

Ilkka Ekström  
Sauli Valkeiskangas

# ConceptCar-projekti: Korin osien valmistaminen biokomposiittimateriaalista

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

6.5.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Ilkka Ekström, Sauli Valkeiskangas ConceptCar-projekti: Korin osien valmistaminen biokomposiittimateriaalista 56 sivua + 4 liitettä 6.5.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projektipäällikkö Harri Santamala
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ConceptCar-projektiin. Vuonna 2010 alkaneen projektin tavoitteena on valmistaa kestävä kehityksen auto kaupunkiolosuhteisiin. Auto esitellään Geneven autonäyttelyssä keväällä 2014.</p> <p>Työn tavoitteena oli valmistaa projektin autoon korin osia biokomposiittimateriaalista ja tehdä ohjeistus auton sisustapaneelien valmistajille. Korin osista oli tarkoitus valmistaa lämpömuovaamalla sivuhelmat, etumaski, takapuskuri ja etulokasuojat</p> <p>Työssä tarkastellaan muovien ja biokomposiittien ominaisuuksia, materiaalille tehtyjä veto- ja taivutuskokeita sekä niiden tuloksia, eri lämpömuovausmenetelmiä, materiaalin liimautuvuutta, materiaalilla tehtyjä lämpömuovauskokeita sekä osien valmistusta. Työn lopussa on myös ohjeistus sisustan valmistuksen kanssa jatkaville.</p> <p>Materiaalin ominaisuuksia testattiin Metropolian tiloissa lämpömuovaamalla sekä taivutus- ja vetokokeilla. Muottien suunnittelussa ja koneistuksessa käytettiin 3D-mallinnusohjelmaa. Muotit valmistettiin pääosin itse Metropolian tiloissa. Osien valmistus suoritettiin yhteistyökumppaneiden laitteilla.</p> <p>Työn tavoitteet saavutettiin osittain. Sivuhelmat saatiin valmistettua ja toimivien ja toimimattomien menetelmien perusteella luotiin ohjeistus materiaalia jatkossa muovaaville. Materiaalikoekiden avulla selvitettiin materiaalin tasalaatuisuutta ja muita teknisiä ominaisuuksia. Materiaalin liimaukseen löydettiin toimiva liima.</p> <p>Lokasuojien muoto todettiin kyseiselle materiaalille liian vaikeaksi ja etumaskin lopullisen muovausmenetelmän tulokset eivät ehtineet mukaan työhön. Takapuskurin muotin valmistus jäi suunnitteluasteelle, sillä lopullinen muovausmenetelmä valitaan etumaskin onnistumisen perusteella.</p>	
Avainsanat	ConceptCar, biokomposiitti, lämpömuovaus

Author(s) Title Number of Pages Date	Ilkka Ekström, Sauli Valkeiskangas ConceptCar-project: Manufacturing of the body parts using bio-composite material 56 pages + 4 appendices 6 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Harri Santamala, Project Leader
<p>This Bachelor's thesis was carried out for the ConceptCar-project of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The project was launched in 2010 and the objective was to design and manufacture a sustainable development car for city environment. The car will be introduced at the Geneva 2014 Motor Show.</p> <p>The objective of the thesis was to manufacture car body parts using biocomposite material and to make instructions for manufacturing the interior panels. The selected body parts were side skirts, front mask, rear bumper and front fenders. The parts were supposed to be manufactured by using different thermoforming methods.</p> <p>The thesis consists of an explanation of the different features of plastics and biocomposites, material tests and results, adhesion of the material, different thermoforming methods and tests and manufacturing of the parts. Instructions for manufacturing the interior panels are also included in the thesis.</p> <p>Material features were tested in the laboratories of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The parts were manufactured in cooperation with partner companies.</p> <p>The objectives were partly achieved. Side skirts were successfully manufactured and instructions were created for the interior manufacturers on the basis of workable and unworkable methods. Material tests explained the homogeneity and other technical features of the biocomposite. Form of the front fenders was found too difficult for the used material. Results from the final method of forming the front mask were not acquired on time for the thesis. Rear bumper mold will be designed and manufactured on the basis of the results of manufacturing the front mask.</p>	
Keywords	ConceptCar, biocomposite, thermoforming

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Lähtökohdat	1
1.2	Tavoite	1
1.3	Työnjako	2
2	Muovit	3
2.1	Kesto- ja kertamuovit	3
2.2	Puukuitulujitteinen muovikomposiitti	3
2.3	Käytetty materiaali	4
3	Materiaalikoheet	5
3.1	Taivutuskoe	6
3.1.1	Taivutuslujuus	7
3.1.2	Taivutusvenymä	7
3.1.3	Kimmokerroin	8
3.2	Vetokoe	9
3.2.1	Jännityslaskelmat	10
3.2.2	Venymä	10
3.2.3	Kimmokerroin	11
3.3	Kokeiden tulokset	12
3.3.1	Taivutuskokeen tulokset	12
3.3.2	Vetokokeen tulokset	13
4	Lämpömuovausmenetelmät	16
4.1	Lämpömuovaus	16
4.2	Muotit	16
4.3	Alipainemuovaus	17
4.4	Painemuovaus	19
4.5	Mekaaninen muovaus	19
5	Lämpömuovauskokeet	21
5.1	Kokeiden suoritus	21
5.2	Tulokset	22
5.3	Silikonimaton hyödyntäminen	24
6	Osien valmistus	26

6.1	Sivuhelmat	26
6.1.1	Naarasmuotti	26
6.1.2	Päätypainimet	28
6.1.3	Urosmuotin suunnittelu ja valmistus	29
6.1.4	Urosmuotilla saavutetut tulokset	33
6.1.5	Kiinnitys	35
6.2	Etumaski	41
6.2.1	Urosmuotin valmistus	42
6.2.2	Säkkimuovaus	44
6.2.3	Mekaaninen muovaus	47
6.3	Takapuskuri	49
6.4	Etulokasuojat	50
7	Ohjeistus	52
8	Yhteenveto	54

#### Liitteet

Liite 1. Taivutuskokeen tulokset eri materiaalilaaduilla

Liite 2. Vetokokeen tulokset eri materiaalilaaduilla

Liite 3. Axson Adekit A 170 GY -liiman tekniset tiedot

Liite 4. Loctite 3038 -liiman tekniset tiedot

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ConceptCar-kaupunkiautoprojektiin, jonka tavoitteena on valmistaa kestävän kehityksen kaupunkiauto. Työn aiheena on kyseisen kaupunkiauton korin osien valmistaminen biokomposiittimateriaalista. Työ sisältää työvaiheita muottien 3D-mallintamisesta valmiiseen tuotteeseen. Edellä mainitun lisäksi työssä käsitellään biokomposiittimateriaalille tehtyjä materiaali- ja lämpömuovauskokeita sekä analysoidaan niiden tuloksia. Työssä selostetaan myös eri lämpömuovausmenetelmien periaatteet, ja lopussa on ohjeistus sisustapaneelien valmistajille.

### 1.1 Lähtökohdat

Nykypäivän autoteollisuudessa ympäristöystävällisyys on merkittävä ja kasvava trendi. Ihmiset ovat tulleet tietoisemmiksi ympäristöön vaikuttavista asioista ja haluavat yhä enemmän vaikuttaa omaan hiilijalanjälkeensä. Ajoneuvon hankinta ja sen käyttäminen ovatkin merkittäviä ympäristöön vaikuttavia tekijöitä ihmisen elämässä. Suomen ja koko Euroopan lainsäädäntö on jo vuosia sitten alkanut suosia vähäpäästöisiä ajoneuvoja sekä biopolttoaineita mm. verotusta muuttamalla. Autoteollisuus on vastannut kasvavaan kysyntään valmistamalla markkinoille yhä taloudellisempia ja materiaaleiltaan kierrätettävämpiä ajoneuvoja.

Autoteollisuuden kasvava kiinnostus ekologisuuteen sai Metropolia Ammattikorkeakoulun aloittamaan vuonna 2010 kaupunkiautoprojektin, jonka päätavoitteena on suunnitella ja valmistaa kaupunkiympäristöön sopiva kestävän kehityksen ajoneuvo. Projektin eteenpäin vievänä voimana on ekologisuus ja ympäristöystävällisyys, joiden tulee näkyä mahdollisimman paljon niin työvaiheissa kuin käytetyissä materiaaleissakin.

### 1.2 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa auton korin osia uudenlaisesta biokomposiittimateriaalista, joka vähentää ympäristön kuormitusta huomattavasti verrattuna perinteisiin korimateriaaleihin. Materiaalin työstömenetelmänä käytettiin lämpömuovausta.

Valmistettavat osat olivat etumaski, etulokasuojat, sivuhelmat sekä takapuskuri. Valmiiden osien aikaansaaminen vaati eri lämpömuovausmenetelmien, sekä käytettävän materiaalin ominaisuuksien testausta. Työssä hyödynnettiin moderneja 3D-mallinnustyökaluja sekä autoteollisuudessa käytettäviä laitteita. Työn oli tarkoitus myös toimia ohjeena ja pohjustuksena menetelmien jatkokehitykseen projektissa jatkossa työskenteleville henkilöille.

### 1.3 Työnjako

Opinnäytetyön tilaaja antoi työn tekijöille yhteisen aiheen. Aluksi tarkoituksena oli jakaa työn aikana tehdyt asiat kahdeksi eri kirjoitelmaksi. Työn edetessä päädyttiin lopulta yhteisen raportin tekoon johdonmukaisemman ja selkeämmän lopputuloksen vuoksi.

Työn aikana tehdyt 3D-mallinnukset on jaettu tekijöiden kesken tasapuolisesti. Enemmän käsipareja vaativat prosessit, kuten lämpömuovauskokeet, materiaalitestit, muottien rakennus, muottien koneistus ja säkkimuovaus on tehty yhdessä. Yhdessä tehtyjen prosessien todettiin jälkeensä olevan lähes mahdottomia yksin suoritettaviksi. Esimerkiksi pelkästään muottien koko ja lämpömuovauksen sekä säkkimuovauksen vaatima nopea toiminta tekee asioiden yksin suorittamisen mahdottomaksi. Myös muottiaihoiden rakennus ja joidenkin muottien yli 20 tuntia pitkät koneistusajat vaativat kahden henkilön työpanosta.

Työn kirjoitus jaettiin niin, että Sauli Valkeiskangas kirjoitti muovien ominaisuuksista, materiaalikokeista ja niihin liittyvästä teoriasta sekä helmojen valmistuksesta. Ilkka Ekström kirjoitti lämpömuovauskokeista, lämpömuovaukseen liittyvästä teoriasta ja etumaskin valmistuksesta. Ohjeistus ja yhteenveto kirjoitettiin yhdessä. Kumpikin tekijä on ollut 3D-mallinnusvaiheita lukuun ottamatta läsnä kaikissa työvaiheissa.

## 2 Muovit

### 2.1 Kesto- ja kertamuovit

Muovit voidaan jakaa ryhmiin monella eri tavalla. Muovit voidaan jaotella esimerkiksi kestopuoveihin ja kertamuoveihin. Kesto- ja kertamuovien eroavaisuudet löytyvät niiden uudelleentyöstöstä. Kestomuovit voidaan sulattaa ja jäähdyttää uuteen muotoon ilman kemiallista hajoamista. Tämä perustuu siihen, että kestopuovien molekyyliketjut ovat suoria tai haarautuneita polymeeriketjuja. Molekyyliketjujen poikittaissuuntaiset toisiinsa yhdistävät voimat ovat heikkoja, joten kestopuoveja lämmitettäessä ketjut tulevat pehmeämmiksi jolloin muovi pehmenee ja muuttuu muovattavaksi.

Kertamuovit valmistetaan nestemäisestä hartsista ja kovetinaineesta lämmön avulla kovettamalla. Kertamuoveja ei voida sulattaa uudelleen ilman kemiallista hajoamista, sillä sen rakenne muuttuu työstön yhteydessä. Kertamuovien polymeeriketjut liittyvät toisiinsa poikittaisilla ja pitkittäisillä lujilla ns. kovalenttisillä kemiallisilla sidoksilla. Tästä johtuen polymeeri ei sula eikä virtaa lämmön vaikutuksesta. Kuumennettaessa kertamuovien rakenne saattaa pehmetä hieman, mutta se kuitenkin hajoaa ja hiiltyy ennen nesteeksi muuttumista. Tämän takia kertamuovit ovat lämmönkestoltaan hyviä ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan lujia. [1; 2; 3, s. 22.]

### 2.2 Puukuitulujitteinen muovikomposiitti

Puukuitulujitteinen muovikomposiitti valmistetaan sekoittamalla lyhyttä puukuitua suolaan muovimassaan. Puukuitulujitteisiä muovikomposiitteja on maailmalla jo pitkään käytetty keveytensä ja puuraaka-aineen edullisuuden vuoksi. Perinteisesti puukuituja on yhdistetty pääasiassa kertamuovien, kuten fenolien, polyesterin ja epoksien kanssa. Nykyään valmistustekniikoiden kehittyessä komposiittien muovimatriisina käytetään yhä useammin kestopuoveja kuten polypropeenaa. Muovilajin valinta riippuu aina myös vaatimuksista ja ominaisuuksista, joita valmiille tuotteelle asetetaan.

Kestomuovien ja luonnonkuitujen yhdistämistä rajoittaa tuotantoprosessin korkea lämpötila. Luonnonkuiduilla lämmönkesto on rajallinen, kun taas kestopuovit vaativat korkeita prosessointilämpötiloja.



Kestomuovien sulamislämpötilan tuleekin olla alhaisempi kuin kuitujen sisältämien selluloosayhdisteiden hajoamislämpötila, joka on tavallisesti välillä 200–220 °C. Luonnonkuidun eli tämän opinnäytetyön tapauksessa puulujitteen määrä vaihtelee komposiitissa yleensä välillä 30–85 %.

Kaiken kaikkiaan luonnonkuitujen käytöllä on useita etuja verrattuna tekokuituihin kuten esimerkiksi lasikuituun. Luonnonkuidut ovat kustannuksiltaan edullisia vaihtoehtoja. Ne ovat myös uusiutuvia ja hajoavat luonnossa. Biokomposiittimateriaali voidaan myöhemmin polttaa energiaksi tai kierrättää uudelleen. Luonnonkuidut ovat kevyitä ja niiden työstökoneita kuluttava vaikutus on pienempi kuin perinteisillä lujitteilla. Eräänä etuna voidaan pitää myös sitä, että luonnonkuituja voidaan käyttää suuria täyttömääriä eivätkä ne murru prosessoinnin aikana. [4, s. 1–5.]

### 2.3 Käytetty materiaali

Opinnäytetyössä käytetty biokomposiittimateriaali on kestumuvia, joka koostuu selluloosan ja muovin sekoituksesta. Sekoituksessa käytetty muovi oli vuoroin polyeteeniä ja vuoroin polypropeenä riippuen materiaalierästä.

Komposiittia oli käytössä erilaatuisina. Joissain erissä puukuidut olivat sekoittuneet paremmin muoviin kuin toisissa ja laatuero näkyivät selvästi. Puukuidun määrä käytetyssä materiaalissa oli 20 %. Materiaalin valmistaja on ilmoittanut muovautumislämpötilaksi 200 °C.

Materiaalilevyt oli valmistettu käyttämällä ekstruusiota eli suulakepuristusta. Suulakepuristus on menetelmä, jossa muoviraaka-aine plastisoidaan ja muotoillaan jatkuvana prosessina paineen, lämmön ja kitkan avulla halutun muotoiseksi tuotteeksi, tässä tapauksessa levyksi. [5]

### 3 Materiaalikoheet

Materiaalikoeeissa mitattiin käytetyn materiaalin fyysisiä ominaisuuksia. Tarkoituksena oli tutkia materiaalin tasalaatuisuutta sekä verrata eri laatuja keskenään. Valmistajalta saatiin ohjeavot, joihin mitattuja tuloksia voitiin verrata. Materiaalia tutkittiin taivutuskoeken ja vetokoeken avulla. Kokeita varten hankittiin sertifikaatit, joiden mukaan ne suoritettiin. Laitteistona käytettiin Metropolian Kalevankadun toimipisteessä sijaitsevaa Zwick Z010 -mittalaitetta.

Mittauksiin tarvittut koepalat valmistettiin laserleikkurilla Metropolian Tikkurilan toimipisteessä. Koepaloja valmistettiin kahta erilaista tyyppiä. Taivutuskoetta varten palat mitoitettiin standardin ISO 178 mukaan, kun taas vetokoeken palat olivat standardin ISO 527-2 mukaisia. Tämän jälkeen kaikki koepalat ja mittaustaikpaikka valmisteltiin ISO 291-standardien ohjeiden avulla, joiden mukaan esimerkiksi paloja säilytettiin tietyn aikaa samassa lämpötilassa ja ilmankosteudessa kuin mittaustaikalla.

### 3.1 Taivutuskoe

Taivutuskoe suoritettiin ISO 178 -standardin mukaisesti kolmipistetaivutuskokeena. Kyseisessä prosessissa koepala lepää kahden toisistaan erillään olevan kärjen päällä ja kolmas liikkuva kärki painaa koepalaa pystysuunnassa alaspäin. Liikkuva kärki taivuttaa koepalaa kahden paikallaan olevan kärjen väliin aina murtumiseen saakka (kuva 1).

Koe suoritettiin viidellä eri materiaalilaadulla (M1–M5). Jokaisesta laadusta testattiin standardin vaatimusta noudattaen viisi eri koepalaa.



Kuva 1. Taivutuskoe käynnissä juuri ennen koepalan murtumista

### 3.1.1 Taivutuslujuus

Taivutuslujuus lasketaan käyttämällä kaavaa 1:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1)$$

jossa

$\sigma_f$  on taivutuslujuus

$F$  on käytetty voima ilmoitettuna newtoneina

$L$  on jänneväli ilmoitettuna millimetreinä

$b$  on koepalan leveys ilmoitettuna millimetreinä

$h$  on koepalan paksuus ilmoitettuna millimetreinä

### 3.1.2 Taivutusvenymä

Taivutusvenymä lasketaan käyttämällä kaavaa 2:

$$\varepsilon_f = \frac{6sh}{L^2} \quad (2)$$

tai kaavaa (3):

$$\varepsilon_f = \frac{600sh}{L^2} \% \quad (3)$$

jossa

$\varepsilon_f$  on taivutusvenymä, ilmoitettuna suhdelukuna tai prosentteina

$s$  on poikkeama ilmoitettuna millimetreinä

$h$  on koepalan paksuus ilmoitettuna millimetreinä

$L$  on jänneväli ilmoitettuna millimetreinä

### 3.1.3 Kimmokerroin

Kimmokertoimen (Youngin moduuli) määrittämiseksi täytyy ensin laskea poikkeamat  $s_1$  ja  $s_2$ . Poikkeamat vastaavat taivutusvenymän arvoja  $\varepsilon_{f1} = 0,0005$  ja  $\varepsilon_{f2} = 0,0025$  käyttämällä kaavaa 4:

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (i = 1 \text{ tai } 2) \quad (4)$$

jossa

$s_i$  on yksi poikkeamista ilmoitettuna millimetreinä

$\varepsilon_{fi}$  on vastaava taivutusvenymä, jonka arvot  $\varepsilon_{f1}$  ja  $\varepsilon_{f2}$  annetaan ylhäällä

$L$  on jänneväli ilmoitettuna millimetreinä

$h$  on koepalan paksuus ilmoitettuna millimetreinä

Kimmokerroin eli  $E_f$  ilmoitetaan megapascalina ja lasketaan kaavalla 5:

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (5)$$

jossa

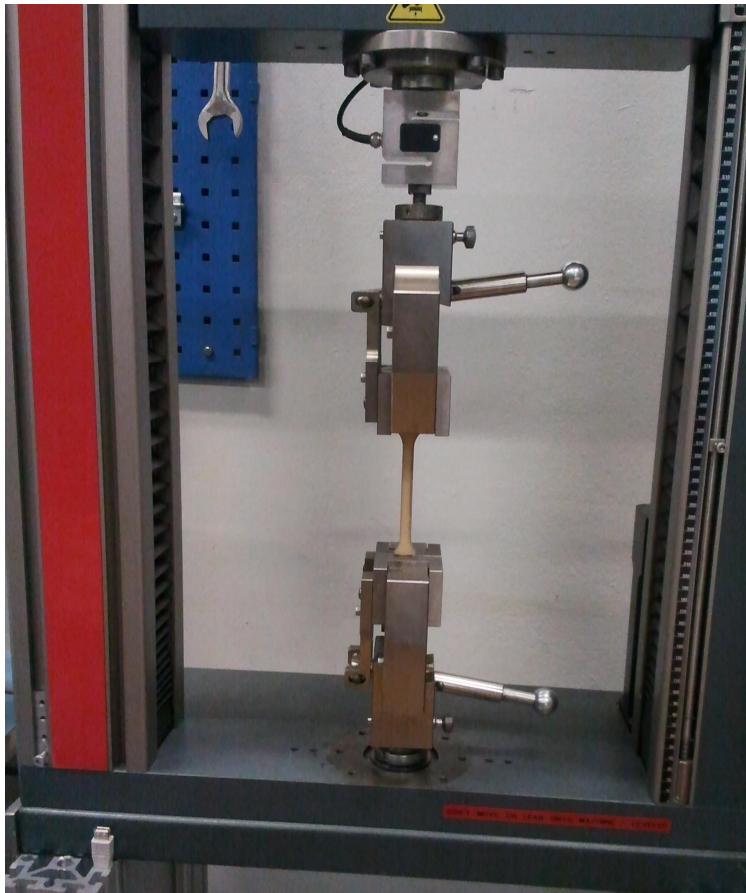
$\sigma_{f1}$  on taivutusvenymä megapascalina, mitattuna poikkeamassa  $s_1$ .

