

Aki Hanski

SKIMBOARD-LAUDAN TUOTEKE- HITYS JA RAKENNESUUNNITELMA

Opinnäytetyö
Veneteknologia

Toukokuu 2016



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä Aki Hanski	Tutkinto Insinööri	Aika Toukokuu 2016
Opinnäytetyön nimi Skimboard-laudan tuotekehitys ja rakennesuunnitelma		41 sivua
Toimeksiantaja Uittoboards Oy		
Ohjaaja Lehtori Tapio Pilhjerta		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö käsittelee skimboard-laudan suunnittelu- ja valmistusprosessia. Lisäksi työssä käsitellään eri komposiittimateriaalien ominaisuuksia ja soveltuvuuksia kyseiseen tuotteeseen. Työn tarkoituksena on ollut selvittää uuden monikäyttöisen urheiluvälineen mahdollisia rakenneratkaisuja ja valmistusteknisiä ongelmia.</p> <p>Työssä on käsitelty lujitemuovien ja eri valmistusmenetelmien teoriaa. Jokaista valmistusmenetelmän soveltuvuutta laudan rakentamiseen on arvioitu erikseen. Raportointiosiossa perehdytään laudan ja muotin suunnitteluun sekä valmistukseen. Lauta suunniteltiin ja mallinnettiin Rhinoceros 3d-ohjelmalla. Muotti ja lauta valmistettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun veneteknologian komposiittilaboratoriossa.</p> <p>Skimboard-lautaa päästiin kokeilemaan vuoden 2016 venemessuilla. Lautaa käytettiin hieman eri käyttötarkoituksessa, kuin mihin se on suunniteltu. Laudan todettiin olevan toimiva ja saadun palautteen perusteella lautaa voidaan vielä jatkokehittää. Lopullista valmistusmenetelmää ei vielä päätetty, sillä määräytyy mahdollisten alihankkijoiden ja toimeksiantajayrityksen resurssien mukaan.</p>		
Asiasanat Tuotekehitys, komposiitti, skimboard, rakennesuunnitelma		

Author	Degree	Time
Aki Hanski	Bachelor of Engineering	May 2016
Thesis Title		41 pages
Product Development and Structural Plan of Skimboard		
Commissioned by		
Uittoboards Oy		
Supervisor		
Tapio Pilhjerta, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>The purpose of this thesis was to design and produce a skimboard. In addition, the purpose of the thesis was to address the features and suitability of different materials to skimboard. The objective was to study the possible structural options and problems of the manufacturing.</p> <p>This thesis compares different theories of polymer matrix composites and manufacturing methods. The suitability of every manufacturing method for making a skimboard was evaluated separately. The report section presents the designing and manufacturing process of the skimboard. The board was designed and 3d-modeled with Rhinoceros 3d program. The mold and the board were manufactured in the composite laboratory of Kymenlaakso University of Applied Sciences.</p> <p>The board itself was tested at 2016 boat expo in Helsinki. The board was used in a little differently way from what it was designed for. The test session was success, and with the help of feedback it is possible to develop the board more in future. The final choice of manufacturing method has not been done yet. It will be chosen based on the re-courses of the subcontractor and commissioner company.</p>		
Keywords		
product development, composite, skimboard, structural plan		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LAJIESITTELY.....	7
	2.1 Mitä on skimboarding?	7
	2.1.1 Flatland.....	7
	2.1.2 Aalto.....	7
	2.2 Historia.....	8
	2.3 Kansainväliset markkinat?	9
3	LUJITEMUOVIT.....	9
	3.1 Mattotyypit ja kudokset.....	10
	3.2 Lasikuitu.....	10
	3.2.1 Valmistus.....	10
	3.2.2 Ominaisuudet ja käyttökohteet	11
	3.3 Hiilikuitu.....	12
	3.4 Polyesterikudokset.....	12
	3.5 Hartsit.....	13
	3.6 Ydinaine.....	14
	3.6.1 PVC.....	15
	3.6.2 SAN.....	15
4	VALMISTUSMENETELMÄVERTAILU.....	15
	4.1 Menetelmät.....	16
	4.1.1 Käsinelaminointi	16
	4.1.3 Alipaineinjektio	17
	4.2 Kustannukset	19
5	TUOTEKEHITYS.....	21
	5.1 Tuotekehitystoiminta.....	21

6	VALMISTUSPROSESSI.....	24
	6.1 Suunnittelu	24
	6.1.1 Lauta.....	24
	6.1.2 Taivutusmuotin suunnittelu ja valmistus	26
	6.2 Valmistus.....	28
	6.2.1 Lasikuitulauta	28
	31
	6.2.2 Hiilikuitulauta	32
	6.3 Valmistustekniset ongelmat ja ratkaisut.....	37
	6.3.1 Ennen valmistusta	37
	6.3.2 Valmistuksen aikana	38
7	LOPPUPÄÄTELMÄT	39
	LÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin suomalaiselle pk-yritykselle uusi tuote ja tutkittiin sen kaupallisia mahdollisuuksia sekä tuotantokustannuksia. Tuotekehitysprosessissa haettiin sekä käytön että yrityksen filosofian kannalta sopivia materiaaleja ja valmistusmenetelmiä.

Vesiuurheilun suosio on lisääntynyt sekä kansainvälisesti että Suomessa viime vuosien aikana. Veneteollisuudessa suosion lisääntyminen näkyy täysin vesiuurheiluun tarkoitettujen veneiden tulona markkinoille. Veneet suunnitellaan rakenteellisesti vetämään yhtä tai useampaa narua perässä. Veneisiin asennetaan isoja trimmileyviä ja lisäkölöjä ison peräaallon saamiseksi. Vesiuurheiluveneet ja harrastusvälineet ovat vielä aika kalliita. Markkinoilta puuttuu toistaiseksi monikäyttöinen lauta mikä, sopisi sekä veneen perässä vedettäväksi että rantavedessä käytettäväksi. Tässä työssä suunniteltava lauta on alustavasti skimboardaukseen tarkoitettu, mutta erilaisten valmistusteknisten innovaatioiden kautta se on soveltuva myös muuhun vesiuurheiluun.

Uusilla materiaalivalinnoilla ja valmistusmenetelmällä toivomme saavuttavamme hyvän kilpailuaseman jopa kansainvälisillä markkinoilla. Tässä työssä suunniteltavan laudan on tarkoitus olla kilpailijoiden huippulautojen tasoa, joten materiaaleina voi olla hiilikuitua, dioleeniä ja ydinaine mahdollisesti PVC- tai SAN-vaahtoa. Valmistusmenetelmän valintaan vaikuttaa yrityksen pieni koko ja budjetti. Laudat pyritään tekemään tilauksien mukaan, eikä niitä tehdä varastoon.

Opinnäytetyössä tulen esittelemään sekä vertailemaan eri materiaaleja ja valmistusmenetelmiä. Koska kyseessä on pieni yritys, niin heillä ei ole intressejä valmistaa tuotetta itse. Materiaaleina testataan sellaisia kuitujen yhdistelmiä, joita muut valmistajat eivät käytä. Huippuluokan laudoissa käytetään PVC-vaahtoa ydintä ja hiilikuitua. Hartsina on yleensä epoksi.

Liiketoiminnan kehittyminen ja lautojen kaupallinen menestyminen huomioidaan työssä ennakoivasti pohtimalla myös lautojen tuotannollis-taloudellista valmistusmenetelmää.

2 LAJIESITTELY

2.1 Mitä on skimboarding?

2.1.1 Flatland

Lajilla on kaksi versiota: aalto- ja tasamaan skimboarding. Tasamaa- eli flatland-versiossa juostaan kova vauhti ja lauta heitetään rannalla tai hiekalla ohuen vesikerroksen päälle ja liu'utaan veden päällä. Vettä olisi hyvä olla n.5 - 10cm hiekan päällä, että lauta liukuu hyvin. Kehittyneemmät harrastajat voivat lisäksi laittaa erilaisia hyppyreitä ja putkia, joista voi hyppiä ja liukua. Flatland-skimboardausta voisi kutsua vedessä skeittaamiseksi. Flatland-laudat ovat yleensä erimallisia ja painavampia kuin aaltolaudat. Valmistusmateriaaleina on puu tai lasikuitu. Flatland-laudoissa keveys ei ole niin tärkeässä roolissa kuin aaltolaudoissa. Päinvastoin painavampi lauta voi olla parempi tässä lajin muodossa. (Skimonline 2010).

2.1.2 Aalto

Aalto-versiossa rannalta lähdetään juoksemaan kohti merta ja kun vettä on jalkojen alla, niin lauta heitetään veteen ja sen päälle hypätään liukumaan. Sen jälkeen laudalla liu'utaan rantaan tulevaan aaltoon ja siitä joko hypätään tai tehdään 180° käännös ja aletaan surffata rantaan tulevaa aaltoa. Aaltolaudat ovat perinteisen surf-laudan näköisiä, sillä erotuksella, ettei skimboard-laudassa ole eviä pohjassa. Laudalla tehdään erilaisia temppuja ja liu'utaan poikittain, joten evistä olisi vain haittaa. Valmistusmateriaalina on halvemmissa laudoissa PVC, lasikuitu ja polyesteriharts. Kalliimman

hintaluokan laudoissa ydinmateriaalina on PVC ja kuitumateriaalit vaihtelevat hiili-, aramidi- ja-lasikuidun välillä. Hartsina käytetään epoksia. Aaltoskimboardaus on selkeästi suositumpaa ja suurin osa valmistajista valmistaa vain aaltolautoja. Lautojen hinnat vaihtelevat 100–500 € välillä. (Skimonline 2010).

2.2 Historia

Ensimmäiset merkit skimboardauksesta ulottuvat 1920-luvulle, jolloin uimarantojen uimavalvojat käyttivät puisen lankun pätkää skimboard "lautana". Varsinaisesti laji syntyi ja alkoi kehittyä 1960-luvulla Kalifornian Laguna Beachilla. Siellä rannan muoto ja rantaan tulevat aallot loivat oivan ympäristön uudelle urheilulajille. Monet rannalla olevat lapset kokeilivat lajia ja ne jotka pitivät siitä, alkoivat harrastaa sitä intohimoisesti.

1970-luvun puolivälissä Tex Haines ja Peter Prietto perustivat Victoria skimboards -yrityksen. Lautojen valmistuksen lisäksi yritys alkoi tuoda lajia laajempaan tietoisuuteen ja he järjestivät jopa muutamia kilpailuja. Yritys toimii edelleen ja valmistaa lautoja sarjavalmisteisesti. 1980-luvun loppupuolella skimboarding oli kovassa suosiossa. Siitä kerrottiin mediassa ja lajin ammattilaisia esiteltiin urheilujulkaisuissa. 1990-luvun puolivälissä julkaistiin ensimmäinen skimboard-lehti ja 90-luvulla niitä tuli vielä muutama lisää. Nykypäivänä lajilla on omat ammattilaisensa, jotka elättävät itsensä lajia harrastamalla. Skimboardaus voi nousta surffauksen kaltaiseen suosioon sen helpon aloittamiskynnyksen takia ja koska harrastuspaikkoja löytyy helposti ympäri maailmaa. (Skimonline 2010).

