

Timo Elonen

Ruiskuvaletun kestopuovikomposiitin soveltuvuus Formula Student -kilpa-auton alustarakenteisiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

6.10.2013

Tekijä Otsikko	Timo Elonen Ruiskuvaletun kestopuovikomposiitin soveltuvuus Formula Student -kilpa-auton alustarakenteisiin
Sivumäärä Aika	28 sivua + 6 liitettä 6.10.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	Tuntiopettaja Pasi Oikarinen
<p>Tässä insinööriyössä tutkitaan ruiskuvalettujen kestopuovikomposiittiosien soveltuvuutta Metropolia Ammattikorkeakoulun Formula Student -kilpa-auton alustarakenteisiin. Työssä keskitytään auton tukivarsissa aiemmin käytettyjen magnesium- ja alumiinipäätyjen korvaamiseen ruiskuvaletuilla muovipäädyillä. Metallipäätyjen heikkous on niiden vaatima suuri työmäärä. Ruiskuvalamalla voidaan yhdessä prosessissa tuottaa nopeasti ja taloudellisesti suuria määriä valmiita tukivarsipäätyjä. Formula Student -kilpailujen yksi arvostelukriteereistä on sarjatuotannollisesti taloudellisiin ratkaisuihin pyrkiminen.</p> <p>Työssä kuvataan ruiskuvalukone ja -prosessi, tukivarsisuunnittelu ja sen lähtökohdat, muotin suunnittelu ja valmistus, prototyyppien valmistus ja osien testaaminen käytännössä.</p> <p>Tukivarsipäädyt onnistuivat hyvin, vaikka valmiita tukivarsia ei radalla asti päästykään testaamaan. Työn tulosten pohjalta voidaan jatkaa tukivarsien muovipäätyjen tai muiden rakenteellisten ruiskuvalukomponenttien kehittelyä tuleviin autoihin.</p>	
Avainsanat	Formula Student, ruiskuvalu, muovi, komposiitti, muotti

Author Title	Timo Elonen Feasibility of Injection Molded Thermoplastic Composites in the Chassis Structures of the Formula Student Race Car
Number of Pages Date	28 pages + 6 appendices 6 October 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Pasi Oikarinen, Lecturer
<p>This thesis evaluates feasibility of using injection molded thermoplastic composites in the chassis structures of the Formula Student race car. It focuses on replacing the previously used magnesium and aluminium a-arm ends with injection molded plastic ends. The major drawback of metallic ends is high workload required for each end. With injection molding it is possible to make loads of a-arm ends fast and cost-effectively in a single process. One of the judging criteria in Formula Student competitions is aiming at cost-effective solutions in mass production.</p> <p>This thesis describes injection molding machine and process, a-arm design and its starting points, mold design and manufacturing, prototype making and testing in practice.</p> <p>Plastic a-arm ends seemed to work very well even though actual track testing of a-arms was not carried out. With results of this study it is easier to continue developing a-arms with plastic ends or other structural injection molded plastic parts for future race cars.</p>	
Keywords	Formula Student, injection molding, plastic, composite, mold

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Lähtökohdat	1
1.2	Tavoitteet	1
2	Ruiskuvalu	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Ruiskuvaluprosessi	2
2.2.1	Muotin sulkku	3
2.2.2	Ruiskutus	3
2.2.3	Jälkipaine	4
2.2.4	Annostus ja plastisointi	4
2.2.5	Jäähdytys, muotin avaus ja ulostyöntö	5
2.3	Ruiskuvalukoneisto ja sen osat	5
2.3.1	Sulkuyksikkö	6
2.3.2	Ruiskutusyksikkö	7
2.3.3	Käyttöyksikkö	8
2.3.4	Ohjausyksikkö	8
3	Tukivarsien suunnittelu	9
3.1	Konsepti	9
3.2	Suunnittelutyö	10
3.3	Tukivarsivoimat	10
3.4	Materiaalivalinnat	11
3.4.1	Tukivarsipäädyt	12
3.4.2	Putket	12
3.4.3	Liima	13
3.5	Kuulanivelet	13
3.6	Lujuuslaskenta	14
4	Muotti	15
4.1	Suunnittelu	16
4.1.1	Muottimateriaalit	16
4.1.2	Muottipesät	17
4.1.3	Jakotaso, päästö ja keernat	18
4.1.4	Ulostyöntö	19
4.1.5	Valukanavat ja kaasunpoisto	20

4.1.6	Jäähdytys- eli temperointikanavat	21
4.1.7	Valmiskomponentit	22
4.2	Valmistus	22
4.2.1	Koneistus	22
4.2.2	Pinnanlaatu ja viimeistely	23
5	Valmistus	24
5.1	Ruiskuvalu	24
5.2	Kokoonpano	25
5.2.1	Valmistelu	25
5.2.2	Liimaus	25
6	Testaus	26
6.1	Vetokokeet	26
6.2	Väsytykokeet	27
6.3	Ratatestaus	27
7	Yhteenveto	28
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. RTP 289 datalehti	
	Liite 2. Exel hiilikuituputken datalehti	
	Liite 3. Loctite 9466 datalehti	
	Liite 4. Loctite 480 datalehti	
	Liite 5. Alumec 89 datalehti	
	Liite 6. Vetokokeiden tulokset	

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin osana Metropolia Ammattikorkeakoulun Formula Student -projektia. Formula Student on kansainvälinen suunnittelukilpailu, jossa opiskelijoista koostuvat tiimit kilpailevat suunnittelemillaan ja rakentamallaan kilpa-autoilla. Kilpailut koostuvat lukuisista eri osioista, joissa eri alojen asiantuntijat arvioivat tiimien aikaansaannoksia. Kilpailut toimivat myös erinomaisina rekrytointikanavina alan yrityksille. Metropolia Motorsport on yksi Euroopan vanhimpia ja menestyksekkäimpiä Formula Student -tiimejä. Tämä työ tehtiin kilpailukausilla 2011–2012 käytettyyn HPF011/20-autoon sen aktiivisen kilpauran päätyttyä. Työstä saatua tietoa voidaan kuitenkin hyödyntää, mikäli uusiin kilpa-autoihin lähdetään kehittämään vastaavanlaisia ratkaisuja.

1.1 Lähtökohdat

Autoteollisuudessa on jo vuosikymmeniä korvattu metalliosia ruiskuvaletuilla muoviosilla. Muoviosat ovat usein valmiita tuotteita suoraan muotista. Näin voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä valmistuskustannuksissa ja -ajoissa. Materiaalien kehittyminen avaa jatkuvasti uusia mahdollisuuksia ja käyttökohteita metallien korvaamiseen muoveilla. Yksi Formula Student -kilpailujen tarkoituksista ja kisojen arvostelukriteereistä on innovatiivisiin, mutta sarjatuotantokelpoisiin ja kustannustehokkaisiin ratkaisuihin pyrkiminen. Tämä seikka sekä tekijän oma mielenkiinto aihealueeseen olivat alkusysäys insinööri työaiheeseen.

1.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli korvata kilpa-auton tukivarsissa aiemmin käytetyt metallipäädyt ruiskuvaletuilla muovipäädillä kuitenkin tukivarsien peruskonseptia muuttamatta. Pääasiallinen tavoite kuitenkin oli oppia mahdollisimman paljon kyseisestä aiheesta ja siihen liittyvistä tekniikoista – ei niinkään kilpailuvalmiiden ratkaisujen tuottaminen. Työssä ei ollut myöskään tarkoitus keskittyä erityisellä tarkkuudella mihinkään yksittäiseen osa-alueeseen vaan prosessiin kokonaisuutena.

2 Ruiskuvalu

2.1 Yleistä

Ruiskuvalu on valmistusmenetelmä, jossa osia tuotetaan puristamalla sulaa raaka-ainetta suurella paineella metalliseen muottiin. Menetelmä on yleisimmin käytetty eri kestopuovilaaduilla, mutta myös muun muassa kertamuoveja, vahoja, metalleja ja ke-raameja voidaan ruiskuvalaa. Sarjakoot lähtevät noin 1000 kappaleen sarjoista aina miljooniin kappaleisiin. Joskus valetaan myös pienempiä sarjoja, mikäli muilla valmistusmenetelmillä ei voida saavuttaa vastaavanlaista lopputulosta. Yleisesti osa on valmis suoraan muotista ja prosessi voidaan suorittaa miehittämättömänä automaattiajona. Valettavaan kappaleeseen voidaan tarvittaessa myös sisällyttää erilaisia inserttejä, esim. kierresisäkkeitä, jotka sijoitetaan muottipesään ennen valua. Tämä vaatii joko miehitettyä ajoa tai robotisointia, mutta näin valettavasta kappaleesta voidaan saada suoraan valmis tai ominaisuuksiltaan parempi verrattuna jälkityöstettyyn kappaleeseen. Ruiskuvalun suurin etu on mahdollisuus toistuvasti tuottaa monimutkaisia ja mittatarkkoja kappaleita suurella tuotantonopeudella.

2.2 Ruiskuvaluprosessi

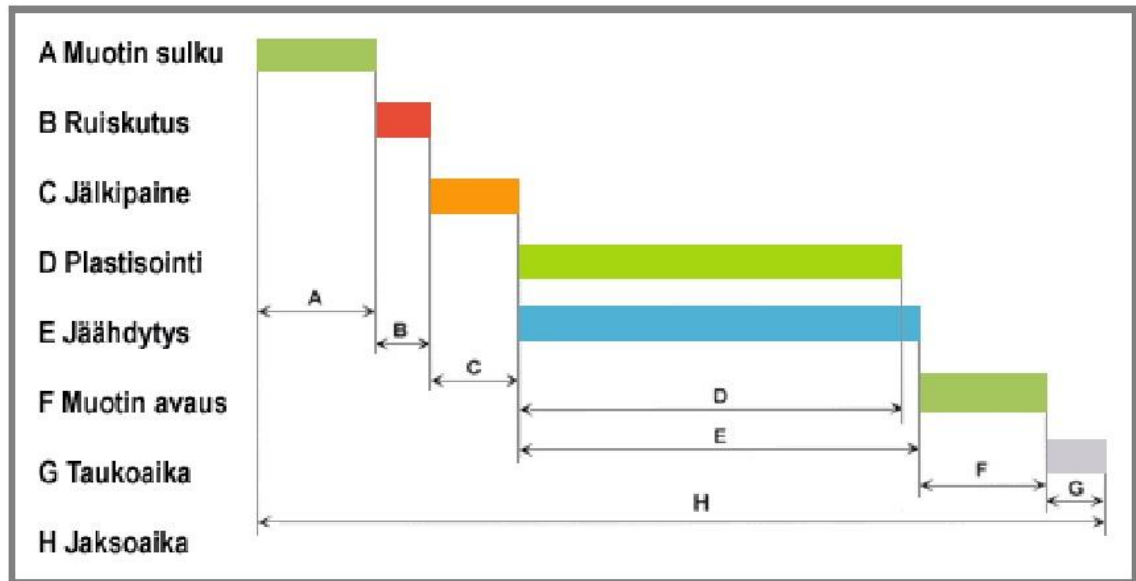
Ruiskuvalukoneen jaksoaika on yhden muottipesällisen valmistukseen kuluva aika, joka alkaa muotin sulkemisesta ja kestää kappaleen poistamista seuraavan tauon loppuun. Sen kesto riippuu kappaleen geometriasta ja valettavan materiaalin ominaisuuksista.

Ruiskuvalujakso voidaan jakaa kuvan 1 mukaisiin vaiheisiin, jotka ovat

- muotin sulkeminen
- muotin täyttäminen eli ruiskutus
- jälkipaine ja kappaleen jäähdytys
- muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö.

Varsinaisen valujakson rinnalla kulkee toinen prosessi, jonka tarkoituksena on valmistaa uusi raaka-aineannos täytettäväksi muottiin seuraavan jakson aikana. Annoksen valmistamiseen kuuluu

- raaka-aineen syöttö ruuville
- raaka-aineen plastisointi.



Kuva 1. Ruiskuvalujakson jakautuminen eri vaiheisiin [1, s. 47]

2.2.1 Muotin sulku

Sulkemisliikkeen alussa liike on nopeaa, kuitenkin hidastuen jakopintojen ollessa jo lähes kiinni toisissaan. Sulkeutumisen tulee tapahtua nopeasti mutta joustavasti niin, että muottipuoliskot sulkeutuvat pehmeästi kiinni. Yleensä käytetään myös muottisulun suoja-painetta, jolla muottia suojataan rikkoutumiselta, mikäli muottipuolisko- jen väliin on jäänyt jotain. Tässä vaiheessa myös ruiskutusyksikön suutin ajetaan kiinni muottiin, mikäli se on ajettu irti muotista. Raaka-aineesta, jaksonajasta ja ruiskutusyksikön suut- timen tyypistä riippuen se voidaan pitää jatkuvasti muotissa kiinni tai ajaa taaksepäin muotin täyttövaiheen päätyttyä. Muotin täyttäminen eli ruiskutus voidaan aloittaa heti, kun muotti on täysin suljettu ja ruiskutusyksikön suutin on tiiviisti muotin suutinta vas- ten. [1, s. 48.]

2.2.2 Ruiskutus

Varsinaisen valuprosessin rinnalla valmistunut raaka-aineannos on heti muotin sulkeu- duttua valmis ruiskutettavaksi. Ruiskuvaluprosessin onnistumisen kannalta ruiskutus on merkittävin vaihe. Lähtökohtaisesti muotti tulisi täyttää mahdollisimman nopeasti, jotta massan jähmettyminen tapahtuisi mahdollisimman tasaisesti. Ruiskutuksen kesto vaihtelee kymmenesosasekunneista muutamaa sekuntiin muovilajista ja kappaleen

geometriasta riippuen. Ruiskutusvaiheessa täytetään noin 95 % muottipesän tilavuudesta. [1, s. 48.]

Ruiskutusvaiheen keskeisimmät parametrit ovat ruiskutusnopeus, ruiskutuspaino, jälkipaineelle vaihdon ajoitus ja jälkipaineen suuruus. Ruiskutusnopeus vaikuttaa merkittävästi kappaleen pinnanlaatuun, koska erityisesti pinnanlaatu on herkkä sulan massan lämpötilan vaihteluille. Hitaasti ruiskutettaessa massa jäähtyy, kun taas liian nopeasti ruiskutettaessa massan lämpötila saattaa nousta sisäisen kitkan takia. Virtausnopeus on optimaalinen silloin, kun se aiheuttaa pienimmän ruiskutuspainon. Joskus ruiskutus on kuitenkin hyvä aloittaa pienellä nopeudella suihkuamisen estämiseksi. Loppuvaiheessa nopeutta on myös hyvä hidastaa, jotta vältetään hallitsemattomalta paineiskulta vaihdettaessa jälkipaineelle. [1, s. 49.]

2.2.3 Jälkipaine

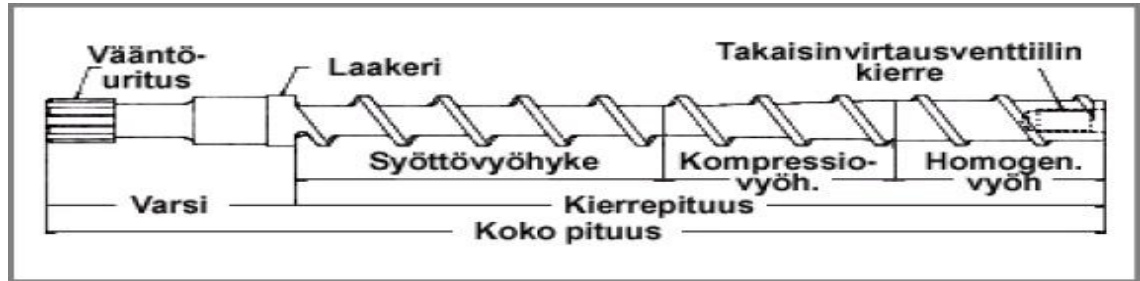
Ruiskutusvaiheen jälkeen seuraa jälkipainevaihe, jossa täytetään se hyvin pieni osa muottipesän tilavuudesta, joka on jäänyt täyttämättä ruiskutusvaiheessa sekä kompensoidaan muovin jäähtymisen aiheuttama kutistuma. Jälkipaineella on merkittävä vaikutus kappaleen lopulliseen mittatarkkuuteen, sisäisiin jännityksiin ja tiheyteen. [2, s. 48.]

