



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Arttu Porkola

Komposiittikoripaneelien käyttö ja valmistus

Opinnäytetyö
Syksy 2023
Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Arttu Porkola

Työn nimi alaotsikoineen: Komposiittikoripaneelien käyttö ja valmistus

Ohjaaja: Jussi Yli-Hukkala

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 0

Työssä ei ole varsinaista toimeksiantajaa, vaan työ tehdään omasta mielenkiinnosta aihetta kohtaan. Työn aihealueena ovat komposiittimateriaalien ominaisuudet, komposiittikoripaneelien käyttö, niiden suunnittelu sekä muottien- ja kappaleiden valmistus. Työn taustalla on tarve saada valmistettua kevyitä ja kopioitavissa olevia paneeleja, joiden avulla saavutetaan sekä auton ajo-ominaisuuksiin että ulkonäköön parannuksia. Työssä tutkitaan myös lasikuituisten osien valmistamisen kustannuksia ja sitä, kannattaako asian ympärille perustaa liiketoimintaa. Alkuperäisten ja jälkimarkkinakorinosien saatavuus kohdeajoneuvoon Euroopassa on heikko, joten osien valmistaminen helpottaisi tulevaisuudessa osien saatavuutta.

Työ aloitettiin valitsemalla käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuvat materiaalit ja tutkimalla, mihin mittoihin valmistettava kappale tulisi tehdä. Pohjana laadittaville paneeleille toimi oma harrasteajoneuvo, ja ideointi sekä suunnitelma olivat omien päätelmien tuloksia. Lesti, muotit sekä kappaleet valmistettiin alan ammattilaisilta saadun tietotaidon ja menetelmien mukaisesti.

Lopputulokseksi saatiin itse suunnitellut kylkipaneelit sekä niille muotit, joiden avulla vastaavia kappaleita voidaan valmistaa useampia pareja. Kappaleista saatiin valmistettua halutun kaltaiset, ja työn myötä kerääntyneen kattavan tiedon myötä vastaavia menetelmiä voidaan hyödyntää myös muissa projekteissa.

¹ Asiasanat: laminointi, komposiitti, muotittaminen

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Mechanical Engineering

Specialization: Automotive and Work Machine Engineering

Author/s: Arttu Porkola

Title of thesis: The use and production of composite body panels

Supervisor(s): Jussi Yli-Hukkala

Year: 2023

Number of pages: 40

Number of appendices: 0

The subjects of the thesis are the properties of composite materials, the use of composite body panels, design, and the manufacturing process of molds and parts. The background of the thesis was the need to produce light and copyable body panels, which could be used to achieve improvements to both a car's driving characteristics and appearance. The study also examined the costs of manufacturing fiberglass parts and whether it was worth setting up a business around it. The availability of original and aftermarket body parts for the target vehicle in Europe is weak, so manufacturing parts would make the availability of the parts easier in the future.

The project started by choosing the materials best suited for the purpose of use and researching the dimensions of the part to be made. The project car was the basis for the panels, and the innovation and plan were the results of conclusions. The plug, the molds and the pieces were manufactured according to the know-how and methods obtained from professionals in the composite part field.

The results were self-designed side panels and molds for them, which could be used to make several pairs of similar pieces. The panels transpired exactly as desired, and with the comprehensive knowledge accumulated during the work, similar methods can be used in other projects as well.

¹ Keywords: laminating, composite, molding

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoitteet.....	8
1.3 Opinnäytetyön rakenne	9
1.4 Yhteistyökumppani	9
2 KOMPOSIITTIMATERIAALIT	10
2.1 Kertamuovit	10
2.2 Lujitteet.....	11
2.3 Komposiittien ominaisuuksia	12
2.4 Valmistusmenetelmiä	13
2.5 Prepreg-laminointi	15
2.6 Alipaineinfuusio	15
2.7 Muottiteknologia	15
3 KOMPOSIITTIOSAT AJONEUVOISSA	17
3.1 Historiaa	17
3.2 Moottoriurheilu.....	19
4 LASIKUITUPROTOTYYPIN VALMISTUS	21
4.1 Suunnittelu	21
4.2 Työn valmistelut	21
4.3 Lestin valmistus.....	23
4.4 Lestin viimeistely ja laipat.....	25
4.5 Muotin valmistus.....	26
4.6 Kappaleen valmistus	30

5 KANNATTAVUUS	34
5.1 Sarjatuotanto vai tilaustyö	34
5.2 Kilpailu alalla	34
5.3 Riskit	34
5.4 Kulurakenteet	35
6 TULOKSET	36
7 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	38
LÄHTEET	39

Kuva-, ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Wenda Oy.....	9
Kuva 2. Kerroslevyrakenne	14
Kuva 3. Corvette C5	18
Kuva 4. Formula-auton hiilikuituinen etuosa	19
Kuva 5. Seoskuidusta valmistettuja koripaneeleja	20
Kuva 6. Uretaanivaahdolla kasvatettu muoto.....	24
Kuva 7. Tasoitteella käsitelty muoto	24
Kuva 8. Pohjamaalatut muottiaihiot	25
Kuva 9. Muotti- ja muovailuvahalla käsitelty lesti	26
Kuva 10. Ensimmäinen gelcoat kerros	27
Kuva 11. Kaksi ensimmäistä lujitekerrosta.....	28
Kuva 12. Punosmattokerros muotin selkäpuolella	29
Kuva 13. Valmis muotti puhdistettuna.....	30
Kuva 14. Trimmaamattomat takakylkipaneelit	31
Kuva 15. Paneeli sovitettuna paikalleen	32
Kuva 16. Vastamaalatut kylkipaneelit	33
Kuva 17. Valmis kylkipaneeli paikallaan	37
 Taulukko 1. Lujitekuitujen ominaisuuksia.....	 11

Käytetyt termit ja lyhenteet

Gelcoat	Muottimaali eli gelcoat on paksua geelimäistä maalia, jota käytetään muotin valmistuksessa ensimmäisenä kerroksena. Gelcoat saa aikaan kestävä, sileän ja liukkaan pinnan. Tämä antaa hyvän pohjan valmistettavalle kappaleelle.
Lesti	Alkuperäinen kappale, jonka pinta halutaan kopioida. Lesti laipparakenteiden kanssa toimii alustana muotin valmistamiselle.
Lujite	Lujite on kertamuovin kanssa käytetty materiaali, jotka yhdessä muodostavat komposiitin. Lujitteita ovat mm. lasikuitu, hiilikuitu sekä aramidikuitu.
Sandwich-rakenne	Muotin tai kappaleen rakenne, jossa laminoitujen lasikuitukerrostien väliin on liimattu useimmiten muotoon leikattuja vaahtomuovi-levyn paloja. Väliin liimatut vaahtomuovikerrokset antavat muotille vääntöjäykkyyttä nostamatta sen painoa.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn taustalla on autoharrastuksen ja ammattikorkeakouluopintojen myötä herännyt valtava kiinnostus ajoneuvojen komposiittikorinosien suunnitteluun, rakenteeseen ja niiden monipuolisuuteen. Jälkimarkkinoilla koripaneelien saatavuus on Suomessa todella heikko, ja harrastajat hankkivat usein tiettyjä komponentteja ulkomailta. Isokokoisten kappaleiden, kuten puskureiden tai siivekkeiden kuljetuskustannukset ovat kuitenkin lähes poikkeuksetta erittäin korkeat, ja tilauksista EU:n ulkopuolelta täytyy myös maksaa arvonlisävero ja tullin käsittelymaksu. Näin ollen osien kokonaishankintakustannukset nousevat usein korkeiksi.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on luoda valmiit hyvälaatuiset ja funktionaaliset koripaneelit, jotka ovat oman käytön lisäksi tarpeen mukaan kopioitavissa ja myytävissä mahdollisesti verkkokaupan kautta. Toisena tavoitteena on selvittää, onko omavalmisteisten komposiittikorinosien valmistaminen ja myyminen taloudellisesti järkevää pienimuotoisen yritystoiminnan kannalta.

Tutkimusongelmiksi muodostuivat seuraavat:

- Onko liiketoiminta kustannustehokasta?
- Löytyykö tuotteille kysyntää?
- Onko sarjatuotanto järkevää?

1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyö koostuu yleisestä komposiittimateriaalien selvityksestä (luku 2), komposiittikoripaneelien käytöstä (luku 3), koripaneeliprototyypin valmistuksen vaiheittaisesta kuvauksesta (luku 4) sekä pohdinnasta mahdollisen liiketoiminnan aloittamisen kannalta (luku 5).