2.3 Kansainväliset markkinat?

Skimboardausta harrastetaan siellä missä surffaustakin. Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Australiassa lajilla on omat lajiliittonsa. Euroopassa ja Yhdysvalloissa järjestetään skimboard-kiertueita, jotka koostuvat muutamista kilpailusta. Niistä kerätään pisteitä ja eniten niitä kerännyt voittaa kiertueen.

3 LUJITEMUOVIT

Lujitemuovi on komposiitti, jossa yhdistyy vähintään kaksi eri materiaalia. Ne eivät sellaisenaan ole välttämättä kovin vahvoja, mutta yhdistettynä ne muodostavat kovan materiaalin. Lujitettu muovi voi olla kerta- tai kesto-muovia. Kovettunut lujitemuovikappale koostuu vähintään kolmesta aineesta: lujite(kuitu), matriisimuovi eli hartsi ja kovete. Kuituina voi käyttää melkein mitä vaan kemiallisesti valmistettuja- tai luonnonkuituja. Yleisimpiä ovat lasi- ja hiilikuidut. (Kurri, Malèn, Sandell & Virtanen. 2002. 135–139)

Hartsit ovat yleisesti polyesteri-, vinyyliesteri- tai epoksihartseja. Hartsit ja kovetteet ovat lujitemuovin valmistusprosessin myrkyllisin/vaarallisin osa. Eniten käytetty polyesteri- ja vinyyliesterihartsin kovete MEKP(metyylietyyli- ketoniperoksidi) on happo, joka on vaarallista varsinkin silmiin mennessä. Hartsin kovettumisreaktion on eksotermisen eli siinä vapautuu lämpöä. Kovettunut hartsi ei ole enää myrkyllistä, vaikka styreeni saattaa haista vielä muutama päivä kovettumisen jälkeen. (Kurri ym. 2002, 136–137).

Lujitemuovikappaletta valmistaessa tarvitaan aina jokin muotti tai jotakin jonka päälle laminoidaan. Päälelaminointiva pinta on käsiteltävä irrotusaineella ennen laminoointia. Yleisiä irrotusaineita ovat mehiläisvaha, huokoslakka, PVA(polyvinyylialkoholi). Ennen irrotusaineen levitystä pitää varmistaa, että aine sopii kyseiselle muottipinnalle ja laminoitavalle kappaleelle. Irrotusaine suojelee muotin pintaa ja lisää sen käyttöikä. Muotti pitää irrotusaine-käsitellä tasaisin väliajoin, ettei se vahingoitu.

3.1 Mattotyypit ja kudokset

Kun filamentti eli jatkuva kuitu tulee suuttimesta ulos ja kehrätään rullalle, niin siitä alkaa kuidun jatkojalostus. Lasi- ja aramidikuitua käytetään katkokuituna. Lähes käytetyin lasikuitumatto on CSM (Chopped Strand Mat). Se on katkokuitumattoa, joka on joko emulsio- tai pulverisidottu. Se on edullista ja helposti muovattavissa. Katkokuitumattoa käytetään paljon myös lasikuitukorjauksiin. Aramidikatkokuitua käytetään ainakin auton renkaiden vahvistamiseen. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skirfvars & Komppa. 2007, 78, 127).

Kuiduista tehdään myös kudoksia. Ne voidaan kutoa joko yhdensuuntaisesti tai määritettyyn kulmaan toista kuitukudosta vasten. Valitsin lautaan biakksiaalikuludun, jossa kudokset on suunnattu 45° asteen kulmaan toisistaan. Hiilikälasikuidussa on sama kudostyyppi. Kuidun neliöpaino oli myös sama 200g/m². Kyseinen moniakksiaalikuludun soveltuu lautaan hyvin sen hyvän käsiteltävyyden, pinnanlaadun ja monipuolisen tuen ansiosta.

3.2 Lasikuitu

Lasikuludun valmistus opittiin 1930-luvulla. Siitä eteenpäin sitä on käytetty eri teollisuuden aloilla mm. vene, auto ja urheiluvälineet. Nykyisin lasikuludun valmistetaan ympäri maailmaa. N. 95 % käytetyistä lujitekuiduista on lasikuludun. Sitä valmistetaan n. 33 000 000 tonnia vuodessa. (Saarela ym. 2007, 74).

3.2.1 Valmistus

Lasikuludun valmistus alkaa sekoittamalla raaka-aineet keskenään. Raaka-aineet voivat hieman vaihdella kunkin tehtaan saatavuuden mukaan. Lasimassan pääraaka-aineet ovat piioksidi, magnesiumoksidi ja kalsiumoksidi. Sekoitettujen raaka-aineiden sulatetaan uunissa yhtenäiseksi massaksi. Massan sulattaminen kuluttaa paljon energiaa. Jotta massa saadaan sulaksi, uu-

nissa pitää olla 1600 °C lämpötila. Kun massa on sulanut ja sekoittunut lasiksi, se jäähdytetään ja johdetaan kanavistoon. Kanavistossa massa jäähtyy vetoprosessin vaatimaan lämpötilaan. Kanavistosta lasimassa tulee suuttimista ulos ja vedetään kuiduiksi. Ennen kuitujen kelaamista yhte-näiseksi kuitunipuksi ne vedetään läpi telan, jonka pinnalla on ns. sizing-aine. Se on pinnoite mikä auttaa kuidut kiinnittymään toisiinsa sekä luo kemiallisen tartunnan kuidun ja hartsin välille. Pinnoittamisen jälkeen kuitunippu kelataan pahvisen hylsyn päälle. Siitä eteenpäin kuitu lähtee asiakkaalle tai jatkojalostukseen, mistä siitä tehdään yleisesti katkokuitua tai mattoa. (Saarela ym. 2007, 75-78).

3.2.2 Ominaisuudet ja käyttökohteet

Lasikuidut lujitemuoviteollisuudessa jaotellaan lasikuitutyypin mukaan. Niitä on monia, mutta kolmea niistä käytetään eniten. E-lasia (electrical glass) käytetään 99 % lasikuitutuotteissa. Kaksi muuta yleisintä lasikuitutyyppeä ovat S-lasi (high strength glass) ja C-lasi (chemically resistant glass). E-lasi soveltuu hyvin kaikenlaiseen yleiskäyttöön ja on edullista hankkia. S-lasia käytetään paljon lentokoneiteollisuudessa sen hyvien lujuusominaisuuksien takia. C-lasi taas kestää kemikaaleja ja happamuutta erityisen hyvin. Tuotteen valmistaminen lasikuidusta tulee kohtalaisen edulliseksi, jos muottikustannuksia ei oteta huomioon. (Saarela ym. 2007, 75).

Lasikuidusta valmistetaan mm. veneitä, autoteollisuuden korin osia, säiliöitä, putkia, huonekaluja ja urheiluvälineitä. Lasikuitua käytetään myös lasihuovan valmistuksessa, jota on PCV-tapeteissa ja matoissa. Lasikuidusta valmistettu vene on suhteellisen kevyt, ei kärsi korroosiosta ja kestää vettä sekä vaihtelevia sääoloja. Kosteutta imenyt lasikuitu, joka pääsee jääty-mään voi tosin rikkoutua helposti. Lasikuidusta valmistettu tuote on yleensä pinnoitettu gelcoat- tai topcoat-maalilla. Maali levitetään joko jo valmistusvaiheessa tai sen jälkeen. Jotta lasikuitukappale säilyy pitkään hyväkuntoisena, on tärkeää pitää maalipinta ehjänä, ettei lasikuitu pääse imemään kosteutta. (Saarela ym. 2007, 74-75, 100).

3.3 Hiilikuitu

Hiilikuidun valmistus on tunnettu jo pitkään, mutta vasta lento- ja avaruusteollisuuden tarpeiden kautta sen valmistus kehittyi nykyiseen muotoon. Kaupallisiin tuotteisiin hiilikuitua on käytetty 1960-luvun loppupuolelta lähtien. Hiilikuitua käytetään keveyttä ja jäykkyyttä vaativissa kappaleissa. Hiilikuitukappale on yleisesti n. puolet kevyempi kuin lasikuidusta valmistettu. Hiilikuitu johtaa hyvin sähköä. Huonona puolena on heikko iskunkestävyys ja hankala korjattavuus, jos kyseessä on ontto kappale. Jos hiilikuidusta valmistettu tuote saa terävän osuman, niin siitä ei välttämättä jää mitään jälkeä, mutta sen jälkeen tuleva rasitus voi hajottaa koko kappaleen. (Saarela ym. 2007, 81).

Materiaalin ja valmistusmenetelmän suhteellisen korkean hinnan takia hiilikuidusta valmistetut tuotteet ovat lähes aina sieltä kalliimmasta päästä. Teollisesti hiilikuidusta valmistetaan mm. urheiluvälineitä, veneitä ja kulkuneuvoja. Hiilikuidusta pystyy myös itse valmistamaan erilaisia esineitä ja osia. Hiilikuidulla voidaan myös lujittaa kankaita ja muita materiaaleja. Suomessa Nautor ja Baltic yachts valmistavat hiilikuidusta isoja purjeveneitä. Suomalainen hissivalmistaja KONE on kehittänyt hiilikuituköyden teräsvaijereiden tilalle. Sen avulla hissien koneistoa ja köysiä saadaan huomattavasti kevyemmäksi ja kestävämmäksi. Tulevaisuudessa tullaan varmasti näkemään samankaltaisia innovaatioita hiilikuidusta, kun nanoteknologia yleistyy.

3.4 Polyesterikudokset

Polyesterikudos eli kaupalliselta nimeltä Dioleeni on veneteollisuudelle vielä melko harvinainen tuote. Dioleeniä on sekä kuitumattona että naruna ja lanakana, jolloin siitä voi tehdä esim. vaatteita tai muita suojia. Dioleenin ominaisuuksiin lujitemuovina kuuluu keveys ja hyvä iskunkestävyys. Se ei tuo mitään erityistä jäykkyyttä, niinpä sen takia sitä käytetään esim. lasi- tai hiilikuidun kanssa yhdessä. Dioleeni vastaa ominaisuuksiltaan hyvin paljon

aramidikuitua, mutta on huomattavasti edullisempaa. Kajakeissa ja kanoottien pohjissa käytetään dioleenia tuomaan suojaa pohjakosketuksia varten. Jos esim. kajakilla ajaa kivelle niin dioleeni pitää pohjan rakenteen kasassa, eikä kajakki silloin välttämättä uppoa. Dioleenia saa myös värjättyinä kuituina ja sitä ei saa samalla tavalla läpinäkyväksi laminoinnin myötä kuin lasikuitua. (Saarela ym. 2007, 100).

