

Spoilerin mittauksen kehitys ja mallinnus

Ossi Ritala

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Ritala, Ossi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 15.04.2012
	Sivumäärä 37	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi SPOILERIN MITTAUKSEN KEHITYS JA MALLINNUS		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) PEURANEN, Harri		
Toimeksiantaja(t) Paula Rossi Patria Aerostructures		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää spoilerin mittausta uuden mittausohjelman avulla sekä mallintaa mittaus kun mittaustapa on vakiintunut.</p> <p>Mittauksen kehittämisessä oli tavoitteena luoda mahdollisimman toimiva ja yksinkertainen mittausmenetelmä spoilerin mittaukseen. Kehittämisen päätavoitteena oli luoda jokaiselle spoilerille valmis mittausohjelma. Spoilereita valmistetaan sarjatuotannossa, jokainen valmistettu osa mitataan 3D-koordinaattimittalaitteella osan CAD-mallia vasten. Yhteen lentokoneeseen valmistetaan 16 erilaista spoileria. Mittausohjelmien valmistuttua oli tavoitteena suorittaa mallinnus mittauksesta. Mallinnuksella varmistetaan yhteneväinen toimintatapa mittaaajien kesken sekä mallinnusmateriaali tulee toimimaan uuden mittaaajan perehdytysmateriaalina.</p> <p>Opinnäytetyön toteutus tapahtui normaalin työn yhteydessä. Uuden mittausohjelman perehdytys tapahtui ohjelmatoimittajan opastamana ja tämän jälkeen kehittäminen jäi yrityksen tehtäväksi. Työn kehittäminen tapahtui erilaisia mittausjärjestyksiä kokeillen ja parhaan järjestyksen löydyttyä luotiin jokaiselle spoilerille ohjelma. . Mallinnus on yleinen toimintatapa yrityksessä ja oli yritykselle järkevää liittää mallinnus kehittämisen yhteyteen.</p> <p>Työn keskeisinä tuloksina saatiin jokaiselle spoilerille oma mittausohjelma, jonka tarkoituksena on nopeuttaa mittaustapahtumaa sekä varmistaa mittauksen suorittaminen aina samalla tavalla. Mittaus nopeutui huomattavasti verrattuna jokaisen mittapisteen luomisen malliin. Mallinnuksen tuloksena saatiin yrityksen sääntöjen mukainen mallinnus.</p>		
Avainsanat (asiasanat) 3D-koordinaattimittaus, spoileri, mallinnus, Patria Ast, Faro		
Muut tiedot		



Author(s) Ritala, Ossi	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 15042012
	Pages 37	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title Generation of spoiler measurement and modeling		
Degree Programme Degree programme in Mechanical and Production Engineering		
Tutor(s) Peuranen, Harri		
Assigned by Paula Rossi Patria Aerostructures		
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to develop measurement of spoilers with the new measurement program and create a modeling of measurement when the way of measurement has become established.</p> <p>The aim of developing measurement was create a very simple way to so measure the spoiler. The measuring of the spoilers should be easy to do, because the spoilers are mass manufactured. Every spoiler will be measured. Measuring is made with a 3d-coordination measurement device. The measurements are compared to a CAD-model. There are 16 different spoilers. A measurement program was created for each spoiler. After programming, a modeling of the measurement was created.</p> <p>The results of this thesis was that every spoiler has own measurement program. This pre-programmed measuring program will help to measure the spoilers. It's also faster and easier to do reliable measurements. The measurement will be now made every time same way. As a result of the modeling there are now working instructions which will help in the orientation of any new personnel.</p>		
Keywords 3D-measurement, spoiler, modeling, Patria Ast, Faro		
Miscellaneous		

Sisältö

1	JOHDANTO.....	3
1.1	Työn taustat.....	3
1.2	Patria-konserni.....	4
1.3	Patria Aerostructures	4
1.4	Komposiittimateriaali.....	4
1.5	A380-spoileri.....	5
2	TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET.....	6
2.1	Spoilerin mittauksen tarkoitus	6
2.2	Mittauksen vaatimukset.....	7
2.3	Ohjelmiston muutos.....	7
2.4	Työn tavoitteet	8
3	ICY-MITTAUS.....	9
3.1	ICY-mittaus lyhyesti.....	9
3.2	3D-koordinaattimittaus.....	9
3.3	3D-koordinaattimittalaite Faro Platinum Arm	11
3.4	Laser tracker ja Leitz-koordinaattimittakone	14
4	MITTAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	16
4.1	Mittausolosuhteet	16
4.2	Mittausepävarmuus	17
4.3	RR-testi	19
4.4	Mittauslaitteiden käsittely	20
5	HYVIEN TYÖNOPASTUSOHJEIDEN KRITERIT JA TYÖNOPASTUS	22
5.1	Yleisesti.....	22
5.2	Työturvallisuuslain määräytyksiä	22