Jälkipaineen puuttuessa tai vaihdeltaessa eri työkiertoilla, voi kappaleeseen syntyä imuja, onteloita, reikiä ja yhtymäsaumoja. Liian suuri jälkipaine voi aiheuttaa purseita, kieroutumista, sisäisiä jännityksiä ja haurautta. [3, s. 80.]

2.2.4 Annostus ja plastisointi

Jälkipainevaiheen jälkeen aloitetaan uuden raaka-aineannoksen valmistelu, jossa ruuvien eteen kerätään seuraava ruiskutusannos ja plastisoidaan raaka-ainetta. Plastisoinnilla tarkoitetaan raaka-aineen juoksevaan tilaan saattamista. Ruuvi (kuva 2) jaetaan syöttö-, kompressio- ja homogointivyöhykkeisiin. Syöttövyöhykkeen tehtävä on raaka-aineen kuljettaminen ja tiivistäminen; kompressiovyöhykkeen tehtävänä sen plastisoiminen. Plastisointiin tarvittava energia syntyy pääasiassa raaka-ainepartikkelien hankautuessa toisiaan ja sylinterien seinämiä vasten ruuvien pyöriessä. Loput tarvittavasta lämpöenergiasta tuodaan lämmitysvastuksilla. Homogointivyöhykkeellä plastisoitu massa sekoitetaan mahdollisimman tasalaatuisiksi. Usein muovimateriaalista

irtoaa sen plastisoinnin aikana höyryjä ja kaasuja, jotka voivat aiheuttaa valukappaleeseen huokoisuutta tai heikentää sen pinnanlaatua. Ongelman ratkaisemiseksi on kehitetty ns. kaasunpoistoruuveja. [2, s. 3.]



Kuva 2. Ruiskuvalukoneen kierukkaruuvi [2, s. 3]

2.2.5 Jäähdytys, muotin avaus ja ulostyöntö

Jäähdytysvaihe on yleensä ruiskuvalukierron pisin vaihe. Muovimassa alkaa jäähtyä välittömästi sen kohdatessa verrattain kylmän muottipinnan. Massan tulisi jäähtyä mahdollisimman tasaisesti, jotta välttyttäisiin pintavirheiltä ja muodonmuutoksilta. Kappale voidaan poistaa muotista, kun sen lämpötila on laskenut materiaalille ominaiseen ulostyöntölämpötilaan. Siihen vaikuttavat lisäksi kappaleen muoto ja seinämävahvuudet. Muotti avataan rauhallisesti, mutta ripeästi. Kappale poistetaan muotista erityisen ulostyöntömekanismin välityksellä. Uusi ruiskuvalujakso alkaa heti, kun kappale on saatu poistettua muotista.

2.3 Ruiskuvalukoneisto ja sen osat

Ruiskuvalukoneen pääasialliset tehtävät ovat saada aikaan tarvittavat liikkeet, joilla muotti avautuu ja sulkeutuu, tuottaa tarvittava muottipuolikkaita kiinnipitävä sulkuvoima, ruiskuttaa muovimassa muottiin ja plastisoida uusi massa-annos seuraava täytöstä varten. [2, s. 4.]

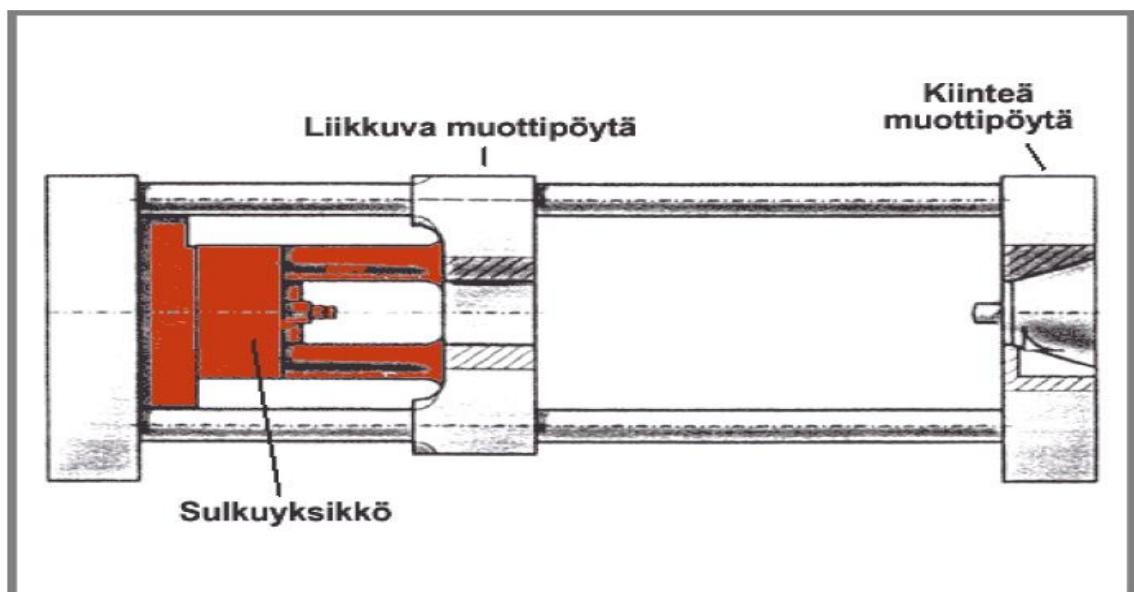
Ruiskuvalukone muodostuu neljästä toiminnallisesta yksiköstä, jotka ovat sulkuyksikkö, ruiskutusyksikkö, käyttöyksikkö ja ohjauksyksikkö. Kokonaisuuden yleensä yhdistää tukeva valurautarunko. Edellisten lisäksi on vielä itse muotti ja muotin temperointilaitteisto, jotka eivät varsinaisesti ole ruiskuvalukoneen osia, mutta kuuluvat olennaisesti kokonaisuuteen. [1, s. 92.]

2.3.1 Sulkuyksikkö

Sulkuyksikön tehtävä on sulkea muotti ruiskutusta varten ja avata muotti valmiin kappaleen ulostyöntämiseksi. Koska massa ruiskutetaan muottiin suurella paineella, tulee sulkuyksikön tuottaa riittävä vastavoima pitämään muotinpuoliskot yhdessä. Sulkuvoima on keskeisin ruiskuvalukoneen kokoa ja suorituskykyä kuvaava tekijä. Sulkuvoimat vaihtelevat tyypillisesti välillä 200–100000 kN.

Sulkuyksikkö koostuu kolmesta levystä, joista etulevy on kiinteä osa ruiskuvalukoneen runkoa ja johon muotin ruiskutuspuolisko kiinnitetään. Takimmainen levy toimii sulkuyksikön toisena päätylevynä. Yleisesti etu- ja takalevy ovat yhdistetty neljällä yhdensuuntaisella johteella, joiden varassa on kolmas levy eli liikkuva muottipöytä, johon kiinnitetään muotin takapuolisko. Sulkusylinteri luo tarvittavat muottiliikkeet ja muotin puoliskoja kiinnittävän sulkuvoiman, joko suoravälitteisesti tai erilaisten nivelmekanismien välityksellä.

Kuva 3 esittää johteellisen sulkuyksikön rakenteen pääpiirteissään. Johteettomien ratkaisujen etuna on esteetön pääsy muotille, mutta niiden rakenteiden täytyy muuten olla massiivisempia, jotta rakenteelle saavutetaan yhtä suuri jäykkyys. Sulkuyksikkö on yleensä ruiskuvalukoneen kookkain osa. Liikkuvaan muottipöytään on liitetty myös ns. ulostyöntösylinteri, joka ohjaa takamuotissa olevaa kappaleenpoistomekanismia. [1, s. 94; 2, s. 4.]



Kuva 3. Johteellisen sulkuyksikön runko [2, s. 5]

2.3.2 Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikön (kuva 4) päätehtävät ovat raaka-aineen kuumennus ja plastisointi, massan ruiskutus muottipesään ja jälkipaineen muodostus. Lisäksi ruiskutusyksikköön kuuluu käyttömekanismi, jolla ruiskutusyksikön suutin painetaan tiiviisti muottia vasten.

Ruiskutusyksikkö on siis käytännössä vain puristin, jolla muovimassa puristetaan muottiin. Ensimmäiset ruiskutusyksiköt olivatkin mäntätoimisia puristimia. Ruuvikäyttöisen koneen merkittäviä etuja ovat ruuvien massaa sekoittava vaikutus ja massan plastisointia edistävä ulkoinen mekaaninen energia.

Ruiskutusyksikkö muodostuu syöttösuppilosta, sylinteristä, ruuvista, sulkurenkaasta, suuttimesta ja lämmitysvastuksista. Raaka-aineen syöttö tapahtuu yksinkertaisimmillaan painovoimaisena virtauksena syöttösuppilosta ruuville. Usein raaka-aineen syöttölaitteen yhteydessä on kuivauslaitteisto.

Ruuvi pyörii ja liikkuu plastisointivaiheessa taaksepäin keräten eteensä yhteen ruiskutuskertaan tarvittavan materiaalmäärän. Ruiskutusvaiheessa ruuvi liikkuu eteenpäin työntäen plastisoitua massaa paineella muottiin. Ruiskutuspainet ovat maksimissaan luokkaa 1500–2000 bar. Ruuvissa olevalla sulkurenkaalla estetään massan takaisinvirtaus, jotta saavutetaan riittävän tarkasti toistettavat annosmäärät. Ruiskutuslavuus on eräs ruiskuvalukoneen kokoa kuvaava suure ja se voi olla jopa yli $0,1 \text{ m}^3$. Ruiskutus­sylinterin päässä on suutin, jonka kautta massa ruiskutetaan muottiin. Suutin voi olla tyy­piltään avoin- tai sulkusuutin. Sulkusuutin estää massan virtaamisen plastisointivaiheen aikana pois sylinteristä. Sulkusuutin voi olla joko mekaanisesti tai hydraulisesti ohjattu. [1, s. 106; 2, s. 5.]



Kuva 4. Kaaviokuva ruiskutusyksiköstä [2, s. 6]

2.3.3 Käyttöyksikkö

Perinteisesti ruiskuvalukoneet ovat olleet pääasiassa hydraulitoimisia, mutta täyssähköisiä koneita rakennetaan koko ajan enenevässä määrin. Täyssähköisten koneiden etuja ovat nopeammat ja tarkemmat liikkeet, alempi melutaso ja pienempi energiankulutus. Heikkoja puolia ovat matalammat ruiskutusnopeudet ja keernatoimintojen hankalampi toteuttaminen. Täyssähköisten koneiden osuus kokonaiskannasta on edelleen hyvin pieni.

Hydraulisia koneita käytettäessä tarvitaan käyttöyksikkö, jonka tehtävänä on tuottaa tarvittava käyttövoima, eli hydraulipaine eri käyttölaitteille. Käyttöyksikkö koostuu öljypumpusta, paineakusta, säiliöstä, letkuista, venttiileistä jne. Hydrauliikan avulla on taloudellista suorittaa lineaariset liikkeet, kuten sulkukoneiston liikkeet ja itse ruiskutustahtuma. Hydrauliikalla voidaan helposti siirtää energiaa sinne, missä sitä tarvitaan. Sen etuja ovat myös korkea energiatiheys, hyvä toistotarkkuus ja turvallisuus ylikuormitustilanteissa. [1, s. 108.]

2.3.4 Ohjausyksikkö

Valutapahtumaa hallitaan ja valvotaan tietokoneistetulla ohjausyksiköllä. Ohjausyksikön voidaan muottikohtaisesti tallentaa ajoarvot ja parametrit. Ohjausyksiköllä voidaan ohjata, valvoa ja säätää esimerkiksi seuraavia:

- sylinterin, muovisulan, kuumakanavan ja muotin lämpötilat
- annoskoko
- jaksonaika
- kierukkaruuvien pyörimisnopeus
- ruiskutusnopeus
- jälkipaine
- pöydän liikkeet
- keernatoiminnot.

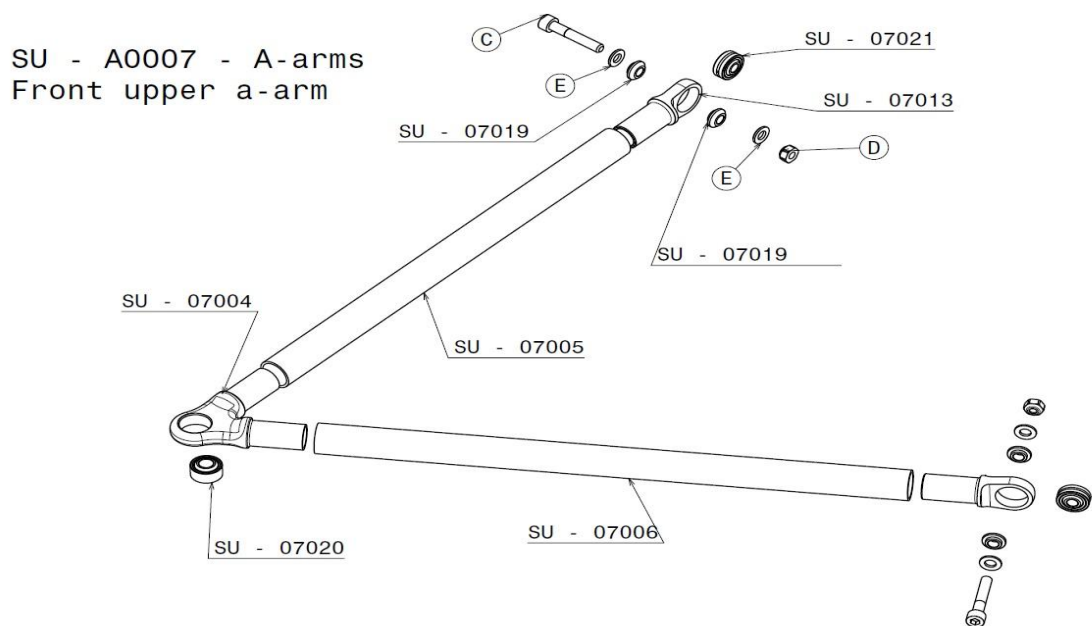
Ohjauksella voidaan mahdollisesti suorittaa myös ulkoisten oheislaitteiden ohjaus, viaretsintä, toleranssien ja muiden laadunvalvonnallisten arvojen valvonta. [1, s. 111.]

3 Tukivarsien suunnittelu

Tukivarret ovat pyöränripustuksen komponentteja, jotka yhdistävät olkavarret auton runkoon. Tukivarsien tulee mahdollistaa jousituksen ja ohjauksen liikkeitä, ja olla riittävästi tukevia, jotta välttyttäisiin liiallisilta pyöränkulmien muutoksilta eri ajoilanteissa. Tukivarsien joustolla voi olla merkittävä vaikutus auton ohjaustuntumaan ja suorituskykyyn. Normaalin kuormituksen lisäksi tukivarsien tulee kestää ajoittain tapahtuvaa ylikuormaa, joka voi olla seurausta esimerkiksi keilan yliajasta, joista Formula Student -radat yleensä muodostuvat.

3.1 Konsepti

Metropolia Motorsport on jo vuosia käyttänyt autoissaan tukivarsia, joiden peruskonsepti on hiilikuituputkiin liimatut metallipäädät kuulanivelillä (kuva 5). Alkuun käytettiin magnesiumvaluna valmistettuja ja viime vuosina alumiinista koneistettuja pätyjä. Molempien heikkoutena on työn suuri määrä. Korvaamalla tukivarsipäädät ruiskuvaletuilla muovisilla, voidaan helposti tuottaa suuriakin määriä tukivarsia. Ruiskuvalun heikkous on suuret muottikustannukset ja muutosten rajallisuus. Samoja päitä on kuitenkin mahdollista käyttää myös tulevissa autoissa, mikäli ne otetaan huomioon jo suunnittelun alkuvaiheessa, eikä niiden takia tarvitse tehdä tarpeettoman suuria kompromisseja.