Lujitteiden ominaisuudet

Taulukko 1 (Saarela ym. 2007, 251)

Materiaali	Puristuslujuus MPa	Vetolujuus MPa	Kimmomoduli GPa
Lasikuitu	180	260	18
Hiilikuitu	500	650	65

3.5 Hartsit

Hartsit toimii lujitemuovien matriisina eli muovina, joka on nestemäisessä muodossa. Hartsi on kertamuovia, jota lujitetaan kuiduilla tai muilla täyteaineilla. Kovettunut hartsi itsessään on heikkoa ja murtuu helposti. Kertamuoveja ei voida kovettumisen jälkeen enää muovata lämmöllä. Yleisin lujitemuoviteollisuudessa käytetty hartsi on tyydyttämätön polyesterihartsi. Polyesterihartsi on polyesterin ja styreenin seos. Polyesterihartsin kovettuminen on kolmivaiheinen reaktio. Ensin alkaa geelytyminen, kovettuminen ja jälkikovatuminen. Muita eniten käytettyjä ovat epoksihartsi ja vinyyliesterihartsi. (Kurri ym. 2002, 136–137).

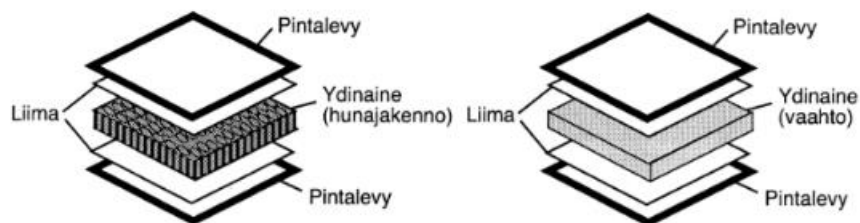
Vinyyliesterihartsi on ominaisuuksiltaan melko samankaltainen polyesterin kanssa. Vinyyliesteri kestää paremmin kemikaaleja ja eroaa kemialliselta rakenteeltaan. Epoksihartsia käytetään paljon hiilikuidun ja aramidin kertamuovina. Se eroaa kahdesta muusta hartsista täysin. Epoksi kovetetaan useimmiten joko aromaattisilla tai alifaattisilla amiineilla tai anhydrideillä.

Kun polyesteri- ja vinyylesterihartsien kovetinprosentti on 1 - 2 %, niin epoksilla se on 40–50 %. Epoksi on hajutonta, mutta jos ihoa ei ole suojattu kunnolla, niin se allergisoi voimakkaasti. Venekorjaajien ammattitautina onkin epoksiallergia, mikä estää työskentelyn epoksin kanssa kokonaan. (Saarela ym. 2007, 44–45).

3.6 Ydinaine

Lujitemuovirakenteen tekeminen jäykäksi ja kestäväksi ilman suurta painoa on hankalaa ilman ydinainetta. Kerroslevyrakenteen ansiosta kappaleesta saadaan kevyt mutta taivutusjäykkä rakenne. Kerroslevyssä on yhdistelmä-rakenne, missä ydinaineen molemmilla puolilla on ohuet laminaatit.

Ydinainemateriaaleja on monia. Veneenrakennuksessa on käytetty pitkään eri puulajeja ydinaineena. Nykyisin erilaiset vaahtolevyt ja solumuovit ovat tulleet suosituimmiksi. Puu on edullista, mutta kastuessaan se lahoaa nopeasti ja tekee rakenteesta epäluotettavan. Nykyaikaiset materiaalit ovat ilman lujitemuoviakin melko kestäviä. Ydinaineena voi käyttää myös erilaisia hunajakennorakenteita. Kennomateriaalit vaihtelevat metallista pahviin. Paperista ja pahvista valmistettujen kennojen leikkauslujuus on heikko, mutta ne ovat edullisia. Hyvän ydinaineen ominaisuuksia ovat pieni veden absorptio, hyvä puristuslujuus ja helppo muovattavuus. (Kurri ym. 2002, 140–144).



Kuva 1. Kerroslevyn rakenne (Saarela ym. 2007, 105)

3.6.1 PVC

Puun jälkeen yksi eniten käytetty ydinaine materiaali on PVC(polyvinyylidikloridi)-vaahtolevy. Sen kohtalainen hinta, helppo saatavuus ja hyvät lujuusominaisuudet tekevät siitä suosittua ydinainetta, kun vaaditaan korkealaatuista kerroslevyä. Vaahtolevyt lajitellaan levyn tiheyden mukaan. Mitä tiheämpi rakenne, sitä parempi puristuslujuus materiaalilla on. Ohut pintalaminatti voi olla kerroslevyn ongelma, jos ydinainetta puristuslujuus ei ole riittävä. Jos levyn pintaan tippuu jotain tai levy muuten kolhiintuu, niin vaahtolevy voi antaa periksi ja levyyn tulee pysyvä muodonmuutos. (Saarela ym. 2007, 105-107).

3.6.2 SAN

Toinen varsinkin veneteollisuudessa käytetty ydinaine on SAN(styreeniakryylinitriili) solumuovi. Sen ominaisuudet ja käyttökohteet ovat samantyyppiset kuin PVC-levyllä. Hinta on hieman korkeampi, mutta materiaalina SAN on ekologisempaa. Kun SAN-levyä hävitetään, niin poltettaessa siitä vapautuu vähemmän myrkkyjä ilmaan kuin PVC:stä. (Kevra 2015).

4 VALMISTUSMENETELMÄVERTAILU

Lujitemuovikappaleiden valmistamisen perusperiaate on, että kovete sekoitetaan hartsiin ja sen jälkeen lujitteet kastellaan hartsiin. Lujitemuovikappaleen valmistus aloitetaan yleensä maalaamalla muottiin kirkas tai värillinen gelcoat-maali. Jos tuotteelta vaaditaan erityistä keveyttä, niin geeli voidaan jättää pois. Lujitteet kastellaan joko muotissa tai jollain muulla pinnalla etukäteen. Jos kastellut kuidut/kuitumatot vain asetellaan muottiin niin laminaattiin jää ilmaa. Ilman pois saamiseksi käytetään telaa, pensseliä tai alipainetta. Lujitemuovikappaleiden yleisimmät valmistusmenetelmät ovat ruiskulaminointi ja käsinlaminointi. Lähes kaikki ihmisten kotona tekemät

kappaleet tehdään käsinlaminoimalla. Kaikkia laadukkaan lasikuitukappaleen tekemiseen tarvittavia materiaaleja on helposti ja edullisesti kuluttajan saatavilla. Lasikuidun korjaaminen onnistuu helposti ja oppaita sekä ohjeita on paljon. Teollisuudessa ruiskulaminointia käytetään eniten. Laminaatin tasaiseen laatuun ja paksuuteen aina pyritään, mutta ruiskulaminoimalla kriteerejä on hankala täyttää. (Kurri ym. 2002, 145–150).

Lähes aina muottiin laminoitaessa, lujitemuovikappaleeseen jää siistimistä ja viimeisteltävää. Muotissa on laippa, joka on vaakasuora reuna. Sen leveys tulisi olla vähintään 10 cm. Kappaletta valmistettaessa kuidut laminoidaan laipan yli. Kun tuote on kovettunut, niin laipat joko leikataan kokonaan pois tai jätetään pieni reuna kappaleeseen.

4.1 Menetelmät

4.1.1 Käsinlaminointi

Tällä menetelmällä lujitemuovikappaleita on aloitettu valmistaa alun perin. Lähes myös kaikki lujitemuovikorjaukset tehdään käsinlaminoimalla. Menetelmä on edullinen ja helppo. Jos hartsin ja kovetteen suhde on sopiva eikä tee liian paksua laminaattia kerralla, niin käsinlaminointi onnistuu lähes aina melko hyvin.

Lujitteet asetellaan valmiiksi avoimeen muottiin tai esim. lasipöydälle. Sen jälkeen lujitteet kastellaan hartsin ja kovetteen seoksella. Hartsia levitetään pensselillä tai telalla. Lujitteet painellaan kaikkiin muotin muotoihin ja telataan telalla ilmat pois. Hartsin levitykseen käytetään pehmeätä mohair telaa ja ilman telaamiseen metallista, pintakuvioitua telaa. Tämän jälkeen laminaatin voi jättää kovettumaan tai kappaleen päälle voi laittaa yli- tai alipainesäkin, joka työntää ylimääräisen ilman ja hartsin pois laminaatista. Korkea lujitepitoisuus tekee laminaatista kestävä. Alipainesäkki on venyvää muovista kalvoa, joka venyy ja kestää alipainetta hyvin. (Kurri ym. 2002, 145–150).

Suurin osa skimboard-laudoista valmistetaan käsinlaminoimalla. Käsinlaminoituista enemmistö laitetaan laminoinnin jälkeen alipainesäkkiin. Uitboardsin laudat tein juuri kyseisellä menetelmällä. Työn pystyy tekemään yksin, mutta laadukkaan lopputuloksen saamiseksi olisi hyvä olla apulainen. Käsinlaminointi soveltuu hyvin lautojen valmistukseen, jos lautoja pitää valmistaa 1 kpl päivässä tai vähemmän. Kysynnän kasvaessa täytyisi vaihtaa menetelmää. (Raivio, J. 2015).

4.1.3 Alipaineinjektio

Alipaineinjektioilla saadaan laadukkaita kappaleita, suhteellisen nopeasti. Kappaleiden valmistukseen ei vaadita kuin yksi kone, mutta sekin on suuri investointi. Laadukkailla alipaine pumpulla, letkuilla ja liittimillä on merkitystä lopputuloksen kannalta. Alipaineinjektio soveltuu eri kuiduille ja hartseille. Injektio menetelmällä voidaan parantaa kerroslevyrakenteen laatua.

Menetelmän periaatteena on, että käytetään avointa muottia, mihin lujitteet asetellaan kuivana ja sen jälkeen hartsi johdetaan alipainekalvon läpi lujitteisiin. Alipaine kuljettaa hartsia muotin kaikkiin kohtiin ja kastelee lujitteet märäksi. Sen jälkeen ylimääräinen hartsi ja ilma kulkeutuvat imuletkun kautta hartsiloukkuun. Hartsin kulkeutuminen pelkästään kuituja pitkin voi osoittautua ongelmalliseksi. Sitä varten kuitujen päälle laitetaan hartsinkuljetusverkko, mikä auttaa hartsin kulkeutumisessa. Markkinoilla on tarjolla myös sellaisia kuitumattoja jotka, on suunniteltu injektiota varten. Ennen näitä avustavia kerroksia kuitujen päälle laitetaan repäisykangas, joka estää imuhuopien ja muiden lisäverkkojen ja -kankaiden kiinnittymisen kappaleeseen. Hartsi ohjataan astiasta letkuilla yleensä muotin keskelle. Sieltä hartsi lähtee liikkumaan kohti imuputkia, jotka kiertävät normaalisti muotin reunoja. (Saarela ym. 2007, 167-168).

Skimboard-lautojen valmistaminen alipaineinjektioilla on yksi mahdollisista valmistusmenetelmistä. Muoto on helppo ja ydinainetta on helposti saata-

villa. Taivutusmuotin pitäisi olla paremmin tuettu. Ainoan ongelman aiheuttaa kuivien lujitteiden asettelu ydinaineen ympärille. Kuivat lujitteet eivät ole hyvin muotoiltavissa. Siihen jos keksii ratkaisun ja panostaa hyvään ja monikäyttöiseen alipainekalvoon/säkkiin, niin menetelmä voi toimia.

