



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Cessna 150/152 -avioniikan modernisointi

Mekaaninen asennus

Veli-Matti Järn

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Kone- ja Tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja Tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka

JÄRN, VELI-MATTI:
Cessna 150/152 -avioniikan modernisointi
Mekaaninen asennus

Opinnäytetyö 98 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Toukokuu 2017

Tämä opinnäytetyö päätettiin toteuttaa Tampereen seudun ammattiopiston (TREDU) lentokoneasentajien koulutuslinjan lentokoneen kunnostus ja modernisointi projektin yhteyteen. Tilaajana ja työn valvojana toimi lentokoneasentajaopiskelijoiden kouluttaja Jorma Penttilä. Projektin tavoitteena on loppuunsaattaa Cessna 150/152 -lentokoneen päivitetävän avioniikan ohjaamoon sijoittaminen, prosessin dokumentointi, luoda sen pohjalta (TREDU) mekaniikkaopiskelijoiden opetuskäyttöön käsiteltävien osien asennus ja huolto-manuaali sekä viimeistellä ja esitellä projektin kulku näiden kansien sisälle. Tavoitteena oli lisäksi suunnitella, valmistaa ja koota tuotetut osat ehyeksi kokonaisuudeksi ohjaamoon toteuttaen dokumentointia samanaikaisesti suunnitelman edetessä. Tähän kirjaseen on sisällytetty havainnollista projektin kulku viiden luvun muodossa. Projektissa oli tarkoitus käydä läpi jo valmistettujen avioniikan asennukseen suunniteltujen paneelien tuotekehitys. Tähän kuului asennusongelmien etsiminen ja niiden ratkaiseminen. Pääasiallinen käyttöväline oli suunnittelu- ja mallinnusohjelma Vertex. Suuntaviivana käytettiin raakaa fyysistä osien asettelemista paikoilleen peilaten jatkuvasti projektin tavoitteisiin, sekä suunnittelu-, mallinnus-, materiaali- ja asennusteknisiin normeihin ja kokemuksiin lähdekirjallisuuden, liitteiden sekä puhtaan kokeellisen tieteen puitteissa.

Tavoitteista tärkein oli paneelien tuotekehittäminen, johon kuuluivat pinnoituksen ja laite-etikettien kartoittaminen ja toteuttaminen. Lähes yhtä isoon rooliin nousi matkan aikana havaittu tarve erillisen ohjaamopaneeliston uuden muotosuojan rakentamiselle. Muita projektin muutoin näyttävälle onnistumiselle tärkeitä elementtejä olivat välttävän tukirakenteen rakennus sekä muutamalle avioniikan komponentille tarvittava erillinen hyllyrakenne paneeliston taakse. Edellä mainittujen kohteiden osalta kaikki saatiin toteutettua. Nämä kuitenkin osoittautuivat huomasti odotettua työläämmiksi, joten asennus- ja huolto-ohjeen kokoaminen jouduttiin jättämään pois. Myös haluttujen GPS-antennin ja servojen osalta asennuksen suunnitteleminen ja toteuttaminen jouduttiin keskeyttämään. Aika ei myöskään riittänyt ohjaamorakenteen kokonaisvaltaiseen tukirakenteen valmistamiseen.

Projektin paisumisesta ja aikataulun viivästymisestä huolimatta lopputulos oli erittäin onnistunut ja näyttävä. Koneen monien kunnostusalueiden ollessa vielä työn alla tämän työn tuloksena kojetaulu näyttää jo modernin lentokoneen ohjaamon kojetaululta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Program in Machine- and Production Engineering
Aviation Engineering

JÄRN VELI-MATTI
Modernization of Cessna 150/152 Avionics
Mechanical Installation

Bachelor's thesis 98 pages, appendices 15 pages
May 2017

The purpose of this was to design and mount upgraded flight deck avionics for Cessna 150/152 airplane. Furthermore, the aim was to create documentation of the process and an installation and maintenance manual for the training of apprentice mechanics (Tredu) based on the documentation. The project was commissioned and supervised by Jorma Penttilä from Aviation Mechanic department of Tampere Vocational College (Tredu). Additional goals were to engineer, manufacture and assemble the designed parts to form a firm, ready-to-use solution for the flight deck operations.

The Primary tools used in the design and testing phase were the engineering design program Vertex and physical test assembly. Literature and other relevant sources on material properties and project design were used as a basis and guideline.

Nearly all project goals were met: a colour-coated and properly labelled panel set, an external cover for avionics a light secondary support structure and a shelf structure behind the actual panel system for the installation of avionics were finished successfully.

However, due to overwhelming workload, the creation of an installation and maintenance manual had to be abandoned. Implementation and installation of GPS antenna and autopilot wire guidance units was aborted for the same reason. Lack of time also prevented the completion of a complete support structure for the modified areas.

Key words: Cessna 150, modernization, avionics, panel, cover

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	PROJEKTIJAOTTELU.....	9
2.1	Alkutaipale.....	9
2.1.1	Tilaaja.....	9
2.1.2	Projektikohde	10
2.1.3	Lähtöasetelma	12
2.2	Projektsuunnitelma	14
2.2.1	Tavoite.....	14
2.2.2	Tarkoitus	15
2.2.3	Kohteiden osittaminen	15
2.2.4	Projektiasetukset	16
3	TYÖN KULKU.....	22
3.1	Paneelien tuotekehitys	23
3.1.1	Ohjaamon muokkaaminen	26
3.1.2	Lopullinen kokoonpano	30
3.1.3	Sovitusasennus	31
3.1.4	Kiillotus.....	32
3.1.5	Väriä pintaan	32
3.1.6	Etiketit.....	33
3.2	Tukirakenne	35
3.2.1	Ensimmäinen vaihe	36
3.2.2	Toinen vaihe.....	37
3.2.3	Paikalleen asennus	38
3.3	Servohylly	39
3.3.1	Suunnittelu ja mitoitus	39
3.3.2	Osien valmistus	40
3.3.3	Paikalleen asennus	41
3.4	Näkösuoja	42
3.4.1	Aivoriihi	42
3.4.1.1.	Kokeellista innovaatiota.....	43
3.4.1.2.	Muotin irrotus	45
3.4.2	Muotoonsa muovaaminen	47
3.4.2.1.	Kovat – pehmeät otteet.....	47
3.4.2.2.	Pölyiset olosuhteet	48
3.4.2.3.	Pinotus.....	49
3.4.3	Muotista muotiksi	50

3.4.3.1.	Syvillä tuntemattomilla vesillä.....	51
3.4.3.2.	GelCoat-tekniikka	51
3.4.3.3.	Kerros kerrokselta	53
3.4.3.4.	Irrotus ja viimeistely	56
3.4.4	Hiilikuituvedos.....	57
3.4.4.1.	Muotin valmistelu	58
3.4.4.2.	Kuiduttaminen.....	58
3.4.4.3.	Irrotus	60
3.4.4.4.	Vedoksen viimeistely	61
3.4.4.5.	Muutama kerros lisää	61
3.4.4.6.	Koesovitus.....	62
3.4.4.7.	Paikkaus	63
3.4.4.8.	Yksityiskohdat	63
3.4.4.9.	Loppusilaus	64
3.4.5	Kultainen asennus	65
4	HAASTEIDEN ERITTELY.....	69
4.1	Projektinhallinta.....	69
4.2	Avioniikkapaneelit.....	71
4.2.1	Muotojen oikominen	72
4.2.2	Pinnoitus.....	73
4.2.3	Etiketit.....	73
4.3	Rakenteiden tukeminen.....	73
4.4	Piilohylly.....	74
4.5	Muotosuoja	75
4.5.1	Uretaanimuotti.....	76
4.5.2	Lasikuitumuotti	78
4.5.3	Hiilikuitumuoto	79
5	POHDINTA.....	80
	LÄHTEET.....	83
	LIITTEET	85
	Liite 1. Alumiini sarjojen vertailu materiaalivalintaan 1(2).....	85
	Liite 1. Alumiini sarjojen vertailu materiaalivalintaan 2(2).....	86
	Liite 2. Ron Wanttaja. Bolt Installation guide.....	87
	Liite 3. Ron Wanttaja. Bolt hardware.....	88
	Liite 4. Ron Wanttaja. Rivet mounting.	89
	Liite 5. Ron Wanttaja. Hole placement margins.	90
	Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 1(4).....	91

Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 2(4).....	92
Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 3(4).....	93
Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 4(4).....	94
Liite 7. Lasikuitumuotin valmistusmuistio 1(3).....	95
Liite 7. Lasikuitumuotin valmistusmuistio 2(3).....	96
Liite 7. Lasikuitumuotin valmistusmuistio 3(3).....	97
Liite 8. Rakenteen vahvistusohjeistus ja toimenpiteet (M., Järn. 2015).....	98

ERITYISSANASTO

%	prosentti
g/m ²	grammaa neliometriä kohti
h	tunti
kpl	kappale
ml	millilitra
min	minuutti
mm	millimetri
AME 6000 T35	pintakerroslaminointiin käytetty hartsilaatu
AROPOL XO	muottiharts
Cessna	Cessna 150/152 kaksipaikkainen mäntämoottorilentokone
GelCoat	muotin rakennuksessa käytetty geelipinnoitusmenetelmä
Ilmanopeusmittari	Airspeed gauge -ilmanopeusmittari
Ilmanpainemittari	Draft gauge -ilmanpainemittari
Keinohorisontti	Gyro horizon indicator -keinohorisontti
Kompassi	Compass -kompassi
Korkeusmittari	Altimeter -korkeusmittari
Kuulokeliitin	Phone plugin -kuulokeliitäntä
Kytkin	Electric switch -kytkin
Lennonohjausyksikkö	Flight control unit GMC 305 -lennonohjausyksikkö
MaxGuard	GelCoat -ainevalmistaja
Näyttö	Garmin GDU 465 -näyttö
Pc-naarasliitin	Pc plugin female -naarasliitin
Pc-uroслиitin	Pc plugin male -uroслиitin
Puheliitin	MIC plugin -puheliitin
Signaalinhallintayksikkö	Signal controlling unit -signaalinhallintayksikkö
Tangentti	PIT breaker -tangenttikytin
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
Tredu	Tampereen seudun ammattiopisto
Tutkavastaaja	Transponder GTX 330 -tutkavastaaja
Vertex	Suunnittelu- ja mallinnusohjelmisto

1 JOHDANTO

Tampereen seudun ammattiopiston (Tredun) Rollikkahallin tiloissa alun perin sijainnut Cessna 150/152 kaksipaikkainen mäntämoottorilentokone antoi aimo kasan haastetta ja työsarkaa 2015 loppupuolen ja kevään 2017 välisenä aikana. Alun alkaen oli tarkoitus toteuttaa päivitettävälle avioniikkalaitteistolle asennuspaikkojen selvittäminen, sekä tarpeellisten rakenteellisten muokkausten suunnitteleminen ja tekeminen kolmanteen harjoittelujaksoon sisällyttäen. Tämän matkan edetessä kävi kuitenkin ilmi, että halutun konfiguraation mahdolluttaminen mitenkään inhimillisesti ja visuaalisesti näyttävästi vaatisi paljon enemmän resursseja, aikaa ja raakaa työtä. Tästä päädyttiin yhdessä työn tilaajan kanssa valjastamaan opinnäytetyöni myöskin kyseisen aiheen pariin.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on valottaa projektin kulkua ja dokumentoitua etenemistä. Dokumentointi puretaan viiden luvun muodossa. Tähän sisältyy haasteiden alkutilanteen ja taustojen kuvaaminen projektisuunnitelman tarkemman avaamisen kera, työn etenemisen jäsentely, haasteiden analysointi, sekä tulosten raottaminen, että niiden merkityksen pohdinta. Tarkoitus ei ole tuottaa väitöskirjaa, vaan kuvata vaiheet ja niihin vain olennaisesti liittyviä taustoja ja tekijöitä, eikä lähteä pureutumaan tahattoman tarkasti mihinkään yhteen kohteeseen tai asiaan.

Projektin tavoite oli suorittaa tuotekehitysoperaatio aikaisemman harjoittelun tuloksena tuotetuille avioniikan asennuspaneelille, toisin sanoen toteuttaa viimeistely tuotesarja Cessnaan asennettuna. Pää tavoite alun perin oli dokumentoida prosessin eteneminen ja tämän pohjalta tuottaa Tampereen seudun ammattiopiston mekaniikkaopiskelijoiden koulutuskäyttöön kohdekomponenttien asennus- ja huolto-ohjeistus. Manuaalista jouduttiin kuitenkin projektin loppupuolella luopumaan työmäärän paisuttua tarkasta aiheen rajaamisesta huolimatta. Myös GPS-antennin ja autopilotin servojen asennusprojekteista luovuttiin. Projektissa oli kosolti tekijöitä, jotka viivästyttivät aikataulua tai tuottivat lisätyötä ja -työvaiheita. Näitä käsitellään tarkemmin luvussa 4. Lisäksi valmiit osat olivat tarkoitus asentaa pakalleen yhdeksi kokonaisuudeksi.

Luvussa 2 jaotellaan itse projekti, käydään lyhyesti läpi taustat ja lähtötilanne, sekä esitellään projektikohde ja työn tilaaja. Tähän lukuun kuuluu myös työsuunnitelman avaaminen. Luvussa kolme kuvataan projektin eteneminen, luku 4 analysoi haasteita ratkaisuineen ja luvun 5 valloittaa pohdinta tuloksiin ja jatkotoimenpiteisiin liittyen.

2 PROJEKTIJAOTTELU

2.1 Alkutaipale

Lähtökohdat työlle olivat suotuisat. Oli hyvin suoraviivaista jatkaa projektia eteenpäin aiemmin luodulta selkeältä pohjalta. Lähtölaukaus tälle opinnäytetyölle tapahtui kuin itsestään kohdassa 2.1.2 esitellyn projektikohteen parissa. Suorittamani opintokokonaisuuteen kuuluva kolmas harjoittelujakso toteutettiin (Tredu):n toimesta Pispalan Rollikkahallin tiloissa Tampereella. Edustajana, tilaajana ja työn valvojana toimi lentokoneasentajien kouluttaja Jorma Penttilä.

Tarve tälle opinnäytetyölle havaittiin harjoittelun työmäärän paisuttua yli äyräiden. Tähän vaikuttivat myös esiin tulleet haasteet, kohdealueet ja työvaiheet, joita ei ollut mahdollista viedä loppuun harjoittelun aikajakson ja resurssien puitteissa. Näitä käydään tarkemmin läpi luvussa 4. Tässä luvussa esitellään tilaaja, projektikohte ja lähtöasetelma. Lisäksi eritellään projektisuunnitelma.

2.1.1 Tilaaja

(Tredu) tarjoaa koulutustoimintaa 18:ssa toimipisteessä eripuolella Pirkanmaata, sekä muutamassa muussa kohteessa ympäri Suomea. Keskus sijaitsee Tampereella. Taulukossa 1 eritellään toimintatarjontaa, joita tarjotaan nuorille, aikuisille, oppisopimuksella, sekä työ- ja yritysälämälle.

TAULUKKO 1. Jäsentely Tredun toiminnasta

• Perustutkintoja	34
• Ammattitutkintoja	44
• Erikoisammattitutkintoja	22
• Opiskelijoita noin	18000
• Kotikansainvälistymistä ja kansainvälisiä opintopolkuja	
• Valmentavaa koulutusta maahanmuuttajille	

2.1.2 Projektikohde

Pääprojektikohteena toimi Cessna 150/152 kaksipaikkainen mäntämoottorinen pienkone kuvan 1 mukaisesti.



KUVA 1. Cessna 150/152 ilman siipiä ja moottorinsuojusta.

Kyseisellä pienkoneella on pitkä historia. Mallin kehitys alkoi 50-luvun puolivälin tienoilla ja ensilento tapahtui vuonna 1957.

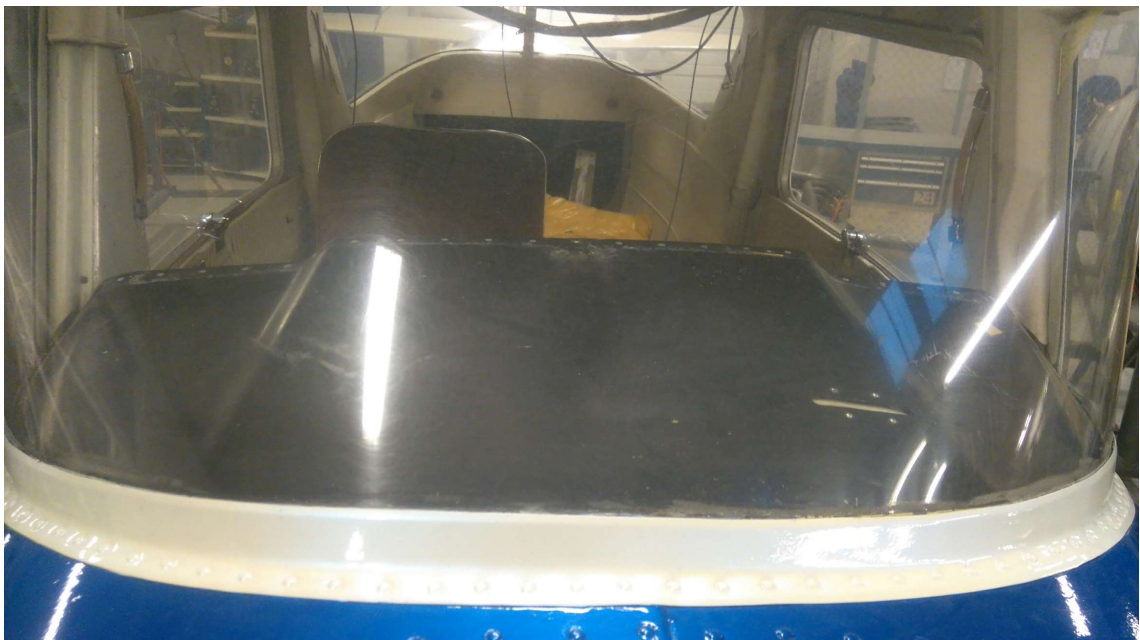
Opinnäytetyön kohdelentokone valmistettiin vuonna 1968 kuten kuvan 2 osoittamista tiedoista käy ilmi. (Airliners. Aircraft technical data and specifications.) Kone suunniteltiin alun perin harjoitus- ja lennonopetuskoneeksi. Kahdenkymmenenseitsemän vuoden mallia aikana valmistettiin hieman yli 31000 kappaletta.

CESSNA F150H	
Miehistö	1 + 1
Valmistusvuosi	1968
MITAT	
Kärkiväli	10,11 m
Korkeus	2,63 m
Pituus	7,24 m
Siipipinta-ala	14,80 m
VOIMANLÄHDE	
Moottori	Continental Rolls Royce 0-200-A 100 HP (74,6 kw)
SUORITUSKYKY	
Huippunopeus	90 kts
SIIPI	
Siipiprofiili	NACA2412
SIIVEKKEET	
Pinta-ala	1,66 m ²
LASKUSIIVEKKEET	
Toiminta	Sähköinen/ punos
Pinta-ala	1,72 m ²
POTKURI	
Tyyppi	2-lapainen McCauley
Halkaisija	1,75 m

KUVA 2. Cessna 150/152 suoritusarvoja.

2.1.3 Lähtöasetelma

Harjoittelujakson loppuasetelmista siis lähdettiin jatkamaan projektipolkua. Ennen varsinaisen opinnäytetyön piiriin kuuluvan projektisuunnitelman valottamista on hyvä tehdä katsaus kyseisen harjoittelun antiin. Tehtävänä oli suunnitella modernisoitavalle avioniikalle ohjaamoon sijoittaminen ja asennus. Tässä päädyttiin kolmen alumiinipaneelin järjestelmään, jotta yksinkertaistettaisiin helppo pääsy paneeliston taakse asennus- ja huoltilanteissa tarvitsematta irrottaa kaikkea laitteistoa. Prototyypisuunnitelma saatiin toteutettua, mistä valmistettiin prototyypivedokset vesileikkausmenetelmää käyttäen. Suunnittelussa käytettiin Vertex -suunnittelu- ja mallinnusohjelmistoa. Kuvassa 3 havainnollistetaan ohjaamon kojetaulun tilannetta ennen mitään muutoksia.



Kuva 3. Ohjaamo koneen edestä kuvattuna, josta näkyy kojelauta alkuperäiskunnossa.

Ohjaamon alkuperäinen avioniikkakonfiguraatio purettiin lentokoneasentajaopiskelijoiden toimesta. Kuvassa 4, vasemmanpuolimmaisesta ikkunan tilanteesta näytetään kojetaulu ennen toimenpiteitä. Alkuperäisiä valmistuskuvia ei ollut saatavilla, joten ohjaamon mitoitukset oli tehtävä käsipelillä. Mitoitustietoja käytettiin suunnitelman hahmottamisessa ja mallintamisessa. Näin saatiin monen tarkistusmittausvaiheen jälkeen keskimmissä ikkunasissa näkyvä Vertex -kokoonpanomallinnus. Tummansiniset alueet edustavat itse paneeleita ja harmaalla värillä kuvatut avioniikan mallinnuksia. Tilaajan hyväksytyä tuotantokuvat ne lähetettiin valmistukseen.

Valmistuksessa käytettiin vesileikkausmenetelmää ja materiaalina 2 millimetriä paksua alumiinilevyä. Alumiinin laatu oli 6061-sarjaa, jonka oli selvitetty soveltuvan ilmailurakentamiseen, sekä anodisointiin (Liite 1) (Experimental Aircraft Info. Aluminum properties.). Paksuus valittiin huomioiden tarvittavan alkuperäisen kojetaulun leikkaamisesta aiheutunut rakenteen heikentyminen (Järn, M., 2015, opinnäytetyö Cessnan kunnostuksesta), asennettavan avioniikan paino, lentokoneammattilaisten kokemukset (Dubeau, M.) (Mullins, D. Making an Accurate Instrument panel), sekä lentokoneen rakennesuunnittelun manuaalista saatu ohjeistus (Niu, M. 1999.). Alla olevan kuvan 4 oikeanpuolimmainen ikkuna kuvainnollistaa valmiin prototyypin sovitussasennusta paikoilleen.



KUVA 4. Ohjaamon alkutilanne, prototyypimallinnos ja valmis prototyypipaneelisto.

2.2 Projektisuunnitelma

Pohja projektisuunnitelmalle adoptoitiin suoraan harjoittelujakson suunnitelmasta. Tätä tarkennettiin ja laajennettiin opinnäytetyövaatimuksiin sopivaksi. Tavoiteavioniikkaa muutettiin vain kytkinten osalta lisäämällä muutama yksilö mukaan lukien asennuskolo ylimääräiselle kytkimelle tulevaisuuden varalta. Kuvan 5 mukainen hahmotelma oli rakennettu laitteiden sähköistyksiä varten, joka ei varsinaisesti kuulunut tähän työhön, mutta konfiguraatiosta saa hyvän hahmotelman mittasuhteista. Tästä näki myös konkreettisesti suurimman osan instrumenteista yhtenevässä ympäristössään.



KUVA 5. Osa halutusta avioniikasta hahmotelmapaneelissa.

2.2.1 Tavoite

Opinnäytetyön alkuperäinen tavoite oli dokumentoida päivitettävän avioniikan sijoituspaikkojen suunnittelu ja asennus, sekä tuottaa tämän pohjalta asennus- ja huolto-ohje lentokoneasentajien opetuskäyttöön. Toteutus suunniteltiin tapahtuvaksi toukokuun ja elokuun välisenä aikana 2016. Dokumentointi suunniteltiin tehtäväksi työn ohessa. Kuitenkin syksyn alkaessa sarastaa ja luvussa 4. tarkemmin pohdittujen tekijöiden alkaessa pitkittää hälyttävästi projektin aikataulua, jouduttiin ohjeen tekemisestä luopumaan.

