



Hiilikuituisen kuviovesihiihtosuksen valmistus

Veli-Matti Anttila

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotanto- ja lentokonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotanto- ja lentokonetekniikka

ANTTILA, VELI-MATTI:
Hiilikuituisen kuviovesihiihtosuksen valmistus

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Huhtikuu 2023

Opinnäytetyössä kuvataan kilpailukäyttöön soveltuvan hiilikuituisen vesihiihtosuksen valmistaminen. Lisäksi kuviovesihiihtosukselle valmistettiin sille ominaiset siteet. Työn tavoitteena oli valmistaa kilpailukäyttöön ominaisuuksiltaan parempi sukki, kuin mitä markkinoilla on saatavilla. Tavoitteina oli saada suksesta jäykempi, kevyempi ja kestävämpi. Siteistä oli myös tavoitteena saada jäykemmät ja tehdä niistä vapautumattomat, jotta ne olisivat kisakäyttöön soveltuvammat. Tavoitteisiin kuului myös perehtyä, miten hiilikuitukomposiittia työstetään todellisuudessa. Työn teoreettinen osuus käsittelee komposiittia ja erityisesti hiilikuitukomposiittia sekä kuviovesihiihtosuksen valmistamiseen liittyvää teoriaa. Työn tilaajana oli Suomen Vesihiihtourheilu ry, joka toimii Suomessa kilpave-sihiihdon lajiliittona.

Työssä onnistuttiin valmistamaan muotti, jonka avulla valmistettiin ominaisuuksiltaan parempi kuviovesihiihtosuksi. Suksesta saatiin jäykempi ja kevyempi kuin vastaavat vertailukohteina olevat sukset. Suksen tavoitteisiin päästiin oikeilla materiaalivalinnoilla ja valmistusmenetelmillä. Lisäksi valmistettiin vapautumattomat etu- ja takaside valmistetulle sukselle. Siteet ovat tavanomaista jäykemmät. Etusiteestä saatiin myös kevyempi kuin vertailtava side samalle monolle. Valmistetuille sukselle ja siteille laskettiin materiaalikustannukset ja niitä vertailtiin markkinoilla oleviin suksiin.

Kuviovesihiihtosuksi valmistettiin Suomen vesihiihtomaajoukkueeseen kuuluvalla Veli-Matti Anttilalla, joka toimi myös tämän opinnäytetyön tekijänä. Tulevaisuudessa opinnäytetyössä valmistetulla muotilla voidaan tarvittaessa valmistaa lisää samanmuotoisia sukkiä samoista tai eri materiaaleista. Materiaaleja muuttamalla sukken ominaisuuksia pystytään muuttamaan ja parantamaan.

Asiasanat: materiaalitekniikka, hiilikuitu, valmistustekniikka, vesihiihto

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production and Aircraft Engineering

ANTTILA, VELI-MATTI:
Production of Carbon Fibre Trick Water Ski

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 15 pages
April 2023

This bachelor's thesis explains the production of a carbon fibre trick water ski. The objective of the project was to produce a better trick ski than the trick skis currently in the market. The main goal was to produce a stiffer, lighter, and more durable trick ski for competition use. The main idea for bindings was to make them stiffer and non-releasing.

The theoretical section of the thesis explores composite materials and trick ski manufacturing. The composite material chapter focuses especially in carbon fibre. The practical part consists of depiction of trick ski and binding production.

A carbon fibre trick ski was made according to the plan. It turned out stiffer and lighter than the trick skis used for reference. Also, the bindings end up being stiffer and non-releasing as desired. Material costs were compared to other products on the market.

The trick ski made in this project is the first version of it and it could be further developed. Types of carbon fibres of the ski could be changed to get better results. Also, the core of the trick ski could be changed or made differently to achieve better characteristics for the ski. Furthermore, some of the materials of the bindings could also be changed.

Key words: materials, carbon fibre, production, water ski

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	VESIHIIHTO KILPAURHEILULAJINA.....	8
	2.1 Pujottelu	8
	2.2 Hypyt.....	9
	2.3 Kuviot	10
3	OSAAMINEN	11
4	KOMPOSIITIN TEORIAA.....	12
	4.1 Lujitekuidut.....	12
	4.2 Matriisit.....	13
	4.3 Hiilikuitukomposiitin kierrätettävyys.....	14
5	KUVIOVESIHIIHTOSUKSEN TEORIAA	16
	5.1 Valmistusmenetelmät.....	16
	5.2 Muotit	17
	5.3 Kerroslevyrakenne	18
	5.4 Huolto ja korjaus	18
	5.5 Urheiluvälineteollisuus	19
6	KUVIOVESIHIIHTOSUKSEN VALMISTAMINEN	20
	6.1 Suksen valmistaminen	20
	6.1.1 Muotin valmistaminen.....	21
	6.1.2 Suksen valmistaminen.....	24
	6.2 Etusiteen valmistaminen	32
	6.3 Takasiteen kokoonpano	33
	6.4 Materiaalikustannukset	34
	6.5 Työkalut	37
7	TULOKSET	38
	7.1 Materiaalikustannukset	38
	7.2 Tekninen vertailu.....	39
	7.3 Valmistamiseen kulunut aika.....	41
8	POHDINTA	42
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	45
	Liite 1. Mittauspöytäkirja siteen upotusmuttereiden mittauksista	45
	Liite 2. Interglas 98151 -hiilikuidun datalehti (Chapman & Hall 1995) .	46
	Liite 3. Hexcel HiMax™ FCIM253 -hiilikuidun datalehti (Hexcel 2023)	47
	Liite 4. Toray Torayca T700S -hiilikuidun datalehti (Toray 2023).....	49
	Liite 5. Hexcel HexForce™ 120 -lasikuidun datalehti (Hexcel 2023) ..	51

Liite 6. Gurit Ampreg™ 30 -epoksihartsin datalehti (Gurit n.d.).....	52
--	----

LYHENTEET JA TERMIT

Perforoitu irrotuskalvo	rei'itetty muovikalvo
Pla	polylaktidi
Prepreg	preimpregnoitu lujite, eli lujite on valmistajan toimesta kasteltu matriisiaineella
Pvc	polyvinyylicloridi

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä kuvataan hiilikuituisen kuviovesihiihtosuksen valmistus. Työssä tutustutaan komposiitin ja erityisesti hiilikuidun käyttöön valmistusmateriaalina. Työssä valmistetaan kansainväliselle kilpatasolle kuviovesihiihtosuksi ja siihen etu- ja takaside. Tällä hetkellä markkinoilla olevat sukset pystyisivät olemaan kestävämpiä ja laadukkaampia vastaamaan paremmin vaadittuja ominaisuuksia kansainvälisen kuviovesihiihdon kilpailutasolla.

Tämän työn tavoitteena on valmistaa kilpailukäyttöön ominaisuuksiltaan parempi sukki, kuin mitä markkinoilla on saatavilla. Tavoitteina on saada suksesta jäykempi, kevyempi ja kestävämpi. Siteistä on myös tavoitteena saada jäykemmät ja tehdä niistä vapautumattomat, jotta ne olisivat kisakäyttöön soveltuvammat. Tavoitteisiin kuuluu myös perehtyä, miten hiilikuitukomposiittia työstetään todellisuudessa.

Työn tarkoituksena on valmistaa sukki komposiitista, jossa lujitekuituna käytetään hiilikuitua. Etuside on tarkoitus valmistaa myös hiilikuitukomposiitista ja takaside tehdään kokoonpanona eri osista.

Tilajana tälle työlle on Suomen Vesihiihtourheilu ry (Finnish Waterski & Wakeboard Federation, FWWF). Suomen Vesihiihtourheilu ry on Suomen lajiliitto kilpavesihiihdossa. Lajiliitto on osa Suomen Olympiakomiteaa ja kansainvälistä vesihiihtoliittoa. Sukki tulee käyttöön Suomen vesihiihtomaajoukkueen vesihiihtäjälle Veli-Matti Anttilalle, joka toimii myös tämän työn tekijänä.

2 VESIIIIHTO KILPAURHEILULAJINA

Vesihiihto on 1900-luvulla kehitetty kilpaurheilulaji. Laji koostuu kolmesta eri alalajista. Alalajit ovat pujottelu, hypyt ja kuviot. Kilpavesihiihdossa hiihdetään siihen suunnitellun moottoriveneen perässä.

2.1 Pujottelu

Pujottelussa käytetään yhtä pujottelusuksea pujotteluun kiertopojujen ympäri. Vetovene ajaa suoraan pujotteluradan keskelle merkittyä ajolinjaa pitkin. Hiihtäjän on päästävä läpi alkuportista, kierrettävä kuusi kiertopojua ja päästävä läpi loppuportista. Pujottelurata on aina samanlainen vesihiihtopaikasta riippumatta. Jos hiihtäjä ei pysty kiertämään poijua tai hän kaatuu, kilpailusuoritus päättyy. Jos hiihtäjä pääsee radan läpi, nopeutta nostetaan kolme km/h, kunnes hiihtäjä pääsee radan läpi huippunopeudella. Huippunopeus on avoimessa sarjassa naisilla 55 km/h ja miehillä 58 km/h. Huippunopeuden saavutettua vetoköyttä aletaan lyhentämään. Kuvassa 1 on esillä pujottelusta kuva vesihiihtäjistä radan kiertopojulla. (TVK 2022.)



KUVA 1. Kilpavesihiihdon pujottelu, vesihiihtäjä: Veli-Matti Anttila (Santala 2022)

2.2 Hypyt

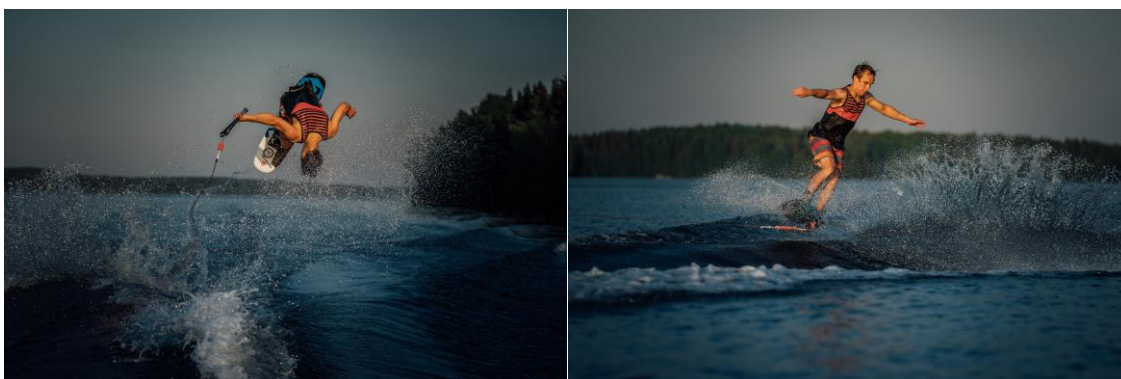
Hypyissä hypätään hyppyristä pituutta kahdella suksella. Kilpailuissa hiihtäjä saa itse valita veneen nopeuden. Avoimessa sarjassa huippunopeus on naisilla 54 km/h ja miehillä 57 km/h. Kilpailuissa hiihtäjällä on kolme hyppyä, joista pisin lasketaan kilpailutulokseksi. Tyylipisteitä ei anneta, ja vain pystyhypyt mitataan. Pystyhypyksi lasketaan hyppy, jossa hiihtäjä saavuttaa alastulossa hiihtoasennon köyden kiristyttyä vetoveneeseen. Kuvassa 2 on esillä kuva vesihiihtäjästä hypyn ilmalennon aikana. (TVK 2022.)



KUVA 2. Kilpavesihiihdon hypyt, vesihiihtäjä: Jutta Menestrina (Doyle 2021)

2.3 Kuviot

Kuvioissa käytetään yhtä suksea erilaisten temppujen tekemiseen vesihiihtoveneen peräaallossa. Kilpailusuorituksessa hiihtäjällä on kaksi 20 sekunnin pituista hiihtosuoritusta eli "sivua". Yleensä kilpavesihiihdossa toinen sivu koostuu käsikuvioista, jolloin vetoköyden kapulasta pidetään kiinni käsillä, ja toinen koostuu vetohihnakuviosta, jotka tehdään vetoköysi kiinnitettynä jalkaan. Kilpailuissa hiihtäjä tekee mahdollisimman monta ja mahdollisimman "arvokasta" kuviota 20 sekunnin aikana. Vaikka hiihtäjä kaatuu ensimmäisellä sivulla, saa hän jatkaa suoritustaan toiselle sivulla. Jos hiihtäjä kaatuu sivun aikana, saa hän pisteet jo tehdyistä kuvioista. Jokaisesta kuviosta saa pisteet vain kerran. Eri kuvioiden pistemäärät on kilpavesihiihdon säännöissä ennalta määrätty. Kuvassa 3 on esillä kuva käsikuvioista ja vetohihnakuviosta. (TVK 2022.)



KUVA 3. Kilpavesihiihdon kuviot, vesihiihtäjä: Veli-Matti Anttila (Doyle 2021)

3 OSAAMINEN

Tässä työssä valmistettava kuviovesihiihtosuksi tulee käyttöön tämän työn tekijälle Veli-Matti Anttilalle. Anttila on kiertänyt maailmaa vesihiihdon parissa noin kymmenen vuoden ajan ja on ollut paljon tekemisissä eri suksivalmistajien ja huippuvesihiihtäjien kanssa. Ammattilaisvesihiihtäjät ovat usein mukana suksien tuotekehityksessä.

