

Marko Minkkinen

Kevytrakenteiden käyttö hissitekniikassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutus-
ohjelma

Insinööriyö

23.8.2017

Tekijä(t) Otsikko	Marko Minkkinen Kevytrakenteiden käyttö hissitekniikassa
Sivumäärä Aika	34 sivua 23.8.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Projekti-insinööri Joel Kontturi Platform & Safety Manager Markku Haapaniemi
<p>Insinööriyön tavoitteena oli tutkia ja pohtia kevytrakenteiden käyttöä hissitekniikassa. Työ tehtiin Kone Oyj:n tilauksesta. Työssä teoreettisen tutkimuksen lisäksi valmistettiin prototyyppi osasta hissien slingiä. Prototyyppi nimettiin platformiksi ja sen oli määrä olla hissien rakenteellinen osakokonaisuus, johon kiinnitetään hissien toiminnan kannalta tärkeitä komponentteja.</p> <p>Prototyyppi suunniteltiin valmistettavaksi hiilikuitukomposiittikerroslevyrakenteeksi, joka olisi sarjatuotantoon soveltuva ja sopisi moneen hissimalliin.</p> <p>Prototyyppiä testattiin Kone Oyj:n omissa tiloissa yhtiön omalla testilaitteistolla. Testauksella pyrittiin selvittämään, suoriutuuko prototyyppi suunnitellusti siihen käytössä kohdistuvista kuormituksista. Prototyypin valmistus onnistui suunnitellusti, ja se kesti testin kuormitukset erinomaisesti.</p> <p>Työssä löydettiin kevytrakenteiden käytölle perusteltuja hyötyjä ja mahdollisille uhille ratkaisuja.</p>	
Avainsanat	Kevytrakenteet, hissi, komposiitti

Author(s) Title	Marko Minkkinen Use of Lightweight Structures in Elevator Technology
Number of Pages Date	34 pages 23 Aug 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Joel Kontturi, Project Engineer Markku Haapaniemi, Platform & Safety Manager, Kone Oyj
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to study and discuss the use of lightweight structures in elevator technology. This thesis was commissioned by Kone Oyj.</p> <p>First the theoretical background for the thesis was studied. After that a prototype was designed and manufactured from a section of an elevator sling, which was named platform. The platform was meant to be a structural assembly, in which the components that are crucial for the function of the elevator were fastened to.</p> <p>The prototype was designed to be manufactured as a carbon fiber composite sandwich structure, that would be suitable for mass production and fit in a variety of elevator models. The prototype was tested in Kone Oyj facilities using the company's own test equipment. The goal with the testing was to find out if the prototype could perform as planned while being loaded with the loads that occur in its use. Manufacturing of the prototype succeeded, and it withstood the loads of the test exceptionally well.</p> <p>Many justified benefits as well as solutions for possible threats were found for the use of light weight structures in this thesis.</p>	
Keywords	Light weight structures, elevator, composite

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kevytrakenteet	2
3	Hyödyt hissitekniikassa	3
3.1	Työturvallisuus	3
3.2	Energiatehokkuus	3
3.3	Logistiikka- ja asennuskustannukset	4
3.4	Osien yksinkertaistuminen	4
4	Ongelmat ja haasteet hissitekniikassa	5
4.1	Väriinät	5
4.2	Kustannukset	5
5	Ratkaisuja	6
5.1	Väriinät	6
5.2	Kustannukset	6
5.3	Yhteenveto	7
6	Suunnittelu	8
6.1	Vaatimukset	8
6.1.1	Tarrain	9
6.1.2	Liukuohjain	9
6.1.3	Puskurin vastinpinta	9
6.1.4	Köysipyörä	9
6.2	Suunnittelutyö	10
7	Prototyypin valmistus	14
7.1	Muotin valmistus	14
7.2	Hiilikuituisten kuorien valmistus	15
7.3	Ydinaineen valaminen	18
7.4	Kokoonpano	20

8	Testaus	22
8.1	Testauksen suunnittelu	22
8.2	Testauskehikon suunnittelu ja kokoonpano	22
8.3	Testaus	26
8.4	Tulokset	30
8.5	Tulosten analysointi	30
9	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on tutkia kevytrakenteiden käyttöä hissitekniikassa sekä hissien osien sulauttamista yhtenäisiksi kokonaisuuksiksi. Työn tilaajana on Kone Oyj, joka on yksi maailman suurimpia hissivalmistajia. Hissitekniikassa on pitkään tarvittu ylimääräistä massaa luomaan tarvittava kitka köysipyörien ja hissien vaijereiden välille. Nykytekniikalla on päästy tuosta tarpeesta eroon ja osien keventämiselle on avautunut mahdollisuus ja tarve energiatehokkuuden merkityksen kasvaessa kilpailevilla markkinoilla.

Kevytrakenteiden soveltuvuutta tutkitaan sekä teoreettisesti että käytännössä valmistamalla prototyyppikappale platformiksi nimetystä osakokonaisuudesta, tutkimalla sen valmistuksellisia seikkoja ja valmiin kappaleen ominaisuuksia sekä suorituskykyä. Tavoitteena prototyypin valmistuksessa on tutkia uudenlaisia valmistustekniikoita ja niiden toimintaa prototyypin tai sarjatuotteen valmistuksessa sekä prototyypin suorituskykyä käytännössä.

Työssä käydään läpi kevytrakenteiden teoriaa yleisellä tasolla ja pohditaan niiden käyttöä hissitekniikassa hyötyjen sekä haasteiden kannalta hakien ratkaisuja haasteisiin. Työssä lähestytään konseptia käytännön suunnittelun ja valmistuksen kannalta suunnitteleamalla ja valmistamalla prototyyppikappale, jonka suorituskykyä testataan kuormituskokeessa. Prototyyppi suunniteltiin ja valmistettiin tuomaan ymmärrystä sekä lisäideoita käytännön kokeilukulttuurin mukaisesti. Prototyypin valmistuksessa syntyikin uusia oivalluksia ja löytyi uusia haasteita, joista on hyötyä konseptin jatkokehityksessä.

Työn tilaaja Kone Oyj on suomalainen hissi- ja liukuporrasvalmistaja, joka lukeutuu alansa johtaviin yrityksiin. Kone Oyj tarjoaa asiakkailleen edistyksellisiä hissejä, liukuportaita ja automaattioivia sekä niiden huoltoa ja modernisointia. Kone Oyj:stä on vuosien saatossa muodostunut Suomessa merkittävä teollisuuden toimija, jolla on yritystoimintaa maailmanlaajuisesti.

2 Kevytrakenteet

Kevytrakenteella tarkoitetaan painon ja lujuuden suhteen optimoitua rakennetta. Kevytrakenteiksi mielletään usein vain ultrakevyet lentokonetekniikan tai urheiluvälinetekniikan rakenteet, vaikka kevytrakennefilosofian mukaan suunnitellut kokonaisuudet voivat olla massaltaan raskaitakin. Esimerkiksi monet sillat ovat oiva esimerkkejä kevytrakennetekniikasta, vaikkakin ne painavat useita tuhansia tonneja. Kevytrakennetekniikassa tavoitteena onkin optimoida rakenne toimimaan tarkkaan määritetyllä tavalla ja suoriutumaan halutulla tavalla siihen kohdistuvista voimista ja kuormista.

Kevytrakennetta parhaiten kuvaava ja laajalti käytetty esimerkki on kerroslevyrakenne. Kerroslevyrakenne perustuu levymäisen kappaleen jännitys jakaumaan taivutuksessa. Siinä suurimmat jännitykset kohdistuvat kohtisuoraan kuormaa kohden oleviin pintoihin. (Rautalin 2016: 11.)

Kerroslevyrakenteessa levy koostuu vähintään kahdesta eri materiaalista, pintamateriaalista ja ydinaineesta. Ydinaineen tarkoitus on kestää levyn keskelle syntyviä leikkausvoimia ja olla mahdollisimman kevyenä täyteaineena pintamateriaalien välissä ja sitoa rakenne yhteen. Pintamateriaalin on tarkoitus olla mahdollisimman lujaa ja kestää pintaan syntyviä veto- tai puristusjännityksiä. Kerroslevyrakenteessa ydinaineen vetolujuus on usein niin paljon huonompi kuin pintamateriaalin, joten jännitykset keskittyvät käytännössä kokonaan pintamateriaaleille. Tämä on kuitenkin helposti torjuttava ongelma, sillä levyn jännitys jakauman keskitty jo muutenkin pintoihin, jolloin ydinaineen heikkoudessa menetetty lujuus ei juurikaan muuta pintamateriaalien näkemiä jännityksiä. (Saarela ym. 2003: 284.)

Kevytrakenne on laaja käsite ja sisältää lukemattomia rakenne- ja materiaaliratkaisuja. Kevytrakenteita käytetään luonnollisesti painonsäästöissä, mutta monesti myös materiaali- ja kustannussäästöissä. Useimmissa tapauksissa optimoitu ja kevennetty rakenne on halvempi pienentyneiden raaka-ainekustannusten tai esimerkiksi logistiikan helpottumisen takia.