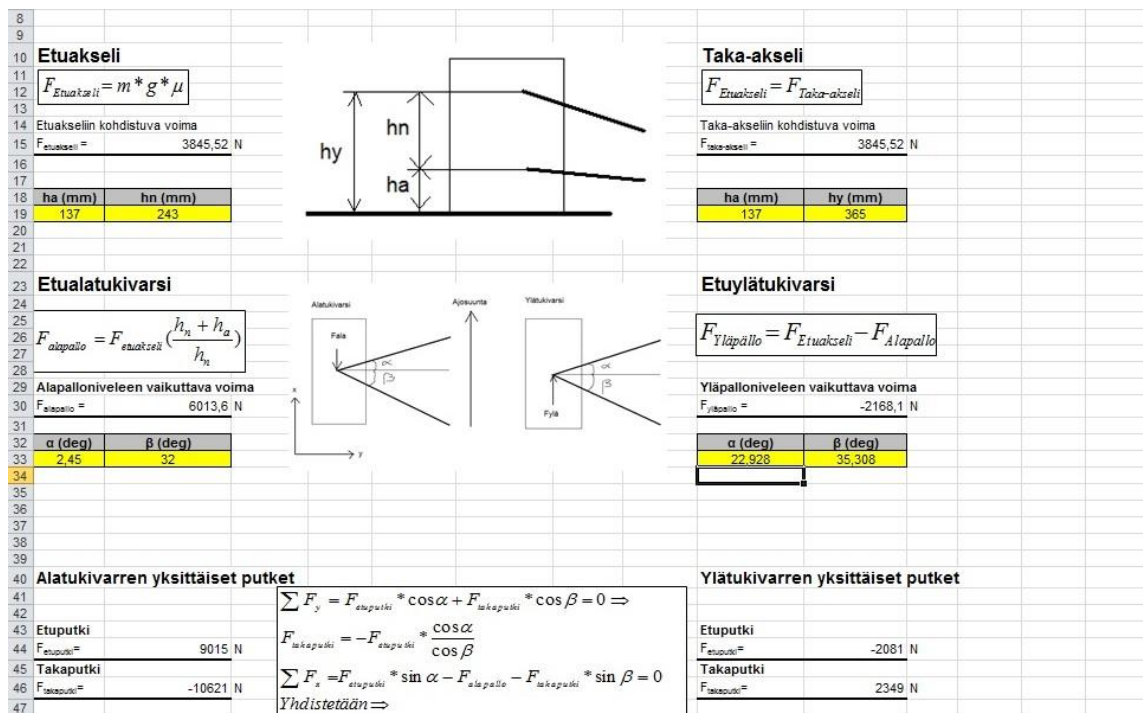
Kuva 5. HPF011/20-autossa käytetty tukivarsirakenne alumiinipäädillä

3.2 Suunnittelutyö

Muovipäätyisten tukivarsien suunnittelu lähtee liikkeelle samoista lähtökohdista, kuin metallipäätyistenkin. Ensiksi täytyy määritellä tukivarsiin kohdistuvat rasitukset, jonka jälkeen voidaan tehdä materiaalivalinnat ja suorittaa lujuuslaskelmat eri komponenteille. Tässä tapauksessa voitiin hyödyntää HPF011/20-autosta saatuja kokemuksia teräs- ja hiilikuitu-alumiinitukivarsista. Muovipäätyisissä tukivarsissa päädyttiin käyttämään samoja Exel Oyj:n valmistamia hiilikuituputkia, kuin aiemmissa tukivarsissa, joten tässä työssä keskityttiin ainoastaan metallipäätyjen korvaamiseen muovisilla.

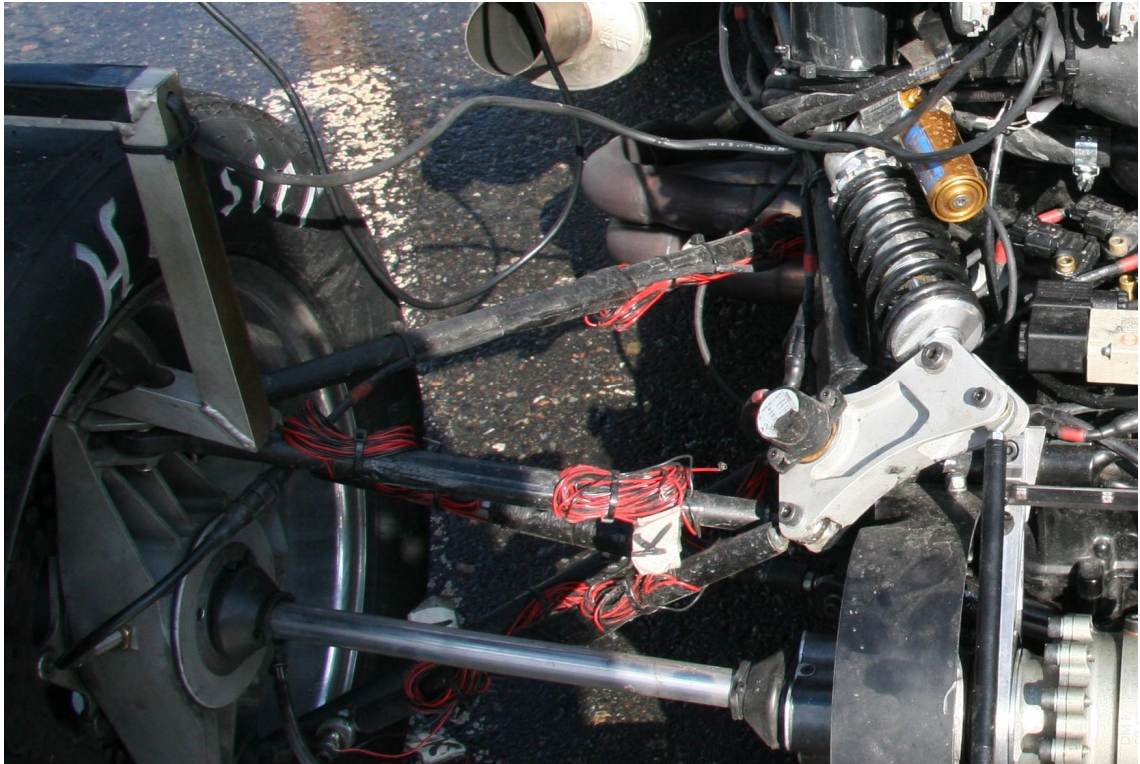
3.3 Tukivarsivoimat

Tukivarsissa vaikuttavat voimat ovat laskettu yksinkertaisella Excel-taulukolla (kuva 6), kuvitteellisessa ajotilanteessa, jossa koko auton massa on yhden pyörän varassa maksimi sivuttais- ja pitkittäiskiihtyvyydellä. Kyseisellä laskentatavalla saatu kuormitus on suurempi kuin mitä normaaliajolla voidaan saavuttaa, mutta sillä saadaan varmuutta ylikuormitustilanteisiin.



Kuva 6. Tukivarsivoimien laskennassa käytetty Excel-taulukko

HPF011-autoon tehtiin terästukivarsilla venymäliuskamittauksia (kuva 7), joilla oli tarkoitus mitata todellisia voimia tukivarsissa eri ajotilanteissa. Mittauksissa tapahtuneen tiedonkeruuongelman takia saatua dataa ei voitu pitää luotettavana, eikä mittauksia tämän insinööriyön puitteissa ollut mahdollista toteuttaa uudelleen. Tukivarsipäädyt päätettiin suunnitella niin lujiksi kuin vain mahdollista. Päiden mittoja rajoittaa auton rungon puoleiset kiinnikkeet, joiden sisään niiden pitää mahtua.



Kuva 7. Venymäliuskoja HPF011-auton takatukivarsissa

3.4 Materiaalivalinnat

Kilpa-autoissa materiaalit joutuvat kestäämään hyvin vaihtelevia olosuhteita. Materiaalivalinnoissa keskeisintä on että valittu materiaali kestää siihen kohdistuvat rasitukset, mutta lisäksi materiaalin tulee kestää lämpöä, vaihtelevaa säätä, auringon UV-säteilyä ja kemikaaleja. Tärkeää on myös selvittää materiaalien saatavuus ja hinta. Materiaalien toimitusajat voivat olla pitkiä tai niitä myydään vain suurissa erissä.

3.4.1 Tukivarsipäädyt

Tukivarsipäädyjen materiaaliksi päädyttiin valitsemaan RTP Companyn valmistama RTP 289 (liite 1), jonka tähän insinööriyöhön käytettäväksi tarjosi Polymerik Oy. Kyseinen raaka-aine on PA eli polyamidi-pohjainen muovi, jossa on lujitteena 50 % hiilikuitua. Sen lujuus, jäykkyys ja iskusitkeys ovat muovien kärkipäässä. Lämmön, sään ja kemikaalien kesto on myös hyvä. Polyamidit ovat käytetyin tekninen muovi. Niitä käytetään myös autoteollisuudessa erittäin paljon. Polyamidit absorboivat kosteutta, joka heikentää murtolujuutta ja mittatarkkuutta, mutta toisaalta parantaa iskusitkeyttä.

Saatavilla on myös PPA eli polyftaaliamideja, joiden mekaaniset ominaisuudet ovat vielä paremmat ja kosteuden absorbointi pienempää. Heikkoutena on huonompi saataavuus ja hieman korkeampi hinta.

Yhtenä materiaalivaihtoehtona pohdittiin hiilikuitulujitettua PEEKiä eli polyeetterieetteri-ke-tonia. Se on lähes kaikilta ominaisuuksiltaan muovien parhaimmista. Sen lujuus ja jäykkyys ovat erittäin korkeita. PEEK on kuitenkin kallista, eikä sitä myöskään tähän työhön ollut saatavilla. Lisäksi PEEK vaatii korkean muottilämpötilan, minkä vuoksi olisi pitänyt hankkia öljytemperointilaitteisto. Edelleen sen liimattavuus on huonompi kuin polyamideilla, mikä olisi voinut aiheuttaa ongelmia.

Vertailun vuoksi kappaleita valettiin myös lujittamattomasta polyamidista ja lujitetusta polyamidista, jossa on 50 % lasikuitua. Lasikuitulujitettu polyamidi on lujuudeltaan hiilikuitulujitetun kanssa samaa luokkaa, mutta jäykkyys on huomattavasti huonompi.

3.4.2 Putket

Hiilikuituputkina käytettiin samaa putkea kuin alumiinipäätyisissäkin tukivarsissa. Se on Exel Oyj:n pullwinding-menetelmällä valmistamaa putkea, jossa matriisiaineena käytetään vinyyliesteriä (liite 2). Putkien varmuus nurjahtamiseen on laskettu samalla Excel-taulukolla, kuin tukivarsivoimat. Putket ovat tässä kyseisessä rakenteessa jopa hieman ylimitoitettuja, mutta niitä on käytetty niiden hyvän saatavuuden ja suhteessa hyvin pienen painolisän takia. Vinyyliesterin huonon säänkestävyyden, kuluttavien olosuhteiden ja viimeistellyn lopputuloksen takia putket on suojattu mustalla suojakalvolla.

3.4.3 Liima

Metallipäätyjen liimaamiseen on käytetty Loctiten Hysol 9466 -liimaa (liite 3). Se on kaksikomponenttinen erittäin luja epoksiliima. Sen tarttuvuus hiilikuituun on hyvä, mutta vinyyliesteriin kohtalainen ja polyamidiin huono. Liimaa päätettiin kuitenkin kokeilla myös muovipäädyillä, sillä suuren kuitupitoisuuden ja pinnankarhennuksen ansiosta tarttuvuuden arvioitiin olevan riittävän hyvä. Epoksiliimat kestävät hyvin eri olosuhteissa, niiden ominaisuudet pysyvät hyvinä pitkällä aikavälillä ja ne ovat melko sitkeitä. Kyseisen liiman suuri viskositeetti aiheutti kuitenkin ongelmia, koska tasaisen liimakerroksen saaminen liimattavien pintojen välille oli hankalaa, eikä sitä voinut todentaa rikkomatta kappaleita. Tämän vuoksi päädyttiin kokeilemaan vaihtoehtoisena ratkaisuna Loctiten 480 syanoakrylaattiliimaa (liite 4). Se on sitkostettu kumilla, syanoakrylaattiliimojen muutoin huonon iskutheyden parantamiseksi. Sen tarttuvuus polyamidiin ja vinyyliesteriin on kohtalaisen hyvä. Kyseisen liiman matala viskositeetti mahdollisti sen injektoimisen liimapinnoille tukivarren ollessa kasattuna. Näin saatiin varmistettua liiman leviäminen koko liimapinnalle ja prosessista saatiin varmuudella toistettava. Syanoakrylaatit ovat hauraampia kuin epoksit, eikä niiden käytöstä ollut aiempaa kokemusta dynaamisesti kuormitetuissa alustan osissa, joten vain ratatestaamisella voidaan varmistaa liimauksen riittävä kesto kilpailukäytössä pitkällä aikavälillä. Liimapinnat mitoitettiin siten, että itse päädyn tulisi pettää ennen liimausta. Näin varmistettiin riittävä varmuuskerroin liimaukselle, jossa saattaa tulla melko suuriakin lujuusvaihteluita kappaleiden välillä.

3.5 Kuulanivelet

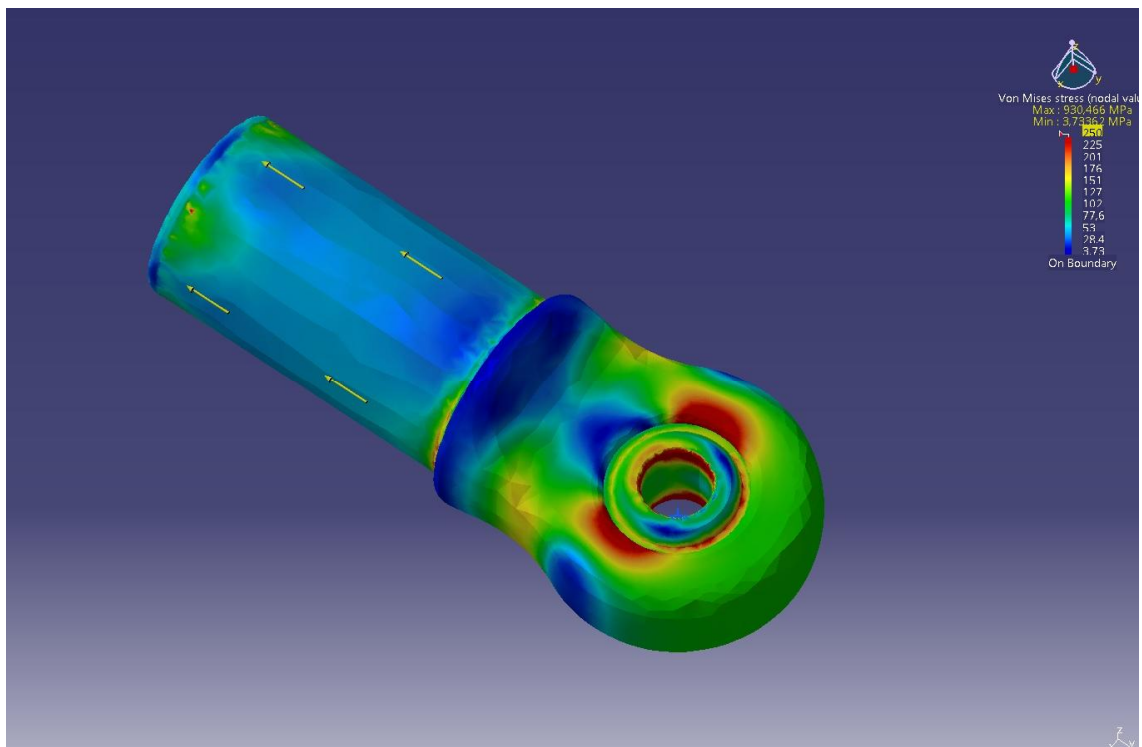
Pääty suunniteltiin valettavaksi kuulanivelen ympärille, siten että nivel asetetaan muotipesään ennen muotin sulkemista (kuva 13, s.19). Näin saatiin maksimoitua materiaa-
limäärä nivelpesän ympärillä, joka on rakenteen heikoin kohta. Myös aikaa vievä nivelpesän koneistus ja nivelen asennus jäisi pois. Heikkoutena voidaan pitää nivelen vaihdon mahdottomuutta. Päätyihin valittiin Elgesin valikoimasta kuulanivelet. Valinta tehtiin pääasiassa ulkomittojen ja saatavuuden perusteella, sillä kaikki valikoiman nivelet kestävät tukivarsissa vaikuttavat rasitukset. Nivelet työhön toimitti Metropolia Motorsportin pitkäaikainen yhteistyökumppani Schaeffler Group.