2.2.2 Tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on havainnollistaa projektin kulku dokumentointia hyväksikäyttäen vaihe vaiheelta, analysoida projektin aikana vaikuttaneita ja havaittuja merkittäviä tekijöitä ja pohtia tuloksia tuoden esiin mahdollisia ehdotuksia jatkotoimille. Tällöin tätä työtä voidaan käyttää helposti hyödyksi Cessnan jatkoprojektien kanssa, sekä yleisesti suunnittelu, sekä rakennusprojektien lähteenä, jotka vähääkään sivuavat tämän raportin antia.

Itse projektin fyysisen työosuuden tarkoitus oli avioniikan suunnittelun ja valmistuksen loppuun saattaminen. Lisäksi oli tarkoitus toteuttaa seuraavassa kohdassa eriteltyjen kohteiden rakennus ja paikalleen asennus.

2.2.3 Kohteiden osittaminen

Pääkohteen eli avioniikan asennuspaneelien perusteellinen tuotekehitys oli rakennettavista elementeistä tärkein. Siihen sisältyi prototyypin paranteleminen, muokkaaminen ja korjaaminen. Tärkeitä yksityiskohtia olivat myös värivalinta, mikä haluttiin saada anodisointipinnoituksella sekä instrumenttien etikettien suunnittelu ja toteutus.

Edellisen projektin aikana havaittuja muita haluttuja piirteitä olivat muutamien paneelien taakse sijoitettavien avioniikkayksiköiden asennushyllyrakenteen suunnittelu ja valmistus, kojetaulun rakenteen muokkaamisesta aiheutuneen vahviketarpeen tyydyttäminen lisätuella sekä erillisen uuden muotosuojaratkaisun hahmotteleminen ja toteuttaminen kojetaulurakenteen korottamisesta johtuen. Alkuperäisessä suunnitelmassa olivat molemmat GPS-antennin ja autopilotin servojen asennuspaikkojen selvittäminen ja paikalleen asentaminen. Nämä jouduttiin huolto-ohjeen ohella jättämään pois luvussa 4. tarkemmin selvitettyjen seikkojen takia.

2.2.4 Projektiasetukset

Avioniikan asennuksen paikoittamiselle asetettiin kuuden kohdan tavoitekriteerit. Taulukosta 2 näkyy kohta kohdalta painotus tärkeimmästä alkaen.

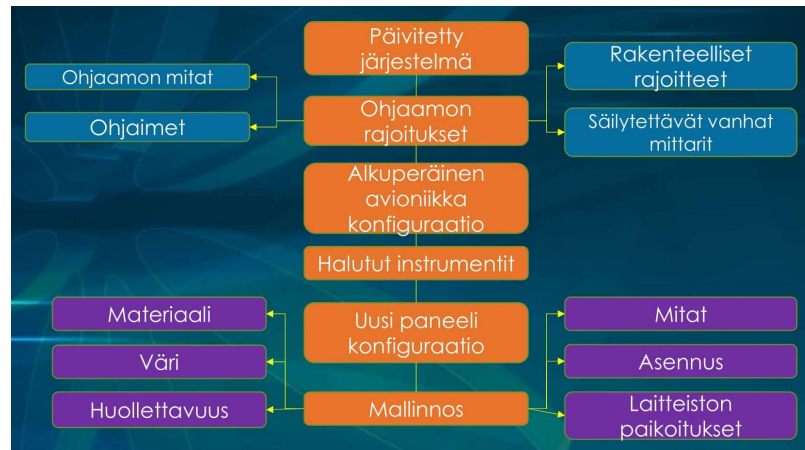
TAULUKKO 2. Tavoitekriteerit.

Projektitkriteerit
1. Haluttu avioniikka
2. Helppo asentaa
3. Helppo pääsy huoltokohteisiin
4. Ulkoasu
5. Materiaali
6. Yksinkertaisuus

Määritelty avioniikka oli ilmeisen tärkeä, koska taulukossa 3 lueteltu asennettava laitteisto oli tilaajan toimesta jo määritelty. Asennuksen ja huoltokohteisiin pääsyn helppous olivat molemmat äärimmäisen tavoitteellisia, koska jokaisen suunnittelijan käsikirjaan kuuluisi sisältyä käyttäjien toiminnan helpottaminen eikä vaikeuttaminen. Kyseessä oli vanha lentokone ja tätä seikkaa kunnioittaen haluttiin saada parannettavalle kojetaululle näyttävä ja uusi moderni ilme. Materiaalivalintaan vaikutti olennaisesti ulkoasuun suoraan liitettävä kriteeri värjäyksestä. Haluttiin saada musta värisävy kojetauluun, jollainen oli mahdollista saada vain anodisointikylvyllä. Yksinkertaisuuskriteeri liittyi osaltaan käytettävyyden varmistamiseen, mutta myös resurssien rajallisuuteen.

TAULUKKO 3. Kojetauluun asennettava avioniikka

<ul style="list-style-type: none"> • Garmin GDU 465 näyttö 2kpl • Transponder GTX 330 • Flight control unit GMC 305 • Radio • Signal controlling unit • Electric switch 12kpl • Pc plugin female • Pc plugin male • Ethernet 	<ul style="list-style-type: none"> • Airspeed gauge • Altimeter • Gyro horizon indicator • Compass • Draft Gauge • Phone plugin 2kpl • MIC plugin 2kpl • PIT breaker 2kpl
---	---



KAAVIO 1. Tehtävänosituskaavio

Taulukoiden 1 ja 2 kriteereitä käyttäen luotiin tehtäväosituskaavio havainnollistamaan ja selkeyttämään päätavoitetta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Kuten kaaviosta 1 nähdään, optimaalisen tuloksen saamiseksi oli otettava huomioon kosolti tekijöitä. Näitä haasteita pohditaan tarkemmin luvussa 4.

Avioniikan paikoitus jaoteltiin kolmeen erilliseen paneeliin; vasen -, keskimäinen- ja oikeapaneeli. Vasempaan tuli näyttö (Garmin GDU 465) (kuva 9), lennonohjausjärjestelmä (Flight control unit GMC 305) (kuva 7), tangentti (PIT breaker) (kuva 6), puheliitin (MIC plugin) (kuva 6), kuulokeliitin (Phone plugin) (kuva 6) sekä 12 kpl kytkinaukkoja (kuva 8), joista kymmeneen asennettiin kytkin, yksi oli tulpattava ja yksi oli jätettävä jälkikäteen asennettavaksi.



KUVA 6. Tangentti, puhe- ja kuulokeliitin



KUVA 7. Lennonohjausyksikkö (Garmin.)



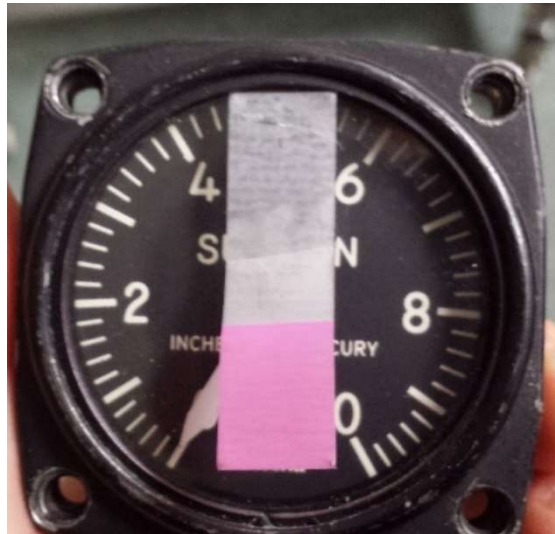
KUVA 8. Kytkinrivistö



Height 7.82 inches

KUVA 9. Näyttö (Garmin. Aviation)

Oikeaan paneeliin asennettiin näyttö (kuva 9). Kuvan 6 kaltainen liitinpaletti tuli myös vasempaan paneeliin, ilmanpainemittari (Draft Gauge) (kuva 10), kaksi pc-liitintä (Pc plugin female and male) (kuva 11) ja ethernet -liitin (kuva 12).



KUVA 10. Ilmanpainemittari



KUVA 11. Pc-liittimet



KUVA 12. Ethernet -liitin

Keskimmäinen paneeli suunniteltiin keinohorisontille (kuva 14) (Gyro horizon indicator), ilmanopeusmittarille (kuva 14) (Airspeed gauge), kompassille (Compass) sekä korkeusmittarille (kuva 14) (Altimeter). Näiden alapuolelle asennettiin Radio (kuva 13), signaalinhallintayksikkö (Signal controlling unit) (kuva 13) ja tutkavastaaaja (Transponder GTX 330) (kuva 13)

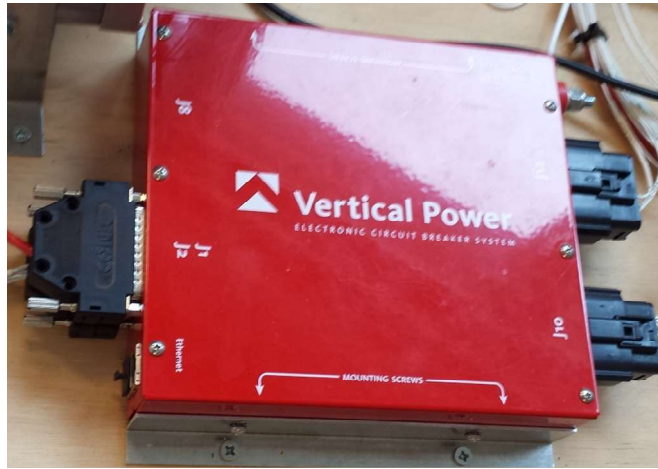


KUVA 13. Ylimpänä radio, Keskellä Tutkavastaaaja ja alhaalla signaalinhallintayksikkö



KUVA 14. Yllä keinohorisontti ja ilmanopeusmittari sekä alla kompassi ja korkeusmittari

Muita asennettavia yksiköjä olivat paneeleitten taakse erilliselle hyllyrakenteelle sijoitettavat virrankatkaisin yksikkö (kuva 14), sensorien valvonta- ja hallintayksikkö (kuva 15) sekä ilmavirtauksenvalvontayksikkö (kuva 16).



KUVA 14. Virrankatkaisinyksikkö



KUVA 15. Sensorien valvonta ja hallintayksikkö



KUVA 16. Ilmavirtauksenvalvontayksikkö.

Kuvan 13 mittarit olivat alkuperäisiä ja ne haluttiin säilyttää. Sitä vastoin muut instrumentit olivat tuliteriä.

3 TYÖN KULKU

Projektin eteneminen oli järjestelmällistä ja eteni vaiheesta toiseen edellisen valmistuttua. Suunnittelu ja toteutus noudattivat taulukon 4 mukaista loogisvaiheittaista toimintapolkua, joka luotiin suunnitteluprosessin ohjekirjan (2010. Design Engineering Manual.) suunnitteluprosessia ja projektinhallintaa kuvaavien ohjeiden perusteella. Piirteiden ja parametrien kartoitus oli kutakin kohdetta tarkasteltaessa ensimmäinen askel, jossa hahmotettiin haluttu lopputulos, rajoitusten kartoitus ja ideoiden luonti. Tämän jälkeen karsittiin ideat analysoimalla kunkin idean muutosvaikutus parametreihin, lopputulokseen, muihin rajoituksiin ja tavoitteisiin. Suotuisimman idean toteutus suunniteltiin ja laitettiin täytäntöön. Toteutuksen muokattiin suunniteltua toteutusta haasteiden ilmetessä. Lopputulos analysoitiin kartoittamalla toteutuma eli saavutettu tuotos suhteessa suunniteltuun. Mikäli toteutuma ei ollut sekä tekijän, että tilaajan analyysin perusteella tarpeeksi lähellä 100 %:a, tehtiin tarvittava muutostyö jälleen taulukon 4 mukaista polkua noudattaen. Riittävän toteutuman saavuttamisen jälkeen suoritettiin jälkitarkastus, missä kartoitettiin viimeisteltävät yksityiskohdat. Nämä kohteet hiottiin kuntoon valmiiksi lopputuotteeksi.

TAULUKKO 4. Suunnittelu- ja toteutusprosessin kulku

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">✓ Piirteiden ja parametrien kartoitus✓ Muutostarpeen kartoittaminen✓ Muutosten toteuttaminen✓ Lopputuloksen tarkasteleminen✓ Tarvittavien piirteiden uudelleen muovaaminen✓ Jälkitarkistukset✓ Lopputuloksen hiominen |
|---|

3.1 Paneelien tuotekehitys

Prototyypin aikaisempi koeasennus oli osoittanut ison kasan puutteita ja epäkohtia. Kävi myös ilmi, että alkuperäistä kojetaulurakennetta täytyisi muuttaa radikaalisti. Tämä tarkoitti uuden näyttökonfiguraation olevan alkuperäistä enemmän tilaa vaativa. Ainoa laajennussuunta oli ylöspäin, koska sivuilla tuli vastaan runkorakenne ja alaspäin mentäessä rajoituksena oli säilytettävä osuus alkuperäisestä järjestelmästä (kuva 17). Tämä havainto loi uusia vaatimuksia ja tarpeita projektin onnistumisen takaamiseksi, joita käsitellään tämän luvun seuraavissa osioissa.

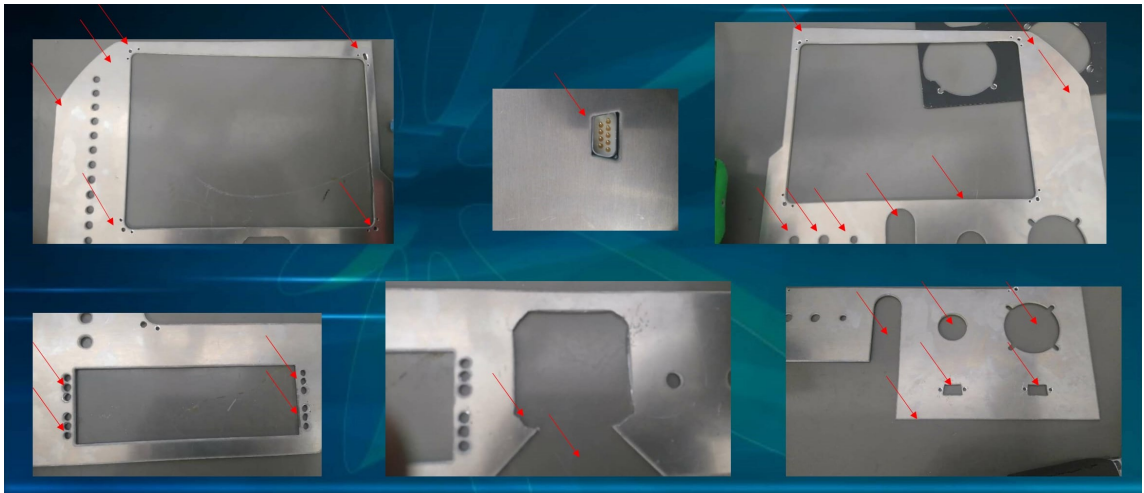


KUVA 17. Ohjaamon rajoitukset ala-, sivu- ja yläsuunnassa.

Ohjaamon tila oli ahdas, joten tilaa ei ollut hukattavaksi. Tilan optimaalinen käyttö ja erityisesti vanhan rakenteen säilyttäminen mahdollisimman ehyinä olivat tärkeitä tavoitteita. Näitä seikkoja huomioiden ja alleviivaten pyrittiin saavuttamaan mahdollisimman minimaalinen kojetaulurakenteen muokkaustarve, jotta välttyttäisiin itse rakenteen liialliselta heikentämiseltä. Heikentymisestä taas johtuisi suurempi tarve lisätoimenpiteille, joita tarkastellaan luvuissa 3.1.1 ja 3.2.

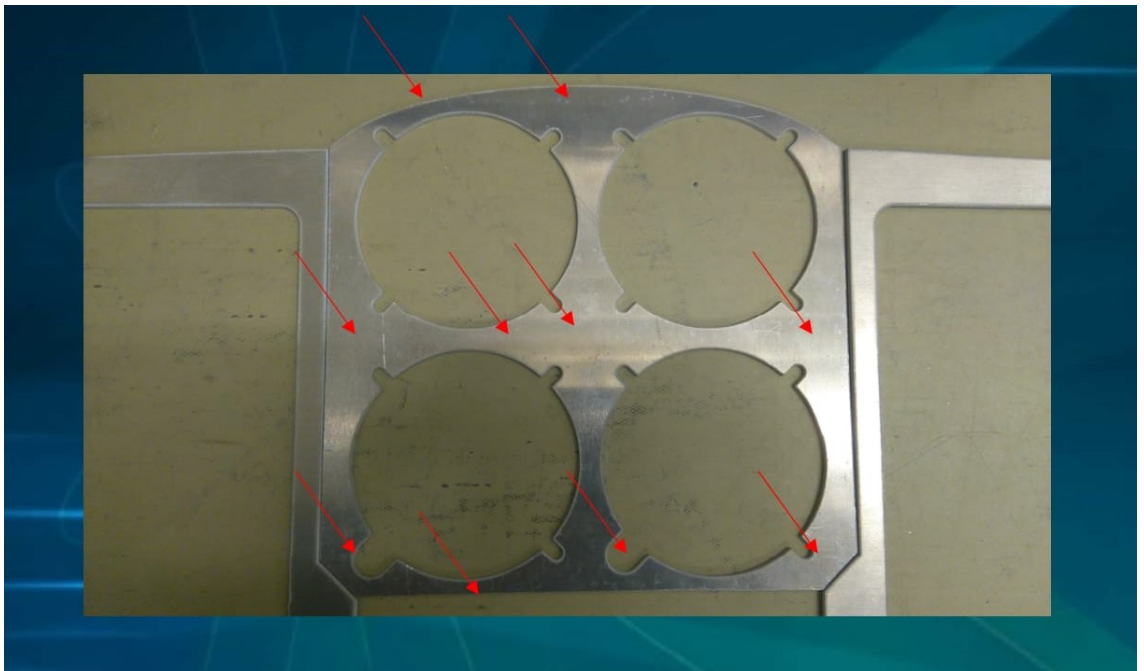
Itse paneelien kehittämisessä havaittuja kohteita oli useita. Kuvat 18 ja 19 osoittavat punaisilla nuolilla merkatun esimerkkialueita, jotka huomattiin muutosta vaativiksi. Kuvan 18 kohdalla vasemmalla ylhäällä olevassa ikkunassa osoitetaan asennusreikien puuttumista. Osa koloista oli leikkausautomaation poisjättämiä mallinnuspuutteiden takia ja loput koloista oli mitoitettava sekä porattava prototyypin koeasennuksen yhteydessä lopullista mallinnosta varten. Keskimäinen ikkuna osoittaa pc-liittimen aukon mallinnuksen jääneen aavistuksen verran liian ahtaaksi. Asennusreiät olivat jääneet myös leikkaamatta. Oikean puoleisessa ikkunassa näkyi asennusreikien puute reuna-alueilla. Isoimman aukon eli näytön aukon huomattiin olevan epäsymmetrinen toiseen paneeliin nähden. Ikkunan vasemman alalaidan kolmea pientä aukkoa; tangenttia, kuulokeliitintä ja puheliitintä varten havaittiin sopivan uudelleen sijoitettuina sujuvasti uuden paneelin taakse jäävän vanhan rakenteen erään mittariaukon kohdalle. Näistä oikealle olevan keskimäisen paneelileikkauksen huomattiin olevan pari mm väärässä kohdassa. Lisäksi päädyttiin sulkemaan leikkaus jättäen ainoastaan reiän ohjaustangolle.

Vasemmalla alhaalla huomattiin lennonhallintayksikön asennukseen alun perin suunniteltujen holkkien niittausreikien olevan tarpeettomia. Alhaalla keskellä näkyy leikkaus vasemman paneelin ohjaustangon läpivientirakenteelle. Tässä oli tapahtunut muutaman millimetrin mitoitusvirhe, jolloin oli käsin nakerrettava leikkaus sopivaksi. Leikkaus päätettiin myöskin sulkea ja jättää vain läpivientirakenteen kokoinen aukko lopulliseen tuoteeseen. Vasemman alaikkunan kohdalla osoitetaan oikean paneelin ohjaustangon leikkauksen sulkemiskohta vasemmanpuoleisimmalla nuolella. Samalla tasolla keskimäinen nuoli osoittaa Ethernet -liittimen aukon, josta puuttuvat asennusreiät. Oikeanpuoleinen isoin aukko on ilmanpainemittaria varten. Näistä keskellä alhaalla olevat kaksi nuolta osoittavat pc-liittimien paikan. Kaikki osoitetut neljä aukkoa haluttiin uudelleen sijoittaa, jotta ne saataisiin sovitettua takana sijaitsevaan entisen hansikaslokeron aukon kohdalle. Alimmainen nuoli osoittaa havaittua materiaalinpuuttumista aiheuttaen paneelireunan jäävän vajaaksi hansikaslokeroaukon alareunasta.



KUVA 18. Oikean ja vasemman paneelin muutosvyöhykkeitä.

Keskimmäisen paneelin kohdalla kuvan 19 mukaisesti punaisilla nuolilla osoitettuna havaitut parannuskohteet olivat helposti koeasennuksella havaittavissa. Alareunan havaittiin jäävän vajaaksi alle asennettavien radioyksiköiden ylimmäisestä reunasta. Kahden alimmaisesta mittariaukon säätöruuvien kolot vaativat muodonmuutosta. Asennuskolot oli porattava koeasentamisen viitoittamana. Yläreunaa jouduttiin myös korottamaan, jotta ylimmäiset mittarit jäisivät levyn varjoon.



KUVA 19. Keskimmäisen paneelin muutosvyöhykkeitä.

3.1.1 Ohjaamon muokkaaminen

Jotta olisi mahdollista tuotekehittää paneelien prototyypit toteuttaen toimiva instrumenttien ohjaamokonfiguraatiota, oli alkuperäinen kojelautarakenne muokattava suotuisanlaiseksi prototyypipaneelien avulla. Muokkaaminen tapahtui ilmanpainepistosahalla. Leikattavat palaset merkattiin ja ohjaamo suojattiin, jotta myös metallipartikkelit saataisiin helposti talteen (kuva 20).



KUVA 20. Ohjaamon suojaaminen.

Leikkaaminen oli tarkkaa puuhaa eikä virheille ollut juuri varaa. Sahauksen lisäksi käytettiin ilmanpaineporaa asennusreikien poraamiseksi rakenteeseen. Kuvassa 21 havainnollistetaan leikkaus- ja poraustoimintaa. Vaikka pelti oli suhteellisen ohutta, sahanterä täytyi vaihtaa useaan otteeseen.



KUVA 21. Rakenteen leikkausta ja porausta.



KUVA 22. Työn eteneminen.

Sahan hallinta oli hankalaa tilan ollessa paikoin erittäin ahdas. Kuvasta 22 näyttää tilanteen työn keskivaiheilla. Sahausten aikana havaittiin kuitenkin jotakin poikkeavaa. Kuva 23 havainnollistaa kuinka kahden pinnan reuna alueet sojottavat erillään toisistaan. Aiemmin oli yhdistetty niiteillä pitemmältä matkalta rakenne. Sahaustoimenpide oli pakottanut poistamaan materiaalia pitemmältä matkalta myös niittausalueelta, jolloin jäljellejävällä yhtymäalueella ei sattumoisin sijainnut ainuttakaan niittiä.



KUVA 23. Havaittu erkaantunut yhtymävyöhyke.



KUVA 24. Niittausharjoittelua.