3 Hyödyt hissitekniikassa

Hissitekniikassa harvemmin törmätään kevytrakenteisiin johtuen hissien toiminnan kannalta tärkeästä massan tarpeesta. Perinteinen hissitekniikka tarvitsee ylimääräistä massaa luomaan normaalivoimaa vetopyörästään, jotta vaijereiden ja vetopyörien välinen kitka saadaan optimaaliselle tasolle. Nykytekniikalla kitkaongelmasta on päästy ja mahdollisuudet komponenttien keventämiseen ovat auenneet. Jotkut valmistajat ovatkin alkaneet tutkia kevytrakenteiden käyttöä hissien koreissa (Prototype first lift made out of composite materials launched 2017).

3.1 Työturvallisuus

Yksi huomattava hyöty osien kevennyksessä on hissiasentajien työolojen ja työturvallisuuden parantuminen. Kevyemmät osat helpottavat rakennustyömaalla tai huoltokohteissa toimimista, vähentäen mahdollisesti tarvetta nostimille tai muille asennustyökaluille. Kevyemmät osat ovat helpompia kannatella hissikulussa, jossa työskentely on jo muutenkin riskialtista, sekä kuljettaa rakennuksen sisällä kohteeseen. Helpottunut asennustyö ja tarvittavien työkalujen määrä lyhentää asennus- ja huoltoaikaa ja pienentää asentajien fyysistä kuormitusta.

3.2 Energiatehokkuus

Hissin kokonaismassan keventyessä voidaan hissiin valita pienemmät koneistot. Pienempien koneistojen energiatehokkuus on parempi ja energiankulutus saadaan näin vähemmän. Hissin rakenteita keventämällä saataisiin energiasäästöjä koko sen elinkaaren ajalta ja hissistä entistä ympäristöystävällisempi tuote. Kevyemmät rakenteet mahdollistavat kevyemmän köysistön, joka dynaamisena kuormana tuo turhaa energiahukkaa hissien toimintaan. Lisäksi jarrutettavien massojen pienentäminen säästää jarruvastusten kautta hukattavaa energian määrää. (Matikka 2013: 42.)

3.3 Logistiikka- ja asennuskustannukset

Osien kevennys helpottaisi myös logistiikkaa keventämällä pakkausten painoa ja mahdollistaen näin mahdollisen päällekkäin pinoamisen. Työmaalla osien liikutteluun ei tarvittaisi niin raskaita koneita ja huoltohenkilöt voisivat kuljettaa itse osia kohteeseen. Lentorahdille kevennyksellä olisi kaikkein merkittävin hyöty polttoainekustannuksien pienentämisessä tai rahtikapasiteetin kasvattamisessa.

Osien keventyessä voitaisiin osista tehdä samalla isompia kokonaisuuksia, joissa olisi useita toimintoja samassa. Näin voitaisiin pienentää entisestään asennusaikaa ja säästää asennustyövoiman kustannuksissa.

3.4 Osien yksinkertaistuminen

Kevyempi hissi sallii kevyemmät ripustukset kestääkseen kuormitusta. Myös jarrutusvoimat pienentyvät antaen mahdollisuuden pienentää jarrulaitteita. Tarrauksilanteessa tarraimelle kohdistuvat voimat olisivat pienempiä, jolloin tarrain voitaisiin mitoittaa pienemmäksi. Hissin komponenttien keventyminen ja hissin kokonaismassojen pienentäminen vähentäisi rasitusta kuilun rakenteisiin hätäjarrutustilanteissa tai puskurille ajoissa. Hissin sivuttaisliikkeen aiheuttamat voimat olisivat pienempiä, jolloin hissin johteita voitaisiin pienentää. Tässä voisi olla mahdollisuus suuriin säästöihin materiaali- ja asennuskustannuksissa. Osien kevennys aiheuttaa lumipalloefektin mahdollistaen aina seuraavankin osan keventämisen, ja näin ollen keventäminen on perusteltua kustannusten säästöä.

4 Ongelmat ja haasteet hissitekniikassa

4.1 Värinät

Värinät ovat hissien käyttäjän kannalta merkittävä tekijä matkustusviihtyvyyden ja hissien laadun kannalta. Hissi on osalle matkustajista pelottava paikka ja kaikki epäluottamusta herättävät äänet ja liikkeet tunnetaan ahdistavina ja matkustusmukavuutta heikentävänä tekijänä. Kun hissien kokonaispaino pienenee, muuttuvat värinät entistä huomattavammiksi ja niiden taajuudet ärsyttävämmiksi. Värinöitä voidaan torjua parantamalla johde- laatua tai asennustarkkuutta. Hissien keventäminen ei kuitenkaan saisi vaikeuttaa muiden osa-alueiden työmäärään tai kustannuksiin, mistä johtuen kevyet komponentit pitää suunnitella niin, etteivät ne itsessään toimi matkustusmukavuutta heikentävänä tekijänä.

4.2 Kustannukset

Kevytrakenteiden suunnittelu ja valmistus on monissa tapauksissa työläämpää ja kalliimpaa kuin hissitekniikassa on totuttu. Keventäessä mitä tahansa osaa törmätään kustannusten progressiiviseen kasvuun, jolloin jokainen lisää kevennetty kilo maksaa enemmän kuin aikaisemmat. Tämä johtuu keventyneen osan tarpeesta säilyttää mekaaninen lujuus, joka johtaa monimutkaisempaan konstruktion tai erikoisempaan materiaaliin. Osan painon optimoiminen tarpeeksi pitkälle vaatii myös monimutkaisempaa suunnitteluprosessia ja työkaluja, jotka lisäävät kustannuksia. Kasuvat suunnittelukulut nostavat piensarjatuotteiden kustannuksia ja näin ollen rajoittavat tuoterepertuaarin joustavuutta.

5 Ratkaisuja

5.1 Väriinät

Kevytrakenteiden värinänvaimennus on haaste, johon rakenteita käyttäessä monesti törmää. Tähän ongelmaan autoteollisuus on hakenut ratkaisuja ja löytänytkin niitä. Erityisesti hiilikuitukomposiittisia osia käytettäessä värinät tulevat ongelmallisiksi hiilikuidun pienestä sisäisestä vaimennuksesta johtuen. Yksi ratkaisu on lisätä komposiittirakenteeseen viskoelastinen kerros, esimerkiksi kumi, jossa on luonnostaan hyvä sisäinen vaimennus (Elmarakbi 2014: 372). Lujitekuituina voidaan myös käyttää luonnonkuituja, joilla on hyvä parempi vaimennuskyky muihin yleisimmin käytössä oleviin kuituihin verrattuna (Saarela ym. 2003: 99).

5.2 Kustannukset

Kustannusten kasvun pitämiseen kurissa siirryttäessä kevytrakenteisiin löytyy mahdollisuuksia materiaalivalinnoista, osien standardoinnista ja valmistusmenetelmien valinnasta. Muotojäykisteisellä ohutlevytuotteella suunnittelun ja valmistuksen kustannuksia voidaan kompensoida pienentyneissä raaka-ainekustannuksissa. Komposiittiosissa eri materiaaleja voidaan sijoittaa paikkoihin, joissa niiden ominaisuuksia tarvitaan, ja näin säästää materiaaleissa. Kevytrakenteita käytettäessä osien standardoinnilla on korostunut merkitys, koska näin sarjojen kokoa voidaan kasvattaa ja kompensoida suunnittelu- ja työkalukustannukset.

Muotojäykistettyjen ohutlevytuotteiden valmistuskustannukset ovat monessa tapauksessa pienemmät kuin komposiittituotteiden. On kuitenkin olemassa komposiittivalmistustekniikoita, jotka pystyvät jo kilpailemaan kappalekustannukseltaan sarjatuotannossa, esimerkiksi SMC (Elmarakbi 2014: 55). Ohutlevyjen muovaukseen tarvittavien työkalujen kustannukset tosin ovat suuremmat kuin komposiittisen vastaavan osan valmistukseen tarvittavien. Näin ollen komposiittisella osalla saatetaan saavuttaa säästöjä tuotannossa verrattuna ohutlevytuotteeseen. Komposiittisten osien tuotantokustannukset ovat muovattuja ohutlevyosia pienemmät, kun sarjakoot pysyvät kymmenissä tuhansissa. Jos

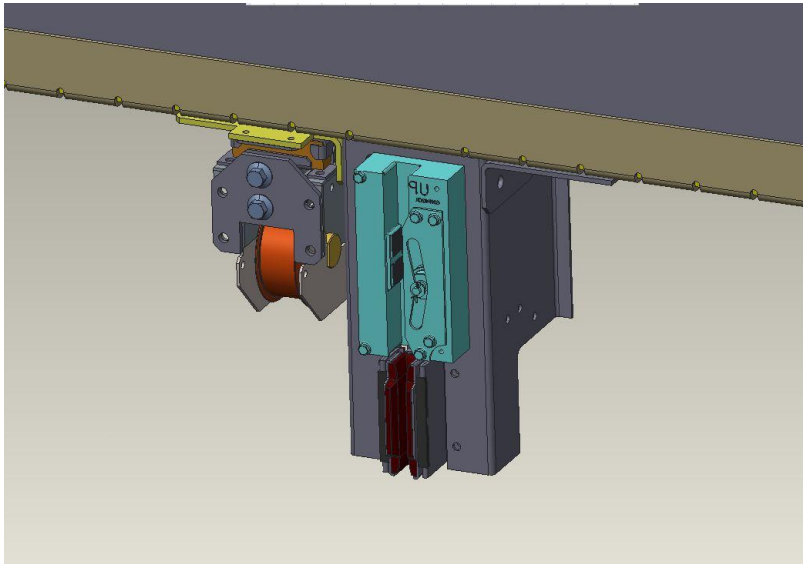
sarjakoko kasvaa 50 000 kpl:seen/vuosi, tulee muovattu ohutlevy halvemmaksi menetelmäksi johtuen pienemmistä raaka-ainekustannuksista. (Elmarakbi 2014: 48.) Hiilikuitukomposiittien hinnan laskemiseksi on alettu tehdä töitä autovalmistajien toimesta, ja sen onnistuminen vapauttaisi hiilikuidun käytön laajemmassa mittakaavassa teollisuudessa (Elmarakbi 2014: 428).