1.4 Yhteistyökumppani

Wenda Oy on Liedossa sijaitseva korkealaatuinen komposiittiteknologiaan erikoistunut yritys (kuva 1). Wenda muotoilee, suunnittelee sekä valmistaa asiakaslähtöisesti erilaisia kevytrakenteita useille eri teollisuuden toimialoille. Saatavilla on tarvittaessa myös palvelu, joka kattaa koko tuotteen elinkaaren asennusta ja huoltoa myöden. Wendan omasta kattavan valikoiman verkkokaupasta, WendaShopista, voivat myös kuluttajat ostaa alan kemikaaleja, materiaaleja, työkaluja sekä tarvikkeita. Myös tuotetuki toimii vaivattomasti ja kaikki verkkokaupan tuotteet ovat ostettavissa myös heidän Liedon myymälästään. Wenda on vakuutusyhtiöiden hyväksymä lujitemuovikorjaamo.



Kuva 1. Wenda Oy

2 KOMPOSIITTIMATERIAALIT

Kun kaksi fyysisiltä tai kemiallisilta ominaisuuksiltaan erilaista materiaalia (yleensä lujite ja matriisi) yhdistetään ja ne muodostavat toimivan kokonaisuuden kuitenkin sekoittumatta toisiinsa, kutsutaan sitä komposiitiksi (Muoviteollisuus i.a.). Komposiiteissa käytetään muoveja yleisesti niiden keveyden vuoksi. Kun muoviin lisätään jokin tietty lujite esim. lasikuitu, kyetään valmistamaan materiaaleja, jotka ovat kestävämpiä, kevyempiä ja monipuolisempia kuin mitkään muut materiaalit. Tällaista muovikomposiittia voidaan kutsua lujitemuoviksi. Lujitemuovi koostuu kahdesta osasta, polymeeripohjaisesta matriisista sekä lujitteesta. Matriisi voi olla kerta- tai kestonuovia ja lujitteet yleisimmin pitkäkuituista lasi-, hiili- tai aramidikuitua.

Muovikomposiitissa voi olla lisäksi täyteaineita, lisäaineita tai runkomateriaaleja kuten esim. vaahtomuovinen välikerros, mikä tekee kappaleesta kerrosrakenteisen. Välikerros vahvistaa kappaleen rakennetta entisestään. Muovikomposiiteille tavanomaisia ominaisuuksia ovat keveys, hyvä korroosion sekä lämpövaihtelun sietokyky, korkea lujuus painoon suhteutettuna, erittäin hyvä iskulujuus, tiettyyn käyttötarkoitukseen räätälöitävyys, huoltovapaus ja pitkäkestoisuus. Muovit ovat antimagneettisia ja hyviä eristeitä, mutta lisäämällä muovimateriaaliin sopiva määrä metalli- tai hiilipartikkeleita voidaan luoda muovikomposiitteja, jotka johtavat sähköä tai ovat magneettisia.

2.1 Kertamuovit

Komposiittien toisena osana lujitteen kanssa käytetään yleisimmin kertamuoveja, jotka lujitteeseen yhdistettynä aikaansaavat komposiittiyhdisteen, joka on luja sekä kevyt (Vuorinen ym., 2016, s. 4). Kertamuovit luokitellaan kolmeen eri pääluokkaan. Kaikilla kertamuoveilla on toisistaan poikkeavia ominaisuuksia. Kertamuoveja myydään kahden komponentin nesteinä, hartsina ja kovetteena. Hartsi sekä kovete sekoitetaan, jolloin aiheutuu kemiallinen reaktio, josta muodostuu kiinteä kertamuovikappale, jota ei pystytä muotoilemaan muutoin kuin ainetta poistavasti esim. sahaamalla tai jyrsimällä. Useimmiten kertamuovit ovat joko polyestereitä, vinyyliestereitä tai epokseja. Polyesteri on luokassaan kustannustehokkain, ja sitä käytetään, mikäli matriisilta ei vaadita erityisominaisuuksia. Polyesteriä käytetään tyypillisesti purje-, soutu- ja moottoriveneiden komposiittien

matriisimateriaalina. Vinyyliesterissa on polyesteriä parempi veden sekä kemikaalien kesto, ja sitä käytetään usein paperi- ja kemianteollisuuden säiliöissä ja putkistoissa. Muovimatriiseista kaikista parhaat ominaisuudet ovat epokseilla. Niitä käytetään etenkin avaruus-, lentoliikenne- ja urheiluvälineteollisuuden komposiiteissa.

Yhteenvetona kertamuovien pääluokista voidaan tuoda esiin kunkin materiaalin vahvuuksia. **Polyesteri** on edullinen ja helppokäyttöinen kertamuovi. Se on yleisimmin käytetty komposiittimateriaali. **Vinyyliesterillä** on polyesteriin verrattuna parempi vedenkestävyys ja paremmat mekaaniset ominaisuudet, mutta se on polyesteriä kalliimpaa. Vinyyliesteripohjaiset tuotteet ovat lähes kutistumattomia. **Epoksi** on lähes kutistumaton ja sillä on polyesteriä reilusti paremmat mekaaniset ja termiset ominaisuudet. Epoksi on kirkasta ja sitä käytetään hiili- ja aramidikuitujen kanssa. Sitä ei voi sekoittaa keskenään polyesteri- tai vinyyliesteripohjaisten tuotteiden kanssa.

2.2 Lujitteet

Lujitteina kertamuovien kanssa komposiittivalmistuksessa käytetään erilaisia kuituja, jotka antavat kappaleelle muodon ja tavoitellun lujuuden (taulukko 1). Lujite valitaan lopullisen tuotteen käyttötarkoitusta sekä ominaisuuksia silmällä pitäen. Valinnassa kannattaa miettiä, mihin käyttötarkoitukseen lopullinen kappale on suunnattu, millaisia ominaisuuksia siltä vaaditaan esim. lämmönkeston osalta ja millaista rasitusta kappaleeseen käytössä kohdistuu.

Taulukko 1. Lujitekuitujen ominaisuuksia

	Vetolujuus	Kimmomoduuli	Murtovenymä	Tiheys
	[MPa]	[GPa]	[%]	[g/cm ³]
Lasikuitu	2400-3700	69-86	6-9	2,7
Hiilikuitu	2000-5000	160-800	0,5-2	1,8-2
Aramidikuitu	3100-3600	60-180	3,5	1,4

Lasikuitu on useimmiten käytetty lujitekuitu (Vuorinen ym., 2016, s. 6). Lasikuidun jäykkyys on samaa luokkaa alumiinin kanssa ja sillä on suuri lujuus. Lasikuitu on myös huomattavasti muita lujitekuituja edullisempaa. Lasikuitua valmistetaan sulattamalla lasin raaka-aineet korkeassa lämmössä ja vetämällä sulanut massa platinaupokkaan reikien

lävitse kuiduiksi. Lasikuitua käytetään polyesterin tai vinyyliesterin kanssa komposiittituotteiden valmistuksessa.

Hiilikuitua valmistetaan useimmiten polyakrylinitriilistä (PAN) tai piestä lämpöä apuna käyttäen (Vuorinen ym., 2016, s. 6). Hiilikuidun valmistuksessa muodostuu kiderakenteita, jotka orientoituvat kuitujen pituussuunnassa. Tämän orientaation ansiosta onkin teoreettisesti mahdollista saavuttaa kuidun suunnassa korkea kimmomoduuli. Kimmomoduulia käytetään kuvaamaan materiaalin jäykkyyttä. Hiilikuidun mekaanisiin ominaisuuksiin, lujuuteen ja jäykkyyteen, voidaan vaikuttaa valmistusolosuhteilla. Mitä korkeampi lämpötila valmistuksessa on, sitä paremmin kuidun rakenne on orientoitunut ja sen myötä sen jäykkyys kasvaa. Toisaalta korkeammat lämpötilat aiheuttavat suuremman kiderakenteen ja lujuuden laskemisen.

Aramidikuidut ovat aromaattisten polyamidikuitujen yleisnimi (Saarela ym., 2019, Lujitekuidut-luku). Aramidikuiduilla on muihin orgaanisiin kuituihin verrattuna huomattavasti suurempi vetomurtolujuus ja kimmomoduuli sekä merkittävästi pienempi murtovenymä. Näille kuiduille ominaista on alhainen puristuslujuus ja huono tartunta matriisimuoviin. Nämä ovat aramidikuitujen käyttöä rajoittavia ominaisuuksia. Tämän lisäksi aramidikuitulankojen lenkki- ja solmulujuudet ovat alhaiset. Kuidut kestävät erittäin korkeita lämpötiloja ja ovat myös luontaisesti palamattomia ja täten kestävät poltto- ja voiteluaineita sekä orgaanisia liuottimia. Valo heikentää jossain määrin kuidun lujuusominaisuuksia. Lasi- ja hiilikuituihin nähden olennaisia eroja ovat tekstiilikuitumainen luonne, hygroskooppisuus sekä sitkeys. **Kevlar** on Du Pontin käyttämä brändinimi ensimmäisestä aramidikuidusta. Du Pont alkoi valmistaa kuitua vuonna 1965 ja sitä kutsuttiin aluksi nimillä PRD-49 ja Fiber B.