Pintojen uudelleen yhdistämiseen oli löydettävä sopiva menetelmä. Koska kohde oli laadultaan pysyvästi yhdistettävä, päädyttiin Liitteen 2, 4 ja R. Wanttajan ruuvien ja niittien asennusohjeiden vertailun jälkeen käyttämään niittikiinnitystä. Tämä olisi yksinkertainen siisti ja luotettava menetelmä. Vertailun tukena käytettiin M. Järn (2015) kokemuksia ja havaintoja sekä M. Niun (1999) ilma-aluksen rakennesuunnitteluohjeita. Ruuvikiinnityksestä luovuttiin, koska tiukan liitoksen aikaan saaminen tällä menetelmällä olisi työläämpää ja monimutkaisempaa. Seuraavaksi vuorossa olivat itse niitin valinta ja tämän ohella niittauksen harjoittelu kuvan 24 osoittamalla tavalla. Käytettiin vetoniittejä, koska kupu jäisi optimaalisesti ohjaamon pinnantasoon, jolloin niittaus olisi sujuvaa suorittaa ylhäältä päin. Toinen vertailualue oli kupukantaniitti vastaan uppokantaniitti. Päädyttiin kupukantaan, koska niitin päälle asennettavaa pinnantaso vasten ei tulisi mitään, mikä siinä tapauksessa vaatisi sileää pinnantaso. Kupukantaniitin kanssa ei myöskään tarvittaisi erillistä työvaihetta vastasyvennysporaukselle (liite 4). Valinnan jälkeen suoritettiin asennusreiän poraus kuvan 25 mukaisella 3.3 mm poranterällä.



KUVA 25. Valittu työniitti ja asennusporanterä



KUVA 26. Ohjaamon muokkaus valmis koeasennukseen.

Kuva 26 hahmottaa rakenneluurankoa muokkauksen jälkeen. Ennen kuin voitiin todeta muokkaus riittäväksi, oli varmistuttava avioniikan instrumenttien sijaintien olevan kohdallaan leikattuihin aukkoihin nähden (kuva 27).



KUVA 27. Koeasennus.

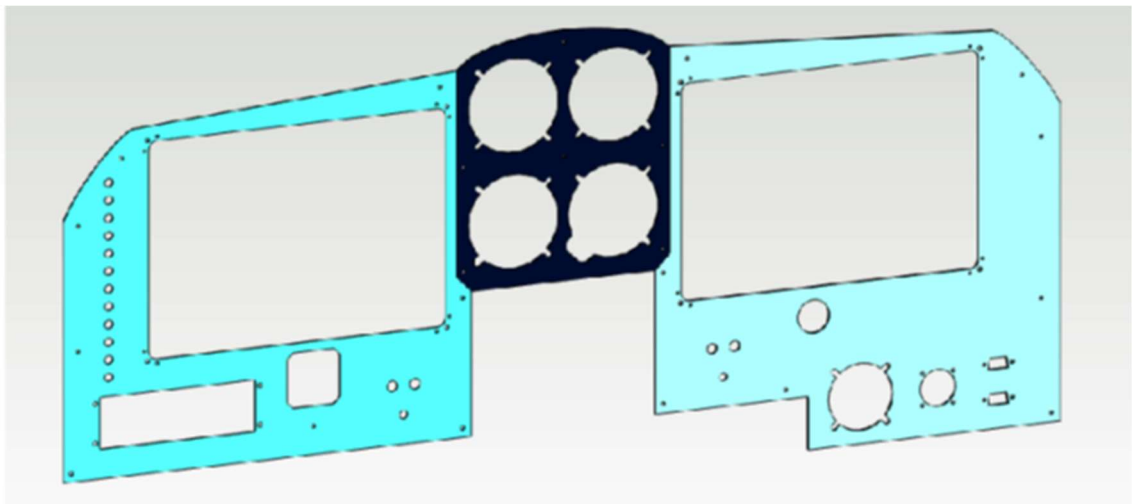
Kun oltiin tyytyväisiä sovitukseen, oli aika paikantaa, merkata ja porata asennusreiät. Kuva 28 kertoo onnistuneesta reikien kohdistamisesta ja paneelien paikalleen asentamisesta. Tässä kohtaa toinen näyttö oli vielä tulossa postin mukana, joten saatavilla olevalla mallilla tehtiin koeasennus molemmille puolille. Muiden ei tilaa vaativien instrumenttien sovitus oli tehty aiemmin ilman paneelien erillistä paikalleen kiinnittämistä, koska niiden konfiguraatio oli päätetty muutettavaksi joka tapauksessa eikä niiden osalta ollut paneelien takana mitään rajoittavaa tekijää toisin kuin esimerkiksi näytön tapauksessa.



KUVA 28. Koeasennus asennusreikien poraamisen jälkeen.

3.1.2 Lopullinen kokoonpano

Koesovitusten, näytön ja ohjaamon parametrien tarkistusten, muutosehdotusten laatimisen sekä tilaajan hyväksynnän jälkeen mallinnettiin muutokset Vertex:llä. Näin syntyi kuvan 29 mukainen kokoonpanomallinnus kolmelle paneelille. Apuna ja ohjenuorana mallintamisessa käytettiin tiiviisti mekaanisen mallintamisen ohjekirjaa (Simmons, C. & Maguire, D. 2004.). Instrumenttien asennusmittoihin ja kriteereihin käytettiin laajalti Garmin -valmistajan verkkosivustoa (Garmin. Aviation.) sekä yleisesti paneelin suunnittelun ja toteutuksen apuna D. Mullinsin artikkelia (2003) sekä M. Dubeaun artikkelia (2016).



KUVA 29. Lopullisten paneelituotteiden mallinnuskokoonpano.

Paneelien valmistuskuvat lähetettiin leikattavaksi toimivaksi havaitulla vesileikkausmenetelmällä.

3.1.3 Sovitusasennus

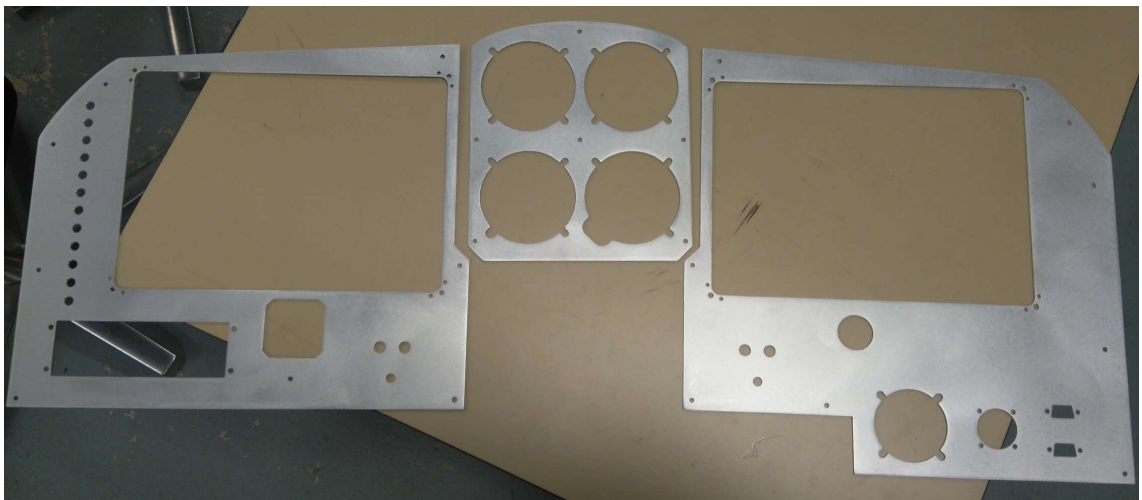
Levyjen saavuttua valmistuksesta päästiin jännityksellä tarkastamaan, olisivatko tuotteet vihdoin lopullisessa funktionaalisessa ja esteettisässä asussaan. Asennettavat osat koesovitettiin paikoilleen, jonka jälkeen koon puolesta kriittisimmät laitteet kuten alkuperäiset mittarit ja näytöt koeasennettiin paikoilleen koneeseen. Havaittiin levyjen valmistuksen onnistuneen. Ainoastaan muutama yksittäinen havainto pisti silmään, jotka eivät sinänsä liittyneet levyjen valmistuksen onnistumiseen, vaan muihin suunnitteluteknisiin haasteisiin. Näitä tarkastellaan luvussa 4. Kuvassa 30 levyjen koesovitus.



KUVA 30. Lopputuotteiden koeasennus.

3.1.4 Kiillotus

Tyytyväisenä paneelien ulkoasuun ja funktionaalisuuteen jatkotoimenpiteenä kohti täysin valmista konseptia oli levyjen hiominen ja kiillottaminen pinnoitusvärjäystä varten. Käytettiin tarrapaperihiomakonetta ja puhdistamiseen asetonia. Hyödynnettiin useampaa karheuslaatua karheammasta hienojakoisimpaan vaihtaen. Kappaleiden pintojen hionta ja kiillotus olivat hienovaraista työtä, koska hiottava pinta oli kapea suhteessa hiomapaperin kokoon. Tämä tarkoitti paperin helposti repeävän laikan pyöriessä muodon reunan yli ja takaisin.



KUVA 31. Paneelien kiillotus.

3.1.5 Väriä pintaan

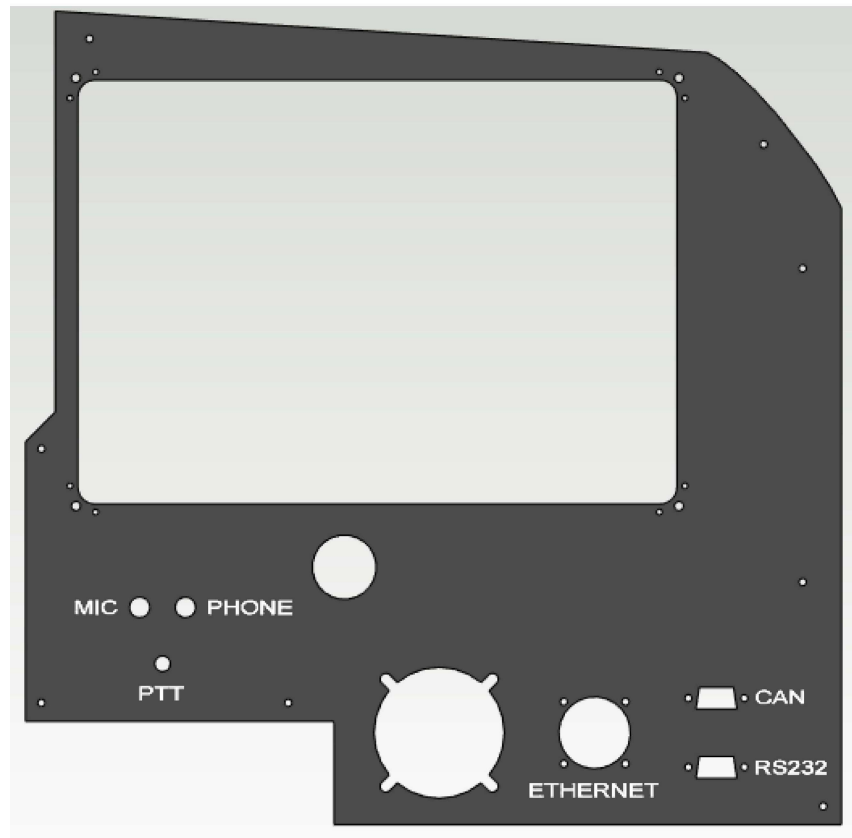
Paneelien värivaatimus oli yksi pääkriteereistä tilaajan toimesta. Haluttiin saada syvyyttä ulkonäköön tietyllä mustalla värisävyllä, joka saatiin ainoastaan musta-anodisointikylvyllä. Tämä oli jo aiemmin rajoittanut materiaalivalintaa, ja nyt asetti myös vaatimuksen hyvälle sekä tasaiselle pinnanlaadulle pinnoituksen onnistumisen takaamiseksi. Tästä syystä kiillotus- ja hiontaoperaatio oli tehtävä huolella.

Anodisointi tarkoittaa kappaleen upottamista anodisointiliuokseen, minne syötetään sähkövirtaa. Sähkö aiheuttaa liuoksessa reaktion alumiinipinnan kanssa, jolloin pinnalle alkaa muodostua oksidikerros eli se alkaa hapettua. Pinta voidaan tässä yhteydessä värjätä lisäämällä väriaineita, jotka hapettumisprosessi sitoo materiaalin pintaan kovaksi kulu- tusta ja korroosiota kestäväksi kerrokseksi. Musta-anodisointi on yksi vanhimmista täl- laisista värjäysmenetelmistä. (Anodisoinmenetelmä.)

Menetelmän sopimiseen suhteessa tuotteeseen ja materiaalivalintaan oli perehdyttävä paremmin (Problems and Issues Hard Anodizing 7075 Aluminum.), (Problems and Issues Hard Anodizing 7075 Aluminum.), (2008. Konetekniikan Materiaalioppi) ja liite 1. Kävi ilmi anodisoinnin olevan kaikkea muuta kuin triviaali toimenpide. Esimerkiksi sarjan 7075 alumiinilaatujen kanssa toimenpide saattaisi jopa helposti polttaa ja tuhkata alumiinin pinnan (Problems and Issues Hard Anodizing 7075 Aluminum.). Ammennetun tiedon perusteella materiaalin merkitys työssä oli korkea, koska alumiiniseoksen vaikutus anodisoinnin vaikutukseen ja sen onnistumiseen molekyylitasolla oli merkittävä. Oli metsästettävä yritys, joka olisi valmis kylvettämään pienen yksittäiserän kappaleita halutulla menetelmällä. Löydettiin vain yksi yritys Suomesta, joka oli valmis tekemään työn. Tämä yritys sijaitsi pääkaupunkiseudulla Espoossa (Anodisointi Janster Oy.)

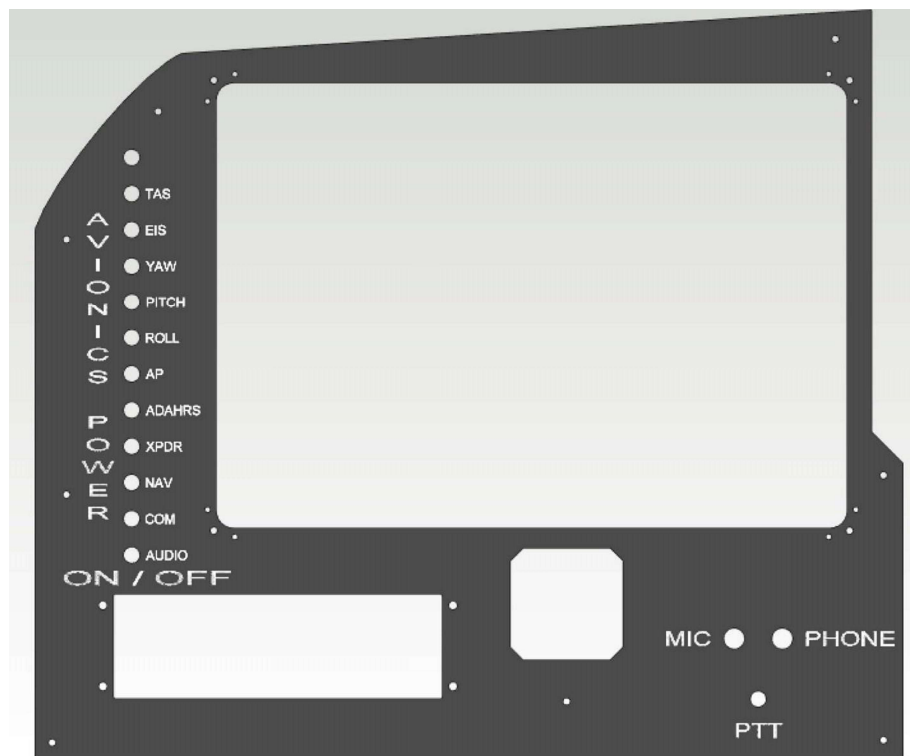
3.1.6 Etiketit

Täydellinen, syvä, musta pinta ei ollut vielä tarpeeksi tyydyttämään visuaalista tavoitetta. Kuvassa 32 on mallinnos vasemmalle paneelille halutuista etiketeistä.



KUVA 32. Vasemman paneelin tekstiprinttien mallinnos.

Instrumenttien ja komponenttien nimillä pyrittiin helpottamaan kohteiden tunnistusta paneelien esteettisen ilmeen parantamisen lisäksi. (FAA Federal Aviation Administration. Indication in flight deck.). Myös käytettävyyttä lisätään paneelimerkinnöillä. Kulloisessa tilanteessa haluttavan oikean vivun tai liittimen löytäminen voisi muutoin olla hyvinkin tuskallista. Lisäksi halutaan saada myös mahdollisimman realistinen lopputulos tukemaan opiskelijoiden teoriapenkiltä työmaailmaan siirtymistä. Kuva 33 valottaa oikean puoleisen paneelin tekstikonfiguraatiota. Vasemmassa reunassa ovat virtakytkinten nimet, yleisnimitys kytkimille sekä kytkinten funktiosuuntaa kuvaava merkintä; ”ON / OFF”. Loput 3 merkintää ovat kuulokeliittimelle, puheliittimelle ja tangentille. Nämä ovat identtisiä myös kuvan 32 paneelissa, jossa muut merkinnät ovat pc -liittimiä ja Ethernet -liitintä varten. Merkinnät painatettiin Silkkipaino Tiina Mäkelässä. Merkintöjen paneelisiin mallintamisen toteuttamisen avustamisesta ja konsultoinnista on kiittäminen M. Saarta Tuoni Studiot Oy:sta.



KUVA 33. Oikean puoleisen paneelin tekstiprinttien mallinnos.

3.2 Tukirakenne

Oli ilmeistä kojetaulurakenteen sahaamisen ja paneelien valmistamisen jälkeen, että tarvittaisiin lisävahvikkeita tukemaan ja vahvistamaan poistetun materiaalin aiheuttamaa rakenteen heikentymistä. Lisäksi tarvittiin muutama kiinnityspiste lisää paneeleille, jotka myös toimisivat lisätukina sekä paneeleille, että itse alkuperäiselle kojetaulurakenteelle. Tarvittiin siis vakauttava, tukeva ja vahvistava tukirakenne. Tukipisteiden tarvekohdat voidaan havaita kuvan 34 avulla paneelien ylälaidasta ohjaamon leveydeltä alueelta, joka nousee alkuperäisen pinnantason yläpuolelle.



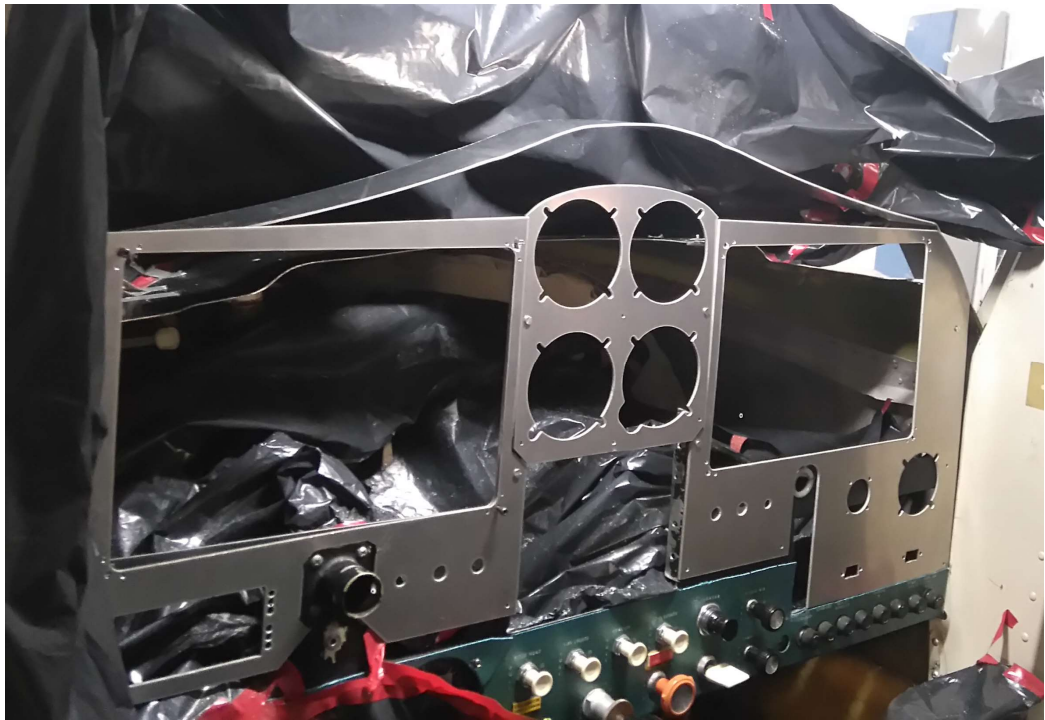
KUVA 34. Ohjaamokuva edestä tukirakenteen hahmottamisen alkumetreillä.

Ideoita pyöriteltiin ja hahmoteltiin, joista yksi tiukan aikataulun takia liian monimutkaiseksi osoittautunut rakennelma oli luurankokehikko kojelaudan alle ja paneelien taakse jäävään tilaan. Rakenne olisi kiinnitetty useammasta pisteestä paneeliin putki- ja maisten runkoelementtien avulla, sekä muutamasta kohdasta tuliseinään ja piilohyllyrakenteeseen. Toteutuskelpoiseksi kuitenkin havaittiin ja täten pantiin täytäntöön levymäinen tukirankaidea. Tarkoituksena oli kiinnittää paneelien yläosa alkuperäiseen rakenteeseen rangan kautta. Tukielementti rakennettaisiin 100 mm leveästä ja 2 mm paksusta

6061-T6 sarjan lentokonealumiinista. Pituus mitoitettiin paneelikokoonpanon alkuperäisen kojelaudan yli jäävän osan pituuden mukaan. Kiinnittämiseen suunniteltiin korvakkeita.

3.2.1 Ensimmäinen vaihe

Työläisin vaihe oli itse selkärangan eli tukilevyn taivuttaminen oikeista kohdista oikeanlaiseen kulmaan ja muotoon. Toimenpiteet vaativat kulmataivuttamista ja kaarevuustaituttamista. Saatavilla ei ollut konetta, jolla olisi voinut taivuttaa levyä suoraan syötetyn piirteen muotoiseksi, joten jouduttiin tekemään taivutukset käsipelillä ja pääsääntöisesti silmämääräisesti kokeilu – muokkaus -periaatteella.



KUVA 35. Tukirakenteen alkumuodon hahmottaminen.

Kuvassa 35 nähdään taivutusprosessin alkua ja kuva 36 havainnollistaa valmiin taivutusmuodon ylhäältä - edestä kuvattuna.

3.2.2 Toinen vaihe

Päätuen valmistuttua siirryttiin rakentamaan kiinnityskorvakkeita. Paneelien rajoitukset kiinnityspisteiden suhteen otettiin huomioon ja päädyttiin viiteen erilliseen korvakkeeseen. Jotta varmistuttaisiin riittävästä vahvuudesta ja kestävyydestä, käytettiin vahvempaa materiaalia ja ainepaksuutta kuin alkuperäinen kojetaulurakenne. Korvakkeet piirrettiin Vertex:llä ja leikkautettiin samasta alumiinista kuin paneelit. Taivutukset toteutettiin käsityönä Rollikkahallilla. Taivutusten mitoittamiseksi valmistettiin erillinen työkalu luvun 4 kuvan 85 havainnollistamana.



KUVA 36. Tukirakenteen työstämistä

Valmiita korvakkeita käyttäen paikannettiin asennusreiät tukiselkärankaan ja porattiin paikan päällä materiaaliin.

3.2.3 Paikalleen asennus

Osat asennettiin paikalleen aloittaen porraskorvakkeista alkuperäisten mittareiden molemmilla puolilla, jotka olivat kiinnityspisteitä kojelautaan sekä molempiin sivupaneeleihin (kuva 39). Keskimmäväliseen paneeliin kiinnitettiin yksi korvake (kuva39). Kaksi korvakea asennettiin molemmille puolille kuvien 37 ja 38 mukaisesti.



KUVA 37. Kiinnityskorvakkeen asennus apupilotin istuimen puolelta.



KUVA 38. Korvakkeen asennus pilotin penkin puolelta.



KUVA 39. Korvakkeiden asennus keskelle.

Tukirangan valmistusprosessissa oli yksityiskohtia ja seikkoja, jotka vaativat lisähuomioita, ja joihin olisi hyvä puuttua sekä hakea ratkaisuja. Näistä seikoista kerrotaan enemmän luvussa 4.