$\sigma_{f2}$  on taivutusvenymä megapascaleina, mitattuna poikkeamassa  $s_2$ .

### 3.2 Vetokoe

Vetokoe suoritettiin ISO 527-1 -standardin mukaisesti. Kyseessä olevassa prosessissa koepala kiinnitetään puristimilla ylä- ja alapuolelta mittauslaitteeseen, minkä jälkeen laite alkaa nostaa yläpuoleista puristinta alapuolen jäädessä paikoilleen. Kuvassa 2 on esitetty koetilanne ja käytetty laitteisto. Prosessi jatkuu koepalan katkeamiseen saakka.

Myös vetokoe suoritettiin viidellä eri materiaalilaadulla (M1-M5). Tälläkin kertaa koe toistettiin jokaisella laadulla viisi kertaa käyttäen viittä eri koepalaa.



Kuva 2. Vetokoe käynnissä

### 3.2.1 Jännityslaskelmat

Kaikki jännitysarvot lasketaan koepalan alkuperäisen poikkileikkauspinta-alan perusteella kaavaa 6 käyttäen:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

jossa

$\sigma$  on vetolujuus, ilmoitettuna megapascalina

$F$  on mitattu voima, ilmoitettuna newtoneina

$A$  on koepalan alkuperäinen poikkileikkauspinta-ala, ilmoitettuna neliömillimetreinä.

### 3.2.2 Venymä

Koepalan venymä lasketaan sen mittapituuden perusteella kaavaa 7 käyttäen:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad (7)$$

tulokset muutetaan prosenteiksi kaavalla 8:

$$\varepsilon (\%) = 100 \times \frac{\Delta L_0}{L_0} \quad (8)$$

jossa

$\varepsilon$  on venymä, ilmoitettuna suhdelukuna tai prosentteina

$L_0$  on koepalan mittapituus, ilmoitettuna millimetreinä

$\Delta L_0$  on koepalan pituuden kasvu mittapisteen välillä, ilmoitettuna millimetreinä

Nimellinen venymä lasketaan puristimien välisen alkuperäisen etäisyyden perusteella käyttäen kaavaa 9:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta L}{L} \quad (9)$$

tulokset muutetaan prosenteiksi kaavalla 10:

$$\varepsilon_t (\%) = 100 \times \frac{\Delta L}{L} \quad (10)$$

jossa

$\varepsilon_t$  on nimellinen venymä, ilmoitettuna suhdelukuna tai prosentteina

$L$  on puristimien välinen alkuperäinen etäisyys, ilmoitettuna millimetreinä

$\Delta L$  on puristimien välisen etäisyyden kasvu, ilmoitettuna millimetreinä

### 3.2.3 Kimmokerroin

Kimmokerroin (Youngin moduuli) lasketaan kahden ennalta määritellyn rasitusarvon perusteella käyttäen kaavaa 11:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (11)$$

jossa

$E_t$  on kimmokerroin (Youngin moduuli), ilmoitettuna megapascalina



$\sigma_1$  on rasitus ilmoitettuna megapascalina, mitattuna venymäarvolla  $\varepsilon_1 = 0,0005$

$\sigma_2$  on rasitus ilmoitettuna megapascalina, mitattuna venymäarvolla  $\varepsilon_2 = 0,0025$

### 3.3 Kokeiden tulokset

#### 3.3.1 Taivutuskokeen tulokset

Kokeen jälkeen ei tarvinnut tehdä laskutoimituksia, koska mittalaitteen ohjelma laski tulokset automaattisesti. Mittalaite antoi tulokset seuraavina suureina:

- kimmokerroin ( $E_{\text{mod}}$ )
- venymäraja ( $R_p 0,2$ )
- ylempi myötöraja ( $R_e H$ )
- suurin mitattu voima ( $F_{\text{max}}$ )
- suurimman mitatun voiman aiheuttama venymä ( $\varepsilon \cdot F_{\text{max}}$ ).

Kimmokerroin ( $E_{\text{mod}}$ ) ilmaisee koepalaan kohdistuvan jännityksen suhteen sen aikaansaamaan venymään. Kyseinen suure kertoo myös koepalan venymisen suuruuden venyttävän voiman vaikutuksesta. Hooken lain mukaan useiden materiaalien kimmokerroin on vakio, niin kauan kuin niihin kohdistuva jännitys ei ylitä plastisen muovautumisen rajaa. Toisin sanoen niiden venymä on suoraan verrannollinen venymisen aiheuttamaan jännitykseen. Koepala venyy kimmoisasti eli se palautuu jännityksen loputtua alkuperäiseen muotoonsa, kun siihen kohdistuva jännitys on kimmorajaa pienempi. Koepalaan muodostuu pysyvä muodonmuutos silloin, kun jännitys kasvaa niin suureksi, että saavutetaan plastinen alue. [6]

Ylempi myötöraja ( $R_e H$ ) tarkoittaa rajaa, jossa kimmoisa koepala rupeaa ensimmäisen kerran venymään plastisesti. [7]

Suure  $R_p 0,2$  (venymäraja) kuvaa jännitystä, joka aiheuttaa testattavalle materiaalille 0,2 % pysyvän venymän. Suureta käytetään tilanteessa, jossa materiaalilla ei ole selkeää fysikaalista myötörajaa. [8, s.17]

Kokeen jälkeen saatuja tuloksia tutkittiin ja verrattiin keskenään eri laatuojen välillä. Materiaalien kimmokertoimiksi ( $E_{mod}$ ) saatiin arvoja välillä 0,55–1,89  $kN/mm^2$ . Venymärajoiksi ( $R_p 0,2$ ) saatiin arvoja välillä 6,83–22,67  $N/mm^2$ . Myötölujuuden ( $R_eH$ ) tulokset vaihtelivat välillä 13,52–38,17  $N/mm^2$ . Suurimman mitatun voiman ( $F_{max}$ ) tulokset vaihtelivat välillä 13,81–38,17  $N/mm^2$ .

Taivutuskokeen tulokset kertovat, että testattujen eri laatuojen ominaisuudet eroavat toisistaan suuresti. Laadut itsessään olivat pääosin tasalaatuisia. Ainoastaan laadulla M4 saadut tulokset poikkesivat huomattavasti eri koepalojen välillä.

Testien perusteella ominaisuuksiltaan parhaaksi laaduksi osoittautui laatu M2. Kyseinen laatu näytti ulospäin laadukkaalta, ja myös käsin taivutettaessa se tuntui sopivimmalta lämpömuovaukseen. Ero parhaimman laadun (M2) ja heikoimman laadun (M5) oli selvästi havaittavissa niin tuloksista kuin ulkoisesti tarkastelemalla. Laatu M5 oli pinnaltaan epätasainen sekä murtui helposti käsin taivuttamalla. Laadut M1 ja M3 olivat ominaisuuksiltaan kohtalaisen hyviä ja keskenään laadullisesti lähellä toisiaan. Laadulla M4 saadut vaihtelut saattavat johtua laadun epätasalaatuisuudesta tai mittalaitteen virheestä.

### 3.3.2 Vetokokeen tulokset

Kokeen jälkeen ei tarvinnut tehdä laskutoimituksia, koska mittalaitteen ohjelma laski tulokset automaattisesti. Mittalaite antoi tulokset seuraavina suureina:

- kimmokerroin ( $E_{mod}$ )
- venymäraja ( $R_p 0,2$ )
- murtovoima (RB)
- vetomurtolujuus ( $R_m$ )
- suurimman mitatun voiman aiheuttama venymä ( $\epsilon-F_{max}$ )
- murtovenymä ( $\epsilon$ -Break).

Kimmokerroin ( $E_{mod}$ ) ja venymäraja ( $R_p 0,2$ ) on selitetty taivutuskokeen tuloksissa.

Murtovoima (RB) kertoo koepalaan kohdistuvan voiman suuruuden sen murtumishetkellä.

Vetomurtolujuus ( $R_m$ ) kuvastaa materiaalin murtamisen mahdollistavan voiman suuruutta [7, s.1].

Murtovenymällä ( $\epsilon$ -Break) tarkoitetaan koepalaan syntyvää venymää, jonka enimmäiskuormitus aiheuttaa ennen materiaalin murtumista [9].

Vetokokeiden tuloksissa oleva sarake ( $R_p$  x) on tässä kokeessa sama suure kuin venymäraja ( $R_p$  0,2).

Saatuja tuloksia verrattiin keskenään. Kimmokertoimet ( $E_{mod}$ ) vaihtelivat välillä 350,78–4072,46  $N/mm^2$ . Venymärajoiksi ( $R_p$  0,2) saatiin arvoja välillä 6,73–10,88  $N/mm^2$ . (RB) tulokset vaihtelivat välillä 9,76–25,01  $N/mm^2$ . Vetomurtolujuuden ( $R_m$ ) voimaksi saatiin arvoja väliltä 331,59–948,39  $N$ . Suurimman mitatun voiman aiheuttaman venymän ( $\epsilon$ - $F_{max}$ ) tulokset vaihtelivat välillä 3,62–4,36 %. Murtovenymän ( $\epsilon$ -Break) arvot vaihtelivat välillä 3,84–4,94 %. (Liite 2)

Kuten taivutuskokeessa myös vetokokeen tuloksissa oli paljon vaihtelua eri laatuojen välillä. Tässä kokeessa jopa saman laadun eri koepalat antoivat välillä erilaisia arvoja. Nämä eroavaisuudet voivat johtua materiaalin epätasalaatuisuudesta tai testilaitteesta.

Vetokokeen tulosten perusteella eri materiaalilaadut laitettiin samaan paremmuusjärjestykseen kuin taivutuskokeen jälkeen. Parhaaksi laaduksi lämpömuovauksen kannalta osoittautui jälleen laatu M2. Huonoimmat tulokset saatiin laadulla M5. Laadut M1, M3 ja M4 olivat, kuten taivutuskokeessakin, ominaisuuksiltaan kohtuullisen hyviä, sekä ominaisuuksiltaan melko lähellä toisiaan.

Kokeen tuloksia verrattiin valmistajan antamiin vetokoetuloksiin (taulukko 1). Taulukossa 1 sarake GP 20 vastaa kokeessa käytettyä materiaalia. Laadulla M2 päästiin muutamilla koepaloilla lähelle valmistajan arvoja. Muilla laaduilla erot olivat huomattavasti suuremmat.

PHYSICAL AND  
MECHANICAL  
PROPERTIES

Property	Test method	GP 20	GP 30	GP 40	GP 50
Density, g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183	0.97	1.02	1.07	1.12
Tensile strength, N/mm <sup>2</sup>	ISO 527-2	32	41	50	58
Tensile modulus N/mm <sup>2</sup>	ISO 527-2	1900	2900	3800	4700
Strain (tensile), %	ISO 527-2	4.6	4.8	4	3
Charpy impact strength, notched, kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA	6.5	4.2	5.5	3.7
Charpy impact strength, unnotched, kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU	34	34	45	29
Cellulose content, weight %		20	30	40	50

Taulukko 1. Materiaalin valmistajan ilmoittamat arvot

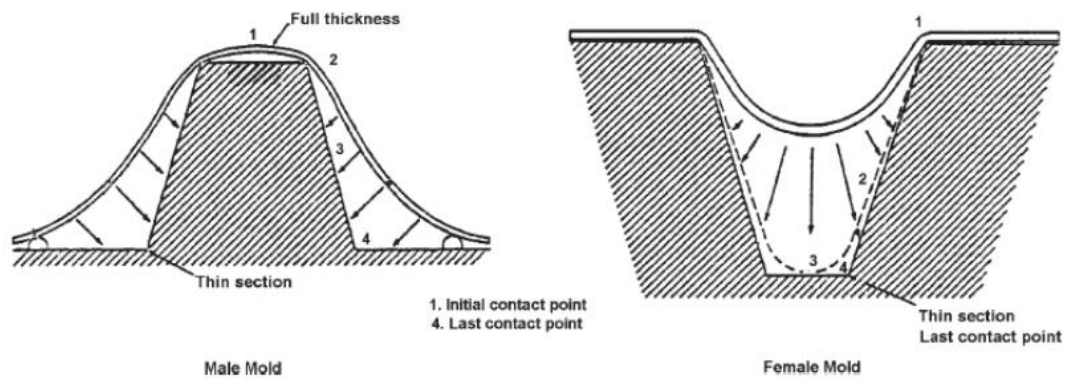
## 4 Lämpömuovausmenetelmät

### 4.1 Lämpömuovaus

Lämpömuovauksessa kestopuovilevy muovataan tavoiteltuun muotoon lämmön avulla. Lämmitettäessä levyaiho muuttuu pehmeäksi ja kumimaiseksi, mikä mahdollistaa sen muotoutumisen. Lämpömuovauksella on mahdollista valmistaa ohutseinämäisiä tuotteita. Menetelmällä valmistetaan tyypillisesti pieniä sarjoja, alkaen yhdestä kappaleesta aina muutamaan sataan kappaleeseen. Lämpömuovaus voidaan tehdä positiivi- tai negatiivimuotilla, toisin sanoen uros- tai naarasmuotilla. Menetelmässä käytetään yleensä hyväksi ali- tai ylipainetta. Myös mekaaninen lämpömuovaus on mahdollista. [10]

### 4.2 Muotit

Muotteja suunniteltaessa on hyvä huomioida urosmuotin ja naarasmuotin käytön eri vaikutukset. Sama osa tulee ohenemaan eri kohdista, riippuen kumpaa muottia käytetään. Kuvassa 3 on esitetty, miten materiaali joutuu venymään kohdasta, joka luo viimeisenä kontaktin muottiin. Kun muottia nostetaan kohti lämmitettyä aihiota, kohta, joka osuu muoviaihiioon ensimmäisenä, jäädyttää työstettävää materiaalia. Jäähtyminen johtaa materiaalin venymiskyvyn heikkenemiseen kyseisellä alueella. Tästä johtuen materiaali ohenee voimakkaasti seinämiä vasten alaspäin mentäessä. Tätä ilmiötä voidaan lieventää esilämmittämällä muotti ja esivenyttämällä aihiota. Muotin valintaan vaikuttavat myös pinnan laatuvaatimukset. Laadultaan parempi puoli tulee olemaan se, kumpi ei ole kosketuksessa muotin pintaa vasten. Muotin pintaa vasten oleva puoli kopioi kaikki muotissa olevat virheet itseensä. [11, s. 33, s. 39.]



Kuva 3. Materiaalin oheneminen uros- ja naarasmuottia käytettäessä [12]

Päästökulmat mahdollistavat aihion irrottamisen muotista muovauksen jälkeen. Näiden kulmien suuruus riippuu muotin syvyydestä, muottipinnan laadusta, työstettävän aihion materiaalista sekä siitä, käytetäänkö aihion esivenytystä. Päästökulma voi naarasmuotissa olla nolla astetta, mikäli käytettävä aihiomateriaali kutistuu tarpeeksi muovauksen ja jäähtymisen jälkeen. Mitä suurempi päästökulma on, sitä helpommin aihio irtaa muotista. Suuri kulma mahdollistaa myös valmiin kappaleen tasaisen paksuuden. Suositus yleiseksi minimipäästökulmaksi urosmuoteille on 5 astetta ja naarasmuotille 3 astetta (kuva 4). [11, s. 33, s. 39.]



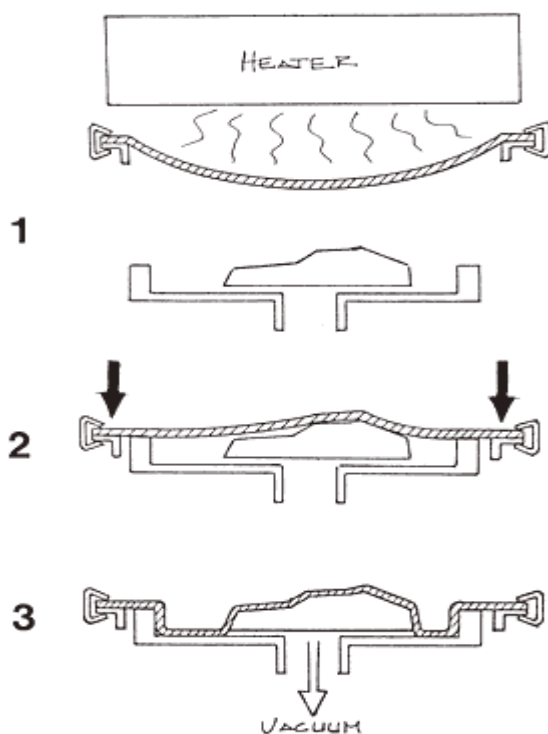
Kuva 4. Suositusten mukaiset päästökulmat

#### 4.3 Alipainemuovaus

Alipainemuovauksessa kestopuovilevy lämmitetään joko uunissa tai alipainemuovauskoneen sähkövastuksilla. Erillisellä muovauskoneella muovattaessa levyaihiot tiivistetään reunoistaan koneen raameihin. Tarpeeksi pehmenyt levy puhalletaan tämän jälkeen paineilmalla kuplalle ja samaan aikaan koneen työkalupöytä nostaa muotin kuplan sisään.

Alipainepumppu imee kuplasta ilman pois, minkä seurauksena levyaiho painautuu muottia vasten ja kopioi muodot tarkasti. Kone jäähdyyttää aihion, minkä jälkeen se voidaan irrottaa muotista. Alipainetta pidetään yllä niin kauan, kunnes aihio on muuttunut taas jäykäksi.

Alipainemuovauksessa aine saattaa ohentua epätasaisesti, johtuen esimerkiksi lämmityksen epätasaisuudesta. Ohentumista voidaan tasoittaa käyttämällä vastapainimia, jotka esivenyttävät levyä ennen alipainetta. Jos tietty kohta osasta jää toistuvasti liian ohueksi, voidaan painimen avulla tuoda lisää materiaalia lähelle tätä aluetta ennen alipaineen synnyttämistä. Kuvassa 5 nähdään alipainemuovauksen periaate.



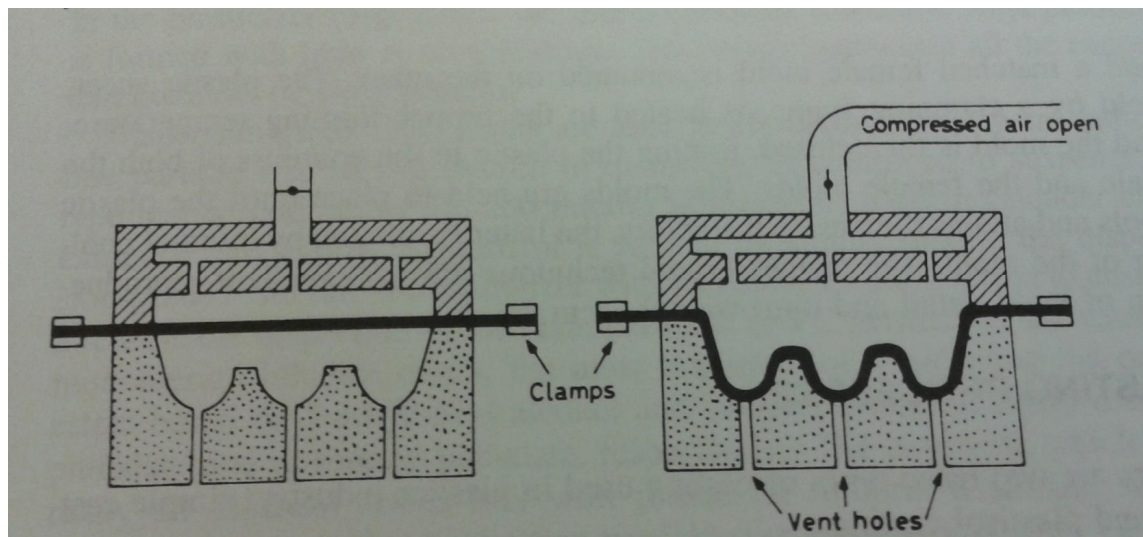
Kuva 5. Alipainemuovauksen periaate [13]

Alipainemuovaus voidaan tehdä myös alipainesäkin avulla. Menetelmän periaatteesta ja toimivuudesta kerrotaan enemmän etumaskin valmistuksen yhteydessä. [10]

#### 4.4 Painemuovaus

Painemuovauksen periaate on muuten sama kuin alipainemuovauksen, mutta muoviainio painetaan muottia vasten painetta hyväksi käyttäen. Aihio tiivistetään koneen raamien ja painekannen väliin. Painekansi luo kuvan 6 mukaisesti ylipaineen tiivistettyyn tilaan. Painemuovauksessa voi käyttää paineen lisäksi hyväksi myös alipainetta. Muottiin tehdyt reiät mahdollistavat ilman poistumisen muotin ja aihion välistä.

Alipainemuovaukseen verrattuna painemuovaus mahdollistaa nopeamman tuotantosyklin ja paremman mittatarkkuuden. [14, s. 233.]

