
3D-tulostimen käyttö komposiittimuottien valmistuksessa

Milla-Riina Turunen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Milla-Riina Turunen	
Työn nimi 3D-tulostimen käyttö komposiittimuottien valmistuksessa	
Päiväys 9.5.2011	Sivumäärä/Liitteet 50+38
Ohjaaja(t) Koulutus- ja kehittämispäällikkö Anssi Suhonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) DigiBranch -hanke / Yliopettaja Esa Hietikko	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli tutkia 3D-tulostimen tulosteen toimivuutta komposiittimuottien valmistuksessa. Tutkimuksen tavoitteena oli keksiä menetelmä, miten tuloste kestää laminointiprosessin. Opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun DigiBranch -hankkeelle, jossa keskitytään tutkimaan ja kehittämään digitaalista tuotantoa.</p> <p>Työssä on tutkittu tulosteen soveltuvuutta komposiittimuottien valmistukseen. Tulostimena käytettiin Digilounge -hankkeessa hankittu ZPrint® 450 3D-tulostinta. Tulosteen kestävyttä ja soveltuvuutta prosessiin tutkittiin laminointikokeilla, vetokokeilla ja alipainesäkityskokeilla. Suurin ongelma oli tulosteen hauraus: tuloste murenee kostuessaan ja sitä käsiteltäessä. Kestävyuden parantamiseksi tulostetta käsiteltiin erilaisilla aineilla, kuten maaleilla ja sokeriliuoksella.</p> <p>Tutkimuksen pohjalta paras keino saada tuloste kestävämmän muovikomposiittimuottien valmistusprosessi oli käsitellä tulosteen pinta sokeriliuoksella. Liuoksella saatiin tasainen, kova ja veteen liukeneva pinta tulosteeseen. Sokeriliuoksella käsitellyn pinnan paras puoli on luontoystävällisyys ja mahdollisuus liuottaa muotti vedellä laminaatin kovetettua. Muotin liuottaminen vedellä mahdollistaa vaikeiden kappaleiden teon niin, että muottia ei tarvitse jakaa osiin irrotusta varten.</p>	
Avainsanat Komposiitti, kipsi, 3D-tulostin	
Julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Ms Milla-Riina Turunen			
Title of Thesis Making Composite Molds with a 3D Printer			
Date	May 9, 2011	Pages/Appendices	50+38
Supervisor(s) Head of Engineering and Technology Anssi Suhonen			
Project/Partners Savonia DigiBranch –project / Mr Esa Hietikko, D.Sc., Senior Lecturer			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to study how the print of a 3D printer can be used to make molds for composite parts and to find a technique to make the print last the laminating process. The thesis is part of the DigiBranch project of Savonia University of Applied Sciences. DigiBranch is the name for project studies and develops digital production.</p> <p>In the project, a ZPrint® 450 3D printer was used. The durability and suitability for the process was examined by laminating tests, vacuum bagging and tensile tests. The main problem was that the print was very brittle. Therefore the print was treated with different substances like paints and solution of sugar to improve durability.</p> <p>It was found out that the best technique to make the print more durable was to treat the mold with a solution of sugar. This way the surface of the mold became plain, hard and the print could be dissolved in water. This is an environmentally friendly method. Since the mold can be dissolved with water, complicated parts can be manufactured without needing to be cut into parts to loosen them.</p>			
Keywords composite, gypsum, 3D-printing			
public			

ALKUSANAT

Kiitän henkilöitä, joiden työpanoksen ja ohjauksen ansiosta opinnäytetyö valmistui. Haluan kiittää Savonia-ammattikorkeakoulun projektipäällikkö Tatu Westerholmille, joka auttoi työn toteutuksessa. Kiitän ohjaajaani koulutus- ja kehittämispäällikkö Anssi Suhosta. Erityiskiitos opinnäytetyössä asiantuntijana toimineelle Pertti Kinnuselle, joka opasti ja jakoi neuvojaan.

Lisäksi kiitos vielä perheelleni ja poikaystävälleni, jotka ovat auttaneet ja tukeneet opiskelun tiellä, sekä opiskelutovereilleni Ari-Pekka Sunille ja Pirkka Ulmaselle.

Omistan opinnäytetyöni isoisälleni. Enkelit valkoiset taivaassa tuolla pitäkää ukista huolta.

Kuopiossa 9.5.2011

Milla-Riina Turunen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	9
2	DIGIBRANCH.....	10
3	3D-TULOSTUS	11
4	ZPRINTER® 450.....	13
5	KOMPOSIITIT	14
5.1	Komposiittirakenteet	15
5.2	Muovit.....	15
5.2.1	Kertamuovit.....	16
5.2.2	Epoksit	17
5.3	Lujitekuidut	18
5.3.1	Lasikuitu	18
5.3.2	Hiilikuitu.....	19
5.4	Puolivalmisteet	20
5.4.1	Kudokset	21
5.5	Mallit ja muotit.....	23
5.5.1	Mallit.....	23
5.5.2	Muotit	24
5.6	Valmistusmenetelmät	25
5.6.1	Märkälaminointi	27
5.6.2	Märkälaminointiprosessi	28
5.6.3	Kovetus	29
5.7	Käytettävät kemikaalit ja tarvikkeet.....	30
6	TOTEUTUS.....	33
6.1	Tulosten käsittely irrotusta varten	34
6.1.1	Testikierros 1.....	34
6.1.2	Testikierros 2.....	34
6.1.3	Testikierros 3.....	36
6.1.4	Testikierros 4.....	37
6.1.5	Testikierros 5.....	38
6.2	Tulosteen kesto	39
6.2.1	Testikierros 6.....	39
6.2.2	Testikierros 7.....	43
6.2.3	Tulosteiden kesto säilyksessä	45
7	YHTEENVETO.....	48

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1 3DP™ Consumables Catalog

Liite 2 Tulosteen käyttöturvallisuustiedote

Liite 3 Ampreg 21 – Epoxy Wet Laminating System

Liite 4 Eri valmistustekniikoiden asettamat muoto ja mittarajoitukset

Liite 5 Kuvat testikierrostentuloksista

1 JOHDANTO

Savonia-ammattikorkeakoululle DigiLounge -hankkeeseen on hankittu ZPrinter® 450 3D-tulostin. Opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuutta käyttää 3D-tulostimen tulostetta komposiittimuottien valmistuksessa. Opinnäytetyö on osa Savonia-ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan tutkimus- ja kehitysyksikön käynnistämää DigiBranch-hanketta.

Tulosteen on tarkoitus kestää muovikomposiittituotteiden laminointiprosessi. Ongelmana tutkimuksessa on tulosteen hauraus. Tuloste murenee kostuessaan ja on haurasta käsiteltäessä. Tuloste ei ole muottimateriaalina ihanteellinen, sillä sellaisenaan tuloste ei kestä laminoinnissa käytettäviä kemikaaleja. Muotilta vaaditaan tavallisesti kestävyyttä ja lämmönkestoa.

Jotta tuloste saataisiin toimimaan muottina, on keksittävä menetelmä tulosteen kestävyuden lisäämiseksi. Keksittyä menetelmää on tarkoitus hyödyntää valmistamaan komposiittiosia, kuten Savonia StreetBike moottoripyörän katteita. Ja mahdollisesti, jopa hyödyntää insinöörin opetuksessa.

2 DIGIBRANCH

Savonia-ammattikorkeakoulun tärkeys Pohjois-Savon soveltavan tutkimuksen, koulutuksen ja innovaatiotoiminnan organisaationa on merkittävä. DigiBranch -hankkeen kautta voidaan parantaa tutkimuslaitosten yhteistyötä ja yliopistojen tutkimustiedon hyödyntämistä alueen yrityksiin. Lisäksi hankkeen avulla parannetaan Kuopion imagoa Suomen uudenaikaisimman metallialan keskittymän kautta. Samalla kehitetään hankkeeseen osallistuvien oppilaitosten imagoa sekä kansallisia ja kansainvälisiä tutkimus- ja yhteistyöverkostoja. (Hietikko 2008, 2)

Kylmämäkeen sijoittuva DigiBranch-tutkimusyksikkö toimii digitaaliseen tuotannon ja sen kehittämiseen liittyvän tutkimuksen ja koulutuksen toteuttajana. DigiBranch käyttää hyväkseen Metallialan oppimistehdas - ympäristöä eri kohderyhmien koulutuksessa sekä soveltavan tutkimuksen apuna. Sijaintinsa valttina yksikkö voi hyödyntää toiminnassaan ympäröivästä teollisuudesta pursuavia tutkimusaiheita ja innovaatiotarpeita. (Hietikko 2008, 2)

Yksikkö keskittyy tutkimuksessaan digitaaliseen tuotantoon. Hankkeella on neljä painopistettä, jotka muodostavat samalla tutkimusprojektit. Nämä painopisteet ovat virtuaalinen tuotanto, simulointi, prototyypit, valmistettavuus ja elinkaaritoiminta. Opinnäytetyö on osa prototyypit-painopistettä. Prototyypit osa-alueeseen kuuluu virtuaalisten ja todellisten prototyyppien suunnittelu, rakentaminen ja testaus. (Hietikko 2008, 4)

3 3D-TULOSTUS

Termi 3D-tulostus voi olla vieras käsite usealle ja ero pikavalmistukseen on epäselvä. Varsinaista määritelmää pikavalmistuksen (rapid prototyping=RP) ja 3D-tulostuksen välillä ei ole. 3D-tulostimien toiminta perustuu samaan peruseriaatteeseen kuin kaikki muukin pikavalmistus, ja puhutaankin pikavalmistuksen alalajista. (C-ADVICE Oy 2006)

3D-tulostaminen on kolmiulotteisten kappaleiden valmistamista suoraan CAD-geometrian pohjalta. Kaikki nykyiset laitteet rakentavat mallin viipaloimalla 3D-mallin ohuiksi 2D-poikkileikkauksiksi ja tulostamalla nämä kerros kerrallaan toistensa päälle. 3D-tulostuksen toimintaperiaatteet voidaan jakaa muutamaankin eri tyyppiin: (C-ADVICE Oy 2006)

- nestettä kovettavat, toimivat yleensä laserilla tai UV-valolla
- sulasta materiaalista lisäävät, ”3D-printterit”
- pulverista sintraavat tai sitovat
- levystä leikkaavat

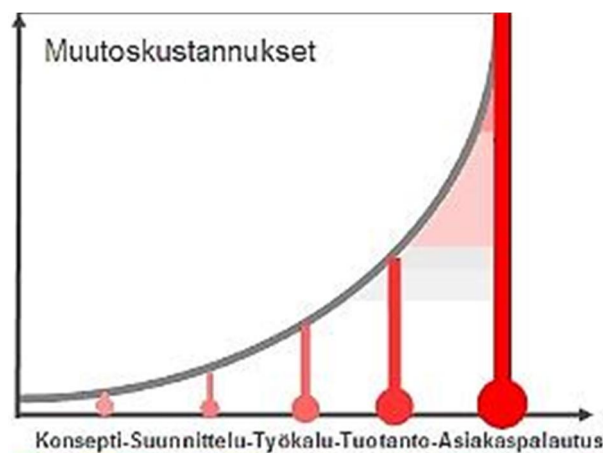
Laitteissa on rakennusalausta, jolle malli rakennetaan. 2D-poikkileikkaukset muodostavat tulostimen tulostusjonon. Tulostus voi tapahtua esimerkiksi koko alustan kattavaan jauhekerrokseen sideainetta suihkuttamalla, laserilla sintraamalla tai sulaa materiaalia pursottamalla. Tulostimen tulostettuaan kerroksen rakennusalausta lasketaan alaspäin ja seuraava poikkileikkaus tulostetaan edellisen kerroksen päälle. Tätä sykliä toistetaan niin kauan, että kolmiulotteinen kappale on valmis. Laitteen mukaan kappale voi vaatia jälkikäsittelyä tai on valmis käyttöön tulostuksen jälkeen. (C-ADVICE Oy 2006)

Pikavalmisteiden käyttökohteet ovat lähes rajattomat. Pikavalmistus kappaleita voidaan hyödyntää perinteisen tuotekehityksen lisäksi mm. lääketieteessä, pienoismalliteollisuudessa, taiteessa ja markkinatutkimuksissa. Kappaleita voidaan hyödyntää jopa lopputuotteina. (C-ADVICE Oy 2006)

Tuotekehityksessä pikavalmisteiden käyttökohteista puhutaan kolmesta F:stä ”Form, Fit ja Function. Eli muodosta, sopivuudesta ja toiminnasta. Muodolla tarkoitetaan ulkomuotomalleja, kuten muotoilu- ja ergonomiatutkimuksia tai tuotteen variointia. Sopivuudella tarkoitetaan kappaleen kokoonpantavuuden tarkastelua tai yhteensopivuutta esim. olemassa olevien osien kanssa. Toiminta käsittää mekaanisen toimivuuden tai joissain tapauksissa jopa varsinaisen toimintatestauksen. (C-ADVICE Oy 2006)

Markkinointipuolella pikavalmistella voidaan tehdä markkinatutkimusta valmiin näköisillä ja toimivilla tuotteilla ilman muuttokustannuksia. Pikavalmistella tai niistä tehdyillä koptioilla voidaan toteuttaa myös kokonaisia nollasarjoja messukäyttöön tai esitekuvauksiin. (C-ADVICE Oy 2006)

Mitä pidemmälle tuotteen kehityskaari etenee ennen mahdollisten virheiden, säästökohteiden, muutostarpeiden esielousemista, sitä suuremmiksi muodostuvat muutokustannukset. Oheisen kaavion käyrä on vain kalpea aavistus siitä, miten jyrkkä tuo nousu on todellisilla tuotteilla (kuva 1). Hyvänä esimerkkinä ovat viime vuosien takaisinkutsut autoteollisuudessa. (C-ADVICE Oy 2006)



KUVA 1. Muutokustannukset (C-ADVICE Oy 2006)

Muutamia perusteluja pikavalmisteluiden käytölle ovat mm (C-ADVICE Oy 2006):

- suunnittelun varmistaminen, mahdollistenvirheiden ja kehityskohteiden löytäminen
- variaatioiden tarkastelu
- asiakas- tai käyttäjäpalautteen saaminen tuotekehitysvaiheessa
- työkalunvalmistus
- markkinointimateriaalin luominen
- tuotekehityskustannusten pudottaminen
- työkalumuutosten vähentäminen → läpimenoaika putoaa.

4 ZPRINTER® 450

3DP™ teknologia perustuu komposiittimateriaaliin. Komposiittimateriaali koostuu tarkasti suunnitellusta jauheesta, jossa on lukuisia lisäaineita maksimoimaan pinnanlaatua, piirteiden tarkkuutta ja osan lujuutta. Tarkemmat tiedot ZPrinter® 450 -tulostimen tulostemateriaalista löytyy liitteestä 2, joka on tulosteen käyttöturvallisuustiedote. (ZCorporation. 3DP™ 2010, 8)

Seuraavassa listassa on ZPrinter® 450 -tulostimen ominaisuuksia ja teknisiä tietoja: (ZPrint. ZPrinter® 450 2011)

- väri: 180,000 väriä (2 tulostuspäätä)
- resoluutio: 300 x 450 dpi
- pienin piirteen koko: 0,15 mm
- vertikaali rakennus nopeus: 23 mm/h
- rakenteen koko: 203 x 254 x 203 mm
- materiaalivaihtoehto: High Performance Composite
- kerroksen paksuus: 0.089 - 0.102 mm
- tiedostomuodot tulostukseen: STL, VRML, PLY, 3DS, ZPR.

ZPrinter ® 450:lla kappaleen tulostaminen tapahtuu seuraavissa vaiheissa:

- Tiedosto siirretään 3D-mallinnusohjelmistosta ja avataan ZPrint:ssä (Quick Start Guide 2007, 3.).
- ZPrint orientoi kappaleen pedille nopeimmalle tulostusajalle (Quick Start Guide 2007, 5.).
- ZPrint ilmoittaa tulostuksen tiedot. Ohjelma raportoi tulostuksen tilaa, kuten arvioitun tulostuksen päättymisen, tulostuksesta jäljellä olevan ajan, aloitusajan, käytetyn ajan, tulostettavan kerroksen ja valmius prosentien. (Quick Start Guide 2007, 7.)
- Kun rakentaminen on valmis, tulostin aloittaa automaattisesti kuivausjakson. Tulostimen näytössä oleva laskin laskee jäljellä olevaa aikaa ennen kuin osa on kuiva. (Quick Start Guide 2007, 8.)
- Kun kuivausjakso on päättynyt, tulostin poistaa automaattisesti ylimääräisen jauheen pediltä osan ympäriltä ja kierrättää jauheen takaisin syöttölaitteeseen. (Quick Start Guide 2007, 8.)

5 KOMPOSIITIT

Komposiitit ovat kahden tai useamman materiaalin kombinaatio, jossa materiaalit ovat sitoutuneet toisiinsa. Komposiiteilla tavoitellaan ominaisuuksien yhdistelmää, jota ei yleensä saavuteta yhdellä materiaalilla. (Ahopelto, Brander, Gunnar, Manner, & Vanhatalo 1992, 7.)

Joskus materiaalit ovat niin yhdenvertaisia, ettei niiden tehtävää komposiitissa voida määrittellä. Normaalisti komposiitista voidaan nimetä ainesosa matriisiksi, joka sitoo materiaalit yhteen. Matriisiin sitomat ainesosat voivat olla esim. hienojakoisia partikkeleita tai ohuita kuituja. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars & Komppa 2007, 17.)

Yksi komposiittien alaryhmä on muovikomposiitit. Näissä matriisina toimii muoviaine. Muovikomposiitteihin luetaan kuuluvaksi myös solumuovit, joissa muoviaineen täyteaineena on kaasumainen aineosa. Lujien kuitujen ja muoviaineen muodostamia komposiitteja voidaan kutsua joko kuitulujitetuiksi muoveiksi, lujitetuiksi muoveiksi tai lujitemuoveiksi. (Saarela ym. 2007, 17.)

Matriisin tehtävä on sitoa lujitteet yhteen. Matriisi siirtää ja jakaa kuorman sekä suojelee lujitteita käsittelyltä ja ympäristöltä. Matriisi pitää lujitteet oikeassa asennossa niin, että ne voivat kantaa halutun kuorman. Matriisi on usein komposiittirakenteiden heikoin lenkki, koska lujitteet ovat vahvempia ja jäykempiä. (Miracle & Donaldson 2001, 49.)

Kuitulujitteisissa kertamuovikomposiiteissa käytetyin lujite on lasikuitua. Esimerkki tyypillisestä lujitemuovituotteesta on lasikuidusta ja polyesterihartsista valmistettu vene. Vaikeista lujitemuovirakenteista esimerkkinä teollisuudesta putkistot ja säiliöt, jotka kestävät korroosiota. Erityisen lujia ja jäykkiä lujitteita ovat hiilikuitu, aramidikuitu ja boorikuitu. Niitä käytetään pääasiassa rakenteissa, joissa vaaditaan keveyttä ja lujuutta, kuten lentokoneissa, kilpa-autoissa ja avaruusrakenteissa. (Ahopelto ym. 1992, 7.)

Lujitemuovien yksi suuri etu on mahdollisuus päästä suuriin integroituihin kokonaisuuksiin, joissa on mahdollisimman vähän liitoksia. Tyypillisinä esimerkkinä lentokoneen siipi ja veneen kansi. (Ahopelto ym. 1992, 7.)

Lujitteita on saatavana jatkuvina kuitukimppuina, lankoina, mattoina ja eri tavoin kudottuina kankaina sekä näiden yhdistelminä. Näistä voidaan valmistaa lujitemuovisia tuotteita ja puolivalmisteita erilaisilla valmistustekniikoilla. Valmistustekniikoista käsilaminoinnin asema on edelleen merkityksellinen. (Ahopelto ym. 1992, 7.)

5.1 Komposiittirakenteet

Muovikomposiittituote on useasti levymäinen rakennelma, jossa samansuuntaiset lujitekuidut, -kudokset, -punokset tai -matot ovat kerroksittain levytasossa. Tällaista kerroksista muodostuvaa rakennelmaa kutsutaan laminaatiksi. Usein laminaatin nimitys täsmentää lujitteiden käyttömuodon, suuntauksen, kerrosten pinoamisjärjestyksen ja laminaatin rakenteen. (Saarela ym. 2007, 22.)

Lujitesuuntaukseltaan helpoin laminaatti on yhdensuuntaislaminaatti, jossa kuidut ovat referenssikoordinaatiston pääakselin suuntaisesti eli 0°-suunnassa. Ristikkäis- laminaatissa kuidut ovat pääakselin suunnassa ja sitä vastaan kohtisuorassa suunnassa eli 0° ja 90°. (Saarela ym. 2007, 22.)