2.3 Komposiittien ominaisuuksia

Kuitulujitteisten komposiittien ominaisuudet riippuvat kuitujen määrästä, tyypistä, pituudesta sekä suunnasta (Vuorinen ym., 2016, s. 9). Komposiittiin saadaan painoon suhteutettuna parhaat mekaaniset ominaisuudet, kun kaikki kuidut ovat yhdensuuntaisia ja sen ominaisuudet määritetään siinä suunnassa. Silloin kyseessä on yhdensuuntaisilla kuiduilla lujitettu rakenne eli UD. UD-rakenne on anisotrooppinen, mikä tarkoittaa sen ominaisuuksien olevan erilaiset eri suunnissa. Lujuus tai jäykkyys kuituja vastaan kohtisuorassa

voi olla 1/30 kuitusuunnan ominaisuuksista. Kun halutaan hyvät ominaisuudet kahteen suuntaan, käytetään useimmiten kudottuja kankaita, joita asetellaan kerroksittain rakenteeksi, mitä kutsutaan laminaatiksi. Kun kuidut kulkevat kahteen toisiinsa nähden kohtisuoraan suuntaan on kyseessä 0/90 –laminaatti. Mikäli komposiitilta halutaan samat ominaisuudet kaikissa tason suunnissa, valmistetaan rakenne, jossa kuidut kulkevat levyssä molempien sivujen suuntaisesti sekä 45 asteen kulmassa sivuihin nähden. Tämän kaltaista rakennetta kutsutaan kvasi-isotrooppiseksi. Komposiittien ominaisuudet vaihtelevat riippuen käytettävän matriisin sekä kuidun laadusta ja mittaussuunnasta. On myös huomattava, että kuitusuunnassa komposiittien lämpölaajenemiskerroin voi olla negatiivinen, eli ne voivat lämmitettäessä puristua kasaan. Valitsemalla kuitujen määrä sekä laatu oikein voidaan käytännössä valmistaa materiaaleja, joiden lämpölaajenemiskerroin on nolla. Erittäin suurta tarkkuutta vaativissa kappaleissa, kuten mittalaitteissa ja satelliiteissa, voidaan hyödyntää tällaisia materiaaleja. Komposiittien lujuus on puristuksessa huonompi kuin vedossa.

2.4 Valmistusmenetelmiä

Käsilaminointi. Käsin levitys tai märkälevitys on mikä tahansa prosessi, jossa tekijä levittää hartsin ja lujitteen manuaalisesti (Rogers, 2021). Käsin laminointi edellyttää, että laminoitava kappale on kaikkia yksityiskohtia sekä lisäyksiä myöden valmis ennen kuin hartsi alkaa kovettua. Tämä rajoittaa laminoinnin laajuuden ja yksityiskohtien määrää. Yleensä käsilaminointi on yksi halvimmista menetelmistä. Joissain tapauksissa käytetään silpuamispistoolia sekä telaa.

Käsilaminoinnissa gelcoatilla maalattuun lestiin tai muottiin levitetään kertamuovia (Vuorinen ym., 2016, s. 12). Tämän jälkeen siihen asetellaan tarvittava määrä lujitteita haluttuihin suuntiin. Lujitekuidut kostutetaan kertamuovilla levittämällä niiden päälle oikeassa sekoitussuhteessa sekoitettua juoksevaa hartsin ja kovetteen seosta pensselillä, telalla tai ruiskulla. Lopuksi varmistetaan telaamalla, että hartsi kostuttaa kuidut kauttaaltaan. Tällä menetelmällä valmistetaan usein pienten sarjojen tuotteita kuten arkkitehtonisia esineitä tai veneitä. Käsilaminoinnilla saavutetaan kappaleelle erittäin korkea kuitupitoisuus, yli 50 % tilavuudesta, ja menetelmässä voidaan käyttää lähes kaikkia kuituja, yleensä kuitumattoina

tai kankaina. Kuitumatto on jatkuvista tai lyhyistä kuiduista valmistettu lujite, jota ei ole kankaiden tapaan kudottu, vaan kuidut on sidottu toisiinsa liimalla.

Kerrosrakenteen englanninkielinen nimitys on sandwich-rakenne (Tekniikan sanastokeskus (TSK), i.a.). Kerroslevyrakenne on komposiittirakenne, missä hyödynnetään mekaniikan tuntemusta jäykkien, lujien ja kevyiden rakenteiden valmistamiseksi (Vuorinen ym., 2016, s. 10). Kun levyä tai palkkia kuormitetaan taivuttamalla sitä keskeltä alaspäin sen päiden ollessa tuettuina, vaikuttaa rakenteen alapintaan vetojännitys ja yläpintaan puristusjännitys. Sen sijaan kappaleen keskellä vallitsee tilanne, jossa jännitystä ei ole. Täten rakenteen keskikohdan materiaali voidaan korvata vähemmän lujalla ja kevyellä materiaallilla, jonka tehtävä on pitää ylä- ja alapinta kiinni toisissaan (kuva 2). Kerroslevyrakenteessa ylä- ja alapinnan väliin liimataan ydinaine, joka on useimmiten vaahtomuovia tai fenoli-Nomex®-paperista, alumiinista tai muovista valmistettua hunajakennomateriaalia. Eri ydinaineilla voidaan vaikuttaa myös erilaisiin lisäominaisuuksiin kuten lämmöneristykseen.



Kuva 2. Kerroslevyrakenne

2.5 Prepreg-laminointi

Urheiluautojen ja lentokoneiden valmistamisessa käytetään käsilaminoinnin kehittyneempää tapaa, jossa esikostutetut lujitteet eli prepregit asetellaan muottiin puhdastilassa (Vuorinen ym., 2016, s. 13). Esikostutetut lujitteet varastoidaan pakastimessa, jotta ne eivät kovettuisi säilytyksen aikana. Käsittelylämpötilassa prepregit ovat teippimäisiä. Esikostutettujen lujitteiden päälle muodostetaan alipainesäkki, jonka jälkeen muotti säkkeineen viedään autoklaaviin, jossa kappaletta kovetetaan käyttäen usein yli 6 baarin painetta ja 120–180 celsiusasteen lämpötilaa. Automaattilaminointikoneet ovat prepreg-laminoinnissa nykyäikää. Niiden avulla työ kyetään toteuttamaan nopeasti ja tehokkaasti ja vaiheet ovat toistettavissa myös sen kokoisille kappaleille, joita ei voida toteuttaa tavallista käsilaminointia käyttäen.

2.6 Alipaineinfuusio

Alipaineinfuusio (API) muistuttaa käsilaminointia sillä erolla, että lujitteet asetellaan muottiin kuivana, jonka jälkeen muotti säkitetään samaan tapaan kuin alipainesäkityksessä (Vuorinen ym., 2016, s. 15). Kertamuovi viedään muottiin letkua pitkin alipainetta käyttäen ja tällä menetelmällä saavutetaan turvallisempi ja siistimpi työympäristö verrattuna avoimen muotin käsilaminointitekniikkaan. Kappaleesta tulee myös kevyempi ja lujempi, sillä kertamuovi levittyy lujitteisiin tasaisesti ja ylimääräinen materiaali poistuu prosessin aikana keruusäiliöön. Näin lujitteen ja kertamuovin suhde sekä kerrosvahvuus pysyy tasaisempana.

2.7 Muottitekhnologia

Kun muotin lestin luominen aloitetaan, on ensin määriteltävä käytettävä materiaali (Fibreglast, i.a.). Lesti voidaan valmistaa useista eri materiaaleista, kunhan ne ovat rakenteeltaan tukevia. Lestimateriaaleja ovat mm. puu, MDF, savi, SMC ja vaahto. Mikäli lesti on tarkoitettu valmistamaan huokoisesta materiaalista, kuten vaahtomuovista tai puusta, on pinta syytä tiivistää hartsilla tai pohjamaalilla. Lestin tulee olla reunoistaan hieman kartiomainen, jotta muotti voidaan irrottaa helposti. Tyypillisesti suuremman lestin valmistaminen vaatii jäykempiä ja vahvempia materiaaleja.