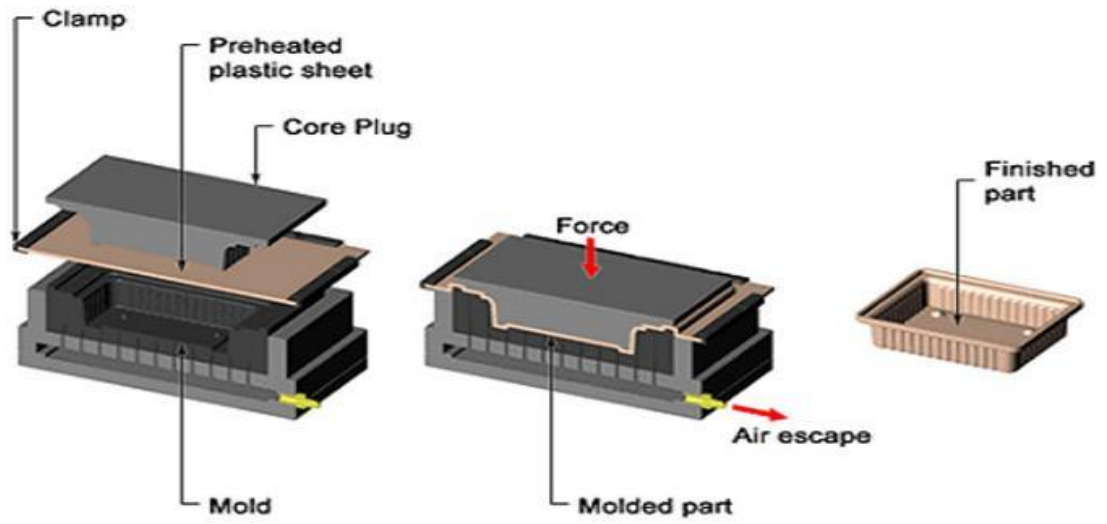


Kuva 6. Painemuovauksen periaate [14]

#### 4.5 Mekaaninen muovaus

Mekaaninen muovaus on lämpömuovausmenetelmä, jossa ei käytetä ali- tai ylipainetta apuna. Tyypillinen mekaanisen muovauksen muoto on vastakkaisilla muoteilla muovaaminen. Menetelmässä valmistetaan kaksi muottia, jotka ovat toistensa vastakohtia. Muottien suunnittelussa täytyy ottaa huomioon materiaalin paksuuden tarvitsema tila niiden välissä. Lämmitetty levyaihiio laitetaan muottien väliin ja muotit painetaan toisiinsa vasten. Tällä tavalla pakotetaan levyä muotoutumaan mekaanisesti haluttuun muotoon. Kuva 7 esittää tämän muovausmenetelmän periaatteen. [14, s.233.]





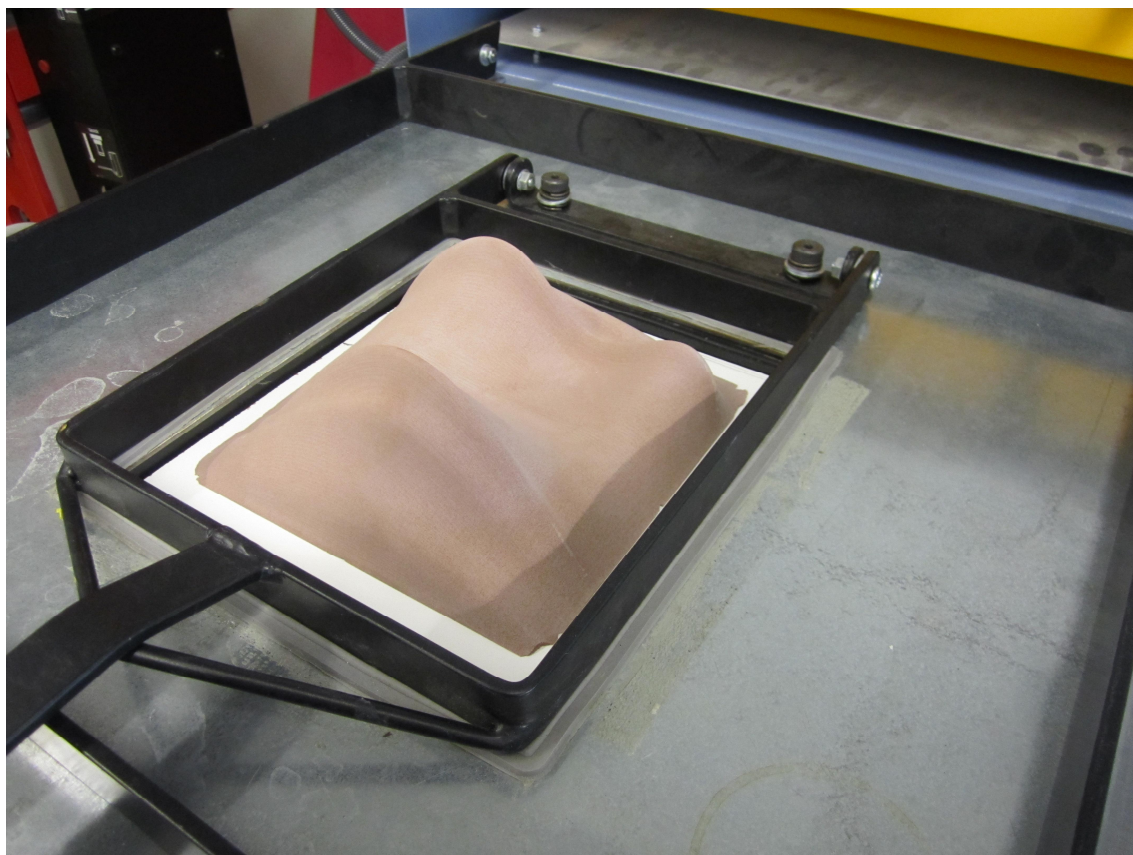
Kuva 7. Mekaanisen muovauksen periaate [15]

## 5 Lämpömuovauskokeet

### 5.1 Kokeiden suoritus

Lämpömuovauskokeet suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun alipainemuovauskoneella. Kokeiden tarkoituksena oli tutkia materiaalin soveltuvuutta lämpömuovaukseen ja auton osien valmistamiseen.

Kokeita varten koneistettiin koemuotti Sikablock M650 -polyuretaanimateriaalista. Muotin muodot suunniteltiin tarkoituksellisesti vaikeiksi, mutta kuitenkin osiltaan vastamaan samantyyppisiä muotoja kuin valmistettavissa osissa ilmenee (kuva 8). Muotti suunniteltiin käyttämällä Dassault Systemesin Catia V5R20 -mallinnusohjelman pinta-suunnittelutyökaluja. Samalla mallinnusohjelmalla tehtiin etukäteen liimatulle muotitaihiolle koneistusradat. Muotti koneistettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun CNC-jyrsimellä. Muottien valmistusprosessista kerrotaan tarkemmin sivuhelmojen urosmuotin yhteydessä. Muotin ja muoviaihion välisen ilman poistumisen helpottamiseksi muotin syvimpään muotoon porattiin halkaisijaltaan 1 millimetrin reikiä.



Kuva 8. Koemuotti aseteltuna lämpömuovauskoneen raamien sisään

Testattavana oli kaksi erilaista versiota tutkittavasta materiaalista. Versiot erosivat toisistaan niihin sekoitetun muovin osalta. Levyt, jotka oli merkitty tunnuksella M1, olivat polypropeenipohjaisia ja M3-tunnuksella merkityt levyt olivat polyeteenipohjaisia.

Levyaihiot tunnuksella M1 olivat paksuudeltaan 3,9–4,1 millimetriä ja tunnuksella M3 merkityt levyt 2,8–3 millimetriä. Aihioita lämmitettiin kiertoilmauunissa 200 celsiusasteessa. Ohuimmat levyt muuttuivat muovattaviksi noin 200 sekunnissa ja paksummat noin 300 sekunnissa. Lämmitetty muovilevy nostettiin ja tiivistettiin muovauskoneen raamien väliin. Aihion on hyvä tulla raamien yli vähintään 50 millimetriä joka suunnassa. Muotti nostettiin nostovivulla ylös ja muovilevyn alta imettiin alipaineella ilma pois. Alipaineen avulla aihio muotoutui muotin pintoja mukaillen.

## 5.2 Tulokset

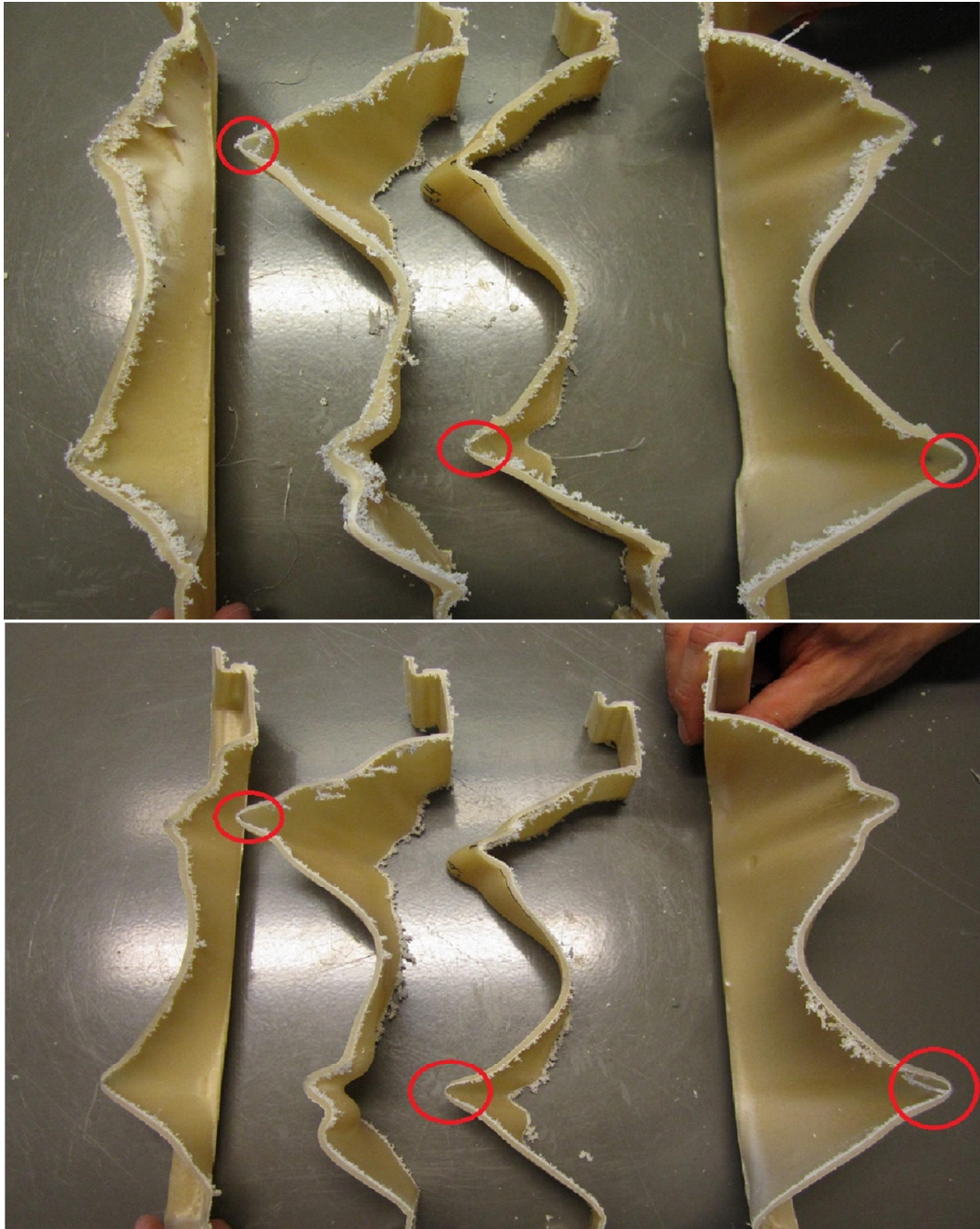
Kokeissa saadut tulokset olivat lupaavia jatkoa ajatellen. Muoviversioista molemmat muotoutuivat, tarpeeksi kumimaiseksi lämmitettyään, repeämättä muotin pintaa vasten (kuva 9).



Kuva 9. M1- ja M3-laatuiset materiaalilevyt alipainemuovauksen jälkeen

Vaikka korkeimmissa huippukohdissa molempien muoviversioiden materiaalipaksuus jäi todella pieneksi (ohuimmillaan 0,5 mm), saavutti materiaali kuitenkin jäähtyessään näissä kohdissa kohtalaisen jäykkyyden.

Huomioitavaa oli myös, että vaikka tunnuksella M1 merkityt levyt olivat ainevahvuudeltaan keskimäärin noin millimetrin paksumpia, oli muovattujen aihoiden ainevahvuus näissä huippukohdissa sama kuin ohuemmissa M3-tunnuksella merkityissä levyissä. Kuvassa 10 näkyy allekkain poikkileikkaus molemmista muoviversioista. Ohuimmat kohdat on merkitty punaisella ympyrällä.

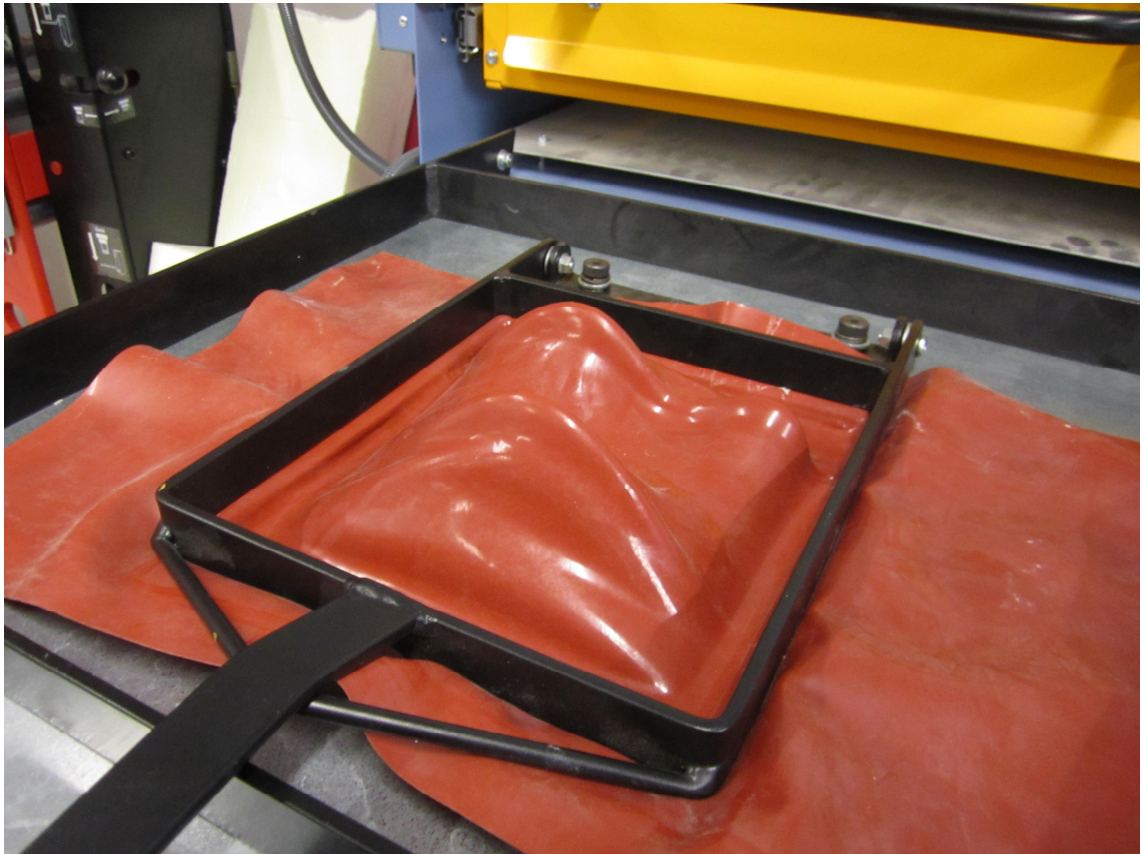


Kuva 10. M1- ja M3-laatuiset materiaalilevyt alipainemuovattuina ja poikkileikattuina. Punaisella ympäröity ohuimmat kohdat (jopa 0,5 mm)

Muottimateriaalin valmistaja ilmoittaa tuotteensa lämmönkestonrajaksi 85 °C. Muotin kestävydestä voikin mainita, että sen pinta muuttui lämmön vaikutuksesta palaneen ruskeaksi. Kokeiden aikana lämmennyt muotti tuntui myös pehmeämmältä kuin ennen testien aloitusta. Tästä voitiin päätellä, että kyseinen tuote ei ole paras vaihtoehto lämpömuovausmuotin valmistusmateriaaliksi. Kuitenkin muutamia kappaleita valmistettaessa muottimateriaalin todettiin olevan riittävän kestävä.

### 5.3 Silikonimaton hyödyntäminen

Alipainemuovauksessa voi muodostua ongelmaksi muovattavan materiaalin repeäminen. Pienikin repeämä aiheuttaa imun heikentymisen, jolloin materiaali ei muotoudu joka kohdassa täydellisesti muotin pintaa vasten. Hyvä apuväline alipaineen ylläpitämiseen on silikonimatto. Matto asetellaan lämmitetyn aihion päälle ja nämä molemmat tiivistetään muovauskoneen raameja vasten (kuva 11). Silikonimatto on tarpeeksi joustava venymään alipaineen vaikutuksesta ja painamaan alla olevan materiaalin muottia vasten. Vaikka muovattava materiaali repeää, silikoni pitää alipaineen loppuun asti riittävänä. Silikonimaton on kestävä vähintään 200 °C:n lämpötila.

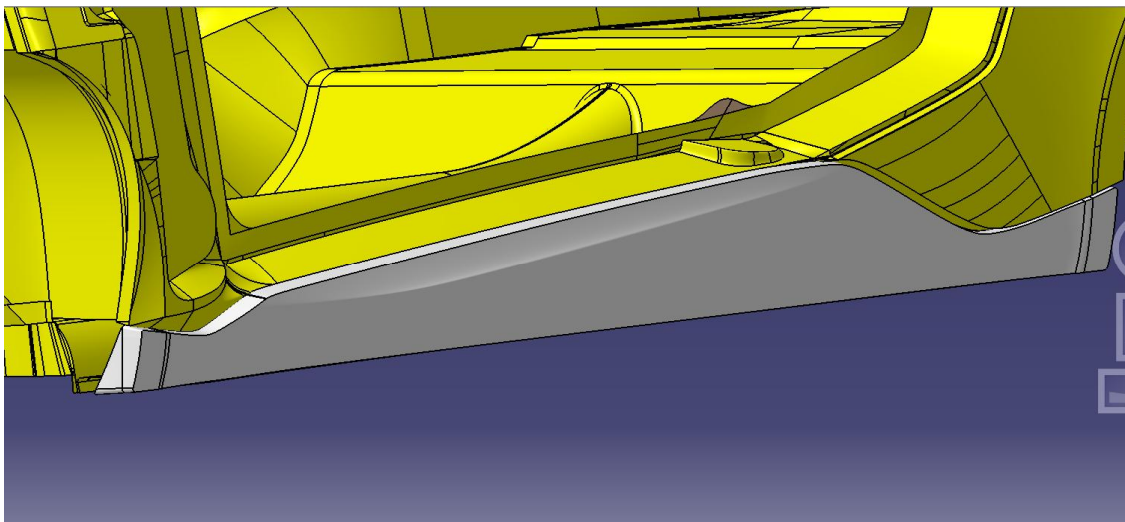


Kuva 11. Alipainemuovaus käynnissä silikonimattoa apuna käyttäen

## 6 Osien valmistus

### 6.1 Sivuhelmat

Sivuhelmojen lämpömuovaus tehtiin projektin yhteistyökumppanin Geiss T8 -merkkisellä tyhjiömuovauskoneella. Kuvassa 12 näkyy kuljettajan puoleinen sivuhelma mallinnettuna auton korin yhteyteen.



Kuvio 12. 3D-malli kuljettajan puolen sivuhelmasta

#### 6.1.1 Naarasmuotti

Projektin aiemmassa vaiheessa oli koneistettu sivuhelmojen muotti valmiiksi tätä insinööriä silmällä pitäen. Muotti on samaa materiaalia kuin lämpömuovaustesteihin tarkoitettu koemuotti. Muotti on koneistettu ns. naaraspuoleiseksi (kuva 13).



Kuva 13. Sivuhelmojen naarasmuotti

Muovaus naarasmuottiin oli lähellä onnistua. Ongelmaksi muodostuivat kuitenkin helmojen päädyt, joissa materiaalin paksuus jäi liian ohueksi tai repesi kokonaan. Materiaalin repeytyttyä myös alipaineen vaikutus heikentyi, jolloin lämmitetty muoviaihiö ei painautunut joka kohdasta muottia vasten. Repeämiseen ja materiaalin ohenemiseen päädyissä löytyy syy muotin muodoista.

Muotin ulkoreunat ovat pystysuorat, mikä syvissä päätyjen muodoissa vetää alipaineen vaikutuksesta materiaalia pois varsinaisen osan alueelta. Kuvassa 14 näkyy tästä ilmiöstä johtuva materiaalin oheneminen.





Kuva 14. Sivuhelmojen naarasmuotilla alipainemuovattu materiaalilevy. Punaisella ympyröity materiaalin oheneminen ja repeäminen

Muovausten jälkeen lämpötilan rasittama muotti oli pinnaltaan palaneen ruskea kuten lämpömuovauskokeissa. Uutena ilmiönä huomattiin muotin liimaussaumojen osittainen pettäminen. Saumat olivat tässä muotissa liimattu yhteen tavallisella puuliimalla, jonka todettiin soveltuvan erittäin huonosti lämpömuovaukseen.

### 6.1.2 Päätypainimet

Päädyissä tapahtuvaa ohenemisongelmaa lähdettiin ratkaisemaan päätyihin koneistettujen painimien avulla. Materiaalina käytettiin samaa polyuretaania kuin aikaisemmissa muoteissa. Painimilla oli tarkoitus esivenyttää lämmitettyä ahiota ja tuoda materiaalia enemmän päätyjen syviin muotoihin ennen alipaineen synnyttämistä.

Painimet asennettiin muovauskoneen hydrauliseen prssiin oikeille kohdille (kuva 15). Painimia suunniteltaessa otettiin huomioon, että itse muoville täytyy jättää 5 millimetriä tilaa muotoutumiselle joka suunnassa.