Veli-Matti Anttilan saavutukset kuviovesihiihdossa:

- Useita Suomenmestaruuksia avoimessa sarjassa
- Suomen ennätys avoimessa sarjassa
- Pohjoismaiden mestaruus avoimessa sarjassa vuonna 2022
- 9. sija Euroopan mestaruuskilpailuissa avoimessa sarjassa vuonna 2022
- Maailman ranking-listan avoimen sarjan 30 parhaan joukossa vuonna 2022

Suksi on suunniteltu Anttilan vesihiihtouran aikana kertyneiden tietojen ja kokemusten perusteella. Sukset esimerkiksi hajoavat yleensä samoista kohdista, joten tässä työssä on pyritty korjaamaan ongelmia mitä on tullut ilmi eri markkinoilla olevista suksista. Kokemusta on myös kertynyt eri suksien valmistusmenetelmistä alan ammattilaisten opastuksella.

4 KOMPOSIITIN TEORIAA

Komposiittirakenteet kirjan mukaan (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars, Komppa 2003, 17) ”Komposiitti on yleisnimike kaikille kahden tai useamman materiaalin yhdistelmille, joissa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole lienneet tai sulautuneet toisiinsa”. Komposiitista voidaan usein nimetä materiaaliyhdistelmän sitova ainesosa eli matriisi ja sen yhteen sitomat aineet kuten esimerkiksi ohuet kuidut. Komposiitit voidaan jakaa alaryhmiin, joidenka yksi tärkeimmistä alaryhmistä on muovikomposiitit. Muovikomposiiteissa matriisina toimii erilaiset muovit. Muoveilla voidaan sitoa lujitekuituja, jolloin muovikomposiitin ominaisuudet paranevat. (Saarela ym. 2003, 17.)

4.1 Lujitekuidut

Lujitekuiduilla tarkoitetaan komposiittirakenteen vahvistavaa kuitua. Muovikomposiiteista rakenteellisesti parhaat aikaansaadaan lujittamalla matriisiaine ohuilla lujitekuiduilla. Yleisimmät lujitekuidut muovikomposiiteilla on lasikuidut, hiilikuidut ja aramidikuidut eli kevlar. (Saarela ym. 2003, 19.) Lujitekuituina tässä työssä on käytetty hiili- ja lasikuituja. Tässä työssä käytetyt lujitekuidut on esitetty taulukossa 1. Taulukon 1 tiedot on otettu liitteiden 2–5 datalehdistä. Datalehdet on saatu lujitekuitujen valmistajilta.

TAULUKKO 1. Tässä työssä käytetyt lujitekuidut

Valmis- taja	Lujite	Paino	Kangastyyppi	Langan pak- suus
Interglas	Interglas 98151	245 g/m ²	Twill 2/2	3k
Toray	Torayca T700S	800 g/1000 m	Yhdensuun- tainen	12k
Hexcel	HiMax™ FCIM253	204 g/m ²	Biaxial	12k
Hexcel	HexForcel™ 120	107 g/m ²	4 H Satiini	EC 5 11 x2

Lujitekuituja voidaan käyttää suorina kuitukimppuina tai niistä voidaan tehdä lujitekankaita. Kankaat voivat olla yhdensuuntaiskankaita, jossa kuitukimput on sidottu toisiinsa, kudottuja kankaita, jossa kuitukimput risteilevät toistensa yli ja ali, tai moniaksaalikankaita, jossa useita kuitukerroksia on sidottu toisiinsa niin, että kuitujen suunta vaihtelee kerroksittain. (Saarela ym. 2003, 20.)

Lujitekuidut parantavat kappaleen mekaanisia ominaisuuksia ja niiden pääasiallisena tehtävä on kantaa komposiittiin kohdistuvat kuormitukset. Lujitekuidut jäykistävät kappaleen kuidun suuntaan. Tehdessä kappaletta tarvitsee siis päättää mihin suuntaan kuidut laitetaan ja mihin suuntaan jäykkyys halutaan. Kuituja voidaan kuitenkin laittaa useampi kerros niin, että kuidut ovat eri kerroksissa eri suuntaan jäykistäen kappaleen halutusti kuitujen suunnan mukaan. (Saarela ym. 2003, 74, 239–256.)

4.2 Matriisit

Matriisilla tarkoitetaan komposiitin sitovaa ainesosaa. Lasikuitulujitteilla yleensä matriisiaineena käytetään polyesterihartsia. Hiilikuitulujitteilla yleensä matriisiaineena käytetään epoksihartsia. Nestemäinen hartsi kovettuu kiinteäksi aineeksi kovettumisreaktiossa, jonka jälkeen sitä ei voida enää muokata. Näin ollen niitä kutsutaan kertamuoveiksi. Epoksihartseiksi kutsutaan polymeerejä tai oligomeerejä, jotka sisältävät vähimmillään kaksi epoksiryhmää. Epoksihartseja kovetetaan alkoholi-, amiini-, ja happoanhydridiyhdisteillä. Matriisin valinnassa täytyy miettiä esimerkiksi sen mekaanisia ominaisuuksia ja lämmönkestävyyttä. On myös tärkeää ottaa huomioon matriisin käsiteltävyyteen vaikuttavat ominaisuudet kuten viskositeetti ja geeliaika, eli käyttöaika. Eri lujitekuidut ei toimi kaikkien matriisien kanssa keskenään, sillä matriisin on levittävä ja tartuttava lujitekuituun. Eri lujitekuitujen kudonta ja pinnoite vaikuttaa matriisin tarttuvuuteen ja näin ollen valintaa. (Saarela ym. 2003, 35, 45, 373.)

Tässä työssä käytetty epoksihartsi on Guritin valmistama Ampreg™ 30. Ampreg™ 30 on matala viskositeettinen märkä laminoitiepoksi. Sille ominaista on kova hartsimatriisi antaen sille hyvät mekaaniset ominaisuudet. Hartsin ja kovetteen käytösuhde tällä epoksilla on 100:26. Tämän epoksihartsin käyttöaika on normaalikovetteella yksi tunti 150 g sekoitteessa ja suositeltu käsittelylämpötila

on 18 °C-25 °C välillä. Aikaisin muotista irrotusaika on kuuden tunnin ja 35 minuutin kuluttua hartsin ja kovetteen sekoituksen jälkeen. Tämän epoksihartsin kovetusaika lyhenee huomattavasti kovetuslämpötilan noustessa. Samalla kappaleen lämmönkestävyys kasvaa. Taulukossa 2 on esillä, miten kovetuslämpötila vaikuttaa kovetusaikaan ja lämmönkestävyyteen. (Liite 6.)

TAULUKKO 2. Ampreg™ 30 -epoksihartsin kovetusaika ja lämmönkestävyys

Kovetuslämpötila (°C)	Kovetusaika	Lämmönkestävyys (°C)
21	28 päivää	60
50	16 h	77
70	5 h	89

Tätä epoksihartsia voidaan käyttää alipainesäkitykseen. Ohjeiden mukainen aika alipainesäkitykselle on aikaisintaan kahden tunnin ja 20 minuutin kuluttua ja viimeistään kolmen tunnin ja viiden minuutin kuluttua hartsin ja kovetteen sekoituksen jälkeen. (Liite 6.) Datalehti tälle epoksihartsille on esillä liitteessä 6.

4.3 Hiilikuitukomposiitin kierrätettävyys

Hiilikuitukomposiitista tulee kahdenlaista jätettä. Hiilikuitukomposiitin valmistuksessa ylijäämäpalat ja valmiit hiilikuitukomposiitista valmistetut kappaleet. (Baimova 2022.)

Ensimmäinen yleinen kierrätystapa on mekaaninen kierrätys, jossa hiilikuitu tai hiilikuitukomposiitti rikotaan ja jauhetaan jauheeksi, jonka jälkeen jauhetta voidaan käyttää vahvistusaineena tehdessä uutta komposiittia. Tämä tapa on ympäristöystävällinen, mutta materiaalin uudelleen käyttö on rajallista. (Baimova 2022.)

Toinen yleinen kierrätystapa on materiaalin kuumennus. Tässä kierrätystavassa kuumennetaan hiilikuidut ja pyritään erottamaan ne hiilikuitukomposiitin muista aineosista. Tämä kuitenkin vapauttaa useita vaarallisia kaasuja ja hiilikuidut usein vaurioituvat kuumennuksessa. Hiilikuidun vaurioitumisen takia sen uudelleenkäyttökohteet vähenevät huomattavasti alkuperäiseen hiilikuituun nähden. (Baimova 2022.)

Muita kierrätystapoja on kemialliset reaktiot, joiden avulla pystytään erottamaan matriisi hiilikuidusta ja uudelleenkäyttämään vioittumattomat hiilikuidut ja täyteaineet. Kemiallisten reaktioiden käyttö voi vaatia suuria paineita ja lämpötiloja. Kemiallisten reaktioiden saavuttaminen vaatii yleensä kalliita raaka-aineita ja siitä syntyy paljon vaarallisia kaasuja, joten tätä tapaa ei käytetä niin paljoa kuin mekaanista kierrätystä tai lämmitystä, vaikkakin kemiallisilla reaktioilla voidaan saada parempi lopputulos kierrätykselle. Kemiallisten reaktioiden lisäksi hiilikuitukomposiittia voidaan rikkoa käyttäen sähköjännitettä, jolloin hiilikuidut saadaan irrotettua matriisiaineesta. Tällä tavalla saadaan hyvälaatuista hiilikuitua, mutta vain osa hiilikuiduista säilyy uudelleenkäytettäväksi. (Baimova 2022.)

5 KUVIOVESIHIIHTOSUKSEN TEORIAA

Markkinoilla olevia kuviovesihiihtosukset ovat ulkonäöltään samankaltaisia toisiinsa nähden, mutta niiden materiaaleissa ja muodoissa on vaihtelua. Kuviovesihiihtosuksia on valmistettu puusta, hiilikuidusta ja lasikuidusta erilaisilla ydinratkaisuilla ja valmistusmenetelmillä. Yleisimmät suksen ydinmateriaalit ovat pvc-vahto tai alumiininen hunajakenko. Kuviovesihiihtosuksea valmistessa on huomioitava kilpavesihiihdon säännöt. Kansainvälisissä kilpavesihiihdon säännöissä on ilmoitettu minkälaisilla mitoilla olevaa suksea kilpailusuorituksissa saa käyttää. Kansainvälisen sääntökirjan mukaan kuviosuksen leveys ei saa ylittää 35 % suksen pituudesta (IWWF 2023, 17). Muita mittoja tai muita rajoittavia sääntöjä kuviosuksiin ei ole. Kuviosuksen täytyy kuitenkin olla turvallinen käyttää. Kuviosuksiin on olemassa erilaisia siteitä: kiinteitä kumisia siteitä, kiinteitä monollisia siteitä sekä muovisia monoja, joissa on sukseen kiinnitetty irtoamismekanismi. Siteiden osalta kilpavesihiihdon säännöissä ei ole rajoituksia muuta kuin, että niiden pitää olla vesihiihtäjälle turvalliset.

5.1 Valmistusmenetelmät

Valmistusmenetelmä kuviovesihiihtosuksien valmistamisessa riippuu tuotantosarjan pituudesta, kappalemäärästä ja muotista. Yhdellä muotilla voidaan tehdä vain yhdenmuotoisia suksia. Suksen valmistuksessa samalla muotilla voidaan kuitenkin käyttää eri lujitekuituja, ydinaineita ja valmistusmenetelmiä, jotka määrittävät suksen ominaisuuksia.

Valmistusmenetelmät, joita voidaan käyttää kuviovesihiihtosuksen valmistuksessa:

- Märkälaminointi
 - o käsin laminointi (avolaminointi, puristuslaminointi, alipainesäkkilaminointi)
- Prepreg
- Alipaineinjektio

Märkälaminoinnilla tarkoitetaan, että nestemäisellä matriisilla kastellaan kuivat lujitekuidut ja niiden annetaan kovettua haluttuun muotoon. Jos halutaan päästä parempaan kuitu/matriisi suhteeseen, ylimääräistä hartsia voidaan puristaa eri menetelmillä pois kappaleesta. Eri menetelmät ovat puristamalla tai alipainesäkillä. Märkälaminoinnin etuja on edullinen toteutus, erilaisten lujitekuitujen helppo käyttö ja pienet muottikustannukset. Valmistaminen kuitenkin vaatii paljon työtä ja aikaa ja laatu riippuu työntekijän ammattitaidosta. (Saarela ym. 2003, 153–175.)

Prepreg laminoinnissa matriisi on jo lujitekuiduissa valmiina impregnoituna. Tällöin matriisia on aina optimaalinen määrä. Prepreg laminoinnissa täytyy käyttää aina puristusta tai alipainesäkkiä, sekä muottia täytyy lämmittää. Prepreg laminoinnin etuja on siisti laminointi, kappaleen erittäin hyvät fysikaaliset ominaisuudet ja huokosettomuus. Muottien hinnat ovat kuitenkin korkeat, laminointi on hidasta ja raaka-aineet ovat kalliita. (Saarela ym. 2003, 153–175.)