Vaihtoehtoisena rakenteena pohdittiin muovipäätyä, joka on valettu suoraan nivelkuulan ympärille. Siten että normaalisti nivelkuulan ympärillä oleva ulkokehä jäisi pois ja

sen korvaisi itse muovipääty. Tällaisella rakenteella saataisiin lisättyä materiaalia nivelen ympärille, mutta muovisen nivelpesän kuluminen kuulan ympärillä saattaisi aiheuttaa nopeasti välyksiä.

3.6 Lujuuslaskenta

Päätyjen lujuuslaskenta suoritettiin Catian FEM-moduulilla (kuva 8). Työn yksinkertaistamiseksi materiaali ajateltiin isotrooppiseksi eli ominaisuuksiltaan samanlaiseksi joka suunnassa. Tämähän ei yleensä muoveilla, eikä varsinkaan kuitulujitteisten muovien kohdalla, pidä paikkaansa. Kuidut asettuvat muottipesässä yleensä muovimassan virtauksen suuntaisesti, mutta joskus hyvinkin ennalta arvaamattomasti. Materiaalin lujuusominaisuudet siten vaihtelevat merkittävästi riippuen kuitujen suuntautumisesta. Kuitujen orientoitumista muottipesässä voidaan simuloida sitä varten tehdyillä ohjelmistoilla. Sitä ei tässä työssä kuitenkaan nähty tarpeelliseksi eikä siihen olisi ollut ohjelmistoja käytettävissä. Koska tukivarsien käyttöikä on vain joitain kymmeniä tunteja, ei muoveille tyypillisen virumisen uskottu aiheuttavan ongelmia.



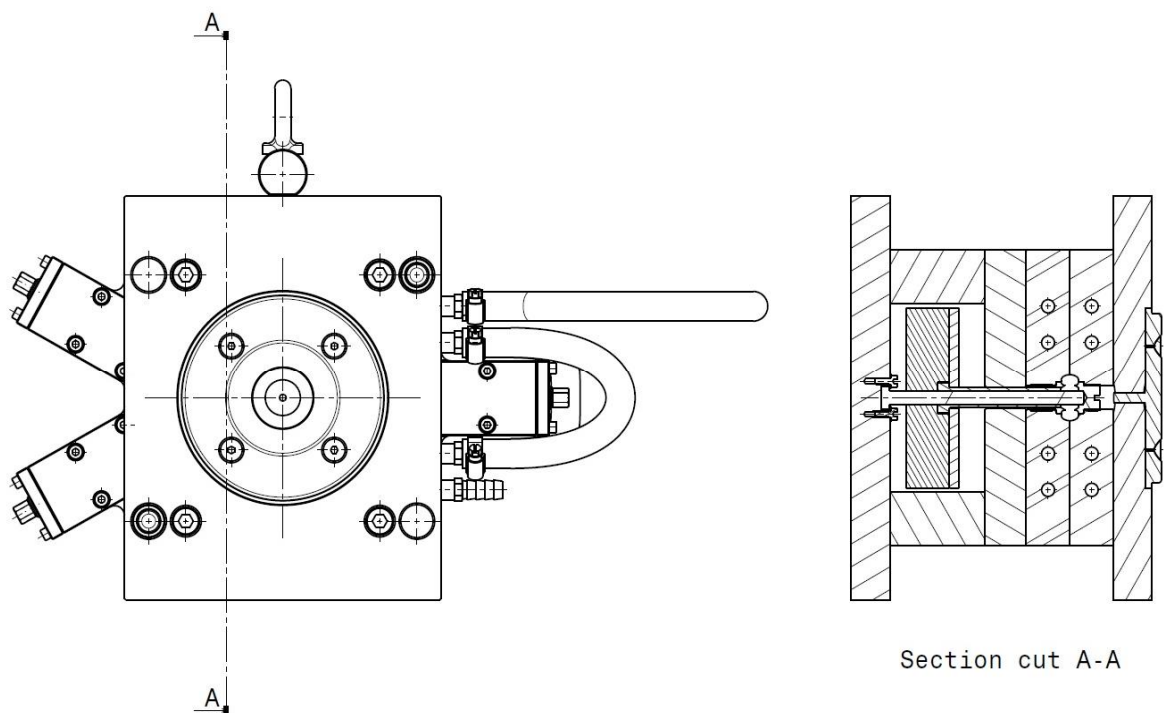
Kuva 8. Jännitysten laskentaa Catian FEM-moduulissa

4 Muotti

Yksinkertaisimmillaan muotti koostuu kahdesta puolikkaasta, jotka jakautuvat jakotasosta kiinteään ja liikkuvaan puoliskoon. Muotin perustehtäviin kuuluu halutun kappaleen muodon toteuttamisen lisäksi kappaleen jäähtytys ja ulostyöntö.

Tässä työssä päätettiin keskittyä vain HPF011/20-auton etuylätukivarren valmistukseen. Muotti valmistettiin yhdelle ulko- ja sisäpäälle. Sisäpäättä tarvitaan kaksi tukivartta kohden, jonka vuoksi muottiin valmistettiin käännettävä kanava, jolla voidaan valita kulloinkin käytössä oleva muottipesä.

Kuvasta 9 käy ilmi työssä käytetyn muotin konstruktio. Kuvasta voidaan erottaa kiinnityslevyt, muottilevyt, ulostyöntömekanismi, jäähtytys-/temperointikanavat, keernavedot ja ohjausrenkas, joka keskittää muotin ruiskutuskanavan ruiskuvalukoneen ruiskutusyksikköön.

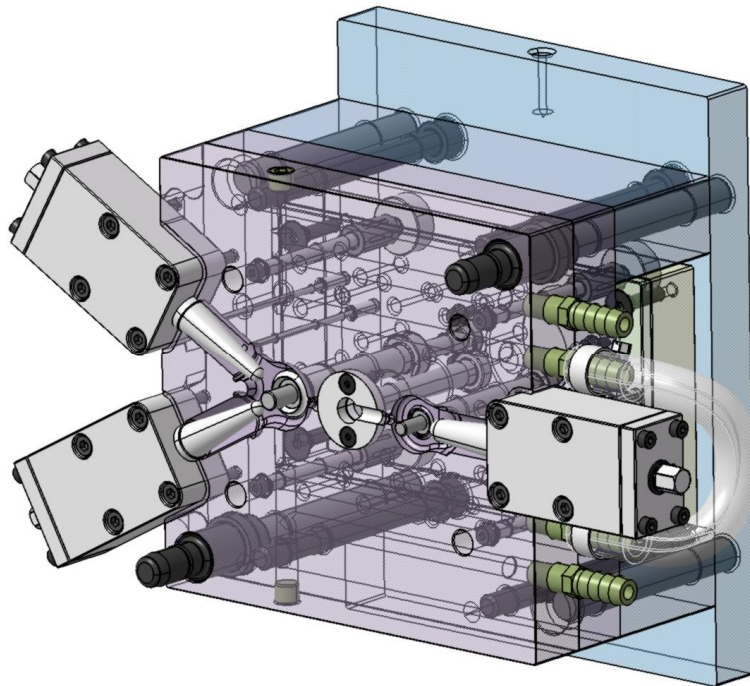


Kuva 9. Tukivarsipäätyjen ruiskuvalumuotti

4.1 Suunnittelu

Monesti muotin suunnittelu kulkee varsinaisen valukappaleen suunnittelun rinnalla, koska muotin suunnittelua voidaan helpottaa, kun se otetaan huomioon jo kappaletta suunniteltaessa. Kappaleeseen voidaan tehdä valua helpottavia muotoja ja muutoksia, jotka eivät vaikuta sen lopulliseen toimintaan, mutta voivat merkittävästi helpottaa ruiskuvaluprosessia ja erityisesti muotin valmistusta.

Tässä työssä käytetty muotti suunniteltiin Catian Mold Design -moduulilla (kuva 10). Tästä oli erityisesti hyötyä juuri rinnakkain suunnittelussa, koska valukappaleisiin tehdyt muutokset pystyttiin siirtämään suoraan muottimalliin.



Kuva 10. Muotin CAD-malli

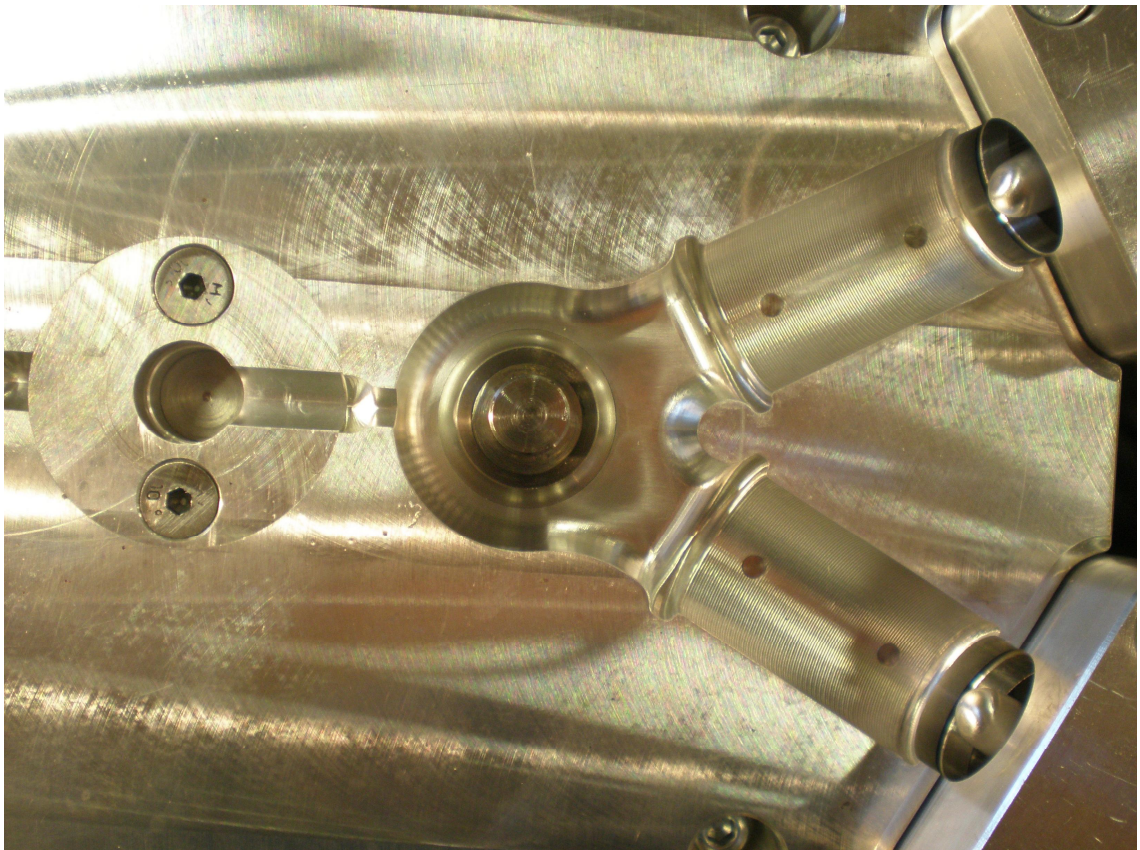
4.1.1 Muottimateriaalit

Ruiskuvalumuotteihin on kehitetty lukuisia eri teräksiä, joiden valintaan vaikuttavat muun muassa sarjakoko, valettava materiaali ja haluttu pinnanlaatu. Erityisesti piensarja- ja protomuotteihin on kehitetty myös alumiiniseoksia. Näiden etuna on merkittävästi helpompi ja nopeampi työstettävyys, keveys ja lämmönjohtavuus, mutta esimerkiksi

kuitulujitetuilla muoveilla voi esiintyä merkittävää kulumaa jo melko pienissä sarjoissa. Työssä käytettyyn muottiin valittiin muottilevyihin Uddeholmin Alumecc 89 -alumiiniseos (liite 5), joka soveltuu erinomaisesti kyseiseen käyttöön. Muussa muotissa hyödynnettiin erään vanhan ruiskuvalumuotin teräksistä standardirunkoa. Muoteissa onkin tavallista käyttää lukuisilta valmistajilta saatavia standardikomponentteja, joita on mahdollista hyödyntää tarpeettomiksi jääneistä muoteista.

4.1.2 Muottipesät

Muotin sisään jäävää onkaloa, johon muovi ruiskutetaan, kutsutaan muottipesäksi. Muotissa voi olla yksi tai useampia muottipesiä. Tässä työssä päätettiin käyttää käännettävää kanavaa (kuva 11), jolla voitiin valita käytössä oleva muottipesä. Näin ei tarvinnut tehdä useampaa muottia, mutta samassa muotissa olevia muottipesiä voitiin ajaa erikseen. Tällöin kutakin kappaletta voitiin valmistaa haluttu määrä. Lisäksi erilaisten muottipesien yhtäaikainen täytös olisi saattanut aiheuttaa laatu- ja mittatarkkuusongelmia.



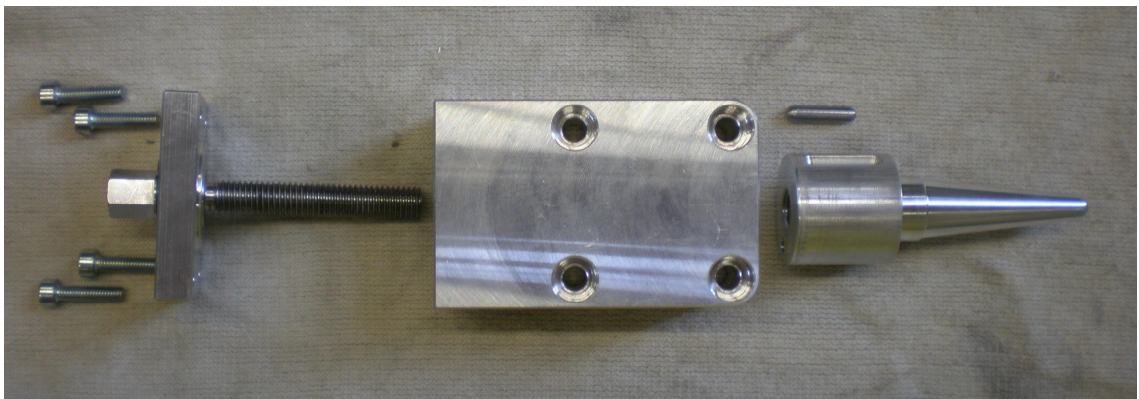
Kuva 11. Kuva muottipesistä ja käännettävästä kanavasta

Muottipesät tulee suunnitella aina siinä valettavalle raaka-aineelle. Muottipesien koko skaalataan raaka-aineelle tyypillisen muottikutistuman mukaisesti. Tässä työssä käytetyn RTP 289 -raaka-aineen (liite 1) kutistuma on erittäin pieni, vain 0,05–0,20 %, joten skaalaukselle ei ollut tarvetta, koska oli parempi että kappale on hieman liian pieni kuin suuri. Muutenkin muottipesät kannattaa ennemmin jättää pieniksi, mikäli epävarmuutta ilmenee, koska materiaalia on huomattavasti helpompi poistaa kuin lisätä jälkeempään.

