai karhennuskankaalla. Hiekkapuhalluksessa hionta-aineena voidaan käyttää alumiinioksidia, teräshiekkaa, kvartsihiekkaa tai lasihelmiä. Lisäksi puhallusilman tulee olla öljytöntä ja vedetöntä. Hiontanopeus ei saa olla liian suuri, jotta hiottava aine ei sula. (Kurri 2002, 181.)

Pinta voidaan myös syövyttää natriumbikarbonaatti-rikkihappoliuoksella. Muita menetelmiä ovat plasma-, koronakäsittely ja terminen pintakäsittely. Näissä menetelmissä muovin pinta hapettuu, mikä edesauttaa liimattavuutta. Termisessä pintakäsittelyssä muovin pintaa poltetaan happipitoisella liekillä, kun taas koronakäsittelyssä hapettuminen saadaan aikaan sähköisesti katalyysillä. Plasmakäsittelyssä materiaalin pinta käsitellään plasmalla, mikä saa muutoksia aikaan kappaleen pinnassa. Liimaus on hyvä suorittaa mahdollisimman pian pintakäsittelyn jälkeen, koska pinnalle alkaa kerääntyä välittömästi käsittelyn jälkeen epäpuhtauksia ympäröivästä ilmasta. Myös muovista itsestään kulkeutuu aineita pinnalle, jotka alentavat pintakäsittelyn hyötyvaikutuksia. Kuten kuvioista 16 nähdään, muutokset pintaenergiassa voivat olla lyhytkestoisia, mutta pinnan käsittely liuottimella voi palauttaa vaikutuksen suurelta osin entiselleen. (Airasmaa ym.1991, 257–258; Kurri ym. 2002, 181–182; Rotheiser 2004, 202–204.)



KUVIO 16. Koronakäsittelyn vaikutus pintaenergiaan ajan suhteen (Rotheiser 2004, 204)

5.6 Liiman ominaisuudet

Liiman tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kuiva-ainemäärä, viskositeetti, kosteusominaisuudet, happamuus (pH-arvo), käyttöikä, kovettumislämpötilä, kovettumisaika sekä adheesiovoima.

Liuosliimat koostuvat liuottimesta ja kuiva-aineesta. Sauman kuivuessa liuotin haihtuu ja kuiva-aine muodostaa yhdistävän liimasauman. Liimasauma kutistuu kuivuessaan sitä enemmän, mitä pienempi kuiva-ainemäärä liimassa on. Kutistuminen aiheuttaa saamaan jännityksiä. (Kuikka & Kunelius 1992, 117.)

Viskositeetti kuvaa liiman juoksevuutta, ja se vaikuttaa adheesioon sekä levitystapaan. Puuliimoilla viskositeetti on 100–20000 mPas.

Liiman happamuus vaikuttaa etenkin kemiallisesti kovettuvissa liimoissa niiden kovettumiseen. Liimauksen kannalta paras liiman happamuus on lähellä neutraalia. Joidenkin liimojen kovetteet saattavat sisältää niin voimakkaita happoja, että ne vahingoittavat puupintaa. Puu on pH-arvoltaan hieman hapan ja kestää kuitenkin yleensä hyvin happoja. (Kuikka & Kunelius 1992, 118.)

5.7 Liimausvirheet

Liimausvirheet voivat johtua liimattavissa kappaleissa olevista virheistä, liimasta tai tuotteen valmistusvaiheessa tehdystä virheistä. Liimasta johtuvat virheet syntyvät yleensä, kun liimaa ei ole varastoitu oikein tai sitä ei ole sekoitettu kunnolla tai liimaa on muuten käytetty väärin. Suurin syy virheisiin ovat liimausolosuhteet ja liimaustekniikka, usein käytetään myös vääränlaista liimaa. (Kilpeläinen 1989, 93.)

Viilua liimattaessa voi ilmetä halkeilua, liiman läpilyöntiä ja liimattu tuote voi vääntyillä. Jos viilu on liimattu vain kappaleen toiselle puolelle, taipuu kappale lämpö- ja kosteusvaikutusten seurauksena. (Kilpeläinen 1989, 97.)

5.7.1 Liiallinen imeytyminen

Liima voi imeytyä liikaa puuhun, jos liimattava puu on liian kostea, liima ohutta ja kuiva-ainemäärä vähäinen. Jos seisotusaika liiman levityksen ja puristuksen välillä on lyhyt tai liima on hitaasti kovettuvaa, ei liimasta ehdi haihtua tarpeeksi kosteutta ennen puristamista. Kostea liimasauma ja liian suuri puristusaine aiheuttavat liiallista imeytymistä. (Kilpeläinen 1989, 94.)

5.7.2 Paksu liimasauma

Yleensä liiman levityksessä joudutaan käyttämään suurempia levitysmääriä kuin lujuuden kannalta olisi välttämätöntä. Tämä vaikuttaa liitoksen lujuuteen alentavasti ja nostaa kustannuksia. Liimasaumasta tulee paksu, kun liitettävät pinnat ovat epätasaisia ja liimauspaine on pieni. Pitkillä seisotusajoilla liimaa ehtii imeytyä ja kovettua enemmän kuin lyhyillä ja tarvitaan suurempia levitysmääriä. Liima ei imeydy riittävästi liian kuivaan viiluun ja tästä voi olla seurauksena paksu liimasauma. Myös liian nopea kovete voi johtaa paksuun liimasaumaan. (Kilpeläinen 1989, 94.)

5.7.3 Virheet puristuksessa

Puristuksesta johtuvat virheet voivat syntyä liian pienestä, liian suuresta tai epätasaisesta puristuksesta sekä lyhyestä puristusajasta. Pienellä puristusaineella liima ei tunkeudu kappaleisiin riittävästi ja liimasauma jää paikoin auki. Tämän voi havaita siitä, että jos liima on levitetty vain toiselle liimattavista pinnoista, jää toinen pinta osin kostuttama ja sileäksi. Samoin voi tapahtua liiman kuivuessa tai kovettuessa ennen puristusta. Liian korkealla puristusaineella liima imeytyy liiksi puuhun ja liimaa ei jää riittävästi yhtenäisen liimasauman muodostamiseen. Liian lyhyt puristus aika ei riitä liimasauman muodostukseen ja liitos jää heikoksi. Esimerkiksi kestopuuviliimoilla, kuten PVAc, liimasauma ei saavuta riittävästi lujuutta lyhyellä puristusajalla ja sauma antaa myöten. (Kilpeläinen 1989, 95–96.)

5.7.4 Liiman esikovettuminen ja kuivuminen

Liiman esikovettumiseen ja kuivumiseen on monia syitä. Liian aikaista esikovettumista tapahtuu, kun liiman levitysmäärä on pieni, liimausaika on pitkä, kovete on liian nopea, työtilan tai liimattavan pinnan lämpötila on korkea. Kuivumista aiheuttaa edellä mainittujen syiden lisäksi pitkä avoin aika, epätasaisesti sekoitettu liima, liian suuri viskositeetti, epätasainen levitys, kuiva puu ja työtilan ilma sekä matala puristusaine. (Kilpeläinen 1989, 96.)

Kovettuminen voi jäädä myös vaillinaiseksi. Syynä tähän voi olla mm. kovetteen huono sekoittuminen liimaan, liian vähäinen kovetemäärä tai alhainen kovettumislämpötila. (Kilpeläinen 1989, 97.)

5.8 Ympäristötekijöiden vaikutus liimasaumaan

Liimasauma ja liimattavat materiaalit joutuvat käyttöympäristössään alttiiksi kemiallisille, fysikaalisille ja biologisille ympäristövaikutuksille. Kemiallisia ympäristötekijöitä ovat vesi, hapot, emäkset, happi ja otsoni. Fysikaalisia taas ovat lämpö ja säteily sekä biologisia sienet ja bakteerit. Ympäristötekijöiden vaikutuksesta puu, muovi- ja liimapolymeerit vanhenevat, ja niiden ominaisuudet heikkenevät. (Kilpeläinen 1989, 97.)

Lämmön vaikutusta liimasaumaan voidaan tutkia samoilla lujuustesteillä kuin mitä käytetään normaaleille koekappaleille. Tällöin lämmitettyjen koekappaleiden lujuustestituloksia verrataan normaalilämpötilassa testattujen koekappaleiden tuloksiin. Liiman lämmönkestävyyttä kuvaa liiman pehmenemislämpötila. (Kilpeläinen 1989, 97–98.)

Liima hajoaa hydrolyytisesti veden, happojen ja emästen vaikutuksesta. Hydrolyysi on kemiallinen reaktio, jossa ainetta hajoaa tai sen rakenne muuttuu veden vaikutuksesta. Hydrolyysiä nopeuttavat lämpötilan nousu ja happamat sekä emäksiset olosuhteet. (Kilpeläinen 1989, 98; Eionet – European Environment Information and Observation Network 2010.)

6 SOVELTUVAT LIIMATYYPIT

6.1 Epoksiliimat

Epoksiliimat soveltuvat useiden materiaalien, kuten teräksen, alumiinin, lasin, puun, betonin ja monien muovityyppien liimaukseen. Epoksiliimat voivat olla yksi- tai kaksikomponenttisiä, ja niitä valmistetaan pastoina, filmeinä, jauhoina ja nesteinä. Epokseja voidaan liimata käyttöympäristön lämpötilassa tai kohotetuissa lämpötiloissa, jolloin kovettuminen yleensä nopeutuu. Kuumakovettuvat epoksit kestävät hyvin kemikaaleja, kosteutta ja korkeita lämpötiloja. Epoksit soveltuvat erityisesti jäykkien materiaalien liimaamiseen, koska liimasaumasta tulee yleensä jäykkä ja sillä on hyvä vetolujuus. Kaksikomponenttisiä epokseja voidaan valmistaa myös joustavien kappaleiden liimaamiseen. (Gum, Riese & Ulrich 1992, 692–703.)