5.3 Yhteenveto

Kevytrakenteiden käyttö tehokkaasti hissitekniikassa vaatisi osien kirjon pienentämistä minimiin, jotta kasvaneet suunnittelukustannukset pysyisivät mahdollisimman pieninä. Kevennyksestä saavutettu hyöty toisi sekä välitöntä että pitkän aikavälin kustannussäästöä.

6 Suunnittelu

Kevytrakenteiden käyttöä hissitekniikassa lähdettiin tutkimaan suunnittelemalla ja valmistamalla prototyyppi. Suunnittelutyön kohteeksi valikoitui osa hissien kannatuskehystä eli slingiä. Slingi on hissien ympärillä oleva kehikko, joka kantaa kaikki hissiin kohdistuvat kuormitukset. Slingiin kiinnitetään hissien kori sekä muut toimilaitteet. Nykyään slingi muodostuu monesta raskaasta teräksestä leikatusta ja taivutetusta osasta, jotka pultataan kasaan. Vanhat versiot edustivat perinteistä hissien rakennustekniikkaa, jossa massan säästöllä ei ollut suurta painoarvoa (kuva 1). Tähän rakenteeseen käytettäväksi haluttiin tutkia uutta tekniikkaa, jossa säästyisi painoa, sopisi sarjatuotantoon ja sisältäisi uusia ideoita hissien rakentamiseen. Suunnittelutyön kohteeksi rajattiin slingin alakulma, jossa sijaitsee suurin osa toimilaitteista, kuten tarrain, liukukenkä ja köysipyörä. Kyseistä suunniteltavaa slingin osakokonaisuutta päätettiin kutsua platformiksi.



Kuva 1. Vanha platform

6.1 Vaatimukset

Platformin tulisi olla kevyt ja kestävä monenlaisesta rasituksesta sekä toimia hissien rakenteellisena osana. Sen tulisi olla liityntäpintana hissien turva- ja toimilaitteille sekä välittää niihin kohdistuvat voimat hissien rakenteisiin. Platformin tulisi olla yksi osa, jossa yhdistyisi aikaisemmin monesta eri osasta koottu rakenne ja niiden toiminta. Platformin suunnittelua ohjaavat tarjolla oleva tila sekä toimilaitteiden aiheuttamat vaatimukset. Platformiin kiinnitettävät toimilaitteet ja niiden vaatimukset ovat seuraavanlaisia.

6.1.1 Tarrain

Tarrain on hissin putoamis- tai ylinopeustilanteessa toimiva turvalaite. Tarrainta käyttää nopeudenrajoitin, joka tunnistaessaan hissin ylinopeuden kytkee tarraimen päälle. Kytettynä tarrain tarttuu hissin johteeseen kiinni pysäyttäen sen ja estäen sen tahattoman liikkeelle lähdön. Tarrain on kiinnitettynä hissin slingiin, sillä toimiessaan se aiheuttaa suuria rasituksia hissin rakenteisiin. Platformia suunniteltaessa tarraimen kiinnitys ja sen aiheuttamat kuormitukset pitää ottaa huomioon

6.1.2 Liukuohjain

Liukuohjain ohjaa hissiä johteillaan ja estää hissin liikkumisen sivuttain. Liukujohteelle suurimmat voimat syntyvät lastauksen aikana, kun hissin matkustajat siirtyvät hissiin tai sieltä pois. Hissin johteet ovat erittäin suorat eivätkä juuri aiheuta hissille sivuttaisia voimia ajon aikana. Vastapainon ohittaessa hissikoriin syntyy paineisku, joka heiluttaa koria sivusuunnassa, mutta tämä muodostuu huoleksi vain erittäin nopeissa hisseissä. Platformin rakenteelle liukuohjaimen muodostava vaatimus on ainoastaan sille muodostettava kiinnityspaikka ja tilavaraus.

6.1.3 Puskurin vastinpinta

Hississä puskurin tarkoitus on pysäyttää hissi, mikäli se jostain syystä karkaisi liian alas. Puskurille ajo on hissin turvalaitteiden aiheuttamista rasituksista suurin ja se vaatisi platformin rakenteelta eniten. Puskurin vastinpintojen tulisi mitoittaa kestävä puristavaa voimaa, joka on hissin kokonaismassa kerrottuna kolmella 1 G:n kiihtyvyydessä. Kohdehissin tapauksessa puskuireita on kaksi ja yhdelle puskurille laskettu mitoitusarvo on noin 18100 N.

6.1.4 Köysipyörä

Köysipyörät kannattelevat hissiä ja sen kuormaa koko ajan. Köysipyöriin kohdistuvat voimat syntyvät jarrutustilanteissa, joissa hidastuvuuden maksimi rajaksi on asetettu 1 G. Tätä rajaa ei saa normaalissa jarrutustilanteessa ylittää, sillä se saattaa aiheuttaa matkustajille epämukavuutta. Köysipyörä aiheuttaa 45°:n kulmassa olevaa voimaa hissin kulkusuuntaan nähden. Se on suuruudeltaan $1230 \text{ kg} \times 1 \text{ G} = 12066,3 \text{ N}$. Platformissa

tulisi olla köysipyörälle kiinnityspiste, joka kestäisi tuon voiman jaettuna kahdelle pyörälle eli 6033,15 N.

6.2 Suunnittelutyö

Prototyyppiä lähdettiin suunnittelemaan tutkimalla kriteereihin sopivia valmistusmenetelmiä ja materiaaleja. Sarjatuotannossa mahdollisista kevytrakenteisiin sopivista valmistusmenetelmistä valikoitui kilpaileviksi menetelmiksi kolme: ohutlevyn syväveto, SMC-komposiitti tai kalvopuristekomposiitti. Näitä valmistusmenetelmiä lähdettiin tutkimaan tarkemmin, jotta niistä löytyisi paras menetelmä valmistaa prototyyppi.

Syväveto on ohutlevyn muokkausmenetelmä, jossa painimella painetaan aihio vetolevyn läpi. Näin aihio muovautuu painimen muodon mukaan. Materiaalin paksuus ei oleellisesti muutu syvävedon aikana vaan materiaali virtaa työkalun läpi muotoonsa. Syvävedossa ohutlevy muokkaus lujittuu, jolloin muovatun kappaleen materiaali on lujempaa kuin aihion. (Matilainen ym. 2010: 220.)

SMC eli Sheet Moulding Compound on komposiittituotteiden sarjatuotantomenetelmä, jossa levymäinen kertamuovimassa asetetaan kuumapuristusmuottiin, jossa massa virtaa muotin sisällä täyttäen sen ja kovettuen. SMC-menetelmän työkalukustannukset ovat pienemmät kuin vastaavan metalliesineen. (Saarela ym. 2003: 136.) Menetelmällä saadaan mittatarkkoja osia 30 - 150 sekunnin syklijajalla (Saarela ym. 2003 :182).

Kalvopuristuksessa prepreg-kalvo muovataan avomuottiin ylipaineen avulla. Näin saadaan monimutkaisia ohutseinäisiä kappaleita nopealla syklijajalla. Kalvopuristuksessa materiaalikustannukset ovat korkeat prepreg-kalvojen korkean hinnan takia. (Saarela ym. 2003: 183.)

Prototyyppiä lähdettiin suunnittelemaan ja mallintamaan kaikki kolme valmistustekniikka mielessä. Kappaleen muodot määräytyivät suurimmaksi osin käytettävänä olevan tilan ja liitettävien komponenttien vaatimien ominaisuuksien mukaan. Kaikkien valmistustekniikoiden vaatimukset kappaleen muodolle olivat samankaltaisia, joten rakenteeksi valikoitui ammemainen kerroslevyrakenne (kuva 3). Kerroslevyrakenteen etuina oli molempiin menetelmiin sopiva rakenne. Ainoastaan pintalevy vaihtuisi, mikäli valmistustek-

niikkaa vaihdettaisiin. Kerroslevyt ovat hyvin jäykkiä rakenteita, joissa materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa kappaleen suorituskykyyn ja ominaisuuksiin. Tämä mahdollistaa saman tekniikan käytön monessa kohteessa, jossa on eri käyttötarkoitukset ja vaatimukset osille.