Kuva 15. Päätypainimet kiinnitettyinä alipainemuovaimen hydrauliseen prssiin

Painimia käyttämällä ei saatu aikaan haluttua tulosta. Materiaali ei kestänyt alipaineen aiheuttamaa venymistä pystyseinämillä.

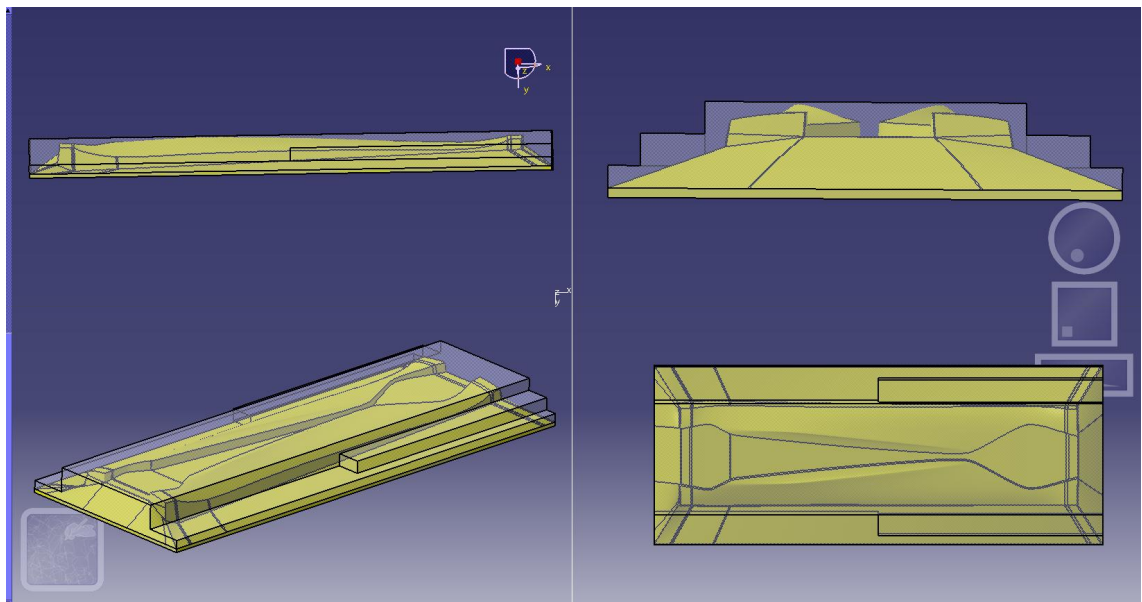
### 6.1.3 Urosmuotin suunnittelu ja valmistus

Epäonnistumisten jälkeen päädyttiin täysin uuden, urospuolisen muotin, valmistamiseen. Urosmuottiin muovatessa hyödytään enemmän kuin naarasmuotin tapauksessa siitä, että lämmitetty aihio puhalletaan kuplalle ja muotti nostetaan kuplan sisään. Muotia suunnitellessa kiinnitettiin huomiota sen reunoihin, jotka muotoiltiin pystysuoran sijasta loivasti laskeviksi. Tällä pyrittiin välttämään materiaalin vetäytymistä varsinaisen osan alueilta, etenkin korkeuseroltaan suurimmista kohdista.

Tavoitteena oli myös tehdä mahdollisimman matala muotti materiaalin pystysuuntaisen venymisen minimoimiseksi. Helmojen toisessa päädyssä on kuitenkin lähes pystysuoraa pudotusta suurimmillaan noin 90 millimetriä, minkä epäiltiin aiheuttavan ongelmia materiaalin venymisessä.

Urosmuotti mallinnettiin Catia V5R20 -ohjelman pintatyökaluilla. Aikaisemmin piirretyt helmat aseteltiin vierekkäin, jotta ne saataisiin yhdistettyä samaan muottiin naarasmuotin tapaan.

Valmiille muottipinnalle tehtiin koneistusradat Catia V5R20 -ohjelman Surface Machining -työkaluilla. Muotille piirrettiin aihio, joka koottiin liimaamalla. Liimana käytettiin muottimateriaalin valmistajan omaa Biresin Kleber Braun -nimistä liimaa. Liimausvaiheessa on suositeltavaa käyttää ruuveja apuna palojen kohdistamisessa. Ruuveja käyttäessä pitää kuitenkin huomioida, etteivät niiden aiheuttamat reiät tule näkyviin valmiissa muotissa, ainakaan varsinaisen osan alueella. Kuvassa 16 näkyvät muotin pintamalli ja piirretty aihio.



Kuva 16. Sivuhelmojen urosmuotin 3D-malli eri suunnista kuvattuna. Valmis muotti on värjätty keltaisella ja aihio harmaalla

Koneistusradat koostuivat rouhinnasta ja viimeistelystä. Rouhintavaihe (Roughing-työkalu) poistaa suurimman osan muottia ympäröivästä ahiomateriaalista. Rouhintavaihe jättää pinnan 0,5 millimetrin päähän valmiin muotin pinnasta. Muotin pinta viimeistellään Sweep-työkalulla. Molemmat vaiheet ajettiin pallopääterällä, jonka halkaisija on 14 millimetriä.

Ennen varsinaista koneistusta tapahtuma on mahdollista simuloida. Simulointi näyttää terän kulkureitit, lopputuloksen ja arvioidun kestoajan.

Rouhintavaihe on nopeampi kuin viimeistelyvaihe. Kyseisen muotin koneistus kesti yhteensä noin 40 tuntia oletusnopeudella.

Muotti koneistettiin Exitech-merkkisellä CNC-koneella. Prosessi aloitettiin kiinnittämällä aihio koneen ajopöytään. Ennen ohjelman ajamista koneelle täytyi asettaa nollakohtat x-, y-, ja z-akselille manuaalisesti, jotta ohjelma tietää aihion tarkan sijainnin. Akseleiden nollakohta aihion suhteen on määritelty jo ratojen ohjelmointivaiheessa.

Kuvassa 17 on esitetty liimattu aihio, rouhittu aihio ja viimeistely muotti. Muotti hiottiin varmuuden vuoksi kevyesti käsin käyttämällä karheusluokan 180 hiomapaperia. Urosmuotin tapauksessa muotin pinnanlaadulla ei ole niin suurta merkitystä, sillä muottia vasten oleva puoli materiaalista jää piiloon. Lämpömuovauksen koemuottia ja helmojen päätypainimia valmistettaessa käytiin läpi kaikki samat vaiheet kuin helmojen urosmuotin kanssa.



Kuva 17. Ylimpänä näkyy sivuhelmojen urosmuotin liimattu aihio, keskellä muotti rouhintavaihe suoritettuna ja alimpana viimeistelyvaihe suoritettuna

#### 6.1.4 Urosmuotilla saavutetut tulokset

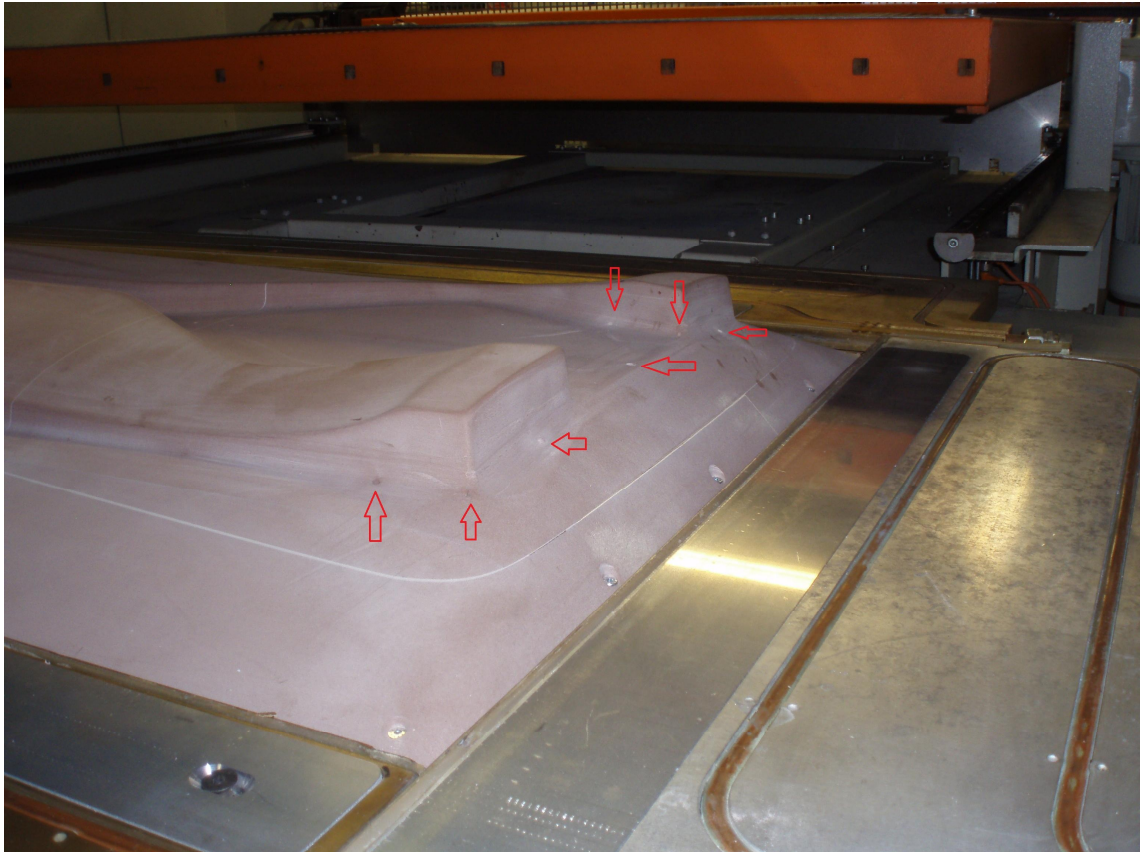
Ensimmäisissä alipainemuovauskokeiluissa käytettiin vanhemman tuotantoerän materiaaleja. Urosmuotin helpommista muodoista huolimatta, materiaaliin muodostui joka kerta pieni repeämä molempien helmojen korkeimpaan pätyyn. Tämän jälkeen siirryttiin uudemmasta erästä saatuihin materiaaleihin, joissa repeämistä ei enää tapahtunut. Vanhemman erän levyaihiot olivat uusiin verrattuna paljon huokoisempia. Tämä kertoi siitä, että puukuitu ja muovi eivät olleet niissä yhtä hyvin sekoittuneet kuin uusimmissa aihioissa. Uudemmissa aihioissa oli myös käytetty paremmin venyvää muovia mukana.

Toinen ongelma oli materiaaliin muodostuneet rypyt imuvaiheen aikana. Ryppyjen muodostumiseen vaikuttivat muotin muodot, mutta myös laitteen todella nopeasti aiheuttama voimakas imu, joka ei antanut rypylle aikaa suoristua. Ryppyjen läheisyydessä muovi ei kopioinut täydellisesti helmojen muotoja. (kuva 18).



Kuva 18. Sivuhelmojen alipainemuovaus urosmuotilla. Punaisella on ympyröity muovausprosessissa syntyneet rypyt

Ryppy muodostui aina lähes samaan paikkaan, joten sen kohdalle porattiin läpireikä tehostamaan ilman poistumista materiaalin ja muotin välistä. Myös muihin ongelmakoh-  
tiin porattiin ylimääräisiä reikiä (kuva 19). Poraamisen jälkeen reiät puhdistettiin pai-  
neilmaa apuna käyttäen. Tällä tavalla varmistettiin, että poraamisesta aiheutunut suu-  
rehko pölyn määrä ei tuki kapeita reikiä.



Kuva 19. Punaisilla nuolilla merkitty sivuhelmojen urosmuottiin poratut läpireiät, joiden avulla tehostetaan ilman poistumista materiaalin ja muotin välistä

Lopputuloksena onnistuttiin muovaamaan molemmista helmoista yksi täydellinen kap-  
pale. Materiaalin lämmityksessä oikean lämpötilan todettiin olevan 195–200 °C. Läm-  
mitysaika vaihteli 300 ja 400 sekunnin välillä. Onnistuneen materiaalilevyn paksuus oli  
neljä millimetriä. Alle kolme millimetriä paksuilla levyillä ei saatu aikaan repeämätöntä  
tuotetta.

Lämmitysvaiheessa materiaalin lämpötilaa tarkkailtiin infrapunalämpömittarin avulla.  
Parempi vaihtoehto lämmöntarkkailuun olisi ollut pyrometri, joka tarkkailee materiaalin  
sisäistä lämpötilaa. Kyseisessä koneessa ei sellaista kuitenkaan ollut.

Muovauskone jäähdytti muovin oletusasetusten mukaisesti, minkä jälkeen se irrotettiin muotista. Helmat erotettiin toisistaan pistosahalla. Ylimääräiset reunukset leikattiin painemaleikkurilla noin millimetrin päähän osien oikeista rajoista. Kuvassa 20 näkyy vierekkäin muovattu aihio ja irtileikatut helmat.

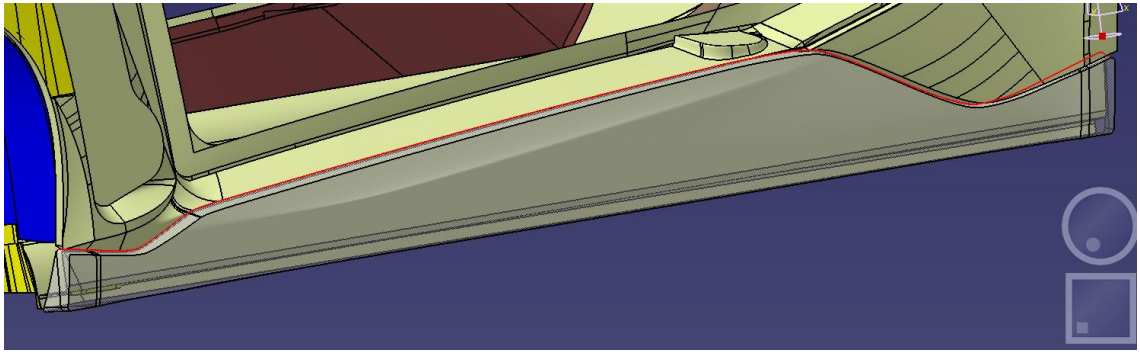


Kuva 20. Vasemmalla sivuhelmojen onnistunut alipainemuovaus urosmuotilla. Oikealla toisistaan irtileikatut helmat

#### 6.1.5 Kiinnitys

Opinnäytetyöhön sisällytettiin myös helmojen kiinnityksen kehittäminen. Suunnittelun haastavuutta lisäsi se, että helmojen ja auton korin välinen kosketuspinta-ala on todella vähäinen. Kuvassa 21 on kuvattu toisen sivuhelman kosketuskohdat auton koriin.





Kuva 21. Helman kosketuspinnat koriin punaisella värillä

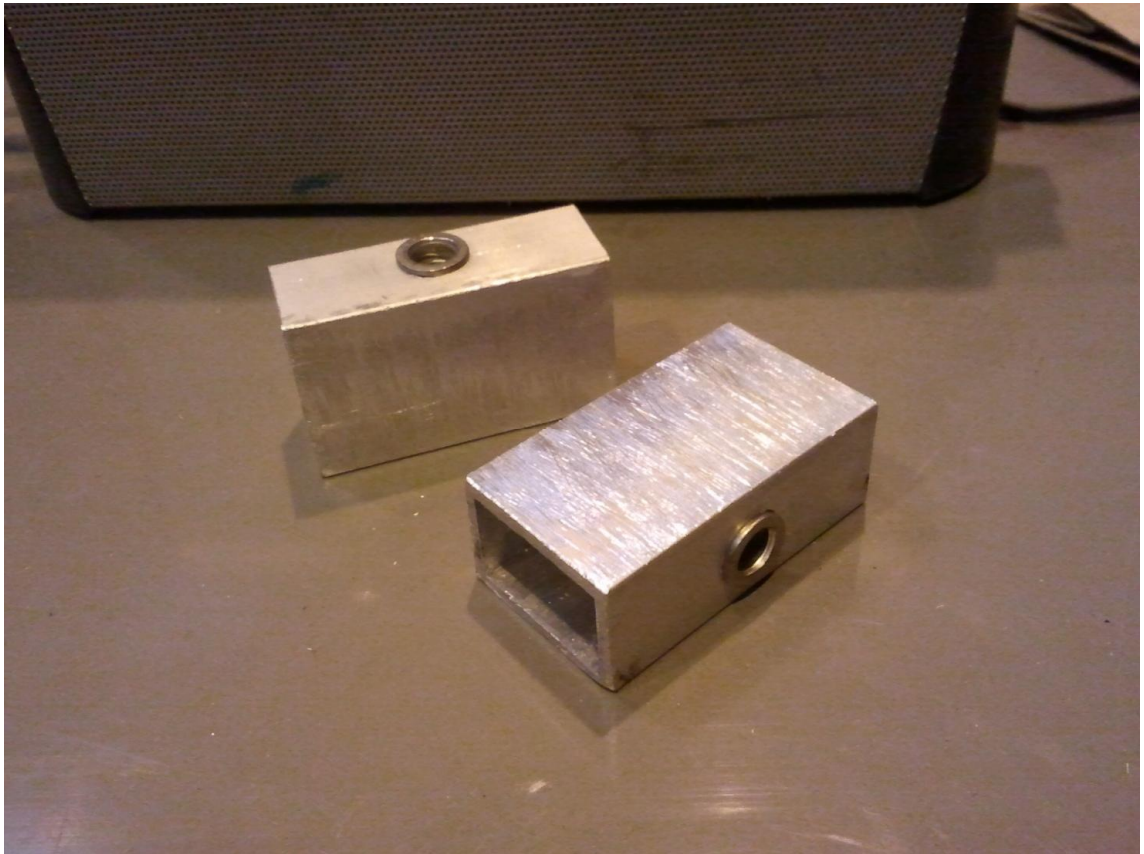
Lähtökohtaisesti kiinnityksestä piti tehdä niin tukeva, etteivät helmat lepattaisi missään ajonopeudessa. Tämä ongelma voisi ilmetä varsinkin helmojen alareunoissa, jotka eivät ole suorassa kosketuksessa auton koriin. Helmat olivat myös vääntyneet käyriksi lämpömuovauksen jäähdytysvaiheessa, mikä toisi lisää haastetta niiden kiinnitykseen. Vääntyminen olisi voitu välttää, jos muovattua aihiota olisi jäähdytetty pidemmän aikaa muotin päällä alipaineessa. Muovauksessa käytetty kone oli kuitenkin ohjelmoitu irrottamaan aihio tietyn ajan kuluessa, mikä osoittautui liian lyhyeksi. Materiaali on niin joustavaa, että helmat saa väännettyä oikeaan asentoon auton korja vasten. Vääntämisestä huolimatta helmat kuitenkin palautuivat aina takaisin käyriksi. Kun helmoja kokeiltiin asemoida käsin oikealle paikalleen, huomattiin, että ne ovat vääntymisen lisäksi myös kutistuneet pituussuunnassa noin 25 millimetriä eli noin 1,5 %. Polyeteeni on osakiteinen polymeeri, joiden kutistuma voi olla 1–5 % [16]. Tämäkin olisi voitu välttää, jos aihiota olisi jäähdytetty alipaineessa muotin päällä pidempään. Helmat päätettiin asemoida oikealle kohdalleen takalokasuojan linjan mukaisesti ja lisätä etupäähän jatkopala myöhemmin.

Kiinnikkeet valmistettiin alumiinista Metropolian omilla laitteilla. Helmojen yläreunaan taivutettiin yhden millimetrin paksuisesta alumiinilevystä koukut. Koukuille taivutettiin samasta alumiinilevystä vastakappaleet, jotka liimattaisiin auton koriin. Kiinnikkeiden asemointia testattiin kaksipuolista teippiä hyödyntäen. Kuvassa 22 näkyy oikeanpuolisen sivuhelman yläkiinnikkeet, jotka on kiinnitetty testausta varten väliaikaisesti teipillä.



Kuva 22. Oikeanpuoleisen helman yläkiinnikkeet

Helmojen päätyihin sahattiin kiinnikkeet alumiiniprofiilista. Sahattuihin kiinnikkeisiin porattiin reikä, johon ammuttiin niittipyssyllä kierreniitti. Ideana oli, että helmojen päätyjen läpi porattaisiin reiät, joista ruuvattaisiin pultit kierreniittien sisään. Päätykiinnikkeiden avulla oli siis tarkoitus asemoida helmat pituus- ja pystysuunnassa. Helmojen päädyissä olevan reiän asema tulisi määrittämään helman aseman pystysuunnassa ja kiinnikkeiden asema pituussuunnassa tulisi määrittämään helmojen pituussuuntaisen aseman. Kuvassa 23 on esitetty päätyihin valmistetut kiinnikkeet.



Kuva 23. Päätyihin valmistetut kiinnikkeet

Helmojen alareunan kiinnikkeet tehtiin samalla tavalla kuin päätyjen kiinnikkeet. Materiaalina käytettiin samaa alumiiniprofiilia. Ainoana erona on, että alakiinnikkeissä kierreniitti asennettiin profiilin leveämmälle sivulle. Kiinnityksen idea oli myös alareunassa se, että helman alareunaan porataan kiinnikkeisiin nähden oikealle kohdalle reikiä. Reikien läpi ruuvattaisiin pultit, joka kiinnittyvät kierreniitteihin. Alareunan kiinnityksen tarkoituksena oli vähentää helmojen lepattamista ajotilanteessa.