Muotin puoliskojen tulee kohdistua tarkasti suljettaessa, joka yleensä hoidetaan tappi-holkki ohjauselementeillä, mutta erityisesti isommissa muoteissa käytetään vielä lisäksi erityisiä ohjaukskartioita.

4.1.3 Jakotaso, päästö ja keernat

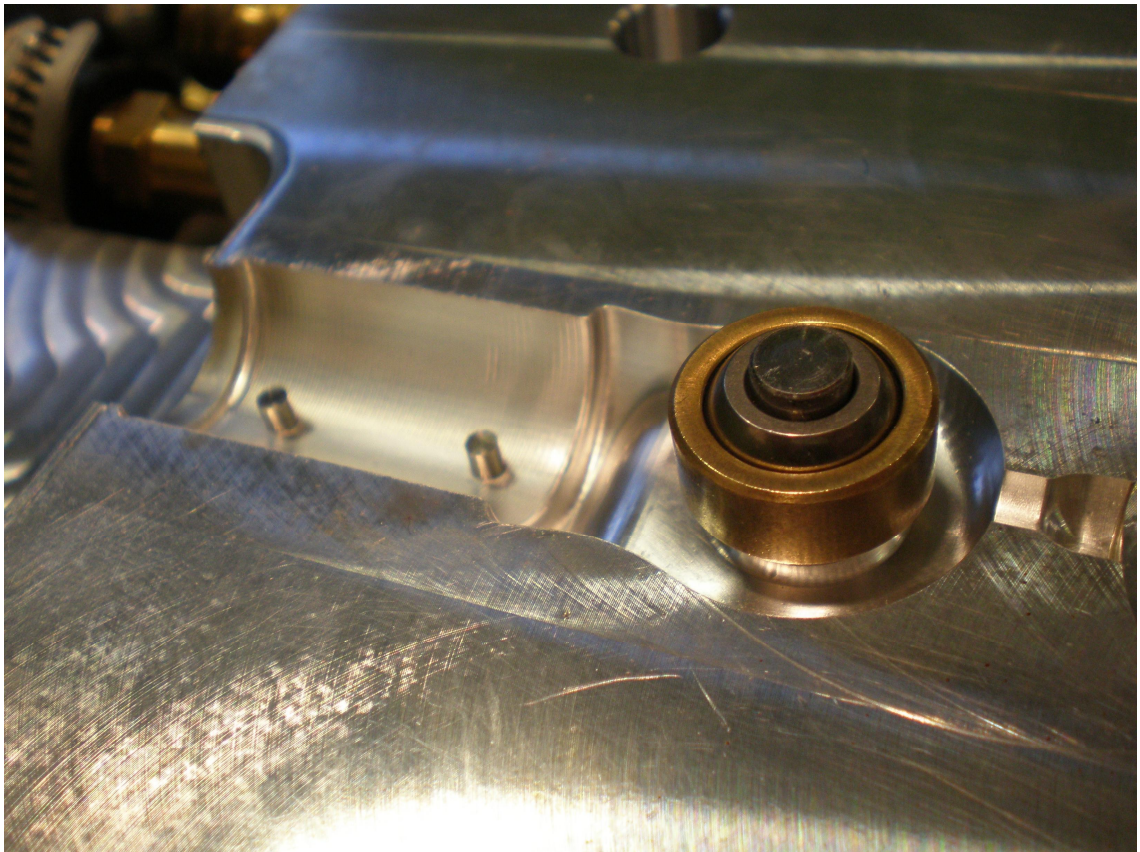
Muottipuoliskot aukeavat jakotasosta, joka on yksinkertaisimmillaan suora taso. Sulkuvoima tiivistää muotinpuoliskot jakotasosta. Mikäli sulkuvoima ei aivan riitä tai muotti on huonosti työstetty, esiintyy jakotasolla helposti pursetta. Jakotasoon nähden muottipesän muotojen tulisi olla päästäviä eli suuremmissa kuin 90 asteen kulmassa. Mikäli muottipesässä on vastapäätöllisiä muotoja tai muotin aukeamissuuntaan nähden poikkittaisia reikiä, tarvitaan erityisiä muottirakenteita, joita yleisesti kutsutaan liikkuviksi keernoiksi. Keernat ovat yleisimmin vinotappiluisti- tai hydraulikäyttöisiä. Protomuoteissa ne ovat kuitenkin hyvin usein manuaalisia, kuten tässäkin työssä. Kuvasta 12 ilmenee työssä käytetyn keernavedon rakenne. Ruuvia pyörittämällä keerna voidaan vetää sivuun, jotta kappaleen ulostyöntäminen on mahdollista. Keerna helpottaa tässä tapauksessa myös kappaleen ulostyöntöä, sillä se saadaan jäämään muotin ulostyöntävälle puolelle, joka symmetrisessä muotissa saattaisi muutoin olla hankalaa.



Kuva 12. Keernavedon rakenne

4.1.4 Ulostyöntö

Ulostyöntömekanismi työntää tappien, holkkien tai renkaiden välityksellä kappaleen ulos muottipesästä. Kappaleen tulee irrota muottipesästä riittävän helposti, jotta se ei vaurioidu ulostyönnössä. Tukivarsipäätyjen muotissa pystyttiin erinomaisesti hyödyntämään holkkimaisia ulostyöntimiä. Muottipesään ennen muotin sulkemista asetettava nivel, jonka ympärille muovi valetaan, oli helppoa asettaa kiinteään ohjaustappiin ja ulostyönnössä tapin ympärillä olevasta holkista, voitiin kappale työntää ulos. Menetelmä toimi erinomaisesti, eikä kappaleiden ulostyönnössä esiintynyt ongelmia. Kuvassa 13 näkyy nivel asetettuna muottipesään. Lisäksi liimapintoihin laitettiin kaksi ulostyöntötappia. Näin saatiin päädyt, joissa ei tukivarsien kokoonpanon jälkeen ole ollenkaan näkyvissä ulostyöntötappien jälkiä.



Kuva 13. Nivel muottipesässä ja ulostyöntötappit

4.1.5 Valukanavat ja kaasunpoisto

Valukanavien tarkoitus on ohjata raaka-aine muottipesiin sopivalla nopeudella. Niiden tyyppi ja koko vaihtelee huomattavasti riippuen valettavasta materiaalista, sarjakoosta ja valettavan kappaleen koosta. Syöttöportti on osa valukanavistoa, josta materiaali syötetään muottipesään. Sen sijoituksella muottipesään voi olla suurikin vaikutus lopullisen tuotteen ominaisuuksiin. Syöttöportista raaka-aine etenee vapaasti muottipesään. Sularintamien kohtaamiskohtiin syntyy yhtymäsaumoja, joiden lujuus on heikompi kuin muun materiaalin. Muovien orientoitumisella virtauksen suuntaisesti, erityisesti kuituluji-tetuilla muoveilla, on myös suuri vaikutus kappaleen lujuusominaisuuksiin. Valukanaviston tulee olla viimeisin osa kappaletta joka jäähmetty, jotta jälkipaineella voidaan kompensoida jäähtymisen aiheuttamaa kutistumaa.

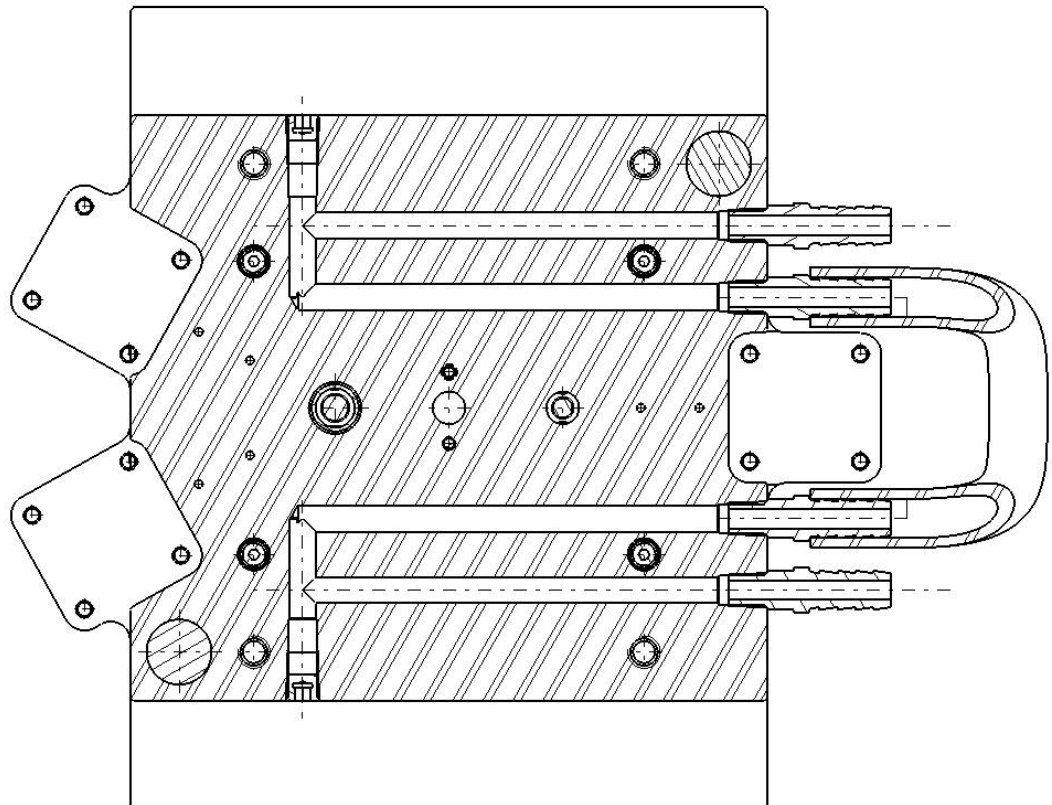
Edellisistä syistä johtuen työssä päädyttiin varmuuden vuoksi käyttämään isoa syöttöporttia, joka sijoitettiin kappaleen pätyyn. Näin saatiin symmetrinen virtaus muottipesään ja kuitujen orientaatio jännitysten suuntaisesti nivelen ympärillä, jossa esiintyy suurimmat jännitykset. Myös kaasunpoisto muottipesästä tapahtuu luonnollisesti keernojen ja ulostyöntötappien rakojen kautta. Keernojen ja muottilevyjen väliset raot ovat kauimpana syöttöportista katsottuna ja täyttyvät lähtökohtaisesti viimeisenä. Sularintama työntää muottipesään jäänyttä kaasua edellään raoista ulos. Muottiin jäänyt kaasu aiheuttaa kokoonpuristuessaan kappaleeseen palamisjälkiä ja muotovirheitä. Muottipesän täytöstä ja yhtymäsaumojen muodostumista havainnollistaa kuva 14, jossa nähdään muottipesään valettuja vajaita täyttöjä. Huono puoli isossa syöttöportissa on sen kappaleeseen jättämä jälki, koska se joudutaan jälkityöstöllä poistamaan. Erityisesti suursarjoissa muoteissa käytetään kuumakanavia, jolloin ei hukkamateriaalia valukanavan muodossa synny.



Kuva 14. Vajailta täytöksillä voidaan tarkastella muottipesän täyttymistä

4.1.6 Jäähdytys- eli temperointikanavat

Muotteihin tehdään lähes poikkeuksetta lämmönsäätö- eli temperointikanavisto. Kanavistoja kutsutaan usein jäähdytyskanavistoiksi, mutta se ei ole aivan oikea termi, sillä muotin lämmönsäätö on usein myös lämmittämistä. RTP 289 -raaka-aineen suositeltu muottilämpötila on 66–107 °C (liite 1). Kanavistojen pääasiallinen tavoite on pitää muottilämpötila tasaisena koko muotin alueella. Piensarja- ja protomuoteissa, joissa ruiskuvalujakson kesto ei ole määräävä tekijä, on tyypillistä käyttää hyvinkin yksinkertaisia kanavistoja. Yksinkertaisilla kanavilla jäähdytysjakso pidentyy, koska lämpötilojen tasaantuminen vaatii aikaa. Kuvasta 15 selviää työssä käytetyn muotin temperointikanavistojen rakenne muottilevyissä. U-malliset kanavat ovat toteutettu porauksilla, tulpilla ja ulkoisilla letkukierroilla. Temperointijärjestelmät ovat pääasiassa vesikäyttöisiä, mutta korkeissa lämpötiloissa käytetään myös öljykiertoa. Muotin ja koneen rungon välissä käytetään usein eristelevyjä, joilla vältetään turha lämmön johtuminen koneen runkoon.



Kuva 15. Temperointikanavat muottilevyssä

4.1.7 Valmiskomponentit

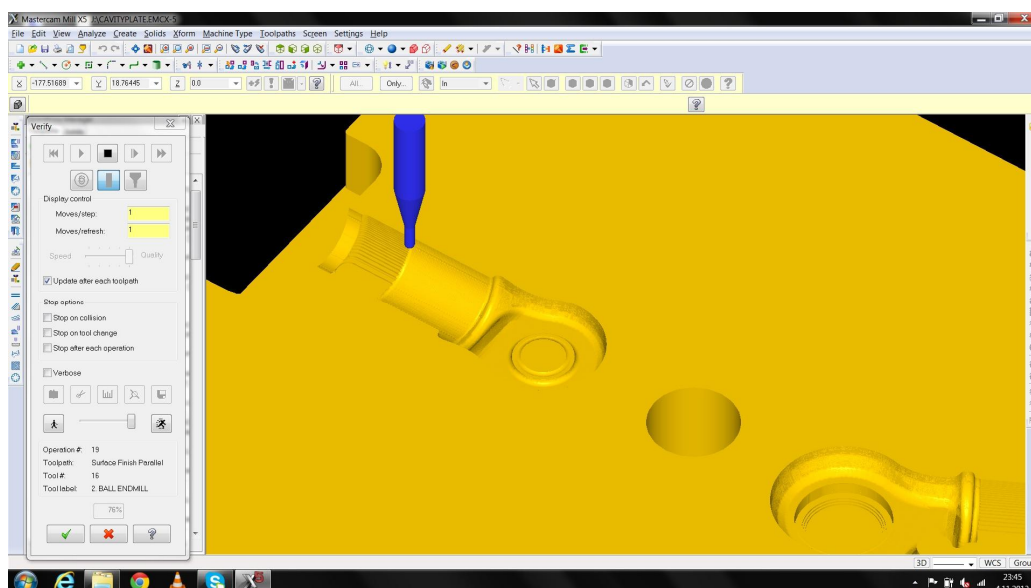
Monelta valmistajalta on saatavilla lukuisia erilaisia valmis- eli standardikomponentteja, joita muottisuunnittelijoiden on helppo hyödyntää. CAD-mallit komponenteista ovat laadattavissa valmistajien sivuilta ja esimerkiksi Catian Mold Design -moduuliin on suoraan integroitu kirjastotiedostoja, joista löytyy useiden valmistajien yleisimmät standardikomponentit. Muottien perustana käytetään yleisesti esityöstettyjä standardirunkoja, joihin muottivalmistaja työstää vain tarvittavat muottipesät ja mekanismit.

4.2 Valmistus

Kaikki muotin osat ja muutokset vanhaan muottirunkoon tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun konetekniikanlaboratoriossa. Työstöä varten täytyi 3d-mallien lisäksi tehdä työpiirustukset, joista kävi ilmi vaaditut pinnanlaadut ja toleranssit.

4.2.1 Koneistus

Jyrsinnät suoritettiin konelaboratorion Quaser MV154PL -työstökeskuksella, johon työstöradat tehtiin Mastercam-ohjelmalla (kuva 16) suoraan 3d-malleista. Sorvattavat osat valmistettiin Mazak Super Quick Turn 10M -koneella, johon työstöradat syötettiin työpiirustusten mittojen perusteella.

