



TEKNIikka JA LIIKENNE

Auto- Ja kuljetustekniikka

Tuotetekniikka

OPINNÄYTETYÖ

E-RA-sähköauton kori

**Työn tekijä: Tuomo Kinnunen
Työn ohjaaja: Harri Santamala**

Työ hyväksytty: __. __. 2010

PROJEKTI-INSINÖÖRI



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Auto- ja kuljetustekniikan osastolle. Työn ohjaajana toimi projekti-insinööri Harri Santamala.

Työn kohteena on Metropolian E-RA-sähköajoneuvoprojekti. Työn tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa itsekantava hiilikuitukori.

Haluan kiittää projektissa mukana olleita yhteistyökumppaneita, kuten Scan Mould, Savon ammatti- ja aikuisopisto, Tesveka Oy, Kevra Oy sekä Audi Finland.

Metropolian henkilökunnasta haluan erityisesti kiittää E-RAn projektijohtajaa Sami Ruotsalaista, projekti-insinööri Harri Santamalaa sekä kaikkia projektissa työskennelleitä opiskelijoita.

Helsingissä 29.8.2010

Tuomo Kinnunen

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Tuomo Kinnunen	
Työn nimi: E-RA-sähköauton kori	
Päivämäärä: 29.8.2010	Sivumäärä: 35 s. + 6 liitettä
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Tuotekniikka
Työn ohjaaja: Projekti-insinööri Harri Santamala	
<p>Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin Electric Raceabouttiin itsekantavaa hiilikuitukoria. Kori suunniteltiin ja valmistettiin alusta alkaen itsenäisesti projektiin kuuluvien henkilöiden toimesta.</p> <p>Työ aloitettiin tutkimalla erilaisia koriratkaisuja, hakemalla ideoita ja selvittämällä, mikä olisi optimaalinen E-RA-projektin koriratkaisuksi. Projekti eteni loogisessa järjestyksessä ensiksi tutkittiin vaihtoehdot, seuraavaksi 3D-mallinnettiin ja suoritettiin lujuuslaskelmat, lopuksi kori valmistettiin. Korin testaaminen opinnäytetyötä varten jäi valitettavan lyhyeksi auton siirryttyä Amerikkaan Automotive X-Prize -kilpailuun ja testaamiseen tarvittava aika käytettiin auton saamiseksi toimintavarmaksi.</p> <p>Työssä pohditaan mitä korilta vaaditaan ja mihin suunnittelussa kannattaa käyttää aikaa. Materiaaleja vertaillaan keskenään ja valintoja perustellaan. Lopuksi käydään läpi korin osien valmistustekniikkaa ja lopullinen kokoaminen.</p> <p>Korin valmistuttua syksyllä 2008 lopputulokseen voidaan olla tyytyväisiä. Kori on kestänyt kaikki autolla suoritettut testiajot. Kori on mittatarkka, jäykkä ja toimiva. Ainut tavoite, jossa jäätii alle suunnitellun, on paino. Kori on kuitenkin kevyempi kuin vastaavat alumiiniset.</p>	
Avainsanat: hiilikuitu, kiertojäykkyys, Sprint-kuitu, laminointi	

ABSTRACT

Name: Tuomo Kinnunen	
Title: Design of a Car Body for E-RA Electric Racecar	
Date: 29 Aug 2010	Number of pages: 35 pages + 6 appendices
Department: Automotive and Transport Engineering	Study Programme: Automotive Design Engineering
Instructor: Harri Santamala, Project Engineer	
<p>This final project deals with the design of a self-supporting body for Electric Raceabout. The body was designed and manufactured from the beginning by the Raceabout team members only.</p> <p>The work was started by studying different body structures, searching for ideas and asking what the optimal solution for E-RA would be. The project proceeded in logical order. At first different options were investigated, next the 3D and FEM-modelling were carried out, and finally, the body manufacturing. There wasn't enough time to test the body for the final project because the car was transported to the USA to race in the Automotive X-Prize competition.</p> <p>This work discusses what the most important qualities are and what it is worth to use time for when designing the body. The materials are compared and reasons are given for the choices. Finally, the techniques of body parts manufacturing are described and the final assembling is described.</p> <p>When the body was completed in the autumn of 2008 the final result was satisfying. The body completed and endured all the test runs. The body is rigid, functional and the measures are precise. The only goal that is less than planned is the weight. However, the car is still lighter than comparable aluminum ones.</p>	
Keywords: carbonfiber, torsional rigidity, Sprint-fiber, laminating	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	SUUNNITTELU	3
2.1	Suunnittelun lähtökohdat	3
2.2	Rakenne	8
2.2.1	<i>Korin rakenteen optimointi</i>	9
2.2.2	<i>Korin kiertojäykkyys</i>	10
2.3	Materiaalit	12
2.3.1	<i>hiilikudut ja epoksi</i>	13
2.3.2	<i>Liimat</i>	15
2.3.3	<i>Ydinaineet</i>	17
3	KORIN MUOTTIEN VALMISTUSTEKNIikka	17
3.1	Muottivaihtoehdot	18
3.1.1	<i>Pastamuotit</i>	18
3.1.2	<i>Alumiini- ja MDF-muotit</i>	20
4	KORIN OSIEN VALMISTUS	21
4.1	Muottien valmistus	21
4.2	Laminointi	23
4.3	Kappaleiden valmistelut ennen kovetusta	27
4.4	Korin osien yhdistäminen	29
5	KORIN TESTAAMINEN	30
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYS	32
	VIITELUETTELO	34
	LIITELUETTELO	35

1 JOHDANTO

Electric Raceabout on Metropolian ammattikorkeakoulussa suunniteltu ja rakennettu sähkörheiluauto. Projekti lähti käyntiin loppuvuodesta 2007. Tavoitteena oli rakentaa täysin sähköllä toimiva, nykyaikainen, nelivetoinen bulevardisportti. E-RA on tarkoituksena saada rekisteröidyksi vuoden 2011 aikana ja näin ollen jatkaa itsevalmistettujen katulaillisten autojen sarjaa Metropoliasa.

Metropolian autopuolen hyvää mainetta ovat pitäneet yllä aikaisemmat autoprojektit. Pelkästään projektien ansiosta oppilaitos on saanut lukuisia uusia opiskelijoita. Edellinen Metropolian, senaikaisen Stadian, autoprojekti oli CityCab-kaupunkitaksi, jota esiteltiin ympäri Eurooppaa. CityCabista opittujen hiilikuidun valmistustekniikoiden avulla uskallettiin lähteä rakentamaan astetta haastavampaa projektia, Electric Raceaboutia. E-RA on ollut Metropolian historian laajin ja monella osa-alueella haastavin autoprojekti.

Electric Raceabout nimi juontuu CityCabia edeltävästä autoprojektista Raceaboutista. Sanoista Electric Raceabout tuleva lyhenne E-RA kuvaa uutta aikakautta, jota sähköautot tavallaan luovat. E-RA on kehitysversio ensimmäisestä Raceaboutista, vaikka vanhaa ei tosin kehitetty vaan luotiin uutta. Ensimmäisen Raceaboutin valmistuttua oli ilmoilla ajatus seuraavasta projektista, jossa kohteena olisi sähköllä toimiva Raceabout. Idean piti kuitenkin kypsyä useita vuosia ennenkuin projekti Electric Raceabout uskallettiin käynnistää.

Tämän opinnäytetyön tavoittena oli suunnitella ja valmistaa itsekantava hiilikuitukori. Tavoitteena oli myös tutkia millaisia valmistusmenetelmiä ja materiaaleja kannattaa käyttää valmistettaessa hiilikuitukoria. Opinnäytetyössä käsitellään komposiittirakenteiden ominaisuuksia, valmistustekniikoita ja kokoonpanoa.

Projektin yhtenä tavoitteena oli kehittää ja parantaa Suomen mainetta sähköautovalmistajana ja komponenttittuottajana. Sähköautot ovat muodikas puheenaihe mediassa, ja E-RA tulee saamaan paljon positiivista huomiota osakseen. Vaikka uusia sähköautomalleja tuntuu valmistuvan eri autotehtailta lähes viikoittain, niin sähköautojen komponenttien saatavuus on ollut heikkoa. Suuret jännitteet ja virrat tuovat oman haasteensa, kun komponenteista halutaan autokäyttöön soveltuvia kevyitä, pieniä ja turvallisia. Monet komponentit, joita käytimme, tulevat suoraan teollisuudesta. Sen takia ne ovat suuria ja painavia. Painavat osat ja autojen taloudellisuus eivät sovellu yhteen, joten paljon on vielä kehitettävää.

E-RAn on tarkoitus toimia myös kilpa-autona. E-RAlla osallistutaan Yhdysvalloissa järjestettävään Progressive Insurance of Automotive X-Prize -kilpailuun. Kilpailu järjestetään kesällä 2010 ja E-RA on ainoa pohjoismainen auto koko kilpailussa. Kilpailun pääpalkintona on 10 miljoonaa dollaria, joka jaetaan kolmelle eri sarjalle. (Kuva 1.)



Kuva 1. E-RA Automotive X-Prize -kilpailussa Michiganissa

2 SUUNNITTELU

Auton korilta vaaditaan paljon. Korin tehtävänä on olla kiinnitysalustana koriin kiinnitettävälle osille, turvallinen, hyvän näköinen, aerodynaaminen, jäykkä ja kestävä. Korin suunnittelu on haastavaa ja siihen kannattaa siis uhrata aikaa. Korilla on vaikutuksensa auton moneen eri ominaisuuteen, kuten esimerkiksi ajettavuuteen, käytännöllisyyteen tai pitkäikäisyyteen.

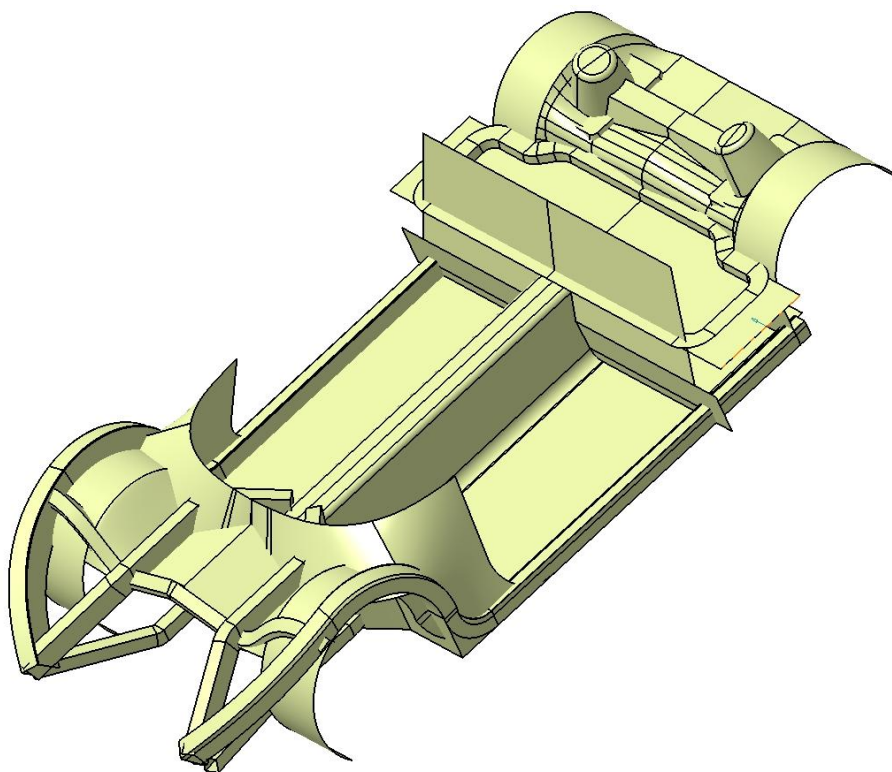
E-RA -projektin alkaessa vastaavanlaisia autojen korirakenteita ei ollut tiedossa. Toki hiilikuituautoja on valmistettu jo pitkään, mutta koko auton mittaiseen hiilikuitukoriin emme olleet törmänneet, monissa muissa autoissa korin etu- ja takapää ovat valmistettu metallisista apukehikoista. Syy, miksei koko auto ole valmistettu hiilikuidusta, löytyy yleensä valmistuskustannuksista ja valmistuksen vaikeudesta. Mielestäni on hyvä asia, ettei tiedossamme ollut vastaavia autoja, koska se mahdollisti suunnittelun ilman ennakoasenteita. Suunnittelussa takertuu helposti vanhaan vaikka uuden luominen toisi mahdollisesti paljon paremman lopputuloksen. Vanhaa tietoa pitää tuki pystyä hyödyntämään sopivassa määrin ja hieman epäillen.

2.1 Suunnittelun lähtökohdat

Jotta autoon voidaan suunnitella koria, täytyy lähtökohtien olla selkeät. Täytyy tietää, minkälaiseen käyttöön valmis auto on tulossa. Ominaisuuksia, joita autolta kaivataan, on hyvä laittaa tärkeysjärjestykseen. Auto, joka on mukava mukulakivikadulla, ei yleensä ole parhaimmillaan radalla ja päinvastoin. Toki alustan osat, kuten puslat, vaikuttavat enemmän auton ajomukavuuteen, mutta korillakin on vaikutuksensa. E-RA -projektin alussa mietittiin, ollaanko rakentamassa nopeaa rata-autoa vai halutaanko mukavampaa bulevardisporttia. Päätös kallistui jälkimmäiseen. Peruseriaatteeltaan molemmissa vaihtoehdoissa korilta vaaditaan kuitenkin samoja ominaisuuksia, kuten kiertojäykkyyttä, matalaa painopistettä ja aerodynamiikkaa.

Syy siihen, miksi päädyttiin rakentamaan urheiluautoa, eikä esimerkiksi kaupunkiauto, johtuu urheiluautojen saamasta huomioarvosta. Vaikka urheiluautoihin on harvalla varaa, kiinnostavat ne ihmisiä enemmän kuin normaalit perheautot. E-RA toimii myös jonkinlaisena Metropolia Ammattikorkeakoulun käyntikorttina ja mainoksena uusille oppilaille, joten urheiluauto on siihen käyttöön varmasti paras ratkaisu. Ainakin henkilökohtaisesti motivaatio projektia kohtaan oli helppoa löytää, koska tiesi, että jonain päivänä autoa pääsisi ajamaan kovaa radalla.

E-RAn 3D-mallinnus lähti lähes tyhjästä pöydältä. Käytössämme oli RaceAboutin aikaisia 3D-malleja, joista haettiin vähän ideoita ja vinkkejä. Muuten korin suunnitteluun oli vapaat kädet. Ohjelmana mallinnuksessa käytimme Dassault Systemesin Catia V5:tä. Ohjelma on erittäin hyvä ja monipuolinen. Varsinkin autokäyttöön Catia soveltuu hyvin, pintamallinnus ja levyntyöstötyökaluineen. Ohjelmaa käytetään paljon teollisuudessa ja esimerkiksi suurin osa Formula 1-tiimeistä käyttää Catiaa. Auton mallintaminen ennen valmistamista on lähes pakollista, sillä se helpottaa rakentamisvaihetta huomattavasti. Mitä pidemmälle mallinnuksen voi viedä sitä vähemmän niin kutsuttua polven päällä tekemistä tarvitaan. Lopputulos palkitsee varmasti siisteydessä ja osien istuvuudessa. (Kuva 2.)



Kuva 2. Ensimmäisiä 3D-pintamallinnuksia korista

Uutta koria suunniteltaessa pitää huomioida todella monta asiaa, esimerkiksi komponenttien sijoittaminen, alustan osien kiinnityspisteet, korin osien valmistettavuus ja huollettavuus. Eran korin suunnittelussa tavoitteena pidettiin mahdollisimman jäykkää koria, koska kyseessä on urheiluauto ja auton ajo-ominaisuudet listattiin korkealle. Alussa oli selvitettävä, mitkä ovat normaalien henkilöautojen korien heikot paikat, jotta osattiin keskittyä oikeiden paikkojen vahvistamiseen. Korista mallinnettiin useita versioita, jotka pikkuhiljaa muokkautuivat halutun malliseksi. Suuri etu korin jäykkyyden kannalta saavutettiin sillä, ettei auton etupäähän tarvinnut tehdä suurta reikää konehuonetta varten. Korin jäykkyyttä haettiin erilaisilla muodoilla ja koteloilla, koska muodot vaikuttavat kappaleen jäykkyyteen huomattavasti enemmän kuin materiaalipaksuus.

Korin ensimmäiset lujuuslaskelmat tehtiin Algor-nimisellä FEM-ohjelmalla. Kori mallinnettiin siis aluksi Catialla, minkä jälkeen malli siirrettiin Algoriin. Algorissa korin takaosa lukittiin paikoilleen takauskunvaimentimien yläpäistä ja etuiskunvaimentimien yläpäistä väännettiin. Edellä mainitun tekniikan avulla voitiin tutkia mitä auton kohtaa tulisi muokata ja vahvistaa. Korin lopulliset lujuuslaskelmat tehtiin Dassault systemesin Abagus-ohjelmalla projekti-insinööri Harri Santamalan toimesta. Abagukseen siirryttiin sen monipuolisuuden takia ja koska ohjelman käyttäminen hallittiin paremmin. Se soveltui myös paremmin hiilikuiturakennelaskelmiin.

Jotta E-RAsta saatiin hyvän näköinen tarvittiin mukaan muotoilunopiskelijoita. Ulkonäköä ei voida ohittaa, mikäli autosta halutaan hyvännäköinen ja varsinkin E-RAn tapauksessa haluttava. Me teimme yhteistyötä Lahden taideinstituutin kanssa. Lahdesta mukaan projektiin tuli viisi muotoilijaopiskelijaa. Aikaisemmissa Metropolian projekteissa mukana ollut muotoilija Timo Suomala toimi muotoilijoiden tukena ja ohjaajana. Auton ulkokuoren suunnittelu alkoi palaverissa, jossa muotoilijoille annettiin tärkeimpiä korin mittoja, kuten akseliväli, raidelevyys ja renkaiden koko. Muuten muotoilijat saivat lähes vapaat kädet suunnitteluun. Muotoilijat tekivät korin ulkonäöstä useita piirrustuksia, joista valitsimme mielestämme parhaat ja niitä lähdettiin jatkokehitettämään. Pidimme useita palavereja, joissa käytiin muotoilijoiden kanssa läpi, mikä on mahdollista valmistaa ja mitä korin paneeleissa tulisi ottaa huomioon. Esimerkiksi puskureiden saumat, luukkujen tiivistäminen ja vesiurat ovat asioita, jotka tulee huomioida jo paneelien suunnittelu vaiheessa.

3D-mallinnuksessa on hankalaa hahmoittaa tietokoneen näytöltä, minkäkokoinen lopullinen kappale tulee olemaan. Toki ohjelmista saa ulos mittoja, joilla kokoa voi arvioida, mutta tarkkaa tuntumaa on vaikea saada. Auton koria suunniteltaessa mittojen hahmottaminen vaikeutuu entisestään, koska täytyy huomioida ihmisten mahtuminen matkustamoon. Catiasta löytyy työkalu, jolla suunnittelussa pääsee hyvään alkuun. Työkalun avulla 3D-malliin voi tuoda valmiiksi mallinnetun ihmisen, jonka raajoja pystyy liikuttamaan kuin oikeaa ihmistä. Halusimme saada kuitenkin varmuuden kuljettajan ja apukuljettajan mahtumisesta matkustamoon. Vaikka näytöllä näyttää, että ihminen mahtuu autoon helposti sisälle, saattaa matkustamo tuntua valmiina ahdistavan pieneltä tai ulosnäkyvyyttä on todella huonosti korkean keulan tai paksujen A-pilareiden takia. E-RAn matkustamosta tehtiin puumalli, jonka avulla pystyttiin varmistamaan ja hienosäätämään oikeat mitat matkustamolle. Puumallia kehitettiin projektin edetessä, ja siitä oli paljon hyötyä myös projektin myöhemmissä vaiheissa muun muassa ajoasentoa ja sisustaa suunniteltaessa. (Kuva 3.)