Koriin tulevat kiinnikkeet liimattiin kiinni Axson Adekit A 170 GY -liimalla (liite 3), joka on tarkoitettu metalli- ja komposiittirakenteille. Kyseistä liimaa käytetään esimerkiksi autojen koriliimana. Tilassa, jossa liimaus suoritettiin, vallitsi noin 15 celsiusasteen lämpötila. Ennen liimausta kaikki liimattavat pinnat karhennettiin ja puhdistettiin asetonilla. Liiman annettiin kuivua yön yli, jonka jälkeen se oli kovettunut täydellisesti. Kuvassa 24 näkyy oikeanpuoleisen helman takakiinnike liimauksessa.



Kuva 24. Takapäädyn kiinnike liimauksessa

Helmojen yläreunoihin tulevat koukut liimattiin Loctite 3038 -liimalla (liite 4), joka kiinnittyy hyvin polypropeenä ja polyeteeniä sisältäviin materiaaleihin. Kiinnikkeet liimattiin aluksi samassa noin 15 °C:n lämpötilassa ja jätettiin yöksi kovettumaan. Seuraavana päivänä kuitenkin huomattiin, että liima ei ollut kovettunut yhtään. Liimausta testattiin tämän jälkeen maalausammiossa, jonka lämpötila nostettiin noin 35 °C:seen. Tässä lämpötilassa liima kovettui hieman, mutta jäi silti geelimäiseksi. Kuvassa 25 näkyy yläkiinnikkeiden liimausvaihe maalausammiossa.



Kuva 25. Yläkiinnikkeiden liimaus helmaan lämmitetyssä maalausammiossa

Liimaa tilattiin uusi erä, sillä aiemmin käytetyn huomattiin olevan melko vanhaa. Uusi liima kovettui niin kuin pitääkin. Kiinnikkeet liimattiin Metropolian Kalevankadun toimipisteen hitsauslaboratoriossa, jossa lämpötila oli 20–25 °C. Liiman annettiin kovettua noin kolme tuntia, minkä jälkeen se oli saavuttanut riittävän kovuuden. Helmaa ehdittiin vielä kokeilla paikoilleen, ja se pysyi paikallaan hyvin jopa ilman päätyruuveja (kuva 26). Ruuvien kiinnittäminen tulee taivuttamaan helman oikeaan asentoon ja asemoimaan sen oikealle kohdalle pystysuunnassa. Huomattiin myös, että alakiinnikkeitä ei välttämättä tarvita, sillä kiinnitys vaikutti ilman niitä tukevalta.

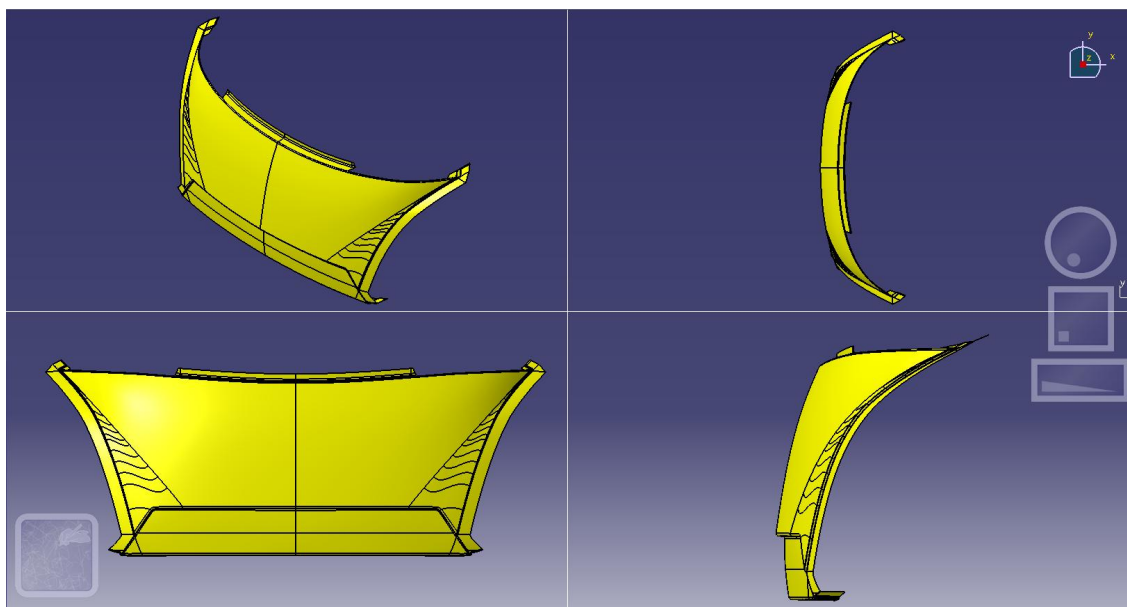


Kuva 26. Helma kiinnitettynä ilman päätyruuveja

Helmojen kiinnitystä ei ehditty viimeistelemään, mutta edellä mainittu menetelmä todettiin toimivaksi. Tehtäväksi jäi helmojen asemointi oikealle kohdalle päätyruuvien avulla sekä mahdollisten alakiinnikkeiden kiinnitys auton pohjaan. Lisäksi tekemättä jäi vastakkaisen puolen helman kiinnitys kokonaisuudessaan.

## 6.2 Etumaski

Autoon suunniteltu etumaski (kuva 27) oli muodoiltaan haastavampi kuin helmat. Syitä tälle olivat mm. osan suuri koko, sekä suuret korkeuserot. Myös muodon raju kaventu- minen maskin molempien puolien yläreunassa aiheutti suuria haasteita muotin suunnittelussa. Käytettäessä lämpömuovausta edellä mainitut tekijät lisäävät merkittävästi materiaalin liiallista venymistä ja ohenemista, joiden takia tuotteeseen syntyy usein repeämiä.



Kuva 27. Etumaskin 3D-malli kuvattuna eri suunnista

### 6.2.1 Urosmuotin valmistus

Etumaskin valmistusta suunnitellessa päädyttiin aluksi helmojen tavoin käyttämään urospuolista muottia. Muotin reunat pyrittiin tekemään samalla tavalla loivasti laskeviksi kuin helmamuotissa. Etumaskista oli olemassa naarasmuotti, mutta sen muodot todettiin liian haastaviksi lämpömuovaukseen. Naarasmuottia vasten laminoitiin hiilikuidusta urospuolinen muotti. Laminoituvaiheessa hiilikuitujen alle (tuleva urosmuotin uloin pinta) levitettiin niin sanottu Gelcoat-pinnoite. Pinnoite tekee muotin pinnasta riittävän sileän, joten sitä ei tarvitse enää jälkikäteen hioa. Pinnoite levitettiin muotin pinnalle pensselillä, minkä jälkeen sen annettiin kovettua, mutta ei aivan pintakuivaksi asti. Pinnoitteen päälle ladottiin viisi kerrosta hiilikuitua. Hiilikuituosa laminoitiin injektointimenetelmällä, jossa etukäteen sekoitettu Axson Epolam 2025 -epoksijärjestelmä johdettiin alipainesäkissä hiilikuitujen läpi. Muotista haluttiin luja ja jäykkä, minkä vuoksi päädyttiin hiilikuidun käyttöön muovin lujittamisessa. Hiilikuidun etuna oli myös sen keveys, mikä kevensi valmista muottia.

Muotin pohjalle mallinnettiin Catia V5R20 -ohjelmalla vaneriristikko. Vanerit koneistettiin samalla CNC-koneella kuin aikaisemmat muotit. Koneistusradat tehtiin käyttämällä Prismatic Machining -valikon takaa löytyvää Profile Contouring -työkalua. Työkalu seuraa piirretyn profiilin viivoja asetetun terän säteen mitan päästä.

Vanereiden väliin jäävät suurimmat raot peitettiin toisilla vanereilla ja hiilikuitumuotti liimattiin vanereiden päälle Sikan autokoriliimalla. Muotti piti saada täysin reiättömäksi, ettei alipaine vetäisi materiaalia turhaan aukkoihin. Vanereiden ympärille laminoitiin käsin peite lasikuidusta. Hiilikuitu- ja lasikuitupinnat jälkikövetettiin niihin käytetyn hartsin valmistajan ohjeiden mukaan. Tällä saatiin muotista jäykempi ja lämpöä kestävämpi. Kuvassa 28 näkyvät vanerikehikko, hiilikuitumaski pinnoitteineen ja valmis muotti.



Kuva 28. Etumaskin urosmuotin eri kasausvaiheet

Muotin valmistuttua huomattiin, että se on liian korkea käytettäväksi alipainemuovauksessa. Materiaali ei tulisi kestävämmän muotin korkeuden aiheuttamaa venymää.



Samalla periaatteella on kuitenkin mahdollista valmistaa lämpömuovausmuotti esimerkiksi hiilikuitua, lasikuitua ja puuta hyväksi käyttäen. Muotti oli etumaskin polyuretaaniin naarasmuottiin verrattuna huomattavasti kevyempi.

### 6.2.2 Säkkimuovaus

Kun etumaskin urosmuotti todettiin epäsovivaksi alipainemuovaukseen, päätettiin kokeilla osan valmistusta uunin ja kuumankestävän alipainesäkin avulla. Tätä menetelmää kokeiltiin ensin pienemmässä mittakaavassa. Kokeessa käytettiin Metropoliin Kalevankadun toimipisteen hitsauslaboratorion uunia. Menetelmässä materiaalilevy kuumennetaan uunissa noin 190 asteessa, kunnes se muuttuu muovattavaksi. Tämän jälkeen levy siirrettiin uunista muotin päälle ja se paineltiin käsin muottia vasten. Tässä vaiheessa levy muotoutui jo karkeasti muottipinnan mukaiseksi. Käytetty komposiittimateriaali jäähtyy melko nopeasti, joten se laitettiin muotin kanssa uudelleen uuniin ennen alipainesäkkiin asettamista. Kun materiaali jälleen saavutti muovauslämpötilan, laitettiin muotin päälle polyesteristä valmistettu huopa, jonka tarkoitus on edistää ilman poistumista säkin ja materiaalin välistä. Tämän jälkeen muotti laitettiin alipainesäkkiin, johon muodostettiin noin yhden baarin jatkuva alipaine erillisellä pumpulla. Alipainesäkin reunat suljettiin kuumankestävällä reunatiivistenauhalla. Lopuksi muotti siirrettiin säkkeineen takaisin uuniin noin kolmeksi tunniksi ja lämpötila nostettiin 200 asteeseen (kuva 29).



Kuva 29. Säkkimuovaus käynnissä

Kun muotti otettiin ulos uunista ja säkin sisältä huomattiin, että materiaali ei ollut saavuttanut muovauslämpötilaa alipainesäkin alla. Käytössämme oli hiilikuitumuotti, joka olisi kestänyt korkeammankin lämpötilan, mutta alipainesäkin valmistaman ilmoittama maksimilämpötila oli 200 astetta, joten lämpötilan nosto ei tullut kysymykseen. Tämä ongelma voisi mahdollisesti ratketa pidentämällä paistoaikaa.

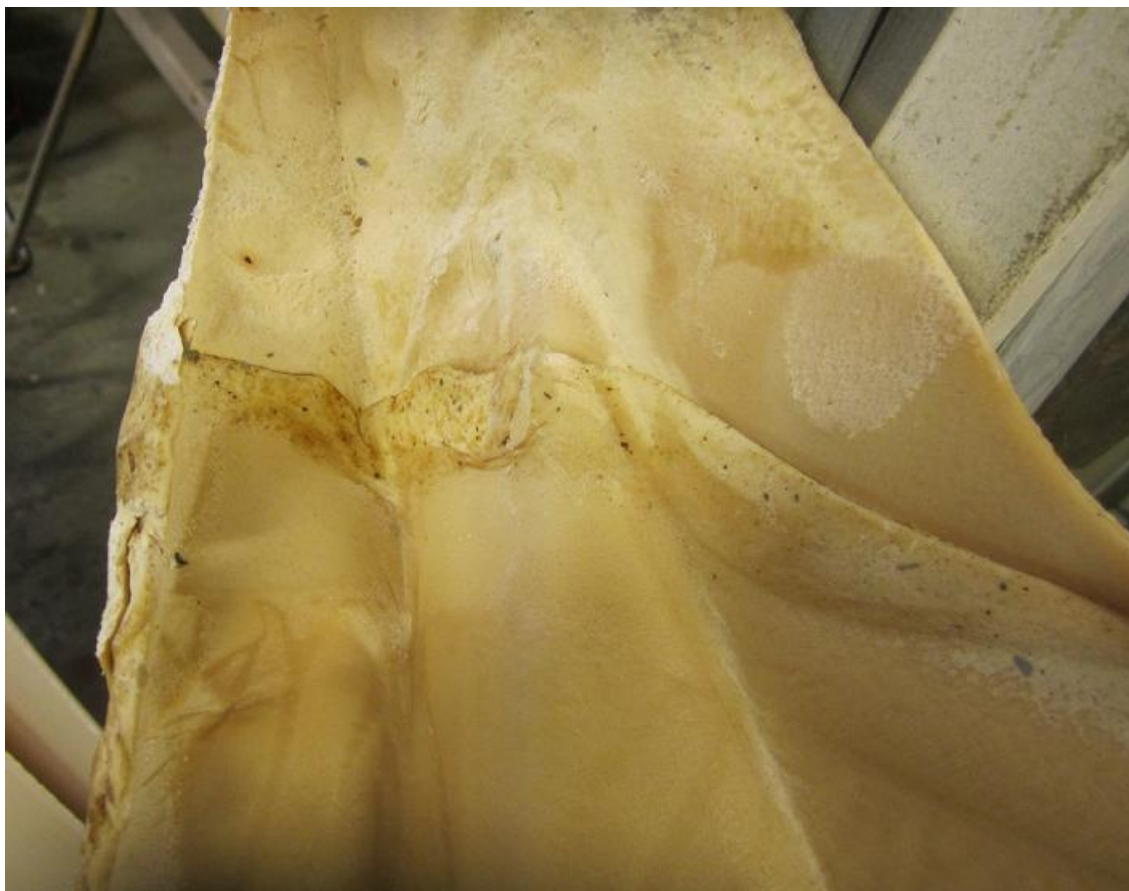
Etumaskin lämpömuovausta kokeiltiin myös käsin ilman alipainesäkitystä isommassa uunissa Metropolian Leiritien toimipisteessä. Muovauskokeen yhteydessä kokeiltiin myös kahden irrallisen materiaalilevyn yhteen liittämistä muovauslämpötilassa. Muottina käytettiin Sikablock M650 -polyuretaanimateriaalista valmistettua etumaskin naarasmuottia. Testin tulokset olivat lupaavia, sillä pelkästään käsin painelemalla ja välillä uudelleen lämmittämällä onnistuttiin valmistamaan kokonainen etumaski. Valmis osa oli kuitenkin pinnanlaadultaan melko huonolaatuinen, joten sen käsittely maalausvalmiiksi tulisi vaatimaan liikaa työtä (kuva 30).



Kuva 30. Käsin muovattu etumaski

Käsin muovaamalla materiaalia ei saatu myöskään painettua joka kohdasta täydellisesti kiinni muottiin. Tästä syystä valmiin osan teko vaatisi vielä alipaineen.

Myös kaksi erillistä materiaalikappaletta kiinnittyivät lujasti toisiinsa, mutta sauma jäi kuitenkin näkyvään kappaleen pinnassa (kuva 31).



Kuva 31. Kahden materiaalilevyn yhdistämisestä syntynyt sauma

On kuitenkin huomioitava, että maskin käsin muovaus suoritettiin käyttämällä materiaalilaatua M5, joka todettiin aikaisemmin huonolaatuiseksi. Eri materiaalilaadulla olisi todennäköisesti saatu aikaan ainakin pinnanlaadultaan parempi lopputulos. Kokeen yhteydessä havaittiin jälleen muotissa käytetyn polyuretaanin heikkeneminen. Testin lopussa muotti oli pehmentynyt huomattavasti, mutta jäähtyttyään se saavutti lähes saman kovuuden kuin ennen testiä.

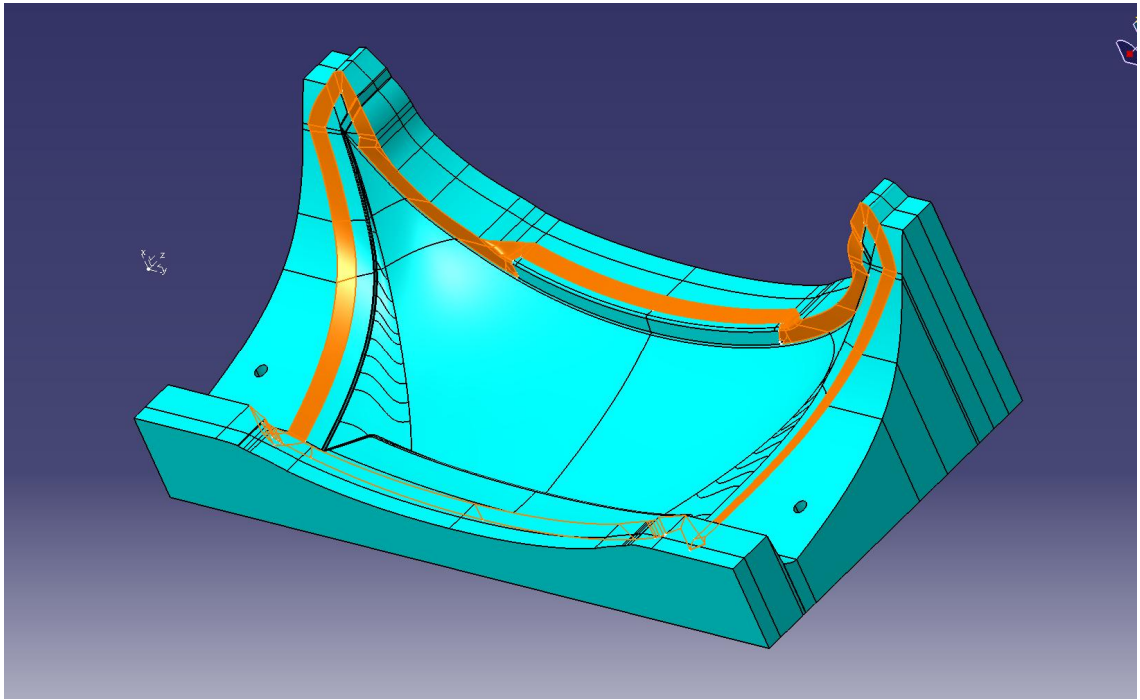
Säkkimuovausta kokeiltiin suuremmassa mittakaavassa Metropolian Leiritien toimipisteen uunissa. Lopputuloksena muotti kuitenkin syttyi tuleen ja paloi muodottomaksi. Syttymissyy ei ollut selvillä tätä työtä kirjoitettaessa, mutta minkään uunissa olleen materiaalin ei pitäisi syttyä tilanteen aikana vallinneessa alle 190 asteen lämpötilassa. Myöskään aikaisemmin tehdyssä säkkimuovauskokeessa ei ollut vastaavia ongelmia.

Tapauksen johdosta tätä menetelmää käytettäessä on kuitenkin syytä kiinnittää erityistä huomiota paloturvallisuuteen.

Mikäli muotti valmistettaisiin korkeamman lämpötilan kestävästä materiaalista ja alipainesäkin ongelmallinen lämpöä eristävä vaikutus saataisiin ratkaistua, on edellä mainittu menetelmä potentiaalinen vaihtoehto osien valmistuksessa kyseessä olevalla materiaalilla.

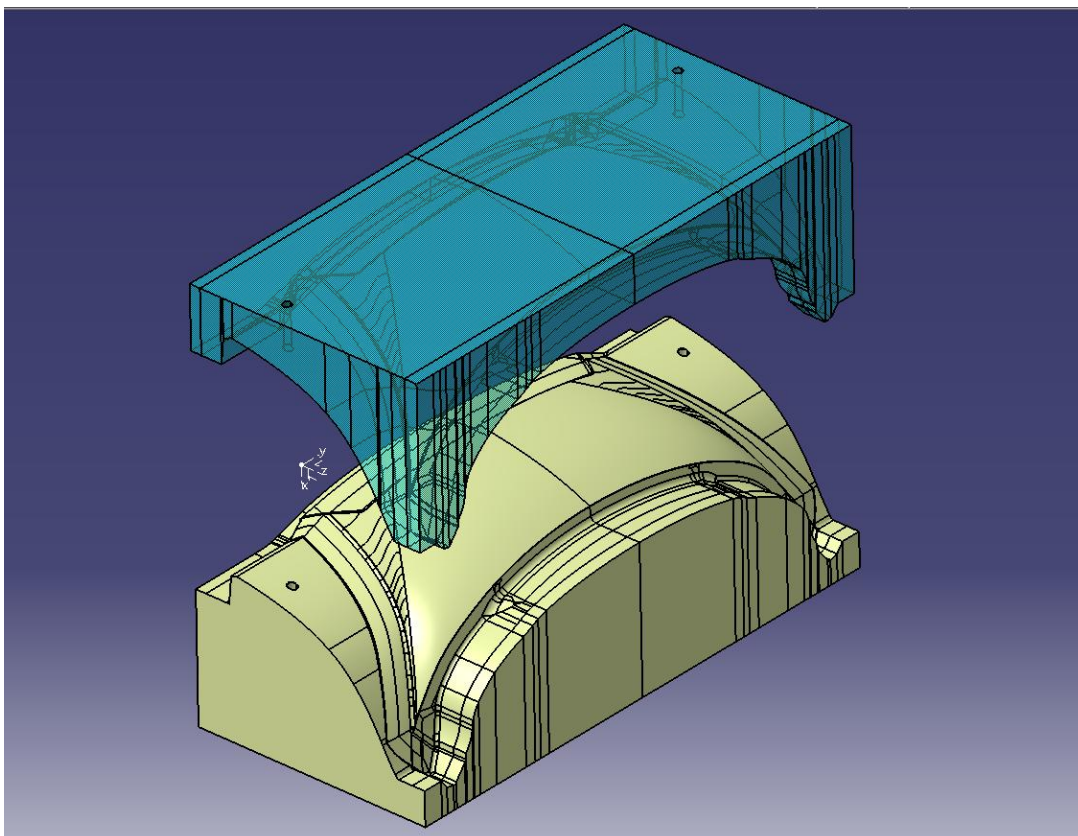
### 6.2.3 Mekaaninen muovaus

Edellä mainittujen muovausmenetelmien jälkeen päätettiin kokeilla mekaanista muovausta. Muoteiksi kyseistä menetelmää varten suunniteltiin etumaskin muotoiset vastakappaleet. Naarasmuotin pinta vastasi muovattavan osan ulkopintaa. Urospuoliseen muottiin mallinnettiin etumaskin pinnat niin, että materiaalille jää jyrkkien taivutuskohtien vuoksi tilaa 8 millimetriä muottien väliin. Välyksessä huomioitiin myös noin millimetrin paksuinen kangas, joka kiinnitettiin naarasmuotin pintaan. Kankaan tarkoitus oli parantaa lopputuotteen ulkopinnan laatua. Menetelmässä ei käytetä alipainetta, minkä vuoksi muottien ulkoreunojen pystysuorat seinämät eivät aiheuta ongelmia. Alkuperäisen maskin reunoja on jatkettu muoteissa noin 25 millimetriä muodon suuntaisesti. Jatketut muodot muodostavat maskin reunoille laipan, joka estää materiaalin repeytymistä muovausvaiheessa. Laipan jälkeen muottien reunat jatkettiin vaakasuuntaan. Kuvassa 32 on esitetty laippa oranssilla värillä. Muotteihin mallinnettiin kohdistusreiät, jotka tarvittaessa helpottavat muottien asemointia muovausvaiheessa.