Epoksiliimat ovat polymeerejä, joilla on epoksiryhmä funktionaalisenä ryhmänä. Yleensä epoksiliimat sisältävät kaksi epoksiryhmää molekyyliketjun molemmissa päissä, mutta myös useamman epoksiryhmän sisältäviä liimoja on. Epoksit kovettuvat amiinien, tai harvemmin happoanhydridien, liittymisreaktiossa epoksiryhmiin. Kovettumisreaktiota voidaan nopeuttaa lämpötilan nostolla tai katalyytillä. Esikovetuksessa liima lämpökäsitellään samassa tai korkeammassa lämpötilassa kuin mitä tuotteen liimasauman tulee kestää ja näin parannetaan kestävyyttä sekä vähennetään jännitteitä, lämpölaajenemista ja haihtuvien aineiden määrää liimasaumassa. (Troughton 2008, 154.)

Epoksit silloittuvat kovettuessaan muodostaen vahvoja sidoksia. Vapaat polaariset hydroksyyli-ryhmät (-OH) mahdollistavat epoksin liimauksen polaarisin pintoihin. Myös epoksin kovetuksessa käytettävät amiinit lisäävät sidoksen lujuutta. Amiinit kutistuvat vain vähän liimauksessa ja kovettumisessa ei synny sivutuotteita, jotka voisivat vaikuttaa liimasaumaan. (Gum ym. 1992, 692–704.) Muita käytettäviä kovetteita ovat amidit, polysulfaatit ja happoanhydridit. Epoksit ja niiden liuotteet, kuten amiinikovetteet, ovat myrkyllisiä ja aiheuttavat yliherkkyyttä, kovettuessaan liima muuttuu kuitenkin myrkyttömäksi. (Airasmaa ym. 1991, 176; Gum ym. 1992, 696–699.)

6.1.1 Huoneen lämpötilassa kovettuvat kaksikomponenttiset epoksiliimat

Kaksikomponenttiset, huoneen lämpötilassa kovettuvat, epoksit koostuvat epoksimonomeerista ja alifaattisesta amiinikovetteesta. Aineet ovat erillisissä säiliöissä, ja niiden olomuoto vaihtelee nesteistä pastoihin. Komponentit sekoitetaan ennen liimausta, ja ne reagoivat keskenään. Kaksikomponenttisillä epokseilla käyttöikä on liima-aineiden sekoituksen jälkeinen aika, jossa liiman viskositeetti nousee, kunnes liima ei ole enää levitettävissä, ja se vaihtelee minuuteista tunteihin. (Troughton 2008, 154.)

Kovettumisaika joissakin sovelluksissa on vain muutamia minuutteja, mutta rakenneliimoissa yleensä 8–12 tuntia ja lopullinen liimasauman lujuus saavutetaan vasta 2–7 päivässä. Tavallisesti huoneenlämpötilassa kovettuvat epoksit esikovetetaan tunnin verran 100 °C:ssa tai 4–6 tuntia 60 °C:ssa. Esikovetus ei kuitenkaan yleensä paranna liiman huonoa liuotteiden kestoja ja heikohkoa lujuutta etenkin yli 50 °C:n lämpötiloissa. Huoneenlämpötilassa kovettuvat epoksit voivat muodostaa hauraan liimasauman, jolla on hyvä repimis- ja kuorimislujuus. Lämmönkestävyys vaihtelee 50 ja 105 °C:n välillä riippuen kovettumisaineesta ja -lämpötilasta sekä esikovetuksesta. (Troughton 2008, 154.)

6.1.2 Kaksikomponenttiset kuumakovettuvat epoksiliimat

Kuumakovettuvilla epoksiliimoilla käyttöaika on pidempi kuin huoneenlämpötilassa kovettuvilla ja se vaihtelee kahdesta tunnista useaan päivään. Kovettumislämpötila riippuu kovetteesta: sykloalifaattisilla amiineilla enintään 120 °C, aromaattisilla amiineilla enintään 160 °C ja anhydrideillä korkeintaan 250 °C. Kuumakovettuvat epoksit kestävät liuotteita paremmin, ja ne ovat lujempia kuin huoneenlämpötilassa kovettuvat. Kovettuneet liimat ovat yleensä jäykkiä, ja niiden lasittumislämpötila on 100–200 °C. Heikon kuorimislujuuden takia lujittamattomia liimoja ei suositella käytettäviksi materiaalien välillä, joilla on hyvin erilaiset lämpölaajenemiskertoimet. Lujitteilla ja plastisoijilla (joustavuutta lisäävä aine) voidaan lisätä liiman kuorintalu-

juutta, samalla kuitenkin alenee korkeiden lämpötilojen kesto. Epoksin kanssa osittain soveltuvaa kumia voidaan lisätä epoksin sekaan ennen kovettamista lujisuuden lisäämiseksi. Epoksi-kumiseos muodostaa kovettuessaan osittain joustavan verkkorakenteen. Kumilujitteisia epokseja käytetään lentokoneiden rakenteissa. (Troughton 2008, 154–155.)

6.1.3 Yksikomponenttiset epoksiliimat

Yksikomponenttisia epoksiliimoja valmistetaan matalan sulamispisteen omaavista epoksipolymeereista ja korkeaa kovettumislämpötilaa vaativista kovetteista tai katalyyteistä yhdistämällä ne keskenään. Korkeissa lämpötiloissa kovettuvat kiinteät epoksit voidaan säilyttää huoneenlämpötilassa, mutta matalammissa lämpötiloissa kovettuvat vaativat yleensä jääkaappisäilytystä. Yksikomponenttisillä liimoilla liimasaumasta saadaan jäykkä ja vahva, mutta kuorintakestävyys on heikko liiman joustamattomuuden takia. (Troughton 2008, 155.)

6.2 Polyuretaaniliimat

Polyuretaaneilla on monia käyttösovelluksia, koska lähtöaineita ja niiden suhteita muuttamalla sekä lisäaineilla voidaan liiman ominaisuuksia säätää laajasti. Polyuretaanit muodostavat yleensä joustavan ja sitkeän liimasauman. Yksikomponenttiset liimat kovettuvat kosteuden vaikutuksesta ja monet kaksikomponenttisistä huoneenlämmössä. Uudet kaksikomponenttiliimat kovettuvat nopeasti, joten ne on levitettävä välittömästi sekoittamisen jälkeen liimattaville pinnoille. (Airasmaa ym. 1991, 177–178; Gum ym. 1992, 704.)

Polyuretaaneja valmistetaan polymeroimalla isosyanaatteja ja polyoleja keskenään. Reaktiossa käytetyimpiä raaka-aineita ovat toluenei-di-isosyanaatti (TDI), dife-nyylimetaani-di-isosyanaatti (MDI) ja polyoleista polyeetterit ja polyesterit. TDI:tä käytettäessä liimasta tulee matalaviskositeettinen, ja se soveltuu joustaville materiaaleille. MDI:llä saadaan korkea lämmönkesto ja kestävyttä liimasaumaan. Polyesterillä saadaan korkeampi lämmönkesto ja vetolujuus kuin polyeetterillä, mutta vastaavasti joustavuus matalissa lämpötiloissa sekä emästen ja happojen kesto heikkenevät polyeetteriin verrattuna. Polyeetteripohjaiset polyuretaanit ovat myös halvempia kuin polyesteripohjaiset. (Airasmaa ym. 1991, 177; Gum ym. 1992, 711–712; Troughton 2007, 156.)

6.3 Akryyliiliimat

Akryyliiliimoista tärkeimpiä ovat diesteripolyakrylaatit ja syanoakrylaatit. Diesteripolyakrylaatit ovat anaerobisia liimoja ja syanoakrylaatit kovettuvat kosteuden vaikutuksesta. Akryyliiliimat kovettuvat nopeasti, ja niillä on hyvä leikkauslujuus, mutta ne ovat hauraita. (Airasmaa ym. 1991, 178.)

Akryyliiliimat ovat akrylihappoesterin johdannaisia, jotka sisältävät lyhyt- tai pitkäketjuisia esteereitä ja syaaniryhmiä (-CN). Pitkäketjuiset akrylaatit, kuten metyyliimetakrylaatti, ovat suhteellisen pehmeitä, kun taas lyhytketjuinen butyyliimetakrylaatti on kestävämpi ja jäykempi. Liiman ominaisuuksia saadaan muutettua sekoittamalla pitkä- ja lyhytketjuisia akrylaatteja keskenään. (Troughton 2008, 151.)

Kovettumisreaktio saadaan alkuun orgaanisilla peroxideilla tai aktiivisilla happiyhdisteillä. Peroxit vaativat 60–100 °C lämpötilan, jotta kovettuminen tapahtuisi riittävällä nopeudella. Mata-

lemmilla lämpötiloilla vaaditaan aktivaattoreita ja katalyyttejä polymerisaatioon. Akryylin polymeroituessa se kutistuu voimakkaasti, mikä aiheuttaisi jännityksiä liimasaumaan. Kutistuman vähentämiseksi akryyli liuotetaan akryylimonomeeriin. (Troughton 2008, 151.)

Kovettumisolosuhteet eivät vaikuta lopullisen liiman lämmönkestävyyteen, joka on useilla akryyliliimoilla noin 105 °C. Yhdistämällä akryyliin epoksia saadaan korkeampi lämmönkesto, 149 °C ja ylikin. (Troughton 2008, 151.)

6.3.1 Akryylirakenneliimat

Rakenneliimoja valmistetaan liuottamalla elastomeereja ja kovetusaineita metyylimetakrylaattiin ja muihin monomeereihin. Kovettuminen tapahtuu huoneenlämpötilassa peroxidin avulla. Rakenneliimoina akrylaatit muodostavat vahvoja liitoksia erityisesti muoveihin, ja ne kovettuvat nopeasti, sekä niitä on mahdollista kierrättää muovien kanssa. Haittapuolena ovat melko heikko lämmönkesto sekä mahdollinen jännityssäröily joillakin polymeereillä. (Troughton, M. 2008, 151.)

6.3.2 Toisen sukupolven akryyliliimat

Toisen sukupolven kaksikomponenttisissä akrylaattiliimoissa käytetään liuotettuja polymeerejä vähentämään kutistumista ja lisäämään kestävyyttä. Liima kovettuu kosketuskuivaksi muutamassa minuutissa ja lopullinen kestävyys saavutetaan 4–24 tunnissa. Ohuilla saumoilla, saumapaksuus alle tai 0,5mm, komponentteja ei tarvitse sekoittaa keskenään vaan ne imeytyvät toisiinsa liimauksen puristusvaiheessa, paksummilla saumoilla komponenttien sekoitus on tarpeen. Kovettumista voidaan nopeuttaa kuumakovettamalla liima, normaalisti 149 °C:n lämpötilassa 10 minuuttia. Kuumakovetuksessa liimasaumasta tulee vahva, mutta lämpö laskee liiman viskositeettia ja vaarana on liiman pursuminen paksusta saumasta. (Troughton 2008, 151–152.)