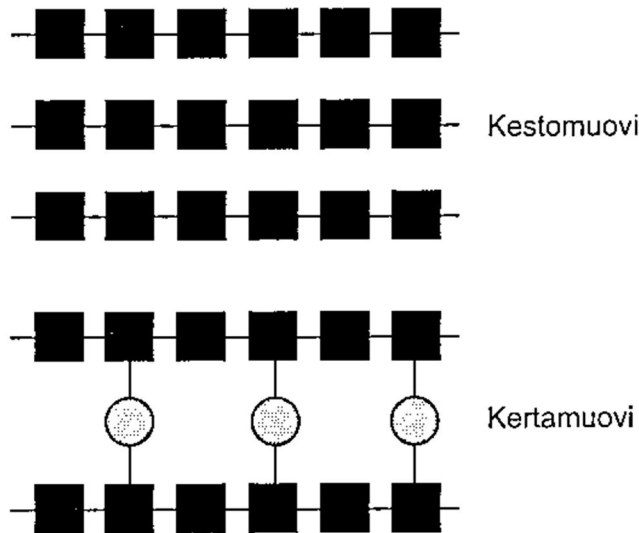
Tyypillinen lujitemuovirakenne on mattolaminaatti. Mattolaminaatilla tarkoitetaan tasossa satunnaisesti jakautuneilla katkokuiduilla lujitettua kerroksellista rakennetta. Lujitettu komposiittirakenne on vaikeampi määrittää kuin homogeenisestä materiaalista valmistettu rakenne. Määritteleviä seikkoja ovat geometria, laminaatin rakenne, valmistusprosessi sekä materiaalit ja niiden seossuhteet. Materiaalimäärittely selvittää yksikäsitteisesti, mistä raaka-aineista tuote valmistetaan sekä mitkä ovat seossuhteet valmistuksessa ja valmiissa tuotteessa. Seossuhteet voidaan ilmoittaa paino-osuuksina tai tilavuusosuuksina. Osuudet ilmoitetaan normaalisti prosentteina, kuten paino-osuus $p\%$ ja tilavuusosuus $v\%$. Käytettävä suure määritellään aina, koska raaka-aineiden tiheydet ovat erilaiset. (Saarela ym. 2007, 23.; Ahopelto ym. 1992, 7)

5.2 Muovit

Muovit eli polymeerit ovat suurimolekyylisiä synteesisireaktiossa syntyviä aineita. Muoveihin sekoitetaan yleensä lisäaineita, kuten apu-, seos- ja täyteaineita. Apuaineilla pyritään helpottamaan tuotteiden valmistusta. Seos- ja täyteaineilla voidaan muovaila lopputuotteen ominaisuuksia. (Saarela ym. 2007, 18)

Muovausominaisuuksien pohjalta muovit jaetaan kahteen ryhmään: kesto- ja kertamuoveihin (kuva 2). Kestomuovien molekyylit ovat pitkiä polymeeriketjuja, joiden välillä ei ole kemiallista sidosta. Molekyylejä yhdessä pitävät voimat heikkenevät muoveja lämmitettäessä ja vahvistuvat muoveja jäädytettäessä. Näin kesto- muoveja voidaan muovata toistuvasti lämmön ja paineen avulla. Kestomuoveja ovat esimerkiksi polyeteenit, polypropeenit ja polyamidit. (Seppälä. 2008, 27)

Kertamuovi muodostuu perusraaka-aineen eli hartsin kovettumisreaktiossa. Tällöin hartsin polymeeriketjut silloittuvat eli yhdistyvät toisiinsa kemiallisin sidoksin verkko- maiseksi rakenteeksi. Verkottunutta rakennetta ei voi muovata uudelleen lämmöllä tai paineella. Tunnetuimpia kertamuoveja ovat tyydyttymättömät polyesterit, epoksihart- sit ja fenoli-formaldehydimuovit. (Seppälä. 2008, 27)



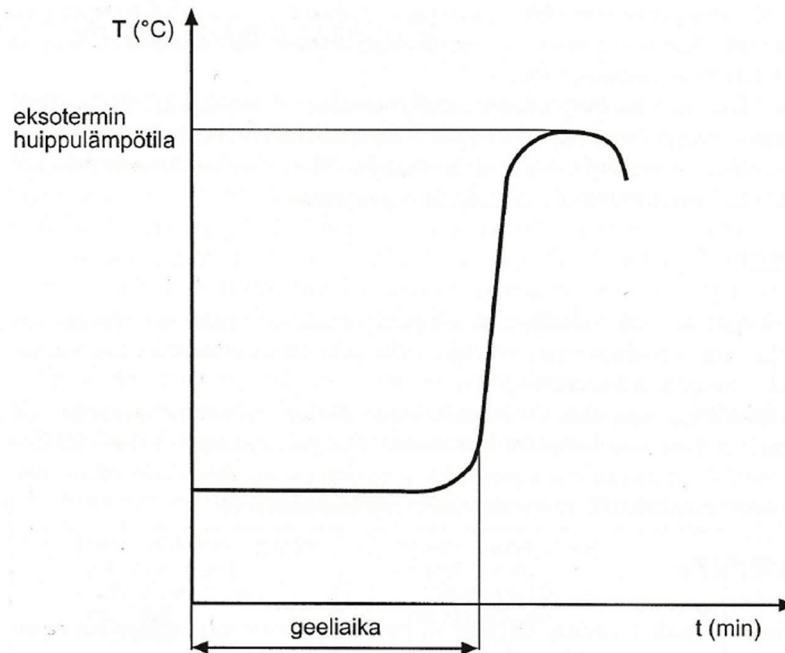
KUVA 2. Kesto- ja kertamuovien rakenne. (Saarela ym. 2007, 18)

5.2.1 Kertamuovit

Kertamuovit kovettuvat nestemäisestä hartsista kiinteäksi aineeksi silloittumis- eli kovettumisreaktiossa. Osa hartseista kovettuu lämmön tai muun ulkoisen energian avulla. Moneen hartsiin on kuitenkin lisättävä kovetetta, joka saa aikaa silloittumisen. Kovettumisreaktio on eksoterminen eli lämpöä tuottava. Reaktiossa hartsin tilavuus pienenee jonkin verran. Tätä ilmiötä kutsutaan kovettumiskutistumaksi. (Saarela ym. 2007, 19; Saarela ym. 2007, 35)

Kertamuovien kovettumisreaktio etenee aluksi hitaasti, tämä mahdollistaa tuotteen valmistamisen kovetteen sisältämästä hartsista. Aikaa, joka tuotteen valmistamiseen on käytettävissä, kutsutaan geeliajaksi. Se määritetään mittaamalla, milloin hartsin

viskositeetti on kasvanut tiettyyn arvoon kovetteen sekoittamisen jälkeen. Geeliajan umpeuduttua kovettumisreaktio etenee nopeasti ja samalla laminaatin lämpötila nousee. Korkeinta kovettumisreaktiossa syntyvää lämpötilaa sanotaan eksotermin huippulämpötilaksi (kuva 3). (Saarela ym. 2007, 19)



KUVA 3. Kertamuovilaminaatin lämpötila kovettumisreaktion aikana. (Saarela ym. 2007, 19)

Kertamuovit soveltuvat lujitettujen tuotteiden valmistukseen erittäin hyvin. Lujitemuovisovelluksissa eniten käytettyjä kertamuoveja ovat tyydyttämättömät polyesterit, epoksit ja vinyyliesterit. Kertamuovien huonoja puolia ovat heikko iskunkestävyys ja hauras murtumismekanismi. Kertamuovista valmistettavien tuotteiden valmistusajat ovat yleensä myös kestumuvituotteiden valmistusaikoja pidemmät. (Saarela ym. 2007, 35.)

5.2.2 Epoksit

Epoksi on kertamuovi, jolla saa ainutlaatuisen ominaisuuksien yhdistelmän, jotka ovat saavuttamattomia toisilla kertamuovi hartseilla. Epoksilla on useita hyviä ominaisuuksia, kuten sitkeys, vähäinen kutistuminen kovetuksessa sekä hyvä lämmön, liuotinten, kemikaalien ja veden kestävyys. Se kiinnittyy lujasti erilaisiin pintoihin, kuten puuhun, keraameihin tai metalleihin. Epokseja voidaan käyttää kappaleiden, laminaattien, lakkojen ja liimojen valmistukseen. (Seppälä. 2008, 154; Saarela ym. 2007, 47; Boyle, Martin A., Martin Cary J. & Neuner, John D. 2001, 195)

Kovetusreaktiossa epoksit reagoi hartsiin lisätyn kovetteen kanssa. Kovete on annosteltava huolellisesti. Mikäli hartsia tai kovetetta on liian paljon, ei kovete reagoi kovetuneeseen epoksiin huonontaan epoksin ominaisuuksia. (Saarela ym. 2007, 45; Saarela ym. 2007, 47)

5.3 Lujitekuidut

Kaupallisesti merkittävin lujite on lasikuitu. Lasikuidun kaikesta lujitekäytöstä on noin 95 %. Muita merkittäviä lujitteita ovat hiili- ja aramidikuidut. Näitä käytetään varsinkin tuotteissa, joilta vaaditaan keveyttä, suurta lujuutta ja jäykkyyttä. Tällaisia sovelluksia on tavallisesti ilmailu-, avaruus- ja urheiluvälineiteollisuudessa. Lisäksi on kehitetty ja kehitteillä joukko kuituja, joiden käyttö muovien lujittamiseen on vähäistä ja pääasiallisesti erikoistapauksissa. Näitä ovat mm. boori-, piikarbidi-, ja keraamisetkuidut. Luonnonkuitujen osuus osoittaisi olevan kasvussa varsinkin autoteollisuudessa. (Saarela ym. 2007, 74)

5.3.1 Lasikuitu

Lasikuitua valmistetaan useista eri lasityypeistä. Vanhin lasikuitutyyppi on A-lasi, joka on natriumkalsiumsilikaattia eli sooda-kalkkilasia. A-lasista valmistetaan ikkuna- ja pakkauslasia. Huonon vedenkestävyyden takia A-lasista ei enää valmisteta lujitekuitua. (Saarela ym. 2007, 74-75.)

Noin 99 % kaikesta valmistetusta lasikuidusta on nykyisin E-lasia. E-lasilla on hyvät sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet sekä hyvä kemiallinen kestävyys. E-lasista on kehitetty myös muunnelma, jossa yhdistyvät E-lasin mekaaniset ominaisuudet sekä C-lasin kestävyys happamissa olosuhteissa. Tämä lasityyppi on Owens Corning Fiberglasin kehittämä ECR-lasi. (Saarela ym. 2007, 75.)

C-lasia käytetään erityisesti happamissa olosuhteissa. C-lasista valmistetaan esim. korroosiokestäviä lujitemuovituotteita. Tällöin laminaatin pintakerrokseen laitetaan usein C-lasista valmistettua pintahuopaa, joka muodostaa laminaattiin tasaisen hartsirikkaan sisäpinnan. AR-lasi on kehitetty erityisesti sementin lujittamiseen. Sen alkalikestävyys perustuu muovaamalla lasia sirkonium- ja titaanioksidien avulla. (Saarela ym. 2007, 75)

5.3.2 Hiilikuitu

Hiilikuidulla tarkoitetaan kuitua, jonka hiilipitoisuus on 95-99 p % (>97 %). Hiilikuidut valmistetaan hiillyttämällä sopivaa lähtöainetta valvotussa prosessissa. (Saarela ym. 2007, 80–81.)

Hiilikuitujen ääriyypit ovat korkean vetolujuuden omaavat HT- ja HM-hiilikuidut. HT-hiilikuiduilla on korkean vetolujuus ja HM-hiilikuiduilla korkea kimmokerroin, joita kutsutaan myös grafiittikuiduiksi. Tavoiteltavat kuituominaisuudet ovat sidoksissa lähtöaineeseen ja valmistusmenetelmään. Lupaavimmiksi lähtöaineiksi osoittautuivat aluksi viskoosi- ja polyakrylinitrililikuidut, joista jälkimmäistä kutsutaan PAN-kuiduiksi. PAN-kuidusta valmistetaan nykyisin lähes kaikki muovien lujittamiseen käytettävät hiilikuidut sekä HT-hiilikuidut että HM-hiilikuidut. (Saarela ym. 2007, 81; Sepäälä 2008, 125)

Hiilikuidut sopivat kerta- ja kestumuovien lujittamiseen, eivätkä valmistusmenetelmät aseta rajoituksia kuitujen käytölle. Hiilikuidulla lujitetaan pääasiassa silloin, kun tuotteelta vaaditaan lujutta, jäykkyyttä ja keveyttä. Vaatimuksia saattavat olla myös väsymislujuus, värähtelyn vaimennus, sähkön- ja lämmönjohtavuus, kemiallinen kestävyys sekä mittapysyvyys. (Saarela ym. 2007, 86-87.)

Kuidun hyvät mekaaniset ominaisuudet ovat tehokkaasti hyödynnettävissä hyvinä komposiittiominaisuuksina. Hiilikuidut ovat kemiallisesti reagoimattomia, ne kestävät vahvoja happoja, hapettavia aineita ja liuotteita. Kuitua kuitenkin heikentää vahvat hapettavat aineet ja halogeeni. Hiilikuidut parantavat muovien kulutuksenkestoa ja pienentävät kitkakerrointa. Kuituja käytetään myös kuivavoiteluaineena. (Saarela ym. 2007, 87-88)

Hiilikuituja käytetään usein muiden lujitekuitujen kanssa lujittamaan muoveja. Tällaiseen hybridilujittamiseen on tavallisesti kolme syytä: alennetaan kustannuksia, parannetaan hiilikuidun ominaisuuksia toisella lujitekuidulla tai parannetaan toisen kuidun ominaisuuksia hiilikuidulla. Kustannuksia alennettaessa käytetään yleisemmin lasikuitua. Lasikuidun huonona puolena on komposiitin painon nousu. Hiilikuitukomposiitin muut mekaaniset ominaisuudet iskulujuutta ja –sitkeyttä lukuun ottamatta ovat yleensä riittävät. Aramidikuitukomposiitin puristus- ja leikkauslujuuksia voidaan kasvattaa hiilikuiduilla. Vastaavasti lisäämällä hiilikuitua voidaan parantaa lasikuitukomposiitin kimmomoduulia, väsymisominaisuuksia ja puristuslujuutta sekä alentaa painoa. (Saarela ym. 2007, 88.)

5.4 Puolivalmisteet

Eniten muovituotteiden valmistuksessa käytetään ns. tasolujitteita, joista tavallisimpia ovat lujitematot ja lujitekankaat. Lujitemattoa voidaan valmistaa jatkuvista tai katko-
tuista kuiduista sideaineiden avulla niin, että kuidut ovat maton tasossa satunnaisesti. Tuotteita kutsutaan jatkuvakuituinen matto, katkokuitumatto tai huovaksi. (Saarela ym. 2007, 20.)

Yksinkertaisin lujitekankaista on yhdensuuntaiskangas, jossa samansuuntaiset kuitukimput on yhdistetty toisiinsa sidelangoilla. Toinen yleisesti käytetty kangastyyppe on kudokset. Saatavana on myös kerroskankaita, joka on useasta kuitukerroksesta yhdistetty joko tikkaamalla tai neulomalla. Kun kuitujen suunta vaihtelee kerroksissa, kerroskangasta kutsutaan moniakσιαalikankaaksi tai moniakσιαalilujitteeksi. (Saarela ym. 2007, 20.)

Punokset valmistetaan punomalla lujitekimpusta tai -langoista nauhoja ja letkuja. Punomalla voidaan valmistaa nauhoja tai letkuja, mutta myös malleja apuna käyttäen lopputuotteen muodon mukaisia lujiteaihoita. 3D-lujitetuotteissa merkittävä osa lujitekuiduista risteilee tuotteen paksuussuunnassa. 3D-tuotteita voidaan valmistaa kutomalla, punomalla tai neulomalla. (Saarela ym. 2007, 20.)

Muovikomposiitin kaikki aineosat voidaan yhdistää jo ennen lopputuotteen valmistusta, joita kutsutaan puolivalmisteiksi. Niiden käytöllä pyritään nopeuttamaan lopputuotteen valmistusta ja tai parantamaan lopputuotteen ominaisuuksia. Puolivalmisteet jaetaan kolmeen pääryhmään: puristemassoihin, esikyllästettyihin lujitteisiin ja yhdistelmätuotteisiin, joissa lujitteet ja matriisi ovat erillään toisistaan. (Saarela ym. 2007, 20.)

Tyypillisiä lujitettuotteita, joita valmistetaan myös hybrideinä, ovat kudokset, moniakσιαalikankaat, pintahuovat ja letkupunokset. Hybridilujittamisella pyritään hyödyntämään eri lujitekuidulle tyypillisiä ominaisuuksia parhaimmalla ja edullisimmalla tavalla. (Saarela ym. 2007, 123.)

5.4.1 Kudokset

Tavanomaiset muovien lujittamiseen käytetään kudottuja kankaita eli kudoksia (kuva 4). Kudokset ovat kaksiakseliaalisia tasorakennelmia. Kudos muotoutuu kahdesta toisistaan vasten kohtisuorassa olevasta lankajärjestelmästä, jossa langat risteilevät toistensa yli ja ali. Kudoksen pituussuunnassa risteileviä lankoja kutsutaan loimilangoiksi ja poikkisuunnassa risteileviä kudelangoiksi. (Saarela ym. 2007, 128-129.)

Palttinasidos eli 2-varttinen sidos on yksinkertaisin kaikista sidoksista. Siinä jokainen lanka pujottelee vuorotellen toisen lankajärjestelmän lankojen yli tai ali. Panamasidoksessa kulkee loimi sekä loimi- että kudesuunnassa kaksi tai useampia palttinnan tapaan sitoutuvia lankoja rinnakkain. (Saarela ym. 2007, 129.)

Toimikassidokselle on tyypillistä sidoksen aiheuttamat toimiviivat, jotka kulkevat vinotain kudoksen reunasta reunaan. Diagonaalissa toimiviiva on jatkuva ja ristitoimikaassa siksakkuvion muotoinen. Jokainen loimilanka muodostaa vähintään kahden kuteen yli ulottuvan punoksen joko kudoksen molemmille puolille tai vain toiselle puolelle. (Saarela ym. 2007, 129.)

Satiinisidokselle on ominaista pitkät lankajuoksut kudoksen kummallakin puolella. Lujitukseen käytetään pääasiassa 5- ja 8-varttisia satiinisidoksia sekä kudosta, jonka sidosta kutsutaan 4-vartiseksi satiiniksi. Lintusidoksessa toimilanka normaalin sitoutumisen lisäksi tekee kiertoliikkeen viereisen loimilangan kanssa. (Saarela ym. 2007, 129.)

Lujittamisen kannalta optimaalista olisi, jos kuidut olisivat suorassa. Yhdensuuntaisidoksessa tämä ideaalitalanne on tarvittaessa mahdollista toteuttaa. Tällöin toisessa lankajärjestelmässä käytetään ohutta ja joustavaa lankaa sekä harvaa kudontaa. Myös tasavaltaisissa kudoksissa voidaan ohuiden ja taipuisien kude- ja loimilankojen avulla sitoa loimi- ja kudesuunnassa kulkevat ja toistensa kanssa risteilemättömät lujitekuidut. Siten, että kaikki lujittavat kuidut kulkevat mahdollisimman suorassa. Tällaisen kudorakenteen periaate on esitetty kuvassa (kuva 5). (Saarela ym. 2007, 130)

Kudoslujitteillakin voidaan saavuttaa hyvät mekaaniset ominaisuudet. Kudoksissa kuitujen mutkaisuus alentaa jonkin verran lujuutta ja jäykkyyttä, kun verrataan yhdensuuntaiskerroksista valmistettuun laminaatin. Kudos kuitenkin muotoutuu paremmin kaksoiskaareviin pintoihin. Kudoslaminaatti kestää myös paremmin iskukuormia ja



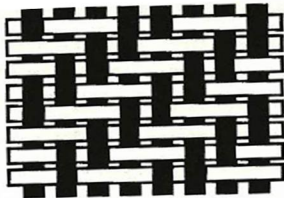
Palttinasisidos
(suunnattu)



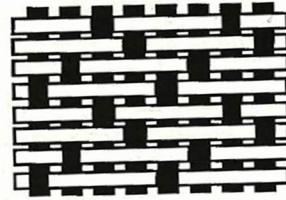
Palttinasisidos (ta-
savaltainen)



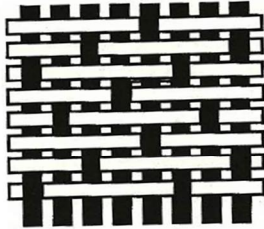
Panamasidos



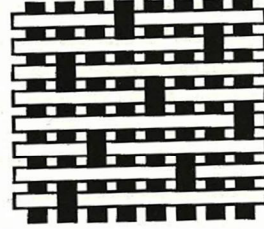
Toimikassidoksia (twilli)



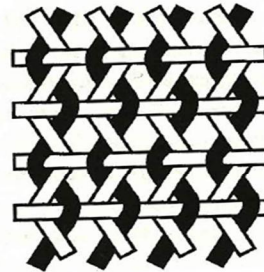
4-varttinen
satiinisidos



5-varttinen
satiinisidos



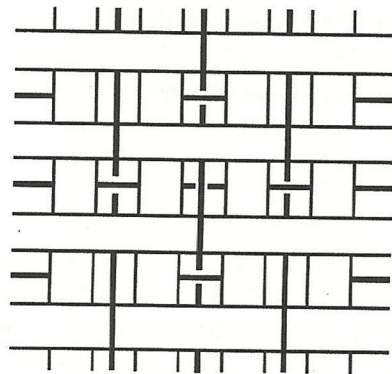
8-varttinen sa-
tiinisidos



Lintusidos

työstöä. Toisinaan kudoksen ominaisuuksia hyödynnetään yhdistämällä laminaattin sisäkerroksissa yhdensuuntaislujitetta ja pintakerroksissa kudoslujitetta. (Saarela ym. 2007, 372.)

KUVA 4. Kudosmalleja (Saarela ym. 2007, 130)



KUVA 5. Tasavaltainen kudosis, jossa varsinaiset lujitekuidut eivät risteile toistensa kanssa (Saarela ym. 2007, 130)

5.5 Mallit ja muotit

Yleensä valmistettaessa lujitemuovituotteita tarvitaan muotti ja muotin valmistamiseksi mahdollisesti malli. Muottisuunnittelulle erilaisia vaatimuksia asettavat valmistustekniikat ja kappaleen muoto. Tavallisimmat suunnitteluparametrit ovat: (Saarela ym. 2007, 199.)

- sarjasuuruus
- kovetuslämpötila
- muottipaine
- mittatarkkuus ja lämpölaajeneminen
- lämmönjohtavuus
- muotin paino ja jäykkyys
- kustannukset
- valmistusmenetelmän erityisvaatimukset.

Mallien ja muottien oikealla materiaalin valinnalla on keskeinen osuus sekä tuotteen prototyypin että sarjatuotteiden taloudessa. Muotin kestoon vaikuttaa oleellisesti kappaleiden dimensiot, päästöt ja pyöritykset samoin muottien käsittely ja kappaleiden irrotustavat. (Saarela ym. 2007, 199.)

5.5.1 Mallit

Mallimateriaalin on oltava helposti muovaittavissa, mittapysyvää ja edullista. Mallista tehdään harvoin montaa muottia, joten sen kestävyys ei ole ensisijainen valintakriteeri. Mikäli muotti valmistetaan huoneenlämpötilassa, ei lämpölaajenemiskerroinkaan ole merkittävä kriteeri. (Saarela ym. 2007, 199.)

Avomuottien mallit voidaan tehdä puusta, savesta, kipsistä, hartsipastoista, vaahdoista tai muovimateriaaleista valamalla, laminoimalla tai työstämällä. Jos muotin kovetus vaatii korkean lämpötilan, voidaan käyttää esim. grafiittia. Malleja voidaan valmistaa myös solumuovista tai erityisistä mallimateriaaleista. Tyypillisiä mallimateriaaleja ovat uretaani-, epoksi tai mikropalloseokset. Joidenkin suljettujen menetelmien puristus-paineet ovat niin korkeita, että ne vaativat teräsmuotit. (Saarela ym. 2007, 199.)

Muotti voidaan tehdä myös työstämällä ilman mallia. Suurten mallien valmistuksessa on yleistynyt numeerisesti ohjattujen työstökoneiden käyttö. Työstöaihiot eli karkea malli rakennetaan valmiista uretaani- tai epoksipohjaisista paneeleista liimaamalla tai pursottamalla vaahdon päälle pasta. (Saarela ym. 2007, 199.)

5.5.2 Muotit

Muottimateriaalin ensisijaiset valintakriteerit ovat kulumiskestävyys ja lämmönkesto. Vähiten rasittuvat huoneenlämpötilassa kovetettavien käsilaminointituotteiden muotit. Kovimmillaan olosuhteet ovat kuumalujien teknisten kestopuovien ruiskuvalussa tai jatkuvilla kuiduilla lujitettujen kestopuovilevyjen puristuksessa. Kaikilla korkean lämpötilan valmistustekniikoilla muotin ja valmistettavan kappaleen lämpölaajenemiskertoimien tulisi olla suunnilleen samansuuruiset. Näin minimoidaan lopullisen kappaleen mittamuutoksia. (Saarela ym. 2007, 199.)

Käsilaminointi ja ruiskulaminointi ovat tyypillisiä avomuottimenetelmiä, joilla saadaan vain kappaleen toinen pinta sileäksi. Muotista voidaan tehdä uros- tai naaraspuolinen lopputuotteen vaatimusten mukaan. Kappaleen muodoista riippuen muotti valmistetaan yhdessä tai useammassa osassa niin, että kappaleen irrotus on mahdollista. Muutamien asteiden päästöt ja kohtuulliset nurkkapyöritykset riittävät muottien yleissuunnitteluohjeiksi. (Saarela ym. 2007, 206.)

Avomuottimenetelmissä laminaatti kovetetaan yleensä huoneenlämpötilassa. Näin muottien materiaalivalinta ja suunnittelu on suhteellisen helppoa. Tyypillinen käsilaminointi- tai ruiskutusmuotti on valmistettu lasikuitulujitetusta epoksista tai polyestéristä. Pienten kappaleiden muotit voidaan valmistaa 5-10 mm:n umpilaminaattina. Suuret muotit jäykistetään jäykistein tai kerroslevyrakenteella. Konstruktiojäykkyyden määrää muotin paino ja sallitut taipumat. Laminaatin paksuuksia voidaan joutua lisäämään, jotta muotin jäykisteet eivät peilautuisi muottipinnalle. (Saarela ym. 2007, 206.)

Muottimateriaalin valintaan vaikuttaa monet tekijät, joten parasta tai ainoa oikeaa materiaalia harvoin on. Mikään materiaali ei myöskään täytä vaatimuksia. Muutamien muottimateriaalien ominaisuuksia on esitetty taulukossa (taulukko 1). (Saarela ym. 2007, 204-205.)