Kuva 32. Naarasmuotin laippa oranssin värisenä

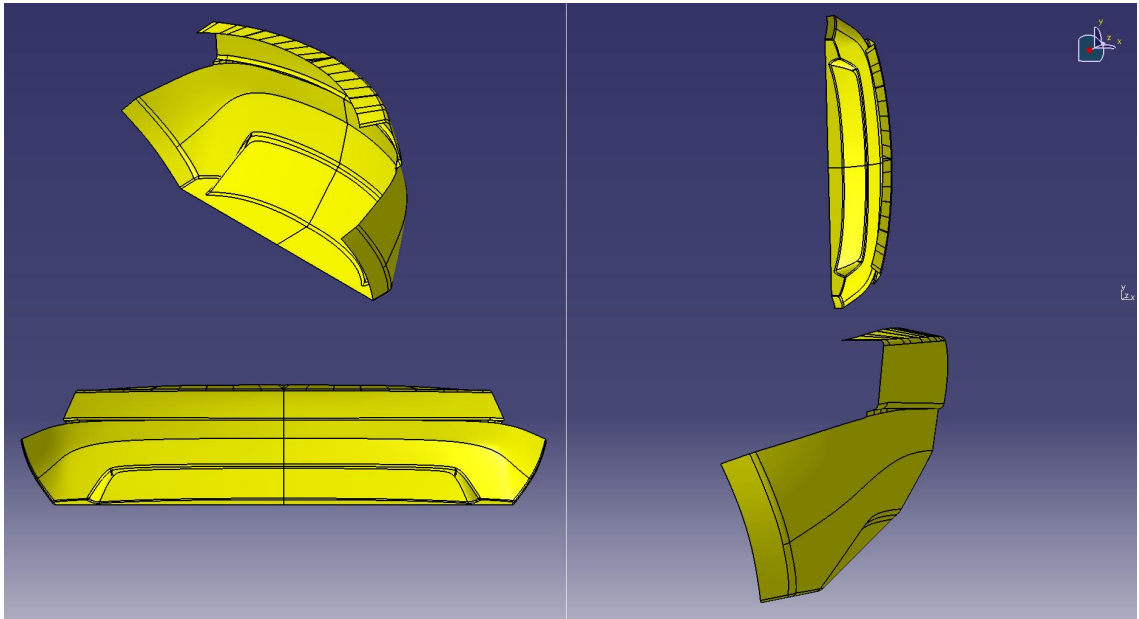
Kappaleista tehtiin vastakkaiset 3D-muotit Catia V5R20 -ohjelmalla (kuva 33). Tällä kertaa muotteja ei koneistettu itse, vaan valmistustyö tilattiin muotteja valmistavalta yritykseltä. Yritys valmisti muotit edellä mainittujen 3D-mallien mukaan. Etumaskin mekaanista muovausta ei ehditty laadukkaamman materiaalin pitkän toimitusajan vuoksi enää kokeilemaan tämän opinnäytetyön aikana.



Kuva 33. Etumaskin vastakkaiset muotit

### 6.3 Takapuskuri

Autoon suunniteltu takapuskuri on alipainemuovattavuuden kannalta lähes yhtä haastava kuin etumaski. Puskurin muodoissa on etumaskin tapaan paljon korkeuseroa, mikä tulee alipaineen kanssa muovattaessa aiheuttamaan ongelmia. Kuvassa 34 on esitetty auton takapuskurin 3D-malli.

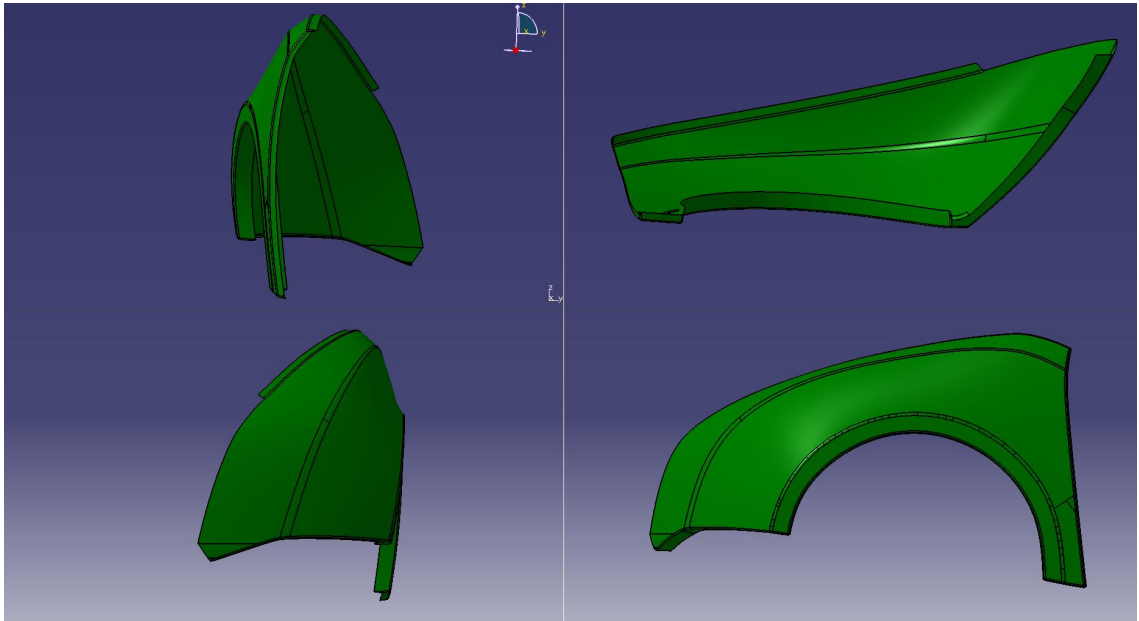


Kuva 34. Takapuskurin 3D-malli

Lämpömuovausmuotin suunnittelu päätettiin aloittaa vasta, kun olisi selvillä etumaskin mekaanisen muovauksen tulos. Todettiin, että jos etumaskin mekaaninen muovaus onnistuu, on takapuskurin valmistuksessa kannattavaa käyttää samaa menetelmää. Takapuskurin muotin valmistus jäi kokonaan pois työstä etumaskin viivästyneen tuloksen vuoksi.

#### 6.4 Etulokasuojat

Etulokasuojien muoto todettiin niin vaikeasti muovattavaksi kyseisellä materiaalilla, että ne päätettiin valmistaa kertamuovista laminoimalla. Kuvassa 35 on esitetty etulokasuojien muodot.



Kuva 35. Kuljettajanpuoleisen etulokasuojan 3D-malli



## 7 Ohjeistus

Opinnäytetyön aikana havaittiin, että kyseisen biokomposiittimateriaalin muovauksen mahdollistava lämpötila-alue on kapea. Lämpötilan tulee olla välillä 190–200 °C, jotta materiaali muuttuu pehmeän kumimaiseksi. Lisäksi on huomioitava, että materiaalin jäähtyminen pois muovausalueelta tapahtuu todella nopeasti ja kutistuman todettiin olevan noin 1,5 %. Valmis tuote voi myös vääntyä jäähtyessään. Kutistumaa ja vääntymistä voidaan vähentää pitämällä aihiota niin kauan alipaineessa muotin päällä, kunnes se on kunnolla jäähtynyt.

Tässä työssä suoritetuissa alipainemuovauksissa materiaalin lämpötilaa seurattiin infrapunamittarilla. Infrapunamittari kertoo kuitenkin vain materiaalin pinnan lämpötilan. Parempi vaihtoehto olisi käyttää pyrometrillä varustettua muovauskonetta. Pyrometrillä on mahdollista seurata materiaalin sisäistä lämpötilaa ja ohjelmoida kone aloittamaan muovaus juuri oikean lämpötilan vallitessa. Materiaalin paksuudesta voidaan todeta, että valmiin lopputuotteen muovauksessa tulisi käyttää vähintään 3 millimetriä paksua aihiota.

Muoteissa käytetty polyuretaanimateriaali ei sovellu parhaalla mahdollisella tavalla lämpömuovaukseen. Muutamien kappaleiden valmistuksessa materiaali on käyttökel-poista varsinkin hinnan ja työstettävyyden vuoksi. Muovauksissa käytetyt muotit pehmenivät ja laajenivat lämmön vaikutuksesta, mutta näiden muutosten todettiin olevan vähäisiä. Muottiaihioden yhteen liimauksessa tulee käyttää muottimateriaalin valmistajan suosittamaa liimaa. Tavallinen puuliima, jota käytettiin helmojen naarasmuotissa, ei kestänyt lämmön vaikutusta. Liimauksessa on hyvä käyttää apuna ruuveja, jotka auttavat aihioden osien kohdistuksessa. Ruuveja ei kuitenkaan saa porata varsinaisen osan kohdalle, sillä tällöin viimeisteltyyn muottiin voi jäädä reikiä. Ruuvit tulee poistaa liiman kuivumisen jälkeen ennen koneistusta.

Alipaineella muovatessa urospuolisen muotin todettiin toimivan paremmin. Urosmuottia käytettäessä varsinainen osan alue muotista koskettaa ensimmäisenä materiaaliaihiota. Tämä aiheuttaa sen, että alipaineen aiheuttama materiaalin venyminen vähenee varsinaisen osan alueelta. Naarasmuottia käytettäessä muotin ulkoreunat osuvat ensimmäisenä aihioon, jolloin varsinaisen osan alueelle syntyy helposti repeämiä ja liiallista ohenemista. Alipaineella muovatessa muotin ulkoreunojen tulee olla loivasti ulospäin laskevat kuten helmojen urosmuotissa.

Ennen muotin suunnittelua kannattaa selvittää alipainemuovauskoneen raamien maksimitat, jotta reunoista voidaan suunnitella mahdollisimman loivat. Pystysuoria muotoja tulee mahdollisuuksien mukaan välttää, sillä ne aiheuttavat helposti materiaalin repeämisen. Muotteja valmistettaessa on huomioitava, että muotin pinta kopioituu aihioon. Tästä johtuen pinta, joka ei koske aihioon on laadultaan parempi. Aihion irrottamisen helpottamiseksi muotista, tulisi muotin päästökulmien suositusten mukaan olla urosmuotilla vähintään 5 astetta ja naarasmuotilla vähintään 3 astetta.

Alipainemuovaus ei sovellu tällä materiaalilla muotteihin joissa on suuria korkeuseroja. Tällaisissa tapauksissa kannattaa harkita mekaanista muovausta vastakkaisilla muotteilla. Sivuhelmat onnistuivat, vaikka muotissa oli parhaimmillaan noin 90 millimetriä lähes pystysuoraa seinämää. Tämän todettiin kuitenkin olevan materiaalin venymisominaisuuksien rajoilla. Alipaineella muovatessa muottiin tulee porata useita läpi-reikiä varsinkin syvien muotojen kohdalle ilman poistumisen tehostamiseksi. Reikien tulee kuitenkin olla läpimitaltaan pieniä (noin 1–2 millimetriä), sillä isot reiät saattavat kopioitua materiaaliin. Ohuet reiät tukkeutuvat helposti pölystä muovauksen aikana, joten niitä kannattaa puhdistaa paineilmalla aina muovausten välillä.

Mekaanista muovausta käytettäessä, vastakkaisten muottien välissä täytyy olla tilaa materiaalille ja mahdolliselle kankaalle, mikä parantaa osan ulkopinnan laatua. Osan alkuperäisiä muotoja tulee jatkaa vähintään 25 millimetriä muodon suuntaisesti, jotta materiaali ei repeydy osan alueelta muovausvaiheessa.

Säkkimuovaus on potentiaalinen lämpömuovausmenetelmä. Suurin haaste on saada aihio tarpeeksi lämpimäksi eristävän alipainesäkin sisäpuolella. Menetelmään tulee myös valita hyvin lämpöä kestävä muottimateriaali.

Alipainemuovausmuotin valmistus on myös mahdollista kuitumateriaalia ja puurunkoa hyödyntämällä. Tällaisen muotin kestävyyttä alipaineessa ei kuitenkaan kokeiltu tässä opinnäytetyössä.

Mikäli materiaaliin on tarkoitus liimata esimerkiksi kiinnikkeitä, todettiin Loctite 3038 -liiman toimivan hyvin alumiinin kanssa. Ennen liimausta täytyy muistaa liimattavien pintojen karhennus ja puhdistus.

## 8 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun ConceptCar-projektiin. Vuonna 2010 aloitetun projektin tarkoituksena on valmistaa kestävä kehityksen henkilöauto kaupunkiolosuhteisiin. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa projektin autoon korin osia uudeltaisesta biokomposiittimateriaalista. Valmistettavat korin osat olivat sivuhelmat, etumaski, takapuskuri ja etulokasuojat. Työn oli myös tarkoitus toimia ohjeistuksena auton sisustapaneelien valmistajille. Työn teossa hyödynnettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun sekä yhteistyökumppanien laitteistoa ja tiloja.

Materiaalin ominaisuuksien selvittämiseksi tehtiin veto- ja taivutuskokeet, joiden tuloksia vertailtiin valmistajan antamiin arvoihin. Tuloksissa ilmeni poikkeamia eri materiaali- laatuja välillä, mutta joillain laaduilla päästiin melko lähelle valmistajan arvoja. Materiaalin lämpömuovattavuutta testattiin koemuottia vasten Metropolian tyhjiömuovauskoneella. Muovauskokeista saatiin lupaavia tuloksia varsinaista osien valmistusta ajatellen.

Osa työn tavoitteista saavutettiin. Molemmista sivuhelmoista valmistettiin valmiit loppu- tuotteet ja niille kehitettiin toimiva kiinnitysmenetelmä. Lisäksi monien onnistumisten ja epäonnistumisten perusteella saatiin luotua ohjeet sisustapaneelien valmistajille.

Etumaskin mekaaninen muovaus ei ehtinyt tähän työhön, joten valmista tuotetta ei saatu valmistettua. Samoin takapuskurin valmistus jäi tämän työn ulkopuolelle, johtuen etumaskin muovaustulosten viivästymisestä. Kuitenkin todettiin, että takapuskurin muovaus kannattaisi tehdä mekaanisesti, mikäli etumaskin muovaus onnistuu. Työn edetessä todettiin, että käytetty materiaali ei tulisi muovautumaan etulokasuojien muotteihin millään menetelmällä. Tästä syystä niiden lämpömuovauksesta luovuttiin ja ne valmistettiin siis kertamuovista.

Lopuksi voidaan todeta, että opinnäytetyöstä oli suuri hyöty projektille. Projektissa käytössä olevan biokomposiittimateriaalin testaus sekä erilaisten muovausmenetelmien ja muottien suunnittelu ja toteutus toivat arvokasta tietoa tämän materiaalin muovausta jatkaville.

## Lähteet

- 1 Vienamo, Teppo & Nykänen, Sanna. 2013. Muovimuotoilu. Verkkodokumentti. <<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/138/203/>> Luettu 19.3.2013.
- 2 Huhdanpää, Maarit & Penttilä, Heli. Muovien kemiaa. Verkkodokumentti. <<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/muovit/jaottelu.htm>> Luettu 19.3.2013.
- 3 Järvinen, Pasi. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- 4 Koto, Tuula & Tiisala, Stella. 2004. Muovi+puu: puukuitulujitteiset muovikomposiitit. Lahti: Lahden Ammattikorkeakoulu, muotoiluinstituutti.
- 5 Vienamo, Teppo & Nykänen, Sanna. 2013. Muovimuotoilu. Verkkodokumentti. <<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/50/83/>> Luettu 20.3.2013.
- 6 H.M. Miekko-oja. 1965. Metallioppi. Helsinki: Otava.
- 7 Teräsopas. Verkkodokumentti. Nevalainen, Harri. <<http://www.elisanet.fi/harri.nevalainen/tietoisk/staattiset/sot.htm>> Luettu 21.4.2013.
- 8 Airila, Mauri, et al. 2010. Koneenosien suunnittelu. Helsinki: WSOYpro Oy.
- 9 Kuidun murtokuormitus ja venymä. 2006. Verkkodokumentti. Änkö, Anja. <<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030507/1086702378009/1086704817151/1086704948693/1166088124719.html>> Luettu 27.3.2013.
- 10 Muoviteknologia. Verkkodokumentti. Vienamo, Teppo. <[http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/menetelmat/04-00\\_lampom.html](http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/menetelmat/04-00_lampom.html)> Luettu 19.3.2013.
- 11 A Vacuum Forming Guide. Verkkodokumentti. Formtech International Ltd. <<http://inventionstudio.gatech.edu/wp-content/uploads/2010/11/FormechVacuumGuide.pdf>> Luettu 22.3.2013.
- 12 Thermoforming Process. Verkkodokumentti. University of Science, Malaysia. <<http://material.eng.usm.my/stafhome/mariatti/EBB427/Week%206%20Thermoforming%20Process.ppt>> Luettu 28.3.2013.
- 13 Vacuum Forming for the hobbyist. Verkkodokumentti. Workshop Publishing. <[http://www.build-stuff.com/001book\\_vacuum\\_forming.htm](http://www.build-stuff.com/001book_vacuum_forming.htm)> Luettu 28.3.2013.
- 14 Chanda, Manas & Roy, Salil. 1998. Plastics Technology Handbook. New York: Marcel Dekker Inc.

- 15 Thermoforming (Mechanical Forming). Verkkodokumentti. Wonderpack Group.  
<[http://wonderpackpune.com/Mechanical\\_thermoforming.aspx](http://wonderpackpune.com/Mechanical_thermoforming.aspx)> Luettu  
28.3.2013.
- 16 Höök Tuula. 2010. Polymeerimateriaalit. Verkkodokumentti.  
<[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould\\_injmoulding\\_materials\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_injmoulding_materials_FI.pdf)> Luettu  
22.4.2013.