3.3 Servohylly

3.3.1 Suunnittelu ja mitoitus

Kuvien 14-16 mukaiset yksiköt oli tarkoitus asentaa erilliselle hyllyrakenteelle paneelirakenteen taakse. Tähän löydettiin osaprojektikartoituksessa sopiva tila entisen hansikkalokeron paikalta kuvan 40 havainnollistaman aukon takaa.



KUVA 40. Piilohyllyn asennuskohteen hahmottaminen.

Suunnittelussa ja mitoituksessa otettiin huomioon hansikaslokeron kiinnitysreiät sekä tuliseinässä olevat kaksi kiinnitysreikää moottorin puolella sijaitsevalle akkukotelolle. Muita rajoitteita olivat itse lentokoneen runko oikealla puolella ja ohjaustanko ynnä muu johtojen ja vajjereiden viidakko vasemmalla. Suunnittelussa oli myös itse asennettavien instrumenttien asennusmittojen lisäksi huomioitava niiden kytkentöihin tarvittavien johtojen ja putkien vaatima tilankäyttö. Tilanahtaus ja mittauslaitteiden epätarkkuus hankaloittivat riittävän tarkkojen mittoja saamista mallinnuskokoonpanoa varten. Tästä syystä päädyttiin joustavaan rakenneratkaisuun. Tämä koostui kolmesta erillisestä osasta. Materiaalina käytettiin samaa levyä kuin paneeleissa.

Pääasiallinen rakenne oli yhtenäinen, asennettavia yksiköitä varten suunniteltu, taivutusjäykisteiden tukema tasorakenne. Hansikaslokeron lentokoneen runkoon tehtyä asennusaukkoa hyödyntävä kiinnitysosa suunniteltiin oleva kahdella taivutusjäykisteellä varustettu korvake, jonka hyllyrakenteeseen liittävä osuus kiinnitettäisiin uppokantaniitein jättäen levypinta tasaiseksi ja lentokoneen runkokiinnitys ruuvikiinnityksellä tehtäväksi antaen mahdollisuuden hyllyn poistamiseksi tarvittaessa. Tuliseinän päähän suunniteltiin porraskorvake myös jäykistetaivutuksella, jolloin kiinnitys tapahtuisi pidennetyin muuten akkukotelon kiinnitysruuvien kanssa identtisin ruuvein.

3.3.2 Osien valmistus

Osat leikattiin vesileikkurilla Vertex -mallinnosten pohjalta. Taivutukset tehtiin samaan aikaan kiinnitysreikien kohtien merkkaamisen kanssa, jonka jälkeen porattiin asennusreiät. Kuvassa 41 näkyy esikokoonpantu hyllyrakenne.



KUVA 41. Hyllyrakenteen esikokoonpano.

3.3.3 Paikalleen asennus

Ensin tehtiin hansikaslokeron suuaukolle tulevat kiinnitysreiät. Tämän jälkeen taivutettiin sivutuki ja porattiin runkokiinnitysreiät. Seuraavaksi oli helpompi merkata hyllykiinnitysreiät ja porata ne (kuva 42). Viimeiseksi taivutettiin päätytuki, porattiin reiät rakennekiinnityksille ja lopuksi tuliseinän kiinnityksille (kuva 43).



KUVA 42. Hyllyrakenteen paikalleen sovitus



KUVA 43. Hyllyrakenne paikalleen asennettuna.

3.4 Näkösuoja

Näkösuojan rakentamisen tarve ilmeni viimeistään konkreettisesti, kun paneeliprototyyppejä koeasennettiin paikoilleen kojetaulun muokkaamisen jälkeen. Haitta ei ollut rakenteellinen, vaan enemmänkin visuaalinen. Kun koeasennettua järjestelmää katsoi lentokoneen tuulilasin läpi, se näytti kuin pääkallosta olisi sahattu osa pois ja aivot paistaisivat ulos. Tärkeys siis tuli suoraan esteettisyysnäkökulmasta, etenkin kyseisen alueen ollessa keskeisellä paikalla ohjaamossa. Oli myös otettava huomioon standardin mukaiset vaatimukset esteettömälle näkymälle ulos ohjaamosta. Toinen merkillepantava tekijä oli suojan ulottuminen paneelin reunuksen yli näyttöjen ylle antaen enemmän suojaa mahdolliselta häikäisyhailalta. Taustaa aiheesta ja asetuksista löytyi esimerkiksi verkkosivuilta (Federal Aviation Administration.) ja M. Niun kuvailemana (1999) hänen kirjassaan.

3.4.1 Aivoriihi

Ensimmäisen ajatuksena oli tehdä suoja komposiitista, koska tarvittaisiin optimaalisen kevyt rakenne pienentäen mahdollisimman paljon lisäpainon syntymistä koneelle. Muutoin kyse ei ollut osasta, joka kantaa minkäänlaista räsitusta, joten tarkoitukseen sopivalta tuotteelta vaadittiin ainoastaan esteettisyyttä ja yksinkertaista toteutusta sekä asentaa. Päädyttiin aika nopeasti hiilikuituratkaisuun, koska kuituosa sopisi jo ominaisvärivälyltään yhteen paneelien kanssa. Tämän lisäksi kuiturakenne olisi äärimmäisen kevyt ja bonuksena myös kestävä. Ainoa haaste olisi sopivien valmistustilojen löytäminen ja itse tarkan muodon mittojen saaminen käytössä olleilla alkeellisilla menetelmillä. Tarkan muodonkin metsästämisessä todettiin hiilikuituratkaisun olevan metalliosaa parempi jo pelkästään helpommin saatavan esteettisyystodennäköisyyden takia. Valmistustiloja ei ollut käytössä Tredun eikä Tamk:n tiloissa. Apu löytyi astetta kauempaa tarkalleen ottaen Vilppulasta ja siellä CSI – Composite -yrityksen tiloista. Yhteydenoton, projektin ja ongelman esittelyn jälkeen tarjottiin laminointitilat ja opastustakin yrityksen taholta. Täytyi vain saada riittävä muoto aikaiseksi osan valmistusta varten.

Mittaustarkkuus rullamitalla, työntömitalla ja muilla vastaavilla ei ollut lähelläkään tyydyttävää jo pelkästään siitä syystä, että tuulilasin asennuskulma ei sallinut mitan saamista haluttuun pisteeseen asti. Tällöin ensiaskel halutun muodon saamiseksi oli tehdä pahvimallinnos ohjaamoon kuten kuvasta 44 näkyy. Mikäli tarkan muodon hahmottamisen saa-

minen osoittautuisi vaikeaksi, olisi edessä työläs prosessi jopa hiilikuituosan valmistamiseksi. Monia tapoja tehdä valos olemassa olevaan muotoon löytyy kylläkin, mutta ongelmana on valoksen tekeminen ohjaamon sisällä vaurioittamatta ja sotkematta paikkoja sekä itse valoksen poissaaminen ehjänä valun jälkeen.



KUVA 44. Pahvihahmotelma muotosuojaa varten.

3.4.1.1. Kokeellista innovaatiota

Tilaaajan, komposiittiyrityksen sekä muiden paikalle sattuneiden kanssa käytyjen pohdintojen jälkeen löytyi ajatus innovatiivisesta tavasta saada haluttu muoto valettua. Ajatuksena oli suihkuttaa ohjaamoon uretaania, jolloin aineen kovetuttua saataisiin aikaiseksi riittävä muoto hiilikuidun laminoimiseksi. Ajatus lähti kokemuspohjaisesta kertomuksesta, missä autoteollisuudessa oltiin havaittu käytettävän uretaania muotojen saamiseksi muokattaviin olemassa oleviin kohteisiin. Lähdettiin viemään ideaa eteenpäin, jotta toteutuskelpoisuustodennäköisyys saataisiin selville. Tässä suurena apuna oli etenkin CSI-Composite -osaaminen.

Saatiin selville idean olevan toteutuskelpoinen, mikäli uretaanimuoto pystytäisiin saamaan sellaiseen kuntoon, että laminointityö ei söisi uretaanimuottia ennen halutun muodon jähmettymistä eivätkä pinnoitusaineet irtoaisi irrotusvaiheessa. Tämän varmistamiseksi tarvittaisiin yksi välivaihe lisää. Tämä välivaihe tarkoittaisi lasikuitumuotin valmistamista uretaanimuotista, jolloin uuden muotin päälle olisi helppo valaa varsinainen hiilikuitumuoto. Täten mikäli lasikuitumuodossa olisi joitain esteettisiä epätarkkuuksia, ne jäisivät hii-

likuitumuodon alapuolelle, joka taas ei olisi ohjaamossa näkyvillä. Myös uretaanimuodon esteettisyyspäkohtia olisi helpompi korjata ja kompensoida lasikuitumuotoon.

Uretaanimuotille piti siis varmistua pinnan laadusta, tarkkuudesta ja kestävydestä lasikuitumuotin laminoimiseksi. Ohjaamo pitäisi suojata asianmukaisesti kuvan 45 tavalla, jottei helposti eri materiaaleihin jämähtävä uretaani aiheuttaisi lisää ongelmia ja työvaiheita ohjaamossa. Oli myös varmistuttava muodon irrottamisesta ehjänä. Näiden lisäksi uretaanimuodon ennustettiin olevan ilmavuutensa takia kuitenkin sen verran epätarkka ja epämuotoinen, että syntyneen muotin muotoja jouduttaisiin todennäköisesti hiomaan ja paikkaamaan.

Haettiin ideaa jälleen rakennustekniikan puolelta. Ajatuksena oli käyttää kit-tiä paikkaamaan epätarkkuuskohtia syntyneessä muodossa. Perusteena oli yleiskäyttö rakennustekniikassa paikoissa, missä uretaania on läsnä. Kitin ei oltu kuitenkaan havaittu aiheuttavat minkäänlaista haitallista reaktiota kuivan uretaanin kanssa. Kitin pinnan laatu pystyttäisiin hiomaan niin tarkaksi kuin kärsivällisyys riittäisi. Tämä tarkoittaisi ainoastaan koko muotin moni kertaista kittaamista ja hiomista halutun pinnanlaadun ja muodon saavuttamiseksi. Tämä taas tarkoittaisi yhtä erittäin työlästä työvaihetta lisää.

Vaikka kyseisenlaisesta muotin valmistusprosessista ei löytynyt minkäänlaisia ennakkokokemuksia, oli idea kuitenkin perusteluineen niin toteutuskelpoinen, että se vietiin toteutukseen. Tiedostettiin työn tulevan olemaan työläs ja aikaa vievä, joten siihen asennoiduttiin jo valmiiksi määrätietoisesti.



KUVA 45. Ohjaamon valmisteleminen uretaanivalua varten.

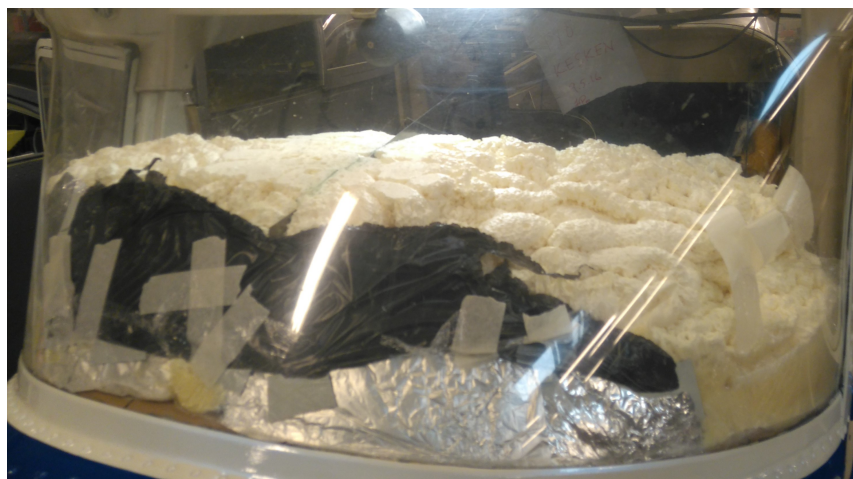
Kuva 45 antaa kuvan suojatusta ohjaamosta valmiina uretaanin ruiskutusta varten. Keskellä oleva alumiinifolio jakaa kojelaudan kahtia tarkoituksena helpottaa irrotusta. Loppujen lopuksi kuitenkin päädyttiin jakajan poistamiseen. Todettiin väliseinän mahdollisesti aiheuttavan tarpeeksi suuren epäjatkuvuuskohdan palasten välille korostaen halutun muototarkkuuden heikkenemistä. Ruiskutettiin kaksi putkilollista uretaania kuvan 46 mukaisen tuloksen saamiseksi.



KUVA 46. Uretaani kuivumassa.

3.4.1.2. Muotin irrotus

Uretaanin annettiin kuivua useamman päivän, jotta varmistuttaisiin kuivasta lopputuloksesta. Kuvassa 47 suoja on poistettu tarpeeksi irrotustyön aloittamiseksi. Massasta jouduttiin sahaamaan päältä aimo kerros pois sekä sahaamaan muoto kahteen osaan, jotta lopulta onnistuttiin saamaan kaksi ehjää palasta pois ohjaamosta muotoa tai ohjaamoja vahingoittamatta.



KUVA 47. Muotin irrotuksen aloitus.

Kuvasta 47 havaitaan uretaanin tunkeutuneen melko mukavasti tuulilasin reunaan asti. Paikoittainen materiaalin vajoitus kuitenkin osoittaa, että selvästi jouduttaisiin paikkaustehtäviin myös reunamuodon osalta. Kuvassa 48 muotti on saatu onnistuneesti kahdessa palassa irti. Muoto on selvästi havaittavissa, joskin enemmän tai vähemmän karu. Kuva osoittaa hyvin tarkasti seuraavan vaiheen eli kittaus ja hiontavaiheen tulevan olemaan suurtyöläs.



KUVA 48. Kahdessa osassa irrotettu muotti.

3.4.2 Muotoonsa muovaaminen

Kittaus ja hionta työ olivat seuraavia työvaiheita. Kuitenkin ensin oli liitettävä palaset yhteen. Tämän jälkeen otettiin karkea hiomalaikka kouraan ja hienovaraisesti lähdettiin työstämään muottia siistimpään kuntoon.

3.4.2.1. Kovat – pehmeät otteet

Kuva 49 havainnollistaa tilannetta palasten yhteen liittämisen jälkeen ennen hiomisen aloittamista.



KUVA 49. Uretaanimuotin tasoitus ja pinnan muokkaus.

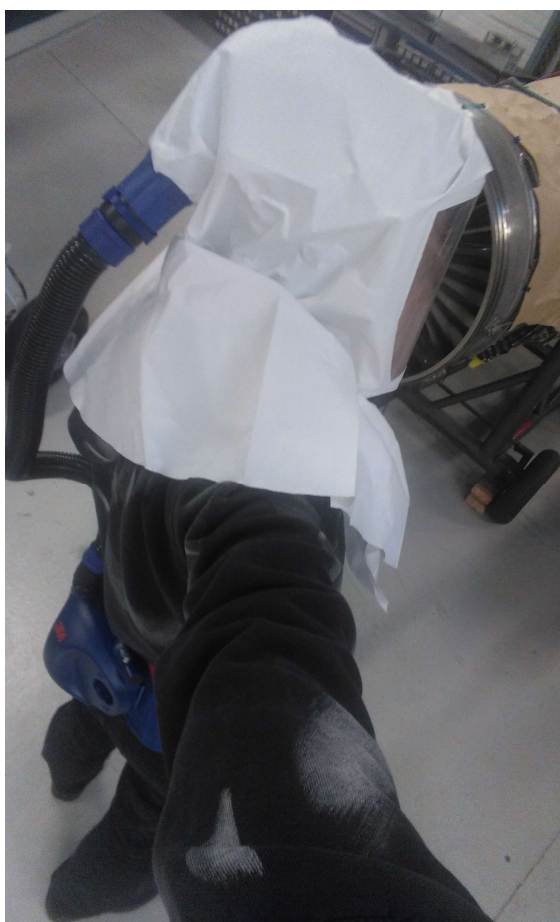
Uretaanin alkukäsittely jälkeen aloitettiin pitkäjänteisin urakka. Muottiin upposi useampi kilo kittiä, jotta saatiin lukuisten kittauskertojen jälkeen kuvan 50 mukainen tulos. Kuvasta näkee huiman eron kuvan 49 vaiheeseen nähden. Jokaisen kittauskerran jälkeen pinta hiottiin pyöröhiomakonetta ja tavallista santapaperia käyttäen.



KUVA 50. Kitattu ja hiottu uretaanimuotti.

3.4.2.2. Pölyiset olosuhteet

Hienojakoisen pölyn ympäristössä oli varustauduttava huolella (kuva 51).



KUVA 51. Asianmukainen suojarustus.

3.4.2.3. Pinotus

Komposiittiyrityksen ohjeen mukaan, jotta varmistuttaisiin muotin toimivuus, oli pystyttävä käsittelemään pinta asian mukaisella pintalakalla. Lakan tarkoitus olisi auttaa pitämään uretaanikittimuottin ja lasikuitumuotin kemikaalit erillään, sekä edesauttaa myös lasikuidun irrotusoperaatiota. Kokeudesta uretaanikittimuottin irtoamisesta lasikuitulaminoinnista ei ollut, joten oltiin kirjaimellisesti tuntemattomilla vesillä. Ainoa vaihtoehto oli lähteä kokeilemaan. Tilaaja hankki kirkaslakkasumutetuotteen, jota levitettiin useampi kerros muotin pintaan. Tästä tuotteesta ei saatu ennakkokokemuksia komposiittivalmistuksessa, joten myös tämä lisäsi epätietoisuuden verhoa. Kuvassa 52 näkyy pinnoitettu muotti.



KUVA 52. Pinnoitettu muotti

3.4.3 Muotista muotiksi

Uretaanikittimuotin valmistuttua päästiin vihdoin siirtymään CSI – Composite tiloihin Vilppulaan. Siellä oli mahdollista käyttää jopa omaa työpistettä kaikkine apuvälineineen. Muotin valmistukseen käytettiin Ashlandin kehittämää XO-konseptia sekä CSI:n kokemuksia pohjana.

Ashlandin muotinrakennuskonsepti on osa 5-vaiheista konseptia (liite 6). Vaihe 1 on mallin tekeminen, joka tässä tapauksessa oli pahvimalli. Vaihe 2 on mastermuotin tekeminen, joka oli uretaanivalu. Vaihe 3 oli edellisen muuttaminen kittiuretaanimuotiksi eli masteriksi. Vaihe 4 on varsinaisen osamuotin valmistus ja viimeinen vaihe on osan laminointi.



KUVA 53. Muotin irrotusainekäsittely lasikuituvedoksen valmistusvaiheen alussa.

Valmistuksen aikana oli dokumentoitava vaiheet ja kellotettava ne tarkasti tarkan lopputuloksen takaamiseksi. Työvaiheet kirjattiin liitteen 7 mukaisesti ja kellotetut ajat kirjattiin kunkin irrotusaineiden levitysten kohdalla erillisiin taulukkoihin.

Levitettiin ohjeen mukaisesti kerroksia Mold Sealer -merkkisellä muotineristäjällä kauttaaltaan koko muottipinnalle. Kellottaminen oli tärkeää, jotta voitiin varmistua vähimmäiskuivumisajoista kerrosten välillä. Erityisen tärkeää oli myös tarkka vähimmäisaika eri aineiden levityksien välillä. Tarkoitus oli luoda haluttu määrä ainekerroksia, jota ei pystyttäisi kunnolla saamaan, mikäli edellinen kerros olisi vielä märkää.

Seuraava aine oli irrotusaine merkkiä 227-CEE. Molemmat aineet olivat hyviksi koettuja varmistamaan muottien asianmukainen ja ehjä erottaminen.

3.4.3.1. Syvillä tuntemattomilla vesillä

Aineiden kuivuessa oli aikaa suojata muotti. Tämä oli tärkeää, koska oli vaarana eri kemikaalien aiheuttavan uretaanin sulamista joutuessaan materiaalikosketukseen. Samalla tehtiin muoviluonnos muotista lasikuidun leikkaamista varten (kuva 54).

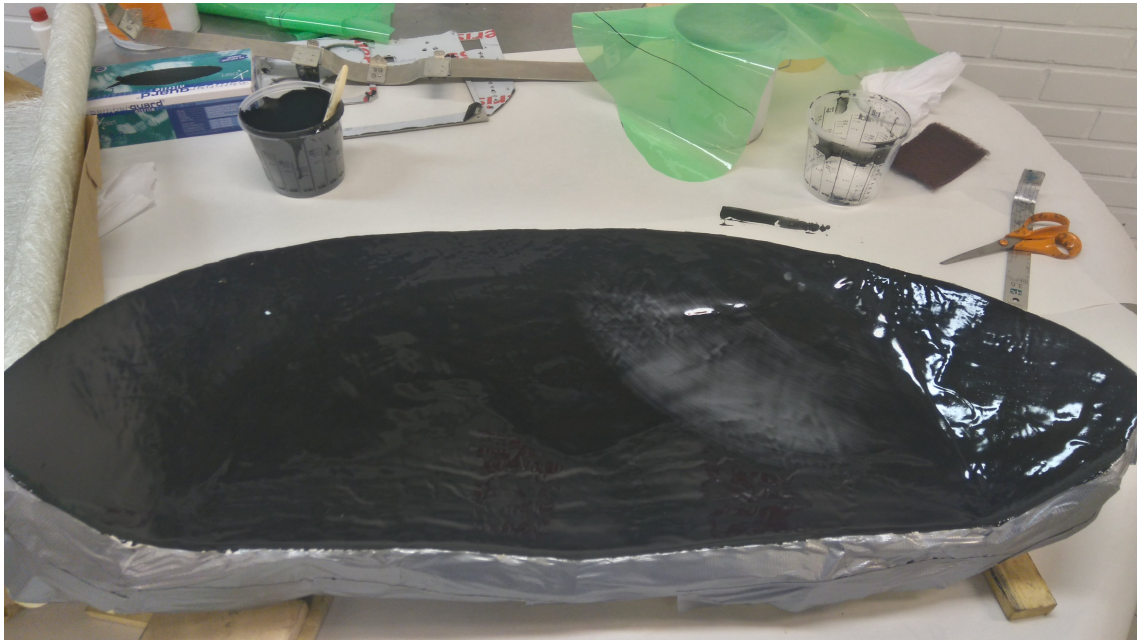


KUVA 54. Muotin suojaaminen teippaamalla reunoista ja kuidunleikkausmalli.

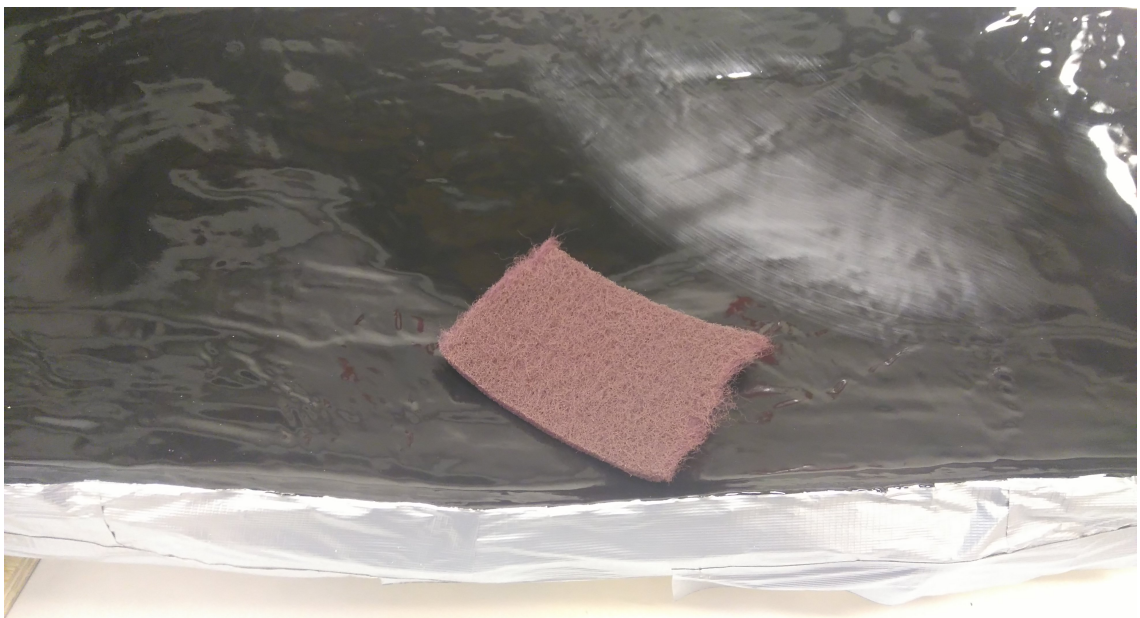
3.4.3.2. GelCoat-tekniikka

Ensimmäinen vaihe itse muotinlaminointiprosessissa oli GelCoat -tekniikan valjastaminen käyttöön. Ideana on käyttää geelimäistä materiaalia sekoitettuna kovetteeseen tuomaan muotille suurempaa mekaanisen- ja lämpörasituksenkesto- ja sietokykyä. Tätä tekniikkaa käytetään myös osien valmistuksessa antamaan parempaa ultraviolettisuojaa tuotteelle.