Työssä muottimateriaali on kipsiä, jota voidaan verrata taulukossa oleviin arvoihin. Muottimateriaalina kipsi on lämmönkestävä, mutta tulosteen kulutuksenkesto on huono. Varsinkin raakana tuloste on helposti mureneva. Tulosteen hyvänä puolena on, että valmistettavaa kappaletta ei välttämättä tarvitse tehdä useammassa osassa. Muotteja suunniteltaessa on otettava huomioon muovikomposiittituotteen irrottaminen. Hiukan vaikeimpien kappaleiden muotit pitää jakaa osiin, jotta tuotteen irrottaminen olisi mahdollista. Kun kaikki tuotteen osat on tehty, ne liitetään toisiinsa esim.

liimaamalla. 3D-tulostimen tuloste on mahdollista liuottaa vedellä, jolloin kappale voidaan valmistaa yhdessä osassa.

TAULUKKO 1. Muottimateriaalien ominaisuuksia. (Saarela ym. 2007, 204-205)

Ominaisuus	Epoksivalu	Hiilikuitu/epoksi	Alumiini	Kipsi
Lämpölaajenemis- kerroin $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	20-40	4-9	20	9
Lämpötilankestä- vyys, $^{\circ}\text{C}$	100-150	150-200	yli 200	100
lämmönjohtavuus $\text{W/m } ^{\circ}\text{C}$	1	0,86	300	1
Kulutuskestävyys	Koht.	Koht	Hyvä	-
Mittapysyvyys	koht.	Koht	Heikko	Huono
Lämpeneminen	Hidas	Nopea	Koht.	Koht
Tiiveys	Hyvä	Koht	Hyvä	Hidas
Massa	Raskas	Kevyt	Koht	Raskas
Kovuss, Rockwell	90 Shore D	80-115Rh	58Rb	-
Kimmomoduuli, GPa	3	70	69	30
Hinta	Edullinen	Kallis	Koht.	Edulli- nen

5.6 Valmistusmenetelmät

Koottaessa osista komponentteja ja kokoonpanoja perinteisistä rakennusmateriaaleista valmistuksessa on tavallisesti kysymys koneistuksesta, muovauksesta tai liittämisestä. Tällöin osat ovat valmiiksi kiinteitä ja muodoissa, kuten harkko, sauva, lankku tai levy. Kuitulujitteisten komposiittien materiaali ja komponentti valmistetaan samanaikaisesti. (Åström, Thomas B. 2001, 1010)

Muovikomposiittikappaleiden valmistuksessa on olemassa useita perusmenetelmiä. Menetelmiä on lisäksi muunneltu ja yhdistetty toisiinsa. Muovituotteiden valmistusmenetelmät voidaan jakaa pääryhmiin. Kuvassa 3 on esitetty lujitemuovituotteiden valmistusmenetelmien pääryhmät. Pääryhmiin kuuluvat valmistustekniikat ja niiden tavallisimmat muunnokset. (Saarela ym. 2007, 153.)

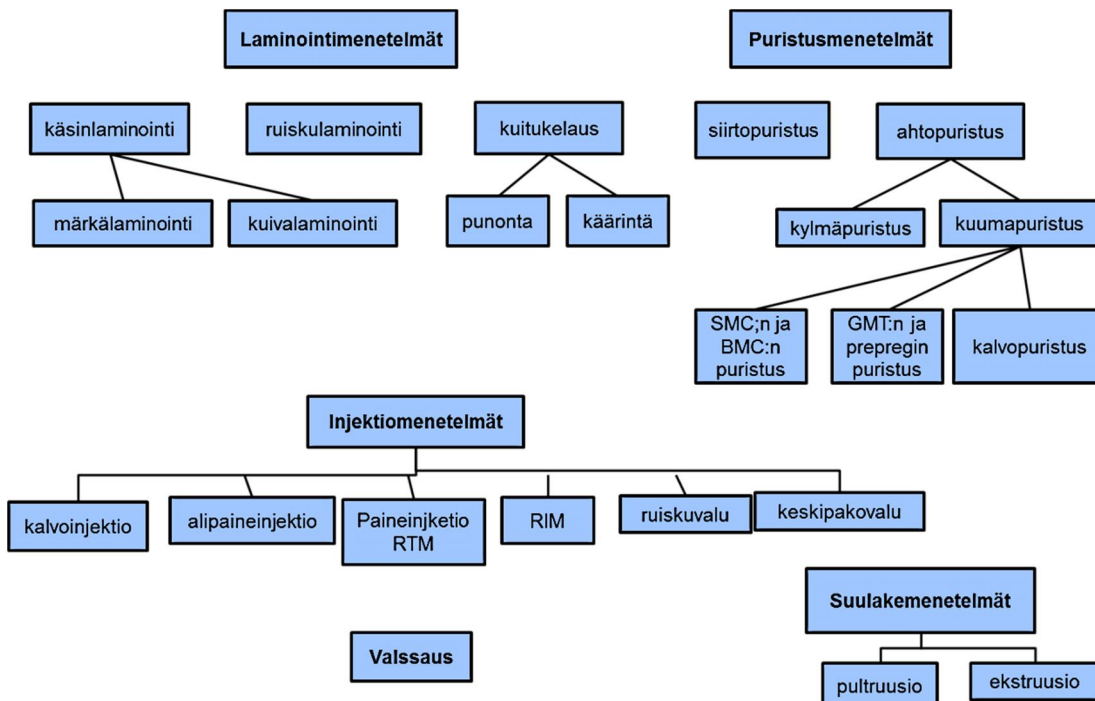
Laminointimenetelmiin kuuluvat käsilaminointi, ruiskulaminointi ja kuitukelaus variaatioineen. Laminaatti valmistetaan avomuotissa kerros kerrallaan. Avomuotissa tuote voidaan kovettaa joko ilman ulkoista painetta tai paineella puristaen. Opinnäytetyössä ilman kovetustapoja kutsutaan vapaaksi ja alipainesäkki koveutkiseksi. Käsilaminointi voidaan edelleen jakaa märkälaminointiin ja kuiva- eli prepreg-laminointiin. Ensimmä-

mäisessä lujitteet kostutetaan nestemäisellä hartsilla. Jälkimmäisessä käytetään esikylästettyjä puolivalmisteita eli prepregejä. (Saarela ym. 2007, 153-154.)

Puristusmenetelmissä raaka-aine puristetaan muotoonsa. Materiaali voidaan asettaa muottiin joko puolivalmisteena tai komponentteittain. Raaka-aine voidaan myös anostella muottionkaloon siirtosylinteriin ja edelleen männän avulla. Ensimmäistä menetelmää kutsutaan ahtopuristusmenetelmäksi ja jälkimmäistä siirtopuristusmenetelmäksi. (Saarela ym. 2007, 154.)

Ahtopuristus jaetaan kylmä- ja kuumapuristukseen. Kylmäpuristuksessa tuote muovataan normaalissa lämpötilassa. Kuumapuristuksessa materiaalia pehmenetään. Prosessi voi halutessaan nopeuttaa kovetusta ulkoisella lisälämmöllä joko lämmittämällä materiaalia tai muottia. (Saarela ym. 2007, 154.)

Kuumapuristusmenetelmät luokitellaan usein käytettävän puolivalmisteen mukaan BMC-, SMC- ja GMT-menetelmiin. Tarkkaan ottaen nämä eivät ole erillisiä valmistusmenetelmiä, vaan raaka-aine ja puolivalmistetyyppejä. Valssaus on erikoismenetelmä profiloitujen levyjen jatkuvatoimiseen valmistukseen. (Saarela ym. 2007, 154.)



KUVA 6. Lujitemuovituotteiden valmistusmenetelmät. (Saarela ym. 2007, 153)

Injektiomenetelmässä matriisi tai kaikki komponentit syötetään muottiin joko paineen avulla tai valamalla. Paineinjektiossa eli RMT-menetelmässä matriisi injektoidaan ylipaineella ja tarvittaessa alipaineen avustuksella suljettuun muottiin. Alipaineinjektiossa hartsi imetään alipaineella muottipuoliskon ja alipainekalvon tai joustavan muottipuoliskon väliseen tilaan, johon on asetettu lujitteet tai lujiteaiho. Kalvoinjektiossa matriisi on hartsikalvoina lujitekerrosten välissä tai muotin pinnalla ensimmäisenä kerroksena. Ylämuottina toimii tässäkin menetelmässä normaalisti alipainekalvo. (Saarela ym. 2007, 154.)

Suulakemenetelmissä valmistettavan tuotteen pituus voi olla periaatteessa ääretön. Nimensä menetelmät ovat saaneet tuotteen muotiluun käytettävästä suulakkeesta tai muotista, jonka läpi tuote kulkee valmistuksen aikana. Suulakemenetelmillä voidaan valmistaa esim. putkia ja profiileja. Menetelmät sopivat erityisesti vakiopoikkipintaisille tuotteille. (Saarela ym. 2007, 154.)

Muovikomposiittien erilaiset valmistustekniikat ovat kehittyneet ja kehittyvät tulevaisuudessaakin kapea-alaisemmiksi. Tiedetyt menetelmät soveltuvat entistä harvempien kappaleiden valmistukseen ja käyttävät vain tiettyjä puolivalmisteita tai materiaaleja eivätkä ole taloudellisia kaikilla sarjakooilla. Tavallisimmat kappaleen suunnittelussa huomioon otettavat mitta- ja muotorajoitukset eri valmistustekniikoille on esitetty liitteessä (liite 4). (Saarela ym. 2007, 192.)

5.6.1 Märkälaminointi

Märkälaminointia on käytetty pisimpään komposiittiteollisuudessa tehtäessä kertamuovikomposiittituotteita ja on yhä suosittu tuotantoprosessi. Se on perusprosessi, joka tarjoaa monia mahdollisuuksia. Prosessissa käytetään suhteellisen perusmateriaalitekniologiaa ja prosessimenetelmiä. (Anderssen 2001, 1075.)

Prosessin hyötyihin kuuluu: (Anderssen 2001, 1076.)

- Suunnittelun vapaus
- Modifioinnin helppous
- Matalat kustannukset
- Helppo prosessi
- Räätelöinti mahdollisuus
- Suuri lujuus
- Iso kokoiset osat mahdollisia

Avolaminoinnin haittapuoliin kuuluu: (Anderssen 2001, 1076.)

- Osien määrä vuodessa vähän
- Pitkä kierto yhdellä
- Työvoimavaltainen
- ei siistein menetelmä
- Vain pinnalla on esteettinen ulkonäkö
- Tekijän taidoista riippuva
- Terävät kulmat ja reunat poistettava
- Pitkä toistokäsittely aika
- Täyteaineiden rajoitettu määrä

5.6.2 Märkälaminointiprosessi

Ennen laminointiprosessin aloitusta muottipinta puhdistetaan ja kiillotetaan. Kiillotuksen jälkeen muotti käsitellään irrotusaineella joko vahalla tai polymeroituvalla irrotusaineella käyttöohjeitten mukaan. Tavallisesti suositellaan, että muotti käsitellään 4-5 kertaa. Irrotteen kuivuttua levitetään muotin pintaan gelcoat. (Kevra Oy Ohjeet 2011 ; Anderssen. 2001, 1080.)

Gelcoat eli pintaväri antaa kappaleelle halutun värin, ulkopinnan, suojaa rakennetta vedeltä ja mekaanisilta kolhuilta. Gelcoat laitetaan muottiin vahauksen jälkeen. Gelcoatoin hyttymisaika on noin 20 minuuttia. Sitä kannattaa mitata määrä, jonka ehtii levittää. Gelcoatiin lisätään peroksidia 2 % gelcoatoin määrästä. Pintamaalina puolestaan käytetään topcoatia. (Kevra Oy Ohjeet 2011)

Ennen laminointia hartsiin lisätään sopivaa kovetetta ohjeitten antama määrä. Varsinkin epokseilla annostelu on tehtävä tarkasti. Yleensä suositellaan korkeintaan ± 2 %:n toleranssia sekoitusmäärää. Kovete aloittaa silloittumisreaktion hartsiin sekoituessan. (Saarela ym. 2007, 156; Anderssen. 2001, 1081.)

Hartsi levitetään kuivuneen gelcoat:n päälle. Lujitteet asetellaan hartsin päälle muottiin käsin ja käsityökaluin ja lujitteet kostutetaan. Hartsi voidaan levittää joko siveltimellä, lastalla, maalausrullalla tai ruiskuttamalla. Ilmanpoistotelaus tehdään lujitteiden kostutuksen jälkeen, sillä saadaan kerroksesta tasainen ja rakenteesta ilma pois rikkomatta kuituja. Tiivistystelauksen ajankohta riippuu käytettävän hartsin hyttymisajasta: jos hyttymisaika on esim. 50 min, voidaan kuitua ja hartsia levittää 40 min, minkä jälkeen aloitetaan tiivistystelaus, joka pitää suorittaa ennen hyttymistä. Ilmanpoistotelaus voidaan tehdä jokaiselle kerrokselle erikseen parhaan tuloksen saavuttamiseksi. (Saarela ym. 2007, 154; Anderssen 2001, 1081; Kevra Oy. Ohjeet 2011)

Lujitteiden on kostutettava sopivalla määrällä hartsia. Liian pienen määrän seurauksena laminaattiin tulee huono kerrostenvälinen leikkauslujuus ja huokoinen. Huokoisin laminaatin lujuus ja säänkesto eivät ole hyvät. Liiallinen hartsin käyttö on johtaa ylimääräiseen painoon ja lisäkustannuksiin. Laminaattiin jää helposti myös paksuusvaihteluja ja hartsivalumia. (Saarela ym. 2007, 156-157)

Geelin ja kovetteen käyttäytymiseen hartsissa vaikuttaa myös lämpötila. Matala lämpötila inhiboi geeliä ja kovetetta, joka vaikuttaa osan laatuun. Irrotettaessa osaa muotista ja otettaessa käyttöön, on kovetteen tilan oltava oikea. Korkea lämpötila laskee geeliytymisaikaa ja nostaa reaktiivisuutta. Kun taas Laskettu geeliaika voi aiheuttaa hartsin ennenaikaisen kovettumisen, ennen kuin laminointi on päätetty. Nostamalla reaktiivisuutta tulee liian korkea eksotermismaksimi, joka aiheuttaa mm. haalistumista, sisäisten jännitysten kasvua ja hartsin halkeilua. (Anderssen. 2001, 1083)

5.6.3 Kovetus

Kertamuovien kovettumisreaktio on eksoterminen eli lämpöä synnyttävä. Lämpömäärä ja maksimilämpötila nousevat kerralla laminoitavan kerroksen kokonaispaksuuden mukana. Liiallisen lämpenemisen estämiseksi paksuimmat laminaatit valmistetaan vaiheittain. Hartsista ja kovetustavasta riippuen suurimman kerralla laminoitavan kerroksen paksuus vaihtelee 4 mm:stä 20 mm:iin. (Saarela ym. 2007, 157.)

Märkälaminoitu tuote voidaan kovettaa vapaasti muotissa. Tarvittaessa laminaatin tiivistystä tehostetaan paineenkäytöllä. Paine saadaan aikaan tavallisimmin alipainesäkillä, joskus myös käytetään ylipainesäkillä. (Saarela ym. 2007, 157.)

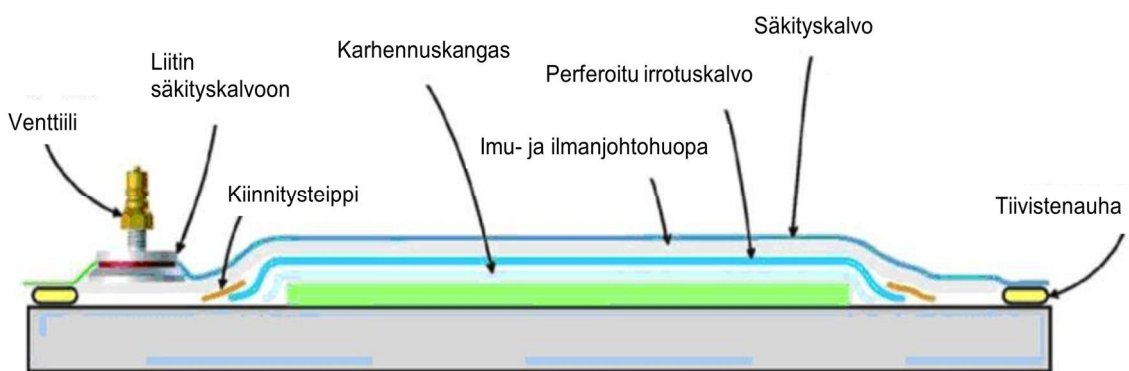
Alipainesäkkiä käyttämällä laminaatin lujitepitoisuus saadaan korkeammaksi ja huokoisuus alhaisemmaksi verrattuna laminaatin vapaaseen kovetukseen. Alipainesäkki kovetusta käytetään lähinnä epoksipohjaisten laminaattien valmistuksessa, sillä normaaleilla polyestereillä tapahtuu alipaineessa styyreenin kiehumista alipaineen ollessa pienempi kuin 0,4-0,5 baaria. Usein pyritään myös korkeisiin lujuusarvoihin, joten on luonnollista käyttää kudottuja lujitteita. (Saarela ym. 2007, 157.)

Alipainesäkin käyttö soveltuu suurten ja laakeiden kappaleiden valmistukseen. Kovetus on melko hidasta johtuen käytettävistä hartseista, joita ei voida lämmittää paljoa kovetusajan lyhentämiseksi. Alipainesäkityksessä voidaan käyttää normaaleja käsialaminointimuotteja, koska alipainesälli ei rasita muottia. Painesäkkikovetuksessa laminaattia puristava paine saadaan aikaan kumipussin eli säkityskalvon avulla kuvan

mukaisesti (kuva 7). Muotti toimii paineastiana ja vaatii suuremmilla painella jäykän konstruktion. (Saarela ym. 2007, 157.)

Ominaisuuksiltaan painesäkkikövetetulla kovetetusta kappaleesta saadaan samankaltaisia kuin alipainesäkillä kovetetut. Kovetusta voidaan nopeuttaa lämmittämällä muottia. Muotin jäykkyysvaatimus rajoittaa taloudellisesti valmistettävien osien koon melko pieneksi. (Saarela ym. 2007, 157.)

Märkälaminointi mahdollistaa melko vapaan materiaalin ja rakenteiden valinnan. Prosessilla voidaan valmistamaan suuria ja monimutkaisia kappaleita kohtuullisin muotti- ja laitekustannuksin. (Saarela ym. 2007, 158.)



KUVA 7. Alipainesäkitys (Kevra Oy. Tuotteet. Alipainetarvikkeet.)

5.7 Käytettävät kemikaalit ja tarvikkeet

Komposiittiosien tuotannossa tarvitaan monia apuaineita ja tarvikkeita. Tärkeimpiä ovat irrotusaineet, karhennuskankaat sekä alipainesäkitykseen tarvittavat kalvot, huovat, kankaat, teipit, tiivistenaugat ja imuputket osineen. (Saarela ym. 2007, 395.)

Ulkoiset irrotusaineet

Irrotusaine estää muotin ja muovattavan kappaleen tarttumisen toisiinsa, suojaa muottipintaa, vähentää muotin huoltotarvetta ja pidentää käyttöikä. Irrotusaineet voivat olla sisäisiä tai ulkoisia. Ulkoiset irrotusaineet levitetään muottipinnalle. (Saarela ym. 2007, 395.)

Ohuena kerroksena muottipinnalle levitetyt nestemäiset irrotusaineet kovettuvat nopeasti muodostaen muottipinnalle kovan, kuivan ja kestäväen irrotuskalvon. Yleensä ne ovat useita irrotuksia antavia ja eivätkä tartu valmistettavaan kappaleeseen. (Kevra Oy. Tuotteet. Irrotusaineet 2011)

Luonnonvahoja, synteettisiä vahoja ja näiden yhdistelmiä käytetään yleisesti irrotukseen. Luonnonvahoja ovat parafiini, hienojakoiset vahat sekä kasvi- ja eläinperäiset vahat. Vahoja on saatavissa sekä pastoina että liuoksina ja ne voivat olla sekä liuotettavia vesipohjaisia. Vahoilla on mahdollista saada hyvä kiilto ja useita irrotuksia käsitelykertaa kohti. (Saarela ym. 2007, 396.)

Huolellinen vahaus pastoilla on aikaa vievä työvaihe. Liuosmaisten vahojen käyttö on yleistynyt levityksen vaivattomuuden vuoksi. Näitä irrotusaineita käytetään silloin, kun on kyse yksittäisestä irrotuksesta tai sarjakoko on pieni eikä muovausjakson kestolla ole suurta merkitystä. (Saarela ym. 2007, 396.)

Irrotuskalvot ja -kankaat

Irrotuskalvolla on oltava hyvä lujuus, sitkeys ja elastisuus. Kalvon tulee mukautua monimutkaisiin muotoihin repeytymättä. Kalvon valintaan vaikuttavat käytetty hartsi, kappaleen muoto ja valmistuslämpötila. Irrotuskalvoja käytetään laminaatin irrottamisen lisäksi myös estämään laminaattia tarttumista imu- ja ilmanjohtokankaaseen. (Kevra Oy. Alipainetarvikkeet 2011)

Irrotuskalvoja ja -kankaita voidaan käyttää irrotusaineiden tavoin muottipinnalla helpottamaan irrotusta ja ehkäisemään kappaleen tarttumista muottiin. Muovikomposiittien valmistuksessa käytetään pääasiassa muovikalvoja ja pinnoitettuja (PTFE) lasikuitukudoksia, mutta myös metallikalvoja sekä pinnoitettuja papereita on mahdollista käyttää. (Saarela ym. 2007, 397.)

Muottipinnalla käytettävät irrotuskalvot ja -kankaat ovat pinnaltaan sileitä eivätkä läpäise ilmaa, haihtuvia ainesosia tai matriisimuovia. Injektiomenetelmässä, autoklaavi-muovauksessa sekä alipaine- ja painesäkkikovetuksissa tarvitaan usein myös perforoituja eli rei'itettyjä irrotuskalvoja tai huokoisia irrotuskankaita. Lisä kalvoja ja kankaita sijoitetaan muovattavan kappaleen ja imukankaan tai ilmajohtohuovan väliin estämään jälkimmäisten tarttumisen kappaleen ulkopintaan. Jos muovattava kappaleen

pintaan laitetaan karhennuskangas, laitetaan perforoitu irrotuskalvo sen päälle. (Saarela ym. 2007, 398.)

Karhennuskangas

Karhennuskangasta käytetään muovattavan kappaleen pinnassa joko kosmeettisista syistä tai tavallisimmin silloin, kun kappale kovetuksen jälkeen liimataan, maalataan tai muulla tavalla pintakäsittelymään. Karhennuskankaan käyttö kasvattaa tartunta-pintaa huomattavasti ja lisää tarttuvuutta. Karhennuskankaan käyttöä suositellaan silloin, kun työ keskeytetään välikovetuksen ajaksi. (Saarela ym. 2007, 398.)

Karhennuskangas asetetaan valmistettavan kappaleen ulkopinnalle, mutta voidaan laittaa myös muottipinnalle. Kankaan on oltava tarpeeksi lujaa, jotta se on poistettavissa kappaleen pinnalta kovetuksen jälkeen. (Saarela ym. 2007, 398.)

Alipainekalvot ja –säkit

Alipainekalvolta vaaditaan hyvää lujuutta, sitkeyttä ja elastisuutta. Kalvon on mukautettava monimutkaisiin muotoihin helposti ja repeytymättä eikä niihin saa syntyä reikiä. (Saarela ym. 2007, 400.)