Alipaineinjektiossa muottiin laitetaan kuivat kuidut ja kappale alipainesäkitetään. Tämän jälkeen alipaineella imetään matriisi kuituihin. Alipaineinjektion hankaluuksia on saada imettyä matriisi niin, että kaikki kuidut kastuvat ja pinnanlaatu ei välttämättä vastaa käsin laminointia. Onnistuessa laminoinnista saadaan kuitenkin yleensä kevyin, sekä alipaineinjektiossa ei tarvitse levittää matriisia käsin. Alipainesäkitys voidaan toteuttaa kaikissa näissä valmistusmenetelmissä joko niin, että kappale laitetaan muotin kanssa alipainesäkin sisään, tai kappale voidaan puristaa kalvolla muotin pintaa. (Saarela ym. 2003, 153–175.)

5.2 Muotit

Muotteja kuviovesihiihtosuksille valmistetaan eri materiaaleista, riippuen valmistuksessa käytettävästä valmistusmenetelmästä. Muotit voivat olla materiaaliltaan esimerkiksi puuta, alumiinia, terästä tai komposiittia. Osa valmistusmenetelmistä esimerkiksi prepreg vaatii muotilta lämmönkestävyyttä. Muottien materiaalivalinnalla on iso vaikutus sen valmistushintaan, kulumiskestävyyteen ja lämmönkestävyyteen. Puumuotit ovat edullisimpia valmistaa, mutta muodoiltaan niistä ei saa niin tarkkoja kuin metallisista tai komposiittimuoteista. Massatuotantoon metalli-

muotit soveltuvat parhaiten niiden kestävyys- ja tarkkuuden takia. Komposiittimuotti voidaan laminoida valmiin kappaleen päälle, joten olemassa olevalle kappaleelle pystytään näin tekemään muotti. (Saarela ym. 2003, 199–211.)

5.3 Kerroslevyrakenne

Kerroslevyrakenteella tarkoitetaan rakennetta, joka muodostuu kahdesta pintalevystä, joidenka väliin on liimattu ydinaine. Kuviovesihiihtosuksissa pintalevyt ovat laminoituja lujitekuituja ja ydinaineena voidaan käyttää solumuoveja kuten pvc-vaahtoa tai alumiinista tai hiilikuitulujitteista kennolevyä. Kerroslevyrakenteella aikaansaadaan kevyt, jäykkä ja hyvät erikoisominaisuudet omaava kappale. Tällaisen rakenteen valmistuksessa on tärkeää saada pintalaminaattien ja ydinaineen väliin hyvä liimasauma. (Saarela ym. 2003, 23, 191.)

5.4 Huolto ja korjaus

Komposiittikuviovesihiihtosuksen korjauksessa rikkinäinen kappale on mahdollista saada alkuperäiseen kuntoon. Korjaaminen vie kuitenkin paljon aikaa, sillä kappaleen pinnat pitää käsitellä niin, että kappaletta voidaan laminoida uudelleen. Korjaamisessa täytyy myös tuntea alkuperäinen rakenne ja materiaali. Kustannukset korjaukseen saattavat nousta niin korkeaksi, että se ei ole kannattavaa. Komposiittikappaleet eivät vaadi huoltoa, mutta esimerkiksi auringonvalo saattaa lämmittää mustan hiilikuitukomposiittikappaleen liian kuumaksi niin, että matriisi pehmenee. Matriisin pehmeneminen ei suoranaisesti pilaa kappaletta, mutta se saattaa johtaa sen muodon muutoksiin. Kappale on myös heikompi, kun se on tarpeeksi kuuma. Auringonvalosta kuumenemista voidaan pienentää maalamalla pinta vaaleammaksi. (Saarela ym. 2003, 224–228.)

5.5 Urheiluvälineteollisuus

Urheiluvälineteollisuus valmistaa urheiluvälineitä harrastus ja kilpailukäyttöön. Urheiluvälinettä tehdessä on rajattava mihin käyttöön se tulee, sillä se määrittää mitä materiaaleja, valmistusmenetelmiä ja sarjakokoja tuotteen valmistuksessa käytetään. Urheiluvälineiden valmistuksessa on tyypillistä ennakkoluulottomuus, menetelmien ja raaka-aineiden nopea omaksuminen ja uusien ideoiden käyttö. Usein joudutaan itse valmistamaan koneet, laitteet ja kehittämään menetelmät tuotteiden valmistamisen mahdollistamiseksi. Komposiitti mahdollistaa valmistajan muokata tuotetta materiaalien suhteen niin, että hinta ja ominaisuudet muuttuvat. Esimerkiksi harrastelijalle tuote voidaan valmistaa edullisemmista raaka-aineista kuten lasikuitulujitteista ja kilpaurheilijalle tuote voidaan valmistaa paremmilla ominaisuuksilla hiilikuitulujitteista. (Saarela ym. 2003, 444.)

6 KUVIOVESIHIIHTOSUKSEN VALMISTAMINEN

Tavoitteena on valmistaa jäykempi, kevyempi ja kestävämpi kuviovesihiihtosuksi, kuin mitä markkinoilla on tällä hetkellä saatavilla. Sukselle rakennetaan ensin muotti, jota käyttäen sukki valmistetaan. Sukseen tehdään siteille standardikiinnitys, jotta sitä pystyy käyttämään eri siteillä.

Sukseen tehdään vielä lisäksi komposiittietuside ja takasidettä muokataan kisa-käyttöön soveltuvammaksi. Etu- ja takaside tehdään standardikiinnitykselle sopivaksi, jotta niitä pystytään tarpeen mukaan käyttämään myös muissa sukissa.

Tavoitteena etu- ja takasiteen valmistuksessa on saada niistä jäykemmät, jolloin ne ovat tarkemmat käytössä. Etu- ja takasiteistä on tavoitteena myös valmistaa vikatilanteessa vapautumattomat. Tällä poistetaan mahdollisuus ennenaikaiseen tai turhaa siteen aukeamiseen urheiluosuorituksen aikana. Valmiiseen hankittuun takasiteeseen lisätään nilkan ympärille lisäkivistys siteen tukevuuden ja jäykkyyden lisäämiseksi. Turvallisuussyistä etusiteen ollessa vapautumaton on tärkeää, että myös takaside on vapautumaton, jotta kaatuessa toinen side ei irtoa ja toinen pysy kiinni. Hiihto-ominaisuudet sukselle parantuu huomattavasti siteiden ollessa mahdollisimman jäykät.

6.1 Suksen valmistaminen

Sukki valmistettiin 43” suksen ominaisilla mitoilla. Materiaaleina suksen teossa käytettiin hiilikuitua, lasikuitua ja pvc-vaahtoa. Suksen valmistaminen aloitettiin muotin valmistamisella. Muotti rakennettiin puusta ja 3D-tulostetusta muovista. Suksen muodosta tehtiin symmetrinen sen etu- ja takaosasta. Etu- ja takakaarien väliin suksen pohjaan tehtiin tasainen alue ja sivusuunnassa suksen pohja on tasainen koko matkalta. Suksen eri kohtiin laitettiin eri määrä hiilikuitua, jotta suksesta saatiin tietyistä kohtaa kestävämpi ja jäykempi. Ydinmateriaaliksi sukseen valittiin pvc-muovivaahtoa. Valmiiseen sukseen lisättiin vielä kansipuolelle M4 pulleille sopivat messinkiset upotusmutterit siteiden kiinnitystä varten. Suksen pinta viimeisteltiin maalauksella ja lakkauksella.

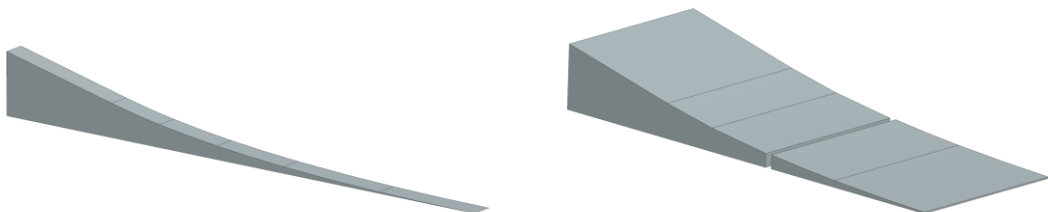
6.1.1 Muotin valmistaminen

Suksen muotin rakentaminen aloitettiin tekemällä muotille runko. Runko muotille valmistettiin puurimoista ja lastulevystä. Muotin ruongon pohja ja kansi on lastulevyä ja niiden välissä on puurimoja. Puurimat liimattiin Erikeeper-puuliimalla pohjalevyyn (kuva 4), jonka jälkeen kansilevy liimattiin puurimojen päälle. Puurimoilla saatiin muotin rungosta kestävämpi ja kiertojäykkä. Samalla muotin pinta saatiin pysymään tasaisena. Muotin runko on esillä kuvassa 4.



KUVA 4. Muotin rakenne ja runko

Suksen etu- ja takaosan kaarevuus suunniteltiin Siemens NX-tietokoneohjelmalla. Kaaren muodon suunnittelun apuna käytettiin olemassa olevia suksia, joiden ominaisuuksia yhdisteltiin tätä suksea varten. Valmiista suunnitellusta kaaresta (kuva 5) suunniteltiin kappaleita, jotka tulostettiin 3D-tulostimella muottia varten (kuva 5).



KUVA 5. Suksen muottia varten suunniteltu kaari ja siitä tehdyt 3D-tulostusta varten kappaleet

Kaaripalat muottia varten tulostettiin kahdessa osassa, sillä ne ei olisi mahtuneet tulostumaan käytössä oleviin tulostimiin yhtenä kappaleena (kuva 6). 3D-tulosti-

mena käytettiin Ultimaker 3-tulostinta (kuva 6). Tulostukseen käytettiin materiaalina pla-muovia. Pla-muovi on polylaktidi muovia, jota käytettiin tässä sen helpon tulostamisen ja edullisen hinnan perusteella.



KUVA 6. 3D-tulostetut alakaaripalat

Yhteensä kaaria tulostettiin molemmille puolille kolme eli yhteensä kuusi kaarta, jotka koostuvat kahdesta kappaleesta. 3D-tulostettujen kappaleiden pinnat karhennettiin hiomapaperilla ja liimattiin muotin runkoon Ampreg 30 -epoksihartsilla niin, että kaaret ovat 43” suksea varten oikealla etäisyydellä toisistaan (kuva 7).



KUVA 7. Muottirunkoon kiinnitetyt 3D-tulostetut suksen toisen päädyn kaaripalat

Tasaiseksi osuudeksi muottiin jätettiin 54 cm kaaripalojen väliin. Suksen pohjaan tasainen osuus tulee olemaan lyhempi, sillä tulostettujen kaaripalojen alareuna

on 1,3 mm korkeudella ja kaari jatkuu siitä vielä niin, että suksen muotin tasaiseksi osuudeksi jää 38 cm. Kaaripalan alareuna jätettiin tälle korkeudelle, jotta kaaresta tulee tasainen koko matkalle. Samalla 3D-tulostaminen helpottui, sillä kaaripalat ovat pienemmät ja nopeammat 3D-tulostaa. Muottirunko ja kaaripalat karhennettiin hiomapaperilla ja niiden päälle liimattiin kovalevy pintalevyksi, jota muottirunko ja kaaripalat pitävät sukselle ominaisessa muodossa (kuva 8).



KUVA 8. Kovalevyn liimaus muottirungon ja kaaripalojen päälle

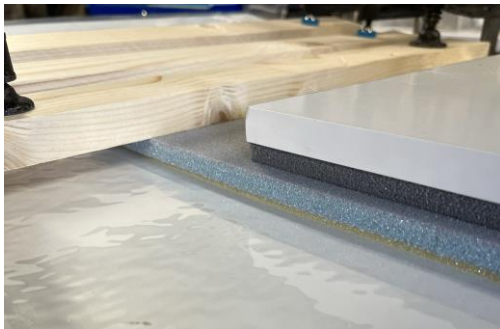
Kovalevy liimattiin muottirunkoon ja kaaripaloihin Erikeeper-puuliimalla. Muotin kansilevyä liimatessa se puristettiin suksen tasaisen alueen leveydeltä kiinni tasaisen muottirungon pintaan sekä kaaripaloihin. Valmis muotti on esillä kuvassa 9. Valmis muotin pinta vahattiin muottivahalla, jotta laminoitu suksi ei tartu sen pintaa. Muotti on 58,5 cm leveä, 137 cm pitkä ja päädyistä se on 14 cm korkea.



KUVA 9. Valmis muotti

6.1.2 Suksen valmistaminen

Suksen valmistaminen aloitettiin muotin valmistuttua. Suksi tehdään kerroslevy-rakenteella, eli siinä on komposiittipohja, ydinmateriaali ja komposiittikansi. Ensimmäinen vaihe suksen valmistuksessa oli ydinmateriaalin muotoilu. Ydinmateriaalina käytettiin pvc-vaahtolevyä. Vaahtolevyä ei ollut oikean paksuista saatavilla, joten kaksi vaahtolevyä liimattiin päällekkäin saavuttaen haluttu paksuus. Yhteen liimattujen levyjen paksuudet olivat 10 mm ja 3 mm, joten paksuudeksi saatiin 13 mm (kuva 10). Vaahtolevyt liimattiin yhteen Ampreg 30 -epoksihartsilla. Liimaus tehtiin muotin pinnalla, sillä ydinaine jäykistyy liimauksessa ja sen tarvitsee olla suksen kaaren muodossa. Liimauksen puristukseen käytettiin apuna solumuovipatjaa, jotta kaarevuus saatiin tasaiseksi. Muotin ja vaahtolevyn väliin laitettiin polyamidikalvoa, jotta mahdolliset hartsivalumat eivät tartu muotin pintaan.