## Taivutuskokeiden tulokset eri materiaalilaaduilla

# Zwick / Roell

Standard report

14.12.2012

Taivutuskoe, Laatu: M1

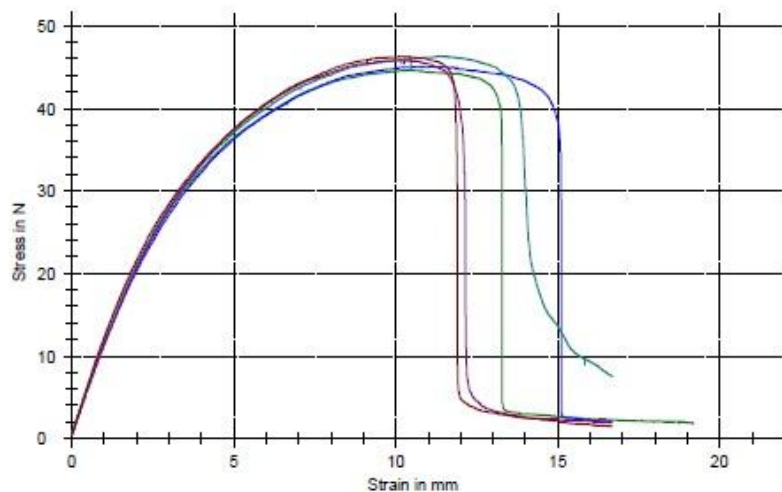
### Parameter table:

Customer : ConceptCar: Experimental PPcomposite components  
 Tester : Sauli Valkeiskangas  
 Test standard : ISO 178:2010(E)  
 Material : Polypropylene-biofiber composite  
 Load cell : 10kN  
 Extensometer : -  
 Specimen grips: nose: d=5,0mm, supports: d=5,0mm  
 Machine data : Control SN: 150869  
 Crosshead SN: 150869  
 Force SN: 150870 10 kN

### Results:

Nr	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	ε-F max %	ε-Break %
±5	31,46	-	-	-	-	-	-	-
7	31,46	1,87	19,38	37,34	37,34	-	5,96	-
8	31,46	1,86	18,63	37,68	37,68	-	6,30	-
9	31,46	1,77	18,79	38,73	38,73	-	6,51	-
10	31,46	1,87	19,70	38,35	38,35	-	5,71	-
11	31,46	1,81	19,34	38,73	38,73	-	5,96	-

### Series graph:



### Statistics:

Series	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	ε-F max %	ε-Break %
n = 5								
x	31,46	1,72	19,17	38,17	38,17	-	6,09	-
s	0,000	0,07	0,45	0,63	0,63	-	0,32	-
v	0,00	3,92	2,33	1,66	1,66	-	5,18	-

## Taivutuskoe, Laatu: M2

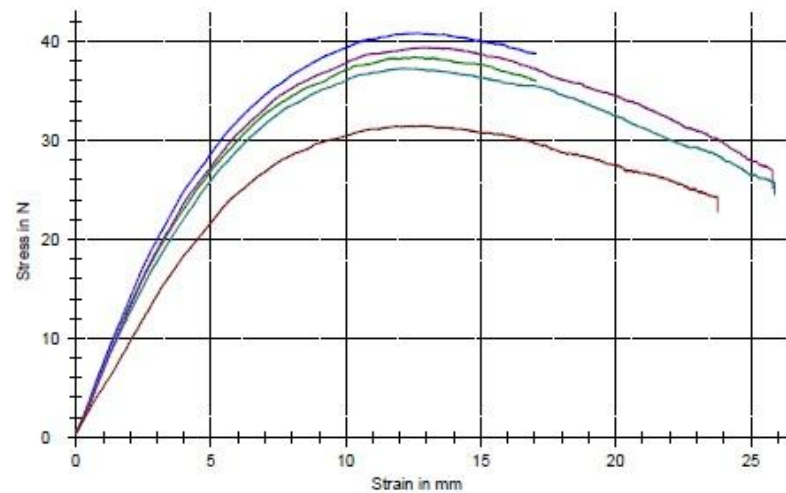
## Parameter table:

Customer : ConceptCar: Experimental PPcomposite components  
 Tester : Sauli Valkeiskangas  
 Test standard : ISO 178:2010(E)  
 Material : Polypropylene-biofiber composite  
 Load cell : 10kN  
 Extensometer : -  
 Specimen grips : nose: d=5,0mm, supports: d=5,0mm  
 Machine data : Control SN: 150869  
 Crosshead SN: 150869  
 Force SN: 150870 10 kN

## Results:

Nr	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	s-F max %	s-Break %
ϕ1	50,18	-	-	-	-	-	-	-
2	50,18	2,12	20,36	-	36,33	-	3,99	-
3	51,87	2,09	23,22	-	37,35	-	4,01	-
4	48,83	1,96	21,94	36,21	36,21	-	3,82	-
5	48,07	2,01	25,70	38,86	38,86	-	4,10	-
6	52,44	1,29	22,11	28,47	28,47	-	4,11	-

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 5	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	s-F max %	s-Break %
x	50,27	1,89	22,67	34,52	35,45	-	4,00	-
s	1,884	0,34	1,98	5,40	4,04	-	0,12	-
v	3,75	17,99	8,73	16,64	11,40	-	2,92	-

## Taivutuskoe, Laatu: M3

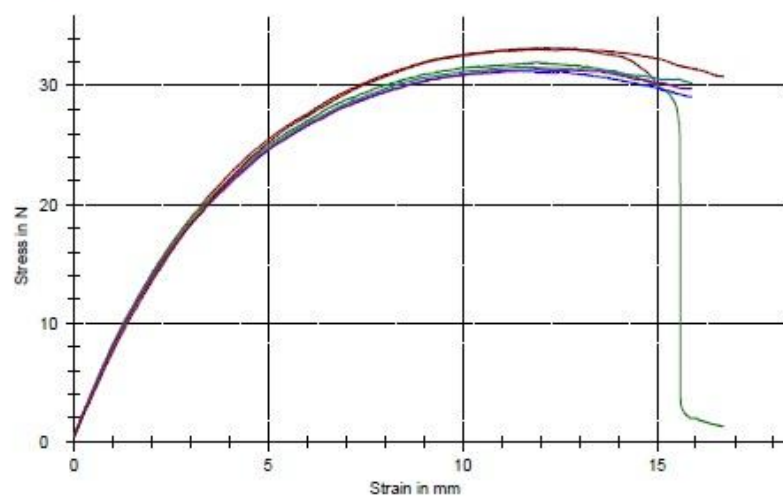
### Parameter table:

Customer : ConceptCar: Experimental PPcomposite components  
 Tester : Sauli Valkeiskangas  
 Test standard : ISO 178:2010(E)  
 Material : Polypropylene-biofiber composite  
 Load cell : 10kN  
 Extensometer : -  
 Specimen grips : nose: d=5,0mm, supports: d=5,0mm  
 Machine data : Control SN: 150869  
 Crosshead SN: 150869  
 Force SN: 150870 10 kN

### Results:

Nr	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	s-F max %	s-Break %
1	30,4	1,32	15,45	30,63	30,63	-	6,78	-
2	30,4	1,42	13,39	29,59	29,59	-	6,37	-
3	30,4	1,36	13,67	28,93	28,93	-	5,95	-
4	30,4	1,33	14,06	29,27	29,27	-	6,08	-
5	30,4	1,37	13,57	-	29,10	-	6,35	-
6	30,4	1,26	15,04	30,71	30,71	-	6,32	-

### Series graph:



### Statistics:

Series n = 6	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	s-F max %	s-Break %
$\bar{x}$	30,4	1,34	14,20	29,83	29,71	-	6,31	-
s	0,000	0,05	0,85	0,81	0,78	-	0,29	-
v	0,00	4,00	5,99	2,71	2,83	-	4,56	-



## Taivutuskoe, Laatu: M4

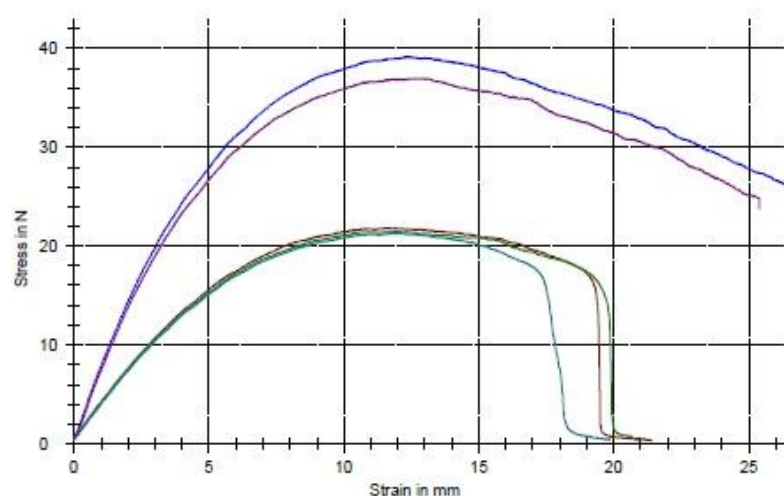
## Parameter table:

Customer : ConceptCar: Experimental PPcomposite components  
 Tester : Sauli Valkeiskangas  
 Test standard : ISO 178:2010(E)  
 Material : Polypropylene-biofiber composite  
 Load cell : 10kN  
 Extensometer : -  
 Specimen grips : nose: d=5,0mm, supports: d=5,0mm  
 Machine data : Control SN: 150869  
 Crosshead SN: 150869  
 Force SN: 150870 10 kN

## Results:

Nr	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	s-F max %	s-Break %
1	50,54	1,15	12,08	20,49	20,49	-	3,69	-
2	55,23	0,81	10,37	16,69	16,69	-	4,18	-
3	55,23	1,74	16,26	30,39	30,39	-	4,34	-
4	54,18	0,86	9,70	16,88	16,88	-	4,13	-
5	53,65	1,87	16,59	29,57	29,57	-	4,44	-

## Series graph:



## Statistics:

Series	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	s-F max %	s-Break %
n = 5								
$\bar{x}$	53,75	1,25	13,00	22,80	22,80	-	4,16	-
s	1,931	0,44	3,25	6,73	6,73	-	0,29	-
v	3,59	35,29	24,97	29,51	29,51	-	6,95	-

## Taivutuskoe, Laatu: M5

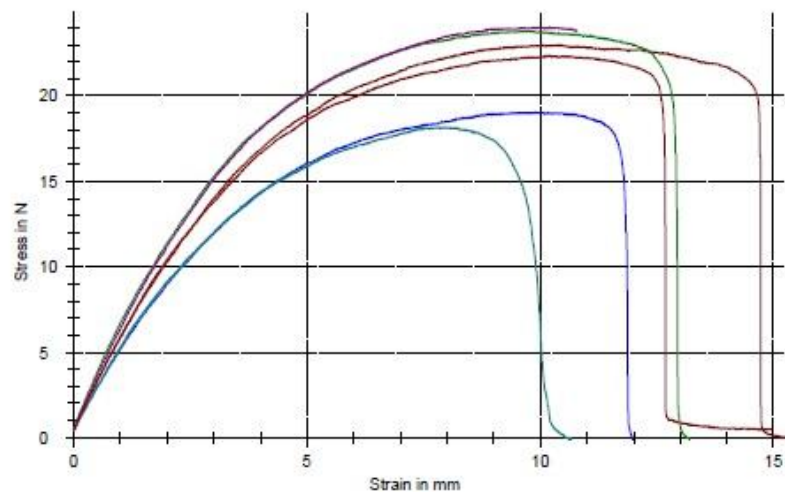
## Parameter table:

Customer : ConceptCar: Experimental PPcomposite  
components  
Tester : Sauli Valkeiskangas  
Test standard : ISO 178:2010(E)  
Material : Polypropylene-biofiber composite  
Load cell : 10kN  
Extensometer : -  
Specimen grips : nose: d=5,0mm, supports: d=5,0mm  
Machine data : Control SN: 150869  
Crosshead SN: 150869  
Force SN: 150870 10 kN

## Results:

Nr	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	ε-F max %	ε-Break %
1	36,35	0,54	7,02	14,62	14,62	-	6,74	-
2	36,35	0,64	6,88	15,13	15,13	-	6,33	-
3	36,35	0,46	6,37	12,10	12,10	-	6,42	-
4	36,35	0,50	6,79	11,54	11,54	-	5,17	-
5	36,35	0,58	7,91	-	15,26	-	6,46	-
6	36,35	0,55	7,00	14,20	14,20	-	6,62	-

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	A mm <sup>2</sup>	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Fmax N/mm <sup>2</sup>	FBreak N/mm <sup>2</sup>	ε-F max %	ε-Break %
x	36,35	0,55	6,83	13,52	13,81	-	6,29	-
s	0,000	0,06	0,71	1,60	1,59	-	0,57	-
v	0,00	11,65	10,44	11,81	11,55	-	9,08	-

## Vetokokeiden tulokset eri materiaalilaaduilla

**Zwick / Roell**

Standard report

13.03.2013

## Vetokoe, Laatu: M1

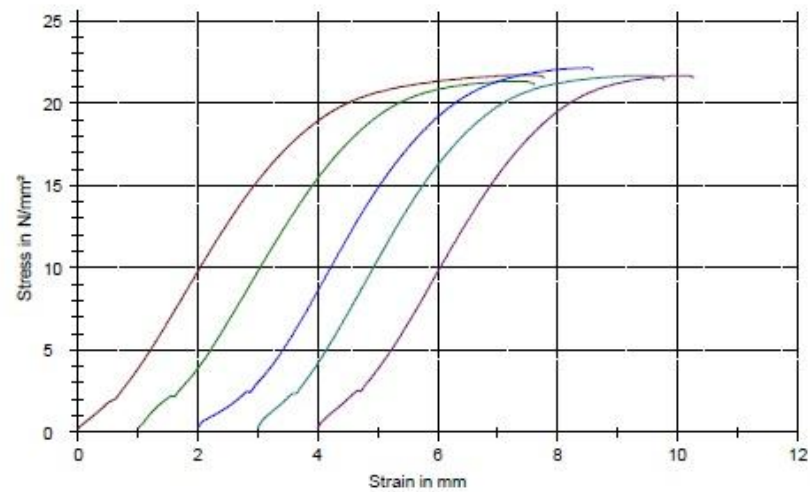
## Parameter table:

Customer	: Thesis / Ilkka Ekström	Load cell	: 10 kN
Tester	: Ilkka Ekström	Extensometer	: -
Test standard	: 5 mm/min	Specimen grips	: 8302 10kN
Material	: PP + Cellulose fiber	Machine data	: Control SN: 150869
Specimen ID	: 3 reffbatch-UPM + 5 batch 3		Crosshead SN: 150869
			Force SN: 150870 10 kN

## Results:

Nr	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	s-F max %	s-Break %
1	46	21,70	149,60	461,61	21,70	21,55	-	998,99	4,95	5,20
5	43,12	21,22	149,60	579,99	21,22	21,14	-	919,88	4,18	4,42
6	43	1,77	149,60	772,96	1,77	22,02	-	953,36	4,34	4,41
7	43,12	2,46	149,60	888,20	2,46	21,37	-	934,63	4,30	4,53
8	43,12	2,49	149,60	793,69	2,49	21,56	-	934,87	4,04	4,20

## Series graph:



## Statistics:

Series	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	s-F max %	s-Break %
n = 5										
$\bar{x}$	43,67	9,93	149,60	699,29	9,93	21,53	-	948,34	4,36	4,55
s	1,302	10,54	0,00	173,74	10,54	0,32	-	30,70	0,35	0,38
v	2,98	106,15	0,00	24,85	106,15	1,51	-	3,24	8,07	8,39

## Vetokoe, Laatu: M2

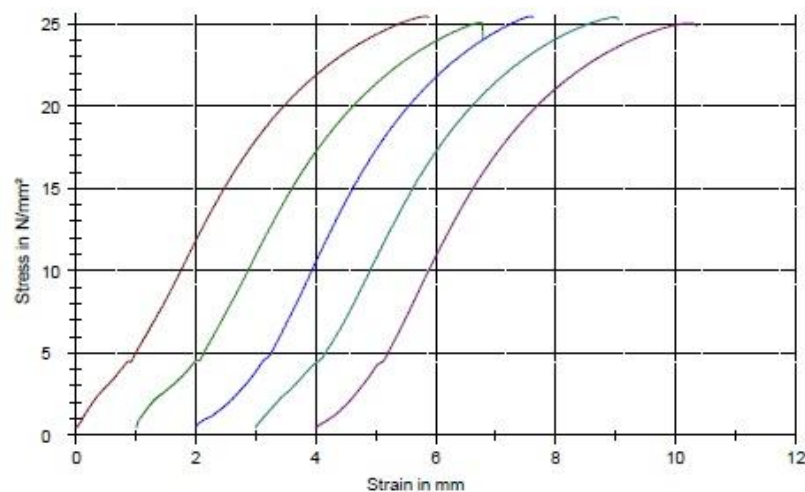
## Parameter table:

Customer	: Thesis / Ilkka Ekström	Load cell	: 10 kN
Tester	: Ilkka Ekström	Extensometer	: -
Test standard	: 5 mm/min	Specimen grips	: 8302 10kN
Material	: PP + Cellulose fiber	Machine data	: Control SN: 150869
Specimen ID	: 3 reffbatch-UPM + 5 batch 3		: Crosshead SN: 150869
			: Force SN: 150870 10 kN

## Results:

Nr	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	s-F max %	s-Break %
12	21,56	3,17	149,60	1586,81	3,17	25,38	-	548,99	3,90	3,94
13	21,34	2,28	149,60	6013,28	2,28	24,12	-	535,19	3,84	3,87
14	20,96	1,34	149,60	5586,18	1,34	25,40	-	533,65	3,74	3,76
15	21,45	1,93	149,60	6556,05	1,93	25,27	-	544,92	3,99	4,05
16	21,45	24,96	149,60	639,97	24,96	24,90	-	537,07	4,18	4,25

## Series graph:



## Statistics:

Series	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	s-F max %	s-Break %
n = 5										
x	21,35	6,73	149,60	4072,46	6,73	25,01	-	539,96	3,93	3,97
s	0,2315	10,21	0,00	2744,38	10,21	0,54	-	6,65	0,17	0,19
v	1,08	151,63	0,00	67,39	151,63	2,16	-	1,23	4,23	4,67

Vetokoe, Laatu: M3

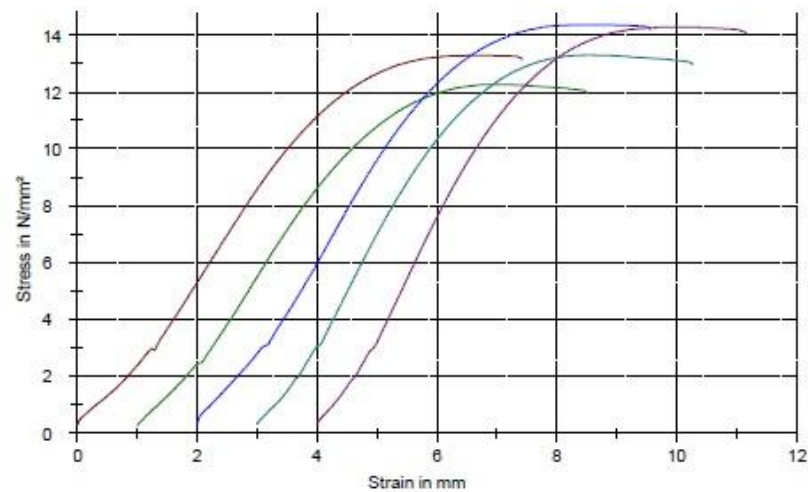
Parameter table:

Customer	: Thesis / Ilkka Ekström	Load cell	: 10 kN
Tester	: Ilkka Ekström	Extensometer	: -
Test standard	: 5 mm/min	Specimen grips	: 8302 10kN
Material	: PP + Cellulose fiber	Machine data	: Control SN: 150869
Specimen ID	: 3 rebatch-UPM + 5 batch 3		: Crosshead SN: 150869
			: Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	ε-F max %	ε-Break %
17	34,65	13,01	149,60	367,80	13,01	13,13	-	460,69	4,48	4,96
18	36	12,26	149,60	304,35	12,26	11,98	12,27	441,81	3,95	5,02
19	32,66	1,64	149,60	895,56	1,64	14,23	-	469,54	4,32	5,08
20	33,32	13,21	149,60	310,92	13,21	12,97	13,31	443,59	3,70	4,86
21	32,66	14,29	149,60	360,01	14,29	14,06	-	466,69	3,99	4,79

Series graph:



Statistics:

Series	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	ε-F max %	ε-Break %
n = 5										
x	33,86	10,88	149,60	447,73	10,88	13,27	12,79	456,46	4,09	4,94
s	1,446	5,22	0,00	251,95	5,22	0,91	0,74	12,98	0,31	0,11
v	4,27	47,95	0,00	56,27	47,95	6,86	5,75	2,84	7,60	2,21

Vetokoe, Laatu: M4

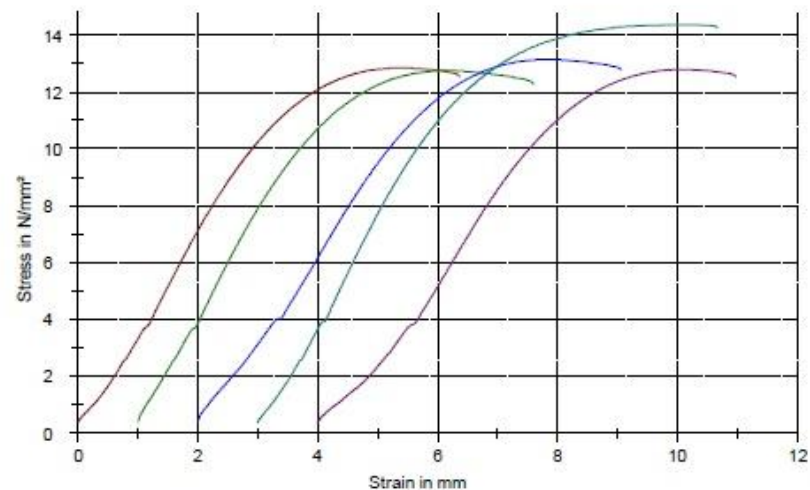
Parameter table:

Customer	: Thesis / Ilkka Ekström	Load cell	: 10 kN
Tester	: Ilkka Ekström	Extensometer	: -
Test standard	: 5 mm/min	Specimen grips	: 8302 10kN
Material	: PP + Cellulose fiber	Machine data	: Control SN: 150869
Specimen ID	: 3 rebatch-UPM + 5 batch 3		: Crosshead SN: 150869
			: Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	s-F max %	s-Break %
22	25,12	12,79	149,60	398,00	12,79	12,55	-	322,98	3,63	4,26
23	25,12	2,66	149,60	1015,34	2,66	12,28	-	320,44	3,43	4,41
24	24,99	1,89	149,60	989,91	1,89	12,78	-	328,79	3,95	4,72
25	25,25	13,59	149,60	460,26	13,59	14,25	-	362,92	4,72	5,12
26	25,22	2,82	149,60	404,10	2,82	12,55	-	322,82	4,02	4,66

Series graph:



Statistics:

Series	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	s-F max %	s-Break %
n = 5										
x	25,14	6,75	149,60	649,52	6,75	12,88	-	331,59	3,95	4,64
s	0,1011	5,90	0,00	314,56	5,90	0,79	-	17,78	0,49	0,33
v	0,40	87,39	0,00	48,43	87,39	6,12	-	5,36	12,47	7,16

Vetokoe, Laatu: M5

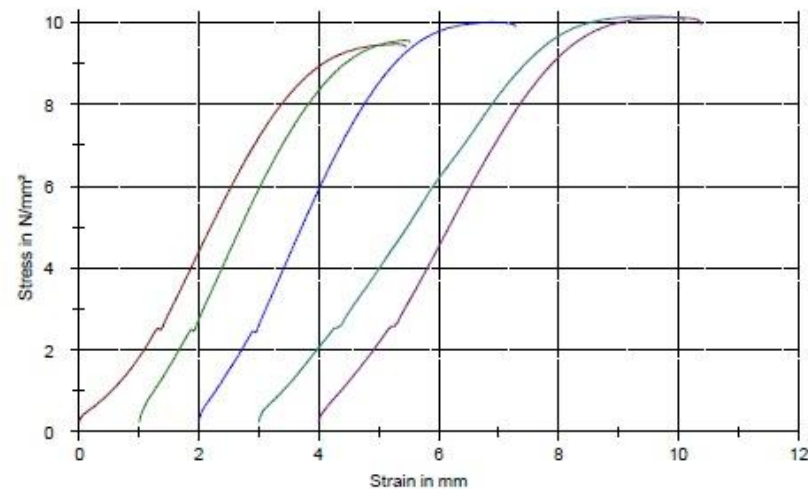
Parameter table:

Customer	: Thesis / Ilkka Ekström	Load cell	: 10 kN
Tester	: Ilkka Ekström	Extensometer	: -
Test standard	: 5 mm/min	Specimen grips	: 8302 10kN
Material	: PP + Cellulose fiber	Machine data	: Control SN: 150869
Specimen ID	: 3 reffbatch-UPM + 5 batch 3		: Crosshead SN: 150869
			: Force SN: 150870 10 kN

Results:

Nr	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	ε-F max %	ε-Break %
27	41,93	-	149,60	162,52	-	9,41	9,48	397,30	3,54	3,64
28	42	2,48	149,60	548,13	2,48	9,53	-	401,64	2,97	3,02
29	40,05	8,78	149,60	444,64	8,78	9,90	-	400,48	3,25	3,53
30	41,18	9,03	149,60	310,90	9,03	10,04	-	417,65	4,38	4,75
31	39,2	10,08	149,60	287,73	10,08	9,95	-	396,93	3,94	4,26

Series graph:



Statistics:

Series n = 5	S0 mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	L0 mm	EMod N/mm <sup>2</sup>	Rp x N/mm <sup>2</sup>	RB N/mm <sup>2</sup>	ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N	ε-F max %	ε-Break %
x	40,97	7,59	149,60	350,78	7,59	9,76	9,48	402,80	3,62	3,84
s	1,219	3,46	0,00	148,97	3,46	0,28	-	8,54	0,56	0,67
v	2,98	45,54	0,00	42,47	45,54	2,85	-	2,12	15,38	17,49

## Axson Adekit A 170 GY -liiman tekniset tiedot



## ADEKIT A 170 GY

## STRUCTURAL THIXOTROPIC EPOXY ADHESIVE

## DESCRIPTION

Bonding of elements of metallic or composite structures, bonding of car body, aeronautic applications.