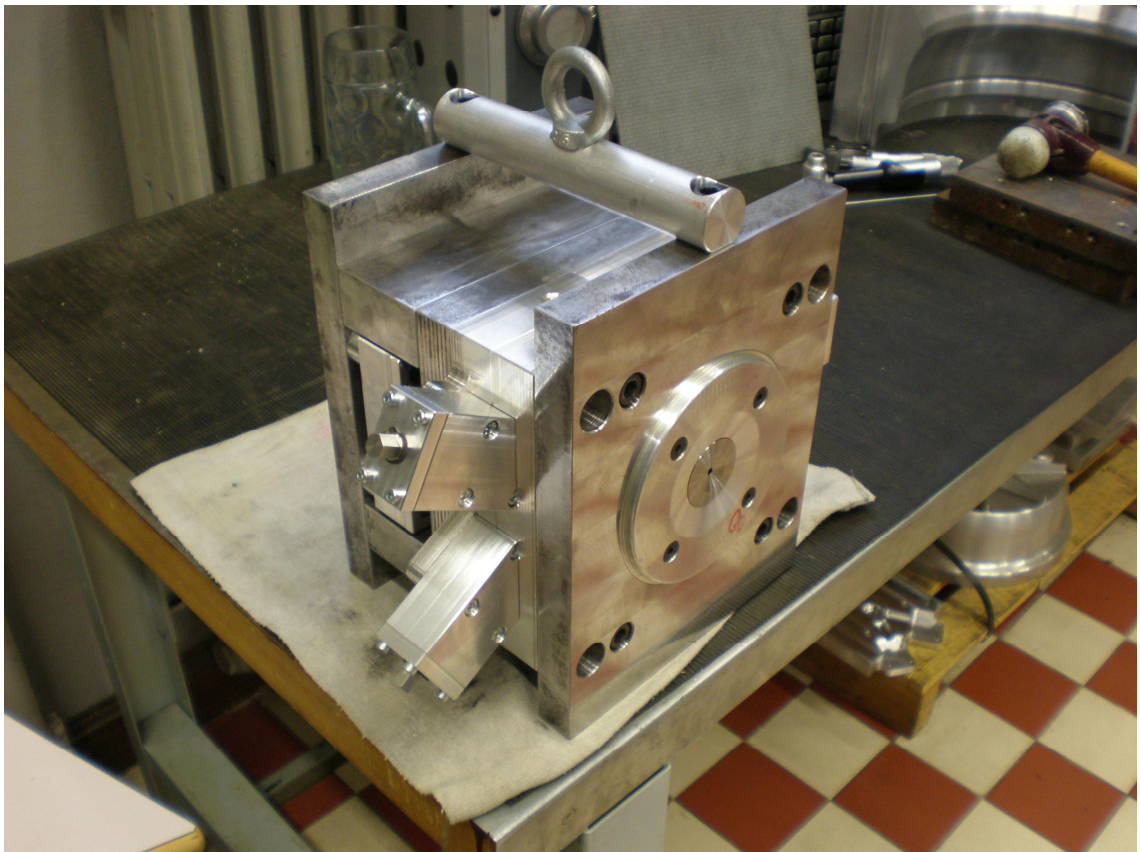


Kuva 16. Työstöratujen simulointia Mastercam-ohjelmalla

4.2.2 Pinnanlaatu ja viimeistely

Valettavat muovit toistavat hyvin tarkasti muotin pinnanmuodot, joten muotin pinnanviimeistelyllä on merkittävä vaikutus lopputuotteen ulkonäköön. Suuren kuitupitoisuuden omaavat muovit antavat kuitenkin jonkin verran pintavirheitä anteeksi, eikä tukivarvipäätyihin lähdetty hakemaan mitään erityistä pinnanviimeistelyä. Tämän vuoksi muotitipintoihin ei tehty koneistuksen jälkeen minkäänlaista viimeistelyä. Monesti sarjatuotantomuotit viimeistellään kipinätyöstämällä, jolloin kappaleeseen saadaan hyvän näköinen ja tuntuinen pinta. Vastaavanlaista pintaa voidaan protomuoteissa yrittää jäljitellä erilaisilla raepuhalluksilla.

Osien sovituksen ja kokoonpanon jälkeen muotti oli valmis ruiskuvalukoneeseen asennettavaksi (kuva 17).



Kuva 17. Valmis muotti

5 Valmistus

Tukivarsipäiden valaminen suoritettiin Ruiskuvalu Elonen Oy:ssä Raaseporin Fiskarsissa. Ruiskuvalu Elonen Oy on pieni alihankintaruiskuvaluun erikoistunut yritys.

5.1 Ruiskuvalu

Valutyössä käytettiin itävaltalaisvalmisteista Battenfeld BA 500 CD -ruiskuvalukonetta. Se on verrattain pieni, johteellinen suorasulkukone, jonka suurin sulkuvoima on 500kN.

Valuprosessi jatkui, muotin koneeseen asennuksen ja vesikierron letkujen kytkennän jälkeen, parametrien asetuksella. Näihin kuului muun muassa muotin korkeus, avausmatka, sulkuvoima, ruiskutuspaino, annoskoko ja muotinsuojapaine. Kun kaikki tarvittavat parametrit saatiin säädettyä, voitiin varsinainen valuprosessi aloittaa.

Raaka-ainetta kuivattiin 4 tuntia 80 °C:n lämpötilassa, jonka jälkeen se oli valmista kaadettavaksi suoraan ruiskutusyksikön syöttösuppilon. Heti kun raaka-aine saadaan plastisoitua ja ulos ruiskutusyksikön suuttimesta, se on valmista valettavaksi. Ensimmäinen valu onnistui hyvin, mutta jostain syystä keernamekanismin ruuvi jumittui ja katkesi keernan sisään, kun sitä yritettiin avata. Ruuvin jumiutumisen syy jäi epäselväksi, mutta se saattoi olla seurausta heikosta voitelusta keernan ja ruuvien välillä. Keernamekanismin vaihdon jälkeen valuja voitiin jatkaa, eikä jatkossa enää ilmennyt mitään ongelmia. Kappaleet (kuva 18) olivat pinnanlaadultaan ja mittatarkkuudeltaan toivotunlaisia. Materiaalivertailun vuoksi päätyjä valettiin myös muista raaka-aineista.



Kuva 18. Valmiita sisäpäitä eri materiaaleista valettuna

5.2 Kokoonpano

Tukivarsien kokoonpano suoritetaan sitä varten tehdyssä jigissä, jotta nivelien etäisyydet suhteessa toisiinsa saadaan varmasti oikeaan mittaan. Tukivarret kasattiin valmiiksi jigiiin ja liima injektointiin liimapinnoille. Liiman kovetuttua tukivarsi on valmis.

5.2.1 Valmistelu

Tukivarsipäädyistä täytyy poistaa ruiskutuskanava ja valmistella kaikki liimapinnat ennen liimausta. Pinnat karhennettiin alumiinioksidiraepuhalluksella liiman tarttuvuuden parantamiseksi. Puhalluksella saadaan lisäksi hiilikuidun säikeitä esiin, mikä edelleen parantaa liiman tarttuvuutta. Pinnat puhdistettiin huolellisesti ennen osien yhdistämistä. Pinnoille jäävä rasva ja epäpuhtaudet heikentäisivät liiman tarttuvuutta merkittävästi.

5.2.2 Liimaus

Liimaus päätettiin suorittaa injektioimalla (kuva 19), jotta varmistutaan että liima täyttää liimavälin kokonaisuudessaan. Injektointia varten päihin porattiin pieni reikä, jonka kautta liima voitiin injektoida liimaväliin. Menetelmä toimi hyvin, eikä vetokokeiden perusteella ollut epäonnistuneita liimauksia. Perinteisesti tukivarret on liimattu siten, että liima on levitetty pinnoille ennen osien yhdistämistä. Siinä kuitenkin ongelmaksi muodostuu liiman kaapiutuminen liimapinnoilta osia yhdistettäessä.



Kuva 19. Vetokoesauvan liiman injektointia

6 Testaus

6.1 Vetokokeet

Aluksi vetokokeita suoritettiin pelkästään tukivarsipäädyillä, joita varten valmistettiin erityinen kiinnitystyökalu (kuva 20), jolla päädyt oli mahdollista kiinnittää vetokoneeseen. Vetokokeilla haluttiin varmistaa itse päädyjen riittävä kestävyys ja lujuuden vaihtelu kappaleiden välillä. Vertailun vuoksi myös muista materiaaleista tehtyjä päitä vedettiin rikki. Vetokokeita jatkettiin koesauvoilla, joissa hiilikuituputken pätkään liimattiin tukivarsipäädyt. Koesauvojen vetokokeilla varmistettiin liimauksen kestävyys. Kaikilla vedetyillä sauvoilla päädyt hajosivat ennen liimausta, niin kuin oli suunniteltukin. Vetokokeiden tulosten (liite 6) perusteella muovipäätyjen tulisi kestää niihin kohdistuvat rasitukset. Väsyttävässä kuormituksessa muovien kesto voi kuitenkin olla vain murto-osa staattisilla vetokokeilla saaduista arvoista.



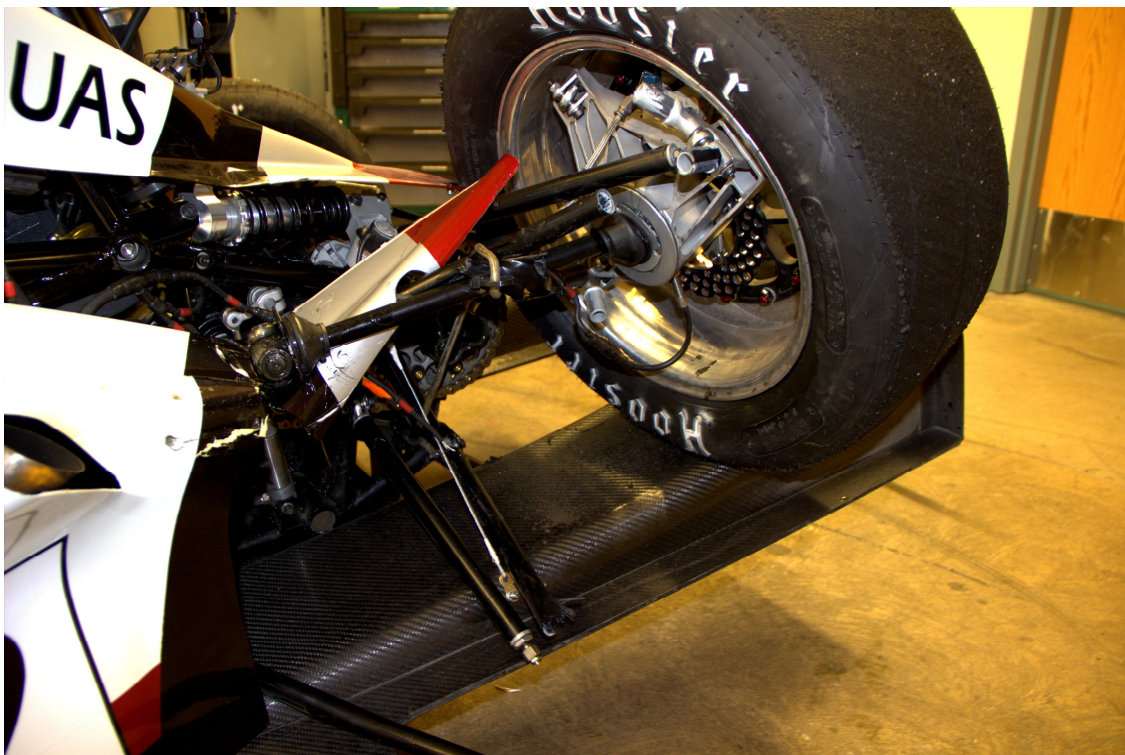
Kuva 20. Rikki vedetty tukivarsipää vetokoneessa

6.2 Väsytykokeet

Vaikka vetokokeilla varmistettiin tukivarsien riittävä kestävä staattisessa kuormituksessa, tulisi tukivarsia kuitenkin testata väsyttävässä kuormituksessa pitkällä aikavälillä. Erityisesti liimauksen kesto vaihtelevissa kuormitustilanteissa tulisi varmistaa ennen ratatestausta. Käyttöön sopivaa testipenkkiä ei kuitenkaan ollut käytettävissä, eikä sellaista voitu tämän työn puitteissa lähteä rakentamaan, koska sellainen olisi itsessään jo insinööriyön veroinen tehtävä.

6.3 Ratatestaus

Lopulta muovipäätyjen soveltuvuus kilpailukäyttöön voidaan todentaa vain ratatestauksella. Rataolosuhteissa rasitukset voivat olla hyvin vaihtelevia ja iskumaisia. Myös lämpötilan vaihtelut voivat olla hyvinkin suuria, jolloin esimerkiksi materiaalien erilaiset lämpölaajenemiskertoimet saattavat synnyttää ongelmia. Varsinaista ratatestausta ei haluttu lähteä suorittamaan ennen kattavia väsytykokeita, sillä tukivarsien pettäessä vauriot eivät jää pelkkiin tukivarsiin, kuten kuvasta 21 voidaan nähdä. HPF011/20-autosta petti takatukivarren liimaus ennen vuoden 2012 Formula North -kilpailua.



Kuva 21. Vauriot tukivarsirikon jälkeen

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön pääasiallisena tavoitteena oli tutkia ruiskuvalettujen kestopuovikomposiittien soveltuvuutta dynaamisesti kuormitettuihin Formula Student -kilpa-auton tukivarsipäihin, mutta lisäksi kartuttaa osaamista ruiskuvalun eri osa-alueilla. Mielestäni työn tavoitteissa onnistuttiin hyvin, vaikka valmiita tukivarsia ei autossa asti testattuakaan. Vetokokeiden tulokset olivat lupaavia ja jatkotestaamisten perusteella tukivarsia tultaneen vielä kokeilemaan HPF011/20-autossa radalla ja mahdollisesti myös tulevisissa kilpa-autoissa.

Ennen kaikkea työ opetti erittäin paljon muoviosan tuotekehitysprosessista kokonaisuutena. Lähtien liikkeelle tuotekonseptin valmistelusta ja materiaalivalinnoista, edeten muotin suunnitteluun ja valmistukseen sekä itse ruiskuvaluprosessiin, ja lopuksi suoritettaviin testauksiin ja validointiin.

Lähteet

- 1 Järvelä, Pentti. Syrjälä, Kai. Vastela, Martti. 2000. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata Oy.
- 2 Höök, Tuula. Nykänen, Sanna. Ruiskuvalu. Verkkodokumentti. ValuAtlas. <<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>>. Luettu 5.1.2013.
- 3 Kurri, Veijo. Malén, Timo. Sandell, Risto. Virtanen, Matti. 1999. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus

RTP 289 datalehti


**Product Data Sheet &
General Processing Conditions**

**RTP 289
Nylon 6/6 (PA)
Carbon Fiber**

PROPERTIES & AVERAGE VALUES OF INJECTION MOLDED SPECIMENS

PERMANENCE	English	SI Metric	ASTM TEST
Primary Additive	50 %	50 %	
Specific Gravity	1.37	1.37	D 792
Molding Shrinkage 1/8 in (3.2 mm) section	0.0005 - 0.0020 in/in	0.05 - 0.20 %	D 955
MECHANICAL			
Impact Strength, Izod notched 1/8 in (3.2 mm) section	1.7 ft-lbs/in	91 J/m	D 256
unnotched 1/8 in (3.2 mm) section	15.0 ft-lbs/in	801 J/m	D 4812
Tensile Strength	36000 psi	248 MPa	D 638
Tensile Elongation	1.0 - 2.0 %	1.0 - 2.0 %	D 638
Tensile Modulus	5.00 x 10 ⁶ psi	34475 MPa	D 638
Flexural Strength	54000 psi	372 MPa	D 790
Flexural Modulus	4.00 x 10 ⁶ psi	27580 MPa	D 790
ELECTRICAL			
Volume Resistivity	< 1E1 ohm.cm	< 1E1 ohm.cm	D 257
THERMAL			
Deflection Temperature @ 264 psi (1820 kPa)	485 °F	252 °C	D 648
Ignition Resistance* Flammability**	HB @ 1/16 in	HB @ 1.5 mm	D 635

PROPERTY NOTES

Data herein is typical and not to be construed as specifications.
Unless otherwise specified, all data listed is for natural or black colored materials. Pigments can affect properties.
* This rating is not intended to reflect hazards of this or any other material under actual fire conditions.
** Values per RTP Company testing.