Vaikka materiaalin valinnassa onkin useita vaihtoehtoja, yleisin vaihtoehto lestien luomiseen on rakennusvaahto (Fibreglast, i.a.). Vaahto on helposti muotoiltavissa, kustannustehokas sekä helposti saatavilla. Vaahtoon voidaan leikata, veistää ja hioa lähes millainen muoto tahansa. Vaahtoa ei kannata muovilla kuumalangalla leikaten. Erilaisia käsityökaluja, kuten sahoja, käyttämällä voidaan saavuttaa ammattimaisia tuloksia. Paksumpien kappaleiden muodostamiseksi vaahtomuovisia kappaleita voidaan liimata toisiinsa.

Ennen kuin muotin rakentaminen aloitetaan, täytyy miettiä, millainen lopputulos halutaan saavuttaa (Fibreglast, i.a.). Muotista valmistetaan ihannetapauksessa vähintään 5 kertaa paksumpi kuin myöhemmin muotista valmistettavat osat. Tämä estää muotin vääntymistä sekä mahdollisen muotin vaurioitumisen muotin irrotusprosessin aikana. Muotin rakentaminen on aina kompromissi muotin fyysisten ominaisuuksien, valmistuskustannusten sekä muotin rakentamiseen käytettävän ajan välillä. Nämä kompromissit vaikuttavat suoraan siihen, miten hyviä kappaleita halutaan valmistaa. Näiden tekijöiden huomioon ottaminen antaa saavuttaa halutut tulokset kustannustehokkaasti.

Muotin valmistusmateriaaleja ja valmistusmenetelmää valittaessa on otettava huomioon mm. valmistusaika sekä haluttu kappaleen pinnanlaatu (Fibreglast, i.a.). Muotin valmistamiseen käytetty aika ja materiaalit vaikuttavat lopulta siihen, miten monia laadukkaita kappaleita voidaan valmistaa. Muita huomioitavia asioita ovat muottiin tehtävät tekniset muutokset, jotka helpottavat toimenpiteitä, kuten alipainesäkitystä ja painemuotittamista. Suuremmat laipat kannattaa valmistaa molempien toimenpiteiden helpottamiseksi. Monimutkaisille moniosaisille muoteille, jotka vaativat tarkan kohdistuksen toisiinsa, kannattaa lisätä kohdistustappeja. Lopuksi otetaan huomioon muotin käsiteltävyys sekä paikallaan pysyminen. Munakennorakenne lisää tukevuutta ja hallittavuutta hankalan muotoisille muoteille. Muotin tyyppi voi olla uros- tai naarasmallinen. Urosmallinen muotti on kuperan mallinen ja naarasmallinen puolestaan kovera muotti.

3 KOMPOSIITTIOSAT AJONEUVOISSA

3.1 Historiaa

Tässä luvussa keskitytään autoissa käytettyjen komposiittimateriaalien historiaan sekä käyttökohteisiin. Komposiittimateriaalien käyttöä ajoneuvoissa on harjoitettu jo pitkään ja komposiittiteknologia on kehittynyt seitsemän vuosikymmenen aikana valtavasti.

Soybean auto. Tietävästi maailman ensimmäinen komposiittikorinosilla varustettu nelipyöräinen ajoneuvo on Henry Fordin ideoima ja valmistama Soybean konseptiauto.

1930-luvun lopulla uudenlaista muovimateriaalia esitettiin käytettäväksi Fordin tuotannossa (Harwood, 2019). Tämä liike johti prototyyppiin "Soybean Car", muovirunkoiseen autoon, jonka Ford Motor Company esitteli yleisölle vuoden 1941 lopulla. Auton prototyyppi painoi vain 2000 paunaa eli noin 1000 kiloa ja oli täten kevyempi kuin aikaisemmat teräksiset autot. Muovisten koripaneelien ainesosat olivat erikoismateriaalia, joka sisälsi soijapapuja, pieniä määriä vehnää, hamppua sekä pellavaa.

Glasspar G2. 1950-luvun alussa veneteollisuuden parissa työskennellyt Yhdysvaltojen Kaliforniasta syntyisin oleva Bill Tritt päätti ryhtyä valmistamaan urheiluautoja (Lappalainen, i.a.). Idea autojen valmistamiseen syntyi, kun Tritt pääsi kokeilemaan Ken Brooks'n itse rakentamaansa hot rod autoa. Auton kori päätettiin valmistaa lasikuidusta alumiinin sijasta, sillä lasikuitu oli tuolloinkin kestävä sekä kustannustehokas materiaali. Lasikuituinen kori istutettiin erillisrungon päälle ja alustoina käytettiin tarkoitukseen soveltuvia autoja, kuten Willys-Jeep auton runkoa. Urheiluauton nimeksi tuli Glasspar G2, ja ensimmäisen lasikuitukorisen auton tittelin lisäksi kyseinen auto on myös maailman ensimmäinen kit car eli eräänlainen auton rakennussarja.

Glasspar G2 urheiluautojen tuotanto alkoi keväällä 1952, mutta varsinainen menestys jäi saavuttamatta (Lappalainen, i.a.). Mediassa auto herätti laajaa kiinnostusta. Autoon kävivät tutustumassa niin Life-lehden toimittajat kuin filmiryhmätkin, ja auto päätyi merkittävään osaan Tony Curtis'n tähdittämässä kilpa-autoilun maailmaan sijoittuvassa Hollywood-elokuvassa Johnny Dark. Mediamyllyn keskellä Bill Tritt vei yrityksensä pörssiin

kerätäkseen pääomaa autojen massatuotannon käynnistämiseksi. Kiinnostus ei kuitenkaan realisoitunut autojen tilauksina ja maailmanvalloitus jäi tekemättä.

Chevrolet Corvette. Corvette on yksi kaikkien aikojen legendaarisimmista urheiluautoista ja se on maailman ensimmäinen sarjavalmisteen komposiittikorilla varustettu auto. Ensimmäinen Corvette keksittiin vuonna 1951 tähtäimessä kehittää urheiluauto, jolla voisi kilpailla kilparadoilla. Nimi "Corvette" lainattiin toisen maailmansodan aikana käytetyistä pienistä, nopeista laivaston aluksista.

Chevrolet on osoittanut Corvette urheiluautollaan, että erinomaisen suorituskyvyn voi saavuttaa poikkeuksellisen suuren tehon sijaan pienellä omamassalla (Tekniikan Maailma, 2012). Keveyden salaisuutena on lasikuitu tai muovikomposiittikori, jollaista Corvetessa on käytetty aina siitä alkaen, kun ensimmäinen malli esiteltiin vuonna 1953. Legendaarinen GM:n muotoilija Harley Earl halusi tehdä kevyen, ruostumattoman ja taloudellisen auton. Tekniikan kehittyessä kori keveni ja vuonna 1973 siirryttiin komposiittiin (SMC, sheet-molded composite), jota käytetään yhä. Corvetten tarina jatkuu yhä seitsemän vuosikymmenen jälkeen ja mallisarjan autojen urheilullinen ulkonäkö kiinnostaa yhä niin vanhoja kuin nuoriakin henkilöitä (kuva 3).



Kuva 3. Corvette C5

3.2 Moottoriurheilu

Kun kilparadoilla halutaan menestyä, saavuttaa hyviä sijoituksia sekä rikkoa ennätyksiä, täytyy kilpa-ajoneuvojen ominaisuuksien olla äärimmäisen hyvin kohdallaan. Yksiä suurimmista avaintekijöistä kilpailukykyisen ajoneuvon suunnittelussa ja rakentamisessa on sen funktionaalinen aerodynamiikka sekä matala massa. Komposiittiosien suunnittelussa voidaan myös vaikuttaa paljon siihen, missä suunnassa komponentin jäykkyys on suurimmillaan, ja tämä on erittäin suuri etu metalliosiin ja -paneeleihin verrattuna. Muotista valmistettujen korkeatasoisten komponenttien, kuten siivekkeiden ja lokasuojien valmistaminen on verrattain helppoa, eli varaosien saatavuus on hyvä. Lisäksi kilpa-ajoneuvojen komposiittiosista pyritään lähes aina suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaisia kiinnittämisen ja vaihdettavuuden kannalta (kuva 4). Huipputason moottoriurheilussa yleisimmin käytetty komposiittimateriaali on hiilikuitu, sillä hiilikuituisten korien ja komponenttien lujuus sekä keveys ovat todella hyvällä tasolla.