5.3	Hyvä työnopastusohje.....	23
5.4	Perehdytys.....	24
5.5	Perehdytys työtehtäviin	25
6	KÄYTETYT KEHITYSMENETELMÄT	26
6.1	Mittauksen kehitys.....	26
6.2	Mallinnus	27
7	TULOKSET	27
7.1	Mittauksen kehitys.....	27
7.2	Mittauksen ajansäästö	28
7.3	Ongelmia joita esiintyi esiohjelmoidussa mittaohjelmassa	29
7.4	Mittatulosten analyysi.....	29
7.5	Mallinnus	31
7.6	Mittauksen kehittäminen tulevaisuudessa	32
8	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	36
	LIITTEET.....	37

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Patria Aerostructures, joka halusi yhtenäistää yrityksen koordinaattimittalaitteiden ohjelmiston. Samassa yhteydessä yritys vaihtoi mittalaitetta A380-spoilerin ICY-mittauksessa. Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää mittausmenetelmät mahdollisimman helpoksi ja toimivaksi ilman mittauksen laadun kärsimistä. Opinnäytetyön tavoitteena on luoda esiohjelmoidut mittausohjelmat spoilerin mittaukseen sekä tämän jälkeen mallintaa mittausmenetelmä. Mallinuskomponentti tulee toimimaan työn perehdytyksen oppaana yrityksessä.

Työn ohjaajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoululta Harri Peuranen, sekä työn vastuhenkilönä Patria Aerostructuresilta tuotannon laadunvarmistuksen esimies Paula Rossi.

1.2 Patria-konserni

Patria-konserni on kansainvälisesti toimiva ilmailu- sekä puolustusvälinetoimija. Patrian pääomistajana toimii Suomen valtio 73,2 % omistusosuudella, sekä EADS, eli European Aeronautic Defence and Space Company 26,8 % omistusosuudella. (Patria 2011.) Patria-konsernissa työskentelee n. 3500 henkilöä. Yrityksen toimipisteet sijaitsevat Suomessa. Ruotsissa on Arlandan lentokentällä helikopterien elinkaaritukipalveluyksikkö.

Patria (2011) listaa tuotteikseen ja palveluihseen seuraavat:

- Panssaroidut pyöräajoneuvot, kranaatinheitinjärjestelmät ja ampumatarvikkeet sekä näiden tuotteiden elinkaaren tukipalvelut.
- Lentokoneiden ja helikoptereiden elinkaaren tukipalvelut sekä lentäjäkoulutus.
- Maavoimien materiaalien kunnossapito Suomen puolustusvoimille.
- Tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmien kehitys ja integrointi sekä elinkaaren tuki.

1.3 Patria Aerostructures

Patria Aerostructures, eli Patria AST suunnittelee ja valmistaa komposiittisia lentokone- ja avaruusrakenteita. Patria AST:n ydinosamista ovat vahva komposiittirakenteiden suunnitteluosaaminen ja tehokkaat tuotantoprosessit. (Patria 2011.) Jämsän Hallissa sijaitsee tuotantoyksikkö, ja Tampereella suunnittelutoimisto

1.4 Komposiittimateriaali

Komposiittisten lentokonerakenteiden historia alkaa 1930-luvulta, kun lasikuitujen ja epoksien teollinen tuotanto alkoi (Saarela, O., Airismaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., Komppa, V., 2003, 433). Aluksi rakenteet eivät olleet kriittisiä rakenteita, mutta nykyisellä tietotaidolla kriittisetkin rakenteet voidaan suunnitella komposiittimateriaalista. Kriittisillä rakenteilla tarkoitetaan lentokoneen siiven sekä rungon osia.