Toisen sukupolven akryyliliimojen etuna on, että komponentteja ei tarvitse välttämättä sekoittaa, kovettuminen tapahtuu huoneenlämmössä ja niillä on hyvä tarttuvuus muoveihin sekä niiden kovettumista voidaan nopeuttaa lämmöllä. Huonona puolena on jännityssäröily ja jäljet liuotekerkillä muoveilla, kuivumattoman liiman epämiellyttävä haju sekä rajoittunut kovettumissyvyys, yleensä 0,76 mm pinnasta. (Troughton, 2008, 152.)

6.3.3 Syanoakrylaattiliimat

Syanoakrylaatit ovat yksikomponenttisia, värittömiä, huoneenlämpötilassa kovettuvia liimoja. Ne muodostavat kovettuessaan jäykkiä kestumouveja ja niillä pystytään liimaamaan metalleja, muoveja, puuta, kumia jne. (Troughton 2008, 152.)

Herkästi muiden aineiden kanssa reagoivat syanoakrylaatti esterit, kuten metyyli- tai etyyli-syanoakrylaatti, kovettuvat anionisen polymerisaation kautta. Hyvin pieni määrä vettä tai amiinia toimii reaktiossa katalyyttinä ja yleensä liimattaviin pintoihin on imeytynyt riittävästi vettä nopeuttamaan reaktiota. Liima kovettuu kumia liimattaessa noin 30 sekunnissa ja muoveilla sekä metalleilla 1–2 minuutissa. Jäykemmillä liimoilla kovettuminen käsittelykestävyyteen vie kauemmin aikaa kuin juoksevilla liimoilla, myös happamat pinnat hidastavat kovettumista. (Troughton 2008, 152.)

Yleiskäyttöön tehtyjen syanoakrylaattien lämmönkesto ulottuu matalissa kosteuksissa noin -54 °C:sta aina noin 82 °C:seen. Etyylisyanoakrylaatti soveltuu enemmän kumin ja joustavien materiaalien liimaamiseen, kun taas metyyliisyanoakrylaatti muodostaa hieman jäykemmän liitoksen kovien muovien ja metallien kanssa. (Troughton 2008, 152.)

Syanoakrylaatit kovettuvat nopeiten ohuina saumoina, <0,5mm. Vaikeasti liimattaville muoveille, kuten fluoropolymeeri, polyolefiini ja asetalihartsit, voidaan käyttää pohjustusainetta. Pohjustusaineet parantavat tarttuvuutta ohuina kerroksina levitettynä. Liima voidaan levittää ohenteen kuivuttua pohjusteesta, kuivuminen kestää kymmenestä minuutista muutamaan tuntiin. (Troughton 2008, 152.)

Syanoakrylaattien koostumusta voidaan muokata parantamaan erilaisia ominaisuuksia. Lisäämällä kumia rakenteeseen saadaan liimalle parempi kuorimislujuus ja iskunkestävyys. Liiman pitkäaikainen lämmönkesto saadaan nostettua muokkaamalla 121 °C:seen. (Troughton 2008, 152–153.)

Syanoakrylaattien hyviä puolia ovat nopea kuivuminen myös huoneen lämpötilassa, liuotteeton koostumus ja laaja valikoima eri viskositeettisia liimoja. Lisäksi suurin osa syanoakrylaateista on yksikomponenttisia, ja niillä on erinomainen repimis- ja leikkauslujuus. Huonoina puolina on heikko kuorimislujuus ja liuotteiden kesto, rajattu täyttävyyttä sekä nopea tarttuvuus ihoon, joten suojakäsineiden käyttö on suositeltavaa. Lisäksi joidenkin polymeerien kanssa voi esiintyä jännitysäröilyä ja niin sanottua pinnan kukkimista. (Troughton 2008, 153.)

7 LIIMOJEN VALINTA JA TESTAUS

Projektissa saatiin asiantuntija-apua liimojen valintaan 3M:n tuotepäälliköltä ja eri liimavalmistajiin oltiin yhteydessä sähköpostilla. Liiman valintaan vaikuttavat monet tekijät: liimattavien materiaalien ominaisuudet, lopputuotteen rakenne ja käyttöympäristö, valmistusprosessi. Koivu on suhteellisen helppo materiaali liimata muiden puulajien kanssa yhteen, samoin kuin ABS on muiden muovityyppien kanssa. Puun ja muovin yhdistäminen liimaamalla on kuitenkin vaikeampaa niiden erilaisten rakenteiden ja ominaisuuksien takia.

Teollisuudessa pyritään nopeisiin läpimenoaikoihin, tuote pyritään saamaan eri valmistusvaiheiden läpi nopeasti vähäisellä odotusajalla. Siksi on tärkeää, että liima kuivuisi, kovettuisi ja muodostaisi riittävän kestävästi liimasauaman ennen seuraavaa työstövaihetta. Muotopuristeiden valmistuksessa liimauksen ja puristuksen jälkeen aihion reunat yleensä työstetään. Jotta valmistus olisi nopeaa, on liiman kovettuva nopeasti ja liimasauaman on kestävä työstön aiheuttama rasitus.

Liiman valinnassa käytettiin seuraavia kriteereitä: nopea liimattavuus ja kovettumisaika, kestävä sidos, riittävä lämmönkesto, vaalea väri ja värjäämätön, riittävän joustava liimasauama. Tärkeimpänä kriteerinä oli liimasauaman riittävä kestävyys, koska liimasauaman päätehtävä on pitää kappaleet yhdessä. Kovettumisaika osoittautui monella liimalla hitaaksi ja etenkin epoksilla liiman väri oli haittaava tekijä. Tumma liima näkyi viulun läpi, pinta tummeni, ja matalaviskositeettisilla liimoilla läpilyönti näkyi selkeästi.

7.1 Testausmenetelmät

Projektin edetessä käytettiin liimasauman testaamiseen erilaisia menetelmiä. Ensimmäisenä tehtiin puustamurtumatestejä sauvakappaleilla. Myöhemmin näistä testeistä luovuttiin, koska niissä rasitus kohdistuu suurelta osin itse materiaaleihin sekä työstössä vahingoittuneelle viilupinnalle saadaan testissä suuri puustamurtumaprosentti ja näin sauman lujuudesta jää väärä kuva. Näiden kokeiden jälkeen käytettiin veto- ja kuorimislujuustestejä, koska ne vastaavat paremmin lopputuotteessa ilmeneviä kuormia ja havainnollistavat selkeämmin liimasauman lujuutta. Lisäksi kolmelle parhaimmin soveltuvalla liimalla tehtiin leikkauslujuustestit.

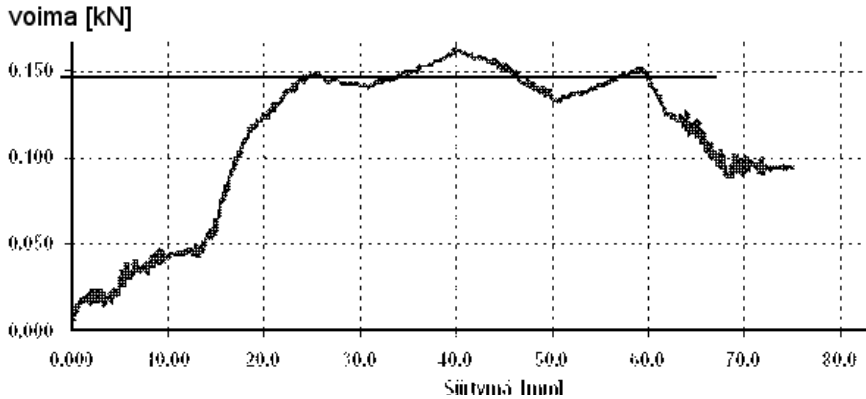
Liimasaumojen testaaminen projektin aikana vaati omien ja standardin mukaisten testimenetelmien soveltamista keskenään, koska testilaitteet, materiaalit ja niiden mitat asettivat omia rajoitteitaan testeihin. Esimerkiksi peeling-testeissä viilu korvattiin vanerilevyllä, koska muuten testikappaleiden kiinnittäminen ei olisi ollut luotettavaa tai ollenkaan mahdollista. Puulaboratorion vetolaitteen kiinnitysleukojen hajottua käytettiin testeissä muovipuolen vetolaitetta. Tässä laitteessa kitaväli oli pienempi ja leukoihin kiinnitettävää vetokojetta jouduttiin muuttamaan. Myös nappitesteihin tehtiin omanlaiset testikappaleet, joista tarkemmin jäljempänä.

Muovin liimattavuuden parantamista testattiin hiomalla ja puhdistamalla muovipinnat. Eri testeissä käytettiin puhdistamattomia ja isopropanolilla puhdistettuja ABS-kappaleita, sekä hiotulla että hiomattomalla pinnalla. Lujuustestejä suoritettiin samana päivänä kuin koekappaleet oli puristettu, ja myös vuorokausi kovettumisen jälkeen.

Jokaiselle liimalle haettiin soveltuva puristusaika ja lämpötila, puristusaine pidettiin suhteellisen vakiona. Kolmen soveltuvimman liiman osalta on tarkemmat liimausohjeet Tulokset -luvussa. Osalla liimoista ABS-muovi kuumennettiin infrapunälämpitintä käyttäen lasittumislämpötilan yläpuolelle ja tämän jälkeen puristettiin koivuviulun kanssa kuumassa puristimessa. Koska muovi oli puristuksessa pehmeässä olomuodossa, piti puristettaessa käyttää rajoittimia tai kehyksiä, jotka estivät muovin pursuamista.