Alipainekalvo tiivistetään muottia tai laminointi alustaa vasten erilaisia tiivisteuria ja –renkaita tai tiivisteteippiä käyttäen. Tiivisteteipit ovat synteettisestä kumiseoksesta valmistettuja vulkanoituja tai vulkanoimattomia teippejä, joiden leveys on 12 mm ja paksuus 3 mm. Tiivisteteipin on oltava lujaa ja elastisia ja teipin on kestettävä kaikkien tavanomaiset matriisimuovit. (Saarela ym. 2007, 400; Kevra Oy. Alipainetarvikkeet 2011)

Imu- ja ilmanjohtokankaat

Imu- ja ilmanjohtokankaat mukautuvat monimuotoisiin muotoihin menettämättä ominaisuuttaan toimia tasaisena ilmanjohtokerroksena säkityskalvon alla. Imukankaana toimiessaan kuitukankaaseen imeytyy muovattavasta kappaleesta ylimääräinen hartsi paineen vaikutuksesta. Ilmanjohtokankaana se helpottaa ilman tasaista poistumista alipainekalvon tai -säkin sisäpuolelta. Tavallisesti on mahdollista käyttää samaa kangasta sekä imukankaana että ilmanjohtokankaana. (Kevra Oy. Alipainetarvikkeet 2011)

6 TOTEUTUS

Työssä tutkittiin, miten 3D-tulostimen tuloste kestää komposiittimuottien valmistuksen. Jotta menetelmää voidaan hyödyntää jatkossakin, sen tulisi täyttää seuraavat vaatimukset:

- Muotin tulisi olla edullinen.
- Muotin pitää kestää laminoidessa käytettäviä kemikaaleja.
- Muotti pitää pystyä liuottamaan vedellä laminaatista pois.

Tulostetta käsiteltäessä ongelmana on tulosteen hauraus. Tuloste ei ole vedenkestävä vaan alkaa mureta kastuessaan ja on haurasta kuivana käsiteltäessä. Joten pelkän tulosteen ei uskottu kestävän laminointia, sillä jo käytettävän hartsin oletettiin imeytyvän tulosteeseen. Lisäksi tulosteen pinnanlaatu on karhea. Kun valmistettaville kappaleille halutaan hyvä pinnanlaatu, täytyy tulostetta hioa ennen laminointia jälkikäsittelyksi.

Tulosteen kestävyyttä ja pinnanlaatua ryhdyttiin parantamaan käsittelemällä tulosteita erilaisilla aineilla. Testattaviksi aineiksi valittiin 2-komponenttimaali, Miranol, vannehopeaspray ja sokeriliuos. Tarkasteltavia ominaisuuksia olivat kestävyys, tuotteen pinnanlaatu ja laminaatin irtoaminen muotista.

Muotteja testattiin erilaisilla koekappaleilla. Ensimmäiset kokeet tehtiin levyillä, sitten kaksoiskaarevilla kappaleilla. Viimeisenä testattiin onttojen kappaleiden kestoäskityksessä. Laminointikokeiden lisäksi tulosteille tehtiin vetokokeita, joilla pyrittiin selvittämään, miten tulosteiden käsittely vaikuttaa niiden kestävyuteen.

Valmistusmenetelmänä käytettiin märkälaminointia. Laminoidessa testattiin kahdenlaisia kovetustapoja. Laminaatteja kovetettiin vapaasti ja alipaineen avulla. Seuraavassa listassa on esitetty toteutukseen valitut materiaalit ja tarvikkeet. Tarvikkeet ja materiaalit hankittiin Kevra Oy:ltä. Kevra Oy auttoi materiaalien ja tarvikkeiden valinnassa, jotta ne olisivat sopivia tutkimuksien tarkoituksiin:

- Imuilmanjohtohuopa: Airbleed 100, PET (150 g/m²)
- Reikäkalvo: Perforoitu kalvo
- Tiivistenauha: LTS90B MUS 90C
- Säkityskalvo: VF200G 0,08mm
- Harts: Ampreg 21
- Irrotusaine: ChemWax
- Irrotuskalvo: Perforoitu kalvo
- Karhennuskangas: T0470-83 g/m² (PA)

Toteutus on jaettu kahteen osioon: tulosteen käsittely irrotusta varten ja tulosteen keston. Jokaisessa osiossa on tehty useampia kokeita, joista käytetään nimitystä testikierros. Jokaisen testikierroksen tuloksista on esitetty kuvat liitteessä 5. Nämä kuvat on otettu laminaatin muottipinnasta, jotta nähdään eri menetelmien vaikutus laminaatin pinnanlaatuun.

6.1 Tulosten käsittely irrotusta varten

6.1.1 Testikierros 1

Ennen laminoitukokeiden alkamista selvitettiin, miten tuloste kestää irrotusaineita. Irrotusaineita testattiin ensimmäisenä, koska ne ovat ensimmäisenä kosketuksessa muotinpintaan.

Irrotusaineiden toimivuutta tulosteeseen testasi opinnäytetyössä asiantuntijana toiminut Pertti Kinnunen. Hän testasi miten mm. kovavaha, polyvinyylialkoholi kalvo ja polymeroituvat irrotusaineet vaikuttavat tulosteeseen. (Kinnunen 2010)

Hänen kokeidensa perusteella saatiin selville, että pelkkä kipsi kestää pinnalleen irrotusaineista kovavahan. Jos muotin haluaa käsitellä polyvinyylikalvolla, täytyy muotti käsitellä ensin kovavahalla imeytymisen estämiseksi. Polymeroituva irrotusaine imeytyy kipsiin ja luultavasti estää muotin liuottamisen vedellä laminoinnin jälkeen. (Kinnunen 2010)

6.1.2 Testikierros 2

Irrotusainekokeiden tulosten perusteella alettiin selvittää, millä tulostetta kannattaa käsitellä, jotta muotista saataisiin kestävämpi kemikaalien suhteen. Tulosteita päädyttiin käsittelemään erilaisilla aineilla, joitten oletettiin antavan tulosteelle suojaavan ja parantavan tulosteen karheaa ja huokoista pintaa.

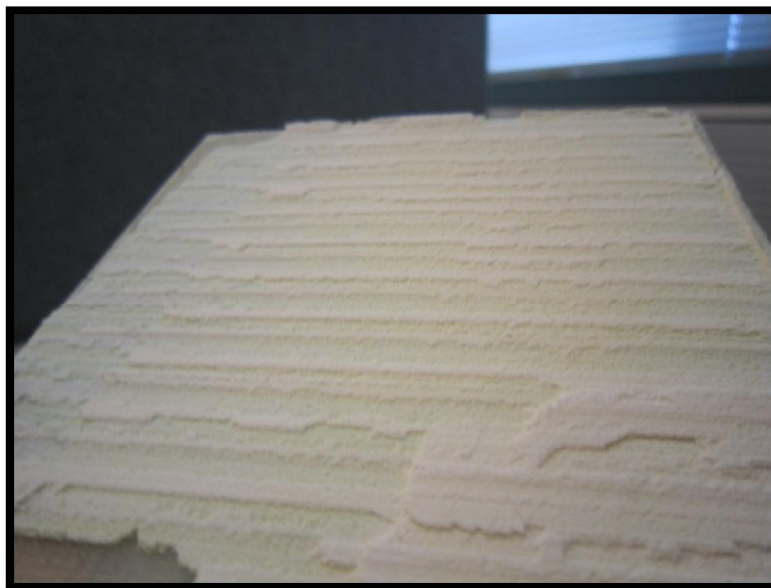
Tulosteita käsiteltiin kolmella erilaisella maalilla: Miranolilla, vannehopeaspraylla ja 2-komponenttimaalilla. Kyseiset maalit valittiin, koska niillä oletettiin saavan kova ja tarpeeksi suojaava pinta muotille. Lisäksi tulosteita käsiteltiin kylläisellä sokeriliuksella. Sokeriliuos valittiin, koska muotista haluttiin käsitellä aineella, joka liukenisi veteen. Sokeriliuksella oletettiin, että pinnasta saataisiin tarpeeksi kova, lisäksi liuos on edullinen ja luontoystävällinen.

Ensimmäiset kokeet tehtiin yksinkertaisille 8 mm paksuisille levyille, joita käsiteltiin valituilla aineilla kerran puolikkaalta alueelta ja toisen kerran toiselta puolikkaalta. Muottien annettiin kuivua yön yli. Haluttua kerrospaksuutta ei voinut laittaa yhdellä käsittelykerralla, koska muotti pehmeni liikaa. Kun tarvittava määrä kerroksia oli laitettu ja kuivatettu, laitettiin kappaleiden päälle yksi kerros irrotetta. Irrotteen annettiin kuivua, minkä jälkeen aloitettiin laminointi. Kerroksien kokoaminen aloitettiin hartsista ja päätettiin hartsiin laittaen väliin neljä kerrosta lasikuitukudosta.

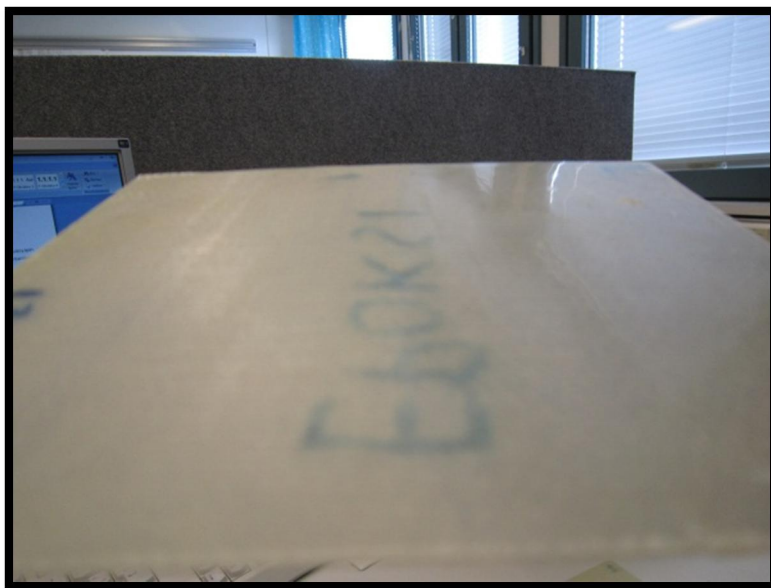
Miranolilla ei saatu tuloksia, jotka olisivat olleet hyödyllisiä. Miranolilla ei saatu tulosten pintaan juuri minkäänlaista suojaavaa kerrosta. Maali imeytyi melkein kokonaan tulosteeseen päästään myös hartsin imeytymään. Koska hartsi imeytyi tulosteeseen, jäi tulostetta laminaattiin kiinni (kuva 8). Tuloksien perusteella päätettiin, että Miranol jätetään pois seuraavista testeistä.

Spray-maali irrotti muotin pintaa, joten epoksi oli päässyt tässäkin imeytymään. 2-komponenttimaalilla saatiin hyvä suojakerros tulosteelle, koska maali ei imeytynyt tulosteeseen juuri ollenkaan. Laminaatti oli jäykkä irrottaa, mutta pinnanlaadultaan laminaatista saatiin testeistä parhaat (kuva9). Laminaatin puoli, joka oli käsitelty kaksi kertaa, oli kiiltävä (kuva 9).

Kun sokeriliuos on tarpeeksi kylläinen ja ohuena kerroksena levitettynä, se ei sulattanut kipsiä, eikä muotti alkanut murenemaan. Tulosteeseen oli tullut toimivat suojakerros kemikaaleilta ja laminaatin irrottaminen onnistui helposti. Pinnanlaadultaan sokeri oli tasainen, mutta ei yhtä kiiltävä kuin 2-komponenttimaalilla saatu pinta.



KUVA 8. Miranolilla käsitelty muotti



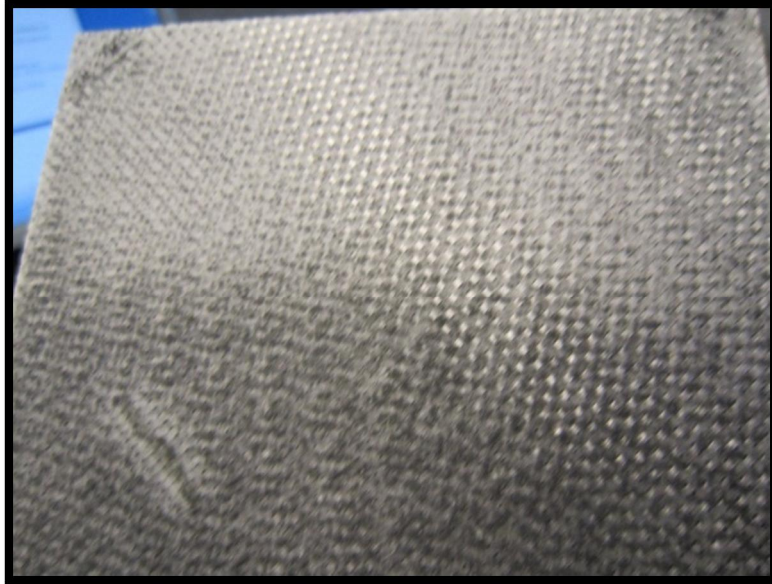
KUVA 9. 2-komponenttimaalilla käsitelty muotti

6.1.3 Testikierros 3

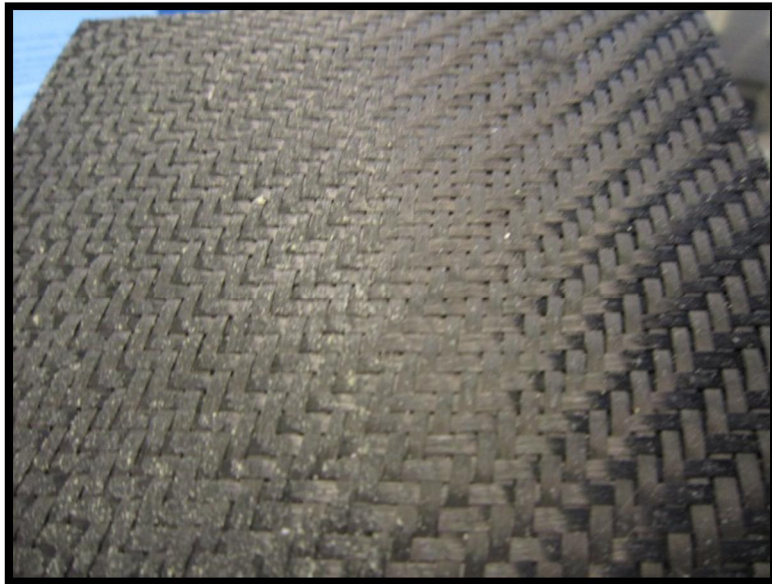
Toisen testikerroksen tulosten perusteella päätettiin pinnoitteet, joiden testaamista jatkettaisiin. Pinnoitteiksi valittiin ohennettu 2-komponenttimaali ja sokeriliuos. Lisäksi kokeiltiin myös puhdasta muottia ja ensimmäisessä laminoititestissä ohennetulla 2-komponenttimaalilla käsitelty levy. Ohennetulle 2-komponenttimaalin puolikkaalle alueelle laitettiin yksi kerros vannespraytä.

Muotteihin leivitettiin viisi kerrosta vahaa, mutta puhtaalle muotille laitettiin yksi kerros. Kiillotus tehtiin viimeisen vahakerroksen kuivuttua. Muottiin laminoitiin ensin kaksi kerrosta hiilikuitua ja sitten kaksi kerrosta lasikuitua. Jokaisen kerroksen välissä telattiin ylimääräinen epoksi pois ja tiivistettiin ilmakuplien varalta.

Ohennettu 2-komponenttimaali erosi huomattavasti ensimmäisen testikierroksen tuloksista. Laminaatin mukana irtosi melkein koko laminaatin pinta-alalta muottia mukaan. Ohennetulla 2-komponenttimaalilla ja sprayllä käsitellyt muotit rikkoutuivat laminaattien irrotuksessa ja muottia tarttui kiinni laminaatin pintaan. Puhtaassa muotissa hartsi oli imeytynyt melkein kokonaan kipsiin. Puhtaan tulosten tulokset on esitetty seuraavissa kuvissa. Kuvasta 10 ja 11 näkee, että hartsia ei ole jäänyt paljoa laminaattiin. Sokeriliuoksella käsitellyistä muotista laminaatti lähti hyvin irti ja laminaatin pinta oli paras. Tulokset olivat yhtä hyvät kuin toisella testikierroksella.



KUVA 10. Käsittelemättömän muotin laminaatti päältäpäin.



KUVA 11. Käsittelemättömän muotin muottipinta.

6.1.4 Testikierros 4

Testeissä käytettiin edellisillä testikierroksilla sokeriliuoksella käsitellyjä muotteja. Ensimmäisellä kerralla tehty muotti merkittiin H:lla, koska muotin pinta hiottiin. Toisella kerralla tehdyn muotin pintaa hiottiin ja siveltiin kostealla paperilla. Tämä muotti merkittiin K:lla. Kostuttamalla pintaa siitä pyrittiin saamaan mahdollisimman tasainen ja kiiltävä. Kummatkin muotit vahattiin kolme kertaa ja jokaisen kerroksen välissä pinta kiillotettiin trasselilla. Kummankin muotin päälle laminoitiin kaksi kerrosta hiilikuitua ja kaksi kerrosta lasikuitua.

Laminoinnit irtosivat helposti muoteista, pinta oli tasainen ja hiukan kiiltävä. Sokeroitua pintaa hiomalla siitä saatiin pinnasta tasaisempi verrattuna aikaisemmin tehtyjen laminaattien pinta, joita ei jälkikäsitelty. Näissä kokeissa muotteja käytettiin toista kertaa eikä muotit vaurioitunut kummallakaan kerralla. Eli sokeriliuoksella saa muotteihin sen verran kestävä pinnan, että yksinkertaisia muotteja voi käyttää useamman kerran.

6.1.5 Testikierros 5

Tällä testikierroksella laminoitiin kaksoiskaareva muotti (kuva . Muotti käsiteltiin kahden kertaan sokeriliuoksella ja hiottiin ennen vahausta. Vahaa laitettiin viisi kerrosta ja jokaisen kerroksen jälkeen hiottiin. Pinnalle laminoitiin kaksi kertaa hiilikuitu ja kaksi kertaa lasikuitu.



KUVA 12. Kaksoiskaareva muotti.

Laminaattia ei saanut irrotettua yhtenä kappaleena muotista. Muottia särjettiin niin paljon kuin mahdollista, mutta silti kipsiä ei saatu kokonaan irti. Loput muotista liuotettiin vedellä. Tässä samalla kokeiltiin mahdollisuus liuottaa muotti vedellä, jonka todettiin toimivan. Ensimmäisessä kerroksessa oli liikaa hartsia ja kerrokseen oli jäänyt ilmakuplia. Testikierroksella huomattiin, että kaksoiskaarevien pintojen laminointi on huomattavasti vaikeampaa kuin tasaisten. Lujitteet oli vaikea saada muotoiltua muotoon ja pysymään paikallaan.

6.2 Tulosteen kesto

6.2.1 Testikierrös 6

Tulosteille tehtiin vetokokeita Savonia-ammattikorkeakoulussa, jossa oli mahdollista käyttää Materfest FMT-MEC 100 aineenkoetuskonetta, jonka käytössä sovelletaan standardia SFS-EN ISO 6892-1. Kyseinen standardi on tarkoitettu metalleille, joitten vetokoe tehdään huoneenlämmössä. Päädyimme soveltamaan standardia, koska edellä mainitun vetokokeen toteuttaminen oli mahdollista koululla.

3D-tulostimella tulostettiin vetosauvoja ja niitä käsiteltiin sokeriliuoksella ja 2-komponenttimaalilla, jotta tulosteesta tulisi kestävämpää vetokoetta varten. Näitten vetosauvojen tuloksia verrataan puhtaasta tulosteesta saatuihin tuloksiin.

Aineet valittiin laminoitukokeissa saatujen tulosten perusteella. Aineilla saatiin parhaat tulokset pinnanlaadun ja laminoituprosessin kestävyuden kannalta. Vetokokeilla pyrittiin selvittämään, vaikuttaako tulosteen käsittely kyseisillä aineilla tulosteitten lujuuteen, jolloin tuloste kestäisi säkitystä paremmin.

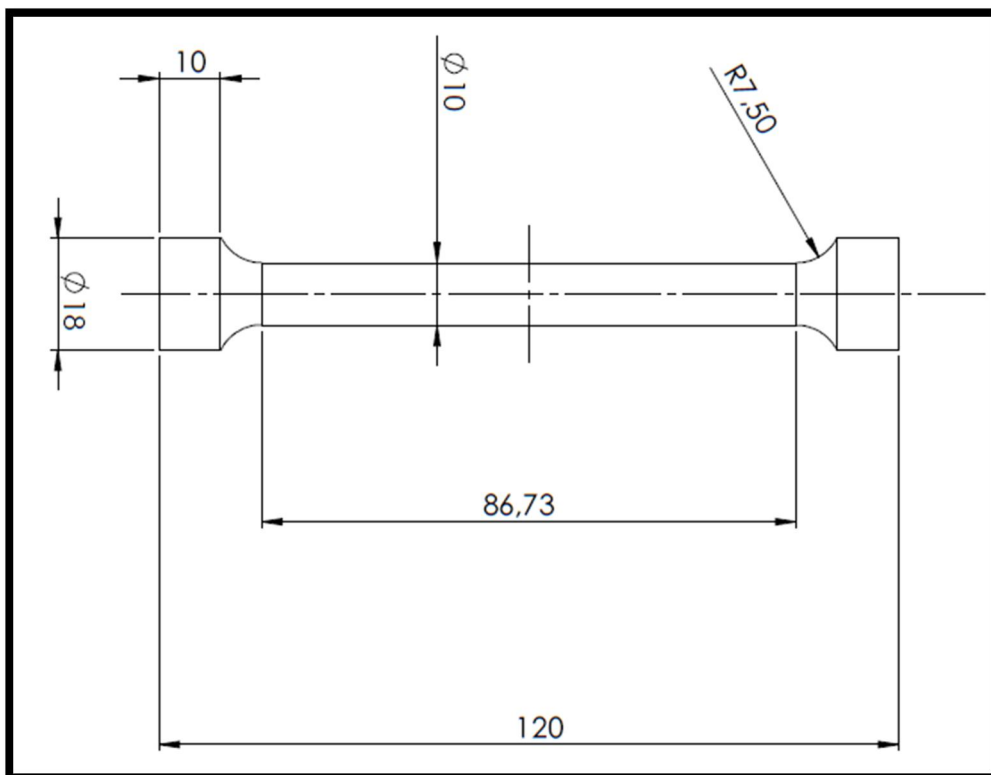
Koesauvojen muoto

3D tulostimella tehtiin standardin SFS-EN ISO 6892-1 mukaisia vetosauvoja. Kuvassa näkyy, miltä tulosteet näyttivät ennen käsittelyä (kuva 13). Vetosauvoihin otettiin esimerkkiä Savonia-ammattikorkeakoululla valmistettavista vetosauvoista, joista oli mahdollista saada piirustukset, ne varmistettiin, että vetosauva olisi kokonsa ja muotonsa puolesta sopiva aineenkoetuskoneelle.

Lopullisen vetosauvan mitat on esitetty kuvassa 14. Mitat ovat tulostettujen sauvojen arvoja eikä niissä ole huomioitu sauvojen käsittelyä sokeriliuoksella ja 2-komponenttimaalilla, joten sauvojen halkaisijat mahdollisesti muuttavat hieman kappaleiden käsittelyssä. Ainakin 2-komponenttimaalilla tulee halkaisijoihin lisätä maali-kerros, koska maali ei imeydy kipsiin juurikaan. Kun taas sokeriliuos imeytyy melkein kokonaan tulosteeseen.