Kerroslevyrakenteen ydinaineeksi valittiin polyuretaanivahto, koska se soveltuu hyvin sarjatuotantoon nopean kovettumisajan vuoksi. Polyuretaanivahto on kaksikomponenttista solumuovia, jonka komponentit sekoituessaan reagoivat keskenään saaden aikaan vaahtoutumisen ja kovettumisen. Polyuretaaniliimaa hyvin monia materiaaleja ja näin saisi aikaan lujan liitoksen kuorien välillä. Polyuretaani kuitenkin tulisi vaihtaa tulevaisuudessa toiseen materiaaliin, sillä sen kovetteen epäillään olevan karsinogeeni (Käyttöturvatielä UK5400 2017: 2).

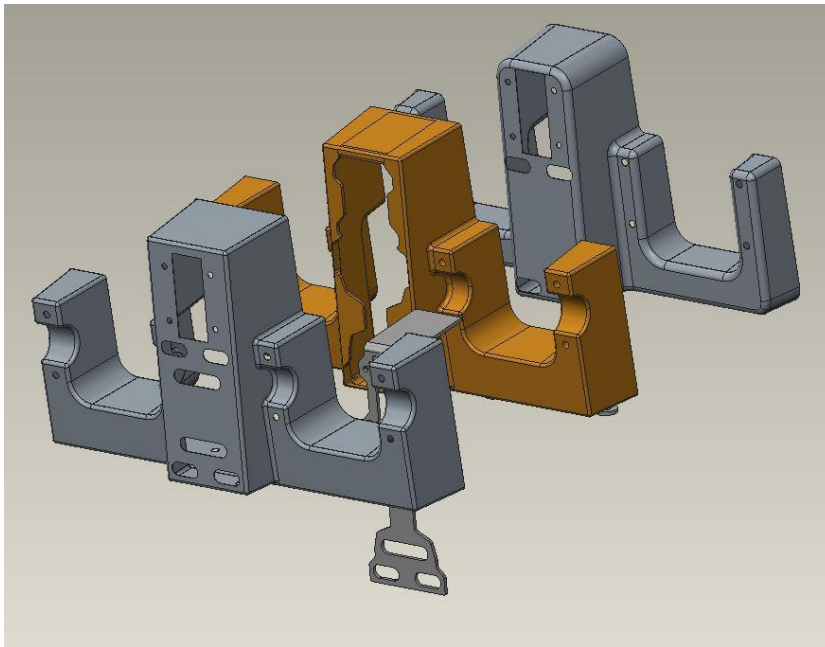
Syvävedettävän version pintalevyksi alustavasti ajateltiin puoli millimetriä ohutta ja lujaa peltiä, johon saataisiin muokkauslujittumisella lisäjäykkyyttä. Syvävedetyt peltikuoret liimattaisiin toisiinsa kevyellä vaahtomaisella ydinaineella, joka valettaisiin kotelorakenteen sisään. SMC-komposiittista valmistettavassa versiossa rakenne olisi sama, mutta kuorien seinämäpaksuus kasvaisi vähintään 2 millimetriin mahdollistaakseen materiaalin virtauksen puristusmuotissa. Kalvopuristuksessa voitaisiin pitää kuorien paksuudet samana kuin syvävedettävässä.

Suunnittelussa huomattiin syvävedon tulevan turhan haastavaksi valmistaa tuotteena sen muotoisena kuin kappale oli muodostunut. Kappaleen muotoja pitäisi muokata niin paljon, että kiinnitettävien komponenttien sijaintia jouduttaisiin muuttamaan. Tämä ei olisi ollut mahdollista, sillä se olisi tarkoittanut koko kohdehissin uudelleensuunnittelua. Syvävedettävässä kappaleessa päästökulmien olisi täytynyt olla niin suuret, että kotelon reunat olisivat jääneet liian pieniksi ja rakenteen kantavuus romahtanut. Lasketuksi rajavetosuhteeksi prototyypin uloimpiin haaroihin tuli tulokseksi n. 8, joka tarkoittaisi useita vetoja ja kalliita työkalukustannuksia. (Pelimanni 2014: 14.)

Lisäksi prototyypin valmistaminen olisi ollut mahdotonta millään menetelmällä, joka olisi ollut kustannusmielessä järkevää. Näistä syistä päätettiin syvävedettävästä versiosta luopua. Jäljelle jääneen SMC- ja kalvopuristekomposiittimenetelmien kohdalla valmistustekniikat ovat huomattavasti sallivampia muotojen suhteen. Näin ollen kappaleen

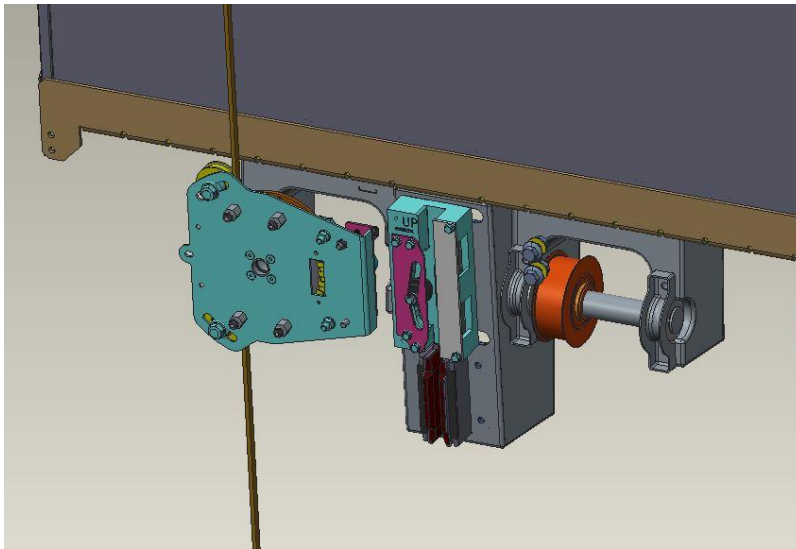
päästöt voitiin pitää tilaan sopivina. Suunnittelun kannalta molemmat menetelmät toimivat suunnittelussa muodossa ilman muutoksen tarvetta, oli valmistustekniikkana niistä kumpi vain.

Kappaleesta tehtiin symmetrinen, jotta se sopisi hissien kummallekin puolelle. Platformi suunniteltiin niin että sitä voisi käyttää myös monessa eri mallisessa ja eri kokoisessa hississä. Ulkokuoren muodot olivat pitkälti määräytyneet aikaisemmassa vaiheessa. Sisäkuoresta päätettiin tehdä yksinkertaisemman muotoinen erilaisilla geometrioilla, jotta saataisiin kerroslevyrakenteelle paksuutta niihin kohtiin jotka joutuisivat suurimmalle kuormitukselle. Etenkin vaijeripyörän kiinnityskohdan varresta tehtiin jyrkä, jotta se kestäisi mahdollisimman hyvin siihen kohdistuvaa kuormitusta. Tarraimen liitäntäpinta oli haastavin kohta kappaleesta, sillä tarraimeen kohdistuvat voimat välittyisivät prototyyppiin puristavina kuormina kerroslevyrakenteen ydinaineeseen ja pintalevyihin pintojen suuntaisesti. Kyseinen kuormitus on erittäin haastava kerroslevylle, eikä rakenne tulisi kestävään kuormituksessa. Tämä ratkaistiin lisäämällä teräsinsertti liitäntäpinnan alueelle (kuva 2). Tämä insertti korvasi ydinaineen kyseiseltä alueelta antaen rakenteelle puristuskestävyyttä. Lisäksi insertistä taivutettiin vahvikelappu puskurin vastinpinnan alueelle vahvistamaan rakennetta.



Kuva 2. Uuden platformin räjäytyskuva

Kun lopullinen muoto ja rakenne kappaleelle oli muodostunut (kuva 3), alkoi prototyypin valmistamisen suunnittelu. Kumpikin jäljellejääneistä valmistustekniikoista vaatisi liian suuret työkalukustannukset prototyypin valmistukseen. Näin ollen prototyyppi päätettiin valmistaa alipaineinfuusiolla. Alipaineinfuusiossa kappale valmistetaan avoimella muotilla, joista toinen muottipinta korvataan alipainesäkillä tai muulla joustavalla muottipuoliskolla. Matriisiaine imetään muotin sisään alipaineen avulla. (Saarela ym. 2003: 167.) Alipaineinfuusio vaatii paljon käsitöitä eikä sovellu suurien sarjojen valmistusmenetelmäksi. Pienten työkalukustannusten johdosta menetelmä soveltuu yksittäiskappaleiden ja prototyyppien valmistukseen. Kyseisessä menetelmässä päästäisiin lähelle kummankin tuotantomenetelmän valmiin tuotteen ominaisuuksia ilman kalliita laitekustannuksia.



Kuva 3. Uusi platform paikoillaan.