Geelin ja kovetteen suhde on syytä mitata tarkkaan, jotta vältetään kovettumisepäkohdilta. Geelisekoitus levitetään muotin pinnalle kauttaaltaan taiseksi kerrokseksi (kuva 55). Kerrosten levityksen väliin on jätettävä asianmukainen kuivumisaika, kuten myös koko vaiheen jälkeen. (liite 7).



KUVA 55. GelCoat -käsittely



KUVA 56. Pinnan karheuttaminen.

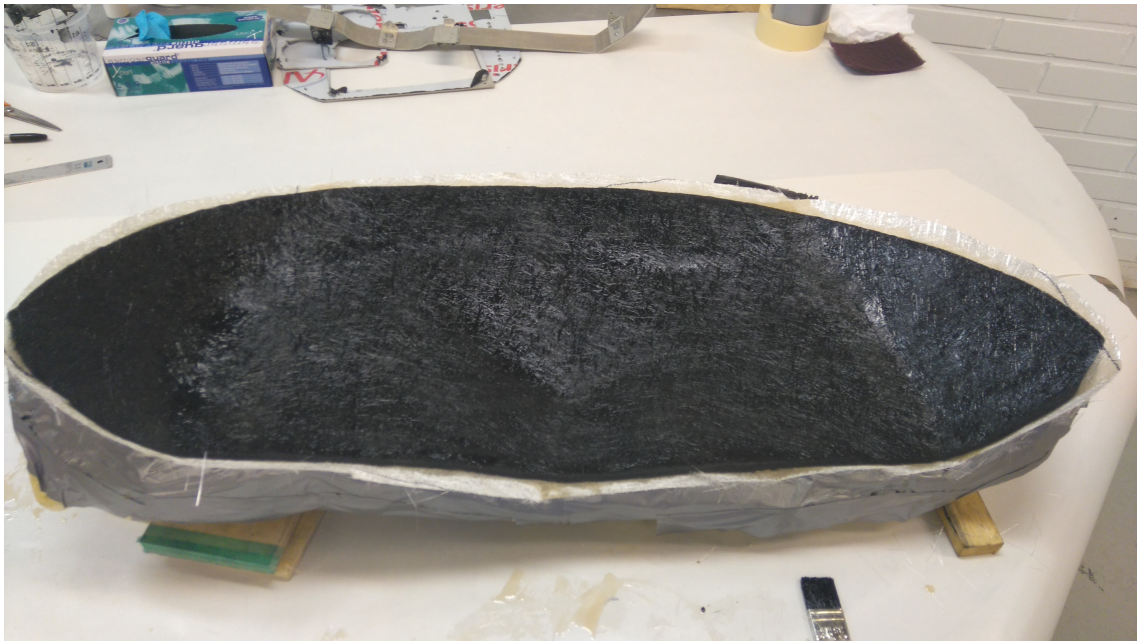
Kuvassa 56 on havainnollistettu karhennustoimenpidettä ennen laminoinnin aloittamista. Tällä toimenpiteellä saadaan hartsi ja geeli paremmin reagoimaan keskenään.

3.4.3.3. Kerros kerrokselta

Laminointiprosessissa työlämpötila ja hartsilämpötila ovat tärkeitä. Yhtä suuressa roolissa ovat ainemäärien mittaukset ja tarkat sekoitussuhteet (liite7). Ensimmäinen kerros laminoidaan erikseen ja annetaan kuivua asian mukaisen vähimmäisajan. Tälle kerrokselle on erikseen kehitetty oma hartsilaatu: ”AME 6000 T35 -skincoathartsi”. Kuidut asetetaan muottiin (kuva 57) ja telataan ja tuputetaan hartsi – kovete -sekoite kauttaaltaan kuitujen päälle. Kuitujen on oltava kauttaaltaan märkiä ja tiiviisti geelikerrosta vasten (kuva 58). Huolellisuus on tärkeää ilmakuplien poistamiseksi, jotka heikentävät ja tuottava hauraamman rakenteen. Kerroksen on annettava kuivua kunnolla. Prosessissa olennaista on kuitujen, hartsin ja geelin keskinäinen reagoiminen.

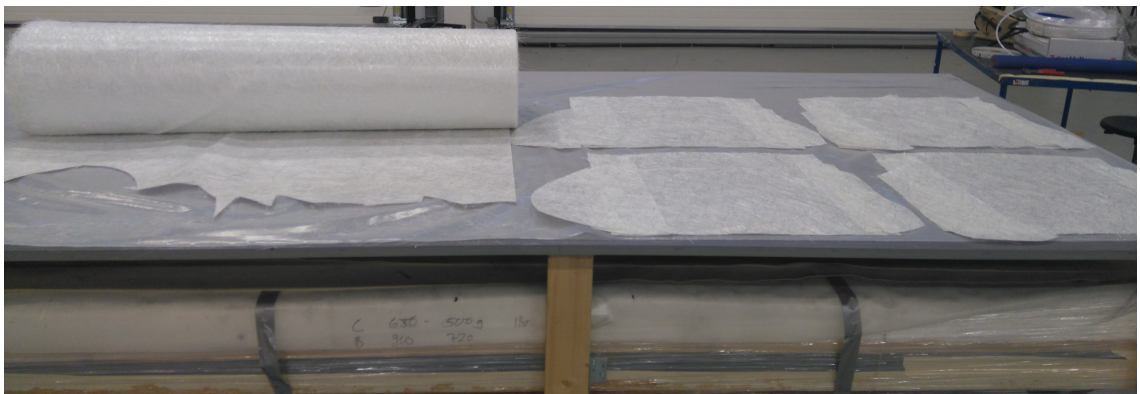


KUVA 57. Ensimmäinen lasikuitumattokerros paikalleen aseteltuna.



KUVA 58. Ensimmäinen lasikuitukerros laminoituna.

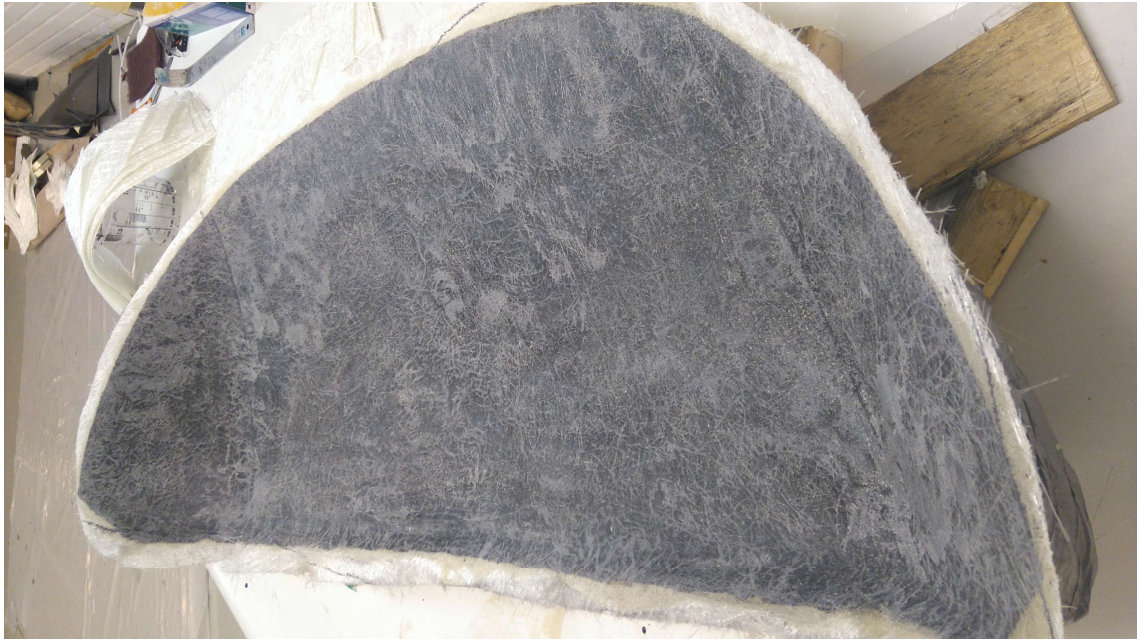
Kuivumisen aikana leikattiin seuraavan vaiheen kuidut valmiiksi. Tässä vaiheessa ei ollut enää merkitystä, kuinka monesta osasta kerrokset koostuvat (kuva 59).



KUVA 59. Muiden lasikuitukerrosten materiaalien leikkaus.

Päätettiin tehdä kerroksia lisää liitteen 7 mukaisella tavalla. Huomioitavaa oli toisen kerroksen mattolaadun eroavan muista. Tämä siksi, että saadaan aiempi laminoitu tuote reagoimaan kyseisen kerroksen kanssa ja täten myös muiden kerrosten kanssa, koska loput kerrokset laminoidaan yhdellä kertaa. Kerroksien määrässä on olennaista luoda riittävän vahva rakenne kestämään itse tuotteen laminoituprosessi, etenkin jos muottia halutaan käyttää useampaan otteeseen. Tähdellistä on myös huomioida, että tähän rakennelaminoituprosessiin käytetään eri hartsia kuin ensimmäisessä laminoinnissa. Ennen

aloittamista hiotaan muotin pinnasta sojottavat ja epätasaiset kuidut pois. Ne aiheuttavat muutoin rakenteellista epävakautta.



KUVA 60. Lasikuidun laminointia.

Hartsia telattiin ja kuituja ladottiin ohjeen mukaisesti (liite 7). Jälleen oli kiinnitettävä erityistä huomiota ilmakuplien poistamiseen. Tässä kohtaa on myös oltava riittävän riipeäliikkeinen, koska kerroksia oli paljon ja hartsi alkaa suhteellisen riipeästi kovettua. Kuvassa 61 on laminointi suoritettu ja kohde kuivumassa.



KUVA 61. Lasikuitumuotti laminoitu ja kuivumassa.

3.4.3.4. Irrotus ja viimeistely

Muotin kuivuttua oli jännitys huipussaan, koska oli aika nähdä, miten uretaanikittimuotti oli selvinnyt laminoinnista. Työvaihe oli lasikuitumuotin irrotus. Käytettiin muovista talttaa ja muovipäävasaraa.



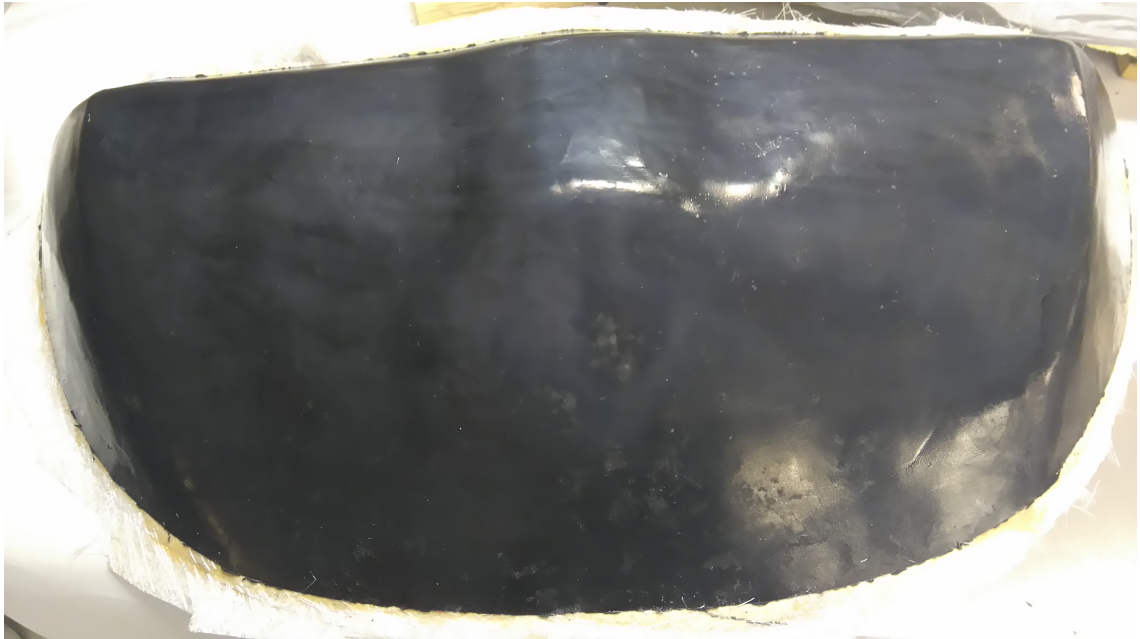
KUVA 62. Kuivunut lasikuitumuoto irrotus valmis.

Kuvasta 63 voidaan nähdä, että irrotus onnistui. Uretaanikittimuotti ei kärsinyt vaurioita.



KUVA 63. Irrotettu muotti.

Oikein päin käännettynä muotti vaikutti onnistuneen erinomaisesti (kuva 64). Irrotuksen jälkeen muotin reunat leikattiin tasaisiksi ja pinta puhdistettiin erityisellä Mould Cleaner -puhdistusaineella.



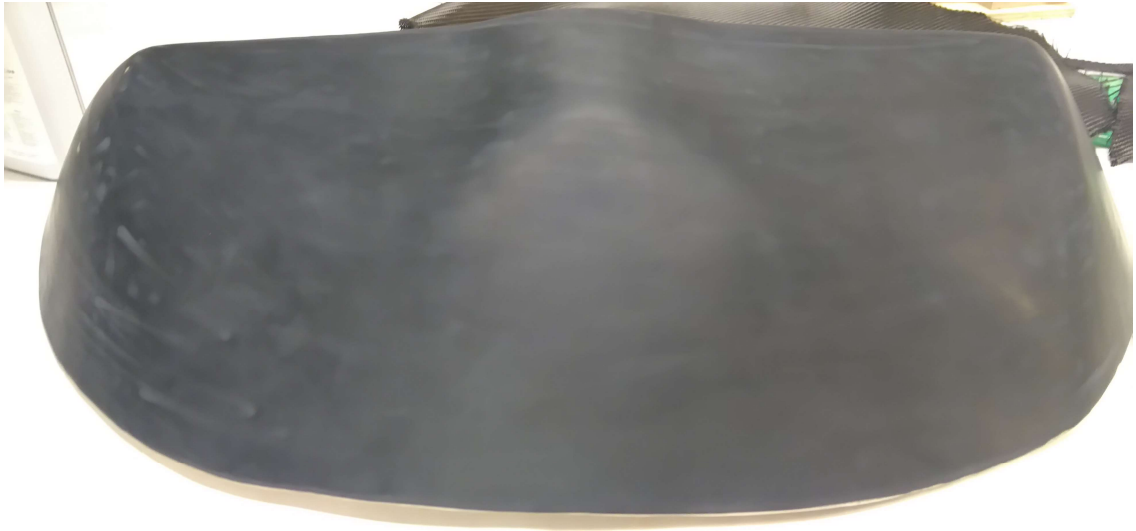
KUVA 64. Lasikuitumuotti irrotuksen jälkeen.

3.4.4 Hiilikuituvesos

Hiilikuidun laminointi oli työvaiheiltaan yksinkertaisempi kuin muotin valmistus. Toisaalta vaatimustaso oli huomasti korkeampi, koska kyseessä oli esteettinen muotokappale. Suurimman osan tarvikkeista sain CSI - Composite:lta, mutta hiilikuidunlaminoinnissa päädyttiin käyttämään yleispolyesterihartsia ja sille sopivaa kovetetta, jotka tilaaja oli hankkinut. Vaikka hartsi oli tarkoitettu lasikuidulle, eikä sen käytöstä ollut yrityksen toimestakaan kokemusta hiilikuidun kanssa, päädyttiin silti kokeilemaan sen toimivuutta. Tähän päädyttiin, koska osalla ei ollut erillisiä lujusteknisiä vaatimuksia. Tästä syystä myös normaalisti käytetty kappaleen paineistaminen työhjiöpussittamalla jätettiin pois. Päätettiin siis laminoida koelaminointi hartsin toimivuuden kartoittamiseksi hiilikuitumaton kanssa.

3.4.4.1. Muotin valmistelu

Samalla tavoin kuin lasikuitulaminoinnissa muotti täytyi ensin käsitellä irrotusaineilla. Liitteen 7 mukaista ohjetta jälleen käyttäen laminoitava pinta käsiteltiin huolellisesti ennen varsinaisen laminoinnin aloittamista (kuva 65).



KUVA 65. Valmis ja irrotusainekäsitelty lasikuitumuotti itse lopputuotetta varten

3.4.4.2. Kuiduttaminen

Työlämpötila oli edelleen merkittävä kuten lasikuitumuotin valmistuksessa. Kuidun leikkaaminen oli merkityksellisemmässä roolissa. Jotta saavutettaisiin äärimmäinen esteettinen tulos, oli pyrittävä leikkaamaan muoto yhdestä palasesta. Ulommaisimman kerroksen osalta tämä oli kaikkein kriittisin. Kaikki epäkohdat ja saumat näet näkyisivät helposti lopullisessa pinnassa. Joitain epäkohtia pystyttäisiin hartsin avulla paikkaamaan, mutta suuriin virheisiin ja epäkohtiin ei ollut varaa. Kuvassa 66 näytetään ensimmäisen kerroksen leikattu kuitu kahtena palasena. Ensimmäiseen laminointikokeiluun käytettiin kahden kuitukerroksen periaatetta. Toinen kerros saatiin leikattua yhdestä palasta.



KUVA 66. Hiilikuidun leikkaaminen.

Hartsin ja kovetteen sekoituksessa käytettiin polyesterihartsin kanisterissa olleen suosituksen keskiarvoa. Suositus oli 1-2 % kovetetta suhteessa hartsin määrään. Käytettiin siis 1,5 % sekoitussuhdetta. Periaatteellisesti laminointi noudatti lasikuitulaminoinnin kaavaa. Ensin telattiin ja kostutettiin muotin pinta juoksevalla hartsilla. Tämän jälkeen aseteltiin kuitu päälle mahdollisimman huolellisesti ja tasaisesti. Kuitu telattiin huolella hartsiin kastetulla telalla. Siveltimeillä varmistettiin hartsin riittävyys kauttaaltaan. Ilmakuplat olivat kriittisen tärkeä poistaa, koska ne aiheuttaisivat huomattavia epäkohtia pinnan laatuun. Tuotteen oli annettava kuivua vähintään vuorokausi. Kuivumista voitaisiin nopeuttaa lämmön tuonnilla. Koska vaihe ei ollut tässä kohtaa tuntiaikataulussa, sen annettiin kuivua rauhassa huoneen lämmössä.



KUVA 67. Kuivunut hiilikuitumuoto, ensimmäinen laminointikerta.

3.4.4.3. Irrotus

Riittävän kuivumisen jälkeen ryhdyttiin tarkastelemaan laminointia. Päällisin puolin työ näytti onnistuneen, mutta kokonaisvaltainen todellisuus nähtäisiin vasta kappaleen irrotuksen jälkeen. Hiilikuitulaminointi oli tiukemmin kiinni muotissa kuin lasikuitulaminoinnin tapauksessa, vaikka ei oltu edes käytetty työohjio pussitusmenetelmää. Muovitalttojen ja muovivasaran avulla saatiin kuitenkin naputeltua tuote irti minkäänlaista vahinkoa aiheuttamatta. Kuvissa 68 ja 69 nähdään muoto irrotettuna muotista molemmilta puolilta. Lähempi tarkastelu osoitti hartsin sulauttaneen kuidut tiiviisti yhteen. Ilmakuplavaurioita ei havaittu.



KUVA 68. Irrotettu hiilikuitumuoto ja vahingoittumaton muotti



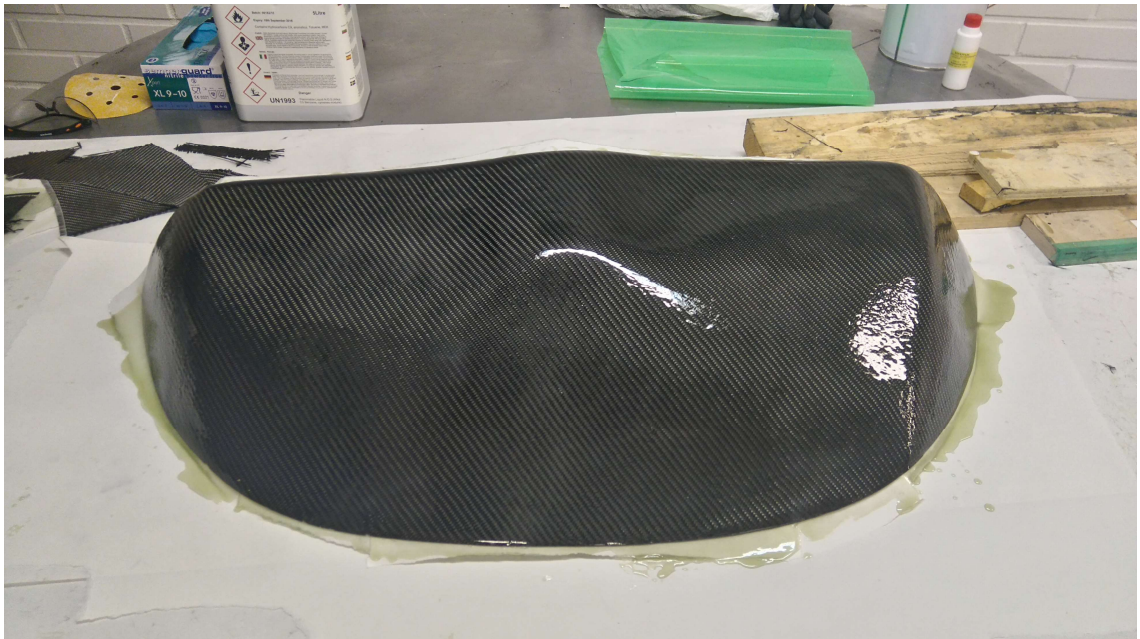
KUVA 69. Hiilikuitumuoto alapuolelta.

3.4.4.4. Vedoksen viimeistely

Tuotteen edellisen vaiheen onnistumisen toteamisen jälkeen seuraava askel oli reunojen leikkaaminen muotoonsa ja pinnan hiominen sekä karhentaminen seuraavaa kerrosta varten.

3.4.4.5. Muutama kerros lisää

Aikaisemman laminointiperiaatteen mukaisesti lisättiin yksi yhdestä hiilikuitumaton kappaleesta leikattu kerros äärimmäistä huolellisuutta käyttäen. Tässä tapauksessa päästiin vähemmällä työllä, koska irrotusaineita ei tarvittu laminoinnin tapahtuessa muodon päälle, joka oli tarkoitus liittää uuteen kerrokseen. Tämä toimenpide ei vaikuttaisi jo valmiiseen ja ehyeen muodon pohjapintaan. Hartsia käytettiin reilusti päälle antamaan hiomisvaraa viimeistelyä varten (kuva 70).



KUVA 70. Muodon pintahartsitus.