KUVA 13. Käsittelemättömät tulosteet



KUVA 14. Vetosauvan mitat

Vetokokeet tehtiin viidellä sokeriliuoksella, neljälle 2-komponentti maalilla käsitellylle ja kolmelle pelkälle tulosteelle. Kuvassa (kuva 15) on esitetty viidennen vetosauva kokeen jälkeen ja kuvassa (kuva 16) kahdeksannen vetosauva vetokokeen jälkeen. Vedetyistä sauvoista havaittiin, että 2-komponentti maalilla käsitellyt kappaleet katkesivat sauvan päästä, kun taas sokeriliuoksella käsitellyt vetosauvat katkesivat keskeltä.



KUVA 15. Vetosauva 5



KUVA 16. Vetosauvan 8

Vetokokeet tulosteille tehtiin metalleille tarkoitetun vetokoestandardin mukaisesti. Tämän takia vetokokeiden tulokset ovat vain suuntaa antavia siitä, että vaikuttaako tulosteiden käsittely tulosteen lujuuteen ja kestävyys. Kokeen tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 2).

Kokeita tehtäessä huomattiin, että vedettäessä sokeriliuksella käsiteltyjä ja puhtaita tulosteita vetosauvoja laite ei havainnut vetosauvan katkeamista vaan jatkoi vetämistä. Tässä tapauksessa laite pysäytettiin manuaalisesti. 2-komponenttimaalilla käsiteltyjen vetosauvojen katkeamisen laite havaitsi ja pysähtyi sauvan katketessa.

Tuloksista voi päätellä, että tuloste ei ole kovinkaan kestävä, mutta käsittelemällä tulosteen pinta saadaan lisää kestävyttä. Parhaimmat tulokset lujuudelle saatiin käsittelemällä vetosauvat 2-komponenttimaalilla. Sokeriliuksella käsiteltyjen ja pelkän tulosteen lujuudet eivät poikenneet toisistaan suuresti. Mutta kuitenkin sokeriliuksella saadaan muotin pintaan suojaava kerros, joka mahdollistaa tuotteiden laminoinnin.

TAULUKKO 2 Vetokokeiden tuloksia

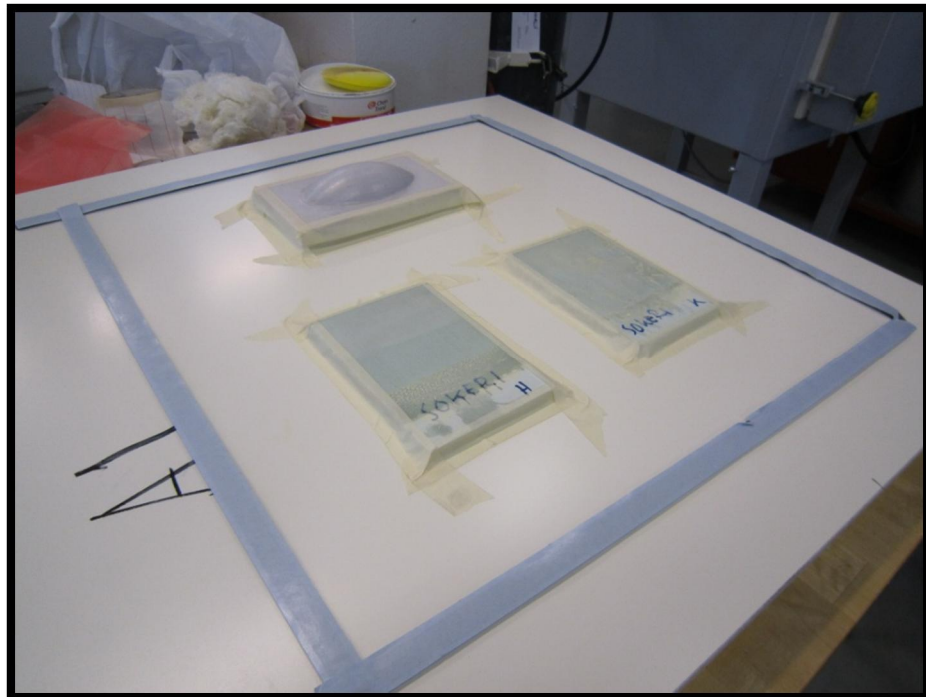
Koekappale	Käsittely	Suurin voima (kN)	Lujuus (N/mm ²)
1	Sokeri	0,026	0,3
2	Sokeri	-	-
3	Sokeri	0,134	1,7
4	Sokeri	0,094	1,2
5	Sokeri	0,093	1,2
6	2-komponentti maali	0,303	3,9
7	2-komponentti maali	0,276	3,5
8	2-komponentti maali	0,224	2,9
9	2-komponentti maali	0,292	3,7
10	Tuloste	0,095	1,2
11	Tuloste	0,064	0,8
12	Tuloste	0,078	1,0

6.2.2 Testikierros 7

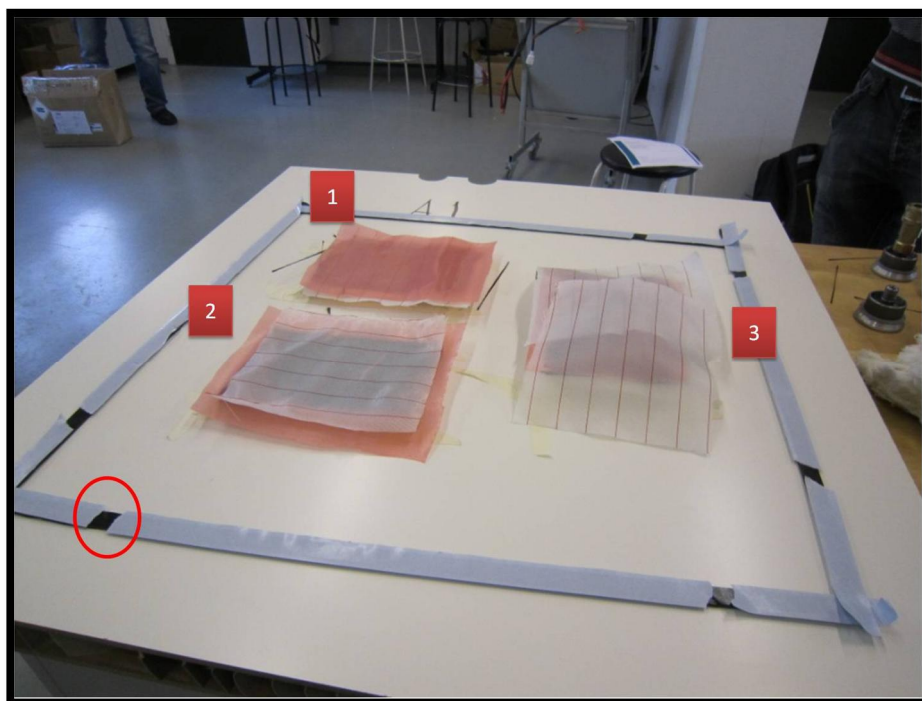
Ensimmäinen alipainesäkitystesti tehtiin kahdelle aikaisemmin sokeriliuoksella käsitellylle levylle ja yhdelle kaksoiskaarevalle muotille, jonka pinta käsiteltiin sokeriliuoksella. Säkitys aloitettiin käsittelemällä alusta ja kappaleet irrotusaineella. Tässä tapauksessa kappaleet ja alusta käsiteltiin 4 kertaa. Vahauksen jälkeen kappaleiden reunat käytiin läpi maalarinteipillä. Teipillä pyrittiin pitämään hartsi kappaleen pinnassa niin, ettei hartsi pääsisi alustaa tai muottiin (kuva 17). Tiivistysteippi laitettiin alueelle, jossa kappaleet sopivat olemaan kunnolla, huomioiden pumpun venttiilin paikan.

Kun vaha oli kuivunut, aloitettiin laminointi. Jokaiseen kappaleeseen laminoitiin kolme kerrosta hiilikuitua. Laminointi aloitettiin ja lopetettiin hartsilla. Hartsia laitettiin reilusti kappaleisiin 2 ja 3. Kappaleeseen 1 laitettiin niukasti. Hartsin määrän vaihtelulla haluttiin nähdä, mikä määrä hartsia on tarpeen.

Reikäkalvosta ja karhennuskankaasta leikattiin isompia kuin itse laminoitava pinta. 2 ja 3 kappaleisiin laitettiin ensin reikäkalvo ja sitten irrotuskangas. Kappaleeseen 1 laitettiin ensin karhennuskangas ja sitten reikäkalvo, jotta nähtäisiin minkälaisen pinnan ne tekevät laminaattiin (kuva 18).



KUVA 17. Vahatut kappaleet.



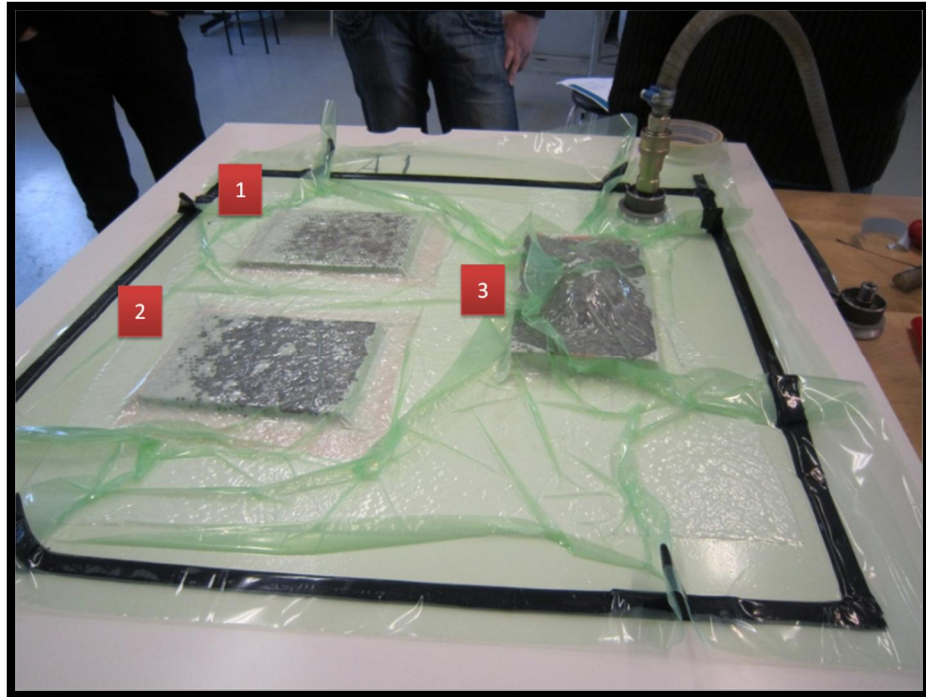
KUVA 18. Karhennuskangas ja irrotuskalvo

Tiivistenauhaan tehtiin jokaiselle sivulle kaksi paikkaa korville, jotka antavat säkityskalvolle varaa muotoutua enemmän. Korvien paikat on ympyröity punaisella kuvaan 18. Huovasta leikattiin pala, joka peitti kaikki kappaleet reilusti mutta oli kuitenkin pienempi kuin tiivistenauhalla rajattu alue.

Säkityskalvosta leikattiin noin 10 cm isompi kuin tiivistenauhalla rajattu alue, jotta säkissä on varaa muokkautua muotojen mukaan. Säkityskalvo laitettiin ensin paikalleen kulumista, sitten tehtiin korvat ja viimeisenä teippien keskialueet. Ennen kuin jokainen reuna oli kiinnitetty, laitettiin alipainepumpun venttiilipaikoilleen. Alipainepumppu laitettiin päälle ja asetettiin 0,6 bar alipainetta säkkiin (kuva 19). Pumppu annettiin olla käynnissä yön yli.

Kappaleet irrotettiin seuraavana aamuna. Tasaisista kappaleista laminaatit irtosivat muoteista helposti. Kaksoiskaarevassa kappaleessa ilmeni sama ongelma kuin aikaisemmin, eli muottia ei saanut irti muuten kuin liuottamalla.

Säkityksen jälkeen laminaattien pinnat olivat kiiltävämpiä ja laminaatit vaikuttivat jäykemmiltä taivutettaessa verrattuna vapaasti kovettuneisiin laminaatteihin. Koekappaleessa 1 epoksin määrä oli sopiva. Muottipinnasta tuli tasainen. Koekappaleeseen 2 muotin pintaan jäi jälkiä säkistä. Laminoinnin jälkeen huomattiin, että muotin pinta oli huono, joten laminaatin pinnanlaatuja ei verrattu toisiin kappaleisiin. Koekappaleen 3 muottipinta oli kiiltävä ja säkityksen jäljet olivat selvät..

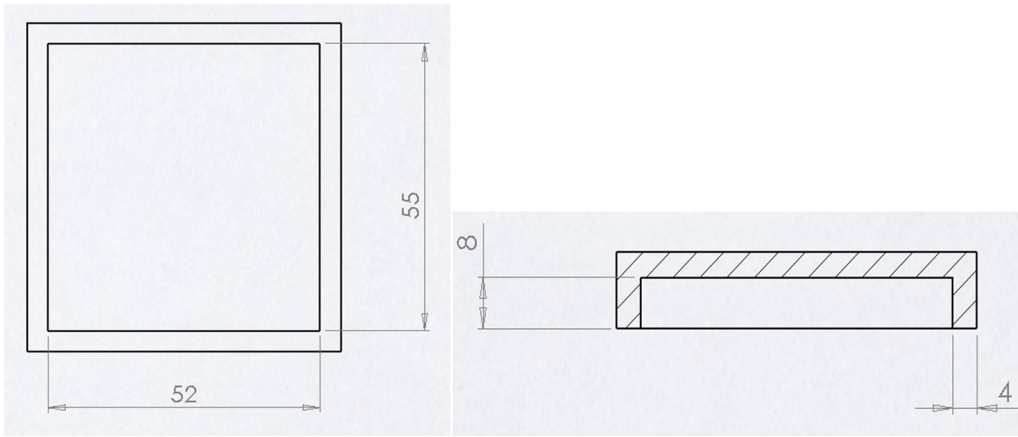


KUVA 19. Alipaine vedetty säkkiin

6.2.3 Tulosteiden kesto säkityksessä

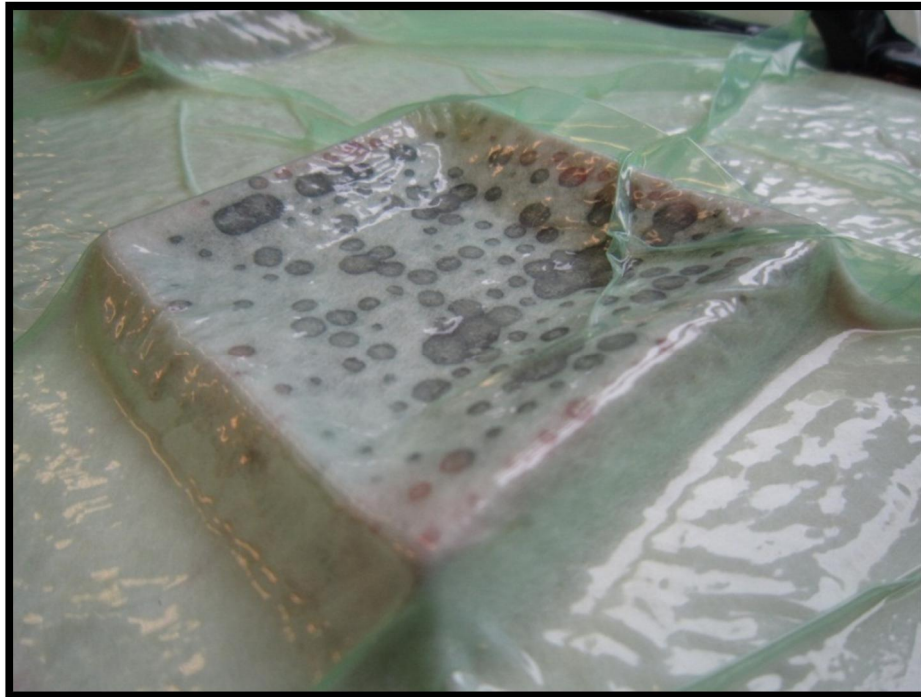
Lopuksi tulosteitten kestävyyttä testattiin säkittämällä onttoja kappaleita. Ensimmäinen säkitys tehtiin tankille jonka toisella puoliskolla on reiät mahdollisille inserteille. Tankki on tuettu sisältä ohuilla seinämillä. Kun alipainepumppu laitettiin paikoilleen, kesti tankki jonkin aikaa ehyenä, mutta särkyi lopulta. Särkyminen tapahtui sillä puoliskolla, jossa oli reiät.

Ontot kappaleet testattiin toisilla testeillä sen selvittämiseksi, kuinka vahva tulosteen seinämien pitäisi olla, että ne kestäisivät alipainesäkityksen. Muoteiksi tulostettiin seinämänvahvuuksiltaan 4 mm, 6 mm, 8 mm ja 10 mm. Jokaisen kappaleen sisäpinta oli samankokoinen eli 55 x 52 mm. Seuraavassa kuvassa (kuva 20) on esitetty esimerkki 4 mm:n kappaleesta.

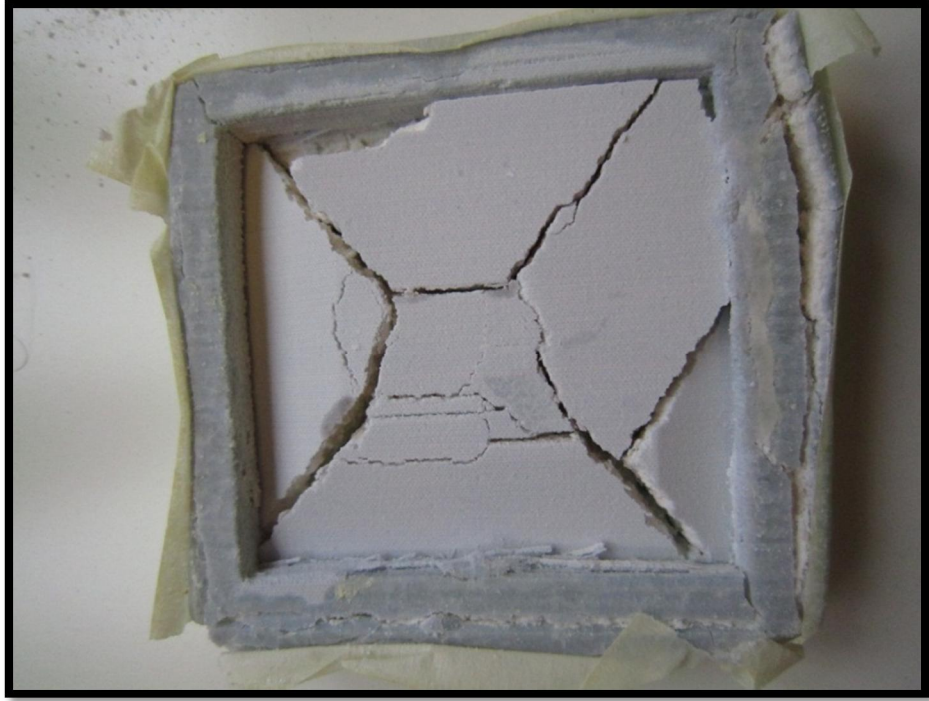


KUVA 20. Kappaleen koko

Kappaleet säkitettiin samalla tavalla kuin testikierroksella 7. Erona, että jokaiseen muottiin asetettiin ensin reikäkalvo ja sitten irrotuskangas. Kun alipaine vedettiin säkkiin, kaikki kappaleet särkyivät (kuva 21). Luultavasti kappaleet särkyivät, koska tulosteet eivät olleet riittävän paksuja. Mahdollista on myös, että hartsi on päässyt imeytymään tulosteeseen ja pehmentänyt muottia. Kuten kuvasta 22 näkee, on hartsia tullut vähän muotin läpi.



KUVA 21. Kappale säkityksessä



KUVA 22. 8 mm kappale kovetuksen jälkeen

7 YHTEENVETO

Työssä muottimateriaalina käytettiin 3D-tulostimen tulostetta, joka on kipsiä. Tämä materiaali ei ole ihanteellinen muottimateriaali, jos haluttu kriteeri on kestävyys. Kipsi kestää huonosti nestettä ja on haurasta. Pää tavoitteena ei ollutkaan saada muotista kestävää vaan kertakäyttöinen, jollainen kestää kertalaminoinnin. Muotin tarkoituksena olikin kestää vain yksi laminointiprosessi ja sen piti olla liuotettavissa laminoidusta tuotteesta, jotta voitaisiin tehdä vaikeita kappaleita yhdestä osasta.

Tavoitellut tulokset saavutettiin ja ne ylittivät odotukset. Projektipäällikkö Westerholm:n keksi sokeriliuoksen käytön muotin käsittely aineena. Sokeriliuoksella tulosteen pinnasta saatiin edullinen, luontoa säästävä ja tarpeeksi kestävä. Lisäksi tuloste ja sokeriliuos on mahdollista liuottaa vedellä pois muotin sisältä, mikä mahdollistaa vaikeitten muotojen tekemisen. Joitakin muotteja onnistuttiin käyttämään useamman kerran pilaamatta muotin pintaa tai hajottamatta sitä.

Työssä saavutettiin päätavoite eli keksittiin, miten tulostetta voidaan käyttää muottina niin, että komposiittiosista tulee käyttökelpoisia. Käsittelemällä tulosteet sokeriliuoksella saatiin kappaleen pinnasta tasainen, kova, luontoa säästävä ja helposti irtoava. Sokeriliuoksella muotti saadaan liuotettua vedellä pois. Sokeriliuoksella mahdollistetaan sellaisten kappaleiden teko, joitten muotit pitäisi normaalisti jakaa osiin.

LÄHTEET

- Ahopelto, E., Brander, T., Gunnar, H., Manner, T & Vanhatalo, J. 1992. *Muovikomposiittien liitostekniikka*. Tampere: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Anderssen Finn Roger. 2001. Open molding: Hand Lay-Up and SprayUp. Teoksessa Miracle, D.B. & Donaldson S.L (toim). *ASM Handbook Volume 21: Composites*,1075-1091.
- Boyle, Martin A., Martin Cary J. & Neuner, John D. 2001. Epoxy Resins. Teoksessa Miracle, D.B. & Donaldson S.L (toim). *ASM Handbook Volume 21: Composites*, 195-222.
- C-ADVICE OY. 2006. Palvelut. 3D-tulostus ja sen käyttökohteet. [viitattu 14.2.2011]. Saatavissa: <http://www.c-advice.com/?q=node/35>
- Esa Hietikko. 2008. *Tutkimussuunnitelma*. Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Kevra Oy. Ohjeet. [viitattu 7.4.2011]. Saatavissa: <http://kevra.fi/ohjeet/>
- Kevra Oy. Tuotteet. Alipainetarvikkeet. [viitattu 15.2.2011]. Saatavissa: http://kevra.fi/tuotteet/index.php?group=00000050&mag_nr=8
- Kevra Oy. Tuotteet. Alipainetarvikkeet. Tarvikkeet. [viitattu 15.2.2011]. Saatavissa: http://kevra.fi/tuotteet/index.php?group=00000090&mag_nr=8
- Kevra Oy. Tuotteet. Hartsit. Epoksit. [viitattu 15.2.2011]. Saatavissa: http://kevra.fi/tuotteet/index.php?group=00000063&mag_nr=8
- Kevra Oy. Tuotteet. Irrotusaineet. [viitattu 15.2.2011]. Saatavissa: http://kevra.fi/tuotteet/index.php?group=00000054&mag_nr=8
- Kevra Oy. Tuotteet. Irrotusaineet. Komposiitteille. [viitattu 15.2.2011]. Saatavissa: http://kevra.fi/tuotteet/index.php?group=00000068&mag_nr=8
- Miracle, D.B & Donaldson S.L. 2001. Introduction to Composites. Teoksessa Miracle, D.B. & Donaldson S.L (toim). *ASM Handbook Volume 21: Composites*, 39-67.
- Kinnunen, P. *Irrotusainekoe*. [sähköpostiviesti]. [Vastaanottaja Milla-Riina Turunen 20.9.2010].