7 Prototyypin valmistus

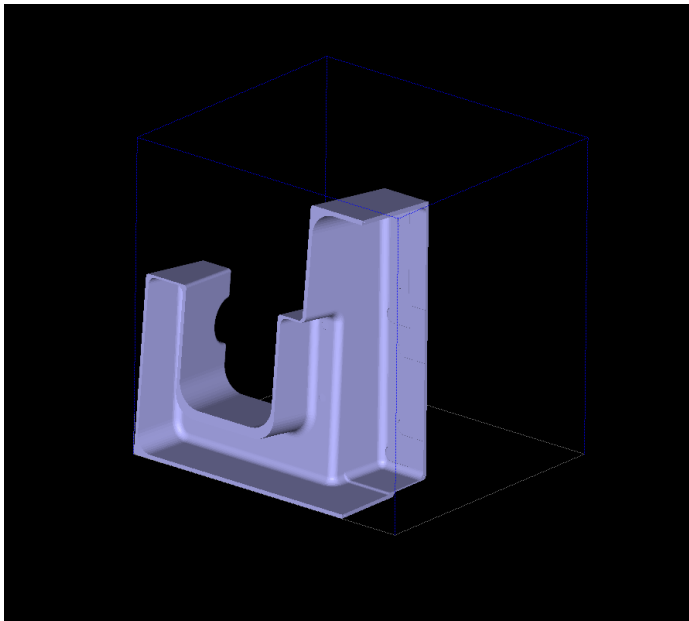
Prototyyppi päätettiin valmistaa hiilikuitukomposiitista, koska komposiittien valmistustapa soveltuu erinomaisesti pienten sarjojen ja yksittäisten kappaleiden valmistukseen. Prototyyppi valmistettiin alipaineinfuusiolla ja kokoamisessa pyrittiin noudattamaan valmiin kappaleen kokoamisprosessia, jotta nähtäisiin mahdollisia ongelmia ja parannuskeinoja siihen.

7.1 Muotin valmistus

Komposiittiosien muotin valmistukseen on monia erilaisia keinoja, joista osa on vakiintunut alalla tavallisimmin käytetyiksi. Monesti muotit valmistetaan koneistamalla alumiinista tai jostain muovista. Tässä työssä päädyttiin tutkimaan ja kokeilemaan 3D-tulostuksen soveltumista komposiittimuottien valmistukseen.

3D-tulostaminen on todella houkutteleva valmistustekniikka muoteille sen edullisuuden ja joustavuuden takia. Prototyypin valmistuksessa 3D-tulostaminen valmistustekniikkana on jo saamassa jalansijaa nopeasti edullisuutensa ja nopeutensa takia. Komposiittiosien valmistuksesta löytyy valmistustekniikoita, joissa muottiin kohdistuu vain vähän mekaanista rasitusta. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi alipaineinfuusio ja märkälaminointi. Näille valmistusmenetelmille muottien 3D-tulostus on kiinnostava vaihtoehto, sillä tulostaminen on nopeaa ja edullista eikä välttämättä vaadi lainkaan jälkikäsittelyä. Alipaineinfuusiomuotit ovat perinteisesti koneistettua muovia tai alumiinia. Mikäli muotin käyttöasteen tiedetään pysyvän pienemmissä sarjoissa, kannattaa muotti valmistaa jostain edullisemmasta ja helpommin työstettävästä materiaalista. Alipaineinfuusiossa muottiin ei normaalisti kohdistu suuria voimia ja nekin irrotusvaiheessa. Hyvin suunniteltu ja käsitelty muotti voi kestää useitakin irrotuksia, vaikka se olisikin tehty alumiinia paljonkin heikomasta materiaalista. Prototyyppien valmistuksessa 3D-tulostuksen pienet valmistuskustannukset, joustavuus ja nopeus ovat huomattavia etuja.

Muotti valmistettiin 3D-tulostamalla Koneen omalla tulostimella. Muotti tulostettiin Stratasyn ABS M30 -muovista koska se on rakenteellisesti lujaa ja näin säilyttää muotonsa infuusion aikana, minkä lisäksi se soveltuu maalattavaksi. Muotti oli jaettava kahden osaan, sillä se ei olisi mahtunut kokonaisena tulostimen tulostusalalle (kuva 4).



Kuva 4. Kahtia jaetun muotin 3D -malli siirrettynä tulostimen käyttöliittymään.

Muotti poikkesi perinteisestä alipaineinfuusiomuotista, sillä muottipinta oli kappaleen sisäpinta eikä näkyviin jäävä ulkopinta. Tässä tapauksessa päädyttiin tekemään kappale sisäpuolisella muotilla, jolloin saatiin tehdyksi yhdellä muotilla molemmat puoliskot kappaleesta. Kappaleen ulkomitoilla ei ollut niin suurta merkitystä prototyypin toimintaan, vaan tärkeämpää oli tutkia valmistusmenetelmää ja kappaleen rakenteellista lujuutta sekä materiaalin ominaisuuksia.

7.2 Hiilikuituisten kuorien valmistus

Hiilikuituiset kuorien valmistus aloitettiin leikkaamalla sopivia palasia hiilikuitukudos vuodasta. Palaset liimattiin maalattuun muottiin sprayliimalla (kuva 5). Kuitujen asettelussa täytyy pitää huoli, että kuituihin ei päädy ympäristöstä rasvaa tai pölyä ja että kaikki materiaalit joita kuitujen asettelussa käytetään, soveltuvat valmistusprosessiin. Käytetty sprayliima on tarkoitettu juuri komposiittien valmistukseen ja liukenee epoksimatriisiin mutta vaikuttaa minimaalisesti sen lujuuteen. Käytetty hiilikuitukudos on Hexcelin valmistama Hexforce Primetex 2/2 Twill 200g/m² 43200 3K ja matriisi Guritin Ampreg21 -epoksi.



Kuva 5. Hiilikuitulujitteiden asettelu muottiin

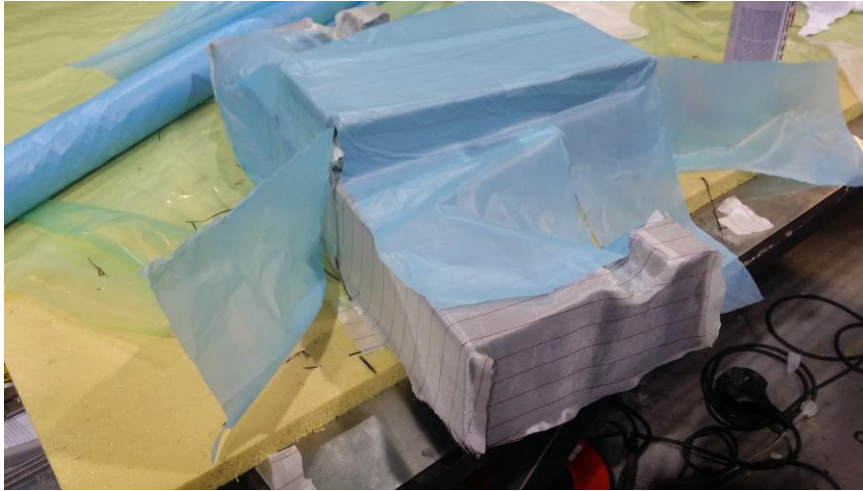
Kuidut aseteltiin muottiin neljään kerrokseen, joista joka toinen oli neljänkymmenenviiden asteen kulmassa edelliseen nähden (taulukko 1). Näin saadaan komposiittiin kohtalaisen isentrooppinen lujuus. Kuitujen asennolla voi hakea paikallisia ominaisuuksia komposiittiin tekemällä jostain kohdasta lujempaa ja näin optimoimalla materiaalikulutusta. Prototyypin komposiitin tulisi olla mahdollisimman tasalaatuista, jotta se kuvastaisi parhaiten sarjatuotantomenetelmin tehtyä kappaletta. Kun kuidut oli aseteltu, liimattiin seuraavaksi kerrokseksi karhennuskangas.

Taulukko 1. Kudosten asettelu

Kudos	asettelukulma
2/2 twill	0/90
2/2 twill	45
2/2 twill	0/90
2/2 twill	45
2/2 twill	0/90

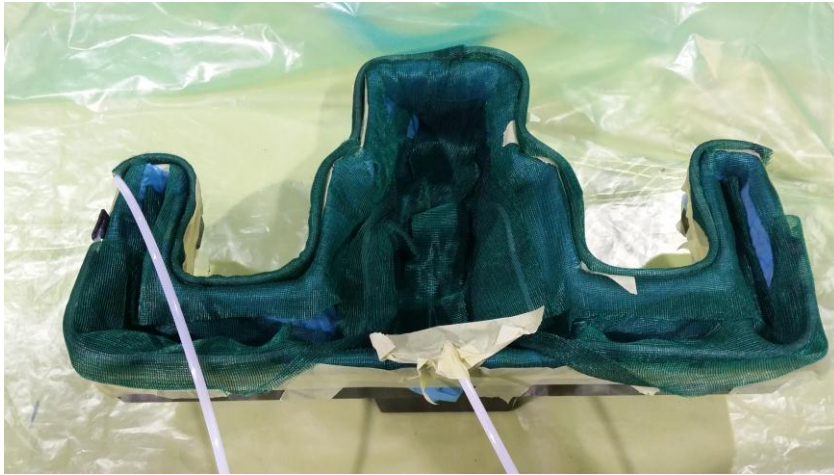
Karhennuskangas vie mukanaan ylimääräisen matriisin komposiitin pinnasta ja näin parantaa komposiitin kuitupitoisuutta. Karhennuskankaan päälle liimattiin perforoitu muovikalvo (kuva 6), jonka päälle teipattiin imuilmanjohtoverkko (kuva 7). Perforoitu muovikalvo laitettiin karhennuskankaan ja imuilmanjohtoverkon väliin, koska aikaisemmissa komposiittiosien valmistuksissa huomattiin verkon kiinnittyvän lujasti karhennuskankaaseen ja täyttyvän matriisista niin että sen poistaminen oli erittäin työlästä ja saattoi johtaa valmiin kappaleen vahingoittumiseen. Perforoitu muovikalvo irtoaa todella helposti matriisista ja mahdollistaa reikiensä takia ilmanjohtoverkon toiminnan. Imuilmanjohtoverkon

tarkoitus on jakaa alipaine tasaisesti muotissa ja mahdollistaa matriisin virtaamisen muotissa.