Kaikissa lujuustesteissä käytettiin tietokoneeseen yhdistettyä koelaitteistoa, jossa oli voima-anturit. Testiä ohjattiin tietokoneohjelmalla ja tarvittaessa vetoleukoja sai käytettyä erillisellä manuaaliohjaimella. Ohjelmaan sai määritettyä eri koeparametrit mm. vetonopeuden ja mittaamisen aloitusvoiman. Ohjelma piirsi koetapahtumasta kuvaajan määriteltujen x- ja y-akselien mukaan. Kokeissa käytettiin x-akselina siirtymää (mm) ja y-akselina vetovoimaa (kN). Kuvaajan ja muita mittaustietoja sai tallennettua tiedostoksi. Puustamurtuma- ja nappitesteissä kuvaajasta luettiin voiman huippukohta ja tarkistettiin, että se on sama kuin ohjelman antama erillinen voiman arvo, ja tämä arvo siirrettiin Excel-taulukoihin.

Kuorimislujuustesteissä kuvaajaan ei muodostunut varsinaista yhtä huippua, vaan useita, joista keskimääräinen voima määritettiin silmämääräisesti, piirtämällä vaakasuuntainen viiva arvojen huippujen ja pohjien välille (KUVIO 17). Huippujen ja pohjien sekä piirretyin viivan välille syntyy pinta-aloja, joiden suuruus tulee olla yhtä suuri viivan ala- ja yläpuolella. Siis viivan kohta määritetty pinta-alojen mukaan.

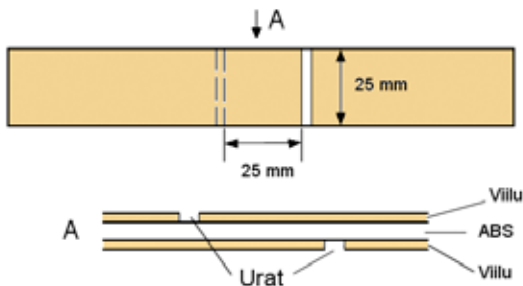


KUVIO 17. Vetovoiman määrittäminen peeling-testeissä

Kokeen päätyttyä testatuista koekappaleista tutkittiin, mistä kohtaa ne olivat murtuneet. Silmäääräisesti katsottiin, kuinka paljon liimauskohtaan oli jäänyt puusta tikkua ja oliko liima tarttunut muoviin.

7.1.1 Puustamurtumatesti

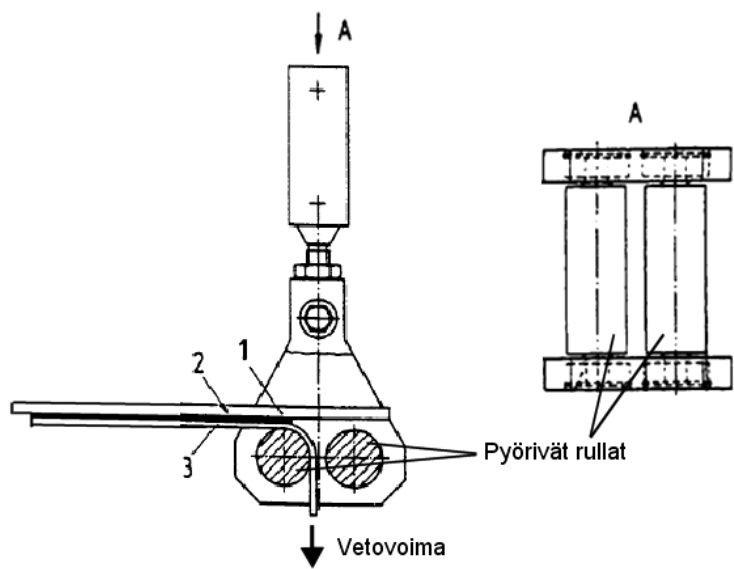
Puustamurtumatestissä tutkitaan leikkauslujuutta syiden suuntaan ja tuloksista tulkitaan puustamurtumaprosentti. Testit tehtiin EN 314-1:1993 -standardia mukaillen. Testeissä jätettiin pois liimatun koekappaleen käsittely keitetystä ja huoneenlämpöisessä vedessä, millä simuloidaan liimasauman ikääntymistä ja pitkäaikaista kosteuden kestävyyttä. Koekappaleet tehtiin standardimittojen mukaan ja seuraavassa kuva mallikappaleesta (KUVIO 18).



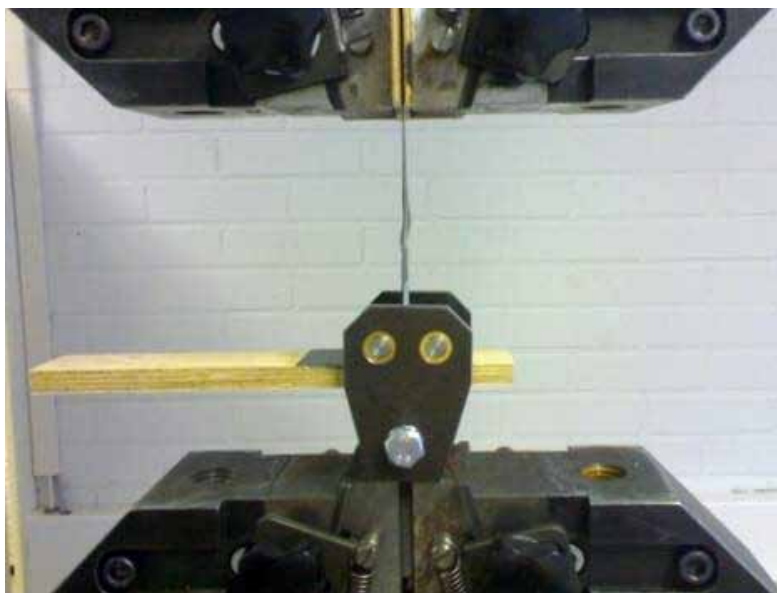
KUVIO 18. Puustamurtumatestin koekappaleen malli

7.1.2 Kuorimisljuustesti (peeling-testi)

Kuorimisljuustesteissä käytettiin ohjeistuksena EN 1372-standardia. Testejä varten koululla valmistettiin standardissa olevien piirustusten pohjalta kuvion 19 mukainen vetokoje, jossa numero yksi on vaneri, kaksi liimasauma ja kolme ABS-muovi. Testikappaleita ei tehty aivan standardimittojen mukaan, vaan kaikilla liimoilla käytettiin keskenään samanlaisia testikappaleita. Näin tulokset pysyivät vertailukelpoisina liimojen kesken. Testikappaleet valmistettiin liimaamalla 2 mm paksu ABS-levy 9 mm paksuun ja 40 mm leveään vanerilevyyn (KUVIO 20). Liimapinta-alaksi muodostui noin 40 x 80 mm suorakaide.



KUVIO 19. Vetokoje ja koekappale

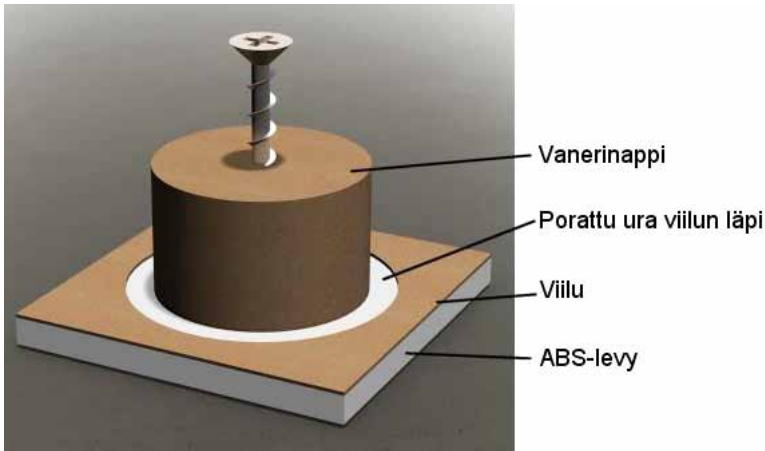


KUVIO 20. Peeling-testeissä käytettiin viulun sijasta koivuvaneria

Novox-muovikalvoa testattaessa kokeiltiin ABS-levyn vahvistamista metalliliuskalla, muovilevyn katkettua testeissä, jotta saataisiin tarkempia tuloksia liimasauman kestävydestä.

7.1.3 Nappitesti

Nappitesteissä koekappaleeseen liimattiin metallinappi, joka vedettiin irti testilaitteella ja mitattiin irrottamiseen tarvittava voima. Kokeessa vetovoima on kohtisuoraan liimasaumaan nähden. Koekappaleet tehtiin liimaamalla ABS-levyyn koivuviilu päälle. Liimasauman kovettuttua levyn pintaan porattiin pyöreä ura viilun läpi. Näin levyyn muodostui viilupintainen ympyrä, johon metallinappi liimattiin.



KUVIO 21. Nappitestin uuden koekappaleen havainnekuva

Koska metallinappeja oli vain muutamia, ei testikappaleita pystytty tekemään useampaa kerralla ja jokaisen testin jälkeen metallinapit piti puhdistaa uutta testiä varten. Testien nopeuttamiseksi suunniteltiin uusi koekappale, jossa korvattiin metallinappi vanerinapilla ja tähän poratulla ruuvilla (KUVIO 21). Näin saatiin tehtyä useampia testikappaleita kerralla ja koekappaleiden osia ei tarvinnut uudelleen käyttää, kuten metallinappeja tarvitsi. Kuviossa 22 on vetokoje, johon vanerinappi asetettiin siten, että vanerinappi tuli reiän läpi ja levyosa jäi kupin sisälle.