3.4.4.6. Koesovitus

Vuorokauden kuivumisen jälkeen ainoastaan leikattiin reunat muotoonsa ja kuljetettiin osa takaisin Tampereelle koesovitusta varten. Ennen tämän toimenpiteen läpäisyä ei ollut järkevää tehdä viimeistelytoimia enempää, koska mahdollisessa epäsopivuustapauksessa tällaiset vaiheet olisivat ainoastaan hukattua aikaa. Kuvassa 71 muotosuoja on paikoillaan ja todettiin riittävän tarkasti sopivaksi. Reunat eivät olleet millilleen reunaan asti, mutta todettiin tämän seikan olevan merkityksetön esteettisyyden kannalta. Itseasiassa suoja osoittautui odotettua tarkemmin ohjaamoon paikoilleensopivaksi. Kuva 72 näyttää sovituseräation ohjaamon puolelta, missä näkyvät paneelit ja osa avioniikasta paikalleen koeasennettuna.



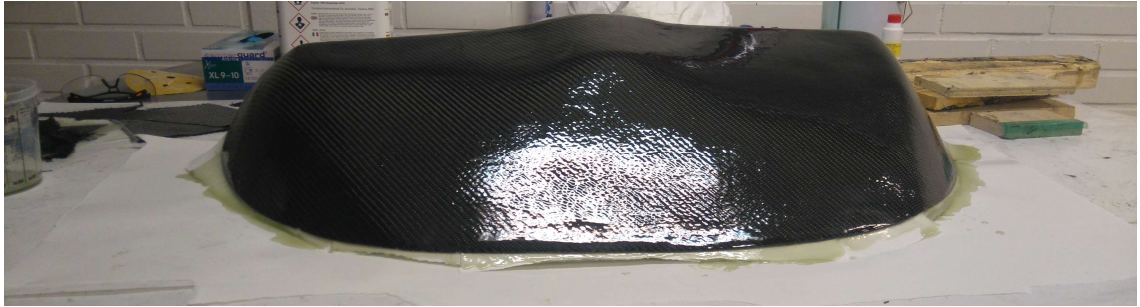
KUVA 71. Koesovitus



KUVA 72. Koesovitus paneelien kanssa.

3.4.4.7. Paikkaus

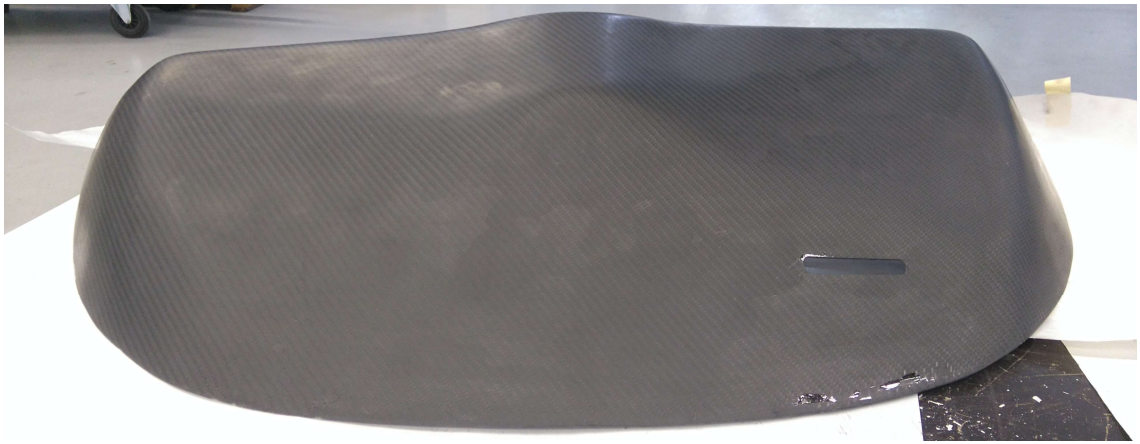
Tyytyväisinä koesovitukseen palattiin takaisin verstaalle Vilppulaan. Muotti hiottiin ja pintaan levitettiin uusi pintakerros hartsia. Hiomistoimenpiteet ja hartsin uudelleenlevitys toistettiin muutamia kertoja paremman pinnanlaadun saamiseksi (kuva 73). Jokaisen hartsinlevityskerran jälkeen luonnollisesti reunat tasattiin.



KUVA 73. Paikkauslaminointi.

3.4.4.8. Yksityiskohdat

Hiomisessa oli oltava tarkkana, koska helposti tuli innostuttua liikaa, jolloin hartsin saattoi helposti hioa kuituun asti ja vaurioittaa itse kuiturakennetta. Kuvassa 74 näkyy oikealla alhaalla liikaa hiottua aluetta, joka jouduttiin luonnollisesti paikkaamaan lisähartsikerroksella. Kuvasta näkyy myös viimeisen yksityiskohdan lisäys. Alkuperäisessä kojelaudassa oli yksi läpivienti tuulilasin lämmitysilmalle. Tämä piti ottaa huomioon ja leikata erikseen suojaan. Toimenpide oli hyvä tehdä näin loppupuolella valmistusta juuri ennen viimeistä korjaushartsin levitystä, jotta pystyttäisiin myös saamaan läpiviennin reuna-alueelle siisti yhtenäinen pinta muuhun rakenteeseen nähden.



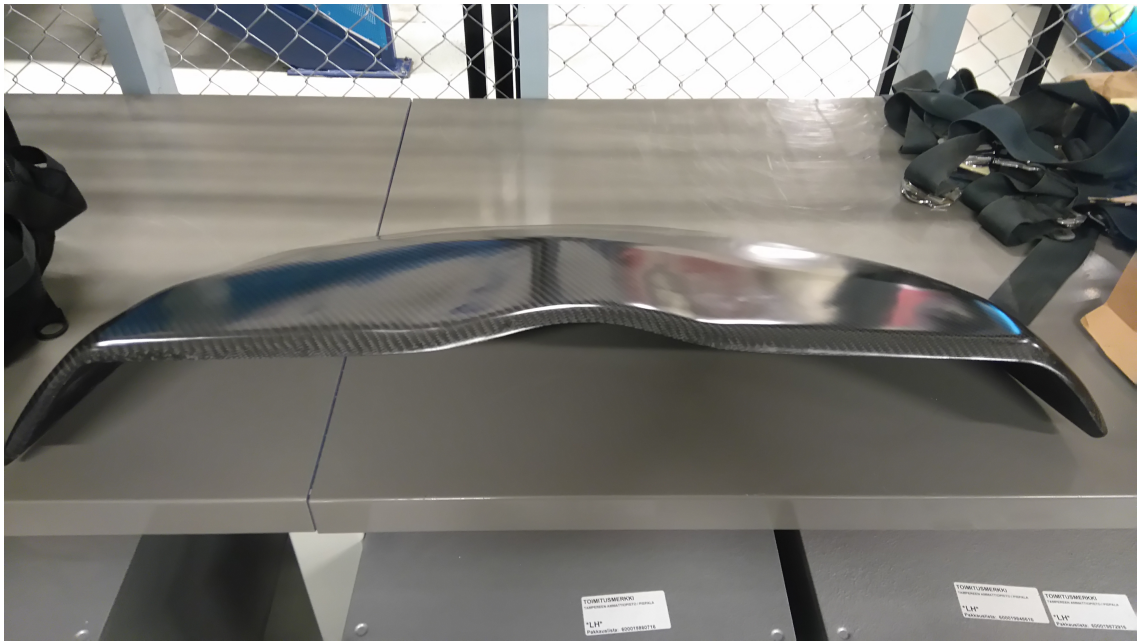
KUVA 74. Yksityiskohtien ja pintavirheiden hiomista.

3.4.4.9. Loppusilaus

Läpiviennin sahaamisen ja viimeisen pintakorjauksen jälkeen pinta hiottiin aloittaen karheanlaadun hiomapaperista. Käytettiin ilmanpainekäyttöistä pyörölaikkahiomakonetta. Karheuksia käytettiin viittä eri laatua: 80, 120, 240, 500 ja 1000. Näistä pieninumeroisin oli karhein. Karheuslaatua 1000 käytettiin viimeisenä pinnan kiillottamiseen. Lopuksi pinnat puhdistettiin asetonilla. Valmis kappale kuljetettiin nyt lopullisesti Tampereelle, missä se viimeistetiin ultraviolettisuojaalakalla, jolloin saatiin lopullinen pinnanlaatu kuten kuvista 75 ja 76 voidaan hahmottaa.



KUVA 75. Lopullinen kiilto.



KUVA 76. Muotosuoja edestä.

3.4.5 Kultainen asennus

Muotosuoja valmis, paneelit valmiit, piilohylly valmis, tukirakenne korvakkeineen valmis; voitiin ryhtyä lopulliseen paikalleen asentamiseen. Tässä vaiheessa erillinen sähköjohtojen asennus oli suurimmilta osin valmis, viestintäyksiköt olivat pakoillaan sekä piilohyllylle suunnitellut yksiköt paikalleen asennettuna (kuva 77). Nämä toimenpiteet eivät kuuluneet tämän työn piiriin, vaan olivat toteutettu muiden projektien toimesta. Kuvassa 77 näkyy myös tukikaari jo paikalleen asennettuna kojetaulurakenteen yläosassa.



KUVA 77. Lopullisen asennus alkuvaiheessa.

Kuvassa 78 paneelit ovat paikoillaan ja suurin osa avioniikkayksiköistä paikoillaan. Paikalleen asennus oli odotettua työläämpi ja aikaa vievämpi toimenpide. Moneen kohteeseen tarvittiin erityisiä tuumamittaisia ruuveja, joita tilaaja onnistui kuitenkin metsästäämään, mutta vain yhden pituisella kierteellä. Tämä tarkoitti yksinkertaisesti ylimääräisen pituuden poisleikkaamista. Havaittiin myös muutama muu yllättävä seikka, mitä ei oltu osattu ottaa huomioon, mikä osaltaan aiheutti ylimääräistä työtä. Näitä seikkoja pohditaan lisää seuraavassa luvussa 4.



KUVA 78. Suurin osa kohteista paikallaan.

Kuvat 79 ja 80 näyttävät tilanteen muutosuojan paikalleen asettamisen jälkeen.



KUVA 79. Melkein kasassa.



KUVA 80. Vain ohjaimet puuttuvat.



KUVA 81. Valmis kokoonpano

Valmis projektikokoonpano tuulilasin ulkopuolelta kuvattuna kertoo onnistumisen tasosta (kuva 81 ja 82).



KUVA 82. Kaikki valmista

Ohjaimet ovat paikoillaan, kuten kuvan 82 kertomana voidaan havaita. Kuva antaa tilannekuvan lopullisesta ulkoasusta sähköineen päivineen. Rankan projektin läpivienti oli viimein kantanut hedelmää.

4 HAASTEIDEN ERITTELY

4.1 Projektinhallinta

Työ oli hallinnallisesti, teknisesti ja työmäärällisesti vaikeusasteikon yläpäässä. Pelkäs-tään siitä syystä, että moni osa-alue vaati erityistoimenpiteitä ja projektiprosessin aikana syntyi kasallinen lisätyövaiheita, joita ei voinut jättää huomioimatta onnistuneen loppu-tuloksen takaamiseksi. Moni eteen tullut seikka vaati kokeellisia toimenpiteitä, jotka vai-keuttivat tarkan projektivaihe-ennusteen tekemistä. Jouduttiin etenemään askel askeleelta ja yksinkertaisesti hyppäämään hypoteesien turvin pimeään. Projektissa tuli vastaan myös paljon ulkoisia tekijöitä, jotka aiheuttivat haasteita ja räsitusta etenkin aikataulullisesti. Toisaalta kaikki nämä opettivat uskomattoman paljon, kartuttivat käytännön kokemuksia, tieto sekä taitotasoa.

Suurin haaste aluksi oli tarkan, tiiviin ja tehokkaan projektisuunnitelman laatiminen. Sii-hen liittyi projektin tilaajan kanssa sovittujen projektitavoitteiden pohtiminen ja hyväk-syminen. Tämä taas piti sisällään aikatauluttamisen, resurssien kartoittamisen, tavoittei-den pilkkomisen osiin, työvaiheiden vaatimuksien kartoittamista ja rahoituksen kartoitta-misen. Projektin kuluessa kävi ilmi, että työmäärää, aiheen rajausta ja aikatauluja ei oltu pystytty kartoittamaan ja asettamaan realistisesti resursseihin, tavoitteisiin ja rahoituk-seen nähden. Työmäärä kasvoi suunnitellusta mahdottomaksi toteuttaa projektin kulu-essa. Resurssihaasteet ja -puutteet venyttivät aikatauluja ja toimivat työvaiheita lisäävinä tekijöinä.

Tilaajan toimesta ei ollut saatavilla jokaiseen tilanteeseen sopivia ja tarpeeksi tehokkaita työvälineitä. Esimerkiksi mittausvälineistö oli hyvin sopimaton projektikohteen tarkkaan ja absoluuttiseen mitoittamiseen etenkin koneen alkuperäisten valmistuskuvien puuttu-essa. Tämä aiheutti valtavan lisätyömäärän, joka taas näkyi virhemarginaalin lisääntymi-senä mittavirheitten ja epätarkkuuksien takia, jotka taas aiheuttivat lisätyövaiheita tarkas-tuskertojen, korjausten ja ylimääräisten toimenpiteiden muodossa varmistamaan loppu-tuloksen onnistuminen. Projektibudjetin ollessa käytännössä 0 euroa, tämä toi haasteen toimia niillä välineillä ja työkaluilla, joita kulloinkin oli saatavilla. Tästä huolimatta pro-jektin aikana oli paljon seikkoja, joita tilaaja joutui hankkimaan projektin jäätyminen eh-käisemiseksi. Nämä seikat hidastuttivat projektin kulkua huomattavasti ja lisäsivät sekä työmäärää, että työvaiheita, jotka taas venyttivät aikataulua. Kuitenkin moneen otteeseen

tarvittavat materiaalit, työvälineet ja lisätarvikkeosat pystyttiin hankkimaan nopeastikin tarpeen ilmentyessä.

Rahoituksen puuttuminen aiheutti ison paineen aikataulussa pysymiselle. Projektiin ei ollut rahoitusta ja projektin aikainen peruseläminen, paikasta toiseen liikkuminen ja muut henkilökohtaiset kulut jouduttiin kaivamaan omasta pussista. Esimerkiksi puolentoista vuoden aikana pelkästään Helsingistä Tampereelle, Tampereen sisällä tapahtuvaan ja Helsingistä Vilppulaan tapahtuvaan liikkumiseen kului tuhansia euroja. Tämän lisäksi matkoihin kului paljon aikaa.

Kulkuoikeuksien saaminen työskentelyhallille kesti useita kuukausia. Tämä rajoitti projektin tekemiseen mahdollistavaa aikaa. Kun tähän liitettiin työmatkani Helsingistä Tampereelle, ei päivään ja sitä myöten viikkoon jäänyt mitenkään merkittävää määrää tehokkaita työtunteja. Hallin kulkuoikeuksien myötä projektintyöskentely tehostui, mutta se ei enää pelastanut suunnitellun valmistumisaikataulun venymistä.

Iso tekijä aikataulun venymisessä oli Tredu:lla Hervannan tiloissa valmistettaviksi suunniteltujen paneelien ja muiden osien vesileikkauskoneen rikkoutuminen. Korjaus kesti useita kuukausia. Kun viimein päästin kiikuttamaan valmistuskuvia leikkauskoneelle, se oltiin ehditty valjastaa kausihuoltoon koulun jäädessä kesälomalle. Vasta tässä vaiheessa osat vietiin paikalliselle vesileikkaustoimittajalle. Nämä kaikki aiheuttivat suuria aikataulullisia viivästyksiä ja myös tilaajalle lisäprojektikustannuksia.

Projektin aikataululliset viivästykset ja työmäärän paisuminen aiheuttivat merkittäviä tappioita tavoitteiden osalta. Yksi merkittävistä kohteista oli asennus- ja huoltomanuaalinen tekeminen, joka jouduttiin projektin loppumetreillä jättämään pois. Myös GPS -antennin ja autopilotin servojen asennuspaikkojen sekä asennuksen toteutusosiot jouduttiin hyllyttämään. Kaikkien projektinhallinnallisten haasteiden kanssa täytyi vain elää, mikäli oli mitään halua saada projektia päätökseen. Kaikista haasteista ja takaiskuista huolimatta ratkaisua pyrittiin aktiivisesti, pitkäjänteisesti ja kärsivällisesti hakemaan tilanteessa kuin tilanteessa ja koko projekti saatiin lopulta päätökseen tämä opinnäytetyökirjanen mukaan luettuna.

4.2 Avioniikkapaneelit

Prototyypin valmistuksen kanssa oli ollut jo kosolti haasteita, mikä näkyi laajana listana kehitys ja parannuskohteita sekä yksityiskohtia. Mitoittamisen haasteellisuus oli omiaan tuomaan paneelien työstämisessä haasteita ja työmäärä pyrki lisääntymään kuin itsestään. Mittaaminen oli hyvin epätarkkaa saatavilla olevilla käsimitausvälineillä.

Mitoittaminen olisi ollut paljon joutuisampaa, mikäli alkuperäiset valmistus- ja asennuskuvat olisivat olleet saatavilla. Työmäärällisen eron huomasi selkeästi avioniikan instrumenttien asennuspaikkojen mitoittamisen kanssa. Suurin osa avioniikasta oli tehdastuoreita, joihin löytyi helposti asennusmitat ja muut tarvittavat valmistajan tiedot (Garmin). Täysin päinvastaisesti taas alkuperäisten keskipaneeliin tulevien mittareiden ja oikeaan paneeliin asennettavan ilmanpainemittarin valmistaja dokumentteja ei onnistuttu löytämään, vaan mitoittaminen oli tehtävä vaikeamman kautta käsipelillä.

Perustuotekehitys ei ollut niin työlästä, kunhan oli huolellinen mittojen ja muotojen kanssa. Koesovitukset oli myös syytä suorittaa järjestelmällisesti virheiden välttämiseksi. Itse parannusten ja muiden muutosten tekeminen Vertex -mallinnoksiin ei ollut älyttömän monimutkaista.

Materiaalivalinnan kanssa joutui tekemään selvitystyötä ja katsastamaan rakenteeseen ja sen muokkaamiseen vaikuttavia tekijöitä ja seuraamuksia (ASM Aerospace Specification Metals Inc.) (Experimental Aircraft Info.) (2008. Konetekniikan Materiaalioppi.). Materiaalin oli oltava vähintään yhtä vahva ja kestävä kuin alkuperäinen. Tämä oli yksinkertainen kriteeri toteuttaa. Jo valittavissa olevat vaihtoehdot liitteessä 1 olivat monikertaisesti parempia joka suhteessa kuin alkuperäinen rakenne. Muokkauksesta johtuvaa rakenteen heikentymistä kompensoitiin valitsemalla materiaalin lisäksi riittävä paksuus myös varmuuskertoimien kattamiseksi. Lupaavimpia olivat 7000 -sarjan ja 6000 -sarjan alumiinit, jotka molemmat olivat anodisoitavia. Lisäselvityksen jälkeen valittiin yleinen, mutta jämerä lentokonealumiinilaatu 6061-T6, koska kyse ei kuitenkaan ollut lentokoneen kantavasta rakenneosasta ja selvitetyn tiedon mukaan 6000 -sarjan alumiinit olisivat helpommin anodisoitavia (Problems and Issues Hard Anodizing 7075 Aluminum.). Tämä oli siis myös anodisoinnin onnistumisen varmistamiseksi turvallinen ratkaisu, joka täyttäisi myös lujuus- ja kestävyysvaatimukset valitulla ainepaksuudella leikiten.

Asennusreikien mitoitushaasteeseen vastattiin käyttämällä ruuvi ja niittikiinnitysten suunnittelemisessa apuna erityisesti ohjeita ruuvikiinnityksille, niittikiinnityksille sekä asennusreikien mitoituksille ((liite 2 ja 3) ruuvikiinnitys, (liite 4) niittikiinnitys ja (liite 5) asennusreikien mitoitus).

4.2.1 Muotojen oikominen

Paneelien muotoja joutui muokkaamaan paljolti käsin prototyyppeihin, jotta pystyttiin hahmottamaan ja mitoittamaan kohteet tarvittavia muutoksia varten. Esimerkiksi kuvan 84 tapauksessa korkeusmittarin säätönupin aukko ei ollut oikeankokoinen, vaan piti ensin suurentaa ja sitten uudestaan mitoittaa virhealue uusiin valmistuskuviin. Toinen kohde oli näytön asennussarjaan kuuluva vahvikekaulus, joka tuli asentaa erikseen paneelien taakse näyttöaukon kohdalle. Tässä mitoittaminen oli tehty liian tiukalla toleranssilla alkuperäisen paneelin sahausoperaatiotarkkuuteen nähden ja vasemman puoleisen näytön kauluksen tapauksessa sen reunalle tarkoitettu näytön ja keskipaneelin takana olevan alkuperäisrakenteen rakennepilarin reunan väli oli liian ahdas. Tämä tarkoitti kauluksen aavistuksenomaista taipumista asennettaessa.



KUVA 84. Muotojen muokkaaminen sopivaksi.

4.2.2 Pinnoitus

Pinnoitus oli yksi kriteereistä halutun värisävyn takia. Koska se kulki vahvasti käsi kädessä materiaalivalinnan kanssa, siihen oltiin jo perehdytty materiaalivalintaa tehdessä paneeleille. Materiaali valittiin siis puhtaasti anodisointisuotuisuuden ja rakennevahvuuden mukaan. Pinnoituksen kanssa törmättiin ongelmaan, jota ei ollut osattu ottaa huomioon aikaisemmin. Avioniikkalaitteita asennettaessa anodisoinnin jälkeen kaikki osat eivät mahtuneetkaan asennusreikiin, vaikka koesovitukset olivat olleet onnistuneesti läpäistyjä. Ymmärrettiin hyvin pian asian tarkastelun jälkeen, että pinnoitusväri oli tuonut riittävästi väriä kaventamaan asennuskolot liian tiukan toleranssin reissä sopimattomiksi. Näin oli käynyt esimerkiksi pc-liittimien kohdalla. Onneksi ratkaisuun riitti aukkojen hienovarainen hiominen osien mahduttamiseksi.

4.2.3 Etiketit

Haluttujen kohteiden nimiprinttien kanssa oli ainoastaan muutama kimurantti haaste. Täytyi käydä läpi ilmoitusäädöksiä koskien ohjaamon merkintöjä ja värikoodeja. Rajoituksia oli valtavasti, koska ohjaamo ja avioniikka sisältävät ison määrän kohteita, joita täytyy merkitä tarkoituksen ja tärkeyden mukaan asia mukaisesti. Kävi ilmi, että sopiva värikoodi olisi valkoinen ja hyväksytty fontti Arial. Valkoinen oli hyväksytty väri kohteisiin, joiden tärkeys on ainoastaan merkitsevän neutraali ja paikkaa osoittava. Arial taas täytti selkeysvaatimuksen. (FAA Federal Aviation Administration. Indication in flight deck.) Toinen haaste oli nimikkeiden saaminen oikeaan kohtaan painoa varten. Tässä jouduin turvautumaan kuvankäsittelyn ammattilaisen apuun, joka löytyi Tuoni Studiot Oy:lta. Tekstit saatiin vaaditulla tarkkuudella ja vaaditussa tiedostomuodossa painoon lopulta onnistuneesti.

4.3 Rakenteiden tukeminen

Tukirakenteen tavoiteltua muotoa saatavilla välineillä ei ollut muutoin yksinkertaista valmistaa, kuin suurimmaksi osaksi käsin taivuttamalla ja jopa takomalla. Lähtökohtaisesti kuitenkin pyrittiin mittaamaan taivutuskohdat ja arvioimaan taivutuskulmat. Tämä oli kuitenkin hankalaa keskipaneelin kaarevan muodon kohdalla. Tämä taivutettiin käsin alsimen pyöreää nokkaa vasten, koeistettiin paikalleen ja taivutettiin uudelleen, kunnes soveltuva kaarevuus saavutettiin. Tämän jälkeen voitin tehdä loput muotoon taivutukset.