Kuva 3. Puumalli

Aerodynamiikkaa ei voida unohtaa suunniteltaessa urheiluautoa. Mikäli autosta halutaan nopea ja energiatehokas, ilmanvastuskerroin tulisi pitää mahdollisimman alhaisena. Valitettavasti projektissamme ei ollut mukana yhtään aerodynamiikan tuntijaa, joten aerodynaamiset ratkaisut perustuvat lähinnä hyviin arvauksiin. Tietokoneella tehdyt mallinnukset pyönteilyistä ja ilmanvastuksista jäivät 2D-tasolle. Aerodynamiikan osaajalle olisi ollut suurta tarvetta, mutta Suomessa osaajia on hyvin harvassa ja opetuksen saanti vaikeaa. E-RAn korista tehtiin pienoismalli 1:10-mittakaavassa ja se oli tarkoitus saada tuulitunneliin, mutta aika ei valitettavasti riittänyt siihen.

2.2 Rakenne

Eran kori on itsekantava hiilikuitumonokokki. Kori koostuu 24 eri osasta, jotka on liimattu ja laminoitu toisiinsa kiinni. Korin lisäksi autossa on 12 pintapaneelia, jotka eivät vaikuta korin jäykkyyteen, vaan ovat lähinnä ulkonäöllisistä ja aerodynaamisista syistä autossa kiinni. Näitä pintapaneeleja ovat muunmuassa etu- ja takapuskurit, lokasuojat ja konepelti. Korin paino pintapaneeleineen ennen maalausta ja ilman laseja on 155 kg ja maalauksen jälkeen 178 kg. (Kuva 4.)



Kuva 4. Raakakori, korin pyörittymisen mahdollistavan koripukin päällä. Korissa ei ole paneeleita kiinni.

Hiilikuitu itsessään ei ole paras mahdollinen kiinnitysalusta osille, joita joudutaan poistamaan ja asentamaan useasti. Kuidun kulutuskestävyys ei ole yhtä hyvää kuin esimerkiksi teräksellä. Mikäli hiilikuidun läpi pultataan kiinni kappale, jota joudutaan irrottamaan useasti, esimerkiksi tukivarren kiinnike, kuluu kuituun tehty reikä nopeasti ovaaliksi. Kiinnityspiste ei ole enään niin tarkka ja tukeva. Sen takia useille eri komponenteille jouduttiin tekemään kiinnike, joka liimattiin tai laminoitiin kiinteäksi koriin. Tästä syystä myös E-RAn tukivarret, raidetanko ja moottorit ovat kiinnitettyinä erilliseen metalliseen apukelkkaan auton alla. Apukelkkoja ei tarvitse poistaa autosta usein, joten niiden kiinnityspisteet säilyvät hyvinä. Toinen syy, miksi apukelkkoihin päädyttiin, on se, että E-RAn alustan osista ja moottoreista

saatiin suhteellisen huoltoystävälliset. Apukelkat moottoreineen ja tukivarsineen saadaan pudotettua yhtenä kappaleena autosta irti. Vaikka korin alla on apukelkat edessä ja takana, eivät ne tee E-RAsta rungollista autoa, koska apukelkat eivät ole toisiinsa yhteydessä kuin korin välityksellä.

2.2.1 Korin rakenteen optimointi

Korin rakenne poikkeaa normaalin polttomoottoriauton rakenteesta monilta osin, vaikka ulkoisesti hyvin saman näköisiä ovatkin. E-RAn korissa ei ole esimerkiksi erillistä avointa konehuonetta, vaan sähkömoottorit sijaitsevat kokonaisuudessaan korin alla. Korin jäykkyyden kannalta oli erittäin hyvä, että iskunvaimentimien yläpäästä pystyttiin yhdistämään toisiinsa jäykällä yhtenäisellä palkilla. Korin jäykkyys huomattavasti myös auton pitkäikäisyydessä kulkeva akkupaketin kotelo, sekä isot helmakotelot. Muutenkin suurin osa E-RAn pinnoista on koteloida. Suoraa hiilikuitulevyä on käytetty vain kohdissa, jotka eivät ole korin jäykkyyden kannalta kriittisiä. Kotelot ovat suurelta osin onttoja, mutta muutamissa paikoissa kotelo on täytetty Corecell-ydinaineella tuomaan jäykkyyttä. Corecellia käytettiin myös paikoissa, joissa jouduttiin tekemään uusia muotoja tai koteloida. Esimerkiksi turvavöiden kiinnityspalkin muoto rakennettiin ensiksi Corecellista, minkä jälkeen päälle laminoitiin hiilikuitua. Rakenteesta saadaan näin kevyt ja kestävä.

Monet sähköautot valmistetaan nykyisin jo valmiina olevan sarjatuotantoauton pohjalle, joten niissä ei pystytä hyödyntämään mahdollisuuksia, joita esimerkiksi pienet sähkömoottorit mahdollistavat. Mikäli normaali sarjatuotantoauto muutetaan sähköautoksi, yhdeksi suurimmaksi ongelmaksi muodostuu akkujen sijoittaminen. Paikan suhteen joudutaan lähes aina tekemään kompromisseja. Yleensä akut sijoitetaan takaluokkuun ja auton käytettävyys kärsii. Lähtökohtaisesti paras ratkaisu olisi sijoittaa akut mahdollisimman lähelle maata ja auton massakeskipistettä. Erassa akkujen viemä tila ja lisäpaino on yritetty käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyväksi. Akut ovat sijoitettu etupenkien väliin, sekä väliseinällä penkkien taakse. Akkujen vaihtuminen useaan kertaan ja akkupaketin kehittyminen projektin myötä lisäsivät runsaasti töitä. Alunperin suunniteltiin, että akut laskettaisiin autoon ylhäältä paikoilleen takalasin kohdalta, mutta akkujen vaihduttua jouduttiin suunnitelmia muuttamaan.

Uudet akut eivät enää mahtuneet yläkautta vaan auton pohja oli leikattava pois taka-akkupaketin kohdalta. Kaikki akut asennetaan nykyisin alakautta. Akkukotelot pultataan kiinteästi koriin, joten ne ovat tärkeä osa korin jäykkyyttä.

E-RAn korin rakenne ei ole erityisen sarjatuotantoystävällinen useine eri osineen ja vaikeine muotoineen. Rungon hinta tulisi olemaan korkea myös hiilikuidun käyttämisen takia. Mikäli E-RAsta tehtäisiin sarjatuotantoauto, korin designia pitäisi kehittää ja materiaali muuttuisi luultavasti alumiiniksi. Järkevillä muotoilullisilla ratkaisuilla ja hyvillä työstökoneilla rungosta on mahdollista saada erittäin kevyt ja jäykkä myös alumiinilla.

E-RA suunniteltiin aluksi lasikattoiseksi, joten katon tuomaa lisäjäykkyyttä ei voitu hyödyntää yhtä hyvin kuin kovakattoisessa versiossa. Myöhemmässä vaiheessa palattiin kuitenkin kovakattoiseen versioon, painonsäästön, helpomman valmistettavuuden ja huollettavuuden takia. Takalasin tuli olla irrotettava, joten olisi ollut hyvin hankalaa poistaa iso kattolasi kerralla pois.

2.2.2 Korin kiertojäykkyys

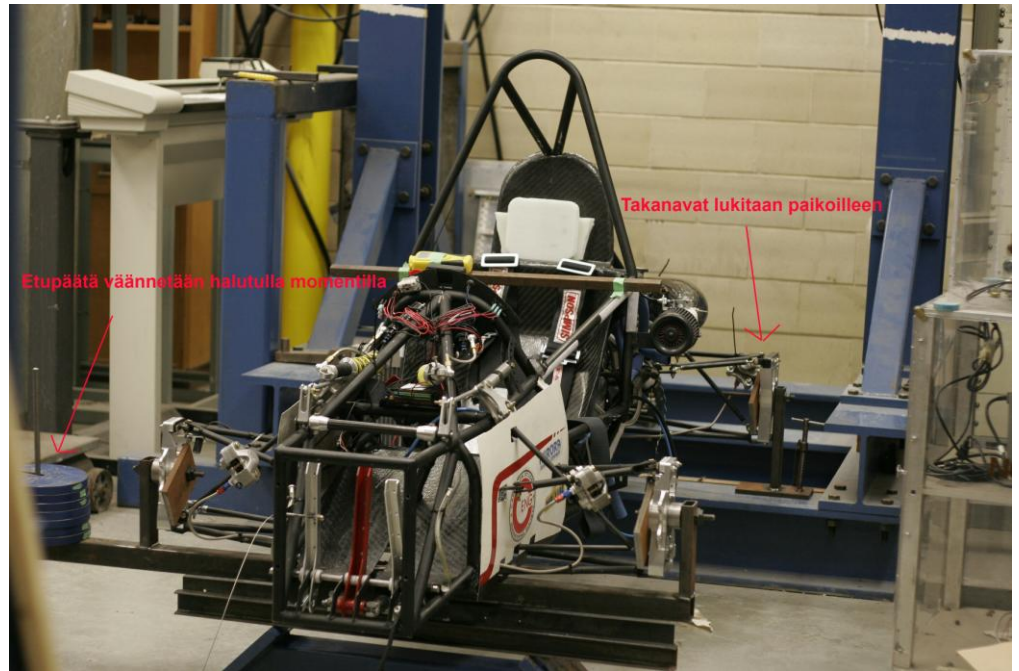
Korin kiertojäykkyys tai toisin sanoen vääntöjäykkyys kuvaa, kuinka paljon kori kestää vääntöä kiertyessään asteen verran. Korin kiertojäykkyydestä voidaan yleistää, että mitä jäykempi kori sen parempi auto on ajaa. Alustan tehtävänä on toimia jousina ja iskunvaimentimina, ei korin. Kolariturvallisuudenkin takia korin jäykkyys on hyväksi. Jäykässä korissa törmäysvyöhykkeet on suunniteltava tarkasti, jotta mahdollisessa kolarissa hidastuvuudet eivät nousisi liian suuriksi. E-RAn korin etu ja takaosaan on suunniteltu erilliset törmäysvyöhykkeet. Törmäysvyöhykkeet toteutettiin eripaksuisin kuitukerroksin, siirtyen ohuemmasta paksuudesta paksumpaan. Hyödynsimme myös Audi TT:n törmäyspalkkeja, jotka onnettomuuden sattuessa painuvat kasaan.

Emme valitettavasti ehtineet mittaamaan korin kiertojäykkyyttä tähän insinööriyöhön, mutta tavoitteena oli saada korista kiertojäykempi kuin 16 000 Nm/aste. Esimerkiksi Lotus Elisessä, jota pidetään nopeana sporttiautona korin kiertojäykkyys on 10 500 Nm/aste ja superauto Koenisegg CCS 58 000Nm/aste. Korin kiertojäykkyys ei ole täysin

vertailtavissa automallien kesken, eikä sitä voida käyttää automallien välisen paremmuuden selvittämiseen. Lähes poikkeuksetta kovakattoisissa autoissa on parempi kiertojäykkyys kuin avomalleissa. [1;2]

Vaikka lähtökohtana pidetään sitä, että mahdollisimman jäykkä kori on tavoite, niin järki pitää olla tietenkin mukana. Autosta on turha tehdä panssariautomaisten jäykkää mikäli sen ominaisuudet eivät sitä tarvitse. Yleensä jäykkyyden kustannuksella tulee myös painoa. E-RAssa kori suunniteltiin kuitenkin periaatteella, ettei kori rikkoutuisi ensimmäisenä. Projektin alkaessa oli myös useita avoina olevia kysymyksiä, kuten auton lopullinen paino ja moottoreiden tuottama vääntömomentti, joten runkoa ei voitu optimoida painon ja jäykkyyden suhteen. Muutenkin hiilikuitukorista, joka valmistetaan käsin on hyvin vaikea laskea FEM-ohjelmilla mikä lopullinen jäykkyys tulisi olemaan. Varmuusmarginaalia on hyvä laittaa reilusti.

Korin kiertojäykkyyden voi mitata monella eri menetelmällä, minkä takia autonvalmistajien ilmoittamiin lukemiin kannattaa suhtautua varauksella. Kiertojäykkyyden mittaaminen on helpointa tekemällä testipenkki, jossa autoa pystytään vääntämään luotettavasti ja toistettavasti. Ennen testausta auton etu- ja takajousien tilalle vaihdetaan jäykät rautapalkit, jotta voimat kohdistuisivat suoraan koriin. Molemmat takanavat lukitaan kannakkeilla tukevasti paikalleen, eikä napojen tulisi liikua yhtään. Etunapoihin kiinnitetään kannakkeet, jotka yhdistetään toisiinsa tangolla. Etunapoihin kiinnitettyä tankoa painetaan esimerkiksi metrin päästä 500 N:n voimalla. Korin kiertyminen voidaan mitata esimerkiksi kulmamittarilla, lasereilla tai mittakädellä. Korin kiertymä tulisi mitata auton etunapojen kohdalta eikä esimerkiksi törmäyspalkista, koska mitä edemmäs korissa mennään, sitä enemmän kiertymä kasvaa. Alustan puslat heikentävät saatua tulosta, koska puslat joustavat ja kori pääsee kiertymään enemmän. Optimitilanteessa puslat korvattaisiin pallonivelillä. Parhaimmillaan edellä mainittu testipenkki on tilanteissa, joissa testataan mahdollisia korimuutoksia. Silloin puslien aiheuttama korin lisäkiertymä ei kasva, vaikka koria olisi jäykistetty, koska käytettävä voima jolla väännetään pysyy samana. (Kuva 5.)



Kuva 5. Esimerkki korin kiertojäykkyyden mittaamisesta

2.3 Materiaalit

E-RAn kori haluttiin kevyeksi ja jäykäksi, joten vaihtoehdot materiaalista olivat vähissä. Koska haluttiin pysyä suhteellisen järkevässä budjetissa ja valmistettavuudessa, vaihtoehdot olivat lähinnä hiilikuitu tai alumiini. Lasi- ja aramidikuitu hylättiin huonommin sopivien ominaisuuksiensa takia. Lasikuitu hylättiin, koska sillä on heikompi jäykkyys-painosuhte kuin hiilikuitu. Aramidikuitujen huono puoli on niiden huono puristuslujuus sekä kuitukerrosten välinen leikkauskestävyys. Kuitu on myös hankala vaikea työstettävä, sillä hionta johtaa lähes poikkeuksetta nukkapintaan. Aramidikuidun kanssa työkalujen tulee olla ehdottoman puhtaita ja teräviä. Monilla valmistajilla on erikoistyökalut juuri aramidia varten. Aramidikuitu on kuitenkin hyvä materiaalivalinta, kun kappaleelta haetaan keveyttä, suurta vetolujuutta, jäykkyyttä sekä iskujuuutta ja -sitkeyttä. Titaani ja muut kalliit metallit hylättiin niiden kalliin hinnan ja vaikean työstettävyyden takia. [3, s.74—93.]

Hiilikuituun päätyminen oli lopulta melko selkeää, koska sillä on monipuoliset ominaisuudet ja se on todella monikäyttöistä. Alumiini vaatii lisäksi kalliita metallintyöstökoneita, sekä siitä on vaikea työstää kaarevia pintoja ilman pitkää peltisevän kokemusta. Hiilikuituosien valmistus ei vaadi kalliita laiteinvestointeja; uunit ja alipainepumput on mahdollista rakentaa varsin halvalla. Kuitumateriaalien yleistyessä niiden hinnat ovat tulleet lähemmäs yksityiskuluttajia. Hinta on ollut varmasti yksi suurimmista materiaalin käyttöä estävistä syistä. Toisaalta, koska hiilikuitu on tällä hetkellä ”muodissa”, tulee sen hinta varmasti laskemaan entisestään kysynnän ja tarjonnan kasvaessa. Aikaisemmista oppilaitoksen projekteista tullut kokemus ja osaaminen helpotti myös valintaa.

2.3.1 hiilikudut ja epoksi

Kori valmistettiin erivahvaisilla Guritin Sprint-kuidulla. Sprint-kuidut ovat kaksikerroksisia hiilikuitukankaita, joiden rakenne koostuu kahdesta hiilikuitukankaasta ja niiden välissä olevasta epoksikerroksesta. Sprint kuitu sisältää siis epoksin, joten sitä ei tarvitse märkälaminoida. Syy Sprintin käyttämiseen puoltaa se, että valmiista laminaatista tulee ainakin periaatteessa tasalaatuista, koska kuitu sisältää oikean määrän hartsia ja sitä levittyy joka paikkaan. Lopputuloksesta tulee siis kestävämpi ja kevyempi kuin käsinlaminoinnissa, jossa hartsia tulee helposti laitettua liikaa.

Sprint-kuidut tarttuvat muottia vasten suhteellisen hyvin tahmean pintansa takia. Kuitu säilytetään pakastimessa ja hetki ennen käyttöä se nostetaan sulamaan huoneenlämpöön. Kuidulle saadaan näin pitempi käyttöikä, koska huoneenlämmössä epoksi kovettuu käyttökelvottomaksi. Kuidun käyttöikä 21 celsiusasteessa on kaksi viikkoa ja -18 asteessa kaksi vuotta.

E-RAan käytettiin kahta eri Sprint-kuitua, RC200T ja RC303. Kuitujen numerot kertovat kuidun neliöpainon grammoissa, eli käyttämämme kuidut painoivat noin 200 ja 300g/m². Molemmissa kuidussa oli sama kudonta, 2 x 2 twill. Ulkonäöllisesti kuidut eroavat siitä, että RC300:ssa on paljon isompaa ruudukkoa. Suurempi ruudukko johtuu siitä, että RC303:ssa on käytetty kuituna 12K-kuitua ja RC20T:ssä 3K-kuitua. 12K-tarkoittaa, että yhdessä hiilikuitusäikeessä on 12000 kuitua ja vastaavasti 3K-kuidussa yksi säie sisältää 3000 kuitua. Syy kahden erilaisen kuidun käyttämiseen on hinta. RC200 on käyttöominaisuuksiltaan parempaa mutta kalliimpaa.

Huonoa RC300:ssa on sen huono taitettavuus muotteihin. Käytimme sitä lähinnä helpoissa muoteissa, joissa ei ollut vaarana, että kuitu jää kantamaan tiukoissa reunoissa. Jossain tapauksissa paksummasta kuidusta oli iloa, koska silloin kuitukerrosten määrää voitiin vähentää. (Liite 1 ja 2)

Muutamassa paikassa käytettiin Guritin Sprint CBS-kuitua, joka on monikerroksinen hiilikuitukangas. Se on kuten muut Sprint-kuidut, mutta siinä on synteettinen ydin jäykistämässä rakennetta. Gurit lupaa sen olevan 80 prosenttia kevyempää kuin vastaavanvahvuinen teräs. Tähän tosin kannattaa suhtautua varauksella, koska kuidun ja teräksen ominaisuudet ovat hyvin erilaiset. CBS-kuitua käytettiin muunmuassa kardaanitunnelissa, ovissa, lokasuojissa ja takaluukussa. CBS:sää oltaisiin voitu käyttää hyödyksi monissa muissakin paikoissa, mutta kuitu oli muita kalliimpaa, joten sitä ei tilattu suurta määrää. (Liite 3.)

Kaikki Sprint-kuidut kovetetaan korotetussa lämpötilassa alipaineessa. Kuitujen tulee olla alipaineessa, siihen asti kunnes kovettuminen on tapahtunut. Jotta kuitujen sisässä oleva epoksi saadaan aluksi juoksevaksi ja lopuksi kovettumaan, kuidut tarvitsevat lämpöä. Sprint-kuitujen tuoteselosteissa kerrotaan, että lämpötilassa 90 °C uunitusaika on 8 tuntia ja 120 °C:ssa tunnin, joten 10 °C lämpötilan nosto lyhentää uunitusta puolella. CBS-kuidulle maksimiuunituslämpötilaksi luvataan jopa 130 °C, joten uunitusaika on silloin enää 30 minuuttia. Siis mitä korkeammalle lämpötilan voi uunitaessa nostaa, sen nopeampaa osien valmistus on. Tuoteselosteessa kerrotaan myös tarkasti kuinka nopeasti lämpötilan saa nostaa tai jäähdyttää haluttuun arvoon. Uunilta vaaditaan siis jonkuntasoisia lämmönohjausta, jotta lämmöt pysyvät haluttujen arvojen sisällä. Kuitujen tuoteselosteet löytyvät liitteistä.