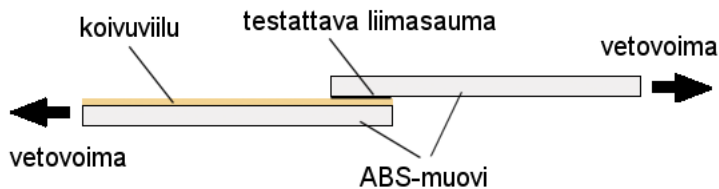


KUVIO 22. Nappitestin vetokoje

Osassa nappitesteistä vanerinappi murtui ennen muovin ja viilun välisen sauman pettämistä. Murtuminen tapahtui napin alemmissa viilusaumoissa, koska nähtävästi ylempiä saumoja vahvasti kiinnitetyn ruuvin puristusvoima. Se oliko kyseessä huonolaatuinen vaneri, jäi tulkinnanvaraiseksi. Muita epävarmuustekijöitä testissä saattoivat olla ruuvin mahdollinen vino kiinnitys ja koelaitteiston poikkeamat vetoakselilta. Poikkeamia saattoi syntyä vetokojeen kupin epätasaisesta sisäpinnasta, jolloin koekappale olisi vinossa vetoakseliin nähden. Myös kiinnitysleukojen ja vetokojeen epäsymmetrinen asemointi aiheuttaisi poikkeamia vetovoimiin. Tällöin koekappaleeseen saattoi kohdistua vääntömomenttia ja sivuttaisia, liimasauman suuntaisia, leikkaavia voimia. On vaikea määrittellä, mihin kohtaan koekappaleelta mahdolliset poikkeamat aiheuttivat rasituksia ja miten ne vaikuttivat lopputuloksiin.

7.1.4 Leikkauslujuustesti

Leikkauslujuustesteissä veto kohdistuu liimasauman suuntaisesti. Koekappaleet valmistettiin seuraavan kuvan mukaisiksi siten, että kaksi ABS sauvaa, joista toisen päälle oli liimattu viilu, liimattiin yhteen. Sauvat kiinnitettiin päistä epäkeskoihin leukoihin. Kappaleista mitattiin liimauksen jälkeen liimasauman pinta-ala, joka suhteutettiin tuloksissa leikkausvoimaan.



KUVIO 23. Leikkauslujuustestin koekappale

7.2 Testatut liimat

Testattavat liimat valikoituivat aiemmin mainittujen kriteerien ja liiman valmistajien suositusten pohjalta. Projektissa pyrittiin löytämään nopeasti kovettuvia liimoja, kovettumisaika muutamina minuutteja, jotka soveltuisivat muotopuristukseen. Valmistustavasta riippuen materiaalit voidaan liittää toisiinsa samalla, kun kappaleet puristetaan muotoonsa lämmön avulla. ABS-muovi vaatii 80–100 °C lämpöä muuttuakseen elastiseksi, joten myös liiman olisi kestettävä näitä lämpötiloja kuumapuristuksessa.

Eri liiman valmistajilta löytyikin kuumapuristuksessa käytettäviä liimoja, jotka kovettuvat yleensä kohotetuissa lämpötiloissa ja korkea lämpötila nopeuttaa niiden kovettumista. Muotopuristeissa, kuten yhtenäisessä tuolin istuinosassa ja selkänöjassa, sopivasti joustava liima edesauttaa rakenteen kestävyyttä. Kovassa liimasaumassa rasituksen aiheuttamat jännitykset keskittyvät selkänöjan taitekohtaan, kun joustavammassa jännitykset leviävät liiman välityksellä. Liian joustava liimasauma on taas kuin purukumia ja selkänöja taipuu liikaa.

Liiman joustavuudesta voi olla myös hyötyä tiukkoja pyörityssäteitä vaativissa muodoissa. Viilun taipuminen muotopuristeissa on varsin rajoittunutta muoviin verrattuna ja siksi pyrittiin etsimään joustavaa liimaa, joka edesauttaisi 3D-muotojen valmistuksessa. Liiman valintaan vaikutti myös liiman viskositeetti ja väri, koska viilu pintamateriaalina on kohtuullisen huokoinen. Matalan viskositeetin liimat lyövät viilusta läpi ja tummat liimat näkyvät viilun läpi. Seuraavassa taulukossa (1) on lueteltu testatut liimat.

TAULUKKO 1. Testatut liimat

	Valmistaja	Nimi	Liimatyyppi
1	3M	Scotch Weld 30	Kontaktiliima
2	Kiilto	Novaflex 8100	Kontaktiliima, polyuretaani
3	Casco	Aqua Spray PUD	Polyuretaani
4	Henkel	Terokal 9225	Polyuretaani, 2-komponenttinen
5	Kiilto	Nopea Slim	Polyuretaani, 2-komponenttinen
6	Kiilto	Akvapur SM 1200	Polyuretaani, dispersio
7	Kiilto	Akvapur SM 2000	Polyuretaani, 2-komponenttinen
8	Henkel	Loctite E32	Epoksi, 2-komponenttinen
9	Henkel	Macroplast UK 8150 B50	Polyuretaani, 2-komponenttinen
10	Henkel	Hysol 9455	Epoksi, 2-komponenttinen
11	Henkel	Hysol 9466	Epoksi, 2-komponenttinen
12	Henkel	Hysol 9483	Epoksi, 2-komponenttinen
13	Henkel	Hysol 9514	Epoksi, 1-komponenttinen
14	StoraEnso	Imprex Novox	Pinnoituskalvo, fenoliharts

3M:n Scotch Weld 30 -kontaktiliima on vesiohenteinen sumutettava liima. Sitä käytetään tyyppillisesti keittiötasoissa ja ovissa laminaattipinnoitteiden kiinnittämiseen lastulevyihin. Scotch Weld muodostaa erittäin joustavan liimasauaman, ja sen pitkäaikainen lämmönkesto on 110 °C ja lyhytaikainen 130 °C. (3M tuotetiedot 2010.)

Kiillon Novaflex 8100 -kontaktiliima on liuotinpohjainen polyuretaaniliima. Se muodostaa elastisen liimasauaman, joten se soveltuu joustavien materiaalien liimaamiseen. Kovettuminen tapahtuu lämpöaktiivomalla liima 55–70 °C:ssa. (Kiilto tuotetietokanta 2010a.)

Cascon Aqua Spray PUD on liuotinhenteinen polyuretaaniliima, joka levitetään ruiskuttamalla. Liimaan voidaan lisätä isosyanaattia kovetteeksi ja kovettuminen tapahtuu lämmön avulla. Kovete lisää lämmönkeston 90 °C:sta 110 °C:seen. (Turunvärite 2010.)

Henkelin Terokal 9225 on kaksikomponenttinen polyuretaani, joka on suunniteltu muovien liimaukseen ja korjausliimaukseen. Liimanvalmistajalta ei löytynyt kyseisestä tuotteesta teknistä tuotetiedotetta.

Kiillon Nopea Slim on kaksikomponenttinen polyuretaaniliima erityisesti parkettien liimaukseen. Kovete osa on polyisosyanaattia. (Kiilto tuotetietokanta 2010b.) Kiillon Kestopur PL240 ja 200/90 ovat kaksikomponenttisia polyuretaaniliimoja. (Kiilto tuotetietokanta 2010c; Kiilto tuotetietokanta 2010d.)

Kiillon Akvapur SM 1200 on vesiohenteinen polyuretaanipohjainen dispersioliima. Se soveltuu puupohjaisten levyjen pinnoittamiseen erityisesti PVC-kalvolla. Kovettuminen vaatii vähintään 70 °C:n lämpötilan. (Kiilto tuotetietokanta 2010e.)

Kiillon Akvapur SM 2000 on kaksikomponenttinen dispersioliima, ja se on kehitetty SM 1200 tavoin kalvopinnoittamiseen. Liiman aktivoiminen vaatii vähintään 55–66 °C lämpötilan. (Kiilto tuotetietokanta 2010f.)

Henkelin Loctite (entinen Bondmaster) E32 on kaksikomponenttinen epoksiliima. Se on sekoitettuna väriltään harmaata, ja sen kovettumista voidaan nopeuttaa lämmöllä. Kovettueneen liiman käyttölämpötila-alue on -55–80 °C. (Bondmaster E32 2010.)

Henkelin Macroplast UK 8150 B50 on liuotinvapaa polyuretaanipohjainen kaksikomponenttiliima. Kovete osa on isosyanaattipohjainen. Liimaa käytetään yleisimmin sandwich-elementeissä. Se kovetetaan 15–60 °C:een lämpötilassa, joten se ei sovellu kuumapuristukseen. (Turunvärite 2010.)

Henkelin Hysol 9455 on kaksikomponenttinen epoksiliima. Se soveltuu erityisesti optisten komponenttien liimaamiseen ja on väriltään kirkasta. (Henkel tuotetiedot 2010a.) Liima kovettuu suhteellisen hitaasti, mutta saavuttaa lopullisen kestävyuden korotetuissa kovettumislämpötiloissa alle vuorokaudessa.

Henkelin Hysol 9466 on kaksikomponenttinen epoksiliima. Kovete on amiinipohjainen, ja liimalla on pitkä liimausaika. Kovettumista voidaan kuitenkin nopeuttaa lämmöllä ja tällöin lopullinen liimasauman kestävyys saavutetaan tunneissa. (Henkel tuotetiedot 2010b.)

Henkelin Hysol 9483 on kaksikomponenttinen epoksiliima ja se on ominaisuuksiltaan varsin samanlainen kuin Hysol 9466. Kovete on amiinipohjainen ja liiman kovettumista voidaan nopeuttaa lämmöllä. Kovettunut liima on kirkasta ja väritöntä ja se soveltuu koristepaneelien liimaukseen. (Henkel tuotetiedot 2010c.)

Henkelin Hysol 9514 on yksikomponenttinen kuumakovettava epoksiliima. Se on väriltään harmaata ja tahnamaista. Kovettuminen vaatii vähintään 120 °C:n lämpötilan ja reaktion nopeuttamiseksi voidaan käyttää jopa 175 °C:een lämpötilaa. (Henkel tuotetiedot 2010d.)

StoraEnson Imprex Novox pinnoituskalvossa ohut paperi on ipregnoitu fenoli-hartsilla. Kalvoa voidaan käyttää puupaneelien viilutuksessa ja pinnoituksessa. (Imprex films 2010.) Käytettävissä oli kahta eri kalvoa, joista toisessa oli seassa irroitusaineita.

7.3 Tulokset

Suurella osalla testattavista liimoista tarttuvuus oli heikkoa. Joissakin tapauksissa liimasauman sai helposti käsin auki, joten näillä liimoilla ei suoritettu erillisiä lujuustestejä. Epoksiliimoilla ei saatu kunnan tartuntaa aikaiseksi, ja tämän lisäksi osalla epokseista oli ongelmana viulun värjävyys ja läpilyönti. Epoksien lisäksi Terokal 9225- ja Aqua PUD -liimoilla oli huono tarttuvuus.