4.1.4 Suljetun muotin menetelmä

Suljetun muotin menetelmän kokonaisuus koostuu kahdesta muottipuoliskosta. Tällä menetelmällä kappale saadaan lähes valmiina ulos muotista, kun molemmilla pinnoilla on "geelipinta". Alkukustannukset ovat suuret, mutta jos kappaleita tehdään paljon, niin ylimääräisen siistimistyön väheneminen tuo sen sijaan säästöjä. Kun kappale tulee kahden muotin väliin, niin ydinaineen pitää olla aina samankokoinen, kuten myös lujitteiden paksuus. Ydinaineen jyrsiminen CNC-koneella pitää yleensä teettää alihankintana.

Mahdollinen valmistusmenetelmä olisi Light RTM. RTM tulee sanoista Resin Transfer Moulding. Menetelmässä käytetään uros ja naaras muottia, jotka puristetaan toisiaan vasten alipaineella. Veneteollisuudessa sitä käytetään ohjauspulpettien, luukkujen ja muiden pienten osien valmistukseen. (Compositesworld 2016).

Kuivat lujitteet ja ydinaine asetellaan muotin toiseen puoleen. Muottien pinnoissa on tiivisteitä kahdessa tasossa. Ensimmäinen tiiviste estää hartsia kulkeutumasta muualle muottiin ja toinen pitää muotin puoliskot kiinni toisissaan. Lujitteiden leikkaamisessa suositellaan käytettävän sabluunaa, jolloin lujitteet ovat aina samankokoiset. Injektion valmistelu on tarkkaa, koska kun hartsi on alkanut virrata muotissa ja huomataan joku virhe, niin sitä on hankala lähteä korjaamaan. Esim. kuidut tiivisteiden tai hartsin juoksuuskanavien välissä voi aiheuttaa kuivia kohtia kappaleeseen. Muottikustannusten lisäksi valmistusta varten pitää hankkia Light-RTM-pumppu. Se sekoittaa tarkasti hartsin ja kovetteen, jonka jälkeen pumppu kuljettaa seoksen letkua pitkin muottiin. Hartsin syöttö on yleensä muotin reunoilla ja imu muotin keskellä. Muotin päällä, imuletkun yhteydessä on hartsiloukku, joka

ottaa ylimääräisen hartsin talteen. Kovettuneeseen kappaleeseen jää tasainen reuna hartsia, minkä saa helposti leikkaamalla pois. Jos tuotantoa on paljon, niin leikkauksen voi ohjelmoida siihen tarkoitettulle robotille, joka tekee hyvin mittatarkkaa työtä. Sekä LRTM että alipaineinjektion hyviin puoliin kuuluu hyvä ja tasainen laminaatin laatu, työntekijälle turvallinen hartsin kovettuminen ja muototarkat kappaleet. Huonoina puolina ovat kalliit laitteet, muottikustannukset ja kappaleen hankala muunneltavuus. (Compositesworld 2016).

Skimboard-lautaa tehtäessä varsinainen valmistusaika voisi olla n. 3 h, sisältäen lujitteiden leikkaamisen ja niiden asettelun. Oletuksena on, että ydinaine tulee alihankkijalta valmiiksi jyritynä, niin että se on valmis muottiin. Jos tuotannossa ei ole kiire, niin laudan voisi jättää muottiin kovettumaan yön yli. Jos taas lautoja pitäisi tehdä useampi päivässä, niin kovettuneen laudan voisi ottaa muotista noin kaksi tuntia injektion aloituksesta. Sen jälkeen lauta pitäisi siirtää jälkikövetukseen ja sieltä viimeistelyyn. Uitboardsin tapauksessa leikkausrobotia ei todennäköisesti olisi järkevää hankkia, vaan loppuleikkauksen voisi hoitaa sahalla ja leikkaussablunalla.

4.2 Kustannukset

Valmistuksen kustannuksia on hankala arvioida etukäteen, kun yrityksellä ei ole mitään aikaisempaa pohjaa lujitemuovivalmistukselle. Yritys pääsee työmäärää katsottuna varmasti helpoimmalla ulkoistamalla koko valmistusprosessin. Työnlaadun valvonta ja materiaalien käyttö taas vaikeutuvat huomattavasti. Kun tuotanto on saatu käyntiin, niin kustannuksia syntyy muottien ja laitteiden huollosta ja materiaali- ja välinehankinnoista.

Tukevan ja pitkäikäisen muotin suunnittelu ja valmistaminen ovat kallista. Jotta skimboard-lautojen valmistuksessa siirryttäisiin kahden muotin menettelmään, niin tilauksia pitäisi olla jo paljon tiedossa. Pelkän taivutusmuotin avulla voidaan tuottaa helposti jo kymmeniä lautoja. Taivutusmuotti on

helppo ja edullinen tehdä, eikä se vaadi pitkää suunnittelutyötä. Taivutusmuotti on mahdollista tehdä säädettäväksi, jolloin jokaiseen valmistettavaan lautaan olisi mahdollista kustomoida oma ”rokkeri”.

Materiaalivalinnoilla voidaan saada tuotteesta erittäin kestävä ja laadukas, mutta myös kallis. Skimboard-laudan pitää kestää vähän kulutusta ja iskuja. Laudan olisi hyvä olla myös melko jäykkä. Hiilikuidulla, dioleenillä ja mahdollisesti lasikuidulla saadaan kyseinen yhdistelmä. Taulukossa 1 esitetään materiaalien suuntaa antava hintalaskelma. Hartsien hinnat alv 0 %. Tarvikkeet sisältävät: imuhuovan, alipainekalvon, karhennuskankaan ja irrotuskalvon. Hartsien hinnat ovat Jacomp Oy:ltä ja kuitujen sekä ydinaineen hinnat Kevrasta. Molemmat ovat suomalaisia maahantuontiyhtiöitä.

Taulukko 2

Materiaali	Hinta	Määrä/lauta	Kustannus/lauta	Kustannus/lauta
			Hiilikuitu	Lasikuitu
Hiilikuitu	16,90€/m ²	1,5m ²	25,35€	–
Lasikuitu	5,4€/m ²	3m ²	–	16,2€
Dioleeni	8€/m ²	0,75m ²	6€	6€
SAN-vaahtolevy	26,20€/m ²	0,75m ²	19,65€	19,65€
Polyesteriharts	3€/kg	1,5kg	–	4,5€
Epoksiharts				–
Laminointi	11€/kg	1,3 kg	14,3€	
Injektointi	7,5€/kg	n.1 kg	7,5€	
Kovetin	16€/kg	0,550 kg	8,8€	
Tarvikkeet		1-1,5m ²	11,5€	11,5€
Yhteensä			85,6€	57,9€

Ainemäärät lautaa kohden ovat arvioitu vähän yläkanttiin. Kun valmistuksesta tulee rutinia, niin materiaalmäärät saadaan optimoituja oikein, eikä

esim. hartsia mene hukkaan. Tämän lisäksi käsinlaminoinnista yhdistettynä alipainesäkitykseen tulee lisäkustannuksia välineistä. Alipainekalvoa on saatavilla kertakäyttöisenä ja monikäyttöisenä. Kertakäyttökalvoa ei kannata käyttää uudestaan, vaikka kalvo näyttäisikin silmämääräisesti ehjältä. Monikäyttökalvot ovat usein silikonia ja ne tehdään kappaleen muotojen mukaan. Kertakäyttökalvot leikataan rullasta ja muotoutuvat kappaleeseen hyvin.

5 TUOTEKEHITYS

5.1 Tuotekehitystoiminta

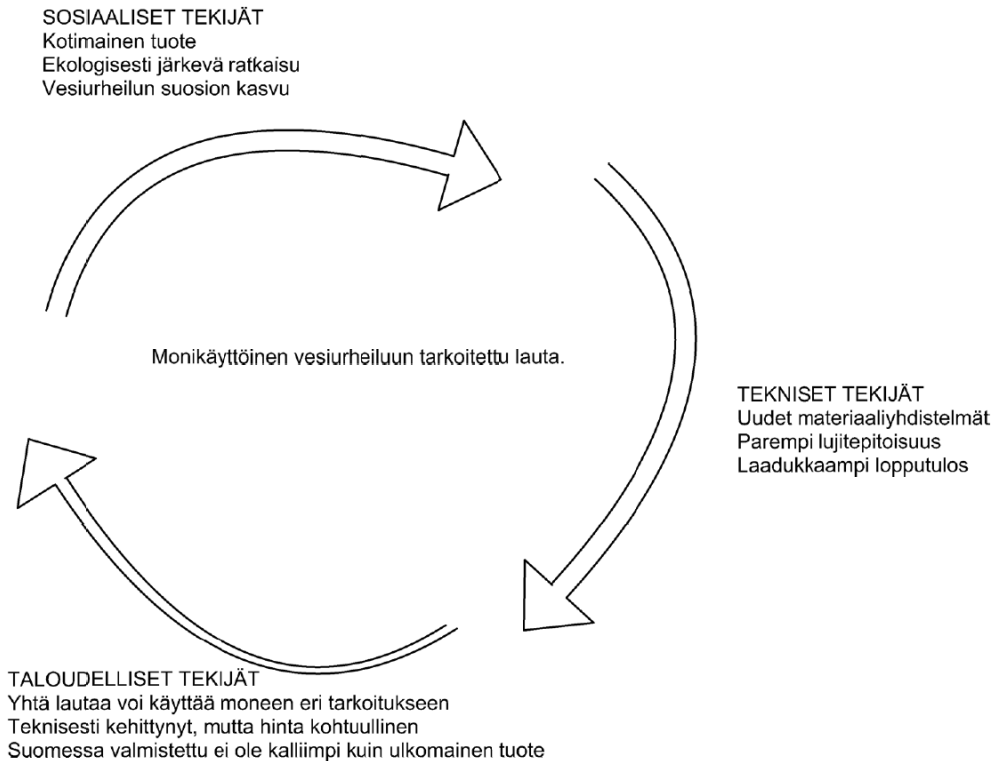
Tuotekehitysprojektiä aletaan suunnittelemaan, kun on tarvetta kehittää kokonaan uusi tuote tai jo olemassa olevaa tuotetta eteenpäin. Tuotekehitys voi olla pieniä muutoksia tuotteeseen tai kokonaan uuden tuotteen keksimistä. Pk-yritykselle tällainen projekti on useimmiten riski ja suuri investointi. Onnistunut tuotekehitys luo yritykselle hyvän kasvu ympäristön ja kilpailuedun markkinoilla. Toisaalta taas epäonnistunut tuotekehitysprojekti voi pahimmillaan viedä yrityksen konkurssiin. Tuotekehitys pitäisi olla mukana yrityksen arjessa mukana ainakin ajatuksen tasolla. Tuotantoon liittyvät kehitysehdotukset lähtevät yleensä tuotantotyöntekijöiltä. (Jokinen. 2010, 9-10).