## PROPERTIES

- 2 component high performance room temperature cured epoxy adhesive
- Suitable for edgewise assemblies
- Slow setting product adapted to cover and bond wide surfaces
- Excellent mechanical and thermal performances up to 100 °C
- Excellent strength to dynamic loads (vibrations and impacts)
- Product adapted to stringent ageing and aggressive environments

PHYSICAL PROPERTIES				
Composition		RESIN	HARDENER	MIXED
Mix ratio by weight		100	100	
Mix ratio by volume at 25 °C		100	100	
Colour		white	light grey	Light grey
Specific gravity at 25 °C (g/cm <sup>3</sup> )	ISO 1675 : 1985	1.23	1.23	1.23
Pot life at 25 °C on 100 g (min)	Gel Timer TECAM			23
Open time (min)	-	-	-	30

THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES (1)			
Hardness	ISO 868 : 2003	Shore D1 / D15	83 / 80
Tensile strength	ISO 527 : 1993	MPa	40
Elongation at break	ISO 527 : 1993	%	5
Glass transition temperature (tg)	ISO 11359 : 2002	°C	60
Coefficient of thermal expansion (CTE) (-40 °C to +50 °C)	ISO 11359 : 1999	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	90
Working temperature	-	°C	-40 ; +100

## EQUIPMENT

ADEKIT 170 GY packaged in 400 ml cartridges and requires a manual or pneumatic gun. Please consult our technical department for applications needing a machine.

## SUBSTRATE PREPARATION

The item to be bonded must be free of all dirt, oil or other foreign matter. A clean, dry surface is a must. Consult our Technical Support and refer to the technical data sheet about surface preparations to choose adapted degreaser or cleaner

<b>AXSON TECHNOLOGIES</b> Head Office France +33 1 34 40 34 00 <a href="mailto:axson@axson.fr">axson@axson.fr</a> axson.fr	<b>GERMANY</b> +49 60 74 40 71 10 <a href="mailto:info@axson.de">info@axson.de</a> axson.de	<b>SPAIN &amp; PORTUGAL</b> +34 93 255 16 26 <a href="mailto:axson@axson.es">axson@axson.es</a> axson.es	<b>SLOVAKIA</b> +421 37 642 25 28 <a href="mailto:info@axson-cs.sk">info@axson-cs.sk</a> axson-cs.sk	<b>NORTH AMERICA</b> +1 517 983 8191 <a href="mailto:info@axson-tech.us">info@axson-tech.us</a> axson-tech.us	<b>JAPAN</b> +81 594 26 25 91 <a href="mailto:sales@axson.jp">sales@axson.jp</a> axson.jp	<b>INDIA</b> +91 20 25580710 <a href="mailto:info.india@axson.com">info.india@axson.com</a> axson.com
	<b>ITALY</b> +39 02 96 70 22 36 <a href="mailto:axson@axson.it">axson@axson.it</a> axson.it	<b>UK</b> +44 1 438 06 00 02 <a href="mailto:sales@axson.co.uk">sales@axson.co.uk</a> axson.com	<b>MEXICO</b> +52 56 52 64 40 22 <a href="mailto:axson@axson-mex.com">axson@axson-mex.com</a> axson.com-mex	<b>CHINA</b> +86 21 58 08 30 37 <a href="mailto:china@axson.cn">china@axson.cn</a> axson.cn	<b>MIDDLE EAST</b> +971 7 2432227 <a href="mailto:info.middleeast@axson.com">info.middleeast@axson.com</a> axson.com	





## ADEKIT A 170 GY

### STRUCTURAL THIXOTROPIC EPOXY ADHESIVE

#### MECHANICAL PROPERTIES ON ASSEMBLIES

Time to obtain 1 MPa lap shear strength at 25°C	ISO 4587 : 2003	hr	3 hr 30
Time to obtain 50% final lap shear strength at 25°C	ISO 4587 : 2003	hr	19
Lap shear strength on aluminium	ISO 4587 : 2003	MPa	24 CF(3)
Floating roller peel resistance (2)	ISO 4578 : 1997	kN/m	5 CF
Lap shear strength after moist cataplasim 15 days at 80°C	ISO 4587 : 2003	MPa	20 CF
Lap shear strength after a thermal shock ageing cycle 15 cycles D3 (4)	ISO 4587 : 2003	MPa	21 CF
Lap shear strength after ageing in immersion for 3 weeks : <ul style="list-style-type: none"> <li>• motor oil at 70°C</li> <li>• hydrochloric acid (0.1 N) at 23°C</li> <li>• soda (0.1 N) at 23°C</li> <li>• seawater at 23°C</li> <li>• gasoil at 23°C</li> <li>• gas at 23°C</li> </ul>	ISO 4587 : 2003 ISO 175 : 1999	MPa	24 CF 24 CF 24 CF 22 CF 24 CF 24 CF
Lap shear strength after thermal ageing 3 weeks at 100°C	ISO 4587 : 2003	MPa	22 CF

(1) Lap shear strength on aluminium 2017A etched in sulfochromic bath

(2) Hardening conditions: 8 hrs at 80°C + 48 hrs at room temperature

(3) According to ISO 10365:1992 : CF = Cohesive failure

(4) Cycles D3 according to ISO 9142 : 1993

#### HANDLING PRECAUTIONS

It is recommended to use the product at a temperature between +18°C and +35°C. Normal health and safety precautions should be observed when handling these products :

- ensure good ventilation
- wear gloves and safety glasses
- wear waterproof clothes

For further information, please consult the product safety data sheet.

#### STORAGE CONDITIONS

Shelf life of ADEKIT A 170 GY is 12 months stored in its original unopened packaging at a temperature between +15°C and +25°C.

#### PACKAGING

**A 170/ 400 GY**  
12 cartridges

#### GUARANTEE

The information contained in this technical data sheet result from research and tests conducted in our Laboratories under precise conditions. It is the responsibility of the user to determine the suitability of AXSON products, under their own conditions before commencing with the proposed application. AXSON guarantee the conformity of their products with their specifications but cannot guarantee the compatibility of a product with any particular application. AXSON disclaim all responsibility for damage from any incident which results from the use of these products. The responsibility of AXSON is strictly limited to reimbursement or replacement of products which do not comply with the published specifications.

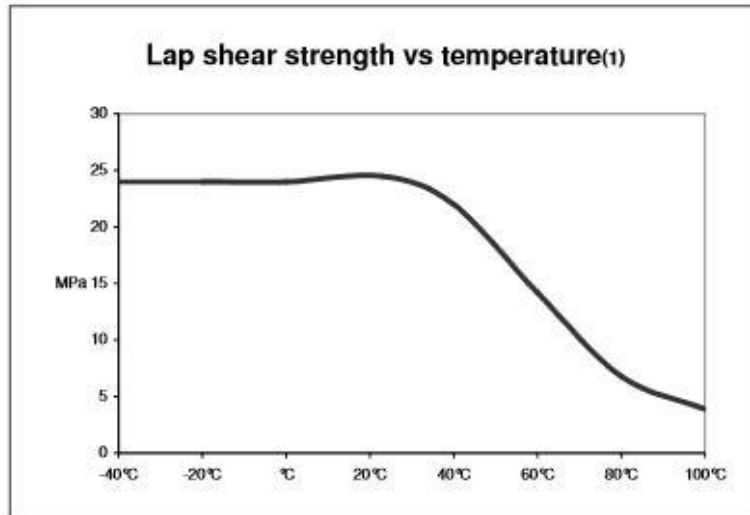
<b>AXSON TECHNOLOGIES</b> Head Office France +33 1 34 40 34 00 axson@axson.fr axson.fr	<b>GERMANY</b> +49 90 74 40 71 10 axson@axson.de axson.de	<b>SPAIN &amp; PORTUGAL</b> +34 93 225 16 26 axson@axson.es axson.es	<b>SLOVAKIA</b> +421 37 642 25 28 sk@axson-cs.sk axson-cs.sk	<b>NORTH AMERICA</b> +1 517 963 8191 info@axsonct.us axsonct.us	<b>JAPAN</b> +81 594 26 25 91 axson@axson.jp axson.jp	<b>INDIA</b> +91 20 25580710 info.india@axson.com axson.com
	<b>ITALY</b> +39 02 96 70 23 36 axson@axson.it axson.it	<b>U.K.</b> +44 1 830 96 00 62 uk@axson.co.uk axson.co.uk		<b>MEXICO</b> +52 55 52 94 46 22 axson@axson.mx axson.com.mx	<b>CHINA</b> +86 21 58 68 30 37 china@axson.cn axson.cn	<b>MIDDLE EAST</b> +971 7 2432227 info.middleeast@axson.com axson.com



# ADEKIT A 170 GY

## STRUCTURAL THIXOTROPIC EPOXY ADHESIVE

### ANNEX



(1)Hardening conditions: 8 hrs at 80 °C + 48 hrs at room temperature

**AXSON TECHNOLOGIES**  
Head Office France  
+33 1 34 40 34 90  
axson.fr

**GERMANY**  
+49 69 74 40 71 10  
info@axson.de  
axson.de

**ITALY**  
+39 02 96 70 25 36  
axson@axson.it  
axson.it

**SPAIN & PORTUGAL**  
+34 93 225 16 28  
axson@axson.es  
axson.es

**U.K.**  
+44 1 630 66 00 02  
info@axson.co.uk  
axson.com

**SLOVAKIA**  
+421 37 642 25 28  
office@axson-cs.sk  
axson-cs.sk

**NORTH AMERICA**  
+1 517 963 6391  
info@axsontech.us  
axsontech.us

**MEXICO**  
+52 55 52 64 40 02  
axson@prodax.mt.mx  
axson.com.mx

**JAPAN**  
+81 094 28 25 01  
info@axson.jp  
axson.jp

**CHINA**  
+86 21 58 08 30 37  
china@axson.cn  
axson.cn

**INDIA**  
+91 20 25580716  
info.india@axson.com  
axson.com

**MIDDLE EAST**  
+971 7 2422227  
info.middleeast@axson.com  
axson.com

## Loctite 3038 -liiman tekniset tiedot

# LOCTITE®

Technical Data Sheet

## LOCTITE® 3038™

February 2010

### PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® 3038™ provides the following product characteristics:

<b>Technology</b>	Acrylic
<b>Chemical Type</b>	Acrylic
<b>Appearance (Part A)</b>	Clear yellow gel <sup>1,2,3</sup>
<b>Appearance (Part B)</b>	Viscous straw colored liquid <sup>1,2,3</sup>
<b>Components</b>	Two component - requires mixing
<b>Viscosity</b>	Medium, thixotropic
<b>Cure</b>	Two part acrylic
<b>Mix Ratio, by volume - Part A: Part B</b>	1 : 10
<b>Application</b>	Bonding
<b>Specific Benefit</b>	Bonds low energy plastic without pre-treatment

LOCTITE® 3038™ is designed primarily to bond e-coated metals (ECS) to glass fibre filled polypropylenes (PPGF) but can also be used on other low energy substrates such as LDPE and HDPE. The product is designed to work without surface pre-treatment. The product contains 0.25 mm fillers for bondline thickness control. The thixotropic nature of LOCTITE® 3038™ reduces the migration of liquid product after application to the substrate.

### TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

#### Part A:

Specific Gravity @ 20 °C	1.2
Viscosity, Cone & Plate, mPa·s (cP):	
Temperature: 25 °C, Shear Rate: 20 s <sup>-1</sup>	1,500 to 15,000 <sup>1,2,3</sup>
Color, APHA	1 to 3 <sup>1,2,3</sup>
Flash Point - See MSDS	

#### Part B:

Specific Gravity @ 25 °C	1.0
Viscosity, Cone & Plate, mPa·s (cP):	
Temperature: 25 °C, Shear Rate: 20 s <sup>-1</sup>	6,000 to 18,000 <sup>1,2,3</sup>
Flash Point - See MSDS	

### TYPICAL CURING PERFORMANCE

This product cures when the components are dispensed through a static mixer at room temperature.

#### Fixture Time

Fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm<sup>2</sup>.

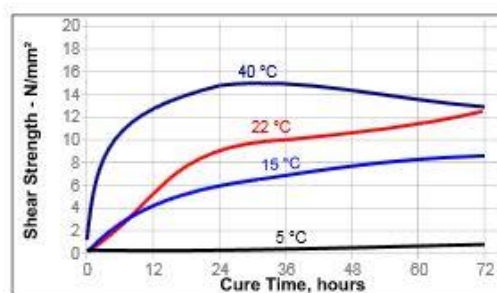
Fixture Time, mixed, minutes:	
PPGF to ECS	≤70

#### Open Time

Open Time, mixed, minutes	4
---------------------------	---

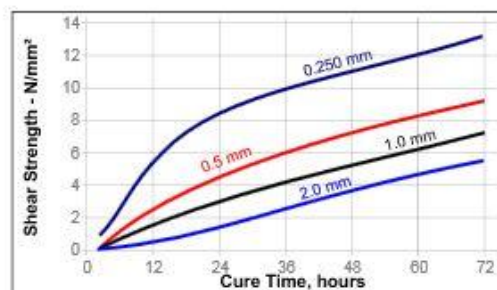
### Cure Speed vs. Temperature

The graph below shows the shear strength developed with time on ECS to PPGF at different temperatures and tested according to ISO 4587.



### Cure Speed vs. Bond Gap

The rate of cure will depend on the bondline gap. Thin bond lines result in higher cure speeds, increasing the bond gap will decrease the rate of cure.



TDS LOCTITE® 3038™, February 2010

**TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL**

Cured for 24 hours @ 22 °C

**Physical Properties:**

Coefficient of Thermal Expansion, K <sup>-1</sup> :	
Below Tg	178×10 <sup>-4</sup>
Above Tg	145×10 <sup>-4</sup>
Glass Transition Temperature, °C	57
Coefficient of Thermal Conductivity, W/(m·K)	0.436
Shore Hardness, ISO 888, Durometer D	65

Cured for 168 hours @ 22 °C

**Physical Properties:**

Elongation, at break, ISO 527-2, %	37
Tensile Strength, at break, ISO 527-2	N/mm <sup>2</sup> 12.98 (psi) (1,880)
Tensile Modulus, ISO 527-2	N/mm <sup>2</sup> 704 (psi) (102,080)

**TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL**

**Adhesive Properties**

Cured for 72 hours @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to ECS	N/mm <sup>2</sup> ≥8 <sup>UVB</sup> (psi) (≥1,160)
PPGF to Polycarbonate	N/mm <sup>2</sup> 5.5 (psi) (800)
Aluminum	N/mm <sup>2</sup> 7.9 (psi) (1,150)
PPGF	N/mm <sup>2</sup> 9.8 (psi) (1,420)
Polyamide (Nylon)	N/mm <sup>2</sup> 2.9 (psi) (420)
Polybutylene Terephthalate (PBT)	N/mm <sup>2</sup> 13.6 (psi) (1,970)

Cured for 24 hours @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to ECS	N/mm <sup>2</sup> 8.4 (psi) (1,220)
-------------	--

Cured for 168 hours @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to ECS	N/mm <sup>2</sup> 10.5 (psi) (1,520)
-------------	---

**TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE**

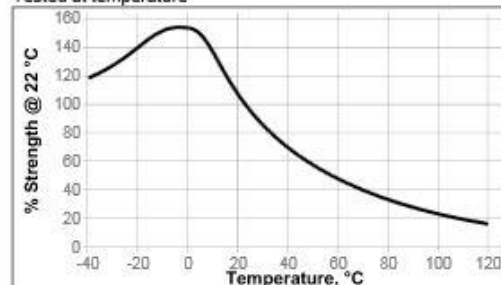
Cured for 24 hours @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:

PPGF to ECS

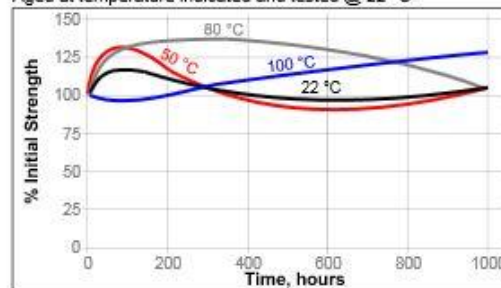
**Hot Strength**

Tested at temperature



**Heat Aging**

Aged at temperature indicated and tested @ 22 °C



**Chemical/Solvent Resistance**

Aged under conditions indicated and tested @ 22°C.

Environment	°C	% of initial strength		
		100 h	500 h	1000 h
98% RH	40	112	103	94
Motor oil	22	108	110	107
Motor oil	50	132	96	111
Water/glycol	22	114	102	99
Water/glycol	50	109	102	91

**GENERAL INFORMATION**

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials

For safe handling information on this product, consult the Material Safety Data Sheet (MSDS).

**Directions for use:**

1. For best performance bond surfaces should be clean and free from grease.
2. For more detailed information, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

Henkel Loctite Americas  
+866.332.7024

Henkel Loctite Europe  
+49.89.9268.0

Henkel Loctite Asia Pacific  
+81.45.758.1810

For the most direct access to local sales and technical support visit: [www.henkel.com/industrial](http://www.henkel.com/industrial)

TDS LOCTITE® 3038™, February 2010

**Loctite Material Specification<sup>MS</sup>**

LMS dated September 18, 2006 (Part A) and LMS dated September 26, 2007 (Part B). Test reports for each batch are available for the indicated properties. LMS test reports include selected QC test parameters considered appropriate to specifications for customer use. Additionally, comprehensive controls are in place to assure product quality and consistency. Special customer specification requirements may be coordinated through Henkel Loctite Quality.

**Storage**

Store product in the unopened container in a dry location. Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return liquid to original container. Storage information may be indicated on the product container labeling. **Optimal Storage: 8 °C to 21 °C. Storage below 8 °C or greater than 28 °C can adversely affect product properties.** Henkel cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those recommended. If additional information is required, please contact your local Technical Service Center or Customer Service Representative.

**Conversions**

$(^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 32 = ^{\circ}\text{F}$   
 $\text{kV/mm} \times 25.4 = \text{V/mil}$   
 $\text{mm} / 25.4 = \text{inches}$   
 $\mu\text{m} / 25.4 = \text{mil}$   
 $\text{N} \times 0.225 = \text{lb}$   
 $\text{N/mm} \times 5.71 = \text{lb/in}$   
 $\text{N/mm}^2 \times 145 = \text{psi}$   
 $\text{MPa} \times 145 = \text{psi}$   
 $\text{N}\cdot\text{m} \times 8.851 = \text{lb}\cdot\text{in}$   
 $\text{N}\cdot\text{m} \times 0.738 = \text{lb}\cdot\text{ft}$   
 $\text{N}\cdot\text{mm} \times 0.142 = \text{oz}\cdot\text{in}$   
 $\text{mPa}\cdot\text{s} = \text{cP}$

**Note**

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

**Trademark usage**

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 0.4

Henkel Loctite Americas  
 +888.332.7024

Henkel Loctite Europe  
 +49.89.9268.0

Henkel Loctite Asia Pacific  
 +81.45.758.1810

For the most direct access to local sales and technical support visit: [www.loctite.com](http://www.loctite.com)