Polyuretaaniliimoilla Macroplast UK 5400, Nopea Slim, Kestopur PL240 ja Kestopur 200/90 oli kaikilla pitkä kovettumis- ja puristusaika, pisimmillään 6 h. Muita liimoja, jotka katsoimme soveltumattomiksi tässä projektissa, olivat Akvapur SM 2000 ja toinen Novox -kalvoista. Akvapur SM 2000 on valmistajan valikoimasta poistuva tuote ja Novox -kalvolla ei saavutettu riittävää tartuntaa ABS-muoviin.

Lujuustestien myötä liimoista valikoitui jäljelle kolme liimaa: Akvapur SM 1200, Scotch Weld 30 ja Novox pinnoituskalvo. SM 1200 -liimalla saavutettiin kaiken kaikkiaan parhaat liimasauman lujuusarvot, useissa testeissä liimasauman lujuus ylitti massiivipuun sisäisen kestävyuden. Kuorimislujuustesteissä joustavampi Scotch Weld saavutti hieman paremman keskiarvon kuin SM 1200. Novox -kalvolla ei saatu luotettavia kuorimislujuustuloksia, koska usein ABS-muovi katkesi kokeen aikana. Muilla liimoilla muovi kuitenkin kesti vastaavilla voiman arvoilla peeling-testeissä, joten muovi saattoi haurastua Novox -liiman puristusolosuhteista johtuen.

Novoxin ja Scotch Weldin etuna SM 1200 nähden on niiden uudelleen kuumennettavuus. Näin ollen niillä voidaan liimata valmis levy, joka kuumapuristetaan muotoon vasta myöhemmin. Novox -kalvon ongelmana on kuitenkin puristuksessa vaadittava korkea lämpötila, mikä saattoi olla syynä ABS-muovin katkeamiseen kuorimislujuustesteissä. Tästä syystä novoxille ei saatu luotettavia tietoja peeling-testeissä. Käytettävä ABS-muovi tulisi testata ilman liimaa samoissa puristusolosuhteissa, jotta nähtäisiin muovin kestävyys.

Seuraavassa taulukossa on kerrottu kolmen soveltuvimman liiman puristusolosuhteet ja lujuustestien tulokset. Taulukon mukaisilla puristuslämpötiloilla ja ajoilla saatiin luotettavampia tuloksia, mutta puristusolosuhteita on sovellettava käyttökohteen mukaan. Lihavoidulla tekstillä ilmoitetut tulokset ovat laskettuja keskiarvoja ja ne on saatu käyttäen Excel-taulukkolaskentaohjelmaa ja sen kaavoja. Scotch Weld -liiman kohdalla on taulukossa kaksi saraketta. Toisessa sarakkeista on testitulokset koekappaleille, jotka valmistettiin esilämmitettyä muovia käyttäen. Ja toisessa sarakkeessa on tulokset ilman esilämmitystä valmistetuille kappaleille. Novox- ja Scotch Weld -liimoilla ei suoritettu kaikkia testejä ja tämä on ilmaistu taulukossa viivalla.

Kaikilla liimoilla käytettiin jälkijähdytystä, eli kuumapuristuksen jälkeen levyt pantiin puristuksiin jäähtymään, koska näin saatiin kestävämpi liimasauma. Ilmeisesti muovi kutistuu jäähtyessään niin paljon viilua enemmän, että ilman puristusta liimasidokset osittain rikkoutuvat. Koekappaleiden annettiin jäähtyä pinnaltaan noin 40 °C:n lämpötilaan. Liimasauma ja muovi ovat tässä vaiheessa jäähtyneet riittävästi kappaleen sisältä, jotta vältetään jännityksiltä. Jos rakenteesta tehdään paksumpi, on jälkijähdytysaika pidennettävä. Koekappaleet olivat paksuudeltaan luokkaa viisi millimetriä. Joustavalla ja paksummalla liimasaumalla voidaan mahdollisesti vähentää kutistumisjännityksiä, mutta tämäkin vaikuttaa liimasauman lujuuteen.

TAULUKKO 2. Lujuustestien tulokset ja puristusolosuhteet kolmelle soveltu-vimmalle liimalle

Liima	Akvapur SM 1200	3M Scotch Weld		Novox
Puristusaika	5min	4min		7,5min
Puristustempötila [°C]	90	90		160
Muovin esilämmitys [°C]	130	130 ei lämmitystä		ei lämmitystä
Peeling-testi [N]	0,106	0,117	-	-
keskihajonta [N]	0,014	0,019	-	-
Puustamurtuma	20 %	10 %		-
Nappitesti [N/mm ²]	0,866	0,457	0,493	0,826
keskihajonta [N/mm ²]	0,111	0,073	0,145	0,120
Leikkauslujuus [N/mm ²]	0,979	0,386	0,494	-
keskihajonta [N/mm ²]	0,223	0,121	0,138	-

Akvapur SM 1200 -liima levitettiin testikappaleissa pelkästään viulun pinnalle ja annettiin kuivua noin puolituntia tai enemmän, niin että liima on kosketuskuivaa. Levyt puristettiin lämmitettävässä puristimessa 90 °C:n lämpötilassa, puristuspaineen ollessa noin 2 N/mm², joka vastaa 20 baaria. Puristusaika oli noin viisi minuuttia. Kuumapuristuksen jälkeen levyt siirrettiin jäähtymään toiseen puristimeen. Muotopuristeita valmistettaessa muovi saadaan elastiseksi lämmittämällä se 130 °C:seen ja tämän jälkeen puristus voidaan suorittaa edellisten ohjeiden mukaisesti.

Scotch Weld 30 -liiman saumanpaksuus saadaan parhaiten sopivaksi ruiskulevityksellä, mutta myös telaa ja pensseliä voidaan käyttää. Liima levitettiin koekappaleissa sekä viulun että muovin pintaan, minkä jälkeen liiman annettiin kuivua noin puoli tuntia, niin että pinta muuttuu kirkaaksi. Puristustempötilana käytettiin 90 °C:sta, puristusajan ollessa noin neljä minuuttia, myös lyhyempää 0,5..1,0 minuutin puristusaikaa voidaan soveltaa. Kuumapuristuksen jälkeen levy siirrettiin jälkijäähdytykseen. Muovin karhennuksella voitiin hieman parantaa tartuntaa, mutta on kyseenalaista kannattaako se esimerkiksi suuremman mittakaavan tuotannossa.

Novox liima on paperiarkkeina joista leikataan sopivan kokoinen pala liimattaville pinnoille. Arkkit ovat helppokäyttöisiä, mutta liimasauman paksuutta ei saada muutettua yhtäläillä kuin esimerkiksi ruiskulevityksessä. Koekappaleita puristettiin 150...160 °C:ssa noin seitsemän minuuttia, mutta myös lyhyempiä puristusaikoja käytettiin. Puristuksen jälkeen kappaleet jälkijäähdytettiin kuten aiemmat liimat.

Projektissa huomasi, että liimausprosessin oikeiden arvojen hakeminen vaati paljon testaamista, koska liimauksessa on monta hallittavaa muuttujaa: puristuspaine, -aika ja -lämpötila, sekä levitysmäärä. Ja koska tutkittavana oli useita liimoja, oli testien määrä suuri. Tästä syystä testeistä pyrittiin tekemään helppoja ja nopeita toteuttaa. Siksi myös koekappaleiden määrä pidettiin minimissä, neljästä kahdeksaan testikappaleetta koetta kohden.

Levitysmäärä oli muuttujista ehkä vähiten seurattu, mutta osassa testeistä levitysmäärä punnittiin vaa'alla. Levitysmäärä pyrittiin pitämään vakiona, jotta testeissä ei olisi niin montaa muuttujaa. Mutta tietysti pensselilevityksessä määrissä oli pientä vaihtelua, kuten myös liimasauman tasaisuudessa.

Projektin alussa sopivien arvojen hakeminen lähti liikkeelle liiman käyttöohjeiden ja liiman valmistajien antamien tietojen pohjalta. Jos annetut arvot eivät toimineet, lähdettiin niitä muuttamaan, yleensä niin että kovettumisaikaa pidennettiin, puristuspainetta lisättiin ja puristuslämpötilaa nostettiin. Arvoja testattiin esimerkiksi 10 yksikön välein tai suuremmalla tai pienemmällä haarukalla. Riittävien arvojen löydyttyä niitä voitiin vielä tarkentaa liimausprosessin tehostamiseksi.

8 YHTEENVETO

Projektin aikana ja opinnäytettä kirjoittaessa opin paljon uutta muoveista ja liimauksesta. Tiedon keräys oli haasteellista, ja lujuuskokeiden toteuttaminen vaati ongelmanratkaisutaitoa ja luovuutta. Ennen projektia en tiennyt paljoakaan muoveista materiaaleina ja ABS oli minulle melko tuntematon muovi. Nyt ymmärrän muovien, etenkin ABS:n, kemiasta, valmistuksesta ja liimauksesta enemmän ja myös tiedot liimauksen teoriasta ja käytännön toteutuksesta laajenivat.

Liimaus on järkevä tapa liittää levymateriaaleja toisiinsa, koska näin voidaan saavuttaa esteettinen ulkonäkö ja hyvä lujuus. Eri materiaaleja yhdistäessä on hyvä huomioida, että aineiden hyvien ominaisuuksien lisäksi myös aineiden huonot ominaisuudet yhdistyvät lopputuotteessa. Materiaalien liitostavalla voidaan vaikuttaa siihen, mitkä aineiden ominaisuudet saadaan tuotteen esille ja mitä huonojen ominaisuuksien vaikutuksia vähennettyä tai poistettua kokonaan.

Vaikka liimateollisuus ja liimojen kehitys on edennyt vuosikymmenien saatossa suuresti, voi sopivan liiman löytäminen kahden materiaalin välille olla yhä työlästä. Lähes jokaisessa liiman teknisissä tiedoissa, joita projektin aikana luin, oli jonkinasteinen maininta, että liiman soveltuvuus käyttökohteeseen tulee testata. Tämä varmasti pääasiallisesti säännösten takia, mutta toisaalta se kertoo liimaukseen liittyvistä epävarmuustekijöistä. Liimauksessa on hyvin paljon muuttujia, jotka vaikuttavat liimasauman muodostumiseen ja lopputulokseen. Helpoimmillaan liimausprosessi on hyvin yksinkertainen: liima levitetään liimattaville pinnoille ja puristetaan pinnat yhteen. Mutta mitä sitten kun materiaalit eivät pysykään yhdessä?