Kuva 4. Formula-auton hiilikuituinen etuosa

Vuosien saatossa drifting on yleistynyt maailmalla valtavasti, ja lajiin rakennettavat kilpa-autot ovat ammattimaisempia kuin koskaan. Drifting on kontaktilaji ja tarkoittaa, että autoihin kohdistuu lähes poikkeuksetta kilpailuissa pieniä tai suurempia osumia. Tästä syystä

pintapaneelien on oltava mielellään mahdollisimman kestäviä ja sitkeitä keveyttä unohtamatta. Näiden vaatimusten myötä drifting-autojen koripaneelit valmistetaan nykyään usein seoskuidusta, jossa suuri osa on aramidikuitua (kuva 5). Tämä antaa osille valtavan suuren sitkeyden, ja kevyen osuman saatuaan esim. ovipaneeli palautuu itsestään takaisin alkuperäiseen muotoonsa tuhoutumatta.



Kuva 5. Seoskuidusta valmistettuja koripaneeleja

4 LASIKUITUPROTOTYYPIN VALMISTUS

4.1 Suunnittelu

Kappaleen suunnittelu aloitetaan aina valitsemalla ensin valmistusmenetelmä. Esimerkiksi kilpa-autojen lasikuituiset koripaneelit valmistetaan lähes aina käsin laminoimalla. Käsilaminointi on hyvin yksinkertainen sekä edullinen valmistustapa, ja siksi se valittiin myös tämän prototyypin valmistustavaksi. Kappaleen rakenteen monimutkaisuus vaikuttaa valmistusmenetelmän valintaan.

Materiaalivalinnat. Suunniteltu prototyyppi sekä sen muotti valmistetaan polyesteripohjaisia materiaaleja käyttäen, sillä ne ovat ominaisuuksiltaan, kestoiltaan ja hinnaltaan optimaalisia. Lujitteina projektissa käytetään erittäin hyvin pinnanmuotoja myötäilevää katkokuituista tiheydeltään 225 g/m lasikuitukangasta sekä paksumpaa punottua lasikuitukangasta.

Lestin suunnittelussa käytettiin tiedossa olevia mittoja leveämmän renkaan sekä vanteen käyttöönottoa ajatellen. Tilavamman pyöräkotelon etuna saavutetaan leveämmän rengastuksen käyttömahdollisuus, ja lisäksi auton alustan liikerataa voidaan kasvattaa ilman, että ääritilanteissa ajon aikana tapahtuu mekaanista kosketusta. Tarvittavan lisälevityksen määräksi laskettiin 25 mm, ja levitys pyrittiin aloittamaan sivuhelman saumakohdasta.

4.2 Työn valmistelut

Jokaisella kerralla ennen varsinaisen työn aloittamista on tärkeä muistaa seuraavat seikat ja suorittaa valmistelun kannalta tärkeitä toimenpiteitä. Valmistelujen huolellisuudella voidaan parantaa työn tehokkuutta, tehtävän työn laatua, minimoida materiaalihävikki sekä edistää turvallisuutta työssä. Nämä asiat yhdistettynä ilmanvaihdon sekä valaistuksen myötä tehokkaaseen työtilaan, hyvään suunnitelmaan sekä oikein valittuihin materiaaleihin, saavutetaan laadukas lopputulos.

Layout. Työskentelytilan layoutin tulisi olla mahdollisimman järkevä, ja tehokkuuden kannalta työympäristö on sitä parempi, mitä vähemmän lähettyvillä on ylimääräisiä työvälineitä tai häiritseviä. Mielestäni optimaalisinta on, että kemikaalien käsittelyyn sekä lujitteiden käsittelyyn tilassa on omat työtasot sopivan etäisyyden päässä varsinaisesta työasemasta.

Työvälineet. Jo suunnitteluvaiheessa on hyvä listata, millaisia työvälineitä kyseinen projekti vaatii, ja huolehtia siitä, että kaikki työssä tarvittavat välineet ovat kunnossa ja käden ulottuvilla. Työn suorittaminen hidastuu merkittävästi tai mahdollisesti jopa keskeytyy, mikäli prosessin aikana havaitaan, että tärkeitä välineitä puuttuu tai huomataan epäkuntoisia välineitä. Yksi tärkeimmistä työvälineistä työn onnistumisen kannalta on tarkka vaaka, jolla saadaan selvitettyä oikeat sekoitussuhteet.

Valmistusmateriaalit. Jo suunnitteluvaiheessa kannattaa ottaa huomioon, miten paljon materiaaleja projektiin tarvitaan ja huolehtia, että työtilasta löytyy vaadittava määrä kaikkia materiaalikomponentteja. Lujitteiden kerrosmäärä huomioiden lujitemateriaalista kannattaa muodostaa valmiiksi sopivan kokoisia palasia. Tämä helpottaa ja nopeuttaa laminointivaihetta merkittävästi.

Valaistus. Tarkkaa ja järjestelmällistä työskentelyä edesauttaa työtilan kunnollinen valaistus. Tavanomainen määrä kattovalaisimia tilassa on lähtökohtaisesti riittävä, mutta järkevän otsavalaisimen käyttö työprosessin aikana parantaa tarkkuutta ja tarkka työskentely tarkoittaa lähtökohtaisesti laadukasta lopputulosta.

Suojavarusteet ovat turvalliseen työskentelyyn pyrittäessä välttämättömiä, ja niiden on oltava käyttötarkoitukseen soveltuvia. Hengityssuojaimen käyttö on tärkeää, vaikka työtilan ilmanvaihto olisikin toimiva. Hengityksen lisäksi on syytä suojata myös näkö sekä huolehtia, että paljasta ihoa ei näy. Kemikaalien roiskeet saattavat aiheuttaa terveydellisiä haittoja ja tästä syystä myös käsien suojaaminen laadukkailla nitrilihansikkailla on muistettava. Lujitekuidut myös aiheuttavat iholle joutuessaan kutinaa ja epämukavuuden tunteen pitkäksi ajaksi. Laminointivaiheen jälkeiseen trimmaus- ja viimeistelytyöhön on suositeltavaa varata sellaiset työhansikkaat, jotka suojaavat käsiä viilloilta, sillä leikatun trimmaamattoman komposiittikappaleen reunat ovat vaarallisen teräviä.

4.3 Lestin valmistus

Lesti on se osa, jonka pohjalta muotti tehdään. Lestin rakenne sekä pinnanlaatu vaikuttavat hyvin paljon kappaleen valmistettavuuteen. Lestinä voi toimia käytännössä lähes mikä tahansa auton osa taikka kappale, joka halutaan kopioida komposiittiversioksi. Tässä tapauksessa valmistetaan auton 25 mm levittävät takalokasuojat, joten alkuperäisten lokasuojien muotoa alettiin kasvattamaan uretaanivaahdon avulla (kuva 6). Uretaanipinnan kovettumisen jälkeen voidaan pintaa muotoilla helposti veistämällä sekä hiomalla. Kovettuneen vaahdon pinnasta tulee todella huokoinen, joten pinta täytyy täyttää sekä viimeistellä käyttämällä tasoitteita (kuva 7). Lestiä valmistettaessa tai viimeisteltäessä on huomioitava se, että lopullisen kappaleen pinnan laatu tulee olemaan sama kuin lestin pinta eli se kopioituu muotin pintaan. On siis tärkeää, että lesti on tehty mahdollisimman laadukkaasti, mikäli valmistettavaa kappaletta ei maalata tai pintakäsitellä erikseen. Tämä on epäolennainen seikka, jos lopullinen kappale maalataan muotista irrotuksen jälkeen. Jos muotista valmistettava kappale maalataan eli se vaatii pohjatöitä ja hiontaa, voi lestin pintana olla hiottu kaksikomponenttisella hiomavärillä maalattu pinta (kuva 8). Hiomaväri ei saa olla epoksipohjaista, sillä polyesteri ja epoksi eivät sovellu yhteen muuten kuin täysin kovettuneena.