Tukirakennepulmaan haettiin taustaa useasta lähteestä. (Järn, M., 2015), (Niu, M. 1999.), (2008. Konetekniikan Materiaalioppi.). Esimerkiksi liitteen 8 ohjeistusta rakenteen tukemisesta ja vahvistamisesta käytettiin apuna hahmottamaan vaatimuksia kiinnityksille ja tukiratkaisuille myös paneelien ja hyllyrakenteen kiinnitysten kanssa.

Korvakkeiden suhteen mitoitus kiinnityksille kojelautaan oli myös kiperä kysymys. Ratkaisu löydettiin valmistamalla kuvan 85 kaltainen työväline. Tällä saatiin mitoitettua korvakkeen etäisyys paneelista, taivutuskohdat sekä asennuskohdan korkeus kojelaudasta.

Alumiinin muokkaamisen kanssa oli oltava tarkkana, sillä liiallisen muokkauksen seurauksena oli kasvanut todennäköisyys materiaalin murtumiseen.



KUVA 85. Korvakkeiden mitoittamiseen käytetty työkalu.

4.4 Piilohylly

Rakenteen suunnittelemisessa oli heti alkuun mitoitushaaste. Asennuspaikka oli ahdas ja käsimittauslaitteilla ei ollut mahdollista saada riittävän tarkkoja mittaustuloksia hyllyn valmistamiseksi yhdestä osasta. Näin päädyttiin säädettävään rakenteeseen, joka koostui kolmesta eri palasta, jotka yhdistettäisiin sovittamalla keskenään yhteen. Tämä antoi riittävää pelivaraa ja neutralisoi mittausepä-tarkkuutta. Myös tarvittavat taidokset oli tarkoitus mitoitaa ja toteuttaa asennettaessa. Asennettaessa ilmeni myös eräs hankala seikka etenkin paksusormisia ajatellen. Entisen hattuhyllyn suuaukon asennusruuvipaikkojen kolot olivat sijoitettu niin ahtaasti, että hyllyn ollessa paikoillaan, ruuvien muttereita oli tuskallisen työläs, ellei jopa mahdoton saada paikoilleen levyn alle oikeaan kohtaan. Tällöin oli käytettävä kekseliäisyyttä ja luotava sopiva aputyökalu asennusta varten. Näin syntyi kuvan 86 mukainen mutterinpidike, jolla saatiin kuvan 87 osoittamalla tavalla mutteri pidettyä oikeassa kohtaa ruuvien kiristyksen aikana.



KUVA 86. Asennuksen kehitetty työkalu



KUVA 87. Erikoistyökalu asennuksen apuna.

4.5 Muotosuoja

Muotosuoja oli kokonaan oma lukunsa vaativuusasteeltaan. Alkuperäisen kojelaudan muotojen valmistusmittojen puuttuessa oli keksittävä tehokas ja tarkka tapa saada muoto hahmotettua, jotta saataisiin edes mahdollistettua osavalmistuksen aloitus. Kuvissa 88 ja 89 näkyvät kohde alueen hahmottamisen haasteellisuus. Muoto ei ollut tasainen ja tuulilasi häytti rullamitan saamista haluttuun kohteeseen asti. Tämän lisäksi rullamitalla kaa-revan muodon mittaaminen olisi ollut painajainen etenkin, kun muoto kaareutui kolmi-ulotteisesti zxy -koordinaatistossa.

Kallisarvoinen apu oli CSI – Composite -yritykseltä saatu opastus ja konsultointi. Liite 6 auttoi itse lasikuitumuotin ja hiilikuituosan tekemisessä. Ilman tiloja ja lahjoitettuja resursseja ei myöskään tästä työosuudesta olisi tullut mitään.



KUVA 88. Muotosuojan hahmottamista.



KUVA 89. Yksityiskohtien havainnointia muotosuojaa varten.

4.5.1 Uretaanimuotti

Ratkaisua muottipulmaan lähdettiin hakemaan kokeellisesti sen jälkeen, kun oltiin saatu varmistus osan onnistumisesta hiilikuitulaminoinnilla ja tilojen sekä konsultaatioavun mahdollisuudesta. Uretaaniruiskutus oli jo ongelmallinen ja haastava sinänsä ilmankin sitä tosiseikkaa, että kyseisenlaisesta kohteeseen tässä mittakaavassa valamisesta ei ollut kokemuksia saatavilla. Pahvimuodolla pyrittiin saamaan riittävän tarkka muoto taltioitua kuivuvaan uretaaniin aina tuulilasiin asti. Kuvan 90 mukainen ratkaisu olisi ollut loistava valutyöhön, mutta paksuutensa takia se ei mahtunut tuulilasin alareunaan asti.



KUVA 90. Huonoksi havaittu suojausmenetelmä

Havaittiin uretaanin irtoavan helpoiten vahingoittumattomana puhtaasta jätesäkkimuovista tai ilmastointiteipistä. Kokeiltiin myös elmukelmua ja alumiinifoliota, jotka toimivat, mutta olivat työläämpiä irrottaa uretaanimuodosta repeytymisherkkyytensä takia. Uretaanivalun irrotusta jouduttiin myös hetki miettimään. Haluttiin saada muoto ehjänä myöskään rikkomatta lentokoneen ohjaamopintoja. Päädyttiin hienovaraiseen sahan ja puukon käyttöön. Katkaistiin valu kahtia kuvan 91 havainnollistamana. Päätettiin kahden siististi toisistaan irti leikatun kappaleen olevan mahdollista liittää yhteen riittävän tarkasti seuraavaan vaiheeseen onnistuneesti siirtymisen takaamiseksi.



KUVA 91. Haasteita muotin irrotuksessa

Palasten yhteen liittäminen ei ollut aivan yksinkertainen tempu. Lopulta onnistuttiin saamaan kappaleet riittävällä pinnanyhtenevyydestä liitettyä yhteen jäykistävien kuparitankojen ja liiman avulla, kuten kuvasta 92 voidaan nähdä.



KUVA 92. Muottipalasten yhteen liittäminen

Muodon työstäminen halutun laiseksi kittaamalla oli suururakka. Uretaanivalu ei ollut tarpeeksi tarkka tuomaan riittäviä äärimittoja muottiin, joten käytettiin apuna pahvivedosta osoittamaan äärimuodot. Kuvan 93 havainnollistamana kitattiin uretaaniin lisää pintaa pahvin osoittamien puutteellisten pintojen alueille.



KUVA 93. Muotin epäkohtien kittaamista.

4.5.2 Lasikuitumuotti

Lasikuitumuotin valmistaminen oli saadun konsultaation, opastuksen ja työvälineiden avulla hyvin suoraviivainen projekti. Haasteena oli epätietoisuus uretaanikittimuotin toimivuudesta halutulla tavalla. Epävarmuutena oli kemikaalien pääseminen uretaanin kanssa kosketukseen syövyttäen varmasti ainevahvuuden olemattomiin, sekä kitin päälle levitetyn lakkalaadun toimiminen eristeenä tarttumatta lasikuitulaminointiin. Ratkaisuna oli suojata muotti hyvin uretaanialueilta ja noudattaa muuten liitteen 7 ohjeita lasikuitumuotin valmistukselle sekä kellottaa vaiheet tarkasti. Muutoin oli vain kokeiltava ja tarkistettava tulos. Laminoinnin jälkeen saatiin mieluisa tulos, joka oli jämäkkä ja vahva muotti hiilikuitulaminointia varten. Lasikuitumuotti oli siis onnistunut, eikä uretaani syöpynyt tai lakkakerros jäänyt geelin pintaan.

4.5.3 Hiilikuitumuoto

Erinomaisella muotilla on helppo laminoida erinomaista jälkeä. Tämä havaittiin lasikuitumuotin onnistuttua. Hiilikuitulaminointi oli vieläkin suoraviivaisempaa kuin lasikuitumuotin. Ainoastaan viimeistelyt hiomisineen ja kiillotuksineen veivät aikaa. Suurin haaste oli taitamattomuus prosessin ja tuotantotoimien hallinnassa. Esimerkiksi hiontavaiheessa oli liiankin helppoa järsiä hartsia pois pinnasta kuituihin asti. Tämä vaati vaakaata kättä ja tarkkaa hiomapaperikarheuden valintaa. Kuitenkin pitkäjänteisellä ja tarkkaan etukäteen mietityn ja suunnitellun toimintamallin seuraamisella opittiin ja onnistuttiin toteuttamaan kaikki työvaiheet jopa loisteliaaksi lopputulokseksi. Tässäkin työvaiheessa työväline, opastus ja konsultaatioapu olivat suuressa arvossa.

Välimatkat Tampereelle ja Helsinkiin olivat haastavia taloudellisesti ja ajallisesti. Tämä vaikutti myös epävarmuuteen suojan onnistumisen varmistamiseksi, mikä voitiin varmistaa ainoastaan sovittamalla suojaa ohjaamoon. Tässä suureksi avuksi osoittautui tehtaan omistajan oma lentokoneprojekti, joka suureksi hämmästykseksi osoittautui täysin vastaavan malliseksi lentokoneeksi kuin projektikone. Kaiken lisäksi tässä koneessa ei ollut tuulilasia asennettuna ja se sijaitsi samassa tilassa kuin työskentelytilat, joten oli helppo alustavasti kokeilla työvaiheiden onnistumista. Tästä huolimatta varmistettiin kohdalleen asettuvuus viemällä laminoinnin välissä suoja kertaalleen Rollikkahallille koesovitettavaksi.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön anti oli työmäärään nähden hyvällä tasolla esimerkiksi ongelmanratkaisukykyä ja toteutuskykyä projektinhallinnan osalta, suunnittelukykyä, mekaanisen lentokonerakenteen hallintaa, metalli- ja komposiittitekniistä osaamista, prototyypitekniikkaa, asennukseen ja osanvalmistukseen liittyviä kädentaitoja ja innovaatiokykyä kehittäen.

Haasteita riitti ja kaikista selvittiin siten, että suurin osa suunnitelluista tuotteista, tärkeimpänä itse paneelien ja muotosuojan onnistuminen saatiin taattua ja tuotettua silmiä hivelevä lopputulos huolimatta aikataulun venymisestä ja muutamien kohteiden projektista pois jättämisestä.

Tehokkaamman projektisuunnitelman toteutuksen olisi ollut mahdollista saada kriittisemmällä rajauksella ja huolellisemmalla resurssien, tavoitteiden, aikataulun ja työmäärävaatimuksen vertailulla.

Mikäli käytössä olisi ollut kunnollinen budjetti ja rahoitus, oltaisiin pystytty huomattaviin tehostamistoimenpiteisiin. Työmatkat oltaisiin voitu eliminoida majoittumalla esimerkiksi hotelliin työpisteen lähistölle. Työvälineiden ja materiaalien parempi saatavuus ja laatu olisi ollut mahdollista varmistaa. Kriittisten osien valmistus kuten paneelien leikkaus oltaisiin voitu tuottaa alun alkaen ammattipajoilla välttyen osalta piinaavia viivästyksiä. Kulkuoikeuksien parantaminen projektin alusta lähtien olisi tehostanut ajankäyttöä ja täten tehostaen projektin etenemistä.

Nämä kaikki tekijät olisivat vähentäneet työmäärää, pienentäneet vaihemäärää, jolloin aikataulun monelta pitkittymiseltä oltaisiin voitu välttyä ja täten saada myös asennus- ja huoltomanuaali tuotettua ja mahdollisesti jopa GPS -antenni ja autopilottiservoprojektit.

Osien suunnittelun ja toteutuksen tehostamiseen olisivat lasermittari ja laserskanneri olleet omiaan auttamaan yksiselitteiseen kojetaulun ja -laudan muotojen mitoittamiseen. Aikaa olisi säästetty huomasti ja saatu työvaiheita tiputettua pois.

Muotosuojan, paneelirakenteen, tukirangan, piilohyllyn sekä näiden asennuksen onnistuneesta loppuun saattamisesta huolimatta jäi paljon asioita, joita voidaan kehottaa ottamaan mukaan jatkoprojektien aiheisiin.

Tärinänvaimennus olisi aiheellista varmistaa etenkin kohteiden osalta, joissa on gyro-skooppi, kuten esimerkiksi keinohorisontti. Siihen ei ehditty tässä projektissa puuttua, mutta se voitaisiin toteuttaa hyvinkin yksinkertaisesti vaimenninruuveilla.

Paneelien taakse rakenteen sekä osan avioniikkaa kiinnitystä varten olisi vielä suotavaa asentaa niitattavat kiinnitysholkit, jotta asennus ja huolto toimenpiteet voitaisiin toteuttaa sujuvammin. Myöskään ruuvien materiaalia suojaavien holkkien tarvetta ei ehditty tarkastelemaan.

Alkuperäisen rakenteen tarkka hiominen, jotta etenkin kaulukset mahtuvat sujuvasti paikoilleen sekä kaulusten asennusniittaus jäivät vielä työn alle.

Tukiranka saatiin välttäväksi. Itse tukilevy olisi hyvä valmistaa uudestaan, lisätä siihen pitkien suorien osuuksien kohdille jäykistetaivutukset, asentaa levykiinnityksille niitattut holkit ja niitata korvakkeet tukirankaan sekä kojelautaan. Keskimmäisen paneelin takaisen alkuperäisen kiinnitysrakenteen tukeminen tai kokonaan uusiminen olisi hyvä toteuttaa ohuen alkuperäisrakenteen lujittamiseksi. Alkuperäiseen rakenteeseen sahausalueiden reunoille olisi suotavaa tehdä reunavahvikkeet murtumien alkamistodennäköisyyden vähentämiseksi.

Piilohyllyyn voisi asentaa asianmukaiset kiinnitykset mahdollisen sähkövirran estämiseksi moottoritilasta rungon kautta asennettuun rakenteeseen. Myös korvakkeiden lopullinen hyllytasoon niittaus jäi vielä tekemättä.

Vaikka muotosuojan lopputulos ylitti odotukset, aina on jotain parannettavaa. Entistä tarkemman laatuinen tuote saataisiin uudelleenlaminoimalla hyvinkin yksinkertaisesti, koska lasikuitumuoti jäi täysin käyttökelpoiseksi. Suoja olisi hyvä vielä tarrakiinnittää paikoilleen ohjaamoon.

Gps-antennin ja autopilottiservojen paikat ja asennus ovat omia kokonaisia projekteja tulevia haasteiden etsijöitä varten, kuten myös itse asennus- ja huolto-ohjeen kokoaminen.

Tarkan muutosten jälkeisen rakenteen rasiusmallinnuksen tekeminen esim. ANSYS -mallinnusohjelmalla voisi olla yksi mielenkiintoinen ja tarpeellinen projektikohde.

KIITOKSET.

Tämä projekti viimeisen puolentoistavuoden aikana on ollut melkoinen urakka, josta viimeisin oli tämän opinnäytetyökirjassen laatiminen. Nyt se on viimein takana ja ajatukset kansissa. Tästä on kiittäminen useaakin urheaa ja kärsivällistä tahoja.

Ensiksi haluan kiittää rakasta vaimoani uskomattoman kannustavasta ja kärsivällisestä tuesta erityisesti tämän kirjoitusvaiheen aikana.

Iso kiitos kuuluu veljelleni upean oman työnsä toteuttamisesta, jota minulla oli kunnia saada käyttää lähdeaineistona.

Eriytinen kiitos kuuluu Miika Saarelle tuestaan omalta osaltaan projektin aikana erityisesti huomioiden hänen konsultointi- ja kuvankäsittelyapunsa etikettien parissa.

Valtaisa kiitos CSI – Composite -yritykselle ja kaikille komposiittirakentamisessa autta-neille henkilöille.

Erikseen kiitokset Jorma Penttilälle ja Tredulle työn mahdollistamisesta.

Suurikiitokset vielä lopuksi kaikille tahoille, jotka jollain tavalla olivat mukana projektin aikana.

LÄHTEET

Anodisointi Janster Oy. Alumiinin anodisointi. Luettu 18.05.2016.

<http://www.janster.fi/anodisointi>

ASM Aerospace Specification Metals Inc. Aluminum 7075-T6 properties.

<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075T6>

Anodisoinmenetelmä. Luettu 15.02.2017. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Anodisointi>

Airliners. Aircraft technical data and specifications. Cessna 150/152. Luettu 15.10.2015

<http://www.airliners.net/aircraft-data/cessna-150-152/138>

Dubeau, M. 2016. Cessna 150L panel kit. Aero Teknic Inc. Luettu 29.3.2017. www.aircraftpanel.com

Experimental Aircraft Info. Aluminum properties. Luettu 17.11.2015.

<http://www.experimentalaircraft.info/articles/aircraft-aluminum.php>

Federal Aviation Administration. Luettu 26.03.2017 <https://www.faa.gov/>

FAA Federal Aviation Administration. Indication in flight deck. Luettu 03.08.2016

https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%2023.1311-1C.pdf

Garmin. Aviation. Luettu 21.10.2015

<https://buy.garmin.com/en-US/US/in-the-air/cInTheAir-p1.html>

Gyroskooppi. Experimental Aircraft Info. Luettu 16.04.2017

<http://www.experimentalaircraft.info/articles/aircraft-gyroscopic-principles.php>

Keskustelufoorumi. Problems and Issues Hard Anodizing 7075 Aluminum.

<https://www.finishing.com/405/35.shtml>

Mullins, D. KROnline. Making an Accurate Instrument panel. January 2003 volume 2. issue 1. Luettu 21.4.2017. <http://www.kronet.org/kronline/jan2003/>

Thyssenkrupp. Alumiinit. Luettu 17.11.2015

<http://www.thyssenkruppaerospace.mobi/alumiinit>

Tredu. Tampereen seudun Ammattioppiston verkkosivut. Luettu 03.05.2017.

www.tredu.fi

”Ei kirjailijoita mainittu”. 2010. Design Engineering Manual. Burlington: Butterworth-Heinemann.

Järn, M., 2015. Cessna 172M -lentokoneen Siipien Kunnostus ja Modifiointi. Opinnäytetyö. Tampere: kirjoittajan kustantama.

Niu, M. 1999. Airframe Structural Design. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press LTD.

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2008. Konetekniikan Materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy.

Simmons, C. & Maguire, D. 2004. Manual of Engineering Drawing. Cornwall: Newness.

LIITTEET

Liite 1. Alumiini sarjojen vertailu materiaalivalintaan 1(2)

LENTOKONEALUMIINEJA

2024-T3 MAHDOLLINEN (lentokoneteollisuus) (voi lämpökäsitellä, heikko hitsattavuus, huonompi korroosionkesto ja anodisoitavuus kuin 6000 sarjan vastaavilla)

This is the most common of the the high-strength aluminum alloys.

It is aircraft quality. 2024-T3 aluminum sheet is thought of as the aircraft alloy because of its strength. It has excellent fatigue resistance. Welding is generally not recommended. Typical uses for 2024-T3 Alclad aluminum sheet are aircraft skins, cowls, aircraft structures, and also for repair and restoration because of its shiny finish (2024-T3 Alclad). Ultimate strength is 62000 PSI with a shearing strength of 40000 PSI.

6061-T6 MAHDOLLINEN!!!! (voi lämpökäsitellä, hitsattavia ja anodisoitavissa)

This alloy has a very good corrosion resistance and finishing ability, welding goes good too. The strength level of 6061-T6 aluminum sheet is about that of mild steel.

6061-T6 aluminum sheet can be fabricated by most of the commonly used techniques. Typical uses are aircraft landing mats, truck bodies and frames, structural components and more. Ultimate strength is 45000 PSI with a shearing strength of 30000 PSI.

5052-H32 EI KÄY!!! (ei voi lämpökäsitellä)

This one has the highest strength in the NON-heatable alloys. It is not structural.

5052 aluminum sheet has higher fatigue strength than most alloys.

5052 aluminum sheet has excellent corrosion resistance, particularly in marine applications and has excellent workability.

5052 aluminum sheet is commonly used to make fuel tanks.)

Liite 1. Alumiini sarjojen vertailu materiaalivalintaan 2(2)

3003-H14 EI KÄY!!! (ei voi lämpökäsitellä)

Most widely used of aluminum alloys, pure aluminum with manganese added for strength, approx 20% stronger than the 100 series. 3003-H14 aluminum sheet has great workability and may be deep drawn, spun, welded or brazed. 3003 aluminum sheet is NON-heat treatable. This aluminum sheet is widely used for cowls and baffle plating. Ultimate strength is 21000 PSI with a shearing strength of 14000 PSI.)

7075 MAHDOLLINEN VAIHTOEHTO!!!! (heikko hitsattavuus, huonompi korroosionkesto ja anodisoitavuus kuin 6000 sarjan vastaavilla)

Aircraft manufacturers use high-strength alloys (principally alloy 7075) to strengthen aluminum aircraft structures. Aluminum alloy 7075 has Copper (1.6%), Magnesium (2.5%) and zinc (5.6%) added for ultimate strength, but the copper content makes it very difficult to weld. On the other hand it anodizes really beautifully. 7075 has the best machinability and it will result in a very nice finish. Ultimate strength is 33000 PSI (-0) and 82000 PSI (-T6) with a shearing strength of 22000 PSI (-0) and 49000 PSI (-T6).

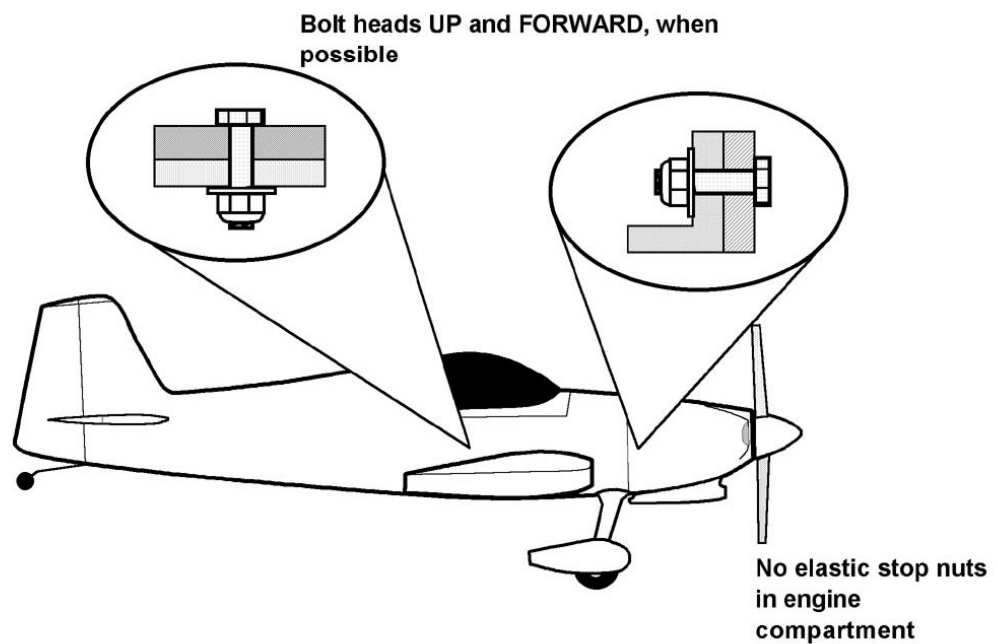
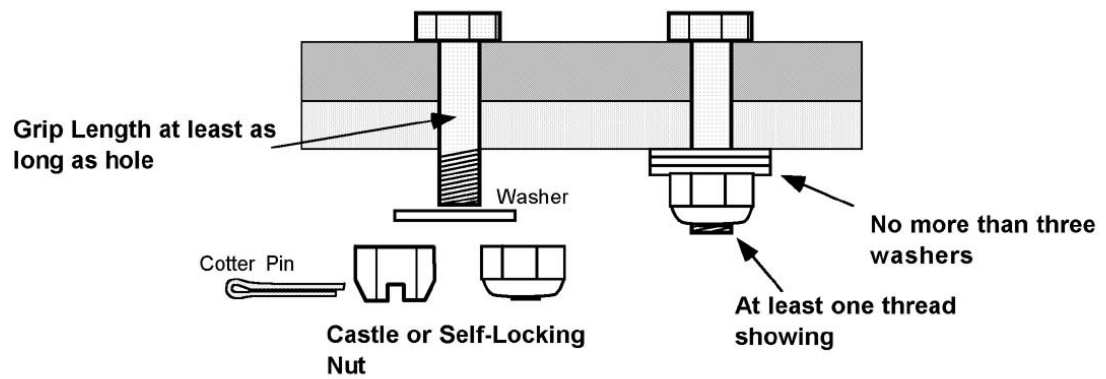
Liite 2. Ron Wanttaja. Bolt Installation guide.