Projektissa käytettiin runsaasti myös kuivaa hiilikuitukangasta, johon on siis tarkoitus itse laittaa hartsit käsinlaminoimalla tai injektoimalla. Kuivaa kuitua käytimme korin saumojen vahvikkeeksi ja paikkoihin, joihin Sprint-kuitua olisi ollut vaikea laittaa. Käyttämämme kuitu oli 200g/m², 3K ja twilli-kudonnalla. Kuidun muotoiltavuuteen ja sitä kautta käyttömukavuuteen vaikuttavat enemmän K-luku ja kudonta kuin kuidun tiheys. Kudonnalla vaikutetaan myös kuidun stabiilisuuteen, pinnan tasaisuuteen ja kastumisnopeuteen. [3, s.128—130.]

Käsinlaminoinnissa käytimme Guritin SP 115-epoksia, joka on matalaviskositeettinen hyvin UV-valoa kestävä epoksi. SP 115 on suunniteltu erityisesti paikkoihin, joita ei maalata. Epoksi tekee kappaleeseen kiiltävän ja tasaisen pinnan. SP115:n käyttö ei vaadi alipainetta, mutta me käytimme sitä usein vasinkin hankalissa paikoissa, jossa oli tärkeää saada kuitu painumaan joka paikkaan. Alipaineen käyttö parantaa myös kuitupitoisuutta, koska ylimääräinen hartsi imeytyy pois kuidusta. (Liite 4.)

2.3.2 Liimat

Käytimme kahta eri liimaa korin osien liittämässä toisiinsa, ITW Plexuksen MA425 ja MA830. MA425-liimaa käytimme hiilikuitu-hiilikuituliitoksiin ja MA830:tä lähinnä alumiini-hiilikuituliitoksiin. Molemmat liimat soveltuvat hyvin erilaisten materiaalien toisiinsa liimaamiseen, mutta liimojen ominaisuuksien takia niitä käytettiin projektissamme vain tiettyihin tarkoituksiin. Liimojen tuoteselosteissa niiden sanotaan soveltuvan muun muassa akryylin, polyesterin ja uretaanin liimaamiseen. Molemmat ovat kaksikomponenttisiä, joten liima puristetaan aina liimapurkkiin ruuvattavan sekoittimen läpi. Puristaminen tapahtuu erikoispuristimella, joka on suunniteltu käytettäväksi kyseisten liimapurkkien kanssa. Liima ja kovetin ovat erivärisiä, joten on helppoa päätellä, koska liima on varmasti sekoittunut tarpeeksi. Sekoitussuhde on 1:1. MA425 on sinisen väristä ja MA830 harmaata. Liimoille ominaista on erittäin voimakas haju, joten hengityssuojaimia on käytettävä aina liimatessa.

Hiilikuitu-hiilikuituliitoksissa käyttämämme liima, MA425, on hitaasti kuivuvaa. Tämä ominaisuus haluttiin, jotta isojen osien toisiinsa liittämässä liima ehtisi kovettumaan kesken liimauksen. Liiman työskentelyaika on 30—35 minuuttia, jonka ajan liimasaumaa saa muokata. Kovettumista voitiin nopeuttaa lämpöpuhaltimilla. Lopullisen kovuuden liima saavuttaa vasta useiden tuntien jälkeen. Liiman muihin haluttuihin ominaisuuksiin kuuluu liimasauman mahdollisimman suuri paksuus ja liiman joustavuus. Mahdollisuus liimasauman suureen paksuuteen haluttiin, koska tiedettiin että liimattavat pinnat eivät istu täsmällisesti toisiinsa. Liima vaatii 1—10 millimetrin paksuisen liimasauman, jotta liima saavuttaa sille luvutet lujuusarvot. Liimattavia pintoja ei siis suositella painettavaksi tiiviisti yhteen vaan saumalle tulee jättää tilaa. Liimalta haluttiin joustavuutta, jotta korin saumoihin, liimattavien pintojen väliin, ei syntyisi liian suuria jännityksiä johtuen joustamattomista liitoksista. MA425:n tuoteselosteessa luvataan liiman venyvän 120—140 prosenttia ennen murtumista. (Liite 5.)

Alumiinin ja hiilikuidun välistä liimamista tarvitsimme vain muutamissa kohdissa. Kyseisen liiman, MA830, työskentely aika on 4—6 minuuttia. Työskentelyaika riitti hyvin, koska liimattavat kappaleet olivat pieniä. Kyseinen liima on erittäin kestävä, sen lujuusarvot ovat melkein kasinkertaiset verrattuna korin saumojen liitoksissa käytettyyn MA425:een. MA830 joustaa 30—60 prosenttia ennen murtumistaan. Yleisesti ottaen liimoista voi sanoa, että mitä joustavampaa liima on, sitä pienemmät ovat sen lujuusarvot. Alumiinia käytimme korissa paikoissa, joihin kiinnitettiin kierreniittimutterit. Kierreniitit eivät sovellu hyvin hiilikuidun kanssa, koska kierreniitti puristuessaan kuitua vasten murtaa kuitua ja kitkapinnoista ei tule pitäviä. Kiristettäessä pulttia kierreniitit pääsevät siis helposti pyörimään. Alumiini tarjoaa pitävämmän ja kestävämmän tarttumispinnan, joten luvattuihin kiristysmomentteihin päästään. Monissa paikoissa käytimme myös liimattavia inserttejä. (Liite 6.)

2.3.3 Ydinaineet

Ydinaine tarkoittaa ainetta, jolla erilaiset koteloratkaisut täytetään. Käytimme ydinaineena eniten Corecell-täytevaahtoa. Corecell-ydinaineille on ominaista hyvä iskukestävyys, iskulujuus, lämmönkesto, hydrostaattisen paineen kesto, sekä helppo muotoiltavuus. Corecell on optimaalinen ratkaisu etenkin vaativiin kerrosrakennesovelluksiin. Riippuen Corecell-laadusta sen lämmönkesto on jopa 120 °C. Corecell soveltuu käytettäväksi polyesterin, vinyyliesterin ja epoksin kanssa. Corecellia myydään levyinä, ja sitä saa hankittua useilla eripaksuisina ja tiheyksisenä.

Ydinaineina käytimme myös yksi- ja kaksikomponenttiuretaania. Pursutettava 1K-uretaani sopii paremmin vaikeisiin ja ahtaisiin paikkoihin verrattuna Corecell-levyyn, mutta kestävyys kannalta se on huonompaa. 2K-uretaani on huomattavasti nopeammin kovettuvaa ja tasalaatuisempaa kuin 1K-uretaani, mutta huonona puolena on sen hankala sekoitus ilman tarkoitukseen suunniteltua annostelijaa. 2K-uretaanista saadaan valmistettua myös hyvin tiheää ja kovaa, mikäli uretaania sekoitetaan yli tarvittavan kovetustilavuuden. Käytimme monien eri valmistajien uretaaneja, ja ne hankittiin rauta- tai venetarvikekaupoista.

3 KORIN MUOTTIEN VALMISTUSTEKNIikka

Kun auton korin suunnittelu ja konsepti oli mietitty, oli edessä vielä suuri projekti ennen varsinaista osien valmistamista. Jokaisesta osasta piti tehdä muottikuva. Korin suunnittelussa ja mallinnuksessa mielessä piti aina pitää myös valmistettavuus, muottien tuli olla päästäviä sekä valmistettavissa jyrsimellä. 3D-mallinnusohjelmilla on helppoa ja nopeaa luoda vaikeitakin muotoja, mutta kun osia ruvetaan valmistamaan, oppii nopeasti arvostamaan pitkälle vietyä ja hyvää mallinnusta.

Kaikki korin osat valmistettiin samalla tekniikalla. Jokaiseen osaan oli oma muotti, johon laminoitiin hiilikuitua haluttu määrä. Jotta muotista pois otettava osa on siisti ja virheetön, tulee muotin olla mahdollisimman hyvä. Hiilikuitupinnasta tulee yhtä kiiltävä kuin muottipinta on, eli lasia vasten laminoitaessa saadaan peilipinta. Jopa pienimmät naarmutkin näkyvät armottomasti lopullisessa kappaleessa. Mikäli lopullinen kappale pintakäsitellään, esimerkiksi maalaamalla, voidaan muottien viimeistelystä hieman tinkiä. Jos kappaleita ruvetaan valmistamaan sarjatuotantona, kannattaa muotteihin panostaa, muottien tulisi mittatarkkoja ja kestäviä. Mikäli tuotannosta halutaan nopea, niin lämmitettävien muottien käyttäminen on suositeltavaa. Lämmitettävien muottien etuna on nopea lämpötilan nousu ja lämmön tuleminen sisältä ulospäin. Näin saadaan säädeltyä tarkemmin kuidun lämpötilaa, eikä tarvitse huolehtia niin paljon ympäröivästä ilmasta. Kuituosia valmistettaessa muotti ei joudu kovalle mekaaniselle rasitukselle, mutta sen tulee kestää erinäisiä kemikaalia ja useita lämpökuormituksia. Jos osia valmistetaan yksittäisiä kappaleita, voidaan pitkäikäisyydestä tinkiä. Muoteissa, joissa on vaikeita muotoja, saattaa olla, että muotti pitää rikkoa, jotta kappaleen saa irti.

3.1 Muottivaihtoehdot

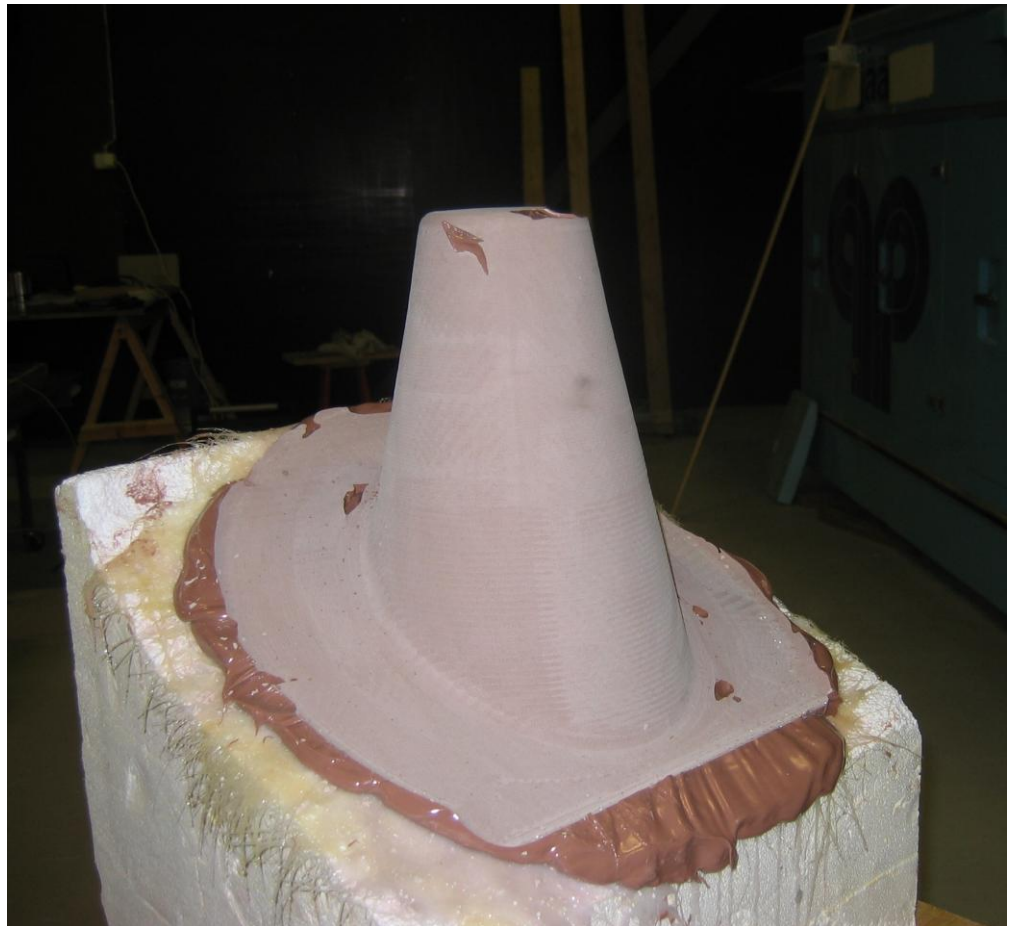
3.1.1 Pastamuotit

Suurin osa käyttämistämme muoteista on pastamuotteja. Pastamuottien käyttämiseen päädyttiin, koska ne tarjoavat mahdollisuuden tehdä monenmuotoisia ja -kokoisia muotteja. Pasta on siirappimaisen jäykkää nestettä, joka kuivuessaan kovettuu kovaksi muoviksi. Muottien tekeminen alkaa styroksipalasen liimaamisella tukevaan puiseen alustaan. Puinen alusta mahdollistaa kappaleen kiinnittämisen tukevasti ruuveilla maahan, jotta styroksia voidaan jyrsiä haluttuun muotoon. Jyrsimen ajoradat ovat noin sentin syvempiä kuin lopullinen pinta, koska pastalle pitää jättää varaa. Styroksin päälle levitetään siis pasta, joka jyrsitään lopulliseen muotoon.

Mitä tarkemmin ja paremmalla pinnanlaadulla jyrsiminen voidaan tehdä, sitä vähemmän tarvitaan käsityötä, jotta muoteista saadan kelvolliset. Pasta on materiaalina helppoa ja nopeaa jyrsiä. Pasta sekoitetaan koneella ja levitetään käsin koneen avustamana. Pastaa levitetään vain kohtiin, mistä jyrsitään, joten materiaalihäviöt jäävät pieniksi. Esimerkiksi E-RAn kattokaaret tehtiin yhdestä muotista, ja muotti vastasi kooltaan pientä

pakettiautoa, mutta pastaa siinä oli suhteessa hyvin vähän. Styroksin ja pastan väliin voidaan laminoida lasikuitua jäykisteeksi, jottei muotti ja styroksi menetä muotojaan paistettaessa hiilikuitua alipaineessa. . Käsинlevitetyt pastamuotit soveltuivat parhaiten korin osien valmistukseen monipuolisen valmistettävyyden ja hinnan takia. (Kuva 6.)

Pastaa saa ostettua myös valmiina pastablokkeina. Pastablokit ovat pastasta tehtyjä kappaleita, jotka voidaan jyrsiä haluttuun muotoon. Blokit ovat rakenteeltaan tasalaatuisia ja kestävät huomattavasti suurempia lämpöjä verrattuna käyttämäämme käsинlevitettyyn pastaan. Huonoin puoli blokeissa on niiden korkea hinta.



Kuva 6. Muotoonsa jyrstetty pastamuotti

3.1.2 Alumiini- ja MDF-muotit

Pastamuottien lisäksi projektissa on käytetty alumiinista ja MDF:stä tehtyjä muotteja. Edellä mainittuja muottivaihtoehtoja käytettiin lähinnä pintapaneeleissa, kuten takaluukussa ja konepellissä. Alumiinista voidaan valmistaa muotteja eri valmistustekniikoilla. Alumiininpalasesta voidaan joko jyrsiä muotti tai käyttää alumiinilevyä, johon prässätään muoto. Alumiinin huono puoli on viimeistelytöiden haasteellisuus ja suuritöisyys. Alumiinista on vaikea saada peilaamatonta kiiltävää pintaa. (Kuva 7.)



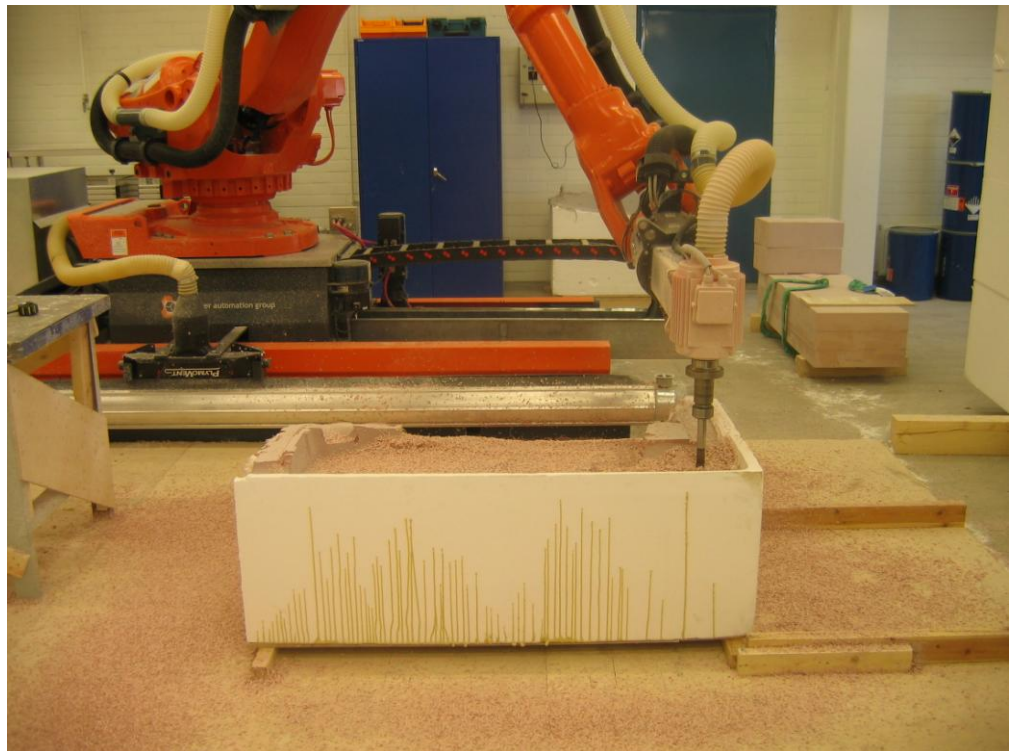
Kuva 7. Viimeistely takaluukun alumiinimuotti

Oikeanlaisia muottien valmistustekniikoita käyttämällä voidaan säästää huomattavasti aikaa ja rahaa. Muottia vasten tehtävä laminointi on perinteinen hiilikuidun valmistuksessa käytetty tekniikka, mutta autoteollisuuden kova tarve tehdä autoista kevyempiä ja turvallisempia on vauhdittanut kuituosien valmistustekniikoita. Kuidusta voidaan valmistaa nykyisin todella monimutkaisiakin kappaleita täysin koneellisesti. Autoteollisuus on vain yksi teollisuudenhaara, joka on lisännyt hiilikuidun käyttöä tuntuvasti; myös esimerkiksi rakennus- ja veneteollisuus ovat osoittaneet suuntautumisensa.

4 KORIN OSIEN VALMISTUS

4.1 Muottien valmistus

Eran korin muotit valmistettiin lähes ympäri Suomea. Muotit jyrättiin joko Pietarsaareissa Scan Mould Oy:ssä, joka on tunnettu veneiden muottien valmistuksessa tai Kuopin ammattikoulussa veneenrakennus puolella. Kuopiossa muotit jyrättiin kuusiakselisella ABB:n jyrätkoneella ja Pietarsaareissa viisiakselisella. Pietarsaaren jyrätkone mahdollisti 12,5 x 4,5 x 2,0 m:n työstöalueen ja jopa 0,02 mm:n työstötarkkuuden. Molemmissa yrityksissä CNC-jyrätkoneita käytetään normaalisti venemuottien valmistukseen. Pasta levitettiin aina Pietarsaareissa, joten muottien kuljetus välillä Kuopio—Pietarsaari tuli hyvin tutuksi projektin myötä. Myös Kuopiosta löytyi pastasekoituskone, mutta se ei soveltunut valitsemamme pastan sekoittamiseen. (Kuva 8.)