Kuva 6. Uretaanivaahdolla kasvatettu muoto



Kuva 7. Tasoitteella käsitelty muoto



Kuva 8. Pohjamaalatut muottiaihiot

4.4 Lestin viimeistely ja laipat

Lestin pintaan on aina levitettävä styreeniä kestävä vaha kerroksittain, PVA-irrotusaine tai molempien yhdistelmä. Tämä saa aikaan sen, ettei muotti tartu lestiin kiinni, ja on täysin välttämätön vaihe työssä. Lestiin on myös tehtävä tukevat laipat, jotka auttavat muotin rakentamista ja myös muotin irrottamista. Lokasuojan muotin valmistuksessa laippojen ei ole tarpeen olla kovin suuria, vaan muutaman senttimetrin laippaosuus riittää hyvin kappaleen irrotukseen muotista. Mikäli muotti tehdään lestistä, jossa on nurjia muotoja, on muotista syytä tehdä moniosainen. Tämä tarkoittaa sitä, että muotti on valmistettava vaiheittain ja siihen luodaan laipparakenteita, joihin voidaan tehdä esim. pulttiliitokset. Laipan pintaan on suositeltavaa tehdä kerros esim. laadukkaasta alumiiniteipistä, sillä sen pinta ei ole huokoista, eikä gelcoat voi tarttua siihen. Myös kovapintainen polyesteriteippi on mainio apu kohdissa, joissa epäillään muotin helppoa irtoamista lestistä. Polyesteriteippiä voidaan käyttää myös lestissä olevien mahdollisten reikien peittämiseen ja näin varmistetaan, että gelcoat ei pääse muodostamaan ”ankkuria”, joka estää muottikappaleen irtoamisen tai

aiheuttaa vaurion muotin pintaan irrotuksen yhteydessä. Kopioitavan kappaleen pinnan ja laippalestin rajapintaan saattaa muodostua helposti liian terävä tai negatiivinen muoto, mikä voi myös aiheuttaa muotin vaurioitumisen irrotusvaiheessa. Tämä voidaan ennaltaehkäistä käyttämällä paksua tarkoitukseen valmistettua muovailuvahaa, joka ei tartu gelcoat-pintaan (kuva 9).



Kuva 9. Muotti- ja muovailuvahalla käsitelty lesti

4.5 Muotin valmistus

Muotin valmistus aloitetaan sekoittamalla gelcoat sekä kovetin keskenään (Wendashop, i.a.-b). Kovettajaa sekoitetaan gelcoatiin huolellisesti n. 2 % työtilan lämpötilan mukaan. 20 asteen lämpötila on täysin riittävä, ja ilmanvaihdon on oltava hyvä.

Vahvuus. Muotin lujuutta ja pitkäikäisyyttä määrittää paljon muotin kerrosvahvuus. Yksinkertaista ja pienikokoista muottia valmistettaessa kerrosten lukumäärän ei välttämättä tarvitse olla kovin suuri. Kerrosmäärää kasvatettaessa täytyy muistaa myös se, että muotin paino sekä valmistuskustannus kasvaa merkittävästi. Lisäksi muotin säilytettävyyteen

tulee lisää haasteita. Näiden seikkojen osalta kannattaa siis olla tarkka ja miettiä, mikä on riittävä lopputulos. Etenkin suurempia muotteja valmistaessa muotin korkeasta kerrosmäärästä on etua, sillä se luonnollisesti tekee muotista jäykemmän, mikä helpottaa kappaleen irrotusta muotista.

Muotin valmistuksen ensimmäinen vaihe on levittää kaksi kerrosta gelcoatin ja kovetteen seosta tasaisesti lestin pintaan käyttäen esim. mohairtelaa tai pensseliä. Kun ensimmäinen kerros on kauttaaltaan levitetty pintaan, annetaan kerroksen kuivua niin kauan, kunnes geeli ei enää tartu sormeen (kuva 10). Tämän jälkeen levitetään toinen vastaavan paksuinen kerros mahdollisimman tasaisesti ja maalattu pinta jätetään kuivumaan minimissään kahdeksi tunniksi. Gelcoat-maalikerros antaa muotille sileän ja yhtenäisen pinnan ja sen värisävyä voidaan myös tarvittaessa vaihtaa. Kappaleeseen nähden erivärinen muottipinta helpottaa varsinaisen kappaleen laminointia.



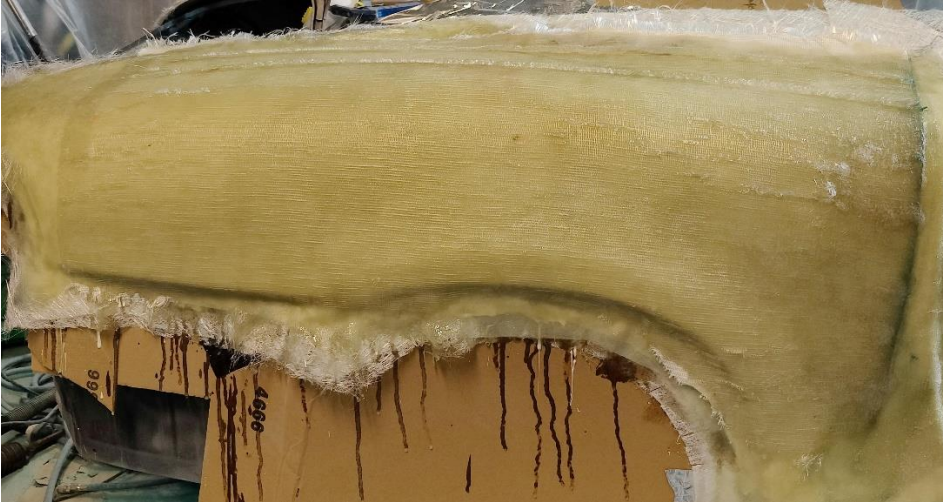
Kuva 10. Ensimmäinen gelcoat kerros

Laminointi voidaan aloittaa, kun toinenkin gelcoat -kerros on kuivunut riittävästi. Työskentelyn järjestelmällisyyden ja nopeuden kannalta kannattaa lasikuitukankaasta leikellä valmiiksi sopivan kokoisia kappaleita. Mitä yhtenäisemmästä kankaan kappaleesta muotti voidaan valmistaa, sitä tasalaatuisempi siitä muodostuu. Mikäli lujitekappaleita asetetaan

liikaa limittäin, saattaa muotin pinnasta tulla helposti epätasainen, lujuus kärsii sekä ajan saatossa kutistuminen aiheuttaa ongelmia muotin käytettävyyden kannalta enemmän kuin järkevästi laminoitu muotti. Seuraavaa vaihetta varten sekoitetaan kovetetta sekä polyesterihartsia myös 2 %:n sekoitussuhteella. Hartsisekoitusta levitetään gelcoat kerroksen päälle siten, että pinta on kastunut kauttaaltaan. Tässä vaiheessa kannattaa toimia nopeasti, sillä hartsiseos alkaa jähmettyä jo noin 15 minuutin kuluttua. Kun ensimmäinen hartsi-kerros on levitetty sekä tarkastettu, voidaan aloittaa lasikuitukankaan asettelu pintaan. Mitä kevytrakenteisempi kangas on kyseessä, sitä paremmin se muotoutuu. Tästä syystä laadukkaan ja tarkan muotin valmistuksessa vähintään kahteen ensimmäiseen kerrokseen käytetyn kankaan vahvuuden tulisi olla 300 g/m tai vähemmän (kuva 11). Muotin tai kapaleen ensimmäisissä kerroksissa käytettävää ohuempaa kangasta kutsutaan pintamattoksi. Pintamattokerrokset välihiotaan noin vuorokauden kovettumisen jälkeen siten, että kaikki pinnassa mahdollisesti olevat terävät piikit sekä epämuodostumat tasaantuvat. Mikäli tätä toimenpidettä ei suoriteta, aiheuttaa se pahimmillaan kerrosten välille vahvuuseroja ja epämuodostumat saattavat peilautua gelcoat pintaan. Välihionnan jälkeen muotin selkäpinta puhdistetaan hiontapölystä ja kastellaan uudelleen hartsilla. Tämän jälkeen laminoidaan päälle paksumpaa mattoa, joka edesauttaa muotin pitkäkestoisuutta ja muodostaa rakenteeseen vahvuutta (kuva 12).



Kuva 11. Kaksi ensimmäistä lujitekerrosta



Kuva 12. Punosmattokerros muotin selkäpuolella

Muotin trimmaus suoritetaan, kun muotti on kovettunut riittävän pitkään, ja se voidaan irrottaa lestistä. Oikein suunniteltujen laippojen myötä muotin irrottamisen pitäisi olla helppoa ja yksiosainen tukeva muotti irtoaa lestistä ilman voiman käyttöä. Irrotusvaiheessa voidaan käyttää apuna esim. muovisia kiiloja sekä paineilmaa. Muotin irrotuksen jälkeen ensimmäinen vaihe on siistiä laippojen reunat. Mielestäni paras tapa tähän on piirtää tussilla muotin reunoille raja, mitä pitkin ylimääräinen osuus leikataan käyttäen esim. paineilmasahaa tai kulmahiomakonetta. Tämän jälkeen muotin reunat hiotaan hieman pyöreämmiksi, sillä muuten teräviksi leikatut reunat saattavat aiheuttaa haavautumisen. Reunojen trimmaamisen jälkeen muotin pinta puhdistetaan vahanpoistoaineella ja tarkastetaan, että siinä ei ole vaurioita. Mikäli muotin pinnassa esiintyy halkeilua tai virheitä, voidaan ne korjata tässä vaiheessa hiomalla ja tarpeen mukaan korjausmaalaamalla. Hyvin suunniteltua muottia ei kuitenkaan tarvitse muokata (kuva 13).