Tuotekehitystä tapahtuu työntekijöiden ajatuksissa jatkuvasti. Tuotannon työntekijöiden ja insinöörien tulisi miettiä, miten tuote voisi olla parempi kulluttajille tai yritykselle. Tuotekehitys voi olla myös sellaista, missä pyritään lyhentämään tuotteen elinikää, jos sen heikko menestys johtuu siitä, etteivät ihmiset osta sitä riittävän usein. (Jokinen. 2010, 9-10).

Tuotekehitykselle pitää aina olla joku tarve. Tarpeen lisäksi on tärkeää myös miettiä tuotteen ja projektin toteuttamismahdollisuuksia. Tuotteen tarvetta ja ihmisten mielenkiintoa voi kartoittaa markkinatutkimuksilla, asiakkaiden oman aktiivisuuden kautta ja messuilla. Kaikki nämä voidaan tuottaa

ulkopuolisilla yrityksillä, jolloin omaan tekemiseen jää enemmän aikaa.
(Ulos toimistosta)

Tuotekehitysprojektia voidaan perustella STT-tekijöillä, jotka ovat eri tuotteilla omanlaisensa. STT tulee sanoista: sosiaalinen, tekninen ja taloudellinen. Tällä kaaviolla on helppo jakaa tuotteen tarpeet ja mahdollisuudet kolmeen kategoriaan. (Cagan, Vogel. 2003).

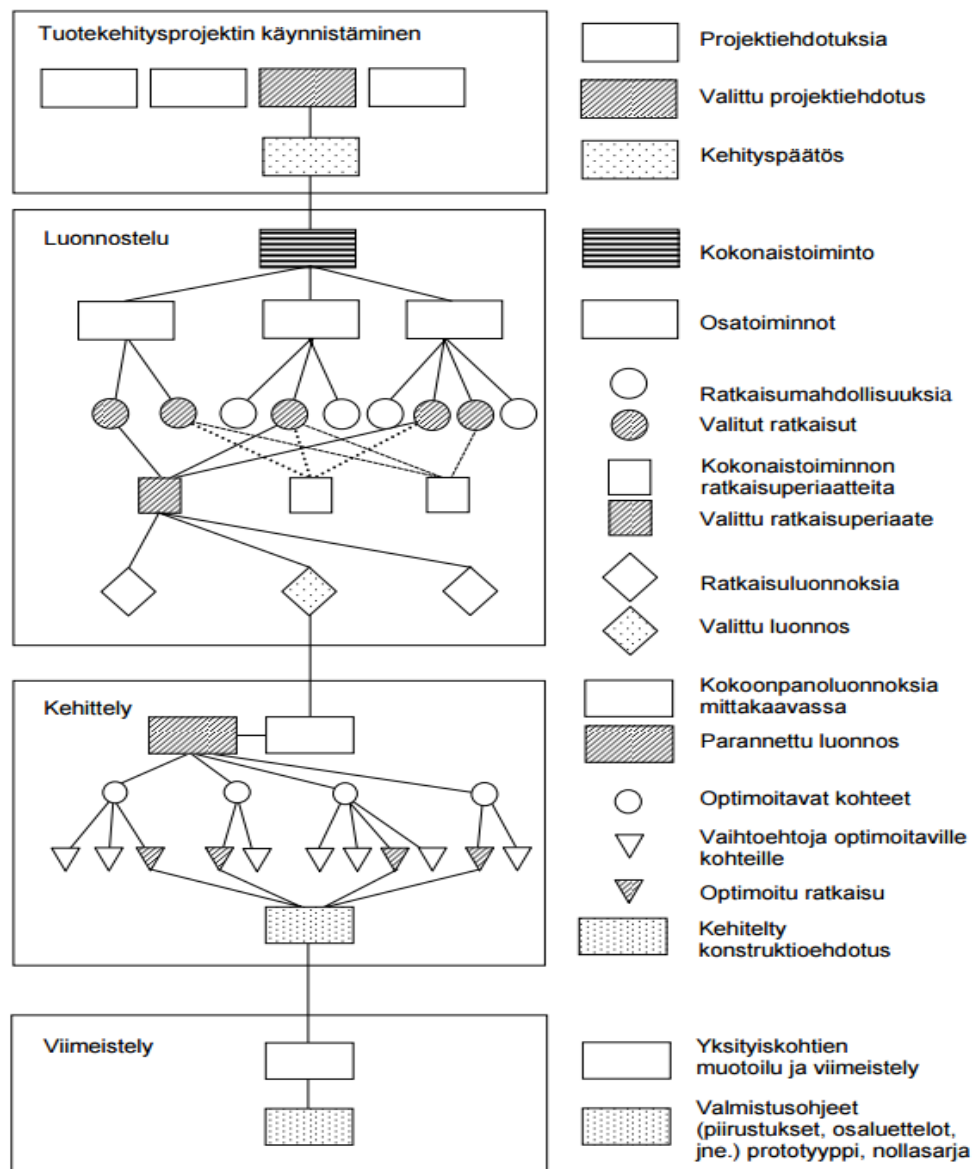


Kuva 2. Skimboard-laudan STT-tekijät.

Tuotteella on tietty elinikä, milloin sitä markkinoidaan ja myydään. Veneen elinikä vaihtelee 2-5 vuoden välillä. Vaateteollisuudessa tuotteen elinikä on hyvin lyhyt ja tuotekehitys on hyvin riskitöntä ja edullista. Nykytrendin mukaan on nähtävissä, että tuotteen elinikä on lyhenemässä. Jos veneyritys valmistaa vain yhtä isoa venemallia niin sitä on suuri riski lähteä uudistamaan laajasti. Myös esimerkiksi autoteollisuudessa uuden auton suunnittelu ja rakentaminen maksavat paljon. Tätä helpottaakseen autotehtaat käyttävät osittain samoja moottoreita ja alustoja, jolloin kustannuksia saadaan alas. (Jokinen 2010, 9).

5.2 Tuotekehityksen työvaiheet

Jos tuotekehitys tapahtuu hankkeen tai projektin kautta, niin se voidaan jakaa neljään osioon: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Ennen projektin käynnistämistä on laadittu erilaisia suunnitelmia ja ideoita erilaisista mahdollisista tuotekehityshankkeista. Yrityksen kannalta tärkeää on käynnistää oikeat tuotekehitysprojektit. Tästä syystä ennen lopullista tuotekehityshankkeen toteuttamispäätöstä on huolellisesti selvitettävää tuotteen kehittämiskustannukset, markkinointinäkyvät, saatavat tuotot. (Jokinen 2010, 14).



Kuva 3. Tuotekehitysprojektin toimintavaiheet (Jokinen. 2010, 16.)

6 VALMISTUSPROSESSI

Valmistin prototyypilaudat Kymenlaakson Ammattikorkeakoulun komposiittilaboratoriolla Kotkan Mussalossa. Siellä on nykyaikaiset ja monipuoliset laitteet erilaisten komposiittien valmistamiseen ja testaamiseen. Opinnäytetyön käytännön osiota ei olisi ollut mahdollista toteuttaa ilman kyseisiä tiloja. Tein laudat yhdessä luokkakaverini Mikan kanssa. En olisi saanut tehtyä lautoja yksin.

6.1 Suunnittelu

6.1.1 Lauta

Skimboard-lauta muistuttaa paljon perinteistä surf-lautaa. Muoto on hyvin yksinkertainen ja kaarevuutta on vain yhteen suuntaan. Laudan kärjen pitää olla suhteellisen terävä ja perän vähän pyöreämpi. Skimboard-lauta on leveämpi pituuteen nähden kuin normaali surf-lauta. Laudan pitää olla suippo yläpäästä ja leveämpi alhaalta. Kun laudalla surffataan, niin lähes kaikki paino on peräosan päällä. Siitä johtuen perän pitää olla leveä, ettei se uppoa liikaa aaltoon. Laudan sivuprofiilin kaarevuus määräytyy osittain rannan muodon mukaan, missä lautaa käytetään. Mitä jyrkempi keula niin sitä helpommin lauta siirtyy hiekalta aaltoon, mutta toisaalta se tekee laudasta hitaamman. Laudan paksuus vaikuttaa lähinnä siihen paljon lauta kelluttaa. Valitsimme paksuuden sen mukaan mitä materiaalitoimittajalla oli ydinmateriaalia tarjolla. Laudan reilillä eli reunassa on yläpuolella pyöritys ja alapuolen pitää olla 90° kulmassa. Yläpuolen pyöritys on muotoseikka, joka ei juurikaan vaikuta käytettävyyteen. Jos keulan pyörityksen tekee pieneksi tai tekee siitä terävän, niin se voi olla vaarallinen käyttäjälle. Alapuolen suorakulma on tärkeä laudan käsiteltävyyden takia. Lauta ei "pure" aaltoon jos pohjassa on pienikin pyöritys. (Raivio, J. 2015).

Koska lautaa on ajateltu käytettäväksi muussakin vesiurheilussa kuin skimboardauksessa, niin muotoa täytyy ajatella myös monikäyttöisyyden kannalta. Tällä hetkellä laudassa ei ole mitään siteitä vaan sen käyttäjä pysyy laudan päällä sen karheen pinnan avulla. Jos lautaa haluaisi käyttää esim. wakeboardaukseen, niin siihen pitäisi pystyä kiinnittämään siteet. Sitä varten suunnittelimme ydinainevaahtoon lisättävän insertin, joka mahdollistaisi valmiiseen lautaan porattavat reiät siteitä varten. Wakeboard-lautaa vedetään veneen perässä samalla tavalla kuin vesisuksia.

Laji oli minulle entuudestaan tuntematon, joten lähdin laudan suunnitteluun puhtaalta pöydältä. Olin suunnitellut ja rakentanut SUP-laudan vuosi sitten. Laudan ulkomuoto ja valmistusmenetelmä on melko lähellä skimboard-lautaa. Laudan suunnittelu aloitettiin vertailemalla olemassa olevia lautoja ja niiden mittoja. Valmistajat ilmoittavat laudoista vain pituuden ja leveyden. Paksumuksissa on yleensä kaksi eri vaihtoehtoa. Paksummat aloittelijoilla ja ohuemmat kokeneille harrastajille. Laudat lajitellaan koon mukaan. Laudan koko valikoituu harrastajan painon mukaan. Koot ovat samoja kuin esim. vaatteissa (xs,s,m, jne.) Laudan painoja mikään valmistaja ei ilmoita tarkasti. Se johtuu siitä, että heidän valmistusmenetelmä ei ole vielä niin pitkälle kehitetty, että laudoista tulisi aina saman painoisia. Valitsimme laudan mitoiksi 130x50cm. Se on medium-koon lauta muilla valmistajilla. Halusimme tuolla neutraalilla koolla varmistaa, että mahdollisimman monet voivat testata lautaa.