<http://www.wanttaja.com/shopsheets/BOLT%20INSTALLATION.JPG>

ShopSheet

By Ron Wanttaja

Bolt Installation



© 1996
By Ron Wanttaja
All Rights Reserved

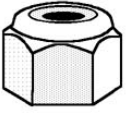

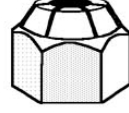
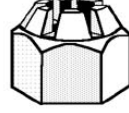
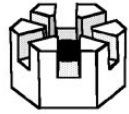




Liite 3. Ron Wanttaja. Bolt hardware.

<http://www.wanttaja.com/shopsheets/HARDWARE.JPG>

ShopSheet

By Ron Wanttaja

Hardware

		To Fit AN3 (3/16") Bolt	To Fit AN4 (1/4") Bolt	To Fit AN6 (3/8") Bolt
Elastic Stop Nut (Std)		AN365-1032A	AN365-428A	AN365-624A
Elastic Stop Nut (Shear)		AN364-1032A	AN364-428A	AN364-624A
Metal Stop Nut		AN363-1032	AN363-428	AN363-624
Castle Nut (Std)		AN310-3	AN310-4	AN310-6
Castle Nut (Shear)		AN320-3	AN320-4	AN320-6
Washer (Std)		AN960-10	AN960-416	AN960-616
Washer (Thin)		AN960-10L	AN960-416L	AN960-616L
Washer (Wide)		AN970-3	AN970-4	AN970-6
Cotter Pin		AN380-2-2	AN380-2-2	AN380-3-3

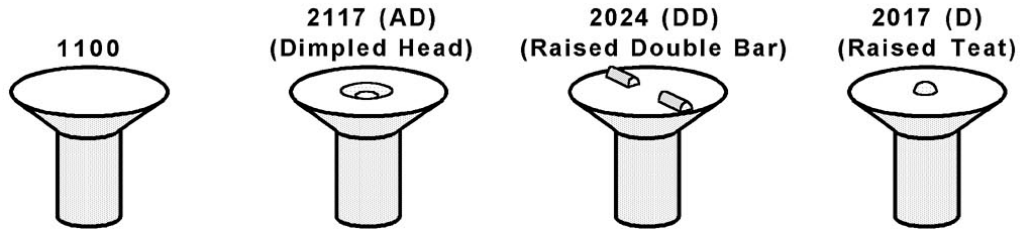
© 1996
By Ron Wanttaja
All Rights Reserved

Liite 4. Ron Wanttaja. Rivet mounting.

<http://www.wanttaja.com/shopsheets/RIVETING.JPG>

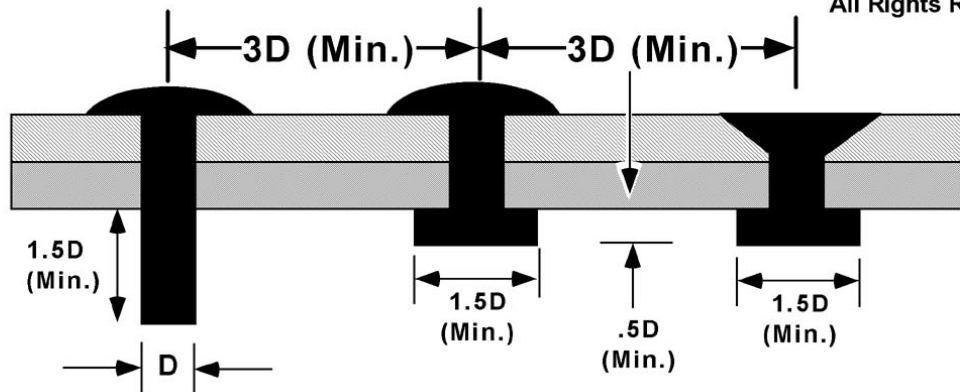
ShopSheet
By Ron Wanttaja

Riveting

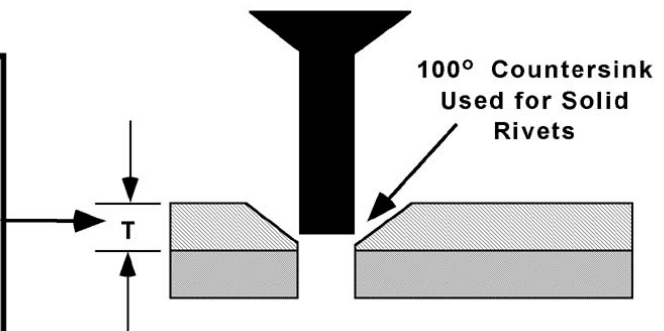


Drill/Ream Sizes for Rivets		
Rivet Size (D)	Pilot Drill	Final
3/32	3/32	#40
1/8	1/8	#30
5/32	5/32	#21
3/16	3/16	#11

© 1996
By Ron Wanttaja
All Rights Reserved



Approximate Minimum Metal Thickness for Countersinking	
Rivet Size (D)	Top-Sheet Thickness (T)
3/32	.036
1/8	.042
5/32	.055
3/16	.070



Liite 5. Ron Wanttaja. Hole placement margins.

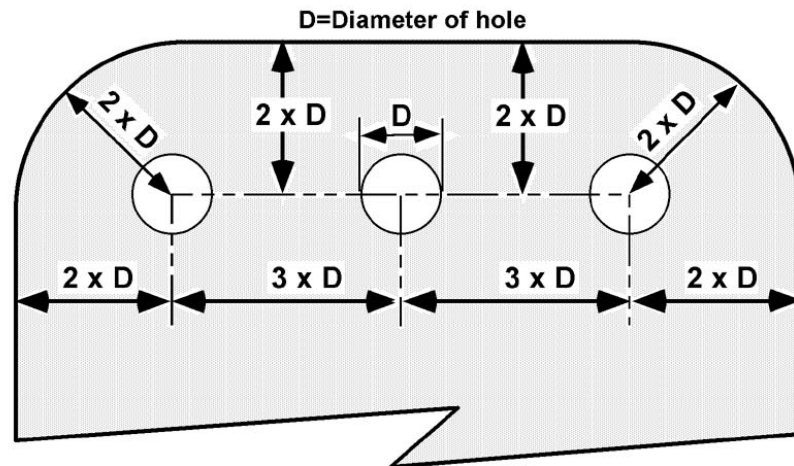
<http://www.wanttaja.com/shopsheets/EDGE%20MARGIN.JPG>

ShopSheet

By Ron Wanttaja

Edge Margin

Edge Margin: The minimum distance a hole should be placed from either the edge of a piece of metal or another hole.



Diameter (D)	2 x D	3 x D
3/32	3/16	9/32
1/8	1/4	3/8
3/16 (AN3)	3/8	9/16
1/4 (AN4)	1/2	3/4
5/16 (AN5)	5/8	15/16
3/8 (AN6)	3/4	1 1/8
7/16 (AN7)	7/8	1 5/16
1/2 (AN8)	1	1 1/2

© 1996
By Ron Wanttaja
All Rights Reserved

Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 1(4)



Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 2(4)

MAXGUARD® GT -muottigelcoat on epoksivinyyliesteripohjainen. Tämä antaa muotille hyvän lujuuden ja kiillon. Vinyyliesterin ansiosta muotista tulee pitkäikäinen. Se kestää erinomaisesti mekaanista rasitusta ja styreeniä. MAXGUARD GT -muottigelcoat on saatavilla ruisku- ja käsilaatuna.

**MAXGUARD
PREMIUM GELCOATS**

- varmista työpaikan ja plugin/mallin lämpötila on 20-25°C.
- suositellaan käytettäväksi matalapaineruiskua, kuppiruiskua tai pensselilevitystä
- ruiskuta muottigelcoat huolellisesti (märkää märälle) kolmena kerroksena. Tämä on erityisen tärkeää kuppiruiskulla.
 - ensin 200 micronia varmistaaksesi hyvän ilmanpoiston
 - toiseksi 300-400 micronia
 - kolmanneksi vielä 300-400 micronia
 - näin saadaan noin 700-900 micronia paksu kuivageelikalvo.
- käytä korkealaatuista MEK-peroksidia 1,5% (15ml peroksidia / 1kg gelcoatia)
- anna muottigelcoatin kovettua täysin (2-3 tuntia), ennen kuin jatkat työtä

ASHLAND

low profile -teknologiaa

-skincoatharts

AME® 6000 T-35 -skincoatharts on erikoisepoksivinyyliesteri, jolla on pieni kutistuma. Ohuen viskositeetin omaavalla ja mekaanisesti lujalla skincoathartsilla saadaan laminoitua tukeva kerros gelcoatien taakse ilman ilmakuplia. AME 6000 T-35 -skincoattia suositellaan käytettäväksi erityisesti isoissa muoteissa ja muottien reunoissa / laipoissa, jotka joutuvat kovalle rasitukselle. AME 6000 T-35 -skincoatharts sopii sekä käsi- että ruiskulaminointiin.

AME®

- varmista että työpaikan ja skincoat-hartsin lämpötila on 20-25°C.
- käytä korkealaatuista MEK-peroksidia 1,5% (15ml peroksidia / 1kg AME-hartsia)
- telaa laminaatti huolellisesti tasaiseksi ja ilmattomaksi ilman ulostörröttäviä kuituja. Ne aiheuttavat ilmataskuja valmiiseen laminaattiin.
- varsinaisen laminaatin laminoimisen AROPOL XO -muottihartsilla voi aloittaa kun skincoat on täysin kovettunut (2-3 tuntia)

ASHLAND

Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 3(4)

konsepti
low-profile teknologiaa

AROPOL® XO -muottiharts

AROPOL XO on ainutlaatuinen uusi muottiharts, joka perustuu Ashlandin pitkään kokemukseen 'low profile' (LP) teknologiassa. Sillä saavutetaan erinomainen pinnanlaatu ja hyvä mittatarkkuus. Muottihartsin hyvät kovettumisominaisuudet ja matala viskositeetti tekevät laminoinnin helpoksi ja antavat laminaatille hyvät loppuominaisuudet. AROPOL XO -muottiharts sopii sekä käsi- että ruiskulaminointiin.

- varmista että työpaikan ja muottihartsin lämpötila on 20-25°C.
- käytä korkealaatuista MEK-peroksidia 1,5% (15ml peroksidia / 1kg AME-hartsia).
- laminoi vähintään 5mm-märkää-märälle pulverisoidulla matolla (4 x 450 g/m²) käsin tai ruiskuttamalla.
- jos laminaatti tehdään useassa vaiheessa, varmista että alempi laminaatti on täysin kovettunut (2-3 tuntia) ennen kuin jatkat laminointia.
- laminaatin lasipitoisuus on 25-30%.

AROPOL®



konsepti
low profile -teknologiaa

AROPOL® XO -muottiharts

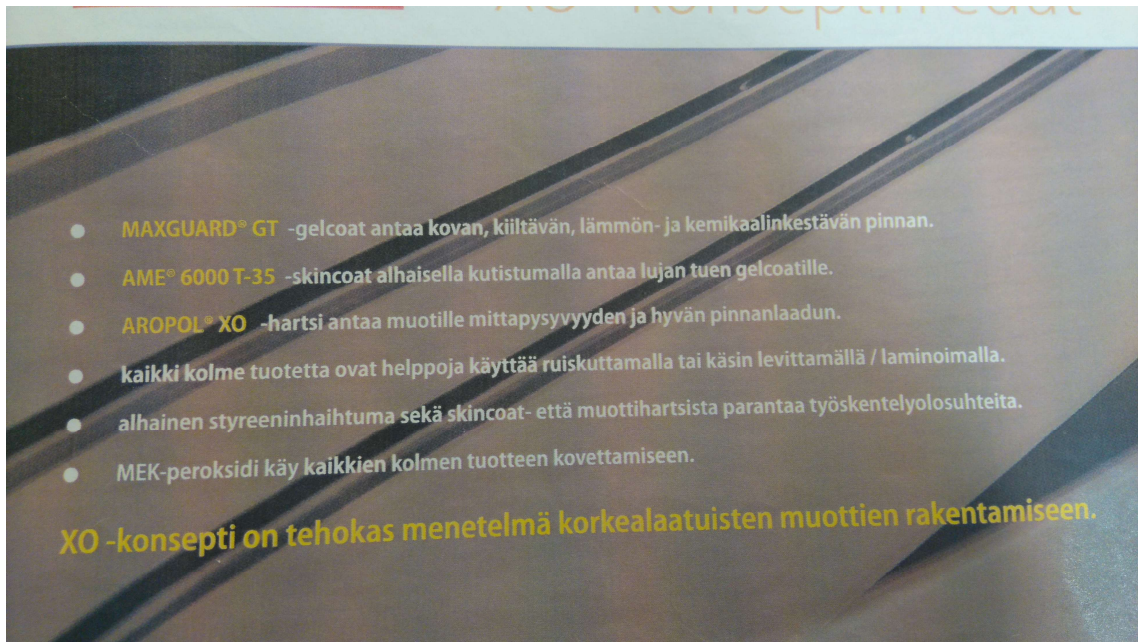
- jälkikövetus (muotin ollessa vielä plugin/mallin päällä) parantaa lopullista muotin mittatarkkuutta*.
- mastermuotin tai lopullisen muotin saa irrottaa plugin tai masterilta aikaisintaan 24 tuntia laminoinnin jälkeen.
- AROPOL XO -muottihartsin vanhemisaika on 4kk.
- toimitetaan 20/25 kg astioissa ja 250 kg tynnyreissä.

* gelcoat, skincoat ja muottihartsin valmistuksen aikainen hyvä kovettuminen on tärkeintä, eikä sitä voida korvata jälkikovetuksella.

AROPOL®



Liite 6. Komposiittikappaleen teko-opas sivut 1&2. (Ashland. CSI-Composite) 4(4)



	Hartsit	Lujite	g/m ²	Kovettumisaika	Huomautukset
Gelcoat	GT Black HF	-		24h	1 kerros + korjauksia nurkkiin
Välikerros	AME 6000 T35	M723-300 (Katko)	300	24h	1 kerros
Rakenne 1	AROPOL XO	M723-300 (Katko)	300	24h	
	AROPOL XO	M723-450 (Katko)	450		
	AROPOL XO	Kudos 0/90 (600g/m ²)	600		
	AROPOL XO	Biakksiaali +/-45 (400g/m ²)	400		
	AROPOL XO	Kudos 0/90 (600g/m ²)	600		
	AROPOL XO	M723-450 (Katko)	450		
	AROPOL XO	M723-450 (Katko)	450		
	AROPOL XO	Kudos 0/90 (600g/m ²)	600		
	AROPOL XO	Biakksiaali +/-45 (400g/m ²)	400		
	AROPOL XO	Kudos 0/90 (600g/m ²)	600		
	AROPOL XO	M723-450 (Katko)	450		
	AROPOL XO	M723-450 (Katko)	450		

Lasikuitumuotin valmistus

1. Irroiteaineet

Käytetään irroitus- ja Mold Sealer -aineita. Ensin levitetään Mold Sealer 5 kerrosta. Jokaisen kerroksen jälkeen noin puolen tunnin kuivumisväli (taulukko 1.). Tämän jälkeen vähintään tunnin tauko, jonka jälkeen irroitusaineen levitys. Sitä levitetään 3 kerrosta. Jokaisen kerroksen välissä noin puolen tunnin kuivumisväli kuten ensimmäisen aineen kohdalla. Aineet levitetään tasaisesti kauttaaltaan kohdealueelle. Myös irroitusaineen levityksen jälkeen vähintään tunnin tauko ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä.

TAULUKKO 1. Levitys & kuivumisaikojen kirjaustaulukko ensimmäiselle aineelle

Mold Sealer	Levitysaika	Vaihe valmis	Kuivumisaika
1. Kerta	11:05	11:45	40 min
2. Kerta	11:52	12:22	30 min
3. Kerta	12:23	12:53	30 min
4. Kerta	13:02	13:37	35 min
5. Kerta	13:46	14:21	35 min

TAULUKKO 2. Levitys & kuivumisaikojen kirjaustaulukko toiselle aineelle

Irroitusaine	Levitysaika	Vaihe valmis	Kuivumisaika
1. Kerta	15:40	16:15	35 min
2. Kerta	16:33	17:08	35 min
3. Kerta	17:09	17:44	35 min

Liite 7. Lasikuitumuotin valmistusmuistio 2(3)

2. GelCoat

Geelikerroksen levitys aloitettiin kello 18:44. Kerrosta varten sekoitetaan Geeli ja kovete keskenään. Kovetetta lisätään 1 % geelin määrästä. Sekoitettiin aluksi 1000 ml erä, johon tuli tällöin 10 ml kovetetta. Levitetään 2 kerrosta. Kerroksien levityskertojen väliin on jätettävä ainakin 12 tuntia kuivumisaikaa. Toisen kerroksen jälkeen on pidettävä 48 tunnin kuivumistauko ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä.

3. Lasikuitulaminointi

Ensimmäinen kerros laminoidaan erikseen ennen muiden kerrosten laminointia. Työlämpötila ja hartsin lämpötila oltava 20 – 25 °C.

Käytetään mahdollisimman pientä määrää erillisiä leikattuja palasia, jotta saadaan kerros mahdollisimman yhtenäiseksi ja tasaiseksi.

Käytetään seuraavan laatuista kuitua ja:

- Kuitutiheys – painosuhte 300 g/m²
- AME 600 T35 -skincoatharts

Sekoitetaan 1.5 % MEK -peroksidia kovetetta ja hartsi keskenään. Aluksi esimerkiksi 500 ml peroksidia ja 7.5 ml kovetetta. Telaa laminaatti huolellisesti. Revi tai leikkaa kuitua kohdasta, joka ei muotoudu kunnolla. Telaa ja sivellintä symbioosissa käyttäen pyritään saamaan sekoite tasaisesti kuitualueelle ja ilmakuplat poistettua.

Anna Kovettua 2 - 24 tuntia. Mitä kauemmin antaa annetaan kovettua, sen parempi lopputulos saadaan seuraavaa vaihetta ajatellen.

Itse rakennekerrokset laminoidaan yhteen putkeen. Laminoidaan kerroksia seuraavalla periaatteella:

- 2. kerros 220 g/ m² -lasikuidusta
- 4 kerrosta 450 g/ m² -lasikuidusta
- 1.5 % MEK -peroksidia kovetetta
- AROPOL XO -muottihartsia
- Vähintään 5 mm paksuinen laminointikerros

Liite 7. Lasikuitumuotin valmistusmuistio 3(3)

Hiotaan ensimmäisen kerroksen pinnasta sojottavat ja epätasaiset kuidut pois. Puhdistetaan pinta paineilmalla ja muotinpuhdistusaineella ennen laminoimisen jatkamista. Jokaisen kerroksen kuidut leikataan valmiiksi. Sekoitetaan hartsi ja kovete keskenään.

Ensimmäiseksi telataan muotin pinta kauttaaltaan märäksi. Seuraavaksi asetellaan kuidut päälle peittämään haluttu alue. Tarvittaessa leikataan kuitua, jotta saadaan tiiviisti tavaraa nurkka- ja kulmakohteisiin. Tämän jälkeen telataan ja pensselöidään kuidut kauttaaltaan märäksi. Päälle ladotaan uusi kerros, telataan märäksi ja toistetaan nämä vaiheet kunnes työ on tehty. Telaus ja pensselöinti ovat syytä tehdä huolella kaikkien ilmakuplien eliminomiseksi. Työ on kuitenkin tehtävä ripeästi, jottei hartsi ala kovettua liian aikaisin.

Liite 8. Rakenteen vahvistusohjeistus ja toimenpiteet (M., Järn. 2015)

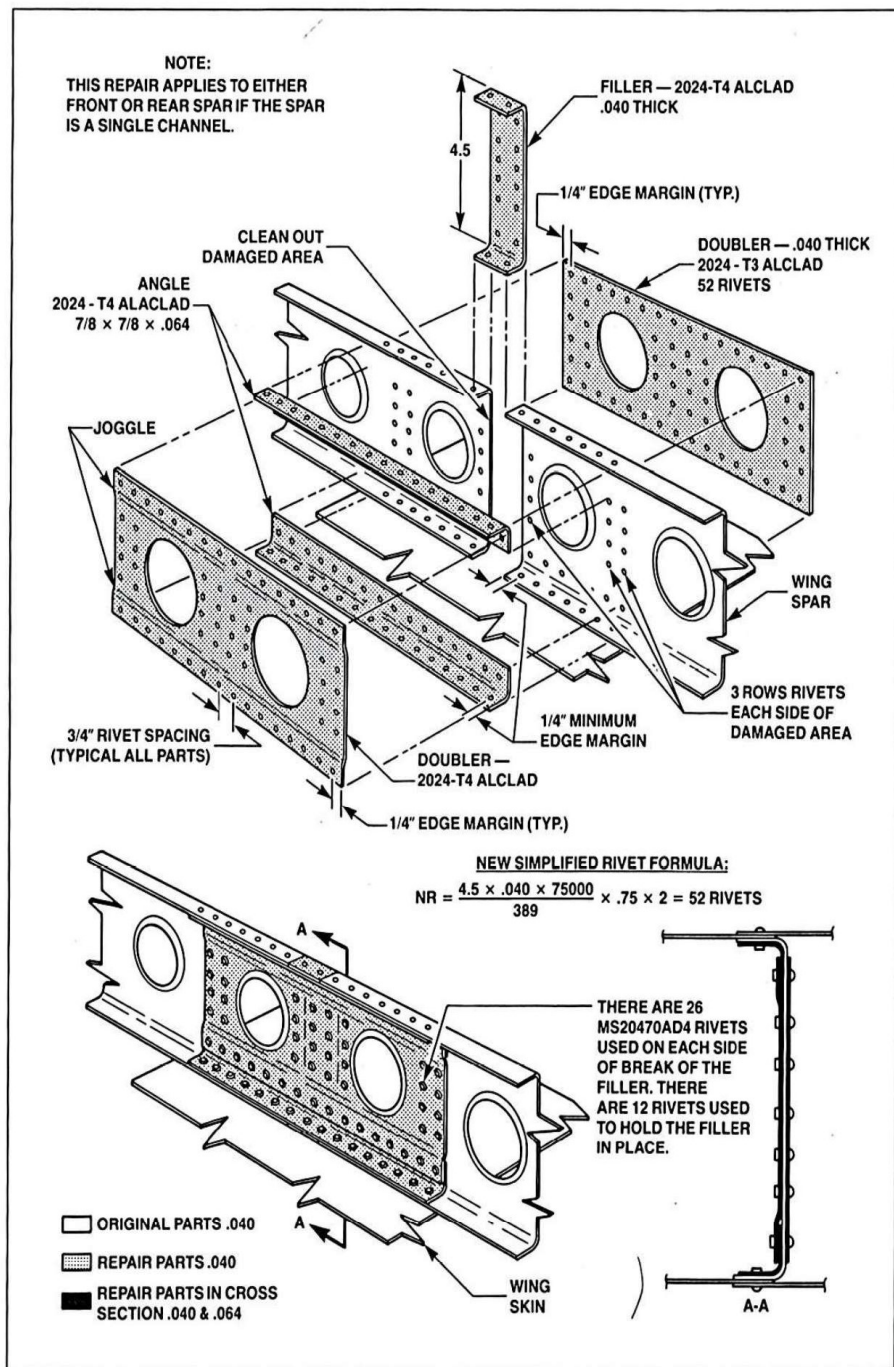


Fig. 7-13 Wing spar repair.

KUVA 3. Pääsalon korjaus (Bonacci 1987, 84)