Komposiittimateriaalilla tarkoitetaan kahden tai useamman eri materiaalin yhdistämistä. A380 spoilerissa aineina toimii hiilikuitu sekä hartsi. Rakenteen sisällä on hunajakennomainen ydinmateriaali, jonka tarkoituksena on vahvistaa osan rakenne sekä varmistaa osan keveys. Tätä rakennetta kutsutaan kerroslevyrakenteeksi. Spoilerissa on myös monoliittirakenne, jossa ei ole ydinainetta. Komposiittimateriaalin lujuus muodostuu kun esimerkiksi hiilikuitukankaan kuitusuuntausta muutetaan 0, 45 sekä 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Komposiittimateriaali saavuttaa huomattavan hyvät kestävyysominaisuudet vain osan vastaavan alumiinirakenteen painosta. Komposiittimateriaalin keveys sekä rakenteen kestävyys suhteessa metallirakenteisiin on saanut lentokonevalmistajat siirtämään tuotantoaan yhä enemmän päin komposiittimateriaalin käyttöä.

1.5 A380-spoileri

Patria AST on suunnitellut ja valmistaa siipispoilereita Airbusin A380 superjumbojettiin. Siipispoileri eli ilmanohjain (kuva 1.) on hiilikuidusta rakennettu pääasiassa jarruapuna laskeutumisessa toimiva rakenne. Rakenne on kerroslevyrakennetta, ja sen valmistusmenetelmänä käytetään prepreg-laminointia sekä liimausta. Tässä tapauksessa prepreg-materiaali tarkoittaa esihartsattua hiilikuitukangasta. Kangaskerrokset laminoidaan päällekkäin haluttuun muotoon muotin avulla. Lopullinen rakenne kovetetaan autoklaavissa. Autoklaavi on ylipaineuuni, joka lämmitetään haluttuun lämpötilaan. Kun materiaalia paistetaan autoklaavissa haluttu aika, saavutetaan todella luja ja kevyt materiaali. Valmiiseen spoileriin asennetaan kokoonpanossa alumiiniset saranat käyttäen mekaanisia liitoksia. Liitosvälineinä toimivat erikoisvalmisteiset titaanipultit. Spoilerin valmistuksessa käytetään kertamuovi-materiaalia. Kertamuovi tarkoittaa materiaalia, jonka muotoa ei pysty muokkaamaan enää kovetuksen jälkeen.

Yhdessä A380-lentokoneessa on yhteensä 16 spoileria. Kummassakin siivessä on kahdeksan spoileria. Yhdessä siivessä olevat kahdeksan spoileria ovat keskenään eri-

laisia. Spoilerit ovat hieman erikokoisia keskenään. Suurin spoileri painaa n. 50 kg, kun taas pienin on alle 40 kg. Levein spoileri on n. 330 cm leveä ja pienin n. 200 cm.



KUVA 1. A380-spoiler (Patria 2011).

2 TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET

2.1 Spoilerin mittauksen tarkoitus

Spoilerin mittauksessa varmistetaan spoilerin olevan vaihtokelpoinen toisen samanlaisen spoilerin kanssa. Tästä mittauksesta käytetään nimitystä ICY-mittaus. ICY-mittaus suoritetaan jokaiselle spoilerille. ICY-mittauksessa käytetään 3D-koordinaattimittalaitetta. Käytössä on Faro-arm-mittalaite. Faro-arm otettiin Patria AST:lla spoilerin mittauksessa käyttöön samaan aikaan, kun kaikkiin mittalaitteisiin vaihdettiin yhteneväinen mittaohjelmisto. Jotta Faroa saa käyttää mittauksessa, on mittalaitteen täytettävä EN9100-laatustandardin tarkkuusvaatimus. EN9100 on kansainvälinen erityisesti ilmailuteollisuudelle määritelty standardi, jonka on tarkoitus täydentää ISO9001-laatustandardia. Näiden laatustandardien määrittelemänä spoilerille on suoritettava ICY-mittaus mittaustarkkuuden täyttävällä mittalaitteella.

2.2 Mittauksen vaatimukset

Spoilerin on istuttava lentokoneen siipeen täydellisesti, jotta spoileri ei tuota ylimääräisiä pyörteitä siivessä, jotka lisäävät lentokoneen polttoaineen kulutusta. Spoilerissa on tiukat hyväksymiskriteerit mittauksen hyväksymisessä. Mittauksessa on pystyttävä hyödyntämään sarjatuotannon työtahtia ilman mittavirheitä.