Laudan ulkomuoto päätettiin aika nopeasti ja sain myös hyväksyvän päätöksen siitä toimeksiantajalta. Ulkomuoto on hyvin lähellä muiden valmistajien suosimaa. Kilpailevat valmistajat eivät näytä verkkosivuillaan esittelykuvia lautojen sivuprofiilista. Siitä selviäisi laudan rokkeri eli pitkittäistaipuma. Mittasin kaupallisesta laudasta etu ja takaosan nousun ja niiden perusteella loin oman mallin. Teimme Joelin kanssa pieniä muutoksia mittoihin ja sen jälkeen sain luvan aloittaa ensimmäisen prototyypin valmistuksen.

Hiilikuitulaudan muotoon piti tehdä pieniä muutoksia. Lauta muutettiin muuttaman sentin pidemmäksi ja leveämmäksi sekä perän pyöristys tuli isommaksi ja keulasta tuli vähän terävämpi. Joelin toiveena oli myös muuttaa rokkaria, mutta sen suuret muutokset olivat niukan aikataulun takia mahdollonta toteuttaa. Tein taivutusmuotin ensimmäisten mittojen mukaan ja uuden tekeminen olisi kestänyt liian kauan.

En mallintanut vielä suunnitteluvaiheessa lautaa 3d:nä, koska se ei ollut tarpeellista.

6.1.2 Taivutusmuotin suunnittelu ja valmistus

Lujitemuovikappaletta tehtäessä muotin kustannukset ovat yleisesti ne suurimmat. Tuotetta suunniteltaessa siitä tulee tietynlainen. Kun valmistusmuottia aletaan suunnittelemaan sen jälkeen, niin kappaleeseen voidaan joutua tekemään vielä muutoksia. Muotti suunnitellaan niin, että kappale on mahdollisimman helppo valmistaa ja että siihen on mahdollista tehdä muutoksia jälkeinpäin, jos kappaletta tarvitsee muuttaa. Muotti pitää olla erittäin tukevasti tuettu, koska siitä pitää tarvittaessa pystyä valmistamaan monta täysin identtistä kappaletta. Muotti voidaan tehdä ns. one off- tuotteelle, jolloin kappaleen valmistuttua muotti tuhotaan. Muotti voi olla sellainen missä on kappaleen muodot valmiina tai niin että siinä on vaan esim. yhden suunnan taivutus. (Saarela ym. 2007. 199).

Tässä projektissa lähdettiin suunnittelemaan taivutusmuottia, mistä tulisi vain rokkeri. Tällaisesta muotista on mahdollista valmistaa hyvin tehtynä useita kappaleita. Tästä muotista oli tarkoitus tehdä vain kaksi lautaa, joten rakenteet olivat myös sen mukaiset. Sain apua muotin rakennukseen Mikalta, jolla oli kokemusta siitä. Otin mittoja laudan taivutuskaaren eri kohdista ja merkkasin ne puuhun, mistä rakensin muotin kehikon. Muottia suunniteltiin samalla kuin sitä rakennettiin.

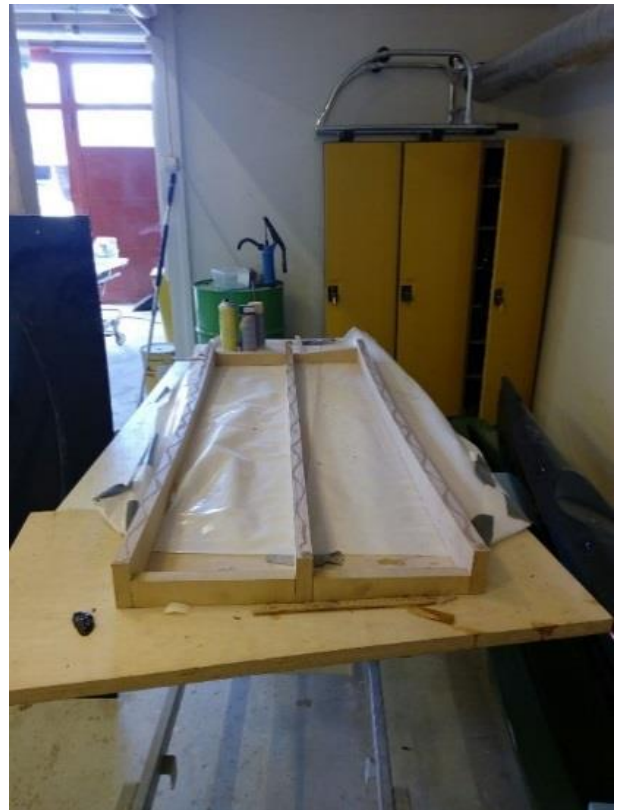
Muottia lähdettiin rakentamaan laminoimalla ensin lasikuitulevy lasipöytää vasten. Lasipöytään maalattiin musta gelcoat-maali ja annettiin sen kuivua.

Gelcoat-maalin päälle laminoitiin kaksi kpl. 400g/m² katkokuitumattoa. Kehikko tehtiin kertopuusta sahaamalla. Levyn ja laudan ollessa kapeita, päädyin kolmeen pitkittäiskaareen. Ne antoivat riittävän tuen levyille. Jos muottia olisi pitänyt käyttää useamman kerran, niin kehikko olisi ollut paljon tukevampi ja kulmat vahvistettu lasikuidulla. Tähän tarkoitukseen ruuvit olivat riittävät. Lasikuitulevy liimattiin polyesterihartsin ja talkin seoksella kiinni. Liimaa piti laittaa harkiten, ettei levyyn tullut muodonmuutoksia hartsin kutistuksessa (kuva 5). Jokaisen palkin päähän levystä läpi ruuvattiin vielä ruuvit liimausta vahvistamaan

Muottipinta käsiteltiin 5 kertaa vahamaisella irrotusaineella (kuva 6).



Kuva 4. Pitkittäisen kaarevuuden piirtäminen riman avulla



Kuva 5. Muotin runko valmiina



Kuva 6. Kiilloittamaton ja kiilloitettu pinta



Kuva 7. Valmis taivutusmuotti

6.2 Valmistus

6.2.1 Lasikuitulauta

Lasikuitulaudan valmistus alkoi ydinainevaahdon leikkaamisella laudan muotoon. Olin tulostanut laudan ulkomuodon 1:1 koossa. Muoto koostui 28 kpl. A4 arkkeja. Papereissa oli kohdistusmerkit, millä sai muodon yhte-näiseksi. Paperit teipattiin yhteen ja leikattiin saksilla ulkoreunoja pitkin (ku-vat 8 ja 9).

Ydinaineen sahaus onnistui pistosahalla. Sahaan valittiin pienihampainen terä, ettei levyyn tule pahoja sahausjälkiä. Sahaus olisi onnistunut myös käsisahalla. Sahauksen jälkeen sahatun reuna hiottiin suoraksi ja aloitettiin suunnitella yläreunan pyöristystä. Lähetin Joelille kuvan kahdesta erilaisesta esimerkki pyöristyksestä, mitkä voisi olla mahdollisia laudassa. Päädyimme toiseen esimerkkiin ja aloitin reunan muotoilun. Laudan reunaa hiottiin ensin kuivahiomapaperilla, jonka karkeus oli P100. Vaahto oli helppoa työstettävää ja muotoilu sujui nopeasti (kuva 10). Ainoan ongelman aiheutti kaksoisleikattu ydinaine, mistä irtoili isoja paloja työstön aikana. Irronneista paloista aiheutuneet kolot päätettiin tasoittaa laminoinnin yhteydessä.



Kuva 8. Yhteen teipatut paperit ennen leikkausta



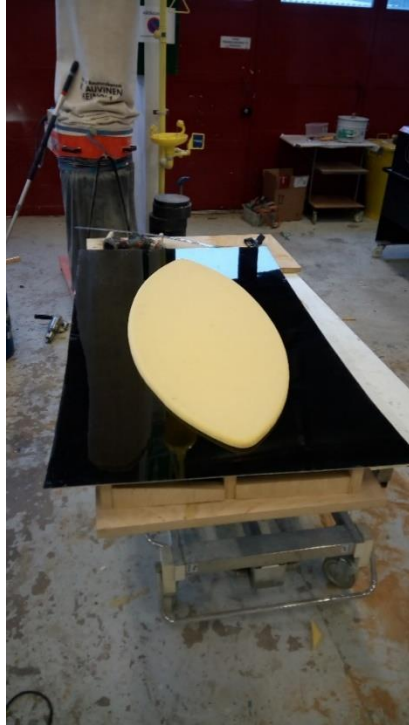
Kuva 9. Sahaussapluuna valmiina.



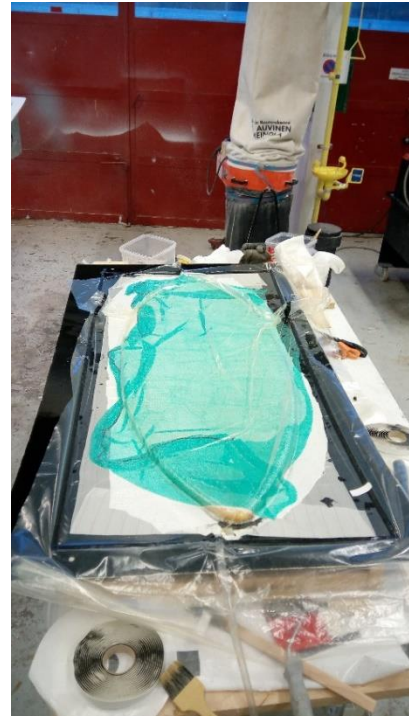
Kuva 10. Laudan reunan pyöristyksen hiontaa

Laminointi aloitettiin kastelemalla muotti hartsilla. Lasikuitulautaan laitettiin kaksi kerrosta lasikuitukangasta molemmin puolin. Pohjan kankaat aseteltiin muottiin ja telattiin märäksi. Kasteltu lasikuitulujite on helppo käsitellä ja muuttuu läpinäkyväksi, kun sen kastelee. Ydinainelevy aseteltiin kasteltujen pohjakuitujen päälle ja kuidut käännettiin kannen puolelle. Laudan kaarevan muodon ja terävän kärjen takia kuitujen kääntäminen kannen puolelle oli hankalaa. Lujitekankaat jyrkästi kaarevien muotojen kohdalta olisi voinut leikata valmiiksi, niin etteivät ne mene rypylle laminoitaessa. Lasikuitu kastui hyvin ja kiireestä huolimatta laminointi onnistui hyvin. Lasikuidun ja alipainesakkin väliin tuli kolme eri kerrosta. Lasikuitua vasten ensimmäiseksi tuli repäisy/karhennuskangas. Sen päälle imuhuopa, joka imee ylimääräisen hartsin pois. Viimeiseksi tuli hartsinjohtoverkko, jota käytetään yleisesti alipaineinjektiossa hartsin kuljettamiseen. Verkko oli tässä valmistusmenetelmässä vähän turha, koska hartsi oli jo levitetty lujitteisiin ja ydinaineeseen.