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M & Komppa, V. 2007. *Komposiittitekenteet*. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

Seppälä, J. 2008. *Polymeeriteknologian perusteet*. 6 . painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

SFS-EN ISO 6892-1. *Metallien vetokoe. osa 1: Vetokoe huoneenlämpötilassa*. Metalliteollisuuden Standardisoimisliitto ry. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

ZCorporation. 2010. *3DP™ Consumables catalog*. [Tulostimen esite]

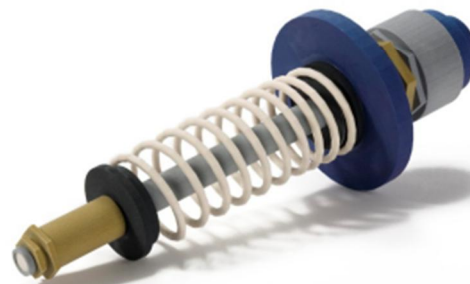
ZCorporation. Products. 3D Printers. [viitattu 14.3.2011]. Saatavissa: <http://zcorp.com/en/Products/3D-Printers/ZPrinter-450/spage.aspx>

ZCorporation. 2007. *ZPRINTER® 450 quick start guide*. [Tulostimen Esite]

Åström, Thomas B. 2001. Introduction to manufacturing of Polymer-Matrix Composites. Teoksessa Miracle, D.B. & Donaldson S.L (toim). *ASM Handbook Volume 21: Composites*, 1010-1013.



3DP™ CONSUMABLES CATALOG



Part Number 09572

Rev. H 13 April 2010



Contents

1	Introduction	4
1.1	Printers and Materials Compatibility.....	5
1.2	Available Sizes	6
2	High Performance Composite Materials.....	8
2.1	zp® 150.....	8
2.2	Legacy High Performance Composites	9
3	Metal Casting Materials	10
3.1	ZCast 501	10
3.2	zp® 14.....	11
4	Elastomeric Materials.....	11
4.1	zp 15e.....	11
5	Infiltration	12
5.1	How It Works.....	12
5.2	Mechanical Properties.....	12
5.3	Infiltration for Concept Modeling	14
5.4	Infiltration for Functional Modeling.....	16
5.5	Specialty Infiltration	17
6	Resources	18

1 Introduction

Z Corporation® offers several material systems to satisfy a variety of modeling needs. This guide is designed to give users an overview of the different types of powders, binder and infiltrants that can be used with 3D printers. The part numbers associated with each product are also listed.

These material choices allow you to tailor the properties of the finished models by selecting different infiltrants based on the application.

No matter which material you choose, you will always get the fast, high quality, and low material cost printing our machines are known for.



ZPrinter® 310 Plus
Monochrome, affordable, easy to use.



ZPrinter® 350
Monochrome, automated, office-friendly.



ZPrinter® 450
Full color, automated, office-friendly.



ZPrinter® 650
Fastest print speed, largest color models and highest throughput.




1.1 Printers and Materials Compatibility





	HIGH PERFORMANCE COMPOSITE	DIRECT METAL CASTING	INVESTMENT CASTING	ELASTOMERIC
	zp® 150	ZCast®	zp 14	zp 15e
PRINTERS				
ZPrinter® 310 Plus	zb® 60	zb 56	zb 51	zb 51
ZPrinter 350	zb 63	-	-	-
ZPrinter 450	zb 63	-	-	-
ZPrinter 650	zb 61	-	-	-
INFILTRANTS				
Z-Bond™ 101/ Z-Bond 90	√	-	-	-
Z-Max™ / Z-Max 90	√	-	-	-
Wax	√	-	√	-
Elastomer Kit	-	-	-	√
Salt Water	√	-	-	-

Note – For printers and materials not listed here, visit the Legacy Printers and Materials section of our Web site at zcentral.zcorp.com.

1.2 Available Sizes

Z Corporation powders and their compatible binders are available in a variety of sizes and packaging.

POWDERS			
PACKAGE	PRINTED PARTS VOLUME (APPROX.)	APPEARANCE	NOTES
Mini-Pail	325 in ³ 5326 cm ³		
Cartridge	400 in ³ 6555 cm ³		Compatible with automatic powder loading (Automated 3DPrinters)
Pail	500 in ³ 8194 cm ³		
Eco-Drum	700 in ³ 11471 cm ³		Made from renewable resources and 100% recyclable
Drum	2000 in ³ 32774 cm ³		

BINDERS		
PACKAGE	FLUID VOLUME	APPEARANCE
Cartridge (small)	10 oz./ .3 L	
Cartridge (large)	34 oz./ 1.0L	
Bottle (small)	.5 gal./ 1.9 L	
Bottle (large)	1 gal./ 3.8 L	

2 High Performance Composite Materials

The foundation of 3DP™ technology is the High Performance Composite Material. It consists of a highly engineered powder with numerous additives that maximize surface finish, feature resolution, and part strength. Each material, paired with its corresponding binder, produces high-definition parts that are fit for the most demanding 3D printing application.

2.1 zp® 150

The zp 150 series includes zp150 powder as well as zb® 60, zb 61 and zb 63 binders.

zp150 is a High Performance Plus material for making strong, high-definition parts. It features the highest green strength right out of the printer, improved final strength and because the material is so white, 3D models printed with zp150 feature vivid color.

Additionally, zp150 features a new Water Cure finishing option. Simply spray your 3D-printed model with a fine mist of water mixed with salt, dry it, and it's ready to be shown and touched.

zp150's performance improvements and the new Water Cure option truly expand the possibilities of your 3D printer. Use Water Cure for early concept iterations and ergonomics tests, and then finish your new designs with Z-Max™ for functional testing.

zp 150 Features

- Water cure finishing for both monochrome and color models
- Highest green strength and final strength
- Extremely bright white

Compatibility Check – zp 150

- ZPrinter 350 + zb 63
- ZPrinter 450 + zb 63
- ZPrinter 650 + zb 61
- ZPrinter 310 / 310 Plus + zb 60

ZP 150 PRODUCT FAMILY			
MATERIAL	DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	PART #
Powder	zp 150 (Cartridge)	17.6 lbs (8 kg)	50407
	zp 150 (Eco-Drum)	30.8 lbs (14 kg)	50367
	zp 150 (Mini-pail)	14.3 lbs (6.5 kg)	50440
Binder	zb 60 Clear (Bottle)	1 gal. (3.8 L)	06932
	zb 60 Cyan (Bottle)	.5 gal (1.9 L)	06933
	zb 60 Magenta (Bottle)	.5 gal (1.9 L)	06934
	zb 60 Yellow (Bottle)	.5 gal (1.9 L)	06935
	zb 61 Clear (Cartridge)	34 oz./1 L	Z0170 (pkg. 2)
	zb 61 Black (Cartridge)	34 oz./1 L	Z0171 (pkg. 2)
	zb 61 Cyan (Cartridge)	10 oz./3 L	Z0172 (pkg. 2)
	zb 61 Magenta (Cartridge)	10 oz./3 L	Z0173 (pkg. 2)
	zb 61 Yellow (Cartridge)	10 oz./3 L	Z0174 (pkg. 2)
	zb 63 Clear (Cartridge)	34 oz./1 L	Z0177 (pkg. 2)





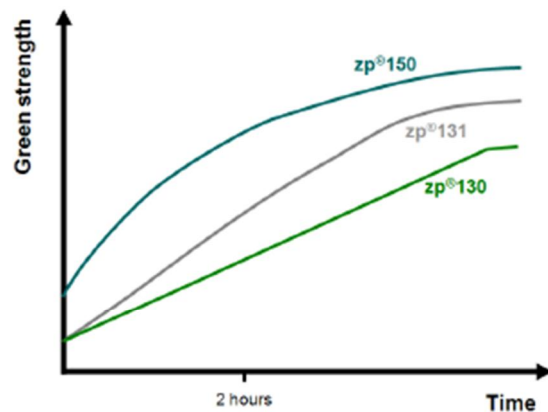
2.2 Legacy High Performance Composites

Through the years and several generations of new materials, Z Corporation has developed and improved its line of High Performance Composites. By focusing on improving both ease of use and performance, each new material has enabled broader use of 3D printing.

Legacy High performance Composite materials include zp140, zp131, zp130, zp102 and zp100.

Key improvements of zp150 over legacy materials include:

- Model strength
 - Higher green strength*
 - Higher final strength, achieved by increasing compatibility with Z-Bond
- Resolution
 - Smaller features can be printed
- Model color and whiteness
 - More unique colors can be printed
 - Higher color fidelity
 - Better whiteness
- Ease of use & office compatibility
 - Models dry faster
 - Lower dust
 - New no-chemical Water Cure finishing**



* Strength of models when taken out of the printer, before infiltration

** With Epsom salt

3 Metal Casting Materials

If you need to work with metal casting, Z Corporation® has two options for you: direct metal casting with ZCast® or investment casting with zp® 14. Either way you get your cast parts quickly, with the accuracy of 3D printing directly from the CAD file.

3.1 ZCast 501

Direct Metal Casting

The ZCast 501 Direct Metal Casting process provides the ability to produce cast metal parts from a CAD file significantly faster and less expensively than traditional prototype casting methods. Printing molds and cores directly from digital data eliminates the pattern and core box production step used in traditional sand-casting processes. Metal is poured directly into the 3D printed molds. The technology allows engineers to prototype parts in metal that are costly and time consuming to produce using traditional methods.

Direct Casting Material can be used to create sand casting molds for non-ferrous metals. This material is a blend of foundry sand, plaster, and other additives that have been combined to provide strong molds with good surface finish. It is designed to withstand the heat required to cast non-ferrous metals.

After removal from the printer, printed molds must be baked in an oven at 375°F for 4-8 hours to remove excess moisture from the mold before metal is poured. ZCast 501 molds should never be infiltrated. Common foundry products such as core paste and refractory mold wash can be used to prepare the mold for pour as they have been designed to withstand the temperatures of the casting process. Refer to the ZCast Design Guide for more details on this process.

DIRECT METAL CASTING MATERIALS			
MATERIAL	DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	PART #
Powder	ZCast 501 (pail)	33 lbs. (15 kg)	06439
	ZCast 501 (drum)	132 lbs. (60 kg)	06438
Binder	zb 56 clear (jug)	1 gal. (3.8 l)	06312

Compatibility Check – ZCast

- ZPrinter 310 Plus + zb 56

The ZCast Process

- Extremely fast turnaround from CAD file to prototype metal part
- Easily print complex molds and cores
- In-house mold-making capabilities for product manufacturers
- Simple metal-pouring process for foundries



3.2 zp[®] 14

Investment Casting

zp 14 Investment Casting Material can be used to quickly fabricate parts that can be dipped in wax to produce investment casting patterns. The material consists of a mix of cellulose, specialty fibers, and other additives that combine to provide an accurate part while maximizing the absorption of wax and minimizing residue during the burnout process.

Investment casting using zp 14 involves printing a male pattern, which is then infiltrated with wax. Once infiltrated, the pattern is coated with an investment slurry, creating a mold. A cycle in the oven will burn out the printed pattern.

INVESTMENT CASTING MATERIALS			
MATERIAL	DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	PART #
Powder	zp [®] 14 (pail)	11 lbs. (5 kg)	06127
	zp 14 (drum)	44 lbs. (20 kg)	06128
Binder	zb [®] 51	1 gal. (3.8 l)	05892
Infiltrant	Paraplast X-TRA™	17.6 lbs. (8 kg)	10434

4 Elastomeric Materials

4.1 zp 15e

Elastomeric material has been optimized for infiltration with an elastomer to create parts with rubber-like properties. The material consists of a mix of cellulose, specialty fibers, and other additives that combine to provide an accurate part capable of absorbing the elastomer, which gives the parts their rubber-like properties.

ELASTOMERIC MATERIALS			
CATEGORY	DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	PART #
Powder	zp 15e pail	9.9 lbs. (4.5 kg)	06129
Binder	zb 51 clear	1 gal. (3.8 L)	05892
	zb 58 clear	1 gal. (3.8 L)	06660
	zb 58 cyan	.5 gal. (1.9 L)	06661
	zb 58 magenta	.5 gal. (1.9 L)	06662
	zb 58 yellow	.5 gal. (1.9 L)	06663

Compatibility Check – zp 14

- ZPrinter 310 Plus + zb 51

Tech Tip

Investment casting: Work with your local investment casting foundry to find the proper shrinkage factor for the metal alloy used for the pour.



Compatibility Check – zp 15e

- ZPrinter 310 Plus + zb 51



5 Infiltration

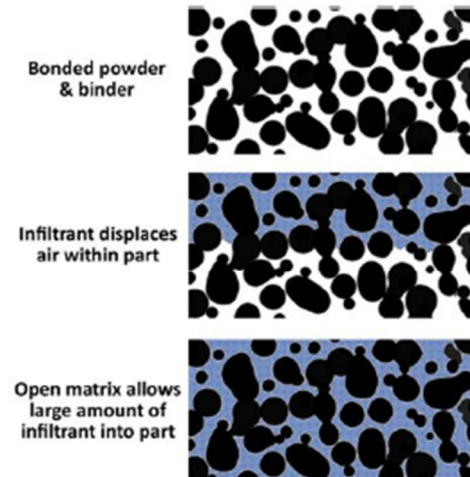
Infiltration is the process of applying a liquid resin to a printed part to provide strength and impart specific properties. Our infiltration systems have been selected for their ability to fill porosities, for the exceptional mechanical and thermal properties they confer models and for their ease of use.

5.1 How It Works

The first diagram illustrates the open matrix of green (just-printed) parts. The powder particles are bonded to each other by the binder.

In the second drawing, infiltrant (shown in blue) has been applied to the surface of the matrix, and is starting to penetrate, displacing air from the interior of the matrix.

Finally, the third diagram shows how the infiltrant is drawn into the part, sealing the surface area and improving the appearance and strength of the part.



5.2 Mechanical Properties

The mechanical properties of the finished, infiltrated part depend mostly on the infiltration method chosen. The table below lists typical results using standard ASTM test methods.

MECHANICAL PROPERTIES				
PROPERTIES	ASTM PROCEDURE	WATER CURE	Z-BOND 101	Z-MAX
Tensile Strength, MPa	D-636	-	14.2	26.4
Elongation at Break, %	D-636	-	0.23	0.21
Modulus of Elasticity, MPa	D-636	-	9,450	12,560
Flexural Strength, MPa	D-790	13.1	31.1	44.1
Flexural Modulus, MPa	D-790	6,355	7,163	10,680

Note: zp 150 powder used for all tests.

Infiltration Products

Z Corporation offers three families of infiltrants, with properties specifically optimized for different applications:

- Concept modeling
- Functional modeling
- Specialty infiltrants

The Guide below summarizes the performance of each of the infiltrants. More details about each family are provided in the sections that follow.

INFILTRANT GUIDE								
PRODUCT	DESCRIPTION	APPLICATION METHOD	INFILTRANT COLOR/ PART COLOR	MIX RATIO	PENETRATION DEPTH (MM)	WORKING TIME	CURE TIME @ 70°F/ 21°C	CURE TIME @ 160°F/ 71°C
CONCEPT INFILTRANTS								
Z-Bond™ 101 Premium	Instant Cure	Dip Drizzle	Clear/ Color	-	0.5-3	-	5-10 min	-
Z-Bond 90 Economy	Instant Cure	Dip Drizzle	Clear/ Color	-	0.5-3	-	15-30 min	-
Paraplast X-TRA™ Wax	Seal & protect Low strength	Dip ZW4	Clear/ Color	-	Up to 100%	-	15-30 min Cool down	-
Salt Water Cure	Chemical-free Low strength	Mist Dip	Clear/ Color	-	Up to 100%	-	Variable	Variable
FUNCTIONAL INFILTRANTS								
Z-Max™ High Strength	Maximum Strength Heat resistant	Brush Spray	Slightly yellow/ Color	100: 37 by weight	5-10	35 min	24 h	2 h
Z-Max 90 High Strength	High Strength Waterproof	Brush Spray	Clear/ Color	5:2 by pumps	5-10	45 min	24 h	2 h
SPECIALTY INFILTRANTS								
Por-A-Mold® Elastomer	Tough Flexible	Brush	Slightly yellow/ Color	1:1 by volume	2-5	15 min	24 h	-
Notes: Working time is the time during which the resin can be applied, before the curing reaction starts. Cure time is the point in time when the infiltrated part is cured and has achieved full strength. The ZW4 is a waxer available from Z Corporation authorized resellers.								

5.3 Infiltration for Concept Modeling

Concept Modeling Infiltrants are great for applications ranging from design iterations, product mock-ups, design & ergonomics review, and proof of concept to sales/marketing tools, teaching tools or movie props.

Z-Bond™ 101/Z-Bond 90

Z-Bond 101 is an extremely fast-curing infiltrant, designed to rapidly strengthen 3D-printed parts. Z-Bond 101 is a low odor formulation and is easy to apply. With Z-Bond 101 Premium Instant infiltrant, you can enjoy strong, vividly colored models in as little as 5 minutes.



Z-Bond 101 is the strongest and fastest concept modeling infiltrant and also one of the most lightfast, under office-type lighting.

Z-Bond 101 is also available in a Dipping Kit. This convenient kit has everything you need to easily and cleanly dip your parts. It includes two bottles of Z-Bond 101, a dipping container, funnel, safety glasses and gloves - all for the price of just the Z-Bond 101.

Z-Bond 90 is a fast-curing infiltrant for 3D-printed parts. It is a low odor formulation that makes strong and very colorful models.

Z-Bond 90 is the best value instant infiltrant and a great choice for many concept modeling applications.

Z-Bond 90 is available in a Dipping Kit as well. As with Z-Bond 101, the kit has everything you need including three bottles of Z-Bond 90, two dipping containers, funnel, safety glasses and gloves.

Paraplast X-TRA™ Wax

One of the most cost-effective infiltrant options for concept models is Paraplast X-TRA wax. Dipping the printed models in melted wax quickly enhances colors and fills the pores, for a smoother surface finish.

Paraplast X-TRA melts at a low temperature of 50°C (122°F) and will readily infuse the printed model and confer it some additional strength.

Paraplast X-TRA can be used with Z Corporation's ZW3 waxer and ZW4 automated waxer.

Salt Water Cure

Salt Water Cure is the safest and greenest way to infiltrate 3D-printed models. Simply mist your model (or dip it) using a salt water solution. Salt Water Cure is the lowest cost infiltration option and delivers the brightest white 3D models.

Concept Modeling Infiltrant Characteristics

- Easy and cost effective to use
- Seals and smoothes part surface
- Enhances color vibrancy
- Strengthens part for handling

Tech Tip

A little sanding goes a long way in improving the appearance of your models.

Before infiltration, take a minute to lightly sand away unevenness in the color of the part.

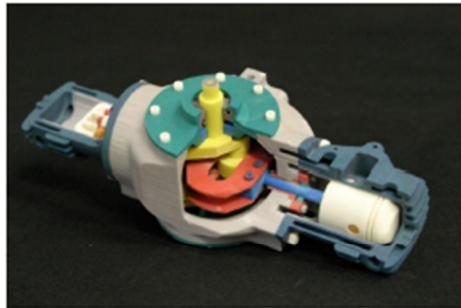
Once infiltrated the colors of the parts will be brighter and more uniform in appearance.



Infiltration Products for Concept Modeling

Our concept modeling infiltrants include Z-Bond™ 90 and 101, as well as Paraplast X-TRA™ wax and the new Epsom salt option.

CONCEPT MODELING INFILTRANTS		
DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	PART #
Z-Bond™ 101 Premium (small)	100 g (3.53 oz.)	15078
Z-Bond 101 Premium (large)	454 g (16 oz.)	15077
Z-Bond 90 Economy	454 g (16 oz.)	Z0096 (pkg. 2)
Z-Bond 90 Economy (large)	2 kg (4.4 lb)	50349
Z-Bond 101 Dipping Kit	2x 454 g (2 x 1 lb.) Dipping container Gloves, towels, funnel	50301
Z-Bond 90 Dipping Kit	3x 2 kg (3 x 4.4 lb.) Dipping container (2) Gloves, towels, funnel	50392
Paraplast X-TRA	1 kg (2.2 lb.)	10434 (pkg. 8)
Epsom Salt	0.6 kg (22 oz.)	16743



Z-Bond 101 and
Z-Bond 90



Z-Bond 101 Dipping Kit



Z-Bond 90 Large

5.4 Infiltration for Functional Modeling

Functional Infiltrants are great for more demanding applications such as fit testing, functional testing, tooling or molding.

Z-Max™ /Z-Max 90

Z-Max is the infiltrant of choice for the user that needs prototyping functionality from their parts. A part infiltrated with Z-Max allows engineers and designers to quickly test design iterations without the cost and time associated with waiting for molded plastic parts. Once infiltrated, parts can easily be machined, tapped, sanded, and painted. Z-Max will give you a very hard, very rigid, and very strong part.

Z-Max and Z-Max 90 are high strength infiltrants. These products were formulated to support needs not met by any product currently on the market. The primary factors are performance and convenience.

Performance: Z-Max is a low viscosity formulation, which means deeper, quicker penetration. The result is very strong models, up to 44 MPa of flexural strength and up to 98 MPa of compression strength. Parts made with Z-Max are hard and rigid so they don't deform under load. Z-Max also has good temperature resistance, with a Heat Deflection Temperature (HDT @ 66 psi) of 115°C.*

Convenience: Z-Max has 35-45 minutes of working time, which is plenty of time to apply it and it will cure without the need for an oven.

Z-Max is a two-part system. It is available in small pre-weighed kits, or in large size with pumps for easy pouring and measuring.

After infiltration, Z-Max infiltrated parts cure at room temperature in 12-24 hours. The use of an oven for the cure cycle reduces the cure time to just 2 hours, producing consistently strong parts quickly.

Parts treated with Z-Max High Strength infiltrant can be sanded, drilled, tapped or machined, as needed.

* Source: Independent A2LA-accredited laboratory.

FUNCTIONAL INFILTRANTS		
DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	PART #
Z-Max Large	2.65 L (0.7 gal.)	14505
Z-Max 90 Small Kit	380 mL (12.9 fl. oz.) Contains 2 pre-weighed kits with brushes	50220
Z-Max 90 Full Kit	5.4 L (1.42 gal.) Basic kit + pumps + all accessories	50223
Z-Max 90 Resupply Kit	5.4 L (1.42 gal.) Basic kit + pumps	50221

Functional Modeling Infiltrant Characteristics

- Easy and cost effective to use
- Seals part surface
- Strengthens part
- Resistant to temperature and humidity

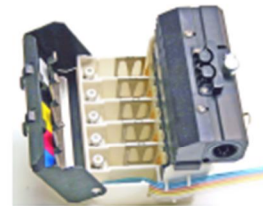
Tech Tip

When applying Z-Max, a heat gun is a good tool to use to retain fine feature detail.

When heat is applied to an area of the part, the viscosity decreases locally, allowing it to more easily wick in. This helps to preserve the quality of the part.



Z-Max 90 Full Kit



5.5 Specialty Infiltration

Por-A-Mold® Elastomer

Por-A-Mold elastomer is used to give parts printed with zp® 15e powder their elastomeric properties. This two-part urethane is mixed and then brushed onto the part, until it is infused completely. The part must then cure at room temperature for 24 hours. This will produce a very flexible part, yielding a Shore A Hardness of 28±2.

SPECIALTY INFILTRANTS		
DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	PART #
Por-A-Mold Elastomer	1.9 L (2 qt.)	20093

Tech Tips for Elastomeric Urethane

- Mix the material in small batches
- Apply the first coat very liberally
- Additional coats should be lighter
- Be ready to dab off excess material
- Once a part has been infiltrated, be careful not to leave the part sitting in a puddle of material, as it will be difficult to cut off afterwards.