Kuva 8. Kuopion jyrätkone työstämässä ovensisäpinnan muottia

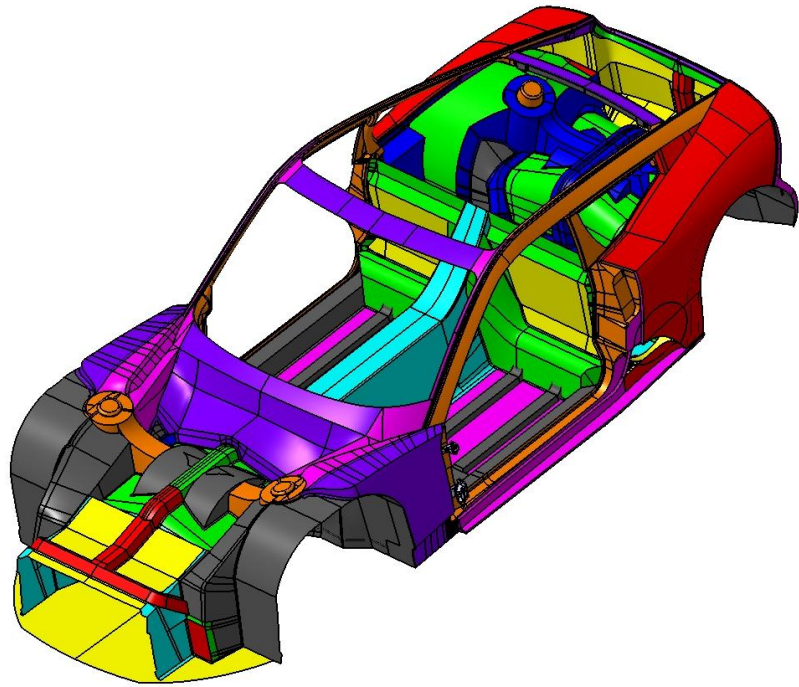
Muottien valmistuttua jyrsimistä oli niiden aika siirtyä Ilomantsiin Tesveca Oy:n tiloihin, joissa hiilikuituosien valmistus alkoi. Muotit tulivat siis joko Pietarsaaresta tai Kuopiosta. Muottien saavuttua alkoi muottien kova hiominen, sillä jyrsimien aiheuttamat koneistusjäljet olivat suuria. Muoteista olisi saatu huomattavasti paremmat, mikäli koneistusaikaa olisi ollut enemmän. Nyt muotteja haluttiin saada tasaiseen nopeaan tahtiin, joten koneiden lastuamisarvot olivat maksimissaan. Sen sai tuntea sormissaan tuntien hiomisen jälkeen. Olisi paljon parempi, jos muotteja ei tarvitsi hioa, koska mittatarkkuus kärsii heti käsihiomapaperiin siirtymisen jälkeen. Meillä ei vaihtoehtoja ollut. Joihinkin muotteihin jouduttiin tekemään lisämuotoja kitillä, koska pastaa ei oltu levitetty joka kohtaan tai koneistuksessa oli sattunut virhe. Monissa muoteissa kaikki terävät reunat jouduttiin hiomaan pyöreiksi, jotta kuitu saataisiin kääntymään muotoihin. Hiomapaperina käytimme papereita välillä P40—P320. Riippuen siitä kuinka viimeistelty osasta haluttiin. P120 olisi riittänyt mielestäni kaikkiin osiin, koska hionnan jälkeen muotit kävivät läpi vielä monta työvaihetta.

Tuntien hionnan jälkeen muotit kuljetettiin ilomantsilaisen maalarin tiloihin, jossa niihen pintaan ruiskutettiin musta epoksimaalikerros. Pastan pintaan pitää ruiskuttaa maali, koska pasta itsessään on huokoinen materiaali ja Sprint-kuitujen epoksi imeytyy huokosiin. Maalin värillä ei ole väliä, mutta maalin tulee kestää epoksia sekä kuumuutta. Valitsimme kiiltävän mustan, koska se paljastaa armottomasti pinnan muotovirheet ja epätasaisuudet. Kiiltävä maalipinta helpottaa myös kappaleen irtoamista muotista. Maalauksen jälkeen muoteista vesihioittiin suurimmat roskat ja valumat pois. Mikäli maalaus onnistuisi niin kuin olisi tarkoitus, vesihionnan ja mahdollisen pinnan kiillotuksen voi ohittaa.

Maalauksen jälkeen muotit käsiteltiin irrotusaineella. Irrotusaineen tehtävänä on tehdä kappaleen pintaan vahamainen pinta, jotta epoksi ei tarttuisi kappaleen pintaan. Irrotusaineita on monia, mutta me käytimme Frekote 700-NC:tä, koska siitä oli hyviä kokemuksia CityCab-projektista. Frekote levitetään kangaspalan avulla. Aluksi teimme muutamia osia täysin ohjeita noudattaen, oikeassa ilmankosteudessa ja lämpötilassa. Myöhemmin huomasimme, että osat irtosivat muoteista, kunhan vain irrotusainetta oli levitetty tarpeeksi. Ohjeiden mukaan kolme kerrosta riittää, mutta osissa, joissa halusimme varmistua kappaleen irtoamisesta muotista, levitimme viisi kerrosta. Varsinkin muoteissa, joissa on vaikeita muotoja, ei irrotusainetta kannata säästellä, se helpottaa osien irrottamista huomattavasti. Kerrosten välissä Frekoten tuli antaa kuivua noin viisitoista minuuttia. Mikäli samaan muottiin laminoidaan osia useita kertoja, ei laminoitien välissä tarvitse irrotusainetta levittää uudestaan vaan se pysyy muotissa.

4.2 Laminointi

Seuraava työvaihe on hiilikuidun latominen muotteihin. Projekti-insinööri Harri Santamala oli tehnyt laminoitikartat, joista näki kuidun määrän ja suunnan. Osien valmistus olisi ollut huomattavasti helpompaa mikäli jokaiseen muottiin olisi riittänyt vain yksi kerros kangasta, mutta parhaimmillaan kerroksia tuli seitsemän. Kuidut jouduttiin asettelemaan päällekkäin eri kulmiin toisiinsa nähden. Kartassa saattoi lukea esimerkiksi Sprint 200, 0°-45°-0°, joka tarkoittaa, että kyseiseen osaan käytetään Sprint RC200 -kuitua ja se ladotaan siten, että ensimmäinen kerros asetetaan kartassa näkyvän suunnan mukaisesti, toinen kerros 45 asteen kulmaan verrattuna ensimmäiseen kuituun ja kolmas kerros kuin ensimmäinen. Hiilikuitujen asemoinnissa tuli olla tarkkana, koska eri muotteihin saattoi tulla esimerkiksi viittä eri paksuutta ja eri kuituja sekaisin. (Kuva 9, Taulukko 1)



Kuva 9. E-RAn kori, jossa värit kertovat osien paksuuden millimetreissä

Paksuus(mm)	Väri
0,74	
1,2	Yellow
1,48	Red
2,04	Blue
2,22	Green
2,4	Cyan
2,5	Purple
2,55	Magenta
2,96	Grey
3,06	Orange

Taulukko 1. Korin osien kuitukerroksien määrä, suuntaus ja paksuus

Osa:	Kuitu(määrä ja suunta):	Paksuus(mm):
takapoikki LH ja RH	RC303 _0_45_0	2,22
kattokaari etu ja taka	RC303 _0_45_45_0	2,96
kattokaari keski	RC200 _0_45_45_0	2,04
keskilattia	CBS _0	1,2
	CBS _0_0	2,4
	RC303 _0_45_0	2,22
takakotelo	CBS _0	1,2
etulattia	CBS _0	1,2
	RC303 _0_45_45_0	2,96
	RC303 _0_45_0	2,22
	RC200 _0_0_45_45_0_0	3,06
etujäykkäri	RC200 _0_45_45_0	2,04
	RC303 _0_45_45_0	2,96
	RC303 _0_0	1,48
	RC200 _0_0_45_45_0_0	3,06
	RC303 _0_45_0	2,22
	Crashbox RC303 _0_0/6mm alu	1,48(+6mm alu)
	Crashbox RC303 _0_45_0	2,22
iskaritolppa LH ja RH	RC303 _0_45_45_0	2,96
	RC200 _0_0_45_45_0_0	3,06
takajäykkärit	RC200 _0_45_45_0	2,04
	RC303 _0_45_0	2,22
	Crashbox RC303 _0/6mm alu	0,74(+6mm alu)
	Crashbox RC303 _0_0	1,48
ulkokatto	RC200 _0_0_45_45_0_0	3,06
	RC200 _0_45_0_45_0	2,55
	RC303 _0/RC200 _45_45/RC303 _0	2,5
syylarinkotelo	CBS _0	1,2
	CBS _0_0	2,4
akkutuuletus LH ja RH	CBS _0	1,2

ulkokylki LH ja RH	RC200_0_0_45_45_0_0	3,06
	RC200_0_45_0_45_0	2,55
	RC303_0_0	1,48
	RC303_0/RC200_45_45/RC303_0	2,5
sisäkatto	RC303_0_0	1,48
	RC303_0_45_0	2,22
sisäkylki LH ja RH	RC303_0_45_0	2,22
	RC200_0_0_45_45_0_0	3,06
	RC200_0_45_45_0	2,04
	RC303_0_45_45_0	2,96
takalattia	RC303_0_45_45_0	2,96
	RC303_0_45_0	2,22
	CBS_0_0	2,4

Kuidut aseteltiin erilaisiin kulmiin, jotta kappaleesta saadaan kestävä. Esimerkiksi hiilikuitulevy, joissa kuitujen kulkusuunnat ovat pysty- ja vaakatasossa, kestää vetoa todella paljon kuitujen suunnassa, mutta mikäli levyä vedetään kulmista, on tilanne toinen. Silloin rakenteen pitää koossa lähinnä hartsia. Kuidut, jotka asetellaan 45 asteen kulmaan estävät tämän. Ideaalitulanteessa kaikki kappaleeseen kohdistuvat kuormitukset tiedettäisiin eikä kappaleesta tarvitsisi tehdä homogeenista. Käytännössä näin ei kuitenkaan ole vaan kappaletta suunniteltaessa kuitukerroksien suunta ja määrä tulee ottaa huomioon kuten myös kerroksien välinen symmetrisyys. Kuitujen järjestyksen tulisi olla peilikuva toisilleen kuitujen keskeltä katsottuna. Eli kuidut tulisi asettaa esimerkiksi 0°-45°-45°-0°, eikä 0°-0°-45°-45°. Näin vältetään myös laminaatin lämpölaajenemisongelmilta. Tyypillisesti kuitukerrosten väliset sisäiset jännitykset ovat pieniä, mutta korkeissa lämpötiloissa sisäiset jännitykset voivat kasvaa merkittävän suuriksi.

4.3 Kappaleiden valmistelut ennen kovetusta

Kuitujen ollessa muotissa hiilikuidun päälle laitettiin muovi, jonka päälle imuhuopaa. Muovin tehtävänä on erottaa imuhuopa epoksista, muuten imuhuopa imisi suurimman osan epoksista itseensä ja kappale menettäisi kestävyytensä. Mikäli muovia ei ole, imuhuopa tarttuu kappaleeseen todella kovaa eikä sitä saa irti muuten kuin hiomalla. Imuhuopa tulee levittää joka puolelle, missä kuitua on. Se mahdollistaa alipaineen pääsyn tasaisesti joka paikkaan. Jos kappale on iso, kannattaa imuhuovasta leikata lisäksi suikaleita ja asettaa ne kappaleen päälle helpottamaan alipaineen kulkua.

Muotin ympärille tehtiin säkkimuovista ilmatiivis säkki. Säkkimuoveja on erilaisia; me käytimme kuumankestävää ja ei-kuumankestävää säkkimuovia. Ei-kuumankestävä on väriltään vihreä ja kuumankestävä läpinäkyvää. Kuumankestävä muovi oli huomattavasti epämiellyttävämpää käyttää, koska se oli paksua ja kankeaa. Ei-kuumankestävä taas oli notkeaa ja venyi kaksinkertaiseksi, joten se hakeutui alipaineessa helposti vaikeisiin muotoihin. Käytimme vihreää säkkimuovia sen kuumankestävyysominaisuuksiensa rajoilla. Se kesti uunissa, jopa paremmin kuin sen ominaisuudet lupasivat, mutta mikäli epoksi pääsi muovin ja imuhuovan läpi kosketuksiin säkin kanssa, oli ongelmia tiedossa. Epoksi poltti säkkiin reiän ja säkki rupesi vuotamaan. Huolellisella alusmuovin levittämisellä tämä voitiin estää. Säkki tiivistettiin tiivistenauhalla eli mustalla makkaralla pastamuotin reunoihin. Jos mahdollista laitoimme muotin kokonaisuudessaan säkkiin, koska pastaa on lähtökohtaisesti huono tiivistää sen huokoisuutensa takia. Säkit vuotivat siis aina vähän. Kappaleeseen laitettiin imuletku, minkä jälkeen säkistä imettiin ylimääräiset ilmat pois. Tavoitteena oli saavuttaa pitävä säkki 0,9 baarin alipaineella. Alipaineen tehtävänä on painaa hiilikuitu muottia vasten ja saada kaikki hiilikuitukerrokset tiiviisti toisiaan vasten. Alipaineella saavutetaan huomattavasti kestävämpiä osia. (Kuva 10.)



Kuva 10. Kappale valmiina kovetukseen

Kun säkki saatiin pitämään, muotti siirrettiin uuniin, jonka lämpötilaa saatiin säädettyä. Uuni oli tietokoneohjattu, joten lämpötilan nousu saatiin ohjelmoitua tasaiseksi. Sprint-kuiduissa lämpötila saa nousta yli sadan asteen, mutta muottien kuumankestokyky tuli nopeasti vastaan lähestyttäessä sataa astetta. Mikäli uunin lämpötila nousi liian korkeaksi, muotit muuttivat muotoaan pastan pehmettyä ja vääntyivät. Märkälaminoinnissa kovetimme epoksiin noin kolmessakymmenessä asteessa alipaineessa, minkä jälkeen kappale siirrettiin uuniin ja se karkaistiin. Märkälaminoinnissa karkaisun tekeminen on tärkeää, sillä se saattaa parantaa kappaleen jäykkyysarvoja jopa puolella. Sprint-kuituja ei tarvitse erikseen karkaista. Kappaleen uunissa viettämä aika on riippuvainen lämpötilasta, periaatteena mitä kuumempi, sen nopeammin valmis. Eri epoksit vaativat toki eri kovettumis- ja karkaisuajan ja lämpötilan. Kappaleen oltua uunissa alipaineistettuna tarpeeksi pitkään voidaan kappale poistaa uunista, jäädyttää hyvin ja irroittaa muotista.

4.4 Korin osien yhdistäminen

Kori koostuu useasta osasta, ja ne pitää kiinnittää toisiinsa. Vaihtoehtoja on monia, pulttiliitoksesta laminointiin. Me päädyimme liimauksen ja laminoinnin yhdistelmään. Omissa testeissämme havaitsimme nykyaikaiset liimat todella hyviksi. Liimattaessa kaksi hiilikuitulevyä toisiinsa ja väännettäessä tai vedettäessä eri suuntiin kuitu murtui ennen liimasaumaa. Pelkällä liimalla saumoissa oltaisiin siis tultu toimeen, mutta halusimme saumoihin varmuusmarginaalia, koska saumojen liimapintojen laadusta ja liiman levittymisestä ei voitu olla täysin varmoja. Saumojen päälle märkälaminoitiin useita kuitukerroksia varmistukseksi.

Kaikissa korin osissa on erikseen huomioitu laippapinnat, jotka mahdollistivat tukevan liimauksen. Mitä vähemmän toisiinsa liitettäviä osia on, sitä helpompaa korin valmistaminen olisi ja mittatarkkuus säilyisi parempana. Korin rakenteelliset muodot eivät mahdollistaneet vain muutaman muotin käyttämistä. Modernit hiilikuidun valmistustekniikat mahdollistavat toki vaikeidenkin osien valmistuksen yhdestä muotista, kuten esimerkiksi injektointitekniikalla tai punomalla, mutta meillä ei ollut mahdollisuuksia niihin. Vastaavanlaisia tekniikoita käytetään lähinnä sarjavalmistusosissa, joissa muotin ja muun laitteiston hinta ei ole niin rajoittavana tekijänä.

Ennen liiman levittämistä laippapintoihin pinnat piti hioa suoriksi mikäli kuitu oli epätasainen, ja karhentaa pinnat hiomapaperilla. Hionnan jälkeen laippapinnat pyyhittiin asetonilla, jotta pintaan ei jäisi epäpuhtauksia ja liima saisi hyvän tartuntapinnan. Liiman levittämisen jälkeen laippapintoja ei ole tarkoitus puristaa toisiaan vasten lujaa, vaan liimalle tulee jättää tasainen paksuus. Me jouduimme oikaisemaan tässä kohdassa muutamaan otteeseen. Osa korin paneeleista oli niin kieroja, että ne oli pakko puristaa puristimilla paikoilleen, joten liimasauman tasaisesta paksuudesta jouduttiin joustamaan. Kierous johtui yleensä osien kovettamiseen tarvittavasta korkeasta lämpötilasta, joka muutti muotin muotoa tai jo lähtökohtaisesti väärään muotoon jyrstystä tai hiotusta pinnasta. (Kuva 11.)



Kuva 11. Liiman levittämistä laippapintoihin

5 KORIN TESTAAMINEN

Korin valmistuttua kori kuljetettiin trailerilla takaisin Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloihin Helsinkiin, jossa sitä edelleen muokattiin ja paranneltiin. Nopeasti korin saavuttua perille, siihen asennettiin apukelkat, joihin muun muassa tukivarret kiinnittyvät. Kun kelkat oli kiinnitetty autoon, haluttiin korin suoruus mitata. Yksi suurimmista haasteista oli saada korin etu- ja takapäät samaan linjaan, jotta auto saataisiin kulkemaan suoraan. Vaikka jokaisessa korin osan liimauksessa yritettiin olla äärimmäisen tarkka, ei mittavirheiltä voi välttyä. Korin osien sovituksessa apuna käytettiin elektronista mittakättä sekä Catiaa, josta näki suoraan mihin osien kuuluisi tulla. Helppoa osien yhdistäminen ei ollut. Se vaati erittäin suurta malttia, jotta kaikki saatiin hiottua millimetritarkkuudelle. (Kuva 12.)



Kuva 12. Osien paikantamista ennen liimausta elektronisen mittakäden ja tietokoneen avulla

Auton kori vietiin Rajamäen TTS:n aikuiskoulutuskeskuksessa olevalle Caroliner-alustamittauslaitteelle, jossa saatiin erittäin hyviä tuloksia. Pitkittäis- ja poikittaismitoissa suurin ero oli 3 mm ja ristimitassa (ns. avaruuslävistäjässä) ero oli 5 mm. Mitat ovat TTS:n mukaan paremmat kuin erällä merkeillä suoraan tehtaalta tullessaan. Tarkemmat mittauspöytäkirjat ja tiedot alustamittauksesta löytyvät Ilkka Karvosen opinnäytetyöstä: E-RA sähköauton apurungot. [4]

Kiertöjäykkyyden mittaaminen ja venymäliuskatutkimukset jäivät valitettavasti pois tästä opinnäytetyöstä, koska niitä ei yksinkertaisesti ehditty testaamaan.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOKEHITYS

Teoriassa hiilikuidun valmistaminen on hyvin yksinkertaista, tarvitaan vain muotti, hiilikuitua, alipainetta ja lämpöä. Käytännössä kaikki hiilikuituun liittyvät asiat voivat osoittautua odotettua hankalammaksi. Vaikka oppilaitoksella oli kokemusta aikaisemmasta hiilikuituautoprojektista, niin tuntuu että moni asia tuli silti opittua kantapään kautta.

E-RAn kori valmistui kesän 2009 aikana, ja sen kesän muistavat varmasti kaikki Ilomantsissa pitkiä päiviä viettäneet projektilaiset. Vaikka kesä oli todella rankka, niin se opetti myös paljon. Hiilikuituosien valmistus ja muokkaus tulivat kaikille vähintäänkin tutuksi. Monesti myös itse mallintamansa osan joutui myös hiomaan ja laminoimaan, joten ei voinut kuin itseään syyttää, mikäli sormenpäät olivat illalla kipeänä.