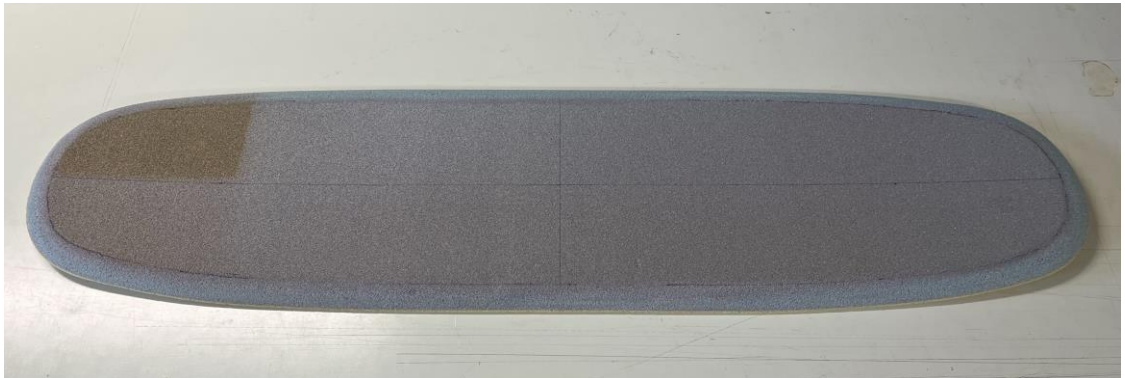
KUVA 10. Ydinmateriaalin liimaus

Hartsin sekaan sekoitettiin lisäksi täyteaineeksi mikropalloja (kuva 11), sillä vaahdon ollessa huokosta materiaalia se imee epoksihartsia. Täyteaineen ansiosta liimaa pystyttiin käyttämään vähemmän, joten liimauksesta saatiin kevyempi. Vaahtolevyjen liimauksen jälkeen vaahtolevy muokattiin oikeaan muotoon suksea varten.



KUVA 11. Epoksihartsia ja mikropalloja

Ydinmateriaalin muoto määrittää suksen muodon, sillä hiilikuitu laminoidaan sen ympärille. Vaahtolevy leikattiin ensin oikean malliseksi suksen pohjamuodon mukaan. Suksen ydinmateriaali muotoiltuna on kokonaisuudessaan esillä kuvassa 12.



KUVA 12. Suksen ydinmateriaali muotoiltuna

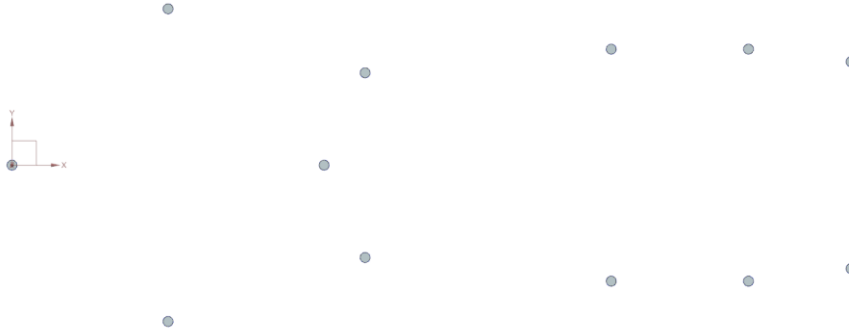
Vaahtolevyn kyljet muotoiltiin siten, että suksen kyljet ovat kaarevat kannesta pohjaan. Muotoiluun käytettiin työkaluina mattoveistä ja hiomapaperia. Vaahtolevyn muotoilussa käytettiin mallina Radar Graviton 2022 ja D3skis Aira Carbon 2020 suksien muotoja. Muotoiltu ydinmateriaali kaareva kylki on esillä kuvassa 13.



KUVA 13. Suksen ydinmateriaalin kylki muotoiltuna

Vaahtolevyyn porattiin 20 mm halkaisijaltaan olevat kuopat siteiden kiinnitystä varten lisättävien upotusmuttereiden kohdalle niiden kiinnityksen vahvistamista varten. Siteiden kiinnityspulttien paikat ovat lähes kaikissa markkinoilla olevissa suksissa samat, jotta niissä voidaan käyttää erilaisia ja eri valmistajien siteitä. Tähänkin sukseen upotusmuttereiden paikat tulevat samoihin kohtiin, kuin markkinoilla olevissa suksissa. Upotusmuttereiden paikat mitattiin Radar Graviton

2022 suksesta (liite 1). Mittauksien pohjalta tehtiin Siemens NX-tietokoneohjelmalla niiden paikoista malli (kuva 14), joka tulostettiin paperille todellisissa mittasuhteissa.



KUVA 14. Siteiden kiinnityspulttien upotusmuttereiden suunnitellut paikat

Tulostettujen paperien avulla suunnitellusta mallista tehtiin sabluuna pahville (kuva 15). Sabluunan avulla ydinmateriaaliin ja sukseen saadaan merkata upotusmuttereiden paikat samoille kohdille.



KUVA 15. Pahvisabluuna siteiden kiinnityspulttien kohdille

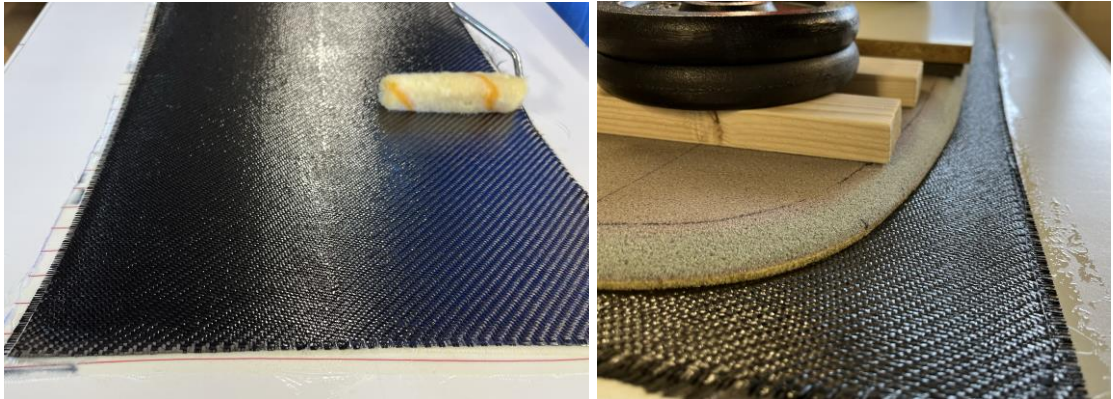
Suksen ydinmateriaalin muotoilun jälkeen aloitettiin laminoimaan lujitekuituja sen ympärille. Suksen laminointi tehdään kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa laminoidaan suksen pohja ja siihen kiinni ydinmateriaali. Toisessa vaiheessa laminoidaan suksen kansi ydinmateriaalin päälle. Laminointivaiheiden välissä täytettiin ydinmateriaaliin tehdyt upotusmuttereita varten olevat kuopat. Kuopat täytettiin Ampreg 30 -epoksihartsilla johon täyteaineeksi lisättiin mikropalloja. Ensimmäisessä laminointivaiheessa lisättiin sukseen vahvikkeet sen kylkiin hiilikuidusta. Toisessa laminointivaiheessa lisättiin vahvike suksen kanteen hiilikuidusta. Lujitekuituina tässä käytettiin Interglas 98151 -hiilikuitua, HiMax™ FCIM253 -hiilikuitua, ja Torayca T700S -hiilikuitua, HexForcel™ 120 -lasikuitua (kuva 16) ja hartsina Ampreg 30 -epoksihartsia.



KUVA 16. Sukseen käytettävät kuidut

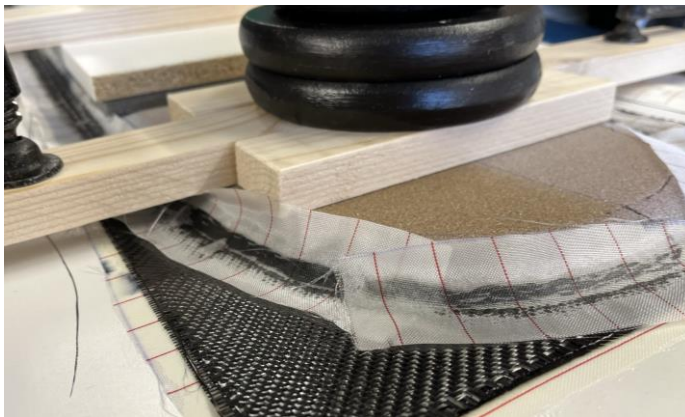
Ensimmäisessä laminointi vaiheessa laminoitiin suksen pohjan lujitekuidut ja niihin kiinni ydinmateriaali. Pohjaan laminoidaan kaksi kerrosta Interglas 98151 -hiilikuitua ja niiden kerrosten väliin yksi kerros HiMax™ FCIM253 -hiilikuitua. Interglas 98151 -hiilikuitu tuo sukseen sivuttais- ja pitkittäissuuntaisen jäykkyyden ja HiMax™ FCIM253 -hiilikuitu kiertojäykkyyden. Muotti ei ollut täysin kiiltäväpintainen, joten suksen pohjaan laminoitiin ensimmäisessä laminointivaiheessa alin kerros HexForcel™ 120 -lasikuidusta karhennuskankaan päälle. Suksen pohjasta saadaan näin sileämpi, sillä Interglas 98151 -hiilikuidussa on suuremmat punoksen väleihin jäävät reiät kuin HexForcel™ 120 -lasikuidussa. Suksen pohja hiotaan lopuksi sileäksi, joten lasikuitu hioutuu suurimmaksi osaksi pois.

Kuvassa 17 näkyy Ampreg 30 -epoksihartsin levitystä Interglas 98151 -hiilikuidulle ja ydinmateriaalin puristus laminointivaiheessa.



KUVA 17. Suksen pohjan laminointi

Ensimmäisen laminointivaiheen aikana sukseen lisättiin vielä vahvikkeet sen kylkiin. Vahvikkeet tehtiin yhdensuuntaisesta Torayca T700S -hiilikuidusta. Vahvikkeiden päälle asetettiin karhennuskangas, jotta pinnasta saadaan karhea jälkikäsitteilyä varten (kuva 18).



KUVA 18. Suksen kylkivahvikkeen laminointi

Ennen toista laminoituvaihetta suksen kylkiin laitettut vahvikkeet hiottiin haluttuun muotoon. Kyljen vahvikkeet hiottiin hiomapaperilla niin, että kansilaminaatti saadaan laminoitua niiden päälle. Samalla upotusmuttereille tehdyt kuopat täytettiin Ampreg 30 -epoksihartsilla, johon täyteaineeksi lisättiin mikropalloja (kuva 19).



KUVA 19. Upotusmuttereiden kiinnitystä varten tehdyt vahvikkeet

Kansi laminoitiin ydinmateriaalin ja kyljen vahvikkeiden päälle. Myös kanteen laminoitiin kaksi kerrosta Interglas 98151 -hiilikuitua ja niiden kerrosten väliin yksi kerros HiMax™ FCIM253 -hiilikuitua halutun jäykkyyden saavuttamiseksi. Lisäksi kanteen lisättiin yksi lisäkerros Interglas 98151 -hiilikuitua suksen keskiosaan hiilikuitukerrosten väliin, sillä siihen kohdistuu suurin rasite suksen käytössä. Kannen lujitekuidut puristettiin ydinmateriaaliin alipainesäkityksen avulla (kuva 20).



KUVA 20. Kannen laminointi alipainesäkissä

Alipainesäkki toteutetaan tässä niin, että muotin pinnalle teipattiin tiivisteteipillä polyamidikalvo suksen päälle. Alipainesäkityksessä laminaatin pinnalle lisättiin vielä karhennuskangas, perforoitu irrotuskalvo ja imuilmanjohtohuopa. Perforoitu irrotuskalvo lisättiin karhennuskankaan ja imuilmajohtohuovan väliin, jotta huopa

ei tartu laminaattiin. Imuilmanjohtohuopa varmistaa, että imettävä ilma tulee kaikkialta alipainesäkistä tasaisesti. Samalla huopaan imeytyi ylimääräinen epoksihartsia tehden laminoinnista kevyemmän. Kalvon ja muotin väliin jäänyt ilma imettiin alipainepumpulla pois, jotta suksi puristui muottia vasten. Alipainesäkitys kalvoon tehtiin ryppyjä, jotta paine jakautuu suksen reunoihin tasaisesti.

Laminaatin kovettumisen jälkeen alipainesäkki irrotettiin muotista. Suksi vielä jälkikövetettiin korkeammassa lämpötilassa (50 °C), jotta suksen kovetusaika lyheni ja lämmönkestävyys saatiin paremmaksi. Jälkikövetuksen jälkeen suksi irrotettiin muotista. Ylimääräinen materiaali leikattiin kappaleesta ensin kulmahiomakoneella, jonka jälkeen suksi viimeisteltiin oikean malliseksi kulmahiomakoneella ja hiomapaperilla. Samalla sukseen porattiin reiät upotusmuttereita varten vahvikkeiden kohdalle pylväsporakoneella ja suksen pohja karhennettiin maalausta varten. Kuvassa 21 on esillä valmis suksi ennen sen pintakäsittelyä. Suksen kanssa on vielä karhennuskangas kiinni, jotta upotusmuttereiden liimauksessa pursuava ylimääräinen liima saadaan helposti poistettua karhennuskanaan irrotuksessa.