GENERAL PROCESSING FOR INJECTION MOLDING

	English	SI Metric
Injection Pressure	10000 - 18000 psi	69 - 124 MPa
Melt Temperature	530 - 570 °F	277 - 299 °C
Mold Temperature	150 - 225 °F	66 - 107 °C
Drying	4 hrs @ 175 °F	4 hrs @ 79 °C
Moisture Content	0.20 %	0.20 %
Dew Point	0 °F	-18 °C

PROCESSING NOTES

Desiccant Type Dryer Required.

29 Dec 2004 KMH

This information is intended to be used only as a guideline for designers and processors of modified thermoplastics. Because design and processing is complex, a set solution will not solve all problems. Observation on a "trial and error" basis may be required to achieve desired results.

Data are obtained from specimens molded under carefully controlled conditions from representative samples of the compound described herein. Properties may be materially affected by molding techniques applied and by the size and shape of the item molded. No assurance can be implied that all

Exel hiilikuituputken datalehti



PRODUCT SPECIFICATION

CUSTOMER: HELSINKI UAS CUSTOMER NO: _____
PRODUCT CODE: 40009227
DRAWING NO: _____

Product: TUBE-20/17-CF-VE-BLACK9011-UCUCUV

Manufacturing method: Pullwinding.

Materials: HS-carbonfiber
Vinyl Ester

Reinforcement structure:
UCUCUV (75 ± 3 w-%)
U = Unidirectional carbonfiber
C = Carboncrosswind
V = Nonwoven veil

Surface finish: *Exelens™*

Product weight: n. 128 g/m

Flexural modulus: ≥100 GPa

Flexural strength: ≥1100 Mpa (4-point bending)

Inertia: 3754 mm⁴

MADE BY

Juha Honkanen
Product Manager

DATE 10.3.2009

Exel Oyj
Muovilaaksontie 2
FI-82110 Heinävaara, Finland

www.exel.net
Tel. +358 20 754 1200
Fax +358 20 754 1330

This information is confidential unless otherwise stated

Loctite 9466 datalehti

Technical Data Sheet

LOCTITE**Hysol[®] 9466[™]**

February 2006

PRODUCT DESCRIPTIONHysol[®] 9466[™] provides the following product characteristics:

Technology	Epoxy
Chemical Type (Resin)	Epoxy
Chemical Type (Hardener)	Amine
Appearance (Resin)	White opaque paste
Appearance (Hardener)	White translucent liquid
Appearance (Mixed)	Off-white opaque paste
Components	Two component - requires mixing
Viscosity	Medium
Mix Ratio, by volume - Resin : Hardener	2 : 1
Mix Ratio, by weight - Resin : Hardener	100 : 50
Cure	Room temperature cure after mixing
Application	Bonding

Hysol[®] 9466[™] is a toughened, industrial grade epoxy adhesive with extended work life. Once mixed, the two component epoxy cures at room temperature to form a tough, off-white bondline which provides high peel resistance and high shear strengths. The fully cured epoxy is resistant to a wide range of chemicals and solvents, and acts as an excellent electrical insulator. Hysol[®] 9466[™] provides excellent bond strengths to a wide variety of plastics and metals. Typical applications include general purpose industrial applications requiring extended work life for adjusting parts during assembly.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Resin:	
Specific Gravity @ 25 °C	1.0
Flash Point - See MSDS	
Viscosity, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP):	
Spindle 6, speed 20 rpm	15,000 to 50,000
Hardener:	
Specific Gravity @ 25 °C	1.0
Flash Point - See MSDS	
Viscosity, Brookfield - RVT, 25 °C, mPa·s (cP):	
Spindle 5, speed 50 rpm	25,000 to 60,000
Mixed:	
Working life, minutes	60

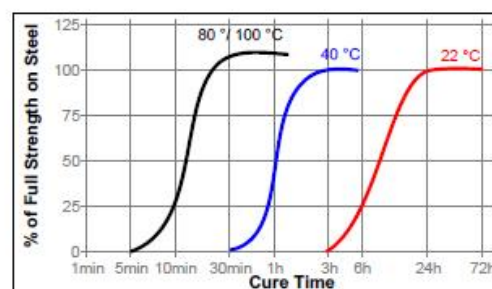
TYPICAL CURING PERFORMANCE**Fixture Time**

Fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time, ISO 4587, minutes:	
Steel (grit blasted)	180

Cure Speed vs. Time, Temperature

The rate of cure will depend on the ambient temperature, elevated temperatures may be used to accelerate the cure. The graph below shows shear strength developed with time at various temperatures on grit blasted steel lap shears and tested according to ISO 4587.

**TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL**

Cured for 7 days @ 22 °C, 1.2 mm thick film

Physical Properties:

Glass Transition Temperature, ASTM E 1640, °C	62
Shore Hardness, ISO 888, Durometer D	60
Elongation, ISO 527-3, %	3
Tensile Strength, ISO 527-3	N/mm ² 32 (psi) (4,640)
Tensile Modulus, ISO 527-3	N/mm ² 1,718 (psi) (249,110)

Electrical Properties:

Dielectric Breakdown Strength, IEC 60243-1, kV/mm 30

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL**Adhesive Properties**

Cured for 5 days @ 22 °C

Lap Shear Strength, ISO 4587:	
Steel (grit blasted)	N/mm ² 37.0 (psi) (5,365)
Aluminum (abraded)	N/mm ² 28.0 (psi) (3,770)
Aluminum (anodised)	N/mm ² 17.9 (psi) (2,595)
Galvanized Steel (Hot Dipped)	N/mm ² 8.5 (psi) (1,230)
Stainless steel	N/mm ² 23.0 (psi) (3,335)
Polycarbonate	N/mm ² 5.3 (psi) (765)
Nylon	N/mm ² 1.6 (psi) (230)
Wood (Fir)	N/mm ² 11.3 (psi) (1,635)
GRP	N/mm ² 5.0 (psi) (725)
ABS	N/mm ² 4.7 (psi) (680)

TDS Hysol® 9466™, February 2006

180° Peel Strength, ISO 8510-2: Steel (grit blasted)	N/mm (lb/in)	8.0 (45.5)
Tensile Strength, ISO 6922: Steel pin (grit blasted) to Soda glass	N/mm ² (psi)	43.2 (6,260)
Impact Strength, ISO 9653, J/m ² : Steel (grit blasted)		5.8

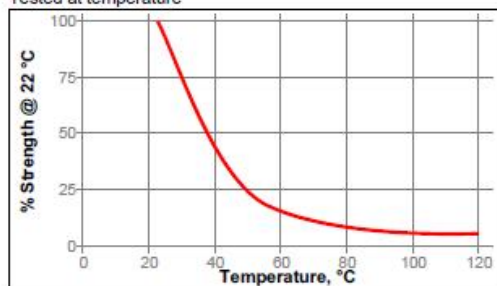
Tensile Strength, ISO 6922, % of initial strength:
Steel pin (grit blasted) to Soda glass:

Environment	°C	% of initial strength	
		500 h	1000 h
98% RH	40	90	90

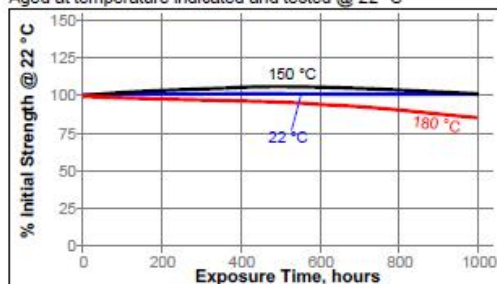
TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 5 days @ 22 °C
Lap Shear Strength, ISO 4587:
Steel (grit blasted)

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	
		500 h	1000 h
Motor oil (10W-30)	87	135	145
Unleaded gasoline	22	95	125
Water/glycol 50/50	87	75	75
Salt fog	22	—	80
98% RH	40	85	90
Condensing Humidity	49	—	90
Water	22	—	90
Acetone	22	75	90
IPA	25	90	100

GENERAL INFORMATION

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

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.

Where aqueous washing systems are used to clean the surfaces before bonding, it is important to check for compatibility of the washing solution with the adhesive. In some cases these aqueous washes can affect the cure and performance of the adhesive.

Directions for use

- For best performance part surfaces should be clean and free of grease.
- For high strength structural bonds, remove surface contaminants such as paint, oxide films, oils, dust, mold release agents and all other surface contaminants.
- Dual Cartridges:** To use simply insert the cartridge into the application gun and start the plunger into the cylinders using light pressure on the trigger. Next, remove the cartridge cap and expel a small amount of adhesive to be sure both sides are flowing evenly and freely. If automatic mixing of resin and hardener is desired, attach the mixing nozzle to the end of the cartridge and begin dispensing the adhesive. For hand mixing, expel the desired amount of the adhesive and mix thoroughly. Mix for approximately 15 seconds after uniform color is obtained.
Bulk Containers: Mix thoroughly by weight or volume in the proportions specified in Product Description section. Mix vigorously, approximately 15 seconds after uniform color is obtained.
- Do not mix quantities greater than 4 kg as excessive heat build-up can occur. Mixing smaller quantities will minimise the heat build-up.
- Apply the adhesive as quickly as possible after mixing to one surface to be joined. For maximum bond strength apply adhesive evenly to both surfaces. Parts should be assembled immediately after mixed adhesive has been applied.
- Keep assembled parts from moving during cure. The bond should be allowed to cure 24 hours before subjecting to any service loads.
- Excess uncured adhesive can be wiped away with organic solvent (e.g. Acetone).
- After use and before adhesive hardens mixing and dispensing equipment should be cleaned with hot soapy water.

Not for product specifications

The technical data contained herein are intended as reference only. Please contact your local quality department for assistance and recommendations on specifications for this product.

Loctite 480 datalehti

Technical Data Sheet

LOCTITE**LOCTITE[®] 480™**

March 2008

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE[®] 480™ provides the following product characteristics:

Technology	Cyanoacrylate
Chemical Type	Ethyl cyanoacrylate
Appearance (uncured)	Black liquid ^{MS}
Components	One part - requires no mixing
Viscosity	Low
Cure	Humidity
Application	Bonding
Key Substrates	Metals, Plastics and Rubbers

LOCTITE[®] 480™ is a rubber toughened adhesive with increased flexibility and peel strength along with enhanced resistance to shock.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Specific Gravity @ 25 °C	1.05
Flash Point - See MSDS	
Viscosity, Cone & Plate, mPa·s (cP):	
Temperature: 25 °C, Shear Rate: 1,000 s ⁻¹	100 to 200 ^{MS}
Viscosity, Brookfield - LVF, 25 °C, mPa·s (cP):	
Spindle 1, speed 6 rpm	100 to 200

TYPICAL CURING PERFORMANCE

Under normal conditions, the atmospheric moisture initiates the curing process. Although full functional strength is developed in a relatively short time, curing continues for at least 24 hours before full chemical/solvent resistance is developed.

Cure Speed vs. Substrate

The rate of cure will depend on the substrate used. The table below shows the fixture time achieved on different materials at 22 °C / 50 % relative humidity. This is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time, seconds:	
Steel (degreased)	60 to 120
Aluminum	10 to 30
Zinc dichromate	50 to 150
Neoprene	<20
Rubber, nitrile	<20
ABS	20 to 50
PVC	50 to 100
Polycarbonate	30 to 90
Phenolic	20 to 60

Cure Speed vs. Bond Gap

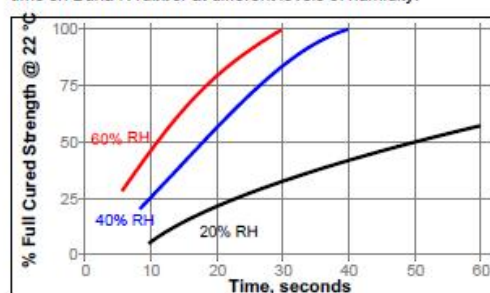
The rate of cure will depend on the bondline gap. Thin bond lines result in high cure speeds, increasing the bond gap will decrease the rate of cure.

Cure Speed vs. Activator

Where cure speed is unacceptably long due to large gaps, applying activator to the surface will improve cure speed. However, this can reduce ultimate strength of the bond and therefore testing is recommended to confirm effect.

Cure Speed vs. Humidity

The rate of cure will depend on the ambient relative humidity. The following graph shows the tensile strength developed with time on Buna N rubber at different levels of humidity.

**TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL**

Cured for 24 hours @ 22 °C

Physical Properties:

Coefficient of Thermal Expansion, ISO 11359-2, K ⁻¹	80×10 ⁻⁶
Coefficient of Thermal Conductivity ISO 8302, W/(m·K)	0.1
Glass Transition Temperature, ISO 11359-2, °C	150

Electrical Properties:

Volume Resistivity, IEC 60093, Ω·cm	10×10 ¹⁵
Surface Resistivity, IEC 60093, Ω	10×10 ¹⁵
Dielectric Breakdown Strength, IEC 60243-1, kV/mm	25
Dielectric Constant / Dissipation Factor, IEC 60250:	
0.1 kHz	2.65 / <0.02
1 kHz	2.75 / <0.02
10 kHz	2.75 / <0.02

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL**Adhesive Properties**

Cured for 30 seconds @ 22 °C

Tensile Strength, ISO 8822:	
Buna-N	N/mm ² ≥1.8 ^{MS} (psi) (≥260)



TDS LOCTITE® 480™, March 2008

Cured for 24 hours @ 22 °C
Lap Shear Strength, ISO 4587:

Steel (grit blasted)	N/mm ²	22 to 30
	(psi)	(3,200 to 4,400)
Aluminum (etched)	N/mm ²	14 to 22
	(psi)	(2,000 to 3,200)
Zinc dichromate	N/mm ²	8 to 15
	(psi)	(1,200 to 2,200)
ABS	N/mm ²	6 to 20
	(psi)	(870 to 2,900)
PVC	N/mm ²	4 to 20
	(psi)	(580 to 2,900)
Phenolic	N/mm ²	5 to 15
	(psi)	(730 to 2,200)
Polycarbonate	N/mm ²	5 to 20
	(psi)	(730 to 2,900)
Nitrile	N/mm ²	5 to 15
	(psi)	(730 to 2,200)
Neoprene	N/mm ²	5 to 15
	(psi)	(730 to 2,200)

Tensile Strength, ISO 8922:

Steel (grit blasted)	N/mm ²	12 to 25
	(psi)	(1,700 to 3,600)
Buna-N	N/mm ²	5 to 15
	(psi)	(730 to 2,200)

Cured for 24 hours @ 22 °C, followed by 48 hours @ 120 °C, tested @ 22 °C
Lap Shear Strength, ISO 4587:

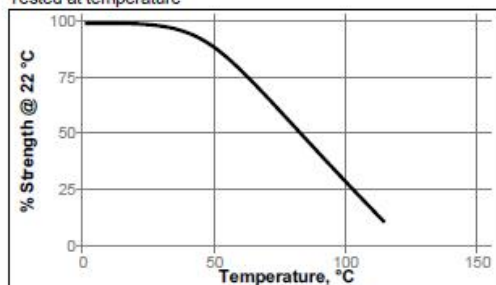
Steel (grit blasted)	N/mm ²	≥18.0 ^{MBS}
	(psi)	(≥2,610)

TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 1 week @ 22 °C
Lap Shear Strength, ISO 4587:
Steel (grit blasted)

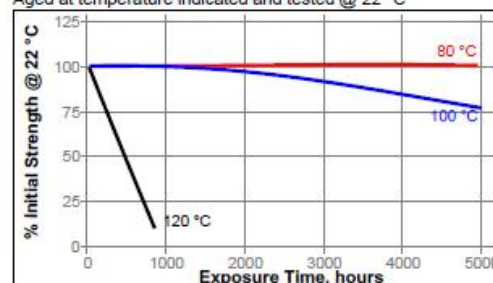
Hot Strength

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
Motor oil	40	85	85	85
Gasoline	22	90	70	70
Ethanol	22	95	95	80
Isopropanol	22	75	75	75
Freon TA	22	90	90	85
Heat/humidity 95% RH	40	80	80	85

Lap Shear Strength, ISO 4587:
Polycarbonate

Environment	°C	% of initial strength		
		100 h	500 h	1000 h
Heat/humidity 95% RH	40	100	100	100

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. This product performs best in thin bond gaps (0.05 mm).
3. Excess adhesive can be dissolved with Loctite cleanup solvents, nitromethane or acetone.