Kuva 6. Karhennuskankaan ja perforoidun muovikalvon asettelu.

Verkon päälle aseteltiin matriisin syöttöspiraalit (kuva 7), joiden tarkoitus on ohjata matriisi tasaisesti muottiin ja helpottaa sen virtaamista. Muotille tehtiin alipainekalvosta säkki, johon muotti asetettiin. Syöttö ja imuletkut teipattiin niin että letkujen päät jäivät näkyviin. Pumpulla imettiin pussiin alipaine, jonka avulla muottiin imettiin sekoitettu matriisi (kuva 8). Alipainepumppuna käytettiin Becker D-42279 -pumppua. Kun kaikki kuidut olivat kastuneet, matriisista suljettiin imu- ja syöttöputket ja kappale jätettiin alipaineeseen kuivumaan. Kun kappale oli kuivunut, irrotettiin apumateriaalit ja valmiista kappaleesta ja kappale muotista. Molemmat prototyypin kuoret valmistettiin samalla menetelmällä.



Kuva 7. Imuilman johtoverkko ja injektio kanavat aseteltuna muottiin



Kuva 8. Muotti suljettuna alipainesäkkiin ja alipaine imettynä muottiin.

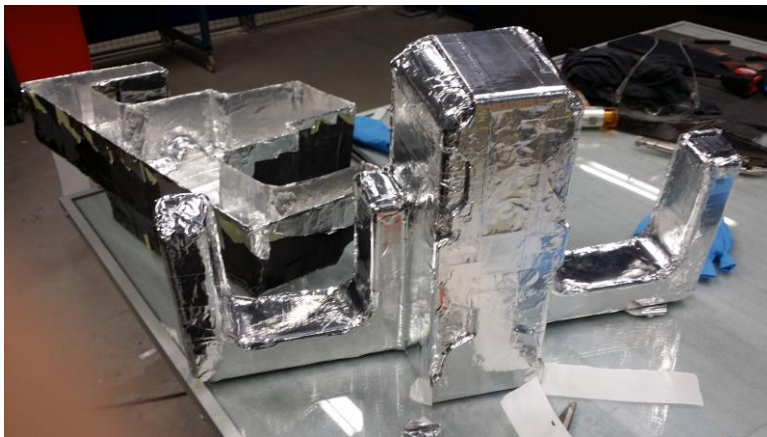
7.3 Ydinaineen valaminen

Kun pintaosat olivat valmiit, mietittiin keinoja vaahton muotoon valamiselle. Vaahtona käytettävä Loctite UK 8573 B5 + UK 5400 -polyuretaanivaaho on kaksikomponenttista, jossa komponenttien sekoituksesta vaahton kovettumiseen on aikaa noin viisi minuuttia. Tämäkin aika huomattiin haasteellisen lyhyeksi kokeissa ja tarvittiin menetelmä, jossa vaahto voitaisiin valaa kuorien väliin niin, että ne voitaisiin purkaa toisistaan vahingoittamatta osia ja tarkistaa valun onnistuminen.

Kokeilujen ja tutkimisen jälkeen päädyttiin erottamaan hiilikuitusetkomposiittiset pinnat vaahdosta kahdella teippikerroksella. Teippikerrosten tarkoitus oli toimia eristeenä vaahdon ja komposiitin välillä, jotta vaahto ei liimaisi komposiittisia osia yhteen ja kappaleet voitaisiin purkaa ja tarkastaa vaahdotuksen onnistuminen. Teippikerrosten ensimmäinen kerros oli perinteistä maalarinteippiä (kuva 9), jonka päälle teipattiin toiseksi kerrokseksi alumiiniteippiä (kuva 10).



Kuva 9. Maalarinteippikerros helpottamassa alumiiniteipin irrottamista.



Kuva 10. Alumiiniteippi estämässä vaahdon liimautumista kuoriin.

Kokeilun kautta huomattiin, että alumiiniteippi irtosi polyuretaanivaahdosta parhaiten eikä teipit jättäisi vaikeasti poistettavia jäämiä kappaleisiin. Polyuretaanille irrotusaineksi tarkoitettu parafiiniöljy olisi ollut vaikea poistaa huokoisen vaahdon pinnasta, jolloin pintojen myöhempi yhteenliimaus olisi ollut haastavaa, ellei mahdotonta. Maalarin-

teipin tarkoitus oli mahdollistaa vaahdon irrottaminen komposiittikappaleista. Irrotus tapahtui liottamalla kovettunutta kappaletta vedessä, jolloin maalarinteippi vettyi ja irtosi vaivattomasti alumiiniteipistä (kuva 11).



Kuva 11. Kovettuneiden vaahtovalujen irrotus kuorista

Kappaleet irtosivat toisistaan toivotulla tavalla ja vaahdotus voitiin todeta onnistuneeksi. Muutamia ilmataskuja muodostui vaahdotuksessa, mutta ne olivat niin pieniä, että ne voitaisiin korjata lopullisessa liimauksessa. Kaikki kappaleet jätettiin kuivamaan muutamaksi vuorokaudeksi, jotta mahdollinen kosteus pääsisi poistumaan kappaleista.

7.4 Kokoonpano

Kun kaikki osat olivat valmiita, asetettiin ne sisäkkäin ja liimattiin polyuretaaniliimalla yhteen. Kyseinen liima valikoitui käyttöön koska se oli mahdollisimman lähellä ydinaineen ominaisuuksia ja prototyypin tarkoitus on simuloida kappaletta, jossa ydinaineen valaminen ja pintojen yhteen liimaus tapahtuu samassa työvaiheessa.

Liima levitettiin kaikille liimattaville pinnoille siveltimellä, minkä jälkeen osat liitettiin yhteen ja lukittiin pulteilla toisiinsa. Reunaan teipattiin kaulus, jonka avulla vajaaksi jääneet kohdat voitiin täyttää liimalla. Liimaus onnistui suunnitellulla tavalla, ja kappaleet sopivat keskenään yhteen, eikä suurempia mittamuutoksia tapahtunut.

Liimauksen jälkeen kappaleen annettiin liimautua kahden vuorokauden ajan, jotta varmistuttiin liiman saavuttaneen suurimman mahdollisen lujuuden. Tämän jälkeen poistettiin teippaukset ja ylimääräiset liimapurseet reunoista. Liimauksessa apuna olleet pultit poistettiin ja tarraimelle ja ohjaimelle tarkoitetut reiät porattiin ja jyrättiin auki (kuva 12).



Kuva 12. Valmis prototyyppi

8 Testaus

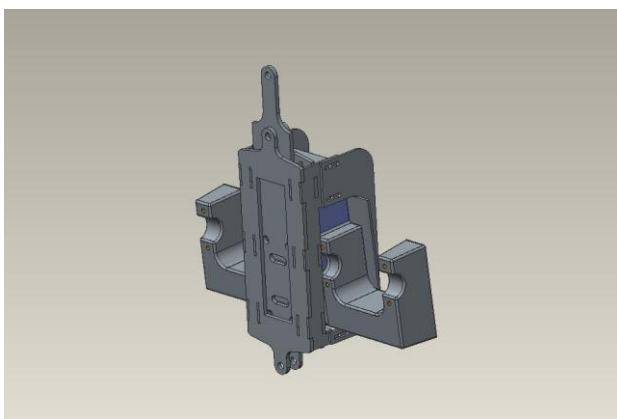
Prototyypin rakenteellista lujuutta ja onnistuneisuutta päätettiin testata rasisustestillä. Testauksessa päätettiin keskittyä tarraimen liitänkäkohtaan, koska osan rakenne sillä alueella oli monimutkainen ja siihen kohdistuvat voimat ovat suuria. Tarrastapahtuma aiheuttaa rakenteisiin voimia, jotka vastaavat hissien kokonaismassaa kuusitoistakertaisesti.

8.1 Testauksen suunnittelu

Testausta suunniteltaessa pohdittiin testilaittevaihtoehtoja ja niiden soveltamista tarrain-testaukseen. Testauksessa päädyttiin käyttämään Kone Oyj:n omaa rasisustepenkiä, jolla saavutetaan tarvittava tarkkuus ja tarvittavat rasisustvoimat kappaleen testaamiseen. Testin tarkoituksena on simuloida tarrauksessa syntyviä leikkaavia voimia, jotka kohdistuvat kappaleen metalli-inserillä vahvistettuun kontaktipintaan. Testissä kappaletta kuormitetaan maksimissaan n. 10 000 N:n voimalla ja tarkastellaan mahdollisia vaurioita.