Kesän aikana vastaan tulleita pieniä ja suurempia ongelmia oli uskomattoman paljon. Aina ongelmiin keksittiin kuitenkin ratkaisu ja työt saatiin tehdyksi. Suurimpia haasteita oli alipaineen ja uunin kanssa. Alipaineen kanssa taisteltiin niin vuotavien säkkien kuin rikkoutuvien kompressorien kanssa. Uunissa taas ongelmana oli tarvittavan lämpötilan ja ilmankierron saavuttaminen, sekä tietokoneohjauksen toimimattomuus. Alussa pystyimme käyttämään pienempiä uuneja, koska valmistimme pienempiä osia, mutta mitä lähemmäksi päästiin valmista koria, sitä suurempi uunin piti olla. Se tarkoitti heti lisää ongelmia jo aikaisemmin havaituissa ongelmissa. Oman lisänsä tähän kaikkeen toi valmistustilojen riittämätön sähkönsaanti. Talon sähköverkkoa koeteltiin koko kesän ajan, ja se näkyi ainakin sulakkeiden kulutuksessa.

Antoisinta projektissa on mielestäni ollut se, että ensiksi on päästy suunnitelmaan, joka on pitänyt myöhemmin itse valmistaa. Suurelle osalle projektissa olleille tämä on ollut varmasti opettavinta. Käsitys siitä, mitä pystytään valmistamaan ja miten, pitäisi olla vankalla pohjalla. 3D-mallinnuksen mahdollisuudet ovat laajentuneet ja valmistustekniset laitteet tulleet tutuiksi.

Kori ei ole helpoin paikka lähteä jatkokehittämään autoa. Toki korista löytyy helposti parannettavaa ja kevennettävää, mutta jos halutaan optimoida painoa ja tilankäyttöä, tulisi koko kori tehdä uusiksi. Korista saataisiin pois muutamia kymmeniä kiloja ja se saataisiin viimeistellymmäksi, koska käsinlaminointia ja polven päällä tekemisen määrä putoaisi huomattavasti. Uuden korin tekeminen on valtava projekti niin ajallisesti kuin rahallisesti, joten se ei ole ainakaan ensimmäinen kohde, josta autoa lähdetään kehittämään. Tällä hetkellä korin tärkein jatkokehityksen paikka on apukelkkojen istuvuuden parantaminen. Auto tullaan purkamaan moottoreiden huoltoa varten talvella 2010—2011 ja samassa yhteydessä kori tullaan käymään läpi.

VIITELUETTELO

- [1] The list: Torsional rigidity [autofoorumi]. 21.3.2007. [viitattu 17.8.2010]. Saatavissa: <http://www.germancarforum.com/test-data/12334-list-torsional-rigidity.html>
- [2] Koenigsegg-autovalmistaja. Koenigsegg CCX specifications [verkkodokumentti, viitattu 17.8.2010]. Saatavissa: http://www.koenigsegg.com/models.php?model_submenu=specs&img=1
- [3] Saarela, Olli, Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry. 2003
- [4] Karvonen, Ilkka, E-RA sähköauton apurungot. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. 2010.

LIITELUETTELO

Liite 1. ST85 Carbon Structural SPRINT (RC200)

Liite 2. ST70 Carbon Structural SPRINT (RC303)

Liite 3. CBS ST86 Sprint CBS

Liite 4. SP115 Clear Epoxy Laminating System

Liite 5. PLEXUS MA425

Liite 6. PLEXUS MA830

ST 85

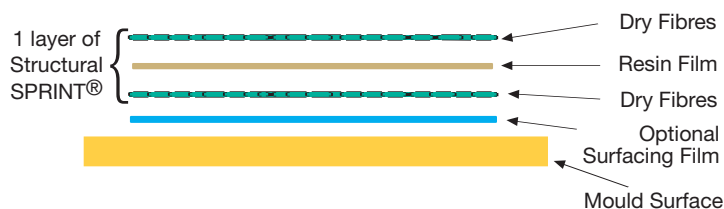
Carbon Structural SPRINT®

- Good toughness and balance of mechanical properties
- Drapeable and conformable
- Excellent laminate quality
- Very low void content (<1%)
- No debulking required
- Fast lay-up times/reduced cost

Introduction

The patent-approved ST 85 Structural SPRINT® is a moulding material that consists of a layer of woven carbon fabric either side of a precast, precatylised resin film. The material therefore has the appearance of dry reinforcement which has resin concealed at its centre.

ST 85 is a toughened hot-melt, epoxy resin that offers an extremely good balance of mechanical properties. It is ideal for structural components where improved impact performance and resistance to resin microcracking is desired. ST 85 has a flexible cure envelope from 12 hours at 80°C to 1 hour at 120°C. This makes it suitable for use in regular part production as well as for the development of trial components.



Cross-section of 1 ply of Structural SPRINT®

Typical End Use Applications

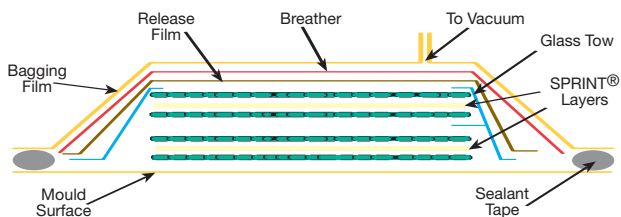
Structural SPRINT® ST 85 can be used in the making of chassis, bulkheads and general structural items for automotive, marine and industrial applications. The material is highly drapeable and has been designed for simple vacuum bag processing.

Instructions for Use

1. The moulding surface must first be treated with a release agent. If a Surface Film is required, this should be applied directly to the tool face prior to the layup of SPRINT®. Please refer to Processing Notes for application details.

The required number of plies of SPRINT® are then placed on to the tool and a thermocouple inserted into the lay-up outside the net trim line. Dry glass tows should be inserted between plies of SPRINT® to provide an air evacuation path out of the laminate. The second end of the tow should be made available for contact with the breather.

2. If required, a peel ply, pre-impregnated or dry, can be applied over the top of the laminate stack. Note that for good secondary bonding of a peel-plyed surface of a laminate, a nylon peel ply such as Gurit/Tygavac Stitch Ply A, is strongly recommended. The peel ply is covered entirely with a non-perforated release film such as Gurit/Tygavac WL3600 or a low bleed release film, such as WL3600RP2. The release film is then covered with breather material, such as Gurit/Tygavac Econoweave 44W, so that it extends over the release film in all directions and contacts the dry glass strands.



Typical processing diagram showing two SPRINT® layers

3. Once the lay up is complete, a vacuum bag is installed by standard techniques. At least two vacuum stems should be inserted through the bag, one connecting to the vacuum source and the other, at a point on the part furthest from the source, to a calibrated vacuum gauge. The major benefit of SPRINT® is that it enables all of the air to be removed from the laminate prior to fibre wet out and resin cure. It is recommended that a vacuum is applied at ambient temperature prior to cure, to fully evacuate the laminate stack. This should be held for between 5 minutes and 1 hour, depending upon the size and thickness of the component. Full vacuum is then maintained throughout the cure.

PLEASE NOTE: Further advice can be found in the SPRINT® Processing Notes or by contacting Gurit Technical Services.

4. Cure the laminate in accordance with the specification given later in this data sheet.

Curing schedule

Cure Envelope and Cured Properties

Structural SPRINT® ST 85 has a relatively flexible cure envelope. The minimum cure is 12 hours 80°C and a rapid cure is 1 hour at 120°C. Other cure temperatures and times are given in the Working Properties section.

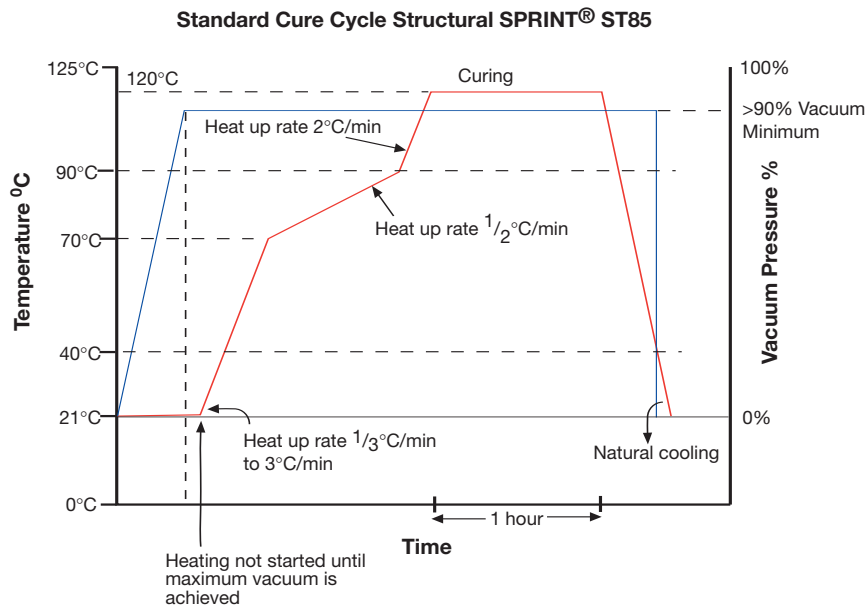
Structural SPRINT® ST 85 works by first applying a vacuum to the laminate stack to remove all air. It is recommended that an ambient vacuum is applied prior to cure, to fully evacuate the laminate stack. The temperature is then increased so that the matrix resin reduces in viscosity and wets the evacuated reinforcement within

the laminate. The temperature is then further increased to cause the matrix resin to cross-link and is then held at the cure temperature until the cross linking process is complete. Once this is achieved heating is removed so that the temperature is reduced under natural cooling. The vacuum must be maintained throughout the cure and until the part has cooled to 40°C.

Typical Cure Profiles

Note: The successful use of these cure schedule will depend on part size and laminate construction. Heat up rate and dwell periods need to be tailored to take consideration of oven capacity, thermal mass of tool, laminate construction etc. It is recommended that Gurit is contacted for further advice before utilising any of the suggested cure cycles.

	Ultra Slow Cure Schedule	Slow Cure Schedule	Standard Cure Schedule
	0.5°C/minute ramp to 70°C	2°C/minute ramp to 70°C	2°C/minute ramp to 70°C
	4 hour dwell @ 70°C	1/2°C/minute ramp to 85°C	1/2°C/minute Ramp to 90°C
	0.5°C/minute ramp to 85°C		2°C/minute ramp to 120°C
	12 hour dwell @ 85°C	10 hour dwell @ 85°C	45 minutes @ 120°C
Total Time	18 hours 10 minutes	10 hours 55 minutes	2 hours 5 minutes



Properties

Component Properties

Carbon SPRINT® is available from weights of 400g/sqm to 1320g/sqm on a range of fabric and fibre combinations. Products are available with a standard resin content (40-42% by wt) and extra resin for core-bonding (ranging from 47-50% by wt). See Price List for latest information.

Compatible Surface Films

SPRINT® can be used in combination with a variety of Gurit surfacing materials, suitable for many different applications.

These are available in film weights ranging from 150g/sm to 700g/sqm, and provide a range of surface quality and performance options. See Price List for latest information.

Compatible Adhesive Films

Gurit has a range of SA80 adhesive films which can be used with all SPRINT® materials. These are supplied with a supporting medium in 250g and 400g film weights. See Price List for latest information.

Mechanical Properties - SPRINT Matrix			
	Material		
	ST 85 / RC200T / 42% / RC200T	ST 85 / RC200T / 42% / RC200T	ST 85 / +45C3/37%/-45C3
Cure (time / temperature / pressure)	10 hours / 85°C / 1 Bar	1 hour / 120°C / 1 Bar	1 hour / 120°C / 1 Bar
Process	vacuum bag	vacuum bag	vacuum bag
Fibre Weight (g/sqm)	392	392	600
SPRINT® Areal Weight (g/sqm)	676	676	932
SPRINT® Resin Content (%bw)	42%	42%	37%
Tensile Strength (MPa)	632.31	620.81	835.79
Tensile Modulus (GPa)	59.49	58.75	59.49
Tensile Laminate Fibre Volume (%)	49%	49.4%	53.6%
Av. Cured Ply Thickness (mm)	0.45	0.45	0.65
Normalised Tensile Strength @ 60% FVF (MPa)	774.3	754.0	935.58
Normalised Tensile Modulus @ 60% FVF (GPa)	72.8	71.4	66.59
Compressive Strength (MPa)	554.3	568.69	517.00
Compressive Modulus (GPa)	50.9	51.5	
Compressive Laminate Fibre Volume (%)	49%	49.3%	53.6
Normalised Compressive Strength @ 60% FVF (MPa)	678.8	692.1	578.73
Normalised Compressive Modulus @ 60% FVF (GPa)			
ILSS (MPa)	65.36	65.30	57.44

Working Properties - SPRINT Matrix		
	Test Method	
	Minimum Cure Temperature (°C)	80
Minimum Cure Time (@ minimum cure temperature) (hours)	12	DSC
Minimum Viscosity (isothermal @ minimum cure temperature) (P)	21	Rheometer
Minimum Viscosity (1°C/minute ramp) (P)	4.5	Rheometer
Temperature @ minimum viscosity (1°C/minute ramp) (°C)	98	Rheometer
Minimum Cure Time @ 90°C (hours:minutes)	8:00	DSC
Minimum Cure Time @ 100°C (hours:minutes)	4:00	DSC
Minimum Cure Time @ 110°C (hours:minutes)	2:00	DSC
Minimum Cure Time @ 120°C (hours:minutes)	1:00	DSC

Health and Safety

Although SPRINT® materials have improved health and safety characteristics when compared to wet lay-up epoxy systems and conventional prepregs, the following points must still be considered:-

1. Avoid skin contact - wear disposable nitrile gloves.
2. Avoid eye contact. If this occurs, flush with water for 15 minutes and seek medical advice.
3. Ensure good ventilation of vacuum pump exhaust during laminate cure.
4. Avoid inhalation and eye contact with sanding dust. After any sanding operation of reasonable size a shower or bath should be taken and should include hair washing.
5. Wear overalls or other protective clothing. Thoroughly clean or discard soiled garments.
6. Use only resin removing creams/soap and water on exposed skin. Do not use solvents.

Washing should be part of routine practice:

- before eating or drinking
- before smoking
- before using the lavatory
- after finishing work

In the pre-cured state SPRINT® materials contain 'dry' fibres which can be released when the material is being cut or processed. Care should be taken while handling the material to prevent contact with the skin and to control the egress of fibres into the workplace. Products that contain carbon fibres should be treated with particular care as carbon fibre is electrically conductive. Electrical equipment should be protected from carbon dust and fibres.

Gurit produces a separate full Materials Safety Data Sheet for this product covering usage, transport, storage and emergencies. Please ensure that you have the correct MSDS's to hand for the materials you are using before commencing work.

Applicable Risk and Safety Phrases

R 36/38, 43, 52/53

S 24, 26, 28, 37/39, 61

Transport and Storage

When not in use SPRINT® products should be maintained at -18°C. Shelf life for SPRINT® ST85 is two years at -18°C and two weeks at 21°C. To avoid condensation on the rolls allow to reach room temperature before unwrapping.

Storage Conditions & Outlife

Storage time and temperature will have an affect on resin reactivity and fibre impregnation. The product can be stored for two years at -18°C or for 4 weeks at ambient temperature (20°C) without affecting resin reactivity. However, at ambient temperature the material will begin to self-impregnate much sooner than this, depending on size and tension of the roll, resin content and fabric style. We recomend therefore, that rolls of SPRINT® are stored frozen at -18°C and only brought to room temperature when pieces of material are required for use. Having cut the necessary pieces, we recommend that they are stored flat until use. Minimising the out time of the SPRINT® at room temperature will reduce the resin migration and preserve the handling properties.

When not being used SPRINT® should be stored in the freezer at all times. The self-impregnation of the SPRINT® can compromise its ability to generate high quality laminates as the air breathing properties decrease after a certain length of time at ambient temperature. Self-impregnation will increase the tack and reduce the drape of the material. While self-impregnation will vary from product to product, most SPRINT® materials stored at ambient temperatures will self-impregnate within approximately two weeks. Contact Gurit Technical Services for further advice.

Rolls of SPRINT® should be removed from freezer storage in sufficient time to allow them to warm up to ambient temperature before they are used. For most rolls an overnight defrost will suffice, however large rolls may take longer. Rolls of SPRINT® should always be supported horizontally by their cardboard tube, as laying the rolls on the floor or bench may result in lines of partially wet-out material at the areas of high pressure under the roll. Material should not be allowed to remain for long periods at ambient temperature before application, as this will compromise the handling properties.



Notice

All advice, instruction or recommendation is given in good faith but Gurit AG (the company) only warrants that advice in writing is given with reasonable skill and care. No further duty or responsibility is accepted by the Company. All advice is given subject to the terms and conditions of sale (the Conditions) which are available on request from the Company or may be viewed at the Company's Website: www.gurit.com/termsandconditions_en.html.

The Company strongly recommends that Customers make test panels and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company to ensure that they are suitable for the Customer's planned application. Such testing should include testing under conditions as close as possible to those to which the final component may be subjected. The Company specifically excludes any warranty of fitness for purpose of the goods other than as set out in writing by the Company. The Company reserves the right to change specifications and prices without notice and Customers should satisfy themselves that information relied on by the Customer is that which is currently published by the Company on its website. Any queries may be addressed to the Technical Services Department.

Gurit are continuously reviewing and updating literature. Please ensure that you have the current version, by contacting Gurit Marketing Communications or your sales contact and quoting the revision number in the bottom right-hand corner of this page.

Gurit (UK) Ltd

St Cross Business Park
Newport, Isle of Wight
United Kingdom PO30 5WU

T +44 (0) 1983 828 000

F +44 (0) 1983 828 100

E automotive@gurit.com

W www.gurit.com



ST 70

Carbon Structural SPRINT®

- Award winning SPRINT® matrix
- Long outlife at room temperature
- Zero volatile/solvent content
- Improved health and safety: Diuron-Free
- Available with a range of reinforcements
- Suitable for vacuum bag processing
- Controllable in thick sections
- Low exothermic properties
- Recommended cure between 70°C and 120°C
- Excellent laminate quality, low bleed
- Also available as ST70-1 Single Sided SPRINT®

Introduction

ST70 is part of the range of SPRINT® products. This unique product range provides technically and commercially competitive engineering materials, ideal for use either solely, or in conjunction with other products from within the product range along with other SP products.

ST70 is a hot melt, Diuron free epoxy SPRINT® ideally suited to the manufacture of thick sections. It can be cured at temperatures as low as 70°C, but can also be used for the rapid manufacture of components through its 25-minute cure at 120°C. All of this can be achieved together with an out-life of 21 days at 21°C.

ST70 is designed for vacuum bag processing and offers excellent mechanical performance on glass fibre reinforcements. Currently ST70 is manufactured into a SPRINT® structure with E-glass and Carbon fibres, which are manufactured into biax or woven materials. This data sheet is concerned with carbon reinforcements.

Instructions for Use

1. The moulding surface must first be treated with a release agent. If a Surface Film is required, this should be applied directly to the tool face prior to the layup of SPRINT®. Please refer to Processing Notes for application details.

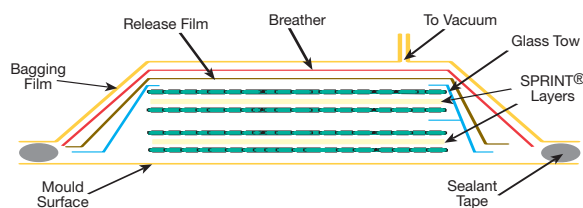
The required number of plies of SPRINT® are then placed on to the tool and a thermocouple inserted into the lay-up outside the net trim line. Dry glass tows should be inserted between plies of SPRINT® to provide an air evacuation path out of the laminate. The second end of the tow should be made available for contact with the breather

2. If required, a peel ply, pre-impregnated or dry, can be applied over the top of the laminate stack. Note that for good secondary bonding of a peel-plyed surface of a laminate, a nylon peel ply such as SP/Tygavac Stitch Ply A, is strongly recommended. The peel ply is covered entirely with a non-perforated release film such as SP/Tygavac WL3600 or a low bleed release film, such as WL3600RP2. The release film is then covered with breather material, such as SP/Tygavac Econoweave 44W, so that it extends over the release film in all directions and contacts the dry glass strands.
3. Once the lay up is complete, a vacuum bag is installed by standard techniques. At least two vacuum stems should be

inserted through the bag, one connecting to the vacuum source and the other, at a point on the part furthest from the source, to a calibrated vacuum gauge. The major benefit of SPRINT® is that it enables all of the air to be removed from the laminate prior to fibre wet out and resin cure. It is recommended that a vacuum is applied at ambient temperature prior to cure, to fully evacuate the laminate stack. This should be held for between 5 minutes and 1 hour, depending upon the size and thickness of the component. Full vacuum is then maintained throughout the cure.