KUVA 21. Valmis suksi ennen pintakäsittelyä ja upotusmuttereiden kiinnitystä

Upotusmutterit liimattiin sukseen Ampreg 30 -epoksihartsilla. Liimauksessa upotusmuttereihin kierrettiin muottivahalla vahatut pultit, jotta niiden kierteisiin ei tule liimauksessa käytettyä epoksihartsia. Suksen pohjaan ja kanteen teipattiin kuviota, jotta hiilikuitu jää osittain näkyviin valmiiseen sukseen maalauksen jälkeen. Viimeiseksi suksen pinta vielä viimeisteltiin lakalla. Kuvassa 22 on esillä valmis sukki pintakäsittelyn jälkeen pohjapuolelta.



KUVA 22. Valmis sukki pohjapuolelta

Kuvassa 23 on esillä valmis sukki pintakäsittelyn jälkeen kansipuolelta. Lopulliset mitat sukselle olivat 1090 mm pitkä, 290 mm leveä ja 15,5 mm paksu.



KUVA 23. Valmis sukki kansipuolelta

6.2 Etusiteen valmistaminen

Etuside valmistettiin markkinoilla olevalle Reflex-merkkiselle monolle. Side valmistettiin valmiina ostetusta D3skis merkkisestä pohjalevystä, hiilikuidusta ja alumiinista. Hiilikuidusta tehtiin monon muotoihin sopivat etu- ja takakiinnikkeet ja alumiinista tehtiin kiinnikkeet hiilikuitupaloille pohjalevyyn.

Alumiinikiinnikkeet valmistettiin alumiinilevystä. Alumiinilevystä leikattiin halutun muotoiset palat ja niihin porattiin kiinnitystä varten reiät ja niihin tehtiin kierteet. Alumiinipalojen pinta vielä viimeisteltiin pyöristämällä niiden reunat ja kiillottamalla niiden pinta. Valmiit alumiinikiinnikkeet ovat esillä kuvassa 24. Siteen pohjalevyyn porattiin alumiinikiinnikkeiden mukaan reiät kiinnitystä varten.

Monon etu- ja takakiinnikkeiden valmistamiseen käytettiin muottina vanhaa monoa. Lujitekuituna tässä käytettiin Interglas 98151 -hiilikuitua ja hartsina Ampreg 30 -epoksihartsia. Vanhan monon pinta vahattiin muottivahalla, jotta hiilikuitu ei kiinnity monoon laminointivaiheessa. Hiilikuidut ja epoksihartsia puristettiin monoa vasten niin, että pohjan tasainen osuus puristettiin hevosenkengän mallisilla metallipaloilla tasaista pintaa vasten. Näin hiilikuitupaloihin saatiin tasaiset kiinnityspinnat pohjalevyyn kiinnittämistä varten. Hiilikuidun pinnalle lisättiin karhennuskangas, jotta pinnasta saatiin tasaisempi ja helpompi viimeistellä. Hiilikuitupalojen pohja muotoiltiin haluttuun malliin niiden kovettumisen jälkeen kulmahiomakoneella ja hiomapaperilla. Niihin porattiin vielä reiät alumiinikiinnikkeitä ja monon kiinnitystä varten. Hiilikuitupalojen pinta viimeisteltiin hiomalla ja lakkaamalla. Takakiinnike kiinnitettiin monoon sivuista pulteilla ja takaa pultilla ja popniiteillä (kuva 24). Etukiinnike on kiinni vain siteen pohjalevyssä (kuva 24).



KUVA 24. Etusiteen etu- ja takakiinnikkeet

Mono kiinnitettiin pohjalevyyn pulttiliitoksilla valmistettujen alumiinilevyjen avulla. Mono voidaan tarvittaessa vaihtaa irrottamalla etu- ja takakiinnike pohjalevystä. Valmis etuside ja mono on kokonaisuudessaan esillä kuvassa 25.



KUVA 25. Valmis etuside ja mono

6.3 Takasiteen kokoonpano

Takasiteen valmistamiseen käytettiin valmista D3skis merkkistä takasidettä, lumilaudan siteen osaa ja alumiinia. Alumiinista valmistettiin lumilaudan siteen kiistimelle kiinnike siteen pohjalevyyn. Alumiinitangosta leikattiin oikean muotoisen pala molemmille puolille sidettä. Alumiinipaloihin tehtiin kolme reikää, joihin lisättiin kierteet kiinnitystä varten. Alumiinipalojen pinta viimeisteltiin pyöristämällä sen kulmat ja kiillottamalla. Siteen pohjalevyyn porttiin alumiinikiinnikeitä varten kaksi reikää siteen molemmille puolille. Valmistetut alumiinikiinnikkeet ja valmis takaside on esillä kuvassa 26.



KUVA 26. Alumiinikiinnikkeet ja valmis takaside

6.4 Materiaalikustannukset

Muotin, suksen ja siteiden materiaalikustannukset laskettiin suksea tehtäessä olevilla kauppojen jälleenmyyntihinnoilla. Hinnat eivät ole täysin tarkat, sillä yhden suksen valmistamiseen materiaalien myyntikoot eivät olleet tarpeeksi pieniä. Tässä on laskettu materiaalien kustannukset suhteutettuna siihen, kuinka paljon niitä käytettiin yhden suksen valmistamiseen. Todellisuudessa siis materiaalikustannukset olivat korkeammat, mutta materiaaleja jäi käyttämättä. Taulukossa 3 on esitetty valmistetun suksen muotin materiaalikustannukset.

TAULUKKO 3. Suksen muotin materiaalikustannukset

3D-tulostettu pla	45 € (3DJake 2023)
Ampreg 30 -epoksiharts	20 € (Kevra n.d.)
Erikeeper-puuliima	10 € (Bauhaus 2023)
Kovalevy	7 € (Bauhaus 2023)
Lastulevy	36 € (Bauhaus 2023)
Muottivaha	10 € (Kevra n.d.)
Puurimat	10 € (Bauhaus 2023)
Yhteensä	138 €

Taulukossa 4 on esitetty valmistetun suksen materiaalikustannukset.

TAULUKKO 4. Suksen materiaalikustannukset

Ampreg 30 -epoksihartsi ja mikropallot	44 € (Kevra n.d.)
Hiilikuitu Hexcel	20 € (Kevra n.d.)
Hiilikuitu Interglas	130 € (Kevra n.d.), vastaava
Hiilikuitu Toray	10 € (Kevra n.d.), vastaava
Imuilmanjohtohuopa	4 € (Kevra n.d.)
Karhennuskangas	10 € (Kevra n.d.)
Karhennuskangas	5 € (Kevra n.d.)
Lasikuitu	10 € (Kevra n.d.), vastaava
Maali ja lakka	60 € (Tampereen Väripalvelu n.d.)
Perforoitu irrotuskalvo	4 € (Kevra n.d.)
Polyamidikalvo	4 € (Kevra n.d.)
Pvc-muovivaahtolevyt	30 € (Kevra n.d.)
Tiivisteteippi	3 € (Kevra n.d.)
Upotusmutterit	4 € (3DJAKE 2023)
Yhteensä	338 €

Taulukossa 5 on esitetty valmistetun etusiteen ja siinä käytettävän monon materiaalikustannukset.

TAULUKKO 5. Etusiteen ja monon materiaalikustannukset

Alumiinilevy	5 € (Bauhaus 2023)
Ampreg 30 -epoksihartsi ja mikropallot	17 € (Kevra n.d.)
Hiilikuitu Interglas	20 € (Kevra n.d.)
Lakka	10 € (Väripalvelu n.d.)
Mono	83 € (Reflex 2023)
Muottivaha	5 € (Kevra n.d.)
Pultit, pulttien vastakappaleet ja nitit	10 € (Ruuvilinja n.d.)
Siteen pohjalevy	65 € (D3skis 2023)
Yhteensä	215 €

Taulukossa 6 on esitetty takasiteen kokoonpanon materiaalikustannukset.

TAULUKKO 6. Takasiteen materiaalikustannukset

Alumiinipalat	10 € (Bauhaus 2023)
Lumilautasiteen osat	62 € (Nitro n.d.)
Pultit	5 € (Ruuvilinja n.d.)
Takaside	133 € (D3skis 2023)
Yhteensä	210 €

Näin laskettuna suksen muotin, suksen, etusiteen ja monon ja takasiteen materiaalien yhteishinnaksi kertyi 901 €.

6.5 Työkalut

Tällaisessa työssä käytetyt työvälineet ovat esillä taulukossa 7. Työssä käytetyt työvälineet olivat käytössä entuudestaan, joten tässä työssä niihin ei mennyt lainkaan kuluja.

TAULUKKO 7. Tässä työssä käytetyt työvälineet

Työvälineet	Suksen muotti	Suksi	Etuside	Takaside
3D-mallinnusohjelmisto	x	x		
3D-tulostin	x			
Alipainepumppu		x		
Hartsinlevitystela		x		
Hiomapaperi	x	x	x	x
Ilmaustela		x		
Kaariviivain	x	x		
Kierrettyökalu			x	x
Kulmahiomakone		x	x	
Mattoveitsi	x	x	x	
Merkkaustyökalut	x	x	x	x
Metallisaha			x	x
Metallisorvi			x	x
Metalliviila			x	x
Paperitulostin		x		
Pensseli		x	x	
Popniittipihdit			x	
Puristimet	x	x	x	
Puusaha	x			
Pylväs porakone		x	x	x
Rullamitta	x	x		
Solumuovipatja		x	x	
Työntömitta	x	x	x	x
Vatupassi	x	x		
Viivain	x	x	x	x

7 TULOKSET

Tavoitteena tässä työssä oli valmistaa jäykempi, kevyempi ja kestävämpi kuviovesihiihtosuksi, kuin mitä markkinoilla on tällä hetkellä saatavilla. Valmiin suksen ominaisuuksista pystyttiin tarkastelemaan painoa, jäykkyyttä ja sen valmistuksen laatua. Kestävyyttä ja suksen vesihiihto-ominaisuuksia ei pystytty tämän työn aikana tarkastelemaan, sillä suksea ei päästy kokeilemaan ennen työn valmistamista.

7.1 Materiaalikustannukset

Tässä työssä tehdyn kuviovesihiihtosuksen materiaalien hinnaksi kertyi 338 €. Sukselle valmistetun muotin materiaaleille kertyi hinnaksi 138 €. Suksen ja muotin yhteishinta on siis 476 €. Muuttia kuitenkin voitaisiin käyttää useamman suksen valmistamiseen, jotenka sen materiaalikustannukset jakautuisivat kaikille suksille, jotka sillä valmistettaisiin.

Taulukossa 8 on esillä tällä hetkellä myynnissä olevien eri merkkisten kuviovesihiihtosuksien hintoja. Taulukossa olevat sukset ovat vastaavia tässä työssä valmistettuun sukseen.

TAULUKKO 8. Kuviovesihiihtosuksien hintoja

Merkki ja malli	Hinta (alv. 0 %)
D3Skis Aira Carbon 2022	\$ 724,99
Radar Graviton 2023	\$ 649,99
Quantum 2022	\$ 695
Reflex Neo 2022	600 €

Suksien hinnat on katsottu valmistajien omilta verkkosivuilta keväällä 2023. Osa valmistajista on Yhdysvalloista, joten niiden suksien hinnat on ilmoitettu dollareina. Suksien hinnat ovat taulukossa 8 ilman arvolisäveroa, joten Suomeen tuotaessa hintoihin tulisi 24 % lisää arvolisäveroa. Tässä työssä valmistettu sukki on materiaalikustannuksiltaan noin 54 % markkinoilla olevien suksien arvolisäverottomista hinnoista.

Etusiteen materiaalikustannukset olivat 215 €. Tähän on laskettu etusiteessä käytettävä mono, sillä side ei sovi käytettäväksi muille monomalleille. Monon hinta tästä laskelmasta on 83 €, joten pelkän siteen materiaalikustannukset olivat 132 €. Siteeseen hankittiin valmiina pohjalevy ja muuten se tehtiin itse. Tälle monolle markkinoilla oleva vapautuva side maksaa (alv. 0 %) 169 € (Reflex 2023). Työssä valmistettu etuside on materiaalikustannuksiltaan siis noin 78 % markkinoilla olevan siteen arvolisäverottomasta hinnasta.

Takasiteelle ei ole varsinasta vertailukohdetta, koska markkinoilla ei ole lainkaan vapautumattomia takasiteitä. Tässä työssä käytettiin markkinoilla olevaa takasidettä, johon lisättiin nilkan ympärille lisäkiristys. Materiaalikustannukset takasiteelle olivat 210 €, josta takasiteen hinta oli 133 €. Nilkan lisäkiristimelle materiaalikustannuksia siis kertyi 77 €.

7.2 Tekninen vertailu

Suksen paino nousi korkeammaksi kuin oli suunniteltu. Alun perin työssä oli tarkoitus käyttää kevyempiä hiilikuituja, kuin mitä työssä lopulta käytettiin. Syy tähän oli se, että ei oltu varmoja millainen suksesta tulee vesihiihto-ominaisuuksiltaan, joten päädyttiin käyttämään edullisempia kuituja, jotta materiaalikustannukset pysyivät alhaisempina. Sukseen tehtiin myös vahvistuksia kohtiin, joista sukset usein hajoavat, joten paino nousi myös materiaalin lisäämisen takia. Taulukossa 9 on esillä vastaavien markkinoilla olevien suksien painoja, sekä valmistetun sukseen paino.