Kuva 13. Valmis muotti puhdistettuna

4.6 Kappaleen valmistus

Varsinaisen kappaleen valmistaminen aloitetaan tarkastamalla muotti ja vahaamalla gelcoat-pinta muutaman kerran. On huolehdittava, että muotin pinta on kauttaaltaan tasaisesti vahattu. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös irrotusainetta. Näin varmistutaan siitä, että laminoitava kappale irtoaa muotista mahdollisimman vaivattomasti.

Topcoat levitetään muottiin, kun muottivaha on levitetty pintaan. Topcoat-maalia annostellaan tarvittava määrä ja siihen lisätään 2 % kovetetta. Topcoat on käytännössä samaa maalia, kuin gelcoat, mutta siihen on lisätty styreeniä lisäämään pinnan kovuutta ja liukkautta. Topcoat levitetään muotin pintaan mahdollisimman tasaisesti mohairtelaa ja pensseliä käyttäen. Kerroksia tulee kaksi samaan tapaan kuin gelcoat-pinnan maalausvaiheessa ja kerrokset levitetään muotin ulkoreunaan saakka. Tällä varmistutaan, että kappaleeseen jää riittävä trimmausvara.

Laminointivaihe voidaan aloittaa, kun topcoat-pinta ei enää tartu kosketuksesta sormeen. Topcoat-pinnan päälle levitetään hartsia tasaisesti siten, että pinta on kauttaaltaan märkä.

Tämän jälkeen asetellaan valmiiksi muotoon paloiteltuja katkokuitumaton paloja. Laminointivaiheessa on noudatettava tarkkuutta, mikäli kappaleen kerrosvahvuus halutaan pitää mahdollisimman tasaisena. Maton saumakohtien päällekkäisyyksiä tulee välttää, sillä valmis kappale on näiltä osin heikompi. Laminointivaiheessa on huomioitava se, että käsilaminoinnissa maton palasten väliin muodostuu helposti ilmakuplia. Ilmakuplat kerrosten välissä eivät ole hyvä asia, vaan on syytä käyttää tarkkuutta niiden poistamiseen ennen kuin hartsia alkaa kovettua. Muottiin laminoidaan tarpeen mukaan riittävä määrä mattoa tasaisesti. Tässä tapauksessa laminoitiin kolme kerrosta 225 g/m katkokuitumattoa, jolla saavutetaan kevyt ja käyttötarkoitukseen riittävän sitkeä kappale. Laminoitavan kappaleen valmistaminen tapahtuu käytännössä täysin samalla tavalla kuin muotin valmistaminen, ja tarkkuutta on noudatettava, mikäli kappaleesta halutaan tasalaatuinen. Kun kaikki kerrokset on laminoitu, voidaan kappale jättää kuivumaan huoneenlämpöön yhdeksi vuorokaudeksi.

Kappaleen kuivuttua vähintään 24 tuntia voidaan se irrottaa muotista. Kappaleen reunat voidaan varovasti leikata kulmahiomakonetta tai paineilmasahaa käyttäen. Ylimääräisen reunan poistaminen helpottaa irrotusta. Irrottaminen muotista tapahtuu kiilaamalla kappaleen ja muotin väliin muovikiiloja, jotka eivät vahingoita muotin tai kappaleen pintaa. Kiilat lyödään kevyillä iskuilla muotin ja kappaleen väliin muovivasaraa käyttäen. Oikein käsitelty muotti sekä laadukkaasti laminoitu kappale irtoavat toisistaan helposti (kuva 14).



Kuva 14. Trimmaamattomat takakylkipaneelit

Kun kappale on saatu muotista irti, voidaan sitä sovittaa paikalleen ja piirtää esim. tussikynällä tarkka raja, mitä pitkin se halutaan trimmata. Kappale trimmataan sahaamalla viivan

ulkosyrjää pitkin, ja lopuksi reunat pyöristetään hiomakoneella käyttäen esim. P320 karkeuden hiomapaperia. Kappale on syytä hioa kevyesti myös taustapuolelta, sillä taustapinta jää useimmiten erittäin karheaksi. Kappaleessa olisi syytä olla n. 3 mm hiontavara trimmauksen/sahaamisen jälkeen. Tämän jälkeen kappaleen pitäisi istua paikoilleen suunnitelman mukaan (kuva 15).



Kuva 15. Paneeli sovitettuna paikalleen

Kun kappaleen reunat on saatu hiottua ja pinta puhdistettua, voidaan siihen porata kiinnitysreiät. Laminoituun kappaleeseen on tarvittaessa helppo myös asentaa erityyppisiä kiinnityspisteitä liimaamalla tai niitä voidaan jopa laminoida kerrokseen valmistusvaiheessa. Tämä kuitenkin vaatisi oman suunnitteluvaiheensa. Kun tarvittavat kiinnitysreiät on porattu valittuihin paikkoihin, on kappale valmis maalattavaksi tai jopa asennettavaksi sellaisenaan. Onnistuneen kappaleen maalauksen pohjatöiksi riittää rasvanpoisto, huolellinen hionta, staattisuuden poisto sekä märkää märälle pohjamaali, ja tämän jälkeen kappale voidaan maalata pintavärillä (kuva 16).



Kuva 16. Vastamaalatut kylkipaneelit

5 KANNATTAVUUS

5.1 Sarjatuotanto vai tilaustyö

Koska komponenttien valmistaminen etenkin muottien osalta vie reilusti aikaa, olisi muotit syytä valmistaa oikeaoppisesti ja laadukkaasti. Tällä saadaan paremmin taattua muotin pitkäikäisyys, ja siitä saadaan valmistettua useita kappaleita tarvittaessa nopeallakin aikataululla. Huonolaatuinen ja huonosti varastoitavissa oleva muotti voi vaurioitua helposti ja täten katkaista tuotantoketjun hetkellisesti. Tiettyihin harrastekäytössä oleviin ajoneuvoihin ei mielestäni kannattaisi valmistaa koripaneeleja sarjatuotantona, sillä kysyntää olisi melko varmasti satunnaisesti. Tästä syystä tilaustyö olisi parempi vaihtoehto etenkin alkavalle pienelle liiketoiminnalle. Tiettyjen osien tarvetta kannattaisi kuitenkin kartoittaa esim. luomalla kyselyjä harrastajien keskuuteen ja valmistamalla prototyyppejä omaan käyttöön markkinointia silmällä pitäen. Suositumpien ja enemmän kysyntää herättävien isokokoisten osien kohdalla kannattaisi pitää muutaman tuotteen välivarastoa, mutta pienempiä kappaleita voisi varastoida useampia.

5.2 Kilpailu alalla

Autojen komposiittikorinosia jälkimarkkinoille valmistaa Suomessa useampi taho eli ala on kilpailtu. On kuitenkin olemassa reilusti automalleja, joihin esim. komposiittilokasuojia ei ole saatavilla kotimaasta tai välttämättä edes ulkomailta. Suomessa valmistettavien komposiittikorinosien pääpaino on ralliautojen rakentamisessa. Muihin harraste- ja kilpa-ajoneuvoihin valmistettavien komposiittiosien sekä koripaneelien valmistusmäärät ovat alhaisempia. Komposiittialalla on pärjättävä hyvällä hinta- /laatusuhteella.

5.3 Riskit

Strategisten riskien varalta ei voi ottaa vakuutuksia tai muunkaltaisia suojia, vaan niiden hallintaan organisaatiolla tulee olla riittävän tehokkaat raportointi- ja seurantajärjestelmät (SRHY-Riskienhallinta, i.a.). Liikeriskit voidaan jaotella useaan eri osa-alueeseen tunnistamisen ja hallinnan helpottamiseksi, ja näistä muodostuu yhdessä kokonaiskuva.