PLEASE NOTE: Further advice can be found in the SPRINT® Processing Notes or by contacting Gurit Technical Services.

4. Cure the laminate in accordance with the specification given later in this data sheet.



Typical processing diagram showing two SPRINT® layers

Curing schedule

Cure Envelope and Cured Properties

Structural SPRINT® ST 70 has a relatively flexible cure envelope. The minimum cure is 16 hours 70°C and a rapid cure is 25 minutes at 120°C. Other cure temperatures and times are given in the Working Properties section.

Structural SPRINT® ST 70 works by first applying a vacuum to the laminate stack to remove all air. It is recommended that an ambient vacuum is applied prior to cure, to fully evacuate the laminate stack. The temperature is then increased so that the matrix resin reduces in viscosity and wets the evacuated reinforcement within the laminate. A dwell can be used at the "infusion" temperature to ensure good laminate quality. The temperature is then further increased to cause the matrix resin to cross-link and is then held at the cure temperature until the cross linking process is complete. Once this is achieved heating is removed so that the temperature is reduced under natural cooling. The vacuum must be maintained throughout the cure and until the part has cooled to below 60°C.

Note: The successful use of these cure schedule will depend on part size and laminate construction. Heat up rate and dwell periods need to be tailored to take consideration of oven capacity, thermal mass of tool, laminate construction etc. It is recommended that Gurit is contacted for further advice before utilising any of the suggested cure cycles. (See table on Cure Cycles).

70°C should be considered to be the minimum cure temperature to generate optimum mechanical properties. All temperature readings during cure should be taken from the lowest reading thermocouple.

Typical Cure Profiles

The successful use of these cure schedules will depend on part size and laminate construction. Heat up rate and dwell periods need to be tailored to take consideration of oven capacity, thermal mass of tool, laminate construction etc. Data in the table below is based on laminate temperatures, air temperatures may need to be higher. It is recommended that Gurit is contacted for further advice before utilising any of the suggested cure cycles.

	Ultra Slow Cure Schedule	Standard Cure Schedule	Fast Cure Schedule
	0.3°C/minute ramp to 55°C	1°C/minute ramp to 55°C	2°C/minute ramp to 55°C
	1 hour dwell @ 55°C	1 hour dwell @ 55°C	1 hour dwell @ 55°C
	0.3°C/minute ramp to 70°C	1°C/minute ramp to 70°C	2°C/minute ramp to 120°C
	16 hour dwell @ 70°C	16 hour dwell @ 70°C	25 minutes @ 120°C
Total Time	20 hours	18 hours	2 hours 15 minutes

NB. It is strongly recommended that laminate temperatures are monitored throughout the cure. 0.3°C/minute should be considered the minimum acceptable laminate ramp rate.

ST70 SPRINT® materials can be used with both SPRINT® or prepreg products. It is supplied with a poly backer and can be applied to the substrate with either side against the tool.

In order to maximise the potential of ST70 product range please contact the Gurit Technical Department. Contact details are on the back of this Product Data Sheet.

General prepreg working practices apply to these products, details of which can be obtained from the Gurit Guide to Composites or by contacting the Gurit Technical Department.

Matrix Properties

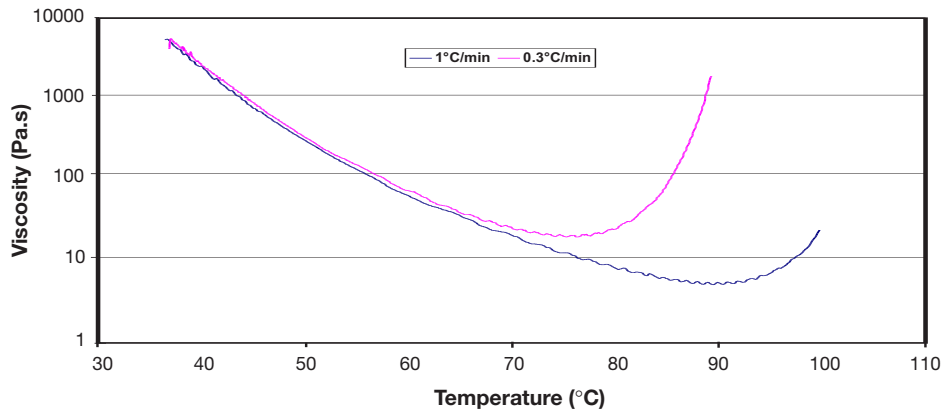
Uncured

Thermal properties (cure 20°C-250°C @ 10°C/minute)	
Enthalpy (J/g)	320

Colour	
Matrix	Translucent

Cure Temp (°C)	Cure Time
Minimum Cure Temperature (°C)	70
Time @ Min. Cure Temp (hours)	16
80°C (mins)	6hrs
90°C (mins)	3hrs
100°C (mins)	1.5hrs
110°C (mins)	45mins
120°C (mins)	25mins

Rheology	30-120°C @ 1°C/min	30-120°C @ 0.3°C/min
Temperature @ Min Viscosity (°C)	See Chart Below	See Chart Below



Cured - Neat Resin Properties

Mechanical Properties	
Tensile Modulus (GPa)	3
Tensile Strain (%)	3
Compression Strength (MPa)	125
Compression Modulus (GPa)	4
Matrix density (g/cm3)	1.2

SPRINT® Properties

Uncured

Material Properties		Notes
Tack	3-4 (for Tack Film)	Med Tack

Outlife	
At -18°C (months)	24
At 21°C (days)	30
Tack life at 21°C (days)	20

Material Safety Information	
Hazard Code	Xi, N
Risk Phrases	36/38, 43, 51/53
Safety Phrases	24, 26, 28, 37/39, 57, 60
Solvent Content	0
Volatiles Content	0

SPRINT® Reinforcement	ST70/RC303T/51%/RC303T	ST70/RC660T/51%/RC660T
Resin Content (%)	51	51
Fibre Weight (g/m ²)	600	1320
Aerial Weight (g/m ²)	1200	2640
Product Code	SA11-4475	SA11-4477
Resin Weights Available	41-50%	41-50%
Stitch Type/Weave	Twill	Twill
Fleeced	No	No
Backer Type	100µm MDPE	100µm MDPE
Available Roll Length (m)	-	-
Available Roll Width (mm)	1270	1270
Packaging Type	Packaging type is dependant on the length of roll requested	

Cured

SPRINT® Reinforcement	RC303/RC	RC660T/RC	Test Method
16hrs 70°C	51%	51%	
Tg1 (°C) (Laminate)	85	85	DMA
Tg Peak Tan Delta	104	104	DMA
0° Tensile Strength (MPa)	835	717.5	BS EN ISO 527
0° Tensile Modulus (GPa)	49.4	50.34	BS EN ISO 527
0° Tensile Strength (MPa) Normalised to 60%V _f	1213	1017.7	BS EN ISO 527
0° Tensile Modulus (GPa) Normalised to 60%V _f	72	71.4	BS EN ISO 527
0° Compressive Strength (MPa)	478	519.9	ISO 14126
0° Compressive Modulus (GPa)	40.9	42.4	ISO 14126
0° Compressive Strength (MPa) Normalised to 60%V _f	694.9	735.9	ISO 14126
0° Compressive Modulus (GPa) Normalised to 60%V _f	59.4	60	ISO 14126
0° ILSS (MPa)	57	49	BS EN ISO 14130
45° Tensile Strength (MPa)	127	155.9	BS EN ISO 527
45° Tensile Modulus (GPa)	11	12	BS EN ISO 527
Core Bonding Fracture Toughness Peel (J/m ²) P500 core	600	600	Gurit Internal

Health and Safety

The following points must be considered:

1. Skin contact must be avoided by wearing gloves. Gurit recommends the use of disposable nitrile gloves for most applications. The use of barrier creams is not recommended, but to preserve skin condition a moisturising cream should be used after washing.
2. If working in an enclosed area, local extraction and ventilation should be used.
3. Overalls or other protective clothing should be worn when laminating or sanding. Contaminated work clothes should be thoroughly cleaned before re-use.
4. Eye-protection should be worn. If contamination of the eyes occurs then flush the eye with water for 15 minutes, holding the eyelid open, and seek medical attention.
5. If the skin becomes contaminated then the area must be immediately cleansed. The use of resin-removing cleansers is recommended. To finish, wash with soap and warm water. The use of solvents on the skin to remove resins etc. must be avoided.

Washing should be part of routine practice:

■ **before eating or drinking**

■ **before smoking**

■ **before using the lavatory**

■ **after finishing work**

6. The inhalation of sanding dust should be avoided. If it settles on the skin then it should be washed off. After more sanding operations, a shower/bath and hair wash is advised.

Gurit produces a separate full Material Safety Data Sheet (MSDS) for all hazardous products. Please ensure that you have the correct MSDS to hand for the materials you are using before commencing work. A more detailed guide for the safe use of Gurit resin systems is also available and can be found on our website at www.gurit.com. Note: safety datasheet legislation can vary with country of use. CPDS are also available upon request.

Storage Conditions & Outlife

Storage time and temperature will have an affect on resin reactivity and fibre impregnation. When stored at -18°C SPRINT® can be stored for 24months without detrimental changes to the product. Storage times at higher temperatures are a function of fabric construction, roll length and resin content. These can be obtained upon request. However, the ST70 matrix resin system has specific properties that enable most combinations of fabric construction, roll length and resin content to be stored at 20°C for up to 21 days.



Transport & Storage

All SPRINT® materials should be stored in a freezer when not in use to maximise their useable life, since the low temperature reduces the reaction of resin and catalyst to virtually zero. However, even at -18°C, the temperature of most freezers, some reaction will still occur. In most cases after some years, the material will become unworkable.

Notice

SP is a technology brand of Gurit AG (the company). All advice, instruction or recommendation is given in good faith but the Company only warrants that advice in writing is given with reasonable skill and care. No further duty or responsibility is accepted by the Company. All advice is given subject to the terms and conditions of sale (the Conditions) which are available on request from the Company or may be viewed at the Company's Website: www.gurit.com/termsandconditions_en.html.

The Company strongly recommends that Customers make test panels and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company to ensure that they are suitable for the Customer's planned application. Such testing should include testing under conditions as close as possible to those to which the final component may be subjected. The Company specifically excludes any warranty of fitness for purpose of the goods other than as set out in writing by the Company. The Company reserves the right to change specifications and prices without notice and Customers should satisfy themselves that information relied on by the Customer is that which is currently published by the Company on its website. Any queries may be addressed to the Technical Services Department.

Gurit are continuously reviewing and updating literature. Please ensure that you have the current version, by contacting Gurit Marketing Communications or your sales contact and quoting the revision number in the bottom left-hand corner of this page.

Gurit (UK) Ltd

St Cross Business Park
Newport, Isle of Wight
United Kingdom PO30 5WU

T +44 (0) 1983 828 000
F +44 (0) 1983 828 100
E marine@gurit.com
W www.gurit.com

Gurit (Australia) Pty Ltd

Unit 1A / 81 Bassett Street,
Mona Vale, 2103 NSW,
Australia

T +61 (0) 2 9979 7248
F +61 (0) 2 9979 6378
E sales-au@gurit.com
W www.gurit.com

Gurit (Canada) Inc

175 rue Péladeau,
Magog, (Québec)
J1X 5G9, Canada

T +1 819 847 2182
F +1 819 847 2572
E info-na@gurit.com
W www.gurit.com

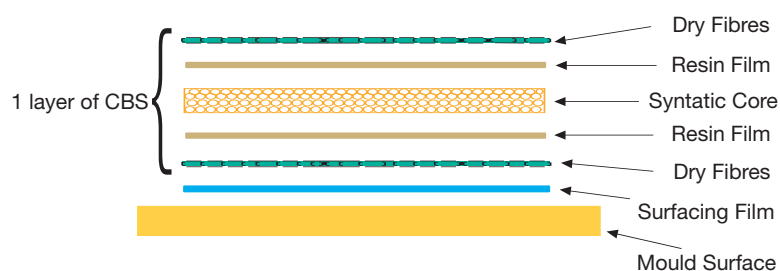
CBS ST86

SPRINT® CBS

- **Lightweight (up to 80% lighter than steel of equivalent stiffness)**
- **High Stiffness**
- **Fast cure - 30 minutes at 130°C**
- **Excellent drape and handling**
- **Fast lay-up times**

Introduction

The patent-approved SPRINT® CBS ST86, multi layered moulding material using epoxy resin and continuous fibre reinforcement containing an integral syntactic core and optional surface finishing ply. CBS 86 is a rapid cure system with either 1 hour at 120°C or 30 minutes at 130°C.



Cross-section of 1 ply of SPRINT® CBS

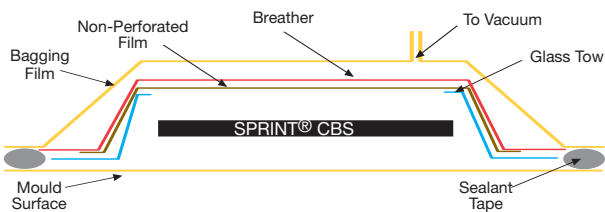
Typical End Use Applications

SPRINT® CBS ST86 is foreseen to be used alongside SF 95 in the making of body and closure panels for automotive applications and other similar panel mouldings. The 'single hit' moulding material will yield a panel at various thicknesses (see Component Properties). Once the prescribed curing procedure has been observed, the panel is ready for keying up before the application of a conventional paint system to give a class 'A' finish, when combined with SF 95 and appropriate DuPont™ Paint System. Contact Gurit for further information. The material has been designed for simple vacuum bag processing.

Instructions for Use

It is important to take care unrolling the material to avoid wrinkling or creasing the product.

1. Place the required number of plies of SPRINT® CBS on a tool or caul sheet which has been treated with a release agent or film. Surface film can be added prior to placement of SPRINT® - see Spec Sheet. Insert a thermocouple into the lay-up outside the net trim line. If required a second surface film can be applied on the back of the CBS to give a balanced and symmetrical laminate.
2. If required apply a peel ply, pre-impregnated or dry, over the top of the laminate stack. Note that for good secondary bonding of a peel-plyed surface of a CBS laminate, a nylon peel ply such as Gurit / Tygavac Stitch Ply A, is strongly recommended. Insert high tex glass strands at an interval of 0.5m on the perimeter of the tool on the front and back of the laminate lead them out so that they will protrude from underneath the next layer in the vacuum stack, the non perforated release film and contact the breather material. Cover the peel ply entirely with a non-perforated release film such as Gurit / Tygavac WL 4100 or equivalent. Cover the non-perforated release film with breather material such, Gurit / Tygavac Econoweave 44W or equivalent, so that it extends over the release film in all directions and contacts the dry glass strands (see diagram below).



Typical processing diagram showing a SPRINT® CBS layer

3. Install a vacuum bag by standard techniques. Insert at least two vacuum stems through the bag connecting one to the vacuum source and the other, at a point on the part furthest from the source, to a calibrated vacuum gauge. Position part in the oven and draw vacuum to check for bag or system leaks.

PLEASE NOTE: Further advice can be found in the SPRINT® Processing Notes.

4. Cure the laminate in accordance with the specification given later in this data sheet.

Cure Envelope

SPRINT® CBS ST86 has a relatively flexible cure envelope. The minimum cure is 120°C for 1 hour and a quick cure is 130°C for 30 minutes.

SPRINT® CBS works by first applying a vacuum to the laminate stack to remove all air. It is recommended that an ambient vacuum is applied prior to cure, to fully evacuate the laminate stack. This should be up to 5 minutes, depending upon the size and thickness of the component. The temperature is increased so that the matrix resin rapidly reduces in viscosity and wets the evacuated reinforcement within the laminate. The temperature is then increased to cause the matrix resin to cross link and is held until the cross linking process is complete. Once this is achieved the temperature is reduced under natural cooling whilst maintaining a vacuum until a maximum of 40°C is reached.

Curing Schedule

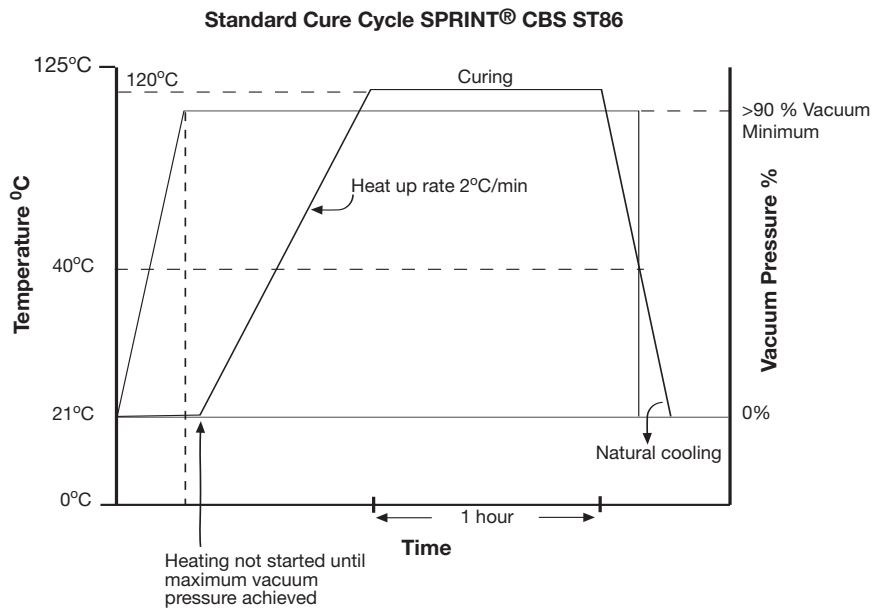
Typical Cure Profiles

The successful use of these cure schedule will depend on part size and laminate construction. Heat up rate and dwell periods need to be tailored to take consideration of oven capacity, thermal mass of tool, laminate construction etc. It is recommended that Gurit is contacted for further advice before utilising any of the suggested cure cycles.

Please contact Gurit for advice on post-cure schedule to achieve appropriate body panel Tg.

	Standard Temperature Cure	High Temperature Standard Cure
	2°C/minute ramp rate to 120°C	2°C/minute ramp to 130°C
	1 hour @ 120°C	30 minutes at 130°C
Total Time	1 hour 50 minutes	1 hour 25 minutes

NB. It is strongly recommended that laminate temperatures are monitored throughout the cure.



Properties

Mechanical Properties				
	SF 95 balanced CBS (0.7mm SY)	SF 95 CBS (1mm SY)	SF 95 WRE581/0.7/WRE581	RC660T SPRINT S/S (reinforcement)
Thickness nominal (mm)	1.85	2.15	2.4	0.74
Weight (gsm)	2390 ± 100	2630 ± 100	3360 ± 200	1150 ± 50
Density (nominal)	1290	1220	1400	1550
Skin 1 Construction	SF95 + 195gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	SF95 + 195gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	SF95 + 580gsm 2x2 twill woven E-glass	660gsm HS-12k 2x2 twill woven carbon
Skin 2 Construction	390gsm 2x2 twill woven E glass	390gsm 2x2 twill woven E-glass	580gsm 2x2 twill woven E-glass	N/A
Poisson ratio $V_{xy}=V_{yx}$	0.08	0.08	0.12	0.037
Long/trasv modulus (GPa)	12.4	11.0	10.0	53.9
Long/trasv flexural modulus (GPa)	11.0	12.0	12.0	53.9
Shear modulus (GPa)	1.54	1.33	1.9	3.5

Health and Safety

Although SPRINT® materials have improved health and safety characteristics when compared to wet lay-up epoxy systems and conventional prepreps, the following points must still be considered:-

1. Avoid skin contact - wear disposable nitrile gloves.
2. Avoid eye contact. If this occurs, flush with water for 15 minutes and seek medical advice.
3. Ensure good ventilation of vacuum pump exhaust during laminate cure.
4. Avoid inhalation and eye contact with sanding dust. After any sanding operation of reasonable size a shower or bath should be taken and should include hair washing.
5. Wear overalls or other protective clothing. Thoroughly clean or discard soiled garments.
6. Use only resin removing creams/soap and water on exposed skin. Do not use solvents.