8.2 Testauskehikon suunnittelu ja kokoonpano

Kehikko suunniteltiin sopimaan rasisustepenkin valmiisiin kiinnittimiin ja simuloimaan tarraimen aiheuttamaa kuormitusta. Testeri suunniteltiin tehtäväksi laserleikatuista suorista teräslevyistä, jotka kohdistavat itse itsensä niihin mitoitetuilla lovilla ja korvakkeilla (kuva 13). Näin saatiin testeristä edullinen ja helposti kasattava.



Kuva 13. Testauskehikko mallinnettuna

Kehikon osat saapuivat laserleikattuina (kuva 14). Kokoonpano aloitettiin sisimmistä osista, jotta niiden hitsaaminen olisi mahdollista. Testikappaleen sivuttaista asemaa ohjaavaa levyä jouduttiin hiomaan väljemmäksi ja pyöristämään kulmia, jotta kappale asetuisi oikeaan paikkaan. Osat ohjautuivat oikeille paikoilleen, eikä enempää työkaluja tai kohdistustoimenpiteitä tarvittu kokoonpanossa (kuva 15).



Kuva 14. Testauskehikon osat.



Kuva 15. Testauskehikon kokoonpano

Kappaleet hitsattiin kauttaaltaan saumoistaan, jotta varmistuttiin liitoksien kestävässä siihen kohdistuvat voimat (kuva 16).



Kuva 16. Testauskehikko hitsattuna

Tarranta simuloivaan vetolevyyn hitsattiin reikien muotoiset levyt 6 mm:n korotuksella. Koska materiaali oli ohuempaa kuin suunniteltiin, jouduttiin tyytymään vain 2 mm:n limitäisyyteen tulppahitsauksessa (kuva 17).



Kuva 17. Testauskehikko vetolevyineen

Päätylappu, johon prototyypin puskuripinta vastasi, jouduttiin irrottamaan ja korvaamaan pienemmällä lattaraudalla, jotta kappale sopi testeriin (kuva 18).



Kuva 18. Puskuripinnan vastakappaleen muokkaus

Testerin kokoaminen onnistui hyvin ja suunniteltu osien toisiinsa ohjautuminen toimi odotetulla tavalla. Tämä mahdollisti nopean helpon kokoamisen ja hitsauksen. Menetelmä poisti mahdollisuuden virheisiin, koska osat eivät sopineet väärin paikkoihin tai väärinpäin paikoilleen. Testeristä tuli luja ja jyrävä, ja valmistuskustannukset pysyivät alhaisina.

8.3 Testaus

Testausta varten prototyyppi asetettiin paikoilleen ja linjattiin vetolevyn kanssa kohdalleen, jotta hitsatut tulpat osuivat kohdakkain reikien kanssa (kuva 19).



Kuva 19. Prototyypin asettelu testauskehikkoon

Tarrantesterin taustalevy asetettiin paikoilleen ja lukittiin paikoille lukituspalojen avulla jotka pultattiin M8-ruuveilla kiinni. Taustalevy estää prototyypin liikkumisen syvyys suunnassa. Liukulevyn ohuudesta johtuen täytyi välykset poistaa 1 mm:n pellillä. Liukupinnat voideltiin sprayvaseliinilla, jotta kappaleiden väliset kitkat eivät vaikuttaisi mittaustulokseen (kuva 20).



Kuva 20. Testauskehikko vetokoneessa

Ensimmäinen vetokoe epäonnistui testikehikon vikaantumisen johdosta. Vetolevyn yläkiinnitys murtui, n. 80 000 N:n voimasta ja testi keskeytyi (kuva 21). Prototyypin ei syntynyt mitään muodonmuutosta tai vauriota, joten ensimmäisen testin tuloksista ei voinut sanoa mitään kappaleen kestävydestä.



Kuva 21. Testauskehikko rikkoutunut testissä.

Uutta testiä varten vetolevyn yläpään kiinnitystä vahvistettiin huomattavasti, jotta varmistettiin testerin kestävydestä. Vetolevyn kiinnityskohtaa lyhennettiin rikkoutuneen alueen verran ja levyyn porattiin uusi kiinnitysreikä. Kiinnitysreiän alueelle hitsattiin 10 mm:n vahvisterauta, johon porattiin saman kokoinen kiinnitysreikä (kuva 22).



Kuva 22. Vahvistettu vetolevy.

Toinen vetotesti oli onnistuneempi, ja prototyyppi rikkoutui (kuva 23) n.62 000N voimalla. Vetokoetta jatkettiin rikkoutumisen jälkeen koneen vetokyvyn rajalle, jotta saataisiin mahdollisimman paljon dataa rakenteen käyttäytymisestä rikkoontumistilanteessa. Prototyyppi säilytti suuren osan kuormankantokyvystä rikkoutuneenakin ja vetokone saavutti rajansa.

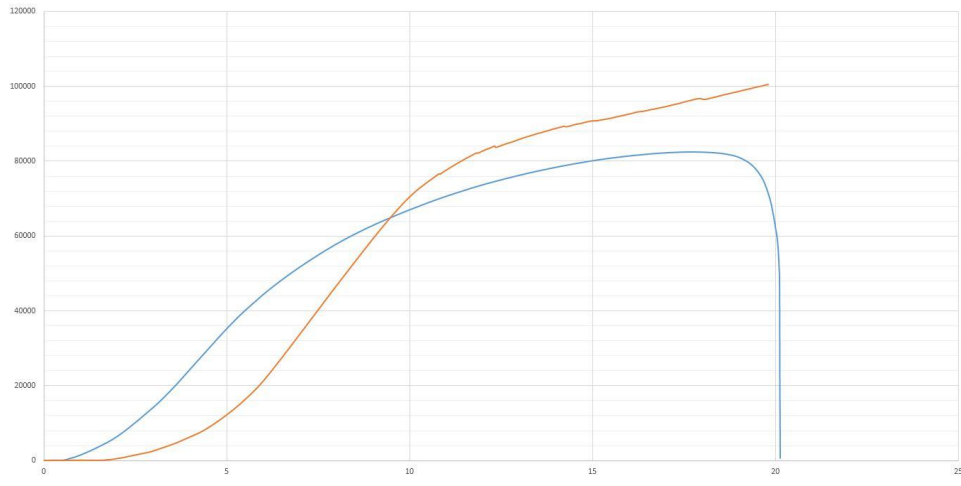


Kuva 23. Testistä syntyneet vauriot.

Tarraimen kytkentäpinta kesti testin ilman muodonmuutoksia, sillä testissä kappale liukui testerin sisällä antaen myöden puskuripinnastaan. Tämä olisi voitu luultavasti välttää, mikäli puskuripinnan tukilevy olisi ollut suunnitellun kaltainen.

8.4 Tulokset

Vetotesti antoi tulokset voima-siirtymäkuvaajana (Kuvio 1). Sininen käyrä edustaa ensimmäistä testiä, jossa testeri hajosi ennen kappaleelle aiheutuneita muodonmuutoksia. Ruskea edustaa toista testiä, jossa saatiin tuloksia kappaleen suorituskyvystä.



Kuvio 1. Vetotestien tulokset. Ensimmäinen testi sininen ja toinen testi punainen käyrä.

Kuvaajassa näkyy kappaleen pettäneen n. 62 000 N:n voimalla. Ennen tuota rajaa voimakäyrä pysyy lineaarisena, kunnes rajan ylittyessä kulmakerroin pienenee, mikä ilmaisee kappaleessa syntyviä muodonmuutoksia. Käyrän kulmakerroin pettämisen jälkeen pysyy keskimääräisesti positiivisena testin loppuun saakka. Testi täytyi keskeyttää 100 000 N:n rajan ylittyessä, sillä se on testilaitteen maksimivetokyvyksi ilmoitettu raja. Rasituspenkki oli malliltaan Liangong CMT-100.

8.5 Tulosten analysointi

Testin tuloksista voidaan päätellä prototyypin valmistuksen onnistuneen hyvin ja kappaleen suoriutuneen riittävän hyvin tarrainpinnan osalta. Tarrainpinnan tarkastelu tässä tilanteessa oli kiinnostavinta, sillä tarraimen toiminta on tärkeimmässä osassa hissien turvallisuutta. Tarraimen kytkentäpinnan metalli-insertillä vahvistettu rakenne oli myös monimutkaisin rakenne kappaleessa ja siinä oletettiin mahdollisten valmistus- tai suunnitteluvirheiden ilmenevän kaikkein todennäköisimmin. Tarraimen valmistaja ilmoittaa tarraimen säädön laskettavan kertomalla hissien kokonaispaino kuudellatoista. Näin saadaan

tarraimen platformille aiheuttavaksi voimaksi 19 680 N, jonka prototyyppi kesti noin kolminkertaisesti.