Liimaus on varsin kokemuseräistä. Ennestään tuttujen materiaalien liimaus onnistuu tutuilla liimoilla, mutta uusien materiaalien, liimojen ja liimaliitosten toimivuus on varmistettava käytännössä kokeilla, liimaamalla koekappaleita. Testaaminen on aikaa vievää ja resurssija kuluttavaa toimintaa, mutta pakollista, jotta liimausprosessi saadaan toimimaan.

Ymmärtämällä paremmin liimauksen teoriaa, sekä liiman ja liimattavan materiaalin välisiä vuorovaikutuksia, pystytään kehittämään parempia liimoja nopeammin ja taloudellisemmin (Winandy & Kamke 2004, 29–30). Liimaaminen on saavuttanut merkittävän jalansijan eri mate-

riialien liittämässä liimojen kehittymisen myötä. Liimattavien materiaalien kirjo on kasvanut valtavaksi ja niin myös liimojen. Jotta asiakkaan on mahdollista löytää käyttötarkoituksiinsa sopiva liima tästä valikoimasta, on tärkeää, että liiman valmistajat kykenevät antamaan riittävästi hyödyllistä tietoa. Toivottavasti alan kehitys näkyy myös tässä suhteessa.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- Airasmaa, I., Kokko, J., Komppa, V. & Saarela, O. 1991. Muovikomposiitit. Helsinki: Gummerus.
- Gum, W., Riese, W. & Ulrich, H. 1992. Reaction Polymers. München: Hanser.
- Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell.
- Kilpeläinen, H. 1989. Puun liimaus: liimauksen teoria, liimat ja liimasaumojen tutkiminen. VTT tiedotteita 1001. Espoo: VTT.
- Koponen, H. 1990. Puutuotteiden liimaus. Espoo: Otatieto.
- Koponen, H. 2002. Puulevytuotanto. Helsinki: Edita Oy.
- Kuikka, K. & Kunelius, K. 1992. Puutekniikka 2: materiaalit. Helsinki: Otava.
- Kurri, V., Mälén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus.
- Nevalainen, V. 2008. Muovituotteen liitokset ja mitoitus. Konetekniikan diplomi-työ. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Koneenrakennustekniikan laitos.
- Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Velling, P., Herajärvi, H. & Verkasalo, E. 2008. Koivun kasvatusta ja käyttöä. Helsinki: Metsäkustannus.
- Rotheiser, J. 2004. Joining of plastics: handbook for designers and engineers. München: Hanser Publishers.
- Seppälä, J. 2005. Polymeeritekniikan perusteet. Espoo: Otatieto.
- Tammela, V. 1990. Polymeeritiede ja muovitekniikka. Osa 3. Espoo: Otatieto.
- Troughton, M. 2008. Handbook of plastics joining: practical guide(2nd edition). New York: William Andrew publishing.

Elektroniset lähteet

- 3M tuotetiedot. 2010 [viitattu 20.2.2010]. Saatavissa: <http://multimedia.3m.com/mws/media/webservlet?66666UuZjcfSLXTtoXfcOxz6EVuQEcuZgVs6EVs6E666666-->
- Bondmaster E32. 2010 [viitattu 20.2.2010]. Saatavissa: http://www.glueonline.co.uk/shop/e32_tds.pdf
- The Columbia Encyclopedia, Sixth Edition. 2008. Columbia University Press [viitattu 20.1.2010]. Saatavissa: http://www.encyclopedia.com/topic/adhesion_and_cohesion.aspx
- Eionet – European Environment Information and Observation Network. 2010. Gemet – thesaurus [viitattu 4.1.2010]. Saatavissa: <http://www.eionet.europa.eu/gemet/concept?lang=fi&cp=4119&ns=1>
- Henkel tuotetiedot. 2010a. Tekninen esite [viitattu 21.2.2010]. Saatavissa: http://tds.loctite.com/tds5/search.asp?t=hysol+9455&submit2=Search&Q_PROP7=0&Q_PROP18=0&Q_PROP22=0
- Henkel tuotetiedot. 2010b. Tekninen esite [viitattu 21.2.2010]. Saatavissa: http://tds.loctite.com/tds5/search.asp?t=hysol+9466&submit2=Search&Q_PROP7=0&Q_PROP18=0&Q_PROP22=0
- Henkel tuotetiedot. 2010c. Tekninen esite [viitattu 21.2.2010]. Saatavissa: http://tds.loctite.com/tds5/search.asp?t=hysol+9483&submit2=Search&Q_PROP7=0&Q_PROP18=0&Q_PROP22=0
- Henkel tuotetiedot. 2010d. Tekninen esite [viitattu 21.2.2010]. Saatavissa: http://tds.loctite.com/tds5/search.asp?t=hysol+9514&submit2=Search&Q_PROP7=0&Q_PROP18=0&Q_PROP22=0
- Imprex films (Novox). 2010 [viitattu 11.3.2010]. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/products/packaging/laminating-papers/imprex-films/Pages/imprex-films.aspx>
- Kiilto tuotetietokanta. 2010a. Tuote-esite/käyttöturvallisuustiedote [viitattu 20.2.2010]. Saatavissa: <http://www.kiilto.com/fi/tuotteet/tuotetietokanta/?prod=603>
- Kiilto tuotetietokanta. 2010b. Tuote-esite/käyttöturvallisuustiedote [viitattu 20.2.2010]. Saatavissa: <http://www.kiilto.com/fi/tuotteet/tuotetietokanta/?prod=106>
- Kiilto tuotetietokanta. 2010c. Tuote-esite/käyttöturvallisuustiedote [viitattu 20.2.2010]. Saatavissa: http://www.kiilto.com/attachments/1/1/white_papers/PL240.pdf
- Kiilto tuotetietokanta. 2010d. Tuote-esite/käyttöturvallisuustiedote [viitattu 20.2.2010]. Saatavissa: http://www.kiilto.com/attachments/1/1/white_papers/200-90.pdf

- Kiilto tuotetietokanta. 2010e. Tuote-esite/käyttöturvallisuustiedote [viitattu 20.2.2010].
Saatavissa: <http://www.kiilto.com/fi/tuotteet/tuotetietokanta/?prod=1172>
- Kiilto tuotetietokanta. 2010f. Tuote-esite/käyttöturvallisuustiedote [viitattu 20.2.2010].
Saatavissa: <http://www.kiilto.com/fi/tuotteet/tuotetietokanta/?prod=1320>
- MatWeb – Material property data. 2010 [25.3.2010]. Saatavissa: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3a8afcdac864d4b8f58d40570d2e5aa&cck=1>
- Turunvärite. 2010. Macroplast UK 8150 B50 tuotetiedot [viitattu 20.2.2010]. Saatavissa:
<http://www.turunvarite.fi/ruiskutettavat.html>
- Winandy, J. & Kamke, F. 2004. Fundamentals of Composite Processing: proceedings of a workshop. Wisconsin: USDA. [viitattu 10.2.2010]. Saatavissa: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgr/fpl%5Fgr149.pdf>

LIITTEET

Liite 1/1 ABS:n kemikaalinkestävyys (Järvinen 2008, 247 – 250)

	Pitoisuus %	ABS
Alumiinikloridi	10	Kestää
Alyylialkoholi	100	Kestää
Ammoniakki	10	Kestää
Aniliini	100	Ei kestä
Bentseeni	100	Liukenee
Bensiini, korkeaoktaaninen		Ei kestä
Bensiini, lyijytön		Ei kestä
Bensyylialkoholi	100	Liukenee
Boorihappo	10	Kestää
Butyyliasetaatti	100	Liukenee
Dikloorietaani	100	Liukenee
Dieselöljy	100	Kestää rajoitetusti
Dioksaani	100	Liukenee
Elohopea	100	Kestää
Elohopeakloridi vesipitoinen	5	Kestää
Etanoli	96	Kestää
Etikkahappo	10	Kestää
Etikkahappo	80	Kestää rajoitetusti
Etyyliasettaatti	100	Liukenee
Etyylieetteri	100	Liukenee
Fenoli, sula	100	Kestää rajoitetusti
Fenoli, vesipitoinen	10	Kestää rajoitetusti
Fluorivetyhappo	40	Kestää
Formaldehydi, vesipitoinen	20	Kestää
Fosforihappo	10	Kestää
Fosforihappo, puhdas	80	Kestää

Liite 1/2

	Pitoisuus %	ABS
Glyseroli	90	Kestää rajoitetusti
Heptaani	100	Kestää rajoitetusti
Hexaani	100	Liukenee
Hiilitetrakloridi	100	Kestää
Isopropanoli	90	Kestää
Kalilipeä, vesipitoinen	10	Kestää
Kalilipeä, vesipitoinen	50	Kestää
Kalisalpietari	10	Kestää
Kaliumbikromaatti		Kestää
Kaliumpermangaatti		Kestää
Kalsiumkloridi, alkoholipitoinen	20	Kestää
Kalsiumkloridi, vesipitoinen	10	Kestää
Klooribentseeni	100	Ei kestä
Kloorikaasu	100	Ei kestä
Kloorivesi		Kestää rajoitetusti
Kloroformi	100	Liukenee
Kromihappo	10	Kestää rajoitetusti
Kuparisulfaatti		Kestää
Lyijyasetaatti		Kestää
Magnesiumkloridi, vesipitoinen	10	Kestää
Maitohappo	10	Kestää
Merivesi	100	Kestää
Metanoli	98	Ei kestä
Metyleenikloridi	100	Liukenee
Metyylietyyliketoni	100	Liukenee
Mineraaliöljy	10	Kestää
Natriumbisulfiitti	10	Kestää
Natriumkarbonaatti	10	Kestää
Natriumkloridi	10	Kestää