This cleaning should be routine:

- before eating or drinking
- before using the lavatory
- before smoking
- after finishing work

In the pre-cured state SPRINT® materials contain 'dry' fibres which can be released when the material is being cut or processed. Care should be taken while handling the material to prevent contact with the skin and to control the egress of fibres into the workplace. Products that contain carbon fibres should be treated with particular care as carbon fibre is electrically conductive. Electrical equipment should be protected from carbon dust and fibres.

Gurit produces a separate full Materials Safety Data Sheet for this product covering usage, transport, storage and emergencies. Please ensure that you have the correct MSDS's to hand for the materials you are using before commencing work.

Applicable Risk & Safety Phrases

R 36/38, 40, 43, 51/53
S 26, 28, 36/37/39, 57

Storage Conditions & Outlife

Storage time and temperature will have an affect on resin reactivity and fibre impregnation. The product can be stored for two years at -18°C or for 2 weeks at ambient temperature (18-22°C) without affecting resin reactivity. However, at ambient temperature the material will begin to self-impregnate much sooner than this, depending on size and tension of the roll, resin content and fabric style. We recommend therefore, that rolls of SPRINT® are stored frozen at -18°C and only brought to room temperature when pieces of material are required for use. Having cut the necessary pieces, we recommend that they are stored flat until use. Minimising the out time of the SPRINT® at room temperature will reduce the resin migration and preserve the handling properties. When not being used SPRINT® should be stored in the freezer at all times.

The self-impregnation of the SPRINT® can compromise its ability to generate high quality laminates as the air breathing properties decrease after a certain length of time at ambient temperature. Self-impregnation will increase the tack and reduce the drape of the material. While self-impregnation will vary from product to product, most Single Sided SPRINT® materials stored at ambient temperatures will self-impregnate within approximately 2 weeks. Contact Gurit Technical Services for further advice.

Rolls of SPRINT® should be removed from freezer storage in sufficient time to allow them to warm up to ambient temperature before they are used. For most rolls an overnight defrost will suffice, however large rolls may take longer. Rolls of SPRINT® should always be supported horizontally by their cardboard tube, as laying the rolls on the floor or bench may result in lines of partially wet-out material at the areas of high pressure under the roll. Material should not be allowed to remain for long periods at ambient temperature before application, as this will compromise the handling properties.



Transport & Storage

When not in use SPRINT® CBS products should be maintained at -18°C. Shelf life for SPRINT® CBS is two years at -18°C and two weeks at 18-22°C. To avoid condensation on the rolls allow to reach room temperature before unwrapping.

Notice

All advice, instruction or recommendation is given in good faith but Gurit AG (the company) only warrants that advice in writing is given with reasonable skill and care. No further duty or responsibility is accepted by the Company. All advice is given subject to the terms and conditions of sale (the Conditions) which are available on request from the Company or may be viewed at the Company's Website: www.gurit.com/termsandconditions_en.html.

The Company strongly recommends that Customers make test panels and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company to ensure that they are suitable for the Customer's planned application. Such testing should include testing under conditions as close as possible to those to which the final component may be subjected. The Company specifically excludes any warranty of fitness for purpose of the goods other than as set out in writing by the Company. The Company reserves the right to change specifications and prices without notice and Customers should satisfy themselves that information relied on by the Customer is that which is currently published by the Company on its website. Any queries may be addressed to the Technical Services Department.

Gurit are continuously reviewing and updating literature. Please ensure that you have the current version, by contacting Gurit Marketing Communications or your sales contact and quoting the revision number in the bottom right-hand corner of this page.

Gurit (UK) Ltd

St Cross Business Park
Newport, Isle of Wight
United Kingdom PO30 5WU

T +44 (0) 1983 828 000

F +44 (0) 1983 828 100

E automotive@gurit.com

W www.gurit.com



SP 115

Clear Epoxy Laminating System

- **Excellent clarity**
- **Good ultra-violet resistance**
- **Rapid fibre wet-out**

Introduction

SP 115 is a low viscosity, ultra-clear epoxy laminating system. It has been designed for the manufacture of laminates such as those used in sail and surfboards which are to remain unpainted, and where a very clear finish is required. In this way colourful embedded graphics and attractive fabric weave styles can be kept visible. The material also contains UV filters which give the product its characteristic transparent pale violet/blue colour. These filters both enhance the sharpness of graphics, and, when overcoated with a suitable UV-screening PU varnish, will reduce the tendency of clear laminates to yellow after prolonged exposure to sunlight. The product is particularly suitable for use with glass fibre reinforcements which use fibre sizings optimised for wet-out and laminate clarity, such as RE210D.

SP 115 also exhibits a high degree of toughness and water resistance, enhancing the strength and damage tolerance of the thin laminates typically used in sail and surfboard manufacture. Being completely solvent and styrene-free, polystyrene foam blanks can be safely used to produce boards of the lightest possible weight.

Instructions for Use

Workshop Conditions

SP 115 is optimised for use between 18 - 25°C. At lower temperatures the product thickens and may become unworkable. At higher temperatures working times will be significantly reduced. Low Relative Humidity (<70%) and dry reinforcements are essential, both for creating high clarity laminates to clearly display graphics, and for the development of a full cure.

Surface Preparation

Before using the product ensure that the surfaces to be laminated or coated are clean, dry and dust-free. Use only SP Fast Epoxy Solvent (SP Solvent A) for cleaning sanded laminates. Do not use solvents on polystyrene foam.

When laminating, aim to use the lowest quantity of resin consistent with good fibre wet-out, and apply good consolidation techniques using a rubber squeegee. As a guide, the weight of mixed resin system per sq.m should not be greater than the weight of the fabric per sq.m.

Mixing and Handling

SP 115 resin is combined with SP 115 hardener in the following ratio:

SP 115 resin : SP 115 hardener
5 : 2 (by volume)
3 : 1 (by weight)

Use graduated plastic mixing cups (available from SP) for volumes in excess of 200ml. For smaller volumes use plastic syringes. Do not measure out more than can be used within 10 minutes.

The resin and hardener should be mixed thoroughly in the pot for at least one minute. The resin/hardener reaction generates heat (exotherm) which must be allowed to escape to prevent an uncontrollable rapid gelation in the pot. Transferring the epoxy mix to a shallow tray will help dissipate the heat of the reaction and prolong its usable life.

Cure Schedule

Cure between 15°C - 30°C. The SP 115 will cure at ambient/room temperatures providing adequate properties after 14 days. A laminate cured at ambient temperatures only should be left for as long as possible before being subjected to loads in use. The Cured System Properties table shows the mechanical properties achieved after 28 days at 21°C.

An elevated temperature postcure (up to 50°C) is recommended to fully stabilize the laminate for maximum properties. A postcure gives increased mechanical properties, particularly a higher heat deflection temperature, increased toughness of the finished laminate and increased colour stability.

An elevated temperature postcure can be applied after an initial 24 hour cure at room temperature. Support the moulded component adequately during the post-cure as the laminate will initially soften slightly as the temperature increases. Maximum cure at elevated temperature depends on temperature and time, e.g. 16 hours at 50°C, or longer at lower temperatures.

Additional Information

Overcoating or Over-Laminating

Further layers of SP 115 can be applied over existing SP 115 laminate if it is still tacky.

However, if the SP 115 has cured past the almost "tack free" stage (approx., 1½ hours at 30°C, 2 hours at 20°C and 3 hours at 15°C), it has lost its ability to bond to a fresh layer of mixed resin system. In such a case, if further layers of epoxy are required the surface must be left for a minimum of 12 hours at 25°C, or above, to become adequately hard. This period will be longer at lower temperatures.

When the surface is hard enough to sand, further epoxy layers can then be applied. The surface should be first wet sanded to obtain a good key, then wiped with SP Fast Epoxy Solvent (SP Solvent A) to remove the dust, prior to applying the new coating or laminate layer.

Flow Coating

SP 115 may be used as a cosmetic flow coat to obtain a thick, high gloss finish over the laminate. Before any finishing work or polishing with rubbing compound, leave the coating to cure for at least 48 hours, at 20-25°C.

Vacuum bags

These are not normally used in surfboard manufacture from a foam blank. Should the SP 115 system be used in a female mould or over a male plug, where a vacuum bag could be used, vacuum on and vacuum off times are given in Working Properties table.

Sail and Surf Board Construction Guide

Full details of sail and surf board construction and finishing can be found in the Board Construction Guide obtainable from SP.

Application Guides

SP produces a number of application guides to commonly performed tasks using these products. Please contact Technical services or your stockist to obtain a copy.

Properties

Component Properties		
	Resin	Hardener
Mix Ratio (by weight)	100	33.3
Mix Ratio (by volume)	100	40
Viscosity @ 15°C (cP)	1869	231
Viscosity @ 20°C (cP)	1166	173
Viscosity @ 25°C (cP)	723	131
Viscosity @ 30°C (cP)	451	98
Shelf Life (months)	12	12
Colour (Gardner)	pale violet	1
Mixed Colour (Gardner)	-	-
Component Dens. (g/cm ³)	1.163	0.969
Mixed Density (g/cm ³)	-	1.115
Hazard Definition	Xi, N	C

Working Properties vs. Temperature				
	Resin / Hardener			
	15°C	20°C	25°C	30°C
Initial Mixed Viscosity (cP)	1265	856	576	384
†Gel Time - 150g Mix in Water (hrs:mins)	-	1:00	0:35	0:21
†Pot Life - 500g Mix in air (hrs:mins)	0:45	0:33	0:23	0:16
†Latest Vacuum Flow Time (hrs:mins)	2:50	2:10	1:45	1:25
†Earliest Vacuum Off Time (hrs:mins)	4:00	3:10	2:30	2:00
†Demould Time (hrs:mins)	4:40	3:40	2:50	2:10

Notes: For an explanation of test methods used see 'Formulated Products Technical Characteristics'.

All figures quoted are indicative of the properties of the product concerned. Some batch to batch variation may occur.

†All times are measured from when resin and hardener are first mixed together.

Properties (cont'd)

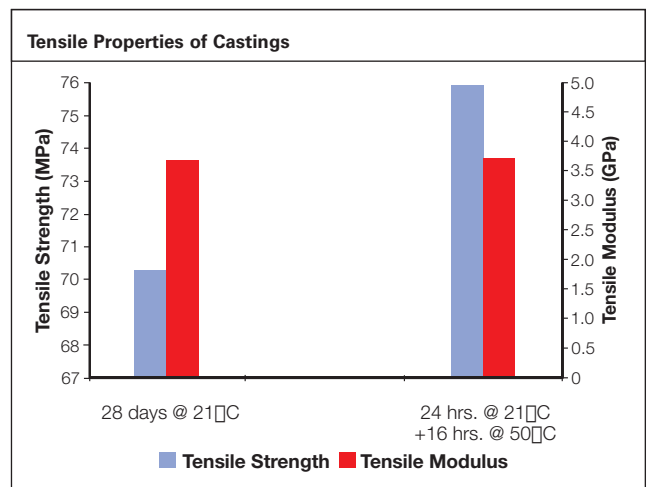
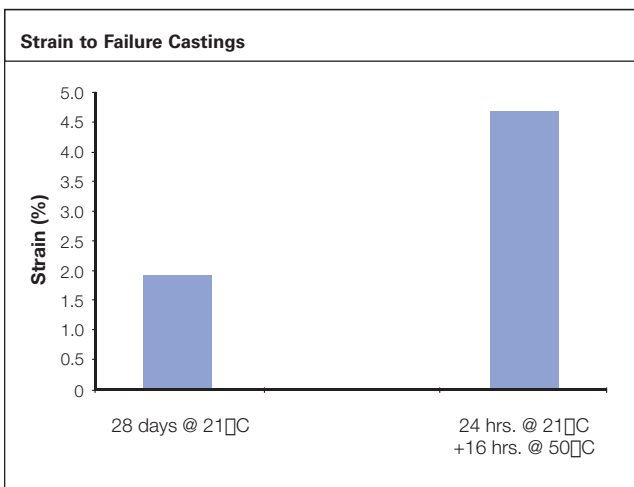
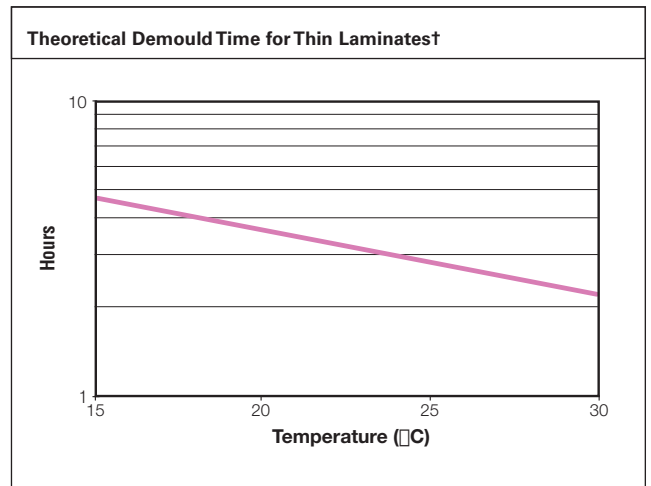
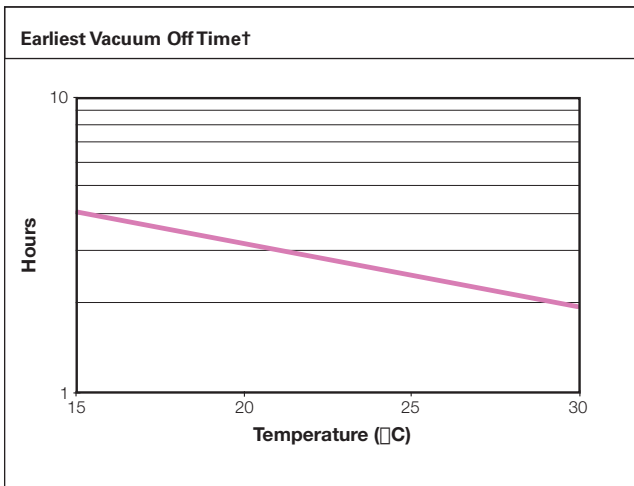
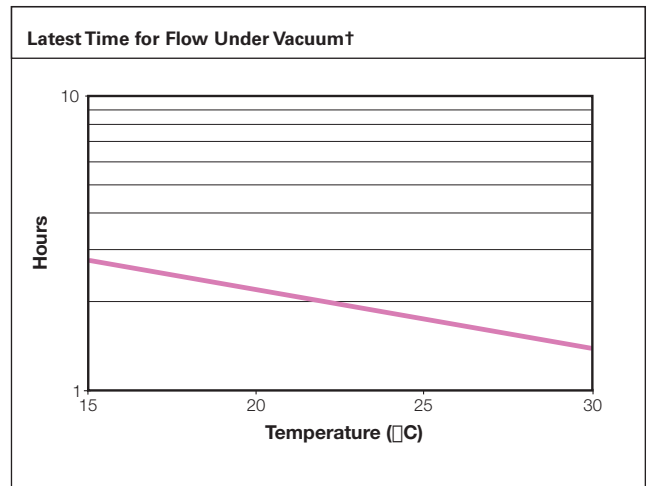
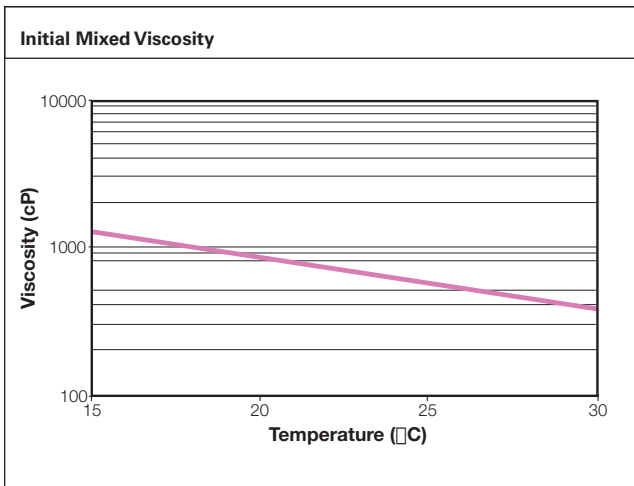
Cured System Properties		
	Cured (28 days @ 21°C)	Cured (24 hrs @ 21°C + 16 hours @ 50°C)
Tg DMTA (Peak Tan δ)(°C)	64.4	84.2
Tg Ult - DMTA (°C)	97.5	97.5
ΔH - DSC (J/g)	39	5
Tg1 - DMTA (°C)	54.4	74.2
Est. HDT (°C)	49	69
Mositure Absorption (%)	1.37	1.20
Cured Density (g/cm ³)	1.161	1.16
Linear Shrinkage (%)	1.6	1.6
Barcol Hardness	30	37
Cast Tensile Strength (MPa)	70.3	75.9
Cast Tensile Modulus (GPa)	3.67	3.70
Cast Strain to Failure (%)	1.9	4.7
Lam. Comp. Strength (MPa)	398	444
Laminate T.V.M. Strain (%)	2.1	2.0
Laminate ILSS (MPa)	49.9	60.2
ILSS Wet Retention (%)	76	77

Notes: For an explanation of test methods used see 'Formulated Products Technical Characteristics'.

All figures quoted are indicative of the properties of the product concerned. Some batch to batch variation may occur.

†All times are measured from when resin and hardener are first mixed together.

Properties (cont'd)

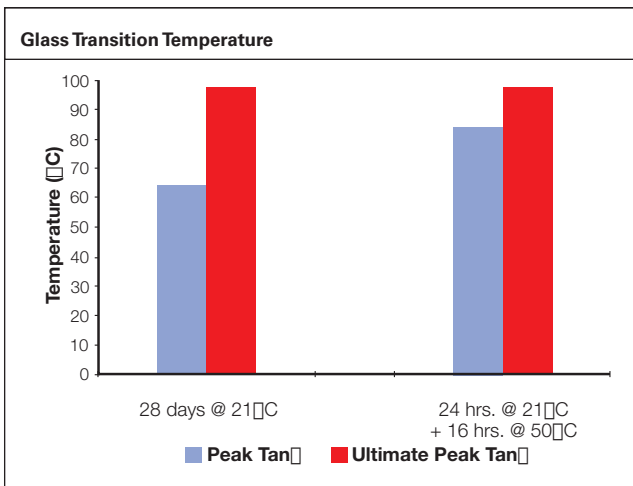
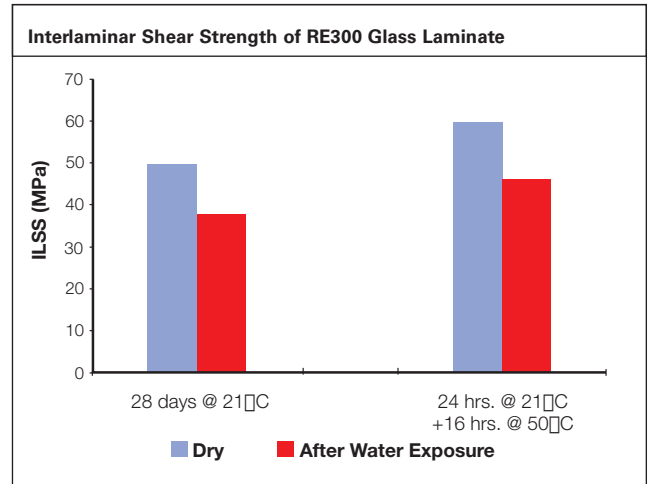
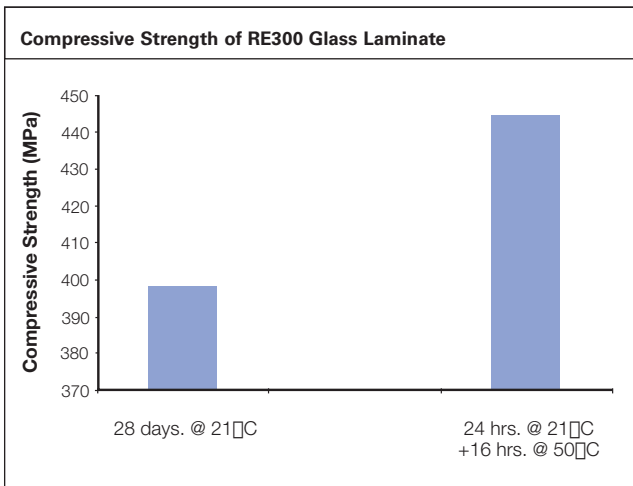


Notes: For an explanation of test methods used see 'Formulated Products Technical Characteristics'.