TAULUKKO 9. Suksen painoverailu

Merkki ja malli	Paino (g)
Radar Graviton 2022	1560
Quantum 2020	1840
Quantum 2022	1520
Valmistettu sukki	1280

Valmistetusta suksesta saatiin tehtyä reilu 200 g kevyempi, kuin vastaavista markkinoilla olevista suksista. Suksen keveys tuo etuja kuviovesihiihdon tempuja tehdessä. Tällainen sukki voitaisiin valmistaa vielä kevyemmäksi samoilla ominaisuuksilla, jos valmistamiseen käytettäisiin erilaisia hiilikuituja.

Suksien jäykkyyksiä tarkasteltiin tukemalla sukki sen etu ja takaosasta ja asettamalla painoja suksen keskiosaa. Tästä mitattiin, kuinka paljon sukset taipuivat samoilla painoilla. Tällä vertailtavalla valmistettu sukki oli kaikista jäykin verrattavissa oleviin sukkiin nähden. Suksien rakennetta rasiitettiin myös kiertosuunnassa. Valmistettu sukki oli myös silloin jäykin. Vertailunkohteina ovat sukset olivat Radar Graviton 2021 ja 2022 sekä D3skis Aira Carbon 2020. Jäykkyydestä on apua suksen luotettavuuteen ja tarkkuuteen urheilusuorituksessa.

Etusiteestä tuli huomattavasti jäykempi, kuin mitä markkinoilla olevat siteet ovat. Vapautumattomia siteitä ei ole tälle monolle saatavilla, joten vertailu täytyi tehdä vapautuvaan sidemalliin. Valmistetun etusiteen paino 1090 g. Samalle monolle vapautuva side monon kanssa painaa 1150 g, joten valmistettu side on myös kevyempi. Valmistettu etuside pitää monon myös huomattavasti tarkemmin paikoillaan, kuin markkinoilla oleva vapautuva side.

Takasiteestä tuli vapautumaton, joten se on turvallisempi käyttää vapautumattoman etusiteen kanssa. Takaside pitää lisäkirstyksen avulla jalan huomattavasti paremmin paikoillaan. Vastaavia takasiteitä ei ole markkinoilla.

Suksesta ja siteistä saatiin valmistettua laadukkaat kappaleet, jotka soveltuvat kuviovesihiihdon kilpailukäyttöön.

7.3 Valmistamiseen kulunut aika

Taulukossa 10 on tämän työn vaiheisiin kulunut aika. Tähän ei ole laskettu liiman ja epoksihartsin kovettumiseen, maalin ja lakan kuivumiseen ja 3D-tulostukseen kuluneita aikoja. Suunnitteluun käytetty aika ei myöskään ole tässä laskelmassa. Suunnitteluun aikaa tässä työssä kului useita kymmeniä tunteja.

TAULUKKO 10. Työhön käytetty aika

Työvaihe	Kulunut aika (h)
Muotti	15
Suksi	20
Etuside	8
Takaside	2
Yhteensä	45

8 POHDINTA

Työssä valmistettiin ensimmäinen versio suunnitellusta kuviovesihiihtosuksesta. Sukselle valmistettu muotti on käytettävissä uusien versioiden jatkokehitykseen. Samalla muotilla voitaisiin tehdä samanmuotoinen sukki samoista materiaaleista tai eri materiaaleista saaden sille erilaiset ominaisuudet.

Kuviovesihiihtosuksen itse valmistamisessa on etuna se, että siitä saadaan juuri sellainen kuin halutaan. Itse valmistaessa voidaan myös käyttää parempia materiaaleja mitä kaupallisissa sukissa ei olisi järkevää käyttää materiaalikustannuksien nousemisen takia. Tällaisen yksittäiskappaleen valmistus vie kuitenkin paljon aikaa ja rahaa, sillä ensin pitää rakentaa muotti ja kaikki materiaalit täytyi ostaa erissä mitä on saatavilla työtä tehdessä. Osa materiaaleista joudutaan usein siis ostamaan suuremmissa erissä kuin mikä on tarve, joten osa materiaaleista jää käyttämättä. Tätä muottia pystyttäisiin käyttämään jatkossa uusien sukien valmistamiseen, joten sukseen ollessa hyvä, niitä voitaisiin valmistaa samalla muotilla useampia.

Kehitysmahdollisuutena tähän sukseen olisi käyttää ydinmateriaalina valmiiksi oikeanpaksuista pvc-vaahtolevyä. Vaahtolevyjen yhdistämiseen käytetty epoksihartsiliima on ylimääräistä painoa sukseen verrattuna siihen, jos vaahtolevy olisi valmiiksi oikean paksuinen. Eri hiilikuiduilla pystyttäisiin myös pienentämään sukseen painoa saavuttaen kuitenkin samat jäykkyysominaisuudet. Muottiin voitaisiin laminoida sen kansilevy esimerkiksi lasikuidusta lisätäkseen sen käyttöikä. Samalla muotin käyttöominaisuudet parantuisivat, sillä muotin pinta pystyttäisiin vahaamaan paremmaksi, jotta kappale olisi helpompi irrottaa muotista sen valmistuttua. Siteiden pohjalevyt voitaisiin myös valmistaa hiilikuidusta, jolloin niiden paino laskisi alumiiniin verrattuna.

Työ onnistui kaiken kaikkiaan hyvin ja halutulla tavalla. Suksea tehdessä opittiin paljon uutta ja siitä olisi hyötyä toisen version valmistuksessa. Seuraavaan sukseen versioon pystyttäisiin saamaan vielä paremmat ominaisuudet ja sen valmistaminen olisi nopeampaa.

LÄHTEET

Baimova, J. 2022. A Review on Recycling of Carbon Fibres: Methods to Reinforce and Expected Fibre Composite Degradations. Viitattu 31.3.2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9324376/>

Bauhaus & CO KY. 2023. Bauhaus. Viitattu 31.3.2023. <https://www.bauhaus.fi/>

Chapman & Hall. 1995. Carbon AND High Performance Fibres. DIRECTORY AND DATABOOK. Edition 6. London: Chapman & Hall.

Doyle, J. 2021. Waterski Photos. Sähköpostiviesti 13.7.2021.

Gurit Services AG. n.d. Gurit Laminating Systems. Viitattu 31.3.2023. <https://www.gurit.com/products/laminating-systems/>

Hexcel Corporation. 2023. Hexcel Carbon Biaxials +/-45 (Ultra Lightweight). Viitattu 31.3. <https://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Reinforcements/CarbonBiaxials-45UltraLightweight>

Hexcel Corporation. 2023. Hexcel Woven Reinforcements. Viitattu 31.3.2023. <https://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Reinforcements/Woven-Reinforcements?IS=-1&IC=Glass&IP=-1&fwl=&fwu=&ftl=&ftu=>

IWWF World Waterski Council. 2023. IWWF. Viitattu 31.3.2023. <https://iwwf.sport/>

KC Technology. 2023. D3skis. Viitattu 31.3.2023 <https://www.d3skis.com/>

Kevra Oy. n.d. Kevra Advanced Composite Technology. Viitattu 31.3.2023. <https://kevra.fi/>

niceshops GmbH. 2023. 3DJAKE Kierreosat. Viitattu 31.3.2023. <https://www.3djake.fi/3djake/kierreosat-50-kpl?sai=10521>

Nitro Snowboards. n.d. Varaosat. Viitattu 31.3.2023. <https://nitrosnowboards.fi/tuote-osasto/varaosat/>

Radar Skis. 2023. Graviton Trick ski. Viitattu 31.3.2023. <https://radar-skis.com/products/graviton-trick-ski>

Reflex Water Skis & Bindings. 2023. Reflex Water Skis & Bindings. Viitattu 31.3.2023. <https://reflexworld.com/>

Ruuvilinja Oy. n.d. Ruuvilinja Oy. Viitattu 31.3.2023. <https://www.ruuvi.fi/>

Saarela, O. Airasmaa, I. Kokko, J. Skrifvars, M. Komppa, V. 2003. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

Santala, J. 2022. Waterski Photos. Sähköpostiviesti 31.7.2022.

Tampereen Vesikiitäjät. 2022. TVK. Viitattu 31.3.2023. <https://tampereenvesikiitajat.fi/>

Tampereen Väripalvelu Oy. n.d. Tampereen Väripalvelu. Viitattu 31.3.2023. <https://www.varipalvelu.com/>

Toray Composite Materials America, Inc. 2023. Toray Data Sheets. Viitattu 31.3.2023. <https://www.toraycma.com/resources/data-sheets/>

LIITTEET

Liite 1. Mittauspöytäkirja siteen upotusmuttereiden mittauksista

x 1.	x
65mm	
x 2.	x
87mm	
x 2.	x
156mm	
x 3.	x
26mm	
	x
	4.
x 4.	x
	x

1. 125,6mm-136,2mm->130,9mm
2. 152mm-141,6mm->146,8mm
3. 121,6mm-112,1mm->116,85mm
4. 202,8mm-192,8->197,8mm

Liite 2. Interglas 98151 -hiilikuidun datalehti (Chapman & Hall 1995)

2.1.8 CS-INTERGLAS AG			"Interglas"								
98110	Plain	1k To DIN 65184	93 2.8	100 39.4	7 17.8	66 594	as warp	as warp	0.12 4.7	Epoxy & Polyester	15 0.4
98131 & 98130	Twill2/2 Plain	3k To DIN 65184	163 4.9		4 10.2	200 1800			0.2 7.9		
98136	Satin 4		185 5.5		4.6 11.7				0.25 9.8		
98138	Plain		193 5.8		4.9 12.4		4.8 12.2		0.3 11.8		
98140			200 6		5 12.7		as warp				
98141	Twill2/2								0.35 13.8		
98150	Plain		245 7.3		6 15.2				0.35 13.8		
98151	Twill2/2		245 7.3						0.4 15.8		
98160	Satin 4		285 8.5		7 17.8				0.45 17.7		
98166	Satin 8		365 10.9		9 22.8				0.55 21.7		
98181 & 98180	Twill2/2 Plain	6k	375 11.2		4.6 11.7				0.42 16.5		
98185	Satin 4		380 11.4		4.75 12.1		4.5 11.4		0.43 16.9		
98191	Twill2/2		490 14.7		6 15.2		as warp		0.55 21.7		
98201		12k	600 18		3.7 9.4				1.0 39.4		
98210	Plain		678 20.3		4.2 10.7		4.1 10.4		0.76 29.9		

Liite 3. Hexcel HiMax™ FCIM253 -hiilikuidun datalehti (Hexcel 2023)



HiMax™ FCIM253

[C12k, 200, -45/+45]



Product Data Sheet

Fabric Construction

Fibre Type: Carbon
 Construction: -45/+45
 Fabric Weight: 204 gsm +/- 5%

Stitching Fibre

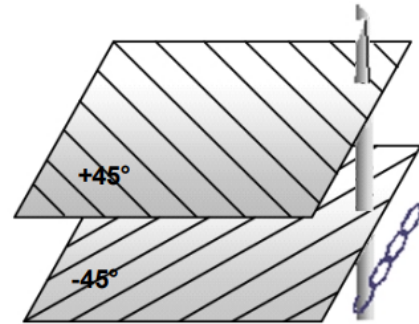
Stitching Thread: Texturised Polyester BI
 Stitch DTex: 35
 Stitch Gauge: 6.0 gg
 Stitch Length: 2.12 mm
 Stitch Type: Pillar
 Stitch Weight: 4 gsm

Ply Construction**+45°**

Fibre Specification: Carbon
 Fibre Tex: 800 tex
 Gauge: 2.23 gg
 Ply Weight: 99 gsm

-45°

Fibre Specification: Carbon
 Fibre Tex: 800 tex
 Gauge: 2.23 gg
 Ply Weight: 99 gsm

**Customisation**

Customer Code and Description:	Customer Specified
Fabric Width:	1270mm (+/- 5mm) - or tapes on application
Tracer Threads / Tapered Edges:	Customer Specified
Approved Fibres:	On Application
Roll Weight / Length:	Customer Specified
Cardboard Core:	Customer Specified
Packaging:	Customer Specified

©2016 Hexcel Corporation - All rights reserved. Hexcel Corporation and its subsidiaries ("Hexcel") believe that the technical data and other information provided herein was materially accurate as of the date this document was issued. Hexcel reserves the right to update, revise or modify such technical data and information at any time. Any performance values provided are considered representative but do not and should not constitute a substitute for your own testing of the suitability of our products for your particular purpose. Hexcel makes no warranty or representation, express or implied, including but not limited to the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, and disclaims any liability arising out of or related to, the use of or reliance upon any of the technical data or information contained in this document.