Por-A-Mold

6 Resources

All consumable items can be ordered online through our Z Shop™ web store found in the ZCentral™ web site, zcentral.zcorp.com. If you are not a North American customer, please contact your authorized sales representative for ordering information.

Ordering inquiries can also be directed to our Customer Development team at: ussupplies@zcorp.com.

Technical application inquiries can be directed to our Applications team at: applications@zcorp.com.

Service related inquiries can be directed to our Service team at: service@zcorp.com.

Z Corp's annual ZNet User Group Meeting is another valuable resource to learn and share new applications with other 3DP™ users and our applications team. Visit ZCentral for more information.

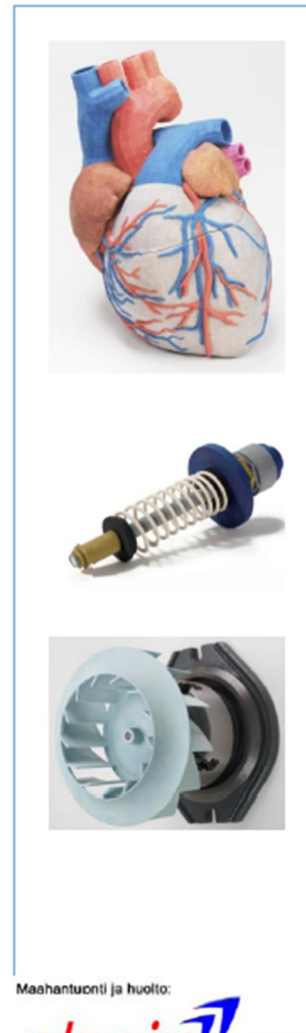
Also on our ZCentral web site, you'll find:

- Latest Updates and Information
- Technical Application Notes
- User Guides
- Design Guides
- Best Practices
- User Training
- Knowledge Base
- Software Help
- 3DP User Group
- ZCentral Message Board
- Software and Firmware Downloads
- Product information including our line of printers and consumables
- MSDS information
- Z Shop



All company and product names are trademarks or registered trademarks of their respective owners.

©2010 Z Corporation. All rights reserved.



Maahantuonti ja huolto:

planix

Planix Oy
Vitikka 2
02630 Espoo
Puh. 0207 890 700
www.planix.fi

Worldwide Headquarters
Z Corporation
32 Second Avenue
Burlington, MA 01803 USA
+1 781-852-5005
www.zcorp.com

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Complies with Approved Code of Practice: Chemical (Hazard Information and Packaging for Supply) Regulations 2002 (UK) and European 91/155/EEC, 67/548/EEC, 1999/45/EC format, Australian NOHSC: 1008, 10005(1999), 2011(2003) and 2001/58/E, ANSI Standard Z400.1 and U.S. Federal OSHA Hazard Communication

Section 1. Identification of Chemical Substance and Company

- 1.1. **PRODUCTS IDENTIFICATION:** zpTM130 powder
- 1.2. **USE OF SUBSTANCE:** Plaster powder for making rapid-prototyping 3D models.
- 1.3. **COMPANY:** Z Corporation
32 Second Ave.
Burlington, MA 01803
Contact Person: Manager of Technical Services
Telephone Number: 781-852-5005
Foreign Contact: +(45) 48 14 11 22
Svanevang 2, 3450 Allerød, Denmark
Date of Preparation: 8/04
Date Revised: 2/23/06, 4/13/06, 1/4/07
- 1.4. **EMERGENCY TELEPHONE:** 781-852-5005

Section 2. Composition/Information of Ingredients

Substance is a mixture with following general composition:

Component Classified As Dangerous (CHIP3)	Approximate % by weight	C.A.S. No. & EINECS No.	UK/EU Classification
1. Plaster which contains Crystalline Silica ¹ at <1%	50-95%	Trade Secret	None
2. Vinyl Polymer	2-20%	Trade Secret	S22, S26, S51
3. Sulfate Salt	0-5%	Trade Secret	S22 S24/25

Section 3. Hazard Identification

Potential Human Health Effects:

May cause irritation of the eyes, mucous membranes, and respiratory tract. May be harmful by inhalation or ingestion. Eye contact may cause mechanical abrasion with burning, tearing and redness. Ingestion may cause gastrointestinal disturbances such as upset stomach and intestinal irritation.

Target Organs or Systems:

Caution: May cause irritation to the eyes, skin, mucous membranes, upper respiratory tract. If ingested, toxic reactions due to bioaccumulation may occur.

¹ There is <0.1% respirable crystalline silica, no exceedance of OSHA/TLV anticipated.

Route of Exposure:

Skin Contact: Repeated contact may dry the skin, causing cracking and dermatitis (rash). Sensitive individuals may develop an allergic dermatitis. When mixed with water, this material hardens and then slowly becomes hot. DO NOT attempt to make a cast enclosing any part of the body using this material. This can result in severe burns.

Eye Contact: May cause eye irritation.

Inhalation: May be harmful if inhaled. Material may be irritating to the mucous membranes and upper respiratory tract.

Ingestion: Toxic reactions due to bioaccumulation may occur. Inflammation of mouth, throat, esophagus and/or stomach.

Signs and Symptoms of Exposure:

Prolonged exposure can cause: Nausea, headache, and vomiting.

Acute:

May cause irritation of the eyes, skin, mucous membranes, and respiratory tract. May be harmful by inhalation, ingestion, or skin absorption.

Chronic:

Inhalation: Pre-existing upper respiratory and lung disease may be aggravated by exposure. Prolonged inhalation of dust may cause pneumoconiosis. Prolonged and repeated exposure to respirable crystalline silica can result in lung disease (i.e. silicosis) and/or lung cancer. The product does not contain detectable levels of respirable silica based on the plaster manufacturer's test data and the overall total weight of crystalline silica is less than 1% in the product. If the final models are sanded, ground or pulverized low levels of respirable dust may be generated that contain respirable fractions of silica. Thus the actual workplace exposure must be determined by workplace exposure testing.

Skin: Repeated contact may dry the skin, causing cracking and dermatitis (rash). Sensitive individuals may develop an allergic dermatitis.

Carcinogens Under OSHA, ACGIH, NTP, IARC, OTHER:

This product contains less than 1% by weight of crystalline silica and there is less than 0.1% respirable crystalline silica. Only OSHA specifically regulates the respirable fraction of crystalline. Respirable silica is listed as cancer agent by ACGIH, IARC as Group 1 and NTP as human carcinogen. All other ingredients in this product contain no carcinogens in concentrations of 0.1 percent or greater based on U.S. and European chemical data base information.

Potential Environmental Effects:

No significant environmental hazards are expected if material is released to the environment.

Section 4. Emergency First Aid**Inhalation:**

Remove from area to fresh air. Seek medical attention if respiratory irritation develops or if breathing becomes difficult.

Eye Contact:

Immediately flush eyes with copious amounts of water for at least 15 minutes. Call physician if irritation continues.

Skin Contact:

Immediately wash skin with soap and rinse with large amounts of water. Remove and wash contaminated clothing promptly. If skin has become cracked, take appropriate action to prevent infection and promote healing.

Ingestion:

Wash out mouth with water provided the person is conscious and seek medical attention. Plaster hardens when wetted and, if ingested, may result in obstruction.

Section 5. Fire and Explosion Hazard

Flash point (Method Used)	Flammable limits	LEL	UEL
	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable

Product is not combustible.

Extinguishing Media:

Water spray do not use solid stream of water or Class AB fire extinguisher
If unconfined, ignition of the powder will give rise to a Class A fire. In case of fire use water streams.

Special Fire Fighting Procedures

As with all fires, fire fighters should wear full protective gear including supplied air respirators.

Unusual Fire & Explosion:

Emits toxic fumes under fire conditions. Avoid conditions, which produce dust.

Exposure Hazard(s): Material: Irritant

Section 6. Accidental Release Measures

Procedures of Personal Precautions:

Wear respirator, chemical safety goggles, and chemical gloves.

Environmental Precautions:

No significant environmental hazards identified. Surfaces subject to spills or dusting with this product can become slippery when wet, use care to avoid falls.

Methods of Cleaning Up:

Sweep or vacuum material from spillage into a waste container for disposal. Avoid production of dust. Do not flush down drains. Place in closed containers. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

Waste Disposal Method:

Follow safe solid waste disposal guidelines in accordance with federal, state and local regulations. National or regional provisions may also be in force.

Section 7. Storage and Handling

Handling Precautions:

User Exposure: Avoid handling procedures that produce high levels of dust.

Storage Precautions:

Suitable: Store product in a cool, dry, ventilated area away from sources of heat, moisture, strong oxidizing materials and explosives. Keep containers tightly closed.

Special Requirements:

Under planned use this product should not result in excessive dust or hazards to the user following the recommended processes for creating prototype models.

Section 8. Exposure Controls & Personal Protection

Exposure Limit Values:

The European Member States have different standards for the components in this preparation. These powders are potentially irritant dusts with general exposure standard of 10 mg/m³. Particulates not otherwise classified (total dust) in Germany are 6 mg/m³, and 10 mg/m³ in other European Countries. The respirable dust levels are 5 mg/m³.

Component	IOELVs (UK)	EC OEL	ACGIH TLV	OSHA PEL
-----------	-------------	--------	-----------	----------

1. Plaster which contains Crystalline Silica ² at <1%	6 mg/m ³ R 0.3 mg/m ³ total 0.1 mg/m ³ R	10 mg/m ³	10 mg/m ³ Inhalable 3 mg/m ³ R Respirable Dust = 10 mg/m ³ / % Silica + 2	15 mg/m ³ Total 5 mg/m ³ Respirable Respirable Dust = 10 mg/m ³ / % Silica + 2
2. Vinyl Polymer	General Dust 4 mg/m ³ Inhalable 1.5 mg/m ³ R	10 mg/m ³	10 mg/m ³ Inhalable 3 mg/m ³ R	15 mg/m ³ Total 5 mg/m ³ R
3. Sulfate Salt	General Dust 4 mg/m ³ Inhalable 1.5 mg/m ³ R	10 mg/m ³	10 mg/m ³ Inhalable 3 mg/m ³ R	15 mg/m ³ Total 5 mg/m ³ R

Notations:

IOELVs = Indicative Occupational Exposure Limit Values

OEL = Occupational Exposure Limits

TLV = Threshold Limit Value

R = Respirable

TWA = time weighted average

PEL = Permissible Exposure Limit

STEL = Short Term Exposure Limit

Exposure Controls:**Ventilation Controls:**

Use mechanical ventilation to prevent dust generation, if necessary.

Respiratory Protection:

Respirators are generally not needed under normal conditions of use. If dust levels exceed the exposure limits use an NIOSH-approved dust respirator (N95 or better). The actual workplace exposure to dust and crystalline silica should be determined by workplace exposure testing if the final product is sanded, ground, or pulverized. If there is exposure to respirable silica over workplace limits, an N100 respirator filter should be used along with proper engineering controls. In Europe, the respirator must be CE-marked and filter FFP3 is for high efficiency.

Protective Gloves:

Avoid skin contact by use of neoprene, butyl, PVC-coated or like type chemical resistant gloves for dust exposure.

Eye Protection:

Safety goggles for dust are recommended during powder additions and cleaning.

Skin Protection:

Special skin protection is not routinely needed when using the product. If clothing becomes contaminated wash contaminated clothing before reuse.

Other Controls:

Safety shower and eyewash. Wash contaminated clothing before reuse. Always use good personal hygiene and housekeeping practices to minimize dust exposures. Wash thoroughly after handling.

Environmental Exposure Controls:

This product is not known to contain chemical components requiring specific environmental exposure controls. Specific environmental requirements, however do vary and each user needs to follow local Community environmental protection requirements.

Section 9. Physical & Chemical Properties**Appearance:** Powder**Boiling Point (F°):** Not applicable (NA)**Vapor Pressure (MM Hg):** NA**Vapor Density (air = 1):** NA**pH:** 4 - 8 (aqueous solution)**VOC by Weight** = 0% (EPA Method 24)**Spec Gravity** (H₂O = 1): 1.3 - 3.0**Color:** White/Off-White Powder**Odour:** Slight odour**Clarity:** NA

² There is <0.1% respirable crystalline silica, no exceedance of OSHA/TLV anticipated.

Melting Point: NA
Flash Point: NA
Flammability (solid, gas): Noncombustible
Explosive Properties: NA
Oxidizing Properties: NA
Bulk Density: 1.5 g/cc
Water/Oil Distribution: NA

Solubility: 0.67 to 0.88 g/100 g solution
Solubility Fat: NA
Evaporation Rate: NA
Partition coefficient: n octanol/water: NA
Density: Not known
Viscosity: Not Determined

Section 10. Stability and Reactivity

Stability: Stable in dry environments. Dew point conditions or other conditions causing presence of liquid will harden the material.

Conditions to Avoid: Avoid wet / high humidity conditions.

Materials to Avoid: Incompatible: Acids, strong oxidizing agents, phosphorous, water, high humidity.

Hazardous Decomposition Products: Aldehydes, carbon monoxide, carbon dioxide, sulfur oxides, and aluminum oxide. Temperatures above 1,450°C calcium oxide and sulfur dioxide. Irritating and toxic fumes at elevated temperatures.

Hazardous Polymerization: Will not occur.

Section 11. Toxicological Information

Data for product components only, mixture not evaluated.

1. Plaster	
Human	Oral LD50 – >5,000 mg/kg; Skin LD50 – not determined; Eye Irritation – not determined; Dermal LD50 – not determined The sulfate ion has caused gastro-intestinal disturbance in humans following large oral doses. Plaster has <1% Crystalline Silica as total weight and exposures to any hazardous levels of respirable silica are not anticipated. The following information is based on silica toxicology information not the hazard of this product. Crystalline silica: Prolonged and repeated exposure to airborne free respirable crystalline silica can result in lung disease (i.e., silicosis) and/or lung cancer. The development of silicosis may increase the risks of additional health effects. The risk of developing silicosis is dependent upon the exposure intensity and duration. In June, 1997, IARC classified crystalline silica (quartz and cristobalite) as a human carcinogen. In making the overall evaluation, the IARC Working Group noted that carcinogenicity in humans was not detected in all industrial circumstances studied. Carcinogenicity may be dependent on inherent characteristics of the crystalline silica or on external factors affecting its biological activity or distribution of its polymorphs. IARC states that crystalline silica inhaled in the form of quartz or cristobalite from occupational sources is carcinogenic to humans (Group 1).
Monkeys, Rats, Hamsters	Limited studies involving the repeated inhalation of an (unspecified) calcium sulfate failed to identify any particular target organs in monkeys, rats and hamsters
Other	Ames bacterial Test – no mutagenicity
2. Vinyl Polymer	
Human	Eye Irritation – Severe; Skin Irritant – Mild
Rabbit	Skin LD50 – 7,490 mg/kg
Rat	Oral LD50 – 23,854 mg/kg; Inhalation LC50 - 64,000 ppm/4 hr
Mouse	Oral LD50 – 14,270 mg/kg
Adult Guinea Pig	Oral LD50 – 18,750 mg/kg
Other	IARC Cancer Review: Group 3 IMEMDT 7,56,87; Animal Limited Evidence IMEMDT 19,341,79; Human Inadequate Evidence IMEMDT 19,341,79.
3. Sulfate Salt	
Human	Oral Woman LDLo – 750 mg/kg; behavioral – convulsions or effect on seizure threshold, lungs, thorax, or respiration; other changes, gastrointestinal, hypermotility, diarrhea
Rat	Oral LD50 – 6,600 mg/kg

Section 12. Ecological Information

Data for product components only, mixture not evaluated.

1. Plaster				
No data available				
2. Vinyl Polymer				
Aquatic Toxicity	Test: LC50 Fish Species: Bluegill Sunfish	Test: LC50 Fish Species: Fathead Minnow	Test: LC50 Daphnia Species: Cerio Daphnia	Test: LC50 Daphnia Species: Daphnia magna

	Value: >10,000 mg/L Time: 96 hr	Value: > 40 g/L Time: 96 hr	Value: 8,300 mg/L Time: 96 hr	Value: 8,300 mg/L Time: 96 hr
<i>Bioaccumulation</i>	Biodegradability >90 (Zahn-Wellens test)			
<i>Biodegradability</i>	Biological Oxygen Demand (BOD): BOD5 = 0-5%; BOD30 = 100% Chemical Oxygen Demand (COD): 1,800 mg/g			
<i>Other Adverse Effects</i>	No data available			
3. Sulfate Salt				
<i>Aquatic Toxicity</i>	Test: LC50 Fish Species: Alburnus Alburnus Value: 1,692,444 ug/L Time: 96 hr	Test: LC50 Fish Species: Alburnus Alburnus Value: 2,380,000 ug/L Time: 96 hr	Test: LC50 Fish Species: Leopmis Macrohirus Value: 653-795 mg/L Time: 96 hr	Test: Mortality Fish Species: Leopmis Macrohirus Value: 869 mg/L Time: 96 hr
<i>Aquatic Toxicity</i>	Test: TLM Fish Species: Leopmis sp. Value: 3,550 mg/L Time: 96 hr			

Section 13. Disposal Considerations

Follow disposal procedures in accordance with federal, state and local regulations or applicable national or regional provisions.

Section 14. Transportation Information

Non-regulated material.

Section 15. Regulatory Information

The following provides a summary of the legal requirements.

Ingredient	EPA TSCA	CA Prop 65	European Economic Community (EEC)				Canada Regs	
			EINECS	European Community Standards	Listed as dangerous chemicals	EEC Symbol	DSL	NPRI
(1) Plaster	Yes	Yes	Yes	Nuisance dust 10 mg/m ³	No	None	Yes	1406
(2) Vinyl Polymer	Yes	No	Yes	Nuisance dust 10 mg/m ³	S22 S26 S51	None	Yes	No
(3) Sulfate Salt	Yes	No	Yes	Nuisance dust 10 mg/m ³	S22 S24/25	None	Yes	No

DSL = Canadian Domestic Substance List
NPRI = National Pollutant Release Inventory

Relevant Risk and Safety Phrases for the Mixture:

Safety Phrases:

S2: Keep out of reach of children
S7: Keep container tightly closed
S22: Do not breathe dust
S24/25: Avoid contact with skin and eyes
S26: In case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice
S36/37: Wear suitable personal protective equipment and gloves
S51: Use only in well ventilated areas

Pursuant to Title III of the Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986, (SARA) and 40 CFR 372 Part 372, this product does not contain any chemicals subject to the reporting requirements under Section 313.

This product does not contain chemicals subject to the reporting requirements under the Canadian National Pollutant Release Inventory (NPRI).

California Proposition 65: This product contains trace amounts of crystalline silica in raw product which are known to the state of California to cause cancer.

Section 16. Other Information

HMIS (Hazardous Materials Information System) for secondary labeling:

Health 1*

Fire Hazard 0

Reactivity 1

Personal Protective Equipment B

*additional chronic hazards present

Revised: The reason for this revision was to update the combustibility data.

References

- 1) 2006 Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- 2) Chemical (Hazard Information and Packaging for Supply) Regulation 2002 (UK)
- 3) MSDS + Cheminfo (2005-1) CD-ROM expires 6/05, Canadian Centre for Occupational Health and Safety
- 4) SAX'S Dangerous Properties of Industrial Materials, Tenth Edition
- 5) ESIS:European Chemical Substance Information System, <http://ecb.jrc.it/esis>
- 6) TSCA & SARA Title III, CD-ROM, January 2005 Version 9.2 Produced by the U.S. Environmental Protection Agency and the National Technical Information Services
- 7) Raw Material Manufacturers Material Safety Data Sheets
- 8) US National Institute of Medicines Toxnet current 2005
- 9) NOHSC Hazardous Information Substances Information System, Department of Employment and Workplace Relations, Australian Government, 2005

Z Corporation believes the information and recommendations contained herein to be accurate and reliable. However, no liability whatsoever is assumed for the accuracy or completeness of the information contained herein. Final determination of occupational safety and health and environmental compliance and suitability of this material is the sole responsibility of the user. All materials may present unknown health hazards and should be used with caution. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist. Z Corporation assumes no obligation or liability for such information and recommendations and does not guarantee results from use of product described or other information contained herein.



Ampreg 21

Epoxy Wet Laminating System

- Low initial mixed viscosity
- Good cure progression from ambient only cures
- Non Pigmented Resin and Hardeners
- Improved Health and Safety
- Optimised for Hand Lay-Up
- Excellent Fibre Wetting
- Germanischer Lloyd approved

Introduction

Ampreg 21 has been optimised for the manufacture of large composite structures using hand layup, and vacuum bagging techniques.

The relatively low initial mixed viscosity of Ampreg 21 allows easy wetout of heavyweight reinforcements. It has been formulated to give a good Health and Safety product.

Ampreg 21 has been designed to give excellent mechanical and thermal properties from both ambient temperature cures, and moderate temperature postcures (50°C).

This system is available with a range of hardener speeds, from Fast to Extra Slow.

Instructions for Use

Workshop Conditions

Ampreg 21 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. Maximum relative humidity for use is 70%.

Mixing and Handling

Ampreg 21 should be mixed at the following ratios:

Hardener	Mix ratio (resin:hardener)	
	by weight	by volume
Fast to Extra Slow	100:33	100:38
High Tg	100:29	100:34

It is important that the resin and hardener components are measured out accurately. Measurement by weight and electronic scales are recommended for this purpose. The two components must be mixed thoroughly. If mixing by hand particular attention should be paid to the side and bottom of the mixing vessel. All solvent free epoxy systems have limited pot-life so use from the pot quickly or transfer to a shallow vessel with large surface area to allow the heat of the resin/hardener reaction to dissipate and prolong the working life of the system. Do not mix more than can be used within the working time of the particular resin/hardener system.

Mould Release

From smooth metal or grp moulds tests have shown that suitable release can be obtained by use of 5-6 waxings of a carnauba based wax e.g. Polywax. Use PVA for less well prepared or complex surfaces. Whichever mould release is proposed it is recommended that a test laminate is laid up in the mould to be used, with the mould release proposed, in order to ensure an adequate and effective part release. It is recommended to use a high solids sealer such as Chemlease RPM712N (Europe) or MP117 (USA) to seal new moulds, prior to application of the release agent.

Application

The mixed system is usually applied by foam roller from a roller tray (which also serves to increase exothermic heat release, as described above). High and accurate fibre volume fractions can be obtained by applying known weight of mixed resin / hardener to each fabric / fibre layer. As a general rule of thumb, resin weight per square metre must be no more than, and preferably less than, the area weight of the fabric being wet out. If the laminate is particularly thick, it is recommended that slower hardeners are used for laminating the first layers and faster hardeners in the later layers. In this way the whole thickness laid down remains workable for approximately the same time. For further advice, please contact Gurit Technical Support.

Ampreg 21 can be blended with Ampreg Pregel to reduce drainage on vertical surfaces. Please refer to the Ampreg Pregel Technical Datasheet for further information.

Bonding Techniques & Peel Ply

It is recommended to use nylon peel ply for any secondary bonding applications. Peel Ply is typically used on laminate surfaces which need to be left to cure or partially cure before further laminating or bonding operations. The peel ply serves two functions - preventing the surface from becoming contaminated and / or damaged, and providing a 'textured' surface that can reduce the level of preparation required for the secondary laminating or bonding operations. After curing and just prior to bonding, the Peel Ply is stripped off leaving a clean, dust and grease free surface, with an already 'textured' surface which makes the 'keying' process less time consuming.

Gurit recommends the use of its Stitch Ply A peel ply, or suitable Tygavac product. Any proposed peel ply should be tested prior to use to ensure that it not only releases adequately from the laminated surface but also does not leave any residues behind which may impair adhesion. If in doubt please contact Gurit Technical Support.

Vacuum Bag Techniques

Consolidation of the laminate can be obtained either by hand using paddle rollers or by vacuum or pressure bags. A typical vacuum bag arrangement is shown in figure 1. It is important when using high vacuums and using the slower hardeners that vacuum is not applied until at least 50% into the mixed system working time, as applying the vacuum earlier may result in excessive resin flow and resin starved laminates. For advice on effective vacuum bag consolidation, please contact Gurit Technical Support.