All figures quoted are indicative of the properties of the product concerned. Some batch to batch variation may occur.

†All times are measured from when resin and hardener are first mixed together.

Properties (cont'd)



Notes: For an explanation of test methods used see 'Formulated Products Technical Characteristics'.
 All figures quoted are indicative of the properties of the product concerned. Some batch to batch variation may occur.
 †All times are measured from when resin and hardener are first mixed together.

Health and Safety

The following points must be considered:

1. Skin contact must be avoided by wearing protective gloves. SP-High Modulus recommends the use of disposable nitrile gloves for most applications. The use of barrier creams is not recommended, but to preserve skin condition a moisturising cream should be used after washing.
2. Overalls or other protective clothing should be worn when mixing, laminating or sanding. Contaminated work clothes should be thoroughly cleaned before re-use.
3. Eye protection should be worn if there is a risk of resin, hardener, solvent or dust entering the eyes. If this occurs flush the eye with water for 15 minutes, holding the eyelid open, and seek medical attention.
4. Ensure adequate ventilation in work areas. Respiratory protection should be worn if there is insufficient ventilation. Solvent vapours should not be inhaled as they can cause dizziness, headaches, loss of consciousness and can have long term health effects.
5. If the skin becomes contaminated, then the area must be immediately cleansed. The use of resin-removing cleansers is recommended. To finish, wash with soap and warm water. The use of solvents on the skin to remove resins etc must be avoided.

Washing should be part of routine practice:

- before eating or drinking

- before smoking

- before using the lavatory

- after finishing work

6. The inhalation of sanding dust should be avoided and if it settles on the skin then it should be washed off. After more extensive sanding operations a shower/bath and hair wash is advised.

SP-High Modulus produces a separate full Material Safety Data Sheet for all hazardous products. Please ensure that you have the correct MSDS to hand for the materials you are using before commencing work. A more detailed guide for the safe use of resin systems is also available from SP-High Modulus, and can be found at www.gurit.com

Applicable Risk & Safety Phrases

Resin

R 36/38, 43, 51/53
S 2, 23, 24/25, 29/56,
37/39, 46

Hardener

R 20/21/22, 34, 43, 68, 52/53
S 1/2, 9, 26, 29/56, 36/37/39,
45



Transport & Storage

The resin and hardener should be kept in securely closed containers during transport and storage. Any accidental spillage should be soaked up with sand, sawdust, cotton waste or any other absorbent material. The area should then be washed clean (see appropriate Safety Data Sheet).

Adequate long term storage conditions for both materials will result in a shelf life of two years for the resin and one year for the hardener. Storage should be in a warm dry place out of direct sunlight and protected from frost. The temperature should be between 10°C and 25°C. Containers should be firmly closed. Hardeners, in particular, will suffer serious degradation if left exposed to air.

Notice

SP-High Modulus is the marine business of Gurit (the company). All advice, instruction or recommendation is given in good faith but the Company only warrants that advice in writing is given with reasonable skill and care. No further duty or responsibility is accepted by the Company. All advice is given subject to the terms and conditions of sale (the Conditions) which are available on request from the Company or may be viewed at the Company's Website: www.gurit.com/termsandconditions_en.html.

The Company strongly recommends that Customers make test panels and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company to ensure that they are suitable for the Customer's planned application. Such testing should include testing under conditions as close as possible to those to which the final component may be subjected. The Company specifically excludes any warranty of fitness for purpose of the goods other than as set out in writing by the Company. The Company reserves the right to change specifications and prices without notice and Customers should satisfy themselves that information relied on by the Customer is that which is currently published by the Company on its website. Any queries may be addressed to the Technical Services Department.

Gurit are continuously reviewing and updating literature. Please ensure that you have the current version, by contacting Gurit Marketing Communications or your sales contact and quoting the revision number in the bottom right-hand corner of this page.

UK

St Cross Business Park
Newport, Isle of Wight
United Kingdom PO30 5WU

T +44 (0) 1983 828 000
F +44 (0) 1983 828 100
E marine@gurit.com
W www.gurit.com

Australia

Unit 1A / 81 Bassett Street,
Mona Vale, 2103 NSW,
Australia

T +61 (0) 2 9979 7248
F +61 (0) 2 9979 6378
E sales-au@gurit.com
W www.gurit.com

New Zealand

32 Canaveral Drive, Albany,
Private Box 302-191,
North Harbour, 0751
Auckland, New Zealand

T +64 (0) 9 415 6262
F +64 (0) 9 415 7262
W www.gurit.com

Canada

175 rue Péladeau,
Magog, (Québec)
J1X 5G9, Canada

T +1 819 847 2182
F +1 819 847 2572
E info-na@gurit.com
W www.gurit.com

PLEXUS MA425

Description Plexus™ MA425 is a two-part methacrylate adhesive designed for structural bonding of thermoplastic, metal, and composite assemblies¹. Combined at a 10:1 ratio, it has a working time of 30 to 35 minutes and achieves 75% of ultimate strength in 80 to 90 minutes. Plexus MA425 is finding wide usage for composites bonding applications in the transportation and marine industries, because it requires virtually no surface preparation. In addition, this product provides a unique combination of excellent fatigue endurance, outstanding impact resistance, and superior toughness. Plexus MA425 is available in blue and is supplied in ready to use cartridges, 20 litre pails or 200 litre drums to be dispensed as a non-sagging gel.

Characteristics	Room Temperature Cure	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Working Time² 30 – 35minutes ▪ Fixture Time³ 80 – 90 minutes ▪ Operating Temperature -55°C – 121°C ▪ Gap Filling⁷ 1mm to 10mm ▪ Mixed Density 0.96 g/cc ▪ Flash Point 9°C 	

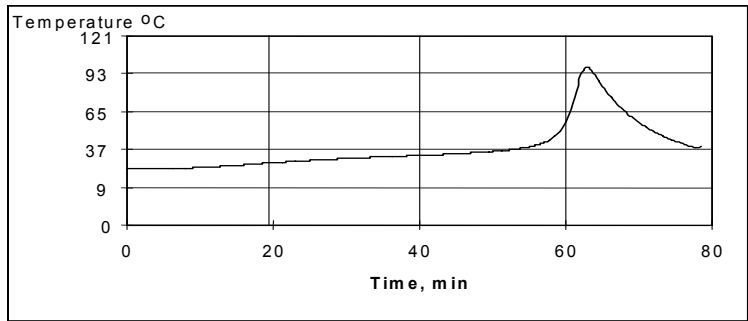
Chemical Resistance⁴	Excellent resistance to:	Susceptible to:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hydrocarbons ▪ Acids and Bases (3-10 pH) ▪ Salt Solutions 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Polar Solvents ▪ Strong Acids and Bases

Physical Properties (uncured) – Room Temperature	Adhesive	Activator
	<ul style="list-style-type: none"> Viscosity, cP 100,000 – 125,000 Colour Off-White Density, g/cc 0.95 Mix Ratio by Volume 10 Mix Ratio by Weight 9 Mixer Recommendation: Cartridge (380ml): Bulk: 	<ul style="list-style-type: none"> 40,000 – 60,000 Blue 1.06 1 1 MC10:24 Refer to ITW Plexus⁸

Mechanical Properties (Cured) Room Temperature	Tensile (ASTM D638)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strength, MPa 13.7 – 17.2 ▪ Modulus, MPa 275.8 – 344.8 ▪ Strain to Failure (%) 120 - 140 	

Recommended for:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ABS ▪ Acrylics ▪ FRP ▪ Gelcoats⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PVC ▪ Polyesters (including DCPD modified) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Styrenics ▪ Urethanes (general) ▪ Vinyl Esters
-------------------------	--	---	--

Lap Shear (ASTM D1002)	Cohesive Strength MPa	10.3 – 12.4
-------------------------------	------------------------------	-------------



Typical Exotherm Curve for MA425 at 23°C (10 grams)⁵

PLEXUS MA425

HANDLING AND APPLICATION

Plexus® MA425 adhesive (Part A) is flammable. Contents include Methacrylate Ester. Keep containers closed after use. Wear gloves and safety glasses to avoid skin and eye contact. Wash with soap and water after skin contact. In case of eye contact, flush with water for 15 minutes and get medical attention. Harmful if swallowed. Keep out of reach of children. Keep away from heat, sparks, and open flames. Reference the Material Safety Data Sheet for more complete safety information.

Note: Because of the rapid curing features of this product, large amounts of heat are generated when large masses of material are mixed at one time. The heat generated by the exotherm resulting from the mixing of large masses of adhesive can result in the release of entrapped air, steam, and volatile gases. To prevent this, use only enough material as needed for use within the working time for the product and confine gap thickness to no more than 10mm. Questions relative to handling and applications should be directed to ITW Plexus at +44 (0)870 458 758

DISPENSING ADHESIVE

MA425 may be applied manually or with automated equipment. Static mixer selection is critical to the proper mixing and performance of Plexus adhesives. For additional information concerning meter-mix equipment, contact ITW Plexus Sales Representatives. Pre-measured cartridges are also available, as well as the hand-held guns with which to dispense the adhesive. To assure maximum bond strength, surfaces must be mated within the specified working time. Use sufficient material to ensure the joint is completely filled when parts are mated and clamped. All adhesive application, part positioning, and fixturing should occur *before* the working time of the mix has expired. After indicated working time, parts must remain undisturbed until the fixture time is reached. Automated equipment should be constructed of stainless steel or aluminum. Avoid contact with copper or copper containing alloys in all fittings, pumps, etc. Seals and gaskets should be made of Teflon, Teflon-coated PVC foam, ethylene/propylene or polyethylene. Avoid the use of Viton, BUNA-N, Neoprene or other elastomers for seals and gaskets. Clean up is easiest *before* the adhesive has cured. Citrus terpene or N-methyl pyrrolidone (NMP) containing cleaners and degreasers can be used for best results. If the adhesive is already cured, careful scraping, followed by a solvent wipe may be the most effective method of clean up.

EFFECT OF TEMPERATURE

Application of adhesive at temperatures between 18°C and 26°C will ensure proper cure. Temperatures below 18°C will slow cure speed; above 26°C will increase cure speed. The viscosities of Parts A and B of this adhesive are affected by temperature. To ensure consistent dispensing in meter-mix equipment, adhesive and activator temperatures should be held reasonably constant throughout the year.

STORAGE AND SHELF LIFE

Shelf life of MA425 adhesive (Part A) is 1 year. Shelf life of activator (Part B), including cartridges that contain activators, is 9 months. Shelf life is based on continuous storage between 12°C and 23°C. Long term exposure above 23°C will reduce the shelf life of these materials. Prolonged exposure of activators, including cartridges that contain activators, above 37°C quickly diminishes the reactivity of the product and should be avoided. These products should never be frozen. For **expiry date** see label.

Notes

1. ITW Plexus strongly recommends that all substrates be tested with the selected adhesive in the anticipated service conditions to determine suitability.
2. Working Time: The time elapsed between the moment Parts A and B of the adhesive system are combined and thoroughly mixed and the time when the adhesive is no longer useable. Times presented were tested at 23°C.
3. Fixture Time: The interval of time after which surface being joined will support a 1 kg dead weight on a 12.7 mm overlap joint 25.4 mm wide without movement. Times presented were tested at 23°C.
4. Resistance to chemical exposure varies greatly based on several parameters including; temperature, concentration, bondline thickness, and duration of exposure. The chemical resistance guidelines listed assume long term exposures at ambient conditions.
5. In a typical bond line, exotherm temperatures will be lower than the temperatures shown.
6. Urethane-modified super-weathering gelcoats may require an alternate adhesive. As with all substrates, these gelcoats should be tested with the selected adhesive to determine suitability.
7. For bond gaps below the minimum quoted please contact ITW Plexus.
8. All machines dispensing Plexus should have shrouds where applicable.

All information on this data sheet is based on laboratory testing and is not intended for design purposes. ITW Plexus makes no representations or warranties of any kind concerning this data. Due to variance of storage, handling and application of these materials, ITW Plexus cannot accept liability for results obtained.

Plexus MA425 Rev 03/06

PLEXUS MA830

Description Plexus™ MA830 is a two-part methacrylate adhesive designed for structural bonding of metals without primers. In addition MA830 does a superb job of bonding thermoplastic and composite assemblies with little or no surface preparation¹. Combined at a 10:1 ratio, MA830 has a working time of 4 to 6 minutes and achieves 75% of ultimate strength in 20 to 25 minutes. This product provides a unique combination of high strength, excellent fatigue endurance, outstanding impact resistance, and superior toughness. Plexus MA830 is supplied in ready-to-use cartridges, 20 litre pails, or 200 litre drums and can be dispensed as a non-sagging gel using standard meter-mix equipment.

Characteristics	Room Temperature Cure	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Working Time² 4 – 6 minutes ▪ Fixture Time³ 20-25 minutes ▪ Operating Temperature -55°C – 82°C ▪ Gap Filling⁸ 1mm to 12mm ▪ Mixed Density 0.98 g/cc ▪ Flash Point 9°C 	

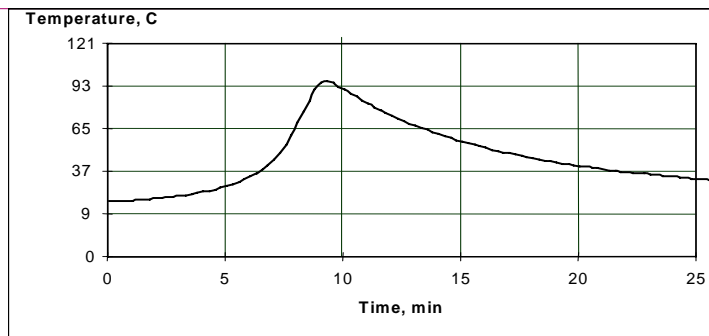
Chemical Resistance⁴	Excellent resistance to:	Susceptible to:
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hydrocarbons ▪ Acids and Bases (3-10 pH) ▪ Salt Solutions 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Polar Solvents ▪ Strong Acids and Bases

Physical Properties (uncured) – Room Temperature	Viscosity, cP	Adhesive 90,000 – 120,000	Activator 25,000 – 35,000
	Colour	Off-White	Grey
	Density, g/cc	0.97	1.07
	Mix Ratio by Volume	10	1
	Mix Ratio by Weight	8.86	1
	Mixer Recommendation:	Cartridge (380ml):	TAH 180A-824
		Bulk:	Refer to ITW Plexus ⁹

Mechanical Properties (Cured) Room Temperature	Tensile (ASTM D638)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strength, MPa 22 – 26.2 ▪ Modulus, MPa 485 - 690 ▪ Strain to Failure (%) 30 - 60 	

Recommended for:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ABS ▪ Acrylics ▪ Aluminium ▪ FRP ▪ Gelcoats⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PVC ▪ Polyesters (including DCPD modified) ▪ Steel, Carbon⁷ ▪ Steel, Stainless 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Styrenics ▪ Urethanes (general) ▪ Vinyl Esters
-------------------------	---	--	--

Lap Shear (ASTM D1002)	Cohesive Strength MPa	15.8 – 19.3
-------------------------------	------------------------------	-------------



Typical Exotherm Curve for MA830 at 23°C (10 grams)⁵

PLEXUS MA830

HANDLING AND APPLICATION

Plexus® MA830 adhesive (Part A) is flammable. Contents include Methacrylate Ester. Keep containers closed after use. Wear gloves and safety glasses to avoid skin and eye contact. Wash with soap and water after skin contact. In case of eye contact, flush with water for 15 minutes and get medical attention. Harmful if swallowed. Keep out of reach of children. Keep away from heat, sparks, and open flames. Reference the Material Safety Data Sheet for more complete safety information.

Note: Because of the rapid curing features of this product, large amounts of heat are generated when large masses of material are mixed at one time. The heat generated by the exotherm resulting from the mixing of large masses of adhesive can result in the release of entrapped air, steam, and volatile gases. To prevent this, use only enough material as needed for use within the working time for the product and confine gap thickness to no more than 12 mm. Questions relative to handling and applications should be directed to ITW Plexus at +44 (0)870 458 758

DISPENSING ADHESIVE

MA830 may be applied manually or with automated equipment. Static mixer selection is critical to the proper mixing and performance of Plexus adhesives. For additional information concerning meter-mix equipment, contact ITW Plexus Sales Representatives. Pre-measured cartridges are also available, as well as the hand-held guns with which to dispense the adhesive. To assure maximum bond strength, surfaces must be mated within the specified working time. Use sufficient material to ensure the joint is completely filled when parts are mated and clamped. All adhesive application, part positioning, and fixturing should occur *before* the working time of the mix has expired. After indicated working time, parts must remain undisturbed until the fixture time is reached. Automated equipment should be constructed of stainless steel or aluminum. Avoid contact with copper or copper containing alloys in all fittings, pumps, etc. Seals and gaskets should be made of Teflon, Teflon-coated PVC foam, ethylene/propylene or polyethylene. Avoid the use of Viton, BUNA-N, Neoprene or other elastomers for seals and gaskets. Clean up is easiest *before* the adhesive has cured. Citrus terpene or N-methyl pyrrolidone (NMP) containing cleaners and degreasers can be used for best results. If the adhesive is already cured, careful scraping, followed by a solvent wipe may be the most effective method of clean up.

EFFECT OF TEMPERATURE

Application of adhesive at temperatures between 18°C and 26°C will ensure proper cure. Temperatures below 18°C will slow cure speed; above 26°C will increase cure speed. The viscosities of Parts A and B of this adhesive are affected by temperature. To ensure consistent dispensing in meter-mix equipment, adhesive and activator temperatures should be held reasonably constant throughout the year.

STORAGE AND SHELF LIFE

Shelf life of MA830 adhesive (Part A) is 1 year. Shelf life of activator (Part B), including cartridges that contain activators, is 9 months. Shelf life is based on continuous storage between 12°C and 23°C. Long term exposure above 23°C will reduce the shelf life of these materials. Prolonged exposure of activators, including cartridges that contain activators, above 37°C quickly diminishes the reactivity of the product and should be avoided. These products should never be frozen. For **expiry date** see label.

Notes

1. ITW Plexus strongly recommends that all substrates be tested with the selected adhesive in the anticipated service conditions to determine suitability.
2. Working Time: The time elapsed between the moment Parts A and B of the adhesive system are combined and thoroughly mixed and the time when the adhesive is no longer useable. Times presented were tested at 23°C.
3. Fixture Time: The interval of time after which surface being joined will support a 1 kg dead weight on a 12.7 mm overlap joint 25.4 mm wide without movement. Times presented were tested at 23°C.
4. Resistance to chemical exposure varies greatly based on several parameters including; temperature, concentration, bondline thickness, and duration of exposure. The chemical resistance guidelines listed assume long term exposures at ambient conditions.
5. In a typical bond line, exotherm temperatures will be lower than the temperatures shown.
6. Urethane-modified super-weathering gelcoats may require an alternate adhesive. As with all substrates, these gelcoats should be tested with the selected adhesive to determine suitability.
7. Exterior applications require the use of coatings or primers that will inhibit oxidation of the steel.
8. For bond gaps below the minimum quoted please contact ITW Plexus.
9. All machines dispensing Plexus should have shrouds where applicable.

All information on this data sheet is based on laboratory testing and is not intended for design purposes. ITW Plexus makes no representations or warranties of any kind concerning this data. Due to variance of storage, handling and application of these materials, ITW Plexus cannot accept liability for results obtained.