Laminaatti kovettui odotetussa ajassa ja ilman hartsin tummumisia tms. kovetusvaurioita (kuva 12). Lauta irrotettiin muotista seuraavana päivänä ja irrotus onnistui hyvin. Laudassa oli vielä aika paljon viimeisteltävää ja maalattavaa. Pohja oli valmiiksi muottipinnalla, mutta kansi piti hioa ja maalata. Tein tässä projektissa kaksi lautaa, joista toinen oli tarkoitettu testikäyttöön ja toinen kuvaamaan sitä minkälainen mahdollisesta tuotantokappaleesta tulee. Lasikuitulaudasta tehtiin ulkonäöllisesti parempi. Lautaa hiottiin ja taimitettiin paljon enemmän. Lasikuitulauta maalattiin spraymaalilla. Kalliin automaalin käyttäminen olisi ollut turhaa, koska se ei olisi parantanut merkittävästi pinnanlaatua.



Kuva 11. Ydinaineen sovittelua muotin päälle



Kuva 12. Lauta alipainesäkissä laminoituna ja kovettumassa



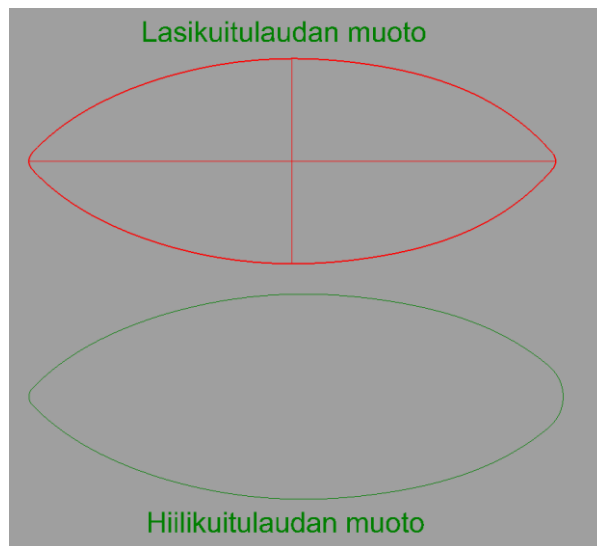
Kuva 13. Lasikuitulaudan kansi



Kuva 14. Lasikuitulaudan pohja

6.2.2 Hiilikuitulauta

Toista lautaa lähdettiin tekemään samalla tavalla kuin ensimmäistä. Toisen laudan kohdalla osattiin varautua ongelmiin, mitkä olivat tulleet selville ensimmäisellä kerralla. Hiilikuitulaudalle suunniteltiin uusi ulkomuoto. Toimeksiantajan mielestä ensimmäisen laudan perä oli liian terävä ja laudan pohjan tasainen osa oli liian lyhyt. Piirsin muutaman eri vaihtoehdon laudan ulkomuodoista ja niistä valitun laudan perä oli paljon pyöreämpi kuin ensimmäisen (kuva 15).



Kuva 15. Lautojen ulkomuotojen vertailua

Laudan muodot tulostettiin ja sahattiin samalla tavalla kuin ensimmäisen. Käytin samaa ydinainetta kuin aikaisemmassa, joten siitä irtoili reunan paloja ihan samalla tavalla. Nyt irronneet palaset otettiin talteen, että ne voitiin liimata laminoinnin yhteydessä. Laudan muotoilu onnistui hyvin, eikä siinä ilmennyt mitään uusia ongelmia. Toimeksiantajan toiveena oli muuttaa rokeria niin että perä nousee jyrkemmin ja tasainen osa on pidempi. Aikataulun rajoitteiden takia ei ollut aikaa tehdä uutta muotia, joten päädyin kompromissiin missä lautaa siirretään muotissa eteenpäin. Sillä saatiin n. 0,5-1 cm muutos taipumaan.

Laudan alareuna terävä kulma epäonnistui täydellisesti lasikuitulaudan kohdalla. Päätimme kokeilla pienen lisä ”muotin” lisäämistä taivutusmuottiin.

Sen pitäisi taata, että kuidut ja hartsit menevät myös kulmaan asti. Se toteutettiin polyesterihartsin ja talkin seostahnalla. Teippasin ydinainelevyn reunan maalarinteipillä ja käsittelin sen irrotusaineella. Hioin laudan kokoisen kaistaleen muotista, jotta hartsit tarttuisi siihen kiinni. Ideana oli tehdä hartsista koko laudan kiertävä reuna, jota vasten kuidut tulevat. Teippiä laitettiin vaahtolevyn reunaan muutama kerros, jotta kuidut mahtuvat laudan ja muotin väliin. Lauta teipattiin muottiin kiinni ja levitin hartsitahnan lastalla lautaa vasten. Se kovettui hyvin eikä muottiin tullut havaittavia muutoksia. Kovettunutta hartsia jouduttiin hiomaan ja höyläämään aika paljon. Lopputulokseen olin kuitenkin tyytyväinen (kuva 16).



Kuva 16. Suoran kulman muotti hiottuna

Materiaaleina toisessa laudassa oli hiilikuitu, polyesterikuitu eli dioleeni ja epoksihartsit. Dioleeniä en ollut käyttänyt aikaisemmin. Kuitujen asettelu

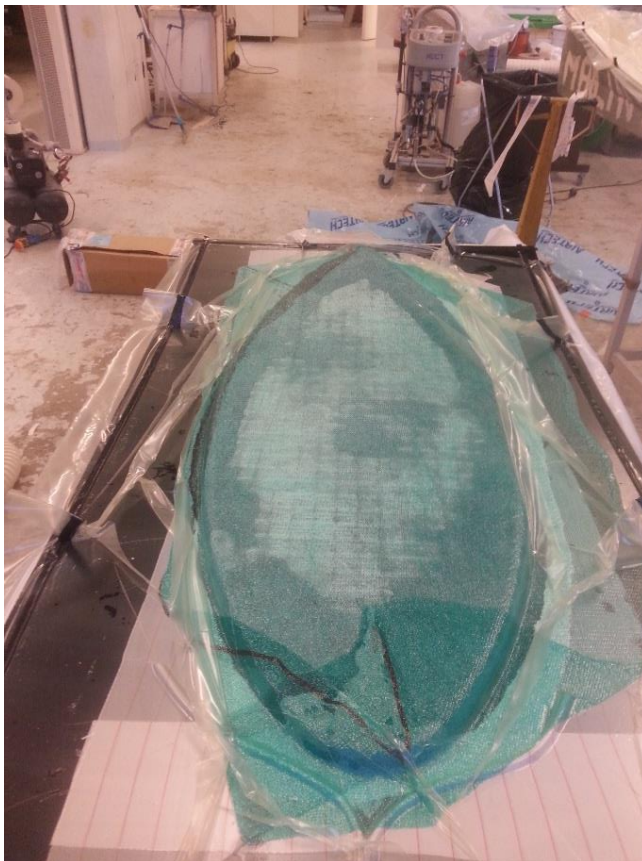
lautaan meni seuraavasti: Yksi kerros dioleeniä pohjaan ja lautaa vasten yksi kerros hiilikuitukangasta. Dioleenin tarkoituksena on ottaa mahdolliset iskut vastaan ja suojata hiilikuitua hajoamiselta. Laminoinnin valmistelu tehtiin samalla tavalla kuin lasikuitulaudan kohdalla, sillä erotuksella, että lujitteet päätettiin leikata vasta laudan päällä niin että ne tulevat suoraan rulialta. Sillä estettiin lujitepalojen venymiset ja muodonmuutokset ennen laminointia.

Epoksi hartsina on melko samanlaista käsitellä kuin polyesterihartsi. Sekoitussuhteet kovetteen ja hartsin välillä on erilaiset ja kovettumisaika käyttämälläni epoksilla on hieman lyhempi. Laminointi aloitettiin kastelemalla muotti epoksilla ja sen jälkeen ensimmäiseksi kerrokseksi aseteltiin dioleenikangas. Käyttämäni dioleeni oli valkoista. Luulin sen laminoitaessa muuttuvan lasikuidun lailla läpinäkyväksi. Näin ollen pohjaan olisi jäänyt hiilikuidun kuvio. Näin ei kuitenkaan käynyt vaan dioleeni jäi valkoiseksi. Se on täysin kosmeettinen seikka, joten sen huomattessani laminointia jatkettiin normaalisti. Dioleenin päälle tuli hiilikuitukangas ja hartsilla kasteltu ydinaine. Suorankulman muotin käyttö ja kulman onnistuminen olivat epävarmaa. Ydinaine asettui kuitujen kanssa lopulta hyvin muottiin. Kanteen tuli yksi kerros hiilikuitua. Hiilikuidun laminoinnin hankaluus on lujitteen kastumisen epävarmuus. Lasikuitu muuttuu läpinäkyväksi ja kuivat alueet näkyvät valkoisena. Hiilikuitu on mustaa kuivana ja märkänä. Tästä syystä epoksia käytettiin turhan paljon ja laudasta tuli suunniteltua painavampi. Hiilikuidun ja alipainesäkin väliin laitettiin samat kankaat/verkot, mitkä lasikuitulautaan. Lautaa laitettiin alipainesäkkiin ja testattiin tiiveys. Laminaatti alkoi kovettua ja alipaine jätettiin päälle yöksi (kuva 17).

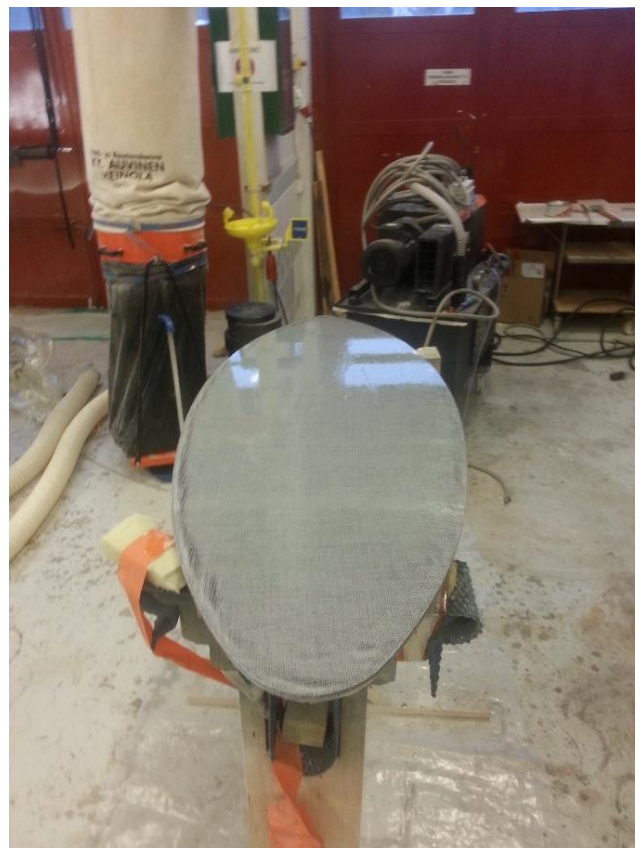
Kovettuneen hiilikuitulaudan irrotus muotista jännitti. Oli epävarmaa, miten lauta irtoaisi suorankulman muotista. Säkki ja muut kankaat sekä huovat revittiin ensin irti. Nopeasti selvisi, että lauta ei irtoaisi muotista niin että muotti säilyisi ehjänä. Ruuvit ruuvattiin auki ja lasikuitulevy revittiin kehikosta irti. Sen jälkeen levy käännettiin ylösalaisin ja parilla reippaalla iskulla lauta irtosi muotista. Polyesterihartsista tehty kulmamuotti irtosi laudan mukana

niin että se oli laudassa kiinni. Laudan reuna oli käsitelty ilmeisesti irrotusaineella huolimattomasti. Polyesterihartsin palaset irtosivat taltan ja vasaran avulla.