HiMax™ FCIM253

[C12k, 200, -45/+45]



Product Data Sheet

For more information

Hexcel is a worldwide supplier of composite materials to aerospace and industrial markets. Our comprehensive range includes:


- HexTow® carbon fibres
- HexForce® reinforcements
- HiMax™ non-crimp fabrics
- HexPly® prepregs
- HexMC® moulding compounds
- HexFlow® RTM resins
- Redux® adhesives
- HexTool® tooling materials
- HexWeb® honeycombs
- Acousti-Cap® sound attenuating honeycomb
- Engineered core
- Engineered products

For quotes, orders and product information call +44 116 275 2200. For other worldwide sales office telephone numbers and a full address list, please go to:

<http://www.hexcel.com/contact/salesoffice>

©2016 Hexcel Corporation - All rights reserved. Hexcel Corporation and its subsidiaries ("Hexcel") believe that the technical data and other information provided herein was materially accurate as of the date this document was issued. Hexcel reserves the right to update, revise or modify such technical data and information at any time. Any performance values provided are considered representative but do not and should not constitute a substitute for your own testing of the suitability of our products for your particular purpose. Hexcel makes no warranty or representation, express or implied, including but not limited to the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, and disclaims any liability arising out of or related to, the use of or reliance upon any of the technical data or information contained in this document.

Liite 4. Toray Torayca T700S -hiilikuidun datalehti (Toray 2023)



Toray Composite Materials America, Inc.

T700S

STANDARD MODULUS CARBON FIBER

Excellent processability in traditional manufacturing methods (weaving, braiding, filament winding, prepreg, etc). Manufacturing locations include Japan, U.S., Korea, and France.

PRODUCT DESIGNATION

T700S	C	12,000	S	O	C
Fiber Type	Twist*	Filament Count	Sizing Type	Surface Treatment	Sizing Amount

* C: Never Twisted

FIBER PROPERTIES

PROPERTY	ENGLISH	METRIC	METHOD
Tensile Strength	711 ksi	4,900 MPa	TY-030B-01
Tensile Modulus	33.4 Msi	230 GPa	TY-030B-01
Strain at Failure		2.1%	TY-030B-01
Density		1.80 g/cm ³	TY-030B-02
Filament Diameter		7 μm	
Yield	6K	400 g/1000m	TY-030B-03
	12K	800 g/1000m	TY-030B-03
	24K	1,650 g/1000m	TY-030B-03

FUNCTIONAL PROPERTIES

PROPERTY	VALUE
CTE	-0.38 α · 10 ⁻⁶ /°C
Specific Heat	0.752 J/g · °C
Thermal Conductivity	0.096 J/cm · s · °C
Electric Resistivity	1.6 x 10 ⁻³ Ω · cm
Chemical Composition: Carbon	>93 %
Na + K	<50 ppm

RESIN SYSTEM COMPATIBILITY

SIZING TYPE & AMOUNT	RESIN SYSTEM COMPATIBILITY	METHOD
50C (1.0 %)	Epoxy, phenolic, polyester, vinyl ester	TY-030B-05
60E (0.3 %)	Epoxy	TY-030B-05
F0E (0.7 %)	Vinyl ester, compatible with epoxy	TY-030B-05

COMPOSITE PROPERTIES

PROPERTY	ENGLISH	METRIC	METHOD
Tensile Strength*	415 ksi	2,860 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus*	19 Msi	134 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain		2.02%	ASTM D-3039
Compressive Strength*	210 ksi	1,450 MPa	SACMASRM1R-94
Flexural Strength*	245 ksi	1,690 MPa	ASTM D-790
Flexural Modulus*	17 Msi	120 GPa	ASTM D-790
ILSS	13 ksi	86.9 MPa	SACMASRM1R-94
In Plain Shear Strength	20 ksi	136 MPa	ASTM D-3518
90° Tensile Strength	12 ksi	81 MPa	ASTM D-3039

*Normalized to 60% fiber volume. Cured with epoxy at 130 °C.

HIGH PERFORMANCE CARBON FIBER
TORAYCA

T700S

T700S Rev. 3: Updated January 17, 2018



www.toraycma.com
253-846-1777

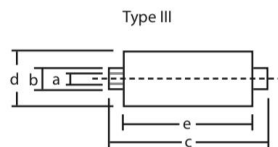
TORAY

Toray Composite Materials America, Inc.

T700SHIGH-PERFORMANCE CARBON FIBER
TORAYCA**PACKAGING**

The table below summarizes the tow sizes, twists, sizing types, and packaging available for standard material. Other bobbin sizes may be available on a limited basis.

TOW SIZES	SIZING	BOBBIN NET WEIGHT (kg)	BOBBIN TYPE	BOBBIN SIZE (mm)					SPOOL PER CASE	CASE NET WEIGHT (kg)
				a	b	c	d	e		
6K	50C	2.0	III	76.5	82.5	280	140	252	12	24
12K/24K	50C/60E/FOE	6.0	III	76.5	82.5	280	200	252	4	24

Bobbin Type:

Please refer to SDS for handling and disposal.

For more information or purchasing inquiries:
sales@toraycma.com | www.toraycma.com | 253-846-1777

The data listed herein are lot averages and for reference purposes only. The results are not intended for specification purposes. These commodities, technology or software were exported from the United States in accordance with the Export Administration Regulations. Diversion contrary to U.S. law is prohibited.

T700S Rev. 3: Updated January 17, 2018

Liite 5. Hexcel HexForce™ 120 -lasikuidun datalehti (Hexcel 2023)



STYLE	120	US System	SI Units
Type of Yarns	Warp Yarn:	ECD 450 1/2	EC5 11 x2
	Fill Yarn:	ECD 450 1/2	EC5 11 x2
Fabric Weight, Dry		3.16 oz/yd ²	107 g/m ²
Weave Style	4 Harness Satin		
CONSTRUCTION			
Nominal Construction	Warp Count:	60/in	23.62/cm
	Fill Count:	58/in	22.83/cm
Fabric Thickness		3.5 mils	0.09 mm
Breaking Strength	Warp Filling	160 lbf/in	160 lbf/in

IMPORTANT

All information is believed to be accurate but is given without acceptance of liability. All values have been generated from limited data. The values listed for weight, thickness and breaking strengths are typical greige values, unless otherwise noted. Users should make their own assessment of the suitability of any product for the purpose required. All sales are made subject to our standard terms of sales which include limitations on liability and other important terms. The fabric style listed may not be available from inventory and minimum order quantities may apply.

FOR FURTHER INFORMATION, PLEASE CONTACT US

1913 North King Street
 Seguin, Texas 78155
 Phone: 830-379-1580
 Fax: 830-379-9544
 Customer Service Toll Free: 1-866-601-5430

For European sales office numbers and a full address list, please go to:
<http://www.hexcel.com/contact/salesoffices>

© Hexcel and Hexcel logo are registered trademarks of Hexcel Corporation, Stamford, Connecticut.
 ™ HexForce is a trademark of Hexcel Corporation, Stamford, Connecticut.

Liite 6. Gurit Ampreg™ 30 -epoksihartsin datalehti (Gurit n.d.)

Full General Datasheet



AMPREG™ 30

LOW VISCOSITY EPOXY WET LAMINATING SYSTEM

- ▢ Same 100:26 resin to hardener mix ratio by weight across range of hardener speeds
- ▢ Low initial mixed viscosity & good cure progression from ambient only cures
- ▢ Tough resin matrix giving good laminate mechanical properties
- ▢ DNV-GL & Lloyds Register Certified formats available
- ▢ Low Toxicity Hardener Formulations
 - Improved Hazard Labelling
 - CMR & SVHC** Free
 - Reduced Environmental Hazards
- ▢ Formulated with Gurit LRT (Light Reflective Technology) as standard
- ▢ Tested in high humidity environments

INTRODUCTION

Ampreg™ 30 has been optimised for the manufacture of large composite structures using hand layup & vacuum bagging techniques whilst offering improved health & safety through the careful selection of low toxicity raw materials.

The relatively low initial mixed viscosity of Ampreg 30 allows easy wetout of heavyweight reinforcements. Ampreg™ 30 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 the full range of Ampreg™ 3X Hardener speeds, from Fast to Extra Slow and in a wide range of formats from small pack sizes to drums and IBCs.

The unique formulation offers improved health & safety through the careful selection of low toxicity raw materials as well as Light Reflective Technology which in conjunction with a UV light-source can detect droplets as small as 1mm for easy identification of contamination to improve industrial hygiene.

SYSTEM PROPERTIES AT 25°C		MIXED VISCOSITY*	150g POT-LIFE*	EARLIEST TIME TO APPLY VACUUM*	LATEST TIME TO APPLY VACUUM*	EARLIEST DEMOULD TIME*	PAGE
Ampreg™ 30 Resin	Product Information, Instructions for Use and Health & Safety						2
	Ampreg™ 3X Fast Hardener	900 cP	½ hour	1 ½ hours	2 hours	3 hours	4
	Ampreg™ 3X Standard Hardener	750 cP	1 hour	2 ½ hours	3 hours	6 ½ hours	5
	Ampreg™ 3X Slow Hardener	350 cP	4 hours	4 hours	5 hours	16 hours	6
	Ampreg™ 3X Extra-slow Hardener	300 cP	7 hours	6 hours	7 ½ hours	40 hours	7

*Working time properties are highly subjective to ambient conditions and should be used an approximate guideline for all Ampreg™ 30 systems at 25°C. Please refer to the corresponding page of this document for specific testing methods used.

** CMR = Substances classified as Carcinogenic, Mutagenic or toxic for Reproduction
SVHC = Substances of Very High Concern



PRODUCT INFORMATION

AVAILABILITY

The product is available in a number of formats including DNV-GL certified (see table) please contact your local customer support representative for more information.

PRODUCT DESCRIPTION	STATUS	CERTIFICATION
Ampreg™ 30 with Fast, Standard, Slow & Extra Slow Hardeners	Approved	DNV-GL TAK00001C7
	Approved	Lloyds Register MATS-4999-1

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 2 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.

COMPONENT	UNITS	10 - 25°C
Ampreg 30 Resin	months	24
Ampreg 3X Hardeners	months	24

INSTRUCTIONS FOR USE

The product is optimised for use at temperatures between 18 and 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%.

MOULD RELEASE

Smooth metal and GFRP mould 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 more complex surfaces. The highest quality surface can normally be generated by using semi-permanent release systems like TR 920 (TR Industries) or PMR EZ (Chemlease).

Before the application of the release agent onto a new mould it should be sealed and primed, this is also true if an old mould have had its released agents stripped and a new system applied. It is suggested that a complete system is purchased from a single manufacture to ensure there are no compatibility issues. A low VOC (Volatile Organic Chemical) option is water based systems like chemlease 5051W or 5016W which will not generate class A surface finish but will help to reduce VOC release in moulding areas. Whichever mould release is proposed it is recommended that a test laminate is laid up under production conditions and time scales, in order to ensure an adequate and effective part release.

MIXING AND HANDLING

Accurate measurement and thorough mixing are essential when using this system, and any deviation from the prescribed mix ratios will seriously degrade the physical properties of the cured system. Ampreg™ 3X Fast and Extra-slow hardeners can be blended in order to achieve intermediate speeds as indicated in the table (right). When blending hardeners, it is recommended that the hardener components are dispensed and mixed together for approximately 2 minutes before the addition to the resin.

Hardener	Fast	Standard	Slow	Extra-slow
Ampreg 3X Fast	100%	67%	25%	0%
Ampreg 3X Extra-slow	0%	33%	75%	100%

The resin and hardener must be stirred well for two minutes or more, with particular attention being paid to the sides and bottom of the container. As soon as the material is mixed the reaction begins. This reaction produces heat (exothermic), which will in turn accelerate the reaction. If this mixed material is left in a confined mixing vessel the heat cannot disperse and the reaction will become uncontrollable.

APPLICATION

The mixed system is usually applied by foam roller from a roller tray. Accurate fibre volume fractions can be obtained by applying a 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.

HIGH RH DURING LAMINATION

Although the recommended ambient relative humidity remains <70%, Gurit has successfully carried out testing at 90% relative humidity using the Fast Hardener which showed no significant drop in ILSS. For the testing carried out by Gurit, subsequent plies were applied within 5 mins of each other and vacuum & heat was applied directly following full lamination. As mechanical properties are highly dependent on the processing method, Gurit recommends that a test laminate is manufactured and evaluated in representative conditions in order to ensure that the required performance is achieved.

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.

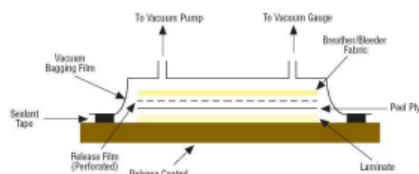


Figure 1

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.

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.

HEALTH AND SAFETY

The following points must be considered:

1. Skin contact must be avoided by wearing protective gloves. Gurit recommends the use of disposable nitrile gloves for most applications. The use of barrier creams is not recommended, but to preserve skin condition a moisturising cream should be used after washing.
2. 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.

APPLICABLE RISK & SAFETY PHRASES

Gurit produces a separate full Safety Data Sheet for all hazardous products. Please ensure that you have the correct SDS to hand for the materials you are using before commencing work.

LIGHT REFLECTIVE TECHNOLOGY (LRT)

Ampreg 31 is formulated with Gurit's Light Reflective Technology included as standard, which causes the resin or mixed system to fluoresce under UV light and can assist in developing best practise post work. This ensures minimum exposure and no transfer of epoxy outside the workshop, significantly reducing the risks of sensitisation and other conditions associated with contact with uncured resins. Contact Gurit Technical Support for further information.

AMPREG™ 30 RESIN & AMPREG™ 3X FAST HARDENER

This 1 page product summary is intended for use in conjunction with further advice provided under the Instructions for Use section. All data has been generated from typical production material and does not constitute a product specification.