Liite 1/3

	Pitoisuus %	ABS
Natriumsulfaatti	10	Kestää
Natronlipeä, vesipitoinen	50	Kestää
Natronlipeä, vesipitoinen	10	Ei kestä
Nitrobenseeni	100	Kestää
Oksaalihappo	10	Kestää
Öljyhappo, väkevä	40	Kestää
Otsoni		Kestää rajoitetusti
Petroli	100	Kestää
Rauta-III-kloridi		Liukenee
Rikkihiili	100	Kestää
Rikkihappo	98	Kestää
Rikkivety, vesipitoinen	2	Kestää
Saippualiuos	1	Kestää
Sitruunahappo	10	Kestää
Sprii		Kestää
Suolahappo	2	Kestää
Suolahappo	10	Kestää
Tetraliini	100	Liukenee
Tionyylikloridi	100	Liukenee
Tolueni	100	Liukenee
Triklloorieteeni	100	Liukenee
Typpihappo	10	Kestää
Typpihappo, väkevä	65	Kestää rajoitetusti
Vaha, sulatettu		Kestää
Valkaisuliuos		Kestää
Vetyperoksidi	0,5	Kestää
Vetyperoksidi	1	Kestää
Vetyperoksidi	3	Kestää
Viini		Kestää

Liite 2/1. Eri ABS-muovilaatujen ominaisuuksia (Matweb 2010)

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.02 – 1.17 g/cc	0.0368 – 0.0423 lb/in ³	Average value: 1.05 g/cc Grade Count:73
Water Absorption	0.250 – 1.00 %	0.250 – 1.00 %	Average value: 0.448 % Grade Count:24
Moisture Absorption at Equilibrium	0.000 – 0.200 %	0.000 – 0.200 %	Average value: 0.178 % Grade Count:9
Water Absorption at Saturation	0.300 – 1.00 %	0.300 – 1.00 %	Average value: 0.800 % Grade Count:5
Viscosity			
@Temperature 240 – 240 °C	1.16e+6 – 1.52e+6 cP		Average value: 1.40e+6 cP Grade Count:3
@Shear Rate 100 – 100 1/s	1.16e+6 – 1.52e+6 cP		Average value: 1.40e+6 cP Grade Count:3
Linear Mold Shrinkage	0.00200 – 0.00900 cm/cm	0.00200 – 0.00900 in/in	Average value: 0.00560 cm/cm Grade Count:44
Melt Flow	0.300 – 35.0 g/10 min	0.300 – 35.0 g/10 min	Average value: 4.38 g/10 min Grade Count:73

Liite 2/2

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	68.0 – 115	68.0 – 115	Average value: 103 Grade Count:32
Tensile Strength, Ultimate	28.0 – 49.0 MPa	4060 – 7110 psi	Average value: 38.2 MPa Grade Count:20
Tensile Strength, Yield	13.0 – 65.0 MPa	1890 – 9430 psi	Average value: 41.3 MPa Grade Count:66
Elongation at Break	3.00 – 150 %	3.00 – 150 %	Average value: 34.3 % Grade Count:38
Elongation at Yield	2.00 – 30.0 %	2.00 – 30.0 %	Average value: 6.43 % Grade Count:32
Modulus of Elasticity	1.00 – 2.65 GPa	145 – 384 ksi	Average value: 2.04 GPa Grade Count:44
Flexural Modulus	1.20 – 5.50 GPa	174 – 798 ksi	Average value: 2.22 GPa Grade Count:63
Flexural Yield Strength	28.3 – 81.0 MPa	4100 – 11700 psi	Average value: 63.4 MPa Grade Count:40
Izod Impact, Unnotched	1.77 – 13.3 J/cm	3.31 – 25.0 ft-lb/in	Average value: 6.18 J/cm Grade Count:3
Izod Impact, Notched, Low Temp (ISO)	8.00 – 22.0 kJ/m ²	3.81 – 10.5 ft-lb/in ²	Average value: 17.0 kJ/m ² Grade Count:6
Charpy Impact Unnotched	7.50 J/cm ² – NB	35.7 ft-lb/in ² – NB	Average value: 9.25 J/cm ² Grade Count:11
@Temperature -30.0 – -30.0 °C	1.00 J/cm ² – NB	4.76 ft-lb/in ² – NB	Average value: 3.56 J/cm ² Grade Count:13
@Temperature -30.0 – -30.0 °C	0.900 – 1.30 J/cm ²	4.28 – 6.19 ft-lb/in ²	Average value: 1.49 J/cm ² Grade Count:2
@Thickness 4.00 – 4.00 mm	0.900 – 1.30 J/cm ²	4.28 – 6.19 ft-lb/in ²	Average value: 1.49 J/cm ² Grade Count:2
Falling Dart Impact	24.0 – 40.0 J	17.7 – 29.5 ft-lb	Average value: 34.7 J Grade Count:3
Izod Impact, Notched	0.380 – 5.23 J/cm	0.712 – 9.80 ft-lb/in	Average value: 3.18 J/cm Grade Count:51
@Temperature -40.0 – -30.0 °C	0.850 – 3.20 J/cm	1.59 – 5.99 ft-lb/in	Average value: 2.12 J/cm Grade Count:5
Izod Impact, Notched, Low Temp	0.450 – 1.40 J/cm	0.843 – 2.62 ft-lb/in	Average value: 0.875 J/cm Grade Count:6
@Temperature -40.0 – -40.0 °C	0.480 – 1.40 J/cm	0.899 – 2.62 ft-lb/in	Average value: 0.888 J/cm Grade Count:6
@Thickness 3.17 – 3.20 mm	0.480 – 1.40 J/cm	0.899 – 2.62 ft-lb/in	Average value: 0.888 J/cm Grade Count:6
Izod Impact, Notched (ISO)	17.0 – 42.0 kJ/m ²	8.09 – 20.0 ft-lb/in ²	Average value: 30.1 kJ/m ² Grade Count:11
@Temperature -30.0 – -30.0 °C	9.00 – 13.0 kJ/m ²	4.28 – 6.19 ft-lb/in ²	Average value: 11.0 kJ/m ² Grade Count:2
@Thickness 4.00 – 4.00 mm	9.00 – 13.0 kJ/m ²	4.28 – 6.19 ft-lb/in ²	Average value: 11.0 kJ/m ² Grade Count:2

Liite 2/3

Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	1.00e+9 - 1.00e+17 ohm-cm	1.00e+9 - 1.00e+17 ohm-cm	Average value: 6.46e+15 ohm-cm Grade Count:22
Surface Resistance	1.00e+9 - 1.00e+15 ohm	1.00e+9 - 1.00e+15 ohm	Average value: 6.54e+14 ohm Grade Count:24
Dielectric Constant	2.60 - 3.30	2.60 - 3.30	Average value: 2.85 Grade Count:8
Dielectric Strength	18.0 - 50.0 kV/mm	457 - 1270 kV/in	Average value: 31.5 kV/mm Grade Count:15
Dissipation Factor	0.00300 - 0.0200	0.00300 - 0.0200	Average value: 0.00885 Grade Count:7
Comparative Tracking Index	525 - 600 V	525 - 600 V	Average value: 585 V Grade Count:13
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	68.0 - 110 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$	37.8 - 61.1 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$	Average value: 89.5 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ Grade Count:34
CTE, linear, Transverse to Flow	70.2 - 117 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$	39.0 - 65.0 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot\text{F}$	Average value: 92.6 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}$ Grade Count:12
Thermal Conductivity	0.150 - 0.200 W/m-K	1.04 - 1.39 BTU-in/hr-ft ² -F	Average value: 0.188 W/m-K Grade Count:4
Maximum Service Temperature, Air	88.0 - 100 °C	190 - 212 °F	Average value: 91.5 °C Grade Count:3
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	70.0 - 103 °C	158 - 217 °F	Average value: 93.9 °C Grade Count:29
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	70.0 - 106 °C	158 - 223 °F	Average value: 88.5 °C Grade Count:58
Vicat Softening Point	88.0 - 108 °C	190 - 226 °F	Average value: 99.9 °C Grade Count:59
Glass Transition Temp, Tg	108 - 109 °C	226 - 228 °F	Average value: 108 °C Grade Count:3
UL RTI, Electrical	60.0 - 80.0 °C	140 - 176 °F	Average value: 63.3 °C Grade Count:12
UL RTI, Mechanical with Impact	60.0 - 80.0 °C	140 - 176 °F	Average value: 63.3 °C Grade Count:12
UL RTI, Mechanical without Impact	60.0 - 80.0 °C	140 - 176 °F	Average value: 63.3 °C Grade Count:12
Flammability, UL94	HB	HB	Grade Count:68
Flammability Test	75.0 - 90.0	75.0 - 90.0	Average value: 77.5 Grade Count:6
Oxygen Index	19.0 %	19.0 %	Average value: 19.0 % Grade Count:7
Glow Wire Test	650 °C	1200 °F	Average value: 650 °C Grade Count:8
Optical Properties	Metric	English	Comments
Gloss	10.0 - 97.0 %	10.0 - 97.0 %	Average value: 54.0 % Grade Count:7
Transmission, Visible	0.000 %	0.000 %	Average value: 0.000 % Grade Count:4

Liite 2/4

Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	180 - 274 °C	356 - 525 °F	Average value: 231 °C Grade Count:14
Rear Barrel Temperature	177 - 220 °C	350 - 428 °F	Average value: 194 °C Grade Count:5
Middle Barrel Temperature	190 - 250 °C	374 - 482 °F	Average value: 218 °C Grade Count:21
Front Barrel Temperature	216 - 250 °C	420 - 482 °F	Average value: 226 °C Grade Count:5
Nozzle Temperature	215 - 274 °C	419 - 525 °F	Average value: 229 °C Grade Count:4
Mold Temperature	40.0 - 80.0 °C	104 - 176 °F	Average value: 56.3 °C Grade Count:27
Drying Temperature	75.0 - 93.3 °C	167 - 200 °F	Average value: 81.8 °C Grade Count:28
Dry Time	2.00 - 4.00 hour	2.00 - 4.00 hour	Average value: 3.11 hour Grade Count:22
Injection Pressure	4.83 - 130 MPa	700 - 18900 psi	Average value: 29.7 MPa Grade Count:14
Back Pressure	0.172 - 2.00 MPa	25.0 - 290 psi	Average value: 1.03 MPa Grade Count:5
Screw Speed	25.0 - 100 rpm	25.0 - 100 rpm	Average value: 70.0 rpm Grade Count:5