Jokaisella alalla ilmenee riskejä liiketoimintaan liittyen. Komposiittiosien valmistamisen myötä yksi toimialan suurimmista riskeistä on se, että kilpaileva taho voi halutessaan luoda valmiista kappaleesta oman muottikopion ja ryhtyä valmistamaan kopioitua tuotetta. Tällaiseen ei kuitenkaan voida ennalta valmistautua. Riskejä materiaalien saatavuudessa tai hintojen nousussa ei voi mielestäni pitää suurina, sillä komposiittimateriaalien saatavuus vaikuttaa olevan ainakin toistaiseksi tasaista. Valmistusteknisten asioiden tiimoilta riskit saadaan minimoitua käyttämällä tarkkuutta ja oikeaoppisia suojavarusteita. Näin voidaan ennaltaehkäistä tapaturmia ja materiaalihävikkiä sekä parantaa ajankäytön tehokkuutta.

Materiaalit, muotit sekä valmiit tuotteet vaativat varastotilaa, ja aina on olemassa ulkoisia riskejä, kuten varkaus, vesivahinko tai luonnonilmiön aiheuttama vahinko. Näistä ja useista muista syistä varastotilan tulisi olla turvallinen tavaransäilytykseen, joten tilaratkaisuna paras mahdollinen on moderni varasto- / hallirakennus. Riittävän kokoinen tila on n. 40 neliömetriä.

5.4 Kulurakenteet

Kustannusten alhaisena pitämisen ehtona ovat edulliset raaka-aineet. Komposiittimateriaalien hankinnassa on tärkeää huomioida, että hinta- /määräsuhde on valtava, kun materiaalia ostetaan kerralla enemmän. Esim. 1 kg laadukasta gelcoatia maksaa yksittäispakattuna n. 37 €/kg ja sama gelcoat pakattuna 20 kg tynnyriin n. 12 €/kg. Tästä syystä materiaalia olisi syytä hankkia mahdollisimman suurissa erissä, ja näin saadaan kulut pysymään paremmin kurissa. Toisaalta tämä tarkoittaa myös suuremman varastotilan hankkimista. Komposiittimateriaalit eivät kuitenkaan vie paljoa tilaa.

6 TULOKSET

Käytännön työosuudessa valmistetuista muoteista sekä kappaleista muodostui lopputulemana juuri omien tavoitteideni mukaiset. Muottien rakenne, koko sekä jäykkyys olivat odotetulla tasolla, ja muotteja voidaan käyttää jatkossa useamman kylkipaneeliparin valmistamiseen tekemättä niihin rakenteellisia muutoksia. Kevytrakenteisten ja pienten kappaleiden valmistamista ajatellen muottien ei tarvitse olla lainkaan paksumpia ja sitä myötä jäykempiä. Mikäli haluttaisiin valmistaa visuaalisesti täysin virheettömiä kappaleita, tulisi leskien sekä laippojen valmistamiseen käyttää enemmän huolellisuutta sekä aikaa. Lisäksi tekisin muottiin lisätuet, jotka helpottaisivat kappaleen laminointivaihetta. Tällä kerralla päästiin kuitenkin täysin vaadittavalle tasolle.

Työtä olisi helpottanut se, että muotin gelcoat pinnan väri olisi poikkeava kappaleen väriin nähden, sillä tällöin kappaleen laminointivaihe sekä irrotusvaihe helpottuvat. Varsinaisten takakylkien valmistaminen muoteista onnistui ongelmitta, ja onnistuin laminoimaan tasaisen paksut ja erittäin kevyet kappaleet, joissa on riittävä sitkeys käyttötarkoitusta varten. Lasikuituiset kylkipaneelit eivät murru rikki taivutettaessa, vaan palautuvat takaisin alkupe räiseen muotoonsa. Materiaalihävikkiä työssä ei tullut juuri ollenkaan, sillä olin mitannut tarvittavat määrät valmiiksi. Tämä myös helpotti ja nopeutti työn laminointivaihetta. Myös funktionaalinen aspekti toteutui, sillä 25 mm leveämmät lokasuojankaaret antavat lisää tilaa pyöräkoteloihin ja näin voidaan käyttää leveämpiä renkaita sekä alustan liikerataa voidaan kasvattaa tai ajokorkeutta laskea. Leveämmät lokasuojat myös näyttävät tyylikkäämmiltä (kuva 17).

Investointien, kustannusten sekä markkinoinnillisten seikkojen osalta on tehty pohdintaa sekä karkeita laskelmia, ja niiden pohjalta vaikuttaisi siltä, että omavalmisteisten koripaneelien valmistaminen ja niiden jälleenmyyminen olisi kannattavaa. Tämä edellyttäisi edullisten raaka-aineiden saatavuutta, toimivaa tuotantoketjua sekä tehokasta markkinointia. Tuotteiden ulkomaille toimittaminen voitaisiin ottaa harkintaan onnistuneen brändin luomisen sekä markkinoinnin tehostamisen jälkeen. Alkuperäisiin tutkimusongelmiin siis saatiin vastaukset.



Kuva 17. Valmis kylkipaneeli paikallaan

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työ toteutettiin puhtaasta mielenkiinnosta itselle ilman varsinaista toimeksiantajaa. Työn tarkoituksena oli perehtyä komposiittimateriaalien ominaisuuksiin sekä monimuotoisuuteen ja luoda prototyyppi mahdollista tulevaisuuden liike- ja harrastustoimintaa ajatellen. Työn teoriaosuudessa perehdyttiin erilaisiin komposiittimateriaaleihin ja niiden käyttötarkoituksiin rajaten aihealuetta materiaaleihin, työmenetelmiin sekä käyttötarkoituksiin.

Käytännön osuudessa keskityttiin funktionaalisten komposiittikoripaneelien suunnitteluun sekä lasikuituisten muottien ja kappaleiden valmistamiseen. Työn taustalla oli tarve saada valmistettua itse kevyitä, kopioitavissa olevia paneeleja, joiden avulla saavutetaan sekä auton ajo-ominaisuuksiin että ulkonäköön parannuksia.

Työn tekeminen oli mielekästä ja opettavaista kiinnostavan aihepiirin myötä. Mielestäni onnistuin työssä hyvin, mutta teoriaosion osalta tavoittelisin lähteiden osalta suurempaa laajuutta. Tämä on kuitenkin haasteellista, sillä lähes jokaisesta lähteestä löytyy samaa tietoa hieman eri tavoin muotoiltuna. Käytännön osuus työstä oli äärimmäisen opettavainen ja ammattilaisten neuvot auttoivat työn onnistumisessa. Käytännön osuudessa käyttäisin jatkossa enemmän huolellisuutta valmistusmateriaalien sekä työympäristön valmisteluun tehokkaampaa ajankäyttöä sekä laadukkaampaa lopputulosta tavoitellen. Mielestäni materiaalivalinnat sekä työmenetelmät olivat kyseiseen työhön juuri oikeat. Ammattimaiseen työhön pyritäessä tulisi työskentelytilan olla avarampi sekä valoisampi sekä työskentelytasoja tulisi olla enemmän työergonomian parantamiseksi.

LÄHTEET

Fibreglast. (i.a.). *Mold Construction Guide*. <https://www.fibreglast.com/product/mold-construction>

Harwood, C. (2019). *The Soybean Car*. <https://www.dailysandals.com/the-soybean-car/>

Lappalainen, K. (i.a.). *Unelma amerikkalaisesta urheiluautosta — 1952 Glasspar G2 Roadster*. <https://www.wheels.fi/1952-glasspar-g2/>

Muoviteollisuus Ry. (i.a.). *Komposiitit*. <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/komposiitit/>

Rogers, C. (2021). *Composite Manufacturing Methods*. <https://explorecomposites.com/articles/design-for-composites/basics-manufacturing-methods/>

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., & Komppa, V. (27.11.2019). *Komposiit-tira-kenteet*. Kevra. <https://www.lujitemuovi.fi/>

SRHY-Riskienhallinta. (i.a.). *PK-RH Riskienhallinta: Strategiset riskit*. <https://pk-rh.fi/riskien-luokittelu/strategiset-riskit.html>

Tekniikan maailma. (2012). *60 vuotta kevyitä Corvetteja*. <https://tekniikanmaailma.fi/60-vuotta-kevyita-corvetteja/>

Tekniikan sanastokeskus (TSK). (i.a.). Sandwich-rakenne. Teoksessa *TEPA-termipankki*. <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/sandwich%20rakenne>

Vuorinen, J., Mustakangas, M., & Annala, M. (4.5.2016). *Komposiitit: Loputtomasti mahdollisuuksia*. Muoviteollisuus. <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/komposiitit/>

Wendashop. (i.a.-a). *Muotin valmistus: Lujitemuovimuotin valmistus*. <https://www.wendashop.fi/product/759/muotin-valmistus>

Wendashop. (i.a.-b). *Muotista valmistus: Veneen valmistus muotista*. <https://www.wendashop.fi/product/504/muotista-valmistus>