Puskuritörmäyksessä 1230 kg:n kokonaismassan omaava hissille lasketaan mitoitusrajaksi 1 G:n kiihtyvyydellä ja kolmen impaktikertoimella 36198,9N (EN 81-20 :99-101). Hississä on kaksi puskuria, joten kyseinen voima jaetaan vielä kahdella. Hissin puskurirakenteen mitoitusrajaksi näin ollen tulee 18 099,45 N ja tämän prototyyppi kesti noin 3,4 kertaisesti. Puskurirakenteelle määritellyn varmuuskertoimen ollessa 1,33 voidaan sanoa prototyypin rakenteen soveltuvan hyvin lujuusmielessä käyttötarkoitukseensa.

Rasitustestin tärkein anti oli kappaleen käyttäytyminen vaurioilanteessa. Kappale säilytti suurimman osan kuormankantokyvystään rikkoontumisen jälkeenkin, mikä onnettomuustilanteessa tarkoittaa turvallisuustason säilymistä rikkoontumistilanteessakin. Lisäksi kappaleen vauriot keskittyivät pienelle alueelle vaikuttamatta kappaleen muihin rakenteisiin merkittävästi. Kappaleen vaurioitumismuoto kuvastaa hyvin komposiitille ominaista mallia. Verrattuna metallirakenteiden rikkoontumiseen, jotka sitovat energiaa plastisten muodonmuutosten ja muokkauslujittumisen avulla, sitovat komposiitit tehokkaammin rikkoutumisenergiaa sisäisen kitkan, kuitujen taipumisen ja sirpaloitumisen kautta. Lisäksi komposiittisen osan vaurio ei etene rakenteessa niin pitkälle kuin metallisessa. (Elmarakbi 2014: 110.)

Prototyypin massa punnittiin, sillä painon säästö oli yksi tärkeimpiä ominaisuuksia työssä. Prototyypin painoksi lopulta muodostui 5,3 kg, joka oli odotettua korkeampi, mutta silti kevyempi kuin vanha konstruktio, joka CAD-ohjelman mukaan painoi noin 8 kg. Selkeää painonsäästöavoitetta ei prototyypille asetettu, mutta painonsäästön olisi toivottu olevan suurempi.

9 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ja pohtia kevytrakenteiden käyttöä hissitekniikassa. Kevytrakenteita ja varsinkin hiilikuitukomposiitteja on harvemmin nähty hisseissä. Nyt kuitenkin hissikonsepteja on esitelty messuilla, jossa komposiittiset kevytrakenteet ovat pääosassa. Voidaan siis sanoa, että ne ovat jo hissien tuotekehityksen nykyaikaa ja tulevaisuudessa myös tuotteissa.

Materiaalien kehittyessä edullisemmiksi ja ympäristöystävällisemmiksi, tulevat komposiitit yhä suuremmissa määrin osaksi ihmisten jokapäiväistä elämää. Suurimman panoksen tähän kehitykseen tekee tällä hetkellä autoteollisuus joka hurjalla vauhdilla kehittää hiilikuitukomposiittien käytön kannattavuutta nopeuttaen valmistusaikoja ja pienentäen raaka-ainekustannuksia.

Hissiala monen muun tekniikan alan ohella on perinteitä noudattava ja hitaasti uusia konsepteja käytäntöön omaksuva ala. Hissikehityksessä kevytrakenteiden ensimmäinen näkyvämpi esiintulo valtamarkkinoille luultavasti tapahtuu muotojäykistetyn ohutlevytekniikan muodossa, jota tarkasteltiin tässä työssä. Auton korirakenteissa käytettyjä korkealujuuksisia muovattuja ohutlevyrakenteita tullaan todennäköisemmin näkemään hissin rakenteissa ennen hiilikuitukomposiitteja. Komposiittien ja etenkin hiilikuitukomposiittien omaksumista hidastavat osittain myös ennakoasenteet niitä kohtaan. Komposiittit mielletään usein liian kalliiksi lento- ja avaruustekniikan materiaaleiksi, joiden käyttöä voidaan oikeuttaa vain silloin, kun mitään muuta toimivaa ratkaisua ei ole olemassa tai kun haetaan äärimmäistä suorituskykyä.

Hiilikuitukomposiitit ovatkin ihmisten jokapäiväisessä elämässä nykyhetkellä näkyvissä erittäin kalliissa ja suurinta suorituskykyä hakevissa tuotteissa, kuten kilpa-autoissa, hävittäjälentokoneissa ja urheiluvälineissä. Tämä luo mielikuvia ja hidastavat materiaalin omaksumista arkipäivän tuotteisiin, näin jarruttaen sen kehittymistä edulliseksi ympäristöystävälliseksi ja energiaa säästäväksi vaihtoehdoksi arkisiin tuotteisiin.

Tämän työn aikana löydettiin monia hyötyjä kevytrakenteista hisseissä ja joitakin ratkaisuja niiden korkeampien kustannusten selättämiseksi. Työn laajuuden rajoissa kuitenkin päästiin juuri ja juuri raapaisemaan kevytrakenteiden käyttömahdollisuuksia ja niiden

haasteita hissien rakenteina. Kyseinen aihe on niin laaja, että sen perusteelliseen läpikäyntiin vaadittaisiin huomattavasti suurempi työmäärä teoreettista ja kokeellista tutkimista.

Työssä lähestyttiin aihetta kevytrakenteista hissitekniikassa konseptin luomisen ja sen tutkimisen kannalta. Prototyyppi suunniteltiin ja valmistettiin tuomaan ymmärrystä ja lisäideoita käytännön kokeilukulttuurin mukaisesti. Prototyypin valmistuksessa syntyikin uusia oivalluksia ja löytyi uusia haasteita, joista on hyötyä konseptin jatkokehityksessä. Näitä oivalluksia oli mm. kappaleen kuormitustestissä huomattu hiilikuiturakenteen hajoamismuoto, joka säilytti kuormankantokyvyn lähes täysin hajoamisen jälkeen. Tämä on ominaisuus, joka lisää monessa kohteessa turvallisuutta ääritilanteissa kuten törmäyksissä. Kyseistä ominaisuutta voitaisiin käyttää myös korin seinissä, jolloin vaurio ei välttämättä tarkoittaisi kokonaisen seinän korvaamista, vaan pelkän pintadekoraation uusimista. Myös 3D-tulosteen käyttö muottina avaisi mahdollisuuksia piensarjatuotteille, luoden joustavuutta komposiittiosien tarjonnassa.

Prototyypin valmistuksessa löydetyistä haasteista ydinaineen valamisen prosessin hallinta ilmeni yhdeksi kyseisen valmistusmenetelmän ensimmäisistä kehityksen kohteista. Vaahdon valamisen onnistumisen varmistaminen ja sen todentaminen olisi selvitetävä ennen tuotteistamista. Tulevia prototyyppejä pitäisi valmistaa ja testata useampia, jotta saataisiin parempi ymmärrys niiden toiminnasta kuormituksen alla. Ympäristön vaikutuksia sekä vanhenemista pitäisi myös testata.

Työn jatkokehitysaskleet olisivat uuden kevyemmän ja valmiimman prototyypin kehittäminen ja valmistustekniikoiden tarkempi punnitsiminen kustannusten kannalta. Lisäksi tulisi tutkia osien kevennyksen vaikutuksia hissien kokonaislinkaaren energiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin sekä tarkemmin kevytrakenteiden käyttöönoton vaatimuksia tuotekirjolle. Kerroslevyrakenteille täytyisi löytää myös jokin toimiva ja varma mekaaninen liitosmenetelmä, joka voitaisiin standardoida kaikissa niiden käyttökohteissa.

Lähteet

Elmarakbi, Ahmed. Advanced composite materials for automotive applications: structural integrity and crashworthiness. 2014. West Sussex, UK: John Wiley & Sons L

EN 81-20. Safety rules for the construction and installation of lifts - Lifts for the transport of persons and goods - Part 20: Passenger and goods passenger lifts. 2014. Bryssel: CEN

Käyttöturvatieote (EY) N:o 1907/2006, Loctite UK 5400 KTT-no488272 V003.0. 2017. Vantaa: Henkel Norden Oy

Matikka, Jussi. Hissit- energiankulutus ja kehitys. Insinööriyö. 2013. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu

Matilainen, Jorma, Parviainen, Miikka, Havas, Taru, Hiitelä, Erja & Hultin, Sami. Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja. 2010. Helsinki: Teknologiateollisuus.

Pelimanni, Veli-Matti. Putkien ja ohutlevyjen muovaus hydromuovauskoneella. Insinööriyö. 2014. Kemi: Lapin Ammattikorkeakoulu

Rautalin, Joonas. Insertikiinnitykset kerroslevyrakenteissa: Vapaasti muunneltavan kiinnitysmenetelmän kehittäminen kansikiskoille. Insinööriyö. 2016. Kymenlaakso: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.

Prototype first lift made out of composite materials launched. Verkkodokumentti. Liftinstituut. 2017. <<http://liftinstituut.com/newsroom/120-prototype-first-lift-made-out-of-composite-materials-launched>> Luettu 21.8.2017.

Saarela, Olli, Airasmaa, Ilkka, Kokko, Juha, Skrifvars, Mikael & Komppa, Veikko. Komposiittirakenteet. 2003. Helsinki: Muoviyhdistys ry.