Mittaus suoritetaan ISO-9001 sertifikaatin mukaisesti. Andersson (1997) kertoo että ”ISO-9001 otetaan käyttöön, kun yrityksen on varmistettava tuotteiden vaatimuksenmukaisuus alkaen suunnittelusta päättyen toimituksen jälkeisiin palveluihin. Tämä standardi on sarjan täydellisin.”

2.3 Ohjelmiston muutos

Vuoden 2011 aikana Patria AST:lla mittalaitteiden ohjelmistot vaihdettiin yhteneväisiksi. Tarkoituksena oli saada kaikki mittalaitteet toimimaan keskenään helpommin sekä nopeuttaa mittausprosessia spoilerin tuotannossa. Aikaisemmin mittalaitteissa oli vain mittalaitteiden omat ohjelmistot. Mittalaitteiden ohjelmistoksi valittiin Metrolog XG v. 13.003 (kuva 2.). Ohjelmistovaihdoksen mukana vaihtui myös mittalaitte spoilerin mittauksessa. Aikaisemmin mittaus suoritettiin laser-trackerilla Faro-armin sijaan. Uuden mittausohjelman avulla Farolla mittaaminen sujuu helpommin kuin laser-trackerilla.

Ennen mittausohjelman vaihtoa spoileri mitattiin omaan koordinaatistoon, mikä ei ollut yhteydessä yhteenkään suunnitteluohjelmaan. Nykyinen Metrolog-ohjelma on suorassa yhteydessä Patria Ast:lla käytettävään suunnitteluohjelmistoon Catiaan. Mittaaminen tapahtuu suoraan mallia vasten mittaohjelmistossa, jolloin mittaustulos pystytään näkemään suoraan mittauksen edetessä.

keamia, mutta tällä tavalla varmistetaan, että spoilerista mitataan aina oikeat mittapisteet.

Mittauksesta on tarkoitus myös luoda mallinnus auttamaan mittatarkastajaa, koska esiohjelmoitu mittaohjelma yksin ei riitä mittauksen suorittamiseen. Mittauksen saa suorittaa vain pätevätyt mittaaja, joten mallinnus tulee toimimaan työnopastusmateriaalina ja apuna työtä tekeville virallisille mittatarkastajille.

3 ICY-MITTAUS

3.1 ICY-mittaus lyhyesti

ICY-mittaus eli interchangeability-mittaus on vaihtokelpoisuusmittaus. Vaihtokelpoisuusmittauksella todennetaan spoilerin olevan vaihtokelpoinen toisen vastaavan spoilerin kanssa. Jokaisen spoilerin on oltava työpiirustuksissa määriteltyjen mittojen sisällä. Vaihtokelpoisuusmittaus suoritetaan jokaiselle valmistettavalle spoilerille. Vaihtokelpoisuusmittaus on paino- ja maadoitusmittauksen kanssa kolme tärkeintä todennusta, jotka tuotteelle on tehtävä ennen sen lähettämistä asiakkaalle. A380-spoilerin ICY-mittaus suoritetaan 3D-koordinaattimittalaitteella. Mittauksessa todennetaan spoilerin kiinnityssaranoiden saranalinja, spoilerin ääriimitat sekä lentopinnan korkeus ja muoto suhteessa saranalinjaan.

3.2 3D-koordinaattimittaus

Koordinaattimittaus tarkoittaa koordinaattien määrittämistä avaruudessa, joskus tasossa (Tikka, H., 2007, 16). Koordinaattimittalaite on yhdistetty tietokoneeseen, sekä tietokoneessa on mittaohjelmisto, joka on joko mittalaitteen valmistajan ohjelmisto, tai erillinen mittaohjelmisto. Tietokone ja mittaohjelmisto yhdistävät tuloksen elementiksi, jonka avulla mittatulosta voidaan verrata tavoitemittoihin. Koordinaattimittalaitteella voidaan mitata myös suoraan CAD-mallia vasten. CAD-malliin on

yleensä luotu koordinaatisto, johon koordinaattimittalaite pitää yhdistää mittaamalla kappaleeseen määritetyt mittapisteet, joiden avulla mittalaite kiinnitetään CAD-mallin koordinaatistoon.

Mitattavan kappaleen mittoja verrataan mallissa oleviin piirustusten vaatimiin mittoihin