Loctite Material Specification^{MBS}

LMS dated December 5, 2003. 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 Quality.

Henkel Americas
+860.571.5100

Henkel Europe
+49.89.320800.1800

Henkel Asia Pacific
+86.21.2891.8863

For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/industrial

Alumec 89 datalehti



ALUMEC 89

1 (4)
01.02.2011

Yleistä

Alumec 89 on luja alumiiniseos, jota valmistetaan lämpökäsiteltynä levyinä ja pyörötankona. Jännitysten poistamiseksi valmistuksessa käytetään erityistä kylmävenytysmenetelmää. Suuren lujuuden ja hyvän mitanpitävyyden ansiosta seoksella on laaja käyttöalue työvälineiteollisuudessa.

Toimitustila: lämpökäsittely 146–180 HB kovuuteen

Seuraavien ominaisuuksiensa ansiosta Alumec 89 soveltuu moniin erityyppisiin työvälineisiin, etenkin muovimuotteihin:

- Erinomainen lastuttavuus; suuret lastuamisnopeudet, lyhyemmät koneistusajat, alhaisemmat työvälinekustannukset, nopeammat muottoimitukset.
- Keveys; Alumec 89 painaa ainoastaan 1/3 teräksen painosta. Työvälineen käsittely on helpompaa.
- Hyvä lämmönjohtavuus; lyhentää jaksoaikoja ja yksinkertaistaa jäähdytysjärjestelmää.
- Hyvä mitanpitävyys; erityinen jännitystenpoistomenetelmä takaa vähäiset muodonmuutokset työstössä ja sen jälkeen.
- Hyvä korroosionkestävyys; kestää kaikkia yleisesti käytettyjä muovimateriaaleja.
- Pintakäsittely; voidaan anodisoida, kromata tai nikkelipinnoittaa suuremman pintakovuuden ja paremman kulumis- ja korroosionkestävyyden saavuttamiseksi.

Käyttökohteet

Alumec 89 on erinomainen materiaali prototyyppityövälineisiin sekä lyhyiden tai keskipitkien sarjojen muotteihin silloin, kun puristusvoimat eivät ole liian suuria tai muovit kuluttavia. Huomattavasti lyhyempi työvälineen valmistusaika, alhaisemmat työvälinekustannukset ja lyhyemmät jaksajat tuovat merkittäviä säästöjä niin työvälineen valmistajalle kuin käyttäjällekkin.

	Työvälineyryhmä			
	Proto-tyypit	Lyhyet sarjat	Keskip. sarjat	Pitkät sarjat
Puhallusmuovaus	x	x	x	x
Tyhjiömuovaus	x	x	x	x
Vaahtomuovaus	x	x	x	(x)
RIM-valu	x	x	x	(x)
Kestomuovien ruiskuvalu	x	x	(x)	
Muotit kumille	x	x		
Kiinnitys- ja tukilevyt, ohjaimet ja kiinnittimet				

Ominaisuudet

Fysikaaliset ominaisuudet

Arvot huoneenlämpötilassa ellei muuta mainita.

Tiheys kg/m ³	2 830
Kimmomoduuli N/mm ²	71 500
Lämpölaajenemiskerroin per °C, 20 °C -> 100 °C	23 x 10 ⁻⁶
Lämmönjohtavuus W/m °C	165
Ominaislämpö J/kg °C	890

Vetolujuus

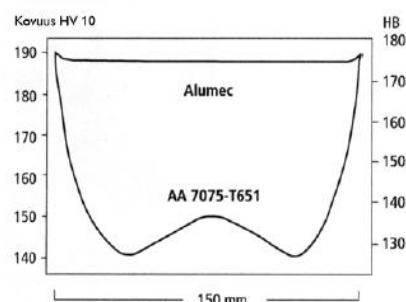
Vetolujuusarvot ovat ohjeellisia. Niiden voidaan usein käytännössä katsoa vastaavan puristuslujuusarvoja.

Arvot huoneenlämpötilassa.

	Murtoraja N/mm ²	Myötöraja N/mm ²
Levy, paksuus mm		
> 10–50	590	550
> 50–100	570	520
> 100–150	550	500
> 150–200	535	485
> 200–300	430	365
Pyörötanko, halkaisija mm		
40	680	630
100	680	620
200	670	610

Huom. Levy on koestettu poikittaissuunnassa ja pyörötanko pitkittäissuunnassa.

Levyn poikkileikkauksen kovuusjakauma



Vetokokeiden tulokset PA66 lujittamaton

04.11.13

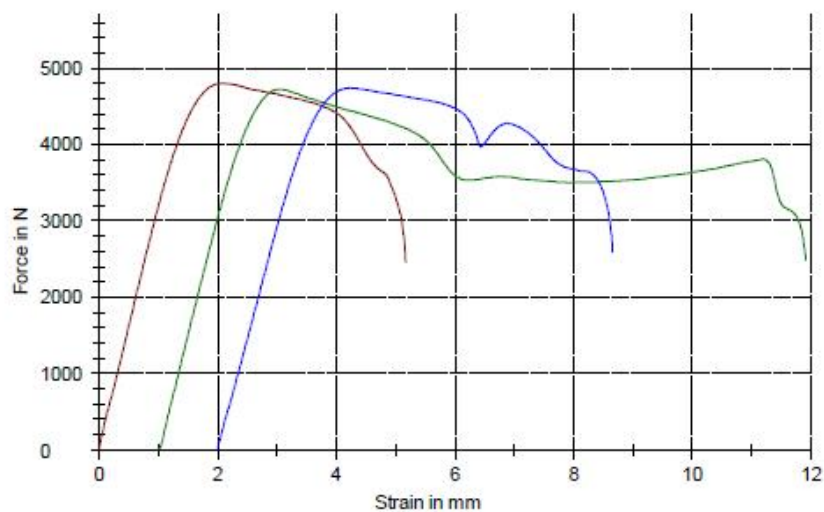
Parameter table:

Customer	: Timo Elonen	Load cell	: 10 kN
Tester	: Timo Elonen	Extensometer	: -
Test standard	:	Specimen grips	: custom
Material	: PA66_20mm_min	Machine data	:
Specimen ID	:		

Results:

Nr	Rm N	ϵ -Break μm
1	4798,52	5170,83
2	4721,12	10907,79
3	4738,92	6651,25

Series graph:



Statistics:

Series n = 3	Rm N	ϵ -Break μm
x	4752,85	7576,62
s	40,54	2978,32
v	0,85	39,31

PA66 50 % lasikuitu 60 C° muottilämpötila

04.11.13

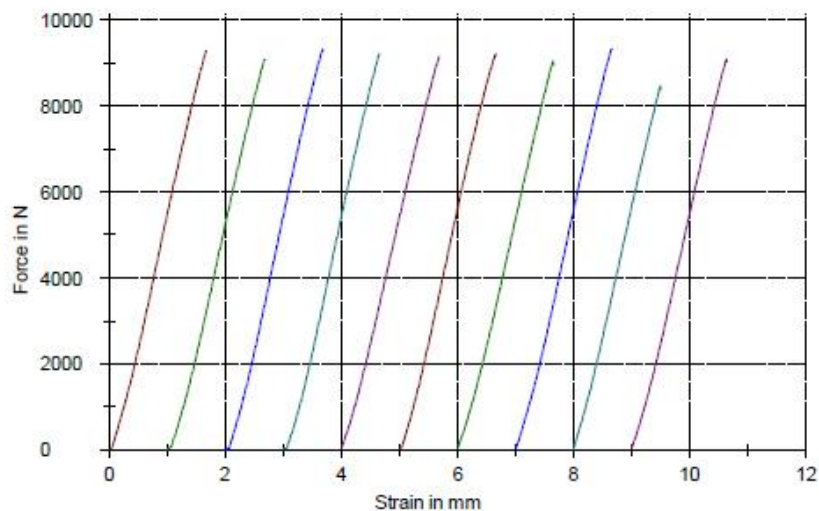
Parameter table:

Customer : Timo Elonen
 Tester : Timo Elonen
 Material : PA66GF50_60C_5mm_min
 Test standard:

Results:

Nr	Rm N	ε-Break µm
1	9285,71	1671,96
2	9080,54	1672,90
3	9331,91	1679,57
4	9211,33	1649,37
5	9150,58	1687,88
6	9216,08	1660,26
7	9045,26	1655,67
8	9342,82	1660,89
9	8471,33	1507,52
10	9080,10	1643,45

Series graph:



Statistics:

Series n = 10	Rm N	ε-Break µm
\bar{x}	9121,57	1648,95
s	251,66	51,54
v	2,76	3,13

PA66 50 % hiilikuitu 60 C° muottilämpötila

04.11.13

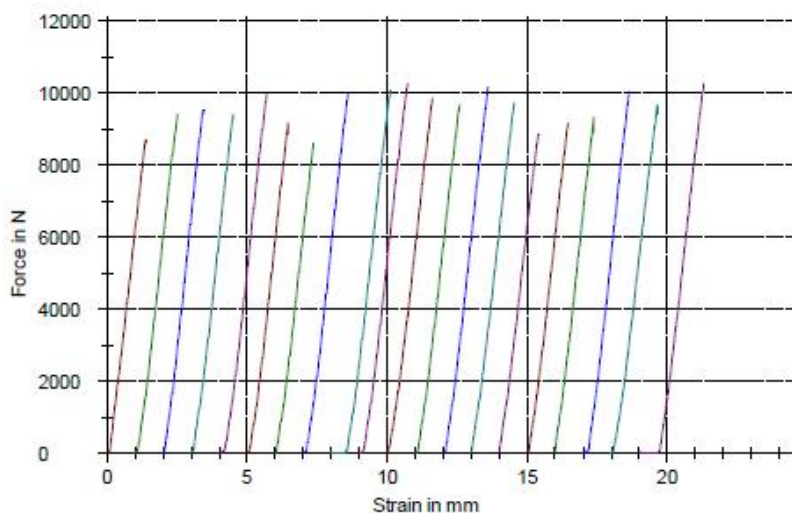
Parameter table:

Customer	: Timo Elonen	Load cell	: 10 kN
Tester	: Timo Elonen	Extensometer	: -
Test standard	:	Specimen grips	: custom
Material	: PA66CF50_60C_5mm_min	Machine data	:
Specimen ID	:		

Results:

Nr	Rm N	ε-Break µm	Nr	Rm N	ε-Break µm
1	8711,91	1391,78	11	9860,37	1618,16
2	9425,32	1512,37	12	9670,59	1584,02
3	9547,02	1463,93	13	10176,11	1612,23
4	9413,55	1500,11	14	9729,68	1537,84
5	9990,71	-	15	8861,11	1426,23
6	9163,83	1459,20	16	9159,66	1463,61
7	8608,59	1369,29	17	9331,54	1393,81
8	9985,67	-	18	10055,79	1648,31
9	10076,71	2110,35	19	9669,12	1663,83
10	10264,89	1729,26	20	10272,96	2320,55

Series graph:



Statistics:

Series n = 20	Rm N	ε-Break µm
x	9598,76	1600,27
s	507,80	248,67
v	5,29	15,54

PA66 50 % hiilikuitu 90 C° muottilämpötila

04.11.13

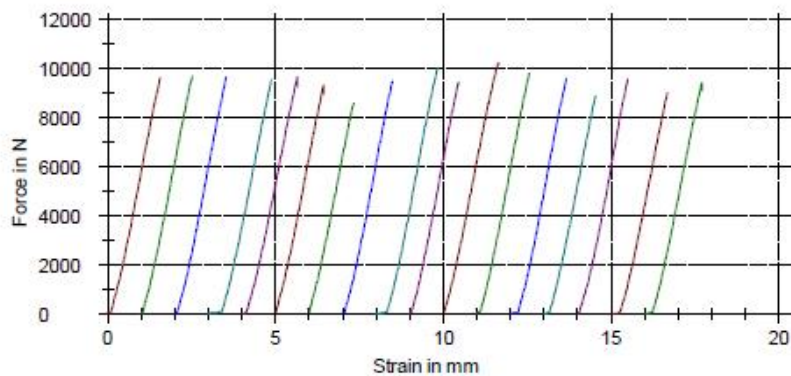
Parameter table:

Customer	: Timo Elonen	Load cell	: 10 kN
Tester	: Timo Elonen	Extensometer	: -
Test standard	:	Specimen grips	: custom
Material	: PA66CF50_90C_5mm_min	Machine data	:
Specimen ID	:		

Results:

Nr	Rm N	ϵ -Break μm
1	9602,93	1560,35
2	9694,85	1516,19
3	9652,99	1532,72
4	9546,62	1881,50
5	9667,57	1650,87
6	9325,27	1428,74
7	8594,40	1327,36
8	9471,63	1477,14
9	9999,58	1823,71
10	9438,41	1467,05
11	10242,43	1641,74
12	9819,83	1561,75
13	9600,87	1672,14
14	8882,19	1554,01
15	9564,99	1493,72
16	9003,90	1675,25
17	9423,95	1705,40

Series graph:



Statistics:

Series n = 17	Rm N	ϵ -Break μm
\bar{x}	9501,91	1586,45
s	395,95	140,74
v	4,17	8,87

**PA66 50 % hiilikuitu 90 C° muottilämpötila
Insertit liimattu Exel putkeen Loctite 480:lla**

06.11.13

Parameter table:

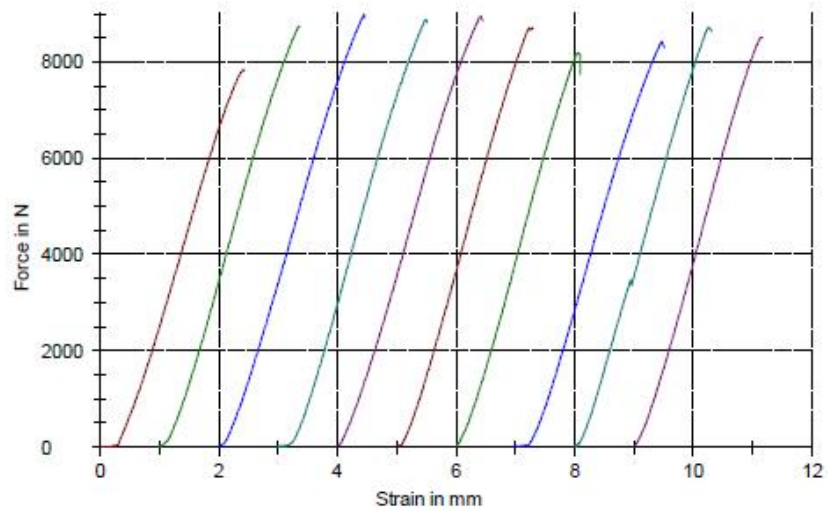
Customer : Timo Elonen
Tester : Timo Elonen

Material : PA66CF50_liimaustesti_Loctite_480
Test standard :

Results:

Nr	Rm N	ε-Break µm
1	7829,14	2434,46
2	8738,96	2374,40
3	8979,67	2462,12
4	8876,50	2514,32
5	8947,07	2447,67
6	8704,43	2298,98
7	8193,44	2096,92
8	8422,30	2501,18
9	8713,30	2307,45
10	8514,00	2158,22

Series graph:



Statistics:

Series n = 10	Rm N	ε-Break µm
\bar{x}	8591,88	2359,57
s	362,39	142,99
v	4,22	6,06