Core Materials

Gurit supplies Corecell™ SAN closed cell foam for sandwich laminate construction. Other core materials such as PVC foam, Nomex honeycomb and end grain balsa, are also suitable for use with Ampreg 21. For further information on the use of core materials with Ampreg 21, please contact Gurit Technical Support.

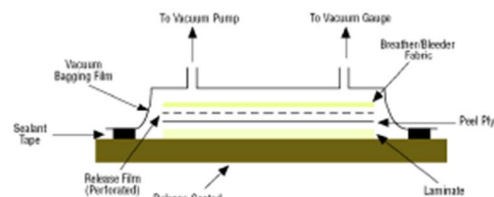


Figure 1

Curing Schedule

Ambient Temperature Cure

The system has been developed to provide good mechanical properties after an ambient only cure. The minimum recommended cure temperature is 18°C. Excellent mechanical/thermal properties can be achieved after a slightly elevated temperature post-cure. An initial cure of at least 48 hours (with slow hardener) or 16 hours (with fast hardener) at 18°C is recommended before demoulding.

When using the Slow, Extra Slow or High Tg Hardeners exclusively, an elevated temperature postcure is strongly recommended.

Elevated Temperature Cure

Post curing the laminate will greatly increase mechanical/thermal properties. The system will achieve similar

properties with a cure of 5 hours at 70 - 80°C or 16 hours at 50°C. The latter temperature is easily achievable with low cost heating and insulation techniques.

The post cure need not be carried out immediately after laminating. It is possible to assemble several composite components and post-cure the entire assembly together. It is recommended, however, that elevated temperature curing should be completed before any further painting / finishing operations. Furthermore, care should be taken to adequately support the laminate if it is to be post cured after demoulding, and the laminate must be allowed to cool before the support is removed.

When postcuring it is recommended to use a ramp rate of 10°C/hour when heating from ambient to the postcure temperature, to ensure that the thermal performance of the laminate stays ahead of the oven temperature. Higher ramp rates may result in the resin softening and distortion of the part.

Properties

Component Properties							
	Resin	Hardener					
		Fast	Standard	Slow	Extra Slow	High Tg	
Mix Ratio (by weight)	100	33					29
Mix Ratio (by volume)	100	38					34
Viscosity @ 15°C (cP)	4800	1830	164	193	180	110	
Viscosity @ 20°C (cP)	2970	1222	121	111	120	80	
Viscosity @ 25°C (cP)	1562	762	90	63	60	60	
Viscosity @ 30°C (cP)	901	560	66	45	40	40	
Viscosity @ 40°C (cP)	353	212	36	16	30	-	
Shelf Life (months)	24	24	24	24	24	24	
Colour (Gardner Index)	2	5	7	8	9	-	
Component Dens. (g/cm ³)	1.135	1.018	1.007	0.985	0.974	0.96	
Mixed Density (g/cm ³)	-	1.104	1.100	1.09	1.091	1.09	
Hazard Definition	Refer to MSDS						

Properties (cont'd)

Working Properties													
	Resin/ Fast Hardener			Resin/ Standard Hardener			Resin/ Slow Hardener			Resin/ Extra Slow Hardener*			Resin/ High Tg Hardener
	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C	20°C	25°C	30°C	20°C
Initial Mixed Viscosity (cP)	2004	1194	731	904	537	344	705	481	309	716	432	289	820
Gel Time - 150g Mix in water (hrs:mins)	0:34	0:21	0:13	1:36	0:58	0:35	5:17	3:30	2:19	8:04	5:45	4:05	8:30
Pot Life - 500g Mix in air (hrs:mins)	0:36	0:24	0:12	0:47	0:33	0:19	1:36	1:10	0:44	3:48	2:34	1:19	-
Earliest Time To Apply Vacuum (hrs:mins)	1:46	1:15	0:42	2:38	2:10	1:48	4:28	3:44	2:56	6:44	5:32	4:32	7:10
Latest Time To Apply Vacuum (hrs:mins)	2:32	1:39	1:00	3:29	2:45	2:13	6:15	4:46	3:44	8:34	7:02	6:40	9:10
Earliest Time To Turn Off Vacuum (hrs:mins)	3:12	2:23	1:32	5:04	4:38	3:00	15:00	8:34	5:20	26:29	17:59	11:25	30
Demould Time (hrs:mins)	5:03	2:23	1:32	8:44	4:38	3:00	29:20	15:52	9:16	54:00	35:42	21:47	60:00

* It is recommended to postcure laminates for 16 hours at 50°C, when manufactured using Extra Slow Hardener.

Cured System Properties					
	Post Cured (24hour at 21°C + 16hrs at 50°C)				
	Resin / Fast Hardener	Resin / Std Hardener	Resin / Slow Hardener	Resin / Extra Slow Hardener	Resin / High Tg Hardener
Tg DMTA (Peak Tan δ) (°C)	92	81	80	89	-
Tg Ult - DMTA (°C)	92	91	103	108	115
ΔH - DSC (J/g)	6.8	4.7	9.6	15	8
Tg2 - DSC (°C)	78	73	67	70	71
Tg1 - DMA (°C)	76	68	68	77	76
Est. HDT (°C)	77	67	66	74	73
Cured density (g/cc)	1.148	1.150	1.140	1.142	1.14
Linear shrinkage (%)	1.31	1.45	1.31	1.51	1.6
Barcol Hardness	25.7	19.6	20.0	22.2	-
Resin cast tensile strength (MPa)	72.7	70.0	69.6	67.4	73
Resin cast tensile modulus (GPa)	3.3	3.0	3.3	3.4	3.2
Resin cast strain to failure (%)	3.7	4.3	3.9	3.0	3.2
Laminate compressive strength (MPa)	659	561	640	499	430
Tensile Strength (MPa)	612	564	633	556	420
Tensile Modulus (GPa)	32	32.2	32.4	32.5	22
Laminate ILSS (MPa)	55	57	50	52	54
ILSS Wet Retention (%)	93.5	82.2	91.5	89.1	-

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 SP resin systems is also available from SP-High Modulus, and can be found at www.gurit.com

Applicable Risk & Safety Phrases

Refer to Material Safety Data Sheet



Transport & Storage

The resin and hardeners 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 will result in a shelf life of two years for both the resin and hardeners. Storage should be in a warm dry place out of direct sunlight and protected from frost. The storage temperature should be kept constant between 10°C and 25°C, cyclic fluctuations in temperature can cause crystallization. Containers should be firmly closed. Hardeners, in particular, will suffer serious degradation if left exposed to air.

For more information on crystallization please refer to the Laminating section on the Gurit website. (www.gurit.com/marine)

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

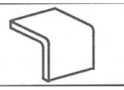


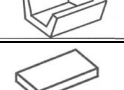
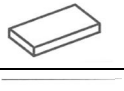
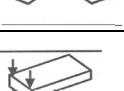


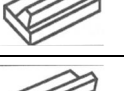
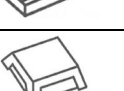



F +1 819 847 2572

E info-na@gurit.com



W www.gurit.com

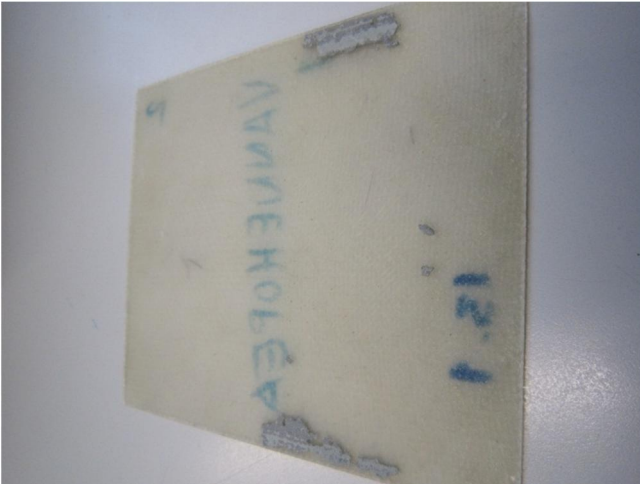
Eri valmistustekniikoiden asettamat muoto ja mittarajoitukset

TAULUKKO 1. Muoto- ja mittarajoitukset (Saarela ym. 2007, 194)

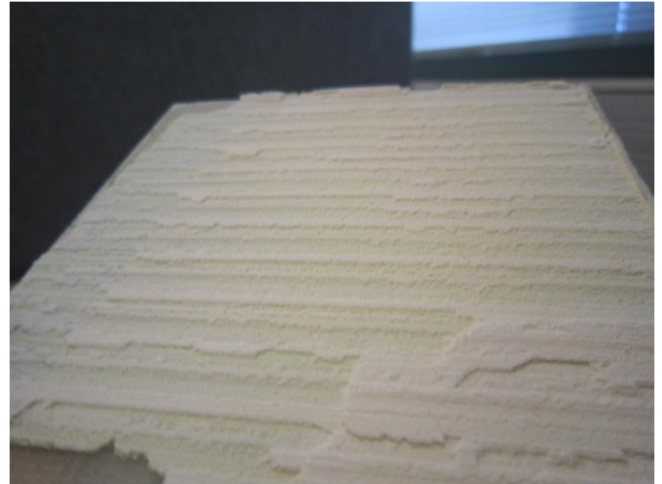
		Käsilaminointi, ruiskutus	Kylmäpuristus	Kuumapuristus	RTM
Pienin kaarevuussäde r(mm)		6	6	3	6
Reiät valmistuksen yhteydessä		Vain suuret	Ei	Kyllä	Ei
Ulko- ja sisäpuoliset liukukiskot		Vaikeita	Ei	Ei	Vaikeita
Minimipäästöaste		0	2-3	1-4	2-3
Minimipakuus (mm)		1	2	0,8	2
Maksimipaksuus (mm)		Ei rajoituksia	12	12	12
Paksuusvaihtelu (mm)		0,6	3	0,2	0,3
Loppukappaleen paksuussuhde		Ei rajoituksia	2:1	2:1	2:1
Metalliset kiinnikkeet		Kyllä	Ei	Ei suositella	Kyllä
Ulokkeet ja nupit		Kyllä	Ei suositella	Vaikeita	Vaikeita
Umpijäykisteet		Ei	Vaikeita	Vaikeita	Vaikeita
Ontot jäykisteet		Kyllä	Vaikeita	Vaikeita	Kyllä
Muottipintoja		1	2	2	2

TAULUKKO 2. Muoto- ja mittarajoitukset (Saarela ym. 2007, 195)

		RRIM	Pultruusio	Kelaus
Pienin kaarevuussäde r(mm)		Puolet paksuudesta	1,5	3
Reiät valmistuksen yhteydessä		Kyllä	Ei	Kyllä
Ulko- ja sisäpuoliset liukukiskot		Kyllä	Kyllä	Ei
Minimipäästöaste		1-3	0-2	3
Minimipakuus (mm)		2	1	0,25
Maksimipaksuus (mm)		12,5	12,5	50+
Paksuusvaihtelu (mm)		0,05	0,25	0,25
Loppukappaleen paksuussuhde		Ei rajoituksia	Mieluummin tasainen	Ei rajoituksia
Metalliset kiinnikkeet		Kyllä	Ei	Ei
Ulokkeet ja nupit		Kyllä	Ei	Ei
Umpijäykisteet		Kyllä	Pituussuunnassa	Vaikeita
Ontot jäykisteet		Ei	Pituussuunnassa	Ei
Muottipintoja		2	2	1

1. Testikierroksen tulokset

KUVA 1. Vannehopea



KUVA 3. Miranol



KUVA 2. 2-komponenttimaali

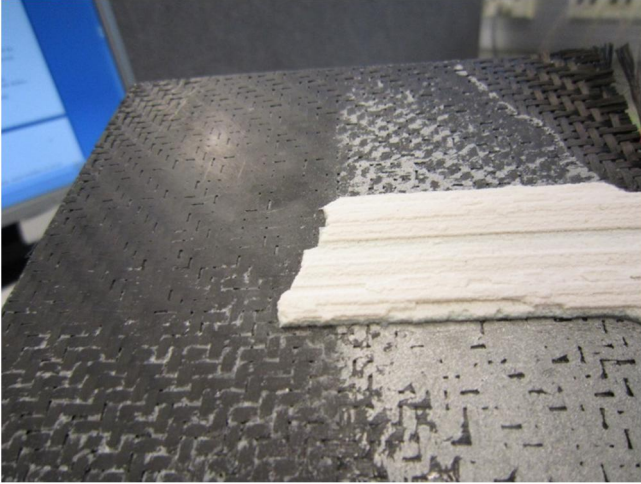


KUVA 4. Ohennettu 2-komponenttimaali

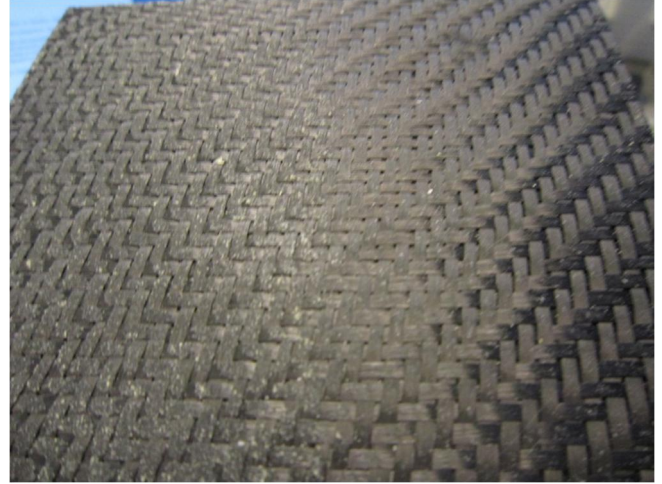


KUVA 5. Sokeriliuos

2. Testikierroksen tulokset



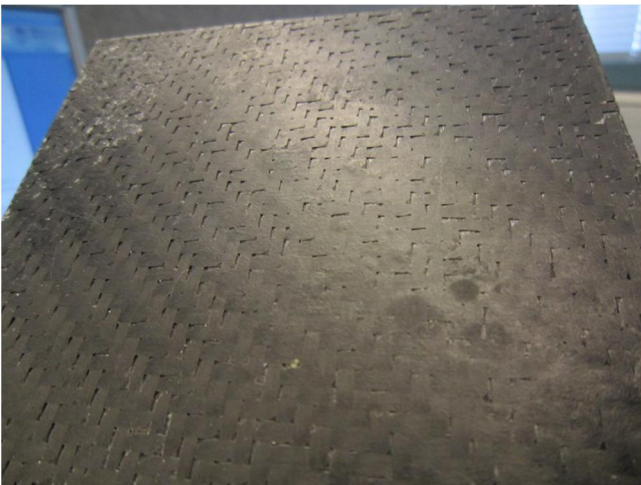
KUVA 6. Ohennettu 2-komponenttimaali ja spray



KUVA 9. Tuloste

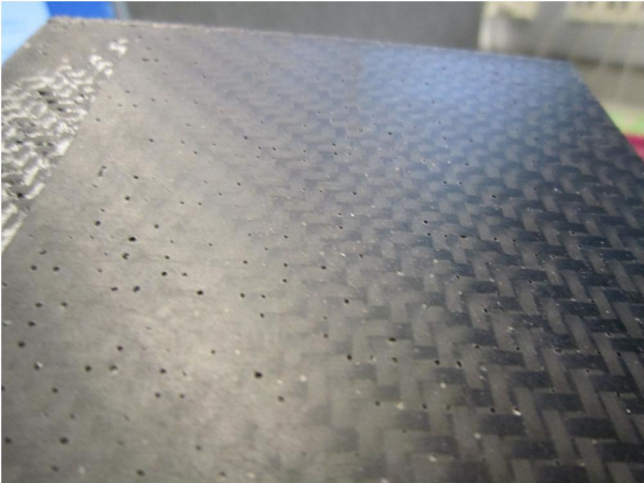


KUVA 7. Ohennettu 2-komponenttimaali

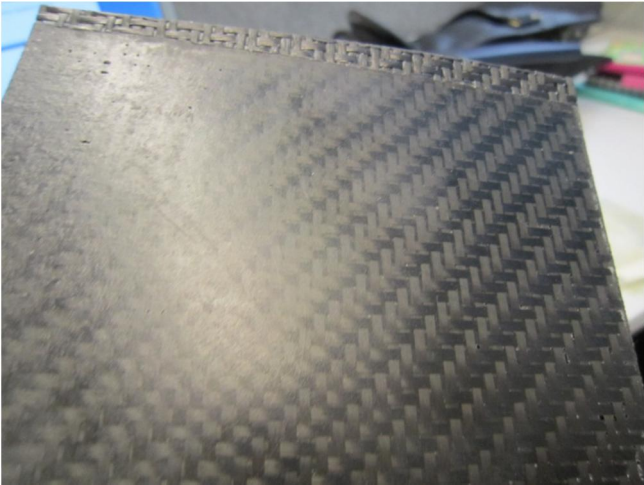


KUVA 8. Sokeriliuoksella

3. Testikierroksen tulokset

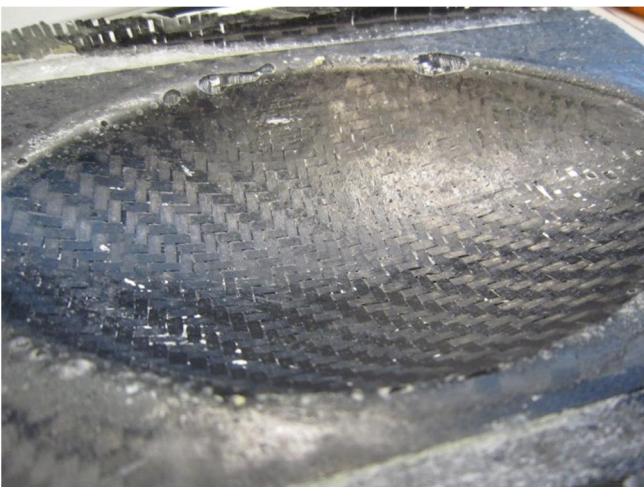


KUVA 60. Hiottu sokeri



KUVA 11. Hiottu ja kostutettu

4. Testikierroksen tulokset

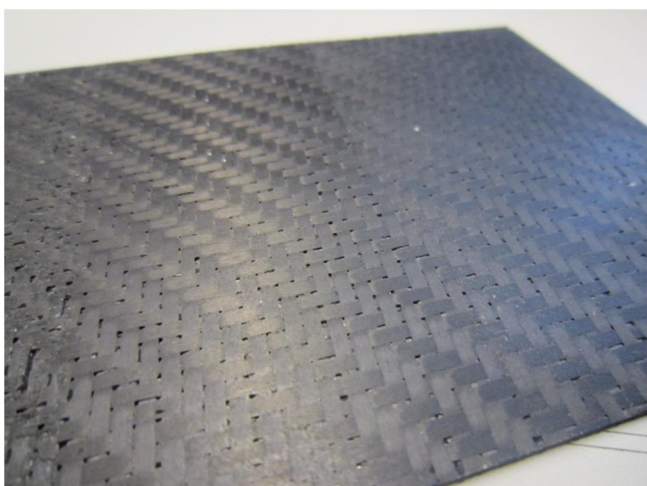


KUVA 12. Kaksoiskaareva pinta

5. Testikierroksen tulokset



KUVA 73. Reikäkalvo ja karhennuskangas

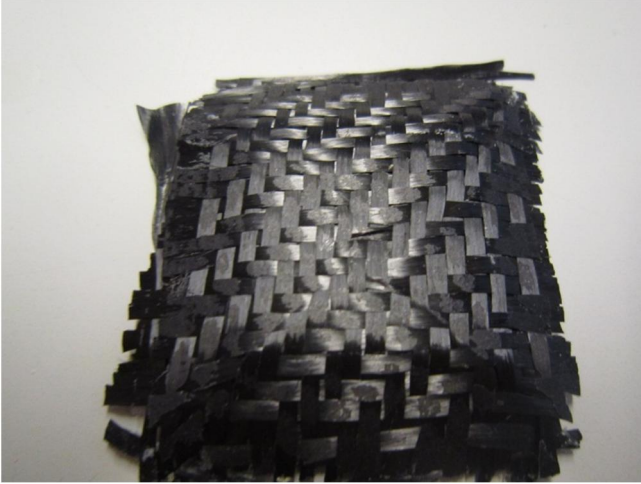


KUVA 14. Karhennuskangas ja reikäkalvo

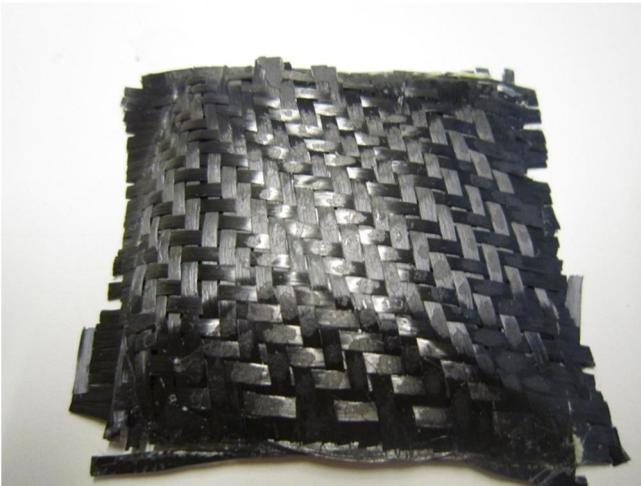


KUVA 15. Kaksoiskaareva

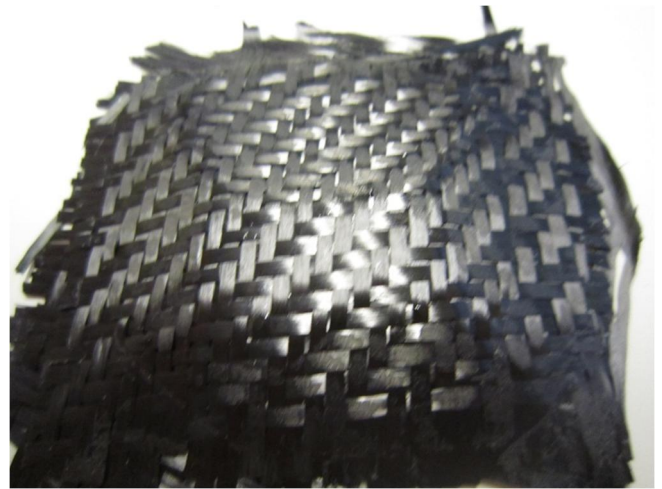
6. Testikierroksen tulokset



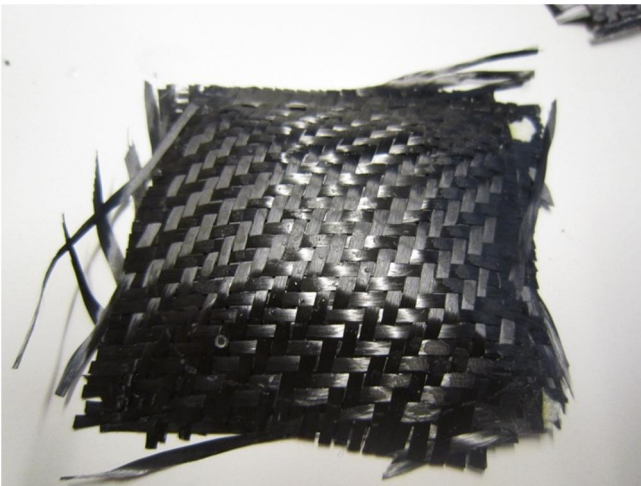
KUVA 86. 4mm



KUVA 17. 6mm



KUVA 19. 10mm



KUVA 18. 8mm

www.savonia.fi