MIXING AND HANDLING

PROPERTY	UNITS	AMPREG™ 30 RESIN	FAST HARDENER	MIXED SYSTEM	TEST METHOD
Colour	-	Colourless	Dark Orange	Orange	-
Mix ratio by weight	Parts by weight	100	26	-	-
Mix ratio by volume	Parts by volume	100	31	-	-
Density at 21 °C	g/cm ³	1.00 – 1.20	0.90 – 1.10	1.09	ISO 1183-1B

COMPONENT & MIXED SYSTEM PROPERTIES*

PROPERTY	UNITS	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	40 °C	TEST METHOD
Ampreg™ 30 Resin Viscosity	cP	5200 - 5600	2400 - 2800	1300 - 1700	600 - 1000	600 - 1000	-
Ampreg™ 3X Fast Hardener Viscosity	cP	900 - 1000	500 - 600	300 - 500	150 - 250	90 - 130	-
Initial Mixed System Viscosity	cP	-	-	800 - 1000	-	-	-
Pot-life (150 g, mixed in water)	hrs:min	-	-	00:30 – 00:40	-	-	Tecam Gel Time
Earliest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	01:40	-	-	Internal Gurit Method
Latest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	02:10	-	-	Internal Gurit Method
Earliest Demould Time	hrs:min	-	-	03:10	-	-	Internal Gurit Method

CURED RESIN MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Glass Transition Temperature	T _{g2}	°C	59	77	85	ISO 11357 (DSC)
Ultimate Glass Transition Temp.	UT _{g2}	°C	-	98	94	ISO 11357 (DSC)
Cured Density	ρ _{CURED}	g/cm ³	-	1.164	-	ISO 1183-1A
Linear Shrinkage	-	%	-	1.85	-	ISO 1183-1A
28 Day Water Uptake (coupon size 60x60x1mm)	-	mg	-	32	-	ISO 62
Tensile Strength	σ _T	MPa	48.7	80.4	79.5	ISO 527-2
Tensile Modulus	E _T	GPa	3.59	3.49	3.26	ISO 527-2
Tensile Strain	ε _T	%	1.80	4.40	7.55	ISO 527-2
3-point flexural strength	σ _F	N/mm ²	84.4	131	124	ISO 178
3-point flexural modulus	E _F	GPa	3.47	3.42	3.22	ISO 178
3-point flexural Strain	ε _F	%	2.66	5.96	8.11	ISO 178

CURED LAMINATE MECHANICAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Fibre Volume Fraction	V _{FVF}	%	35	35	-	ASTM D 3171 Method II
ILSS***	X _{ILSS}	MPa	50.4	51.3	-	ISO 14130
ILSS (after 7 days in water)***	X _{ILSS}	MPa	-	49.5	-	ISO 14130

*working time properties are highly subjective to ambient conditions and should be used as an approximate guideline for all Ampreg™ 30 systems

**initial cure of 24 hours at 21°C

***laminare construction: 8 plies of RE301HR, 50% resin content by weight

AMPREG™ 30 RESIN & AMPREG™ 3X STANDARD HARDENER

This 1 page product summary is intended for use in conjunction with further advice provided under the Instructions for Use section. All data has been generated from typical production material and does not constitute a product specification.

MIXING AND HANDLING

PROPERTY	UNITS	AMPREG™ 30 RESIN	STANDARD HARDENER	MIXED SYSTEM	TEST METHOD
Colour	-	Colourless	Very Dark Orange	Orange	-
Mix ratio by weight	Parts by weight	100	26	-	-
Mix ratio by volume	Parts by volume	100	31	-	-
Density at 21 °C	g/cm ³	1.00 – 1.20	0.95 – 1.10	1.10	ISO 1183-1B

COMPONENT & MIXED SYSTEM PROPERTIES*

PROPERTY	UNITS	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	40 °C	TEST METHOD
Ampreg™ 30 Resin Viscosity	cP	5200 - 5600	2400 - 2800	1300 - 1700	600 - 1000	600 - 1000	-
Ampreg™ 3X Standard Hardener Viscosity	cP	200 - 300	150 - 200	100 - 150	50 - 100	30 - 60	-
Initial Mixed System Viscosity	cP	-	-	650 - 850	-	-	-
Pot-life (150 g, mixed in water)	hrs:min	-	-	01:10 – 01:30	-	-	Tecam Gel Time
Earliest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	02:20	-	-	Internal Gurit Method
Latest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	03:05	-	-	Internal Gurit Method
Earliest Demould Time	hrs:min	-	-	06:35	-	-	Internal Gurit Method

CURED RESIN MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Glass Transition Temperature	T _g	°C	60	77	89	ISO 11357 (DSC)
Ultimate Glass Transition Temp.	UT _g	°C	-	99	98	ISO 11357 (DSC)
Cured Density	ρ _{CURED}	g/cm ³	-	1.163	-	ISO 1183-1A
Linear Shrinkage	-	%	-	1.72	-	ISO 1183-1A
28 Day Water Uptake (coupon size 60x60x1mm)	-	mg	-	32	-	ISO 62
Tensile Strength	σ _T	MPa	50.8	77.3	72.5	ISO 527-2
Tensile Modulus	E _T	GPa	3.64	3.38	3.40	ISO 527-2
Tensile Strain	ε _T	%	2.75	5.50	5.70	ISO 527-2
3-point flexural strength	σ _F	N/mm ²	99.9	125	126	ISO 178
3-point flexural modulus	E _F	GPa	3.50	3.42	3.45	ISO 178
3-point flexural Strain	ε _F	%	4.04	8.51	9.24	ISO 178

CURED LAMINATE MECHANICAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Fibre Volume Fraction	V _{FVF}	%	35	35	-	ASTM D 3171 Method II
ILSS**	X _{ILSS}	MPa	42.8	48.9	-	ISO 14130
ILSS (after 7 days in water)***	X _{ILSS}	MPa	-	48.8	-	ISO 14130

*working time properties are highly subjective to ambient conditions and should be used as an approximate guideline for all Ampreg™ 30 systems

**initial cure of 24 hours at 21°C

***laminated construction: 8 plies of RE301H8, 50% resin content by weight

AMPREG™ 30 RESIN & AMPREG™ 3X SLOW HARDENER

This 1 page product summary is intended for use in conjunction with further advice provided under the Instructions for Use section. All data has been generated from typical production material and does not constitute a product specification.

MIXING AND HANDLING

PROPERTY	UNITS	AMPREG™ 30 RESIN	SLOW HARDENER	MIXED SYSTEM	TEST METHOD
Colour	-	Colourless	Burnt Orange	Yellow	-
Mix ratio by weight	Parts by weight	100	26	-	-
Mix ratio by volume	Parts by volume	100	32	-	-
Density at 21 °C	g/cm ³	1.00 – 1.20	0.90 – 1.10	1.10	ISO 1183-1B

COMPONENT & MIXED SYSTEM PROPERTIES*

PROPERTY	UNITS	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	40 °C	TEST METHOD
Ampreg™ 30 Resin Viscosity	cP	5200 - 5600	2400 - 2800	1300 - 1700	600 - 1000	600 - 1000	-
Ampreg™ 3X Slow Hardener Viscosity	cP	34 - 42	24 - 34	20 - 30	14 - 20	8 - 16	-
Initial Mixed System Viscosity	cP	-	-	250 - 450	-	-	-
Pot-life (150 g, mixed in water)	hrs:min	-	-	03:40 - 04:20	-	-	Tecam Gel Time
Earliest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	04:00	-	-	Internal Gurit Method
Latest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	05:00	-	-	Internal Gurit Method
Earliest Demould Time	hrs:min	-	-	16:00	-	-	Internal Gurit Method

CURED RESIN MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Glass Transition Temperature	T _{g2}	°C	57	74	81	ISO 11357 (DSC)
Ultimate Glass Transition Temp.	UT _{g2}	°C	-	95	90	ISO 11357 (DSC)
Cured Density	ρ _{CURED}	g/cm ³	-	1.151	-	ISO 1183-1A
Linear Shrinkage	-	%	-	1.64	-	ISO 1183-1A
28 Day Water Uptake (coupon size 60x60x1mm)	-	mg	-	27	-	ISO 62
Tensile Strength	σ _T	MPa	48.7	76.0	74.0	ISO 527-2
Tensile Modulus	E _T	GPa	3.62	3.44	3.24	ISO 527-2
Tensile Strain	ε _T	%	3.86	4.94	7.71	ISO 527-2
3-point flexural strength	σ _F	N/mm ²	82.6	122	117	ISO 178
3-point flexural modulus	E _F	GPa	3.58	3.19	3.17	ISO 178
3-point flexural Strain	ε _F	%	2.62	10.2	9.08	ISO 178

CURED LAMINATE MECHANICAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Fibre Volume Fraction	V _{FVF}	%	36	36	36	ASTM D 3171 Method II
ILSS***	X _{ILSS}	MPa	47.1	49.5	54.1	ISO 14130
ILSS (after 7 days in water)***	X _{ILSS}	MPa	-	49.4	-	ISO 14130

*working time properties are highly subjective to ambient conditions and should be used as an approximate guideline for all Ampreg™ 30 systems

**initial cure of 24 hours at 21°C

***laminare construction: 8 plies of RE301H8, 50% resin content by weight

AMPREG™ 30 RESIN & AMPREG™ 3X EXTRA-SLOW HARDENER

This 1 page product summary is intended for use in conjunction with further advice provided under the Instructions for Use section. All data has been generated from typical production material and does not constitute a product specification.

MIXING AND HANDLING

PROPERTY	UNITS	AMPREG™ 30 RESIN	EXTRA-SLOW HARDENER	MIXED SYSTEM	TEST METHOD
Colour	-	Colourless	Colourless / Very Pale Yellow	Colourless / Very Pale Yellow	-
Mix ratio by weight	Parts by weight	100	26	-	-
Mix ratio by volume	Parts by volume	100	32	-	-
Density at 21 °C	g/cm ³	1.00 – 1.20	0.85 – 1.05	1.09	ISO 1183-1B

COMPONENT & MIXED SYSTEM PROPERTIES*

PROPERTY	UNITS	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	40 °C	TEST METHOD
Ampreg™ 30 Resin Viscosity	cP	5200 - 5600	2400 - 2800	1300 - 1700	600 - 1000	600 - 1000	-
Ampreg™ 3X Extra-Slow Hardener Viscosity	cP	18 - 28	15 - 20	5 - 15	5 - 10	4 - 8	-
Initial Mixed System Viscosity	cP	-	-	200 - 400	-	-	-
Pot-life (150 g, mixed in water)	hrs:min	-	-	07:00 – 07:40	-	-	Tecam Gel Time
Earliest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	06:20	-	-	Internal Gurit Method
Latest Time To Apply Vacuum	hrs:min	-	-	07:45	-	-	Internal Gurit Method
Earliest Demould Time	hrs:min	-	-	41:00	-	-	Internal Gurit Method

CURED RESIN MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Glass Transition Temperature	T _{g2}	°C	54	73	78	ISO 11357 (DSC)
Ultimate Glass Transition Temp.	UT _{g2}	°C	-	97	88	ISO 11357 (DSC)
Cured Density	ρ _{CURED}	g/cm ³	-	1.147	-	ISO 1183-1A
Linear Shrinkage	-	%	-	1.70	-	ISO 1183-1A
28 Day Water Uptake (coupon size 60x60x1mm)	-	mg	-	26	-	ISO 62
Tensile Strength	σ _T	MPa	45.4	70.9	71.8	ISO 527-2
Tensile Modulus	E _T	GPa	3.54	3.41	3.20	ISO 527-2
Tensile Strain	ε _T	%	3.57	4.02	7.27	ISO 527-2
3-point flexural strength	σ _F	N/mm ²	83.5	118	115	ISO 178
3-point flexural modulus	E _F	GPa	3.38	3.17	3.13	ISO 178
3-point flexural Strain	ε _F	%	3.11	10.8	9.41	ISO 178

CURED LAMINATE MECHANICAL PROPERTIES

PROPERTIES	SYMBOL	UNITS	28 DAYS AT 21°C	16 HOURS AT 50°C**	5 HOURS AT 70°C**	TEST STANDARD
Fibre Volume Fraction	V _{FVF}	%	36	36	-	ASTM D 3171 Method II
ILSS***	X _{ILSS}	MPa	44.0	46.0	-	ISO 14130
ILSS (after 7 days in water)***	X _{ILSS}	MPa	-	47.6	-	ISO 14130

*working time properties are highly subjective to ambient conditions and should be used as an approximate guideline for all Ampreg™ 30 systems

**initial cure of 24 hours at 21°C

***laminare construction: 8 plies of RE301H8, 50% resin content by weight



NOTICE

All advice, instruction or recommendation is given in good faith but the selling Gurit entity (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 Gurit's Website: www.gurit.com/terms-and-conditions.aspx

The Company strongly recommends that Customers make test panels in the final process conditions and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company prior to final use 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. Due to the varied nature of end-use applications, the Company does, in particular, not warrant that the test panels in the final process conditions and/or the final component pass any fire standards.

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

TECHNICAL CONTACT INFORMATION

For all other enquiries such as technical queries:

Telephone	+ 44 1983 828000 (08:30 – 17:00 GMT)
Email	technical.support@gurit.com

24-HOUR CHEMICAL EMERGENCY NUMBER

For advice on chemical emergencies, spillages, fires or exposures:

Europe	+44 1273 289451
Americas	+1 646 844 7309
APAC	+65 3158 1412

E customer.support@gurit.com

W www.gurit.com