Laudan pohjassa oli paljon hyvin pieniä reikiä. Alipaine ei ilmeisesti ollut päässyt vaikuttamaan sinne kunnolla. Tein pohjalle ns. hotcoattauksen eli levitin pelkkää epoksin ja kovetteen sekoitusta pohjan päälle. Sen tehtävänä oli täyttää reiät ja tehdä pohjasta tasaisempi (kuva 18). Samaa menetelmää käytetään



Kuva 17. Hiilikuitulauta alipainesäkissä



Kuva 18. Kovettunut lauta odottaa pohjan korjausta

surf-lautojen käsinlaminoinnissa. Tiukasta aikataulusta johtuen laudan pinnanlaatu jäi paikoittain heikoksi. Lauta valmistui päivää ennen, kun se toimitettiin asiakkaalle.



Kuva 19. Valmis hiilikuitulauta



Kuva 20. Hiilikuitulaudan pohja



Kuva 21 Hiilikuitulaudan 3d-malli

Taulukko 3

Lasikuitulauta	
Lasikuitumatto	2 kerrosta Hexcell 202 g/m ² 2/2twill
Polyesterihartsi	Norsodyne H 13380 TAE
Ydinaine	Corecell M60

Taulukko 4

Hiilikuitulauta	
Hiilikuitumatto	200 g/m ² biaksiaali
Polyesterikudos	Dioleeni® 26K 265 g/m ²
Epoksihartsi	Axson RSF 816
Ydinaine	Corecell M60

6.3 Valmistustekniset ongelmat ja ratkaisut

6.3.1 Ennen valmistusta

Jo valmistusmenetelmän valinta tuotti aluksi paljon mietittävää. Koska tehtävänä oli valmistaa vähintään yksi prototyyppi, mitään suuria muotteja ei voinut lähteä rakentamaan. Lähes kaikki markkinoilla olevat aaltolaudat valmistetaan käsin laminoimalla ja sen jälkeen lauta laitetaan alipainesäkkiin. Ensimmäiset prototyypit päätettiin tehdä samalla menetelmällä. Laudan pohjan terävän reunan tiedettiin aiheuttavan ongelmia, koska komposiittirakenteissa teräviin reunoihin muodostuu helposti ilmakuplia. Terävässä kulmassa olisi tärkeää laudan lujuuden kannalta se, että kuitu jatkuu yhtenäisenä kulman yli. Se lisää pituusjäykkyyttä huomattavasti. Ydinainevahto oli infuusioon tarkoitettu.

6.3.2 Valmistuksen aikana

Laudan ulkomuodon sekä yläpuolen pyöristyksen saaminen symmetriseksi oli haaste. Ammatillaiset käyttävät apuna paljon erilaisia mittavälineitä lautojen symmetrian säilymiseksi. 3d-kuvasta olisi voinut tulostaa reunapyöristyksen kopioita ja verrata niitä aina työstön aikana. Ydinainevaahdon olisi voinut myös jyrsiä CNC-koneella.

Muovasin ydinainevaahtoa hiomapaperilla, pistosahalla ja mattoveitsellä. Vaahtolevyyn oli tehty ns. Double cut leikkaus. Sillä pyritään lisäämään levyn muovautumista eri muotoihin. Levy asettuikin hyvin helposti taivutusmuottiin. Leikkausviillot aiheuttivat ongelmia laudan reunan muokkausvaiheessa. Leikkausviillot ovat n.17 mm syviä ja levy on 20mm paksu. Kun reunaan hioi pyöreää muotoa, niin levyn reunasta irtoili isoja paloja pois. Valmistusvaiheessa piti päättää, että paikataanko kuopat kitillä vai yritetäänkö liimata palat sellaisenaan takaisin. Kuoppien paikkaamiseen kokeiltiin molempia keinoja ja todettiin, ettei kumpikaan tuota toivottua lopputulosta. Ainoaksi vaihtoehdoksi jää tulevaisuudessa valita sellainen ydinainelevy missä ei ole leikkausviiltoja.

Lasikuitulaudan kohdalla laudan terävä alareuna epäonnistui. Kulmaan jäi paljon ilmaa, koska säkki ja muut kankaat eivät painuneet kulmaan asti. Tämä aiheutti paljon korjaamista kovettumisen jälkeen. Lujitteet jouduttiin leikkaamaan lähes koko reunalta pois ja hiomaan vaahtoa pois. Kulmaan tehtiin epoksista ja katkotusta lasikuidusta seos. Valitsin epoksin sen parempien lujuusominaisuuksien takia ja laitoin kuitua siihen, että siitä tulisi vielä vahvempi. Tahnan levitys oli hankalaa, kun kuidut olivat niin isoina paloina. Myös laudan suojaaminen olisi pitänyt tehdä paremmin, koska kovettunut epoksi oli hankala saada laudan pinnalta pois.

Valmistusmenetelmää voisi muuttaa hieman tulevaisuudessa. Paremman lopputuloksen saamiseksi laudan voisi laminoida ja kovettaa ilman muottia. Ennen varsinaista laminointia vaahto laitettaisiin taivutusmuottia vasten ja siihen laminoitaisi yksi tai kaksi hiilikuitu-suikaletta keskelle. Sen tarkoituk-

sena olisi pitää laudan kaarevuus oikeana. Ensimmäisen vaiheen kovettamisen jälkeen koko lauta voitaisi laittaa säkkiin ilman muottia, jolloin alareunan suorakulma onnistuisi todennäköisesti paljon paremmin.

7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Prototyypilautoja ja valmistusta suunnitellessani totesin Joelille, että valmistuksen heille vähintään yhden laudan ja mahdollisesti kaksi. Halusin tehdä halvan sekä kalliin laudan. Sain molemmat tehtyä sellaiseen kuntoon, että niitä on mahdollista päästä kokeilemaan. Suunnitelmissa oli, että laudat olisivat lähteneet testiryhmän kanssa ulkomaille. Se ei valitettavasti toteutunut.

Vuoden 2016 Helsingin venemessuille oli rakennettu 40 metriä pitkä sisäallas. Siinä oli mahdollista kokeilla wakeboardausta ja muita vesilajeja paikalle rakennetun vaijeriradan avulla. Paikalle oli kerääntynyt alan ammattilaisia kokeilemaan rataa. Lautaa päästiin testaamaan altaalla ja palaute oli positiivista. Vaijerirata simuloi liikettä, kun lautaa vedettäisi veneen perässä. Palautteen perusteella lauta käyttäytyi hyvin ja sitä oli helppo käsitellä. Testaajien mielestä laudan paino oli pienempi kuin muiden valmistajien. Saatua palaute tuntui hyvältä, varsinkin kun lautaa lähdettiin suunnittelemaan ilman kokemusta. Toistaiseksi lautaa ei ole päästy kokeilemaan sen oikeassa käyttötarkoituksessa. Se tapahtuu mahdollisesti syksyllä/talvella 2016. Saatua palautteen perusteella lauta on helppo suunnitella uudelleen. Olen jos piirtänyt uuden rokkerin laudalle ja se voisi tulla seuraavaan lautaan.

Valmistuksen osalta monia asioita olisi voinut tehdä toisin. Valmisteluun ja laminoinnin suunnitteluun olisi pitänyt käyttää paljon enemmän aikaa, koska suurin osa ongelmista ilmeni esim. kun kovete oli jo sekoitettu hartsiin ja oli muutenkin kiire. Myös materiaaleista olisi voinut ottaa enemmän selvää. Olisi ollut mahdollista valita leikkaamaton vaahtolevy, jolloin reuna olisi pysynyt siistinä. Tämän kaltaisia asioita on luonnollisesti aina odotettavissa, kun tehdään uutta tuotetta uusien menetelmin. Kaikki valmistusmenetelmät

ja työstötavat olivat minulle entuudestaan tuttuja. Nyt kun asioista piti päättää itse ja valmistuksessa olivat ulkopuolisen henkilön rahat kiinni, niin se teki tilanteesta poikkeavan. Projektin dokumentointia (valokuvausta ja mui-
tiinpanoja) olisi pitänyt tehdä perusteellisemmin.

Taivutusmuotin voi jatkossa tehdä muuttuvaksi. Liimaamalla poikittaisia ri-
moja lasikuitulevyn takapuolelle muotista saa tukevan ja sellaisen missä
rokkeria saa muutettua. Muotin päissä voisi olla korkeussäädettävät ruuvit
mitkä nostavat ja laskevat etu- ja takapäätä.

Projekti jatkuu mahdollisesti tulevaisuudessa. Toimeksiantajayrityksellä on
tällä hetkellä joukkorahoituksen haku toisesta tuotteesta. Sen onnistuessa
tämän projektin lauttaa lähdetään jatkokehittämään ja tuote pyritään saa-
maan markkinoille.

LÄHTEET

Cagan, J. & Vogel, C. M. 2003. Kehitä kärkituote – Ideasta innovaatioksi.
Jyväskylä; Gummerus Kirjapaino Oy

Compositesworld. Closed moulding. Saatavissa: <http://www.compositesworld.com/knowledgecenter/closed-molding/Closed-Mold-Process/Resin-Transfer-Molding> [viitattu 10.4.2016]

Jacomp. Chemical products and other materials for industry. Saatavissa:
www.jacomp.fi [viitattu 10.4.2016]

Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. Aalto-yliopisto. Teknillinen korkeakoulu
Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf> [viitattu 15.4.2016]

Kevra. Advanced Composite Technology. Saatavissa: www.kevra.fi

Korpela, P. Ulos toimistosta. Reittiopas uusien tuotteiden tekijöille. Saata-
vissa: <http://ulos-toimistosta.fi/luku/tuotekehitys/> [viitattu 5.4.2016]

Kurri, V., Malèn, T., Sandell, R & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perus-
teet. Opetushallitus

Pitkäaho, M. 2015. Projektipäällikkö. Haastattelu 18.9.2015. Kotka: Kymen-
laakson ammattikorkeakoulu

Raivio, J. 2015. Yrittäjä. Haastattelu 23.7.2015. Helsinki

Saarela, O., Airasmaa, I. Kokko, J., Skirfvars, M & Komppa, V 2007. Komposiittirakenteet. Helsinki: Muoviyhdistys Ry

Skimonline. Basics of skimboarding. Saatavissa: <http://skimonline.com/basics/> [viitattu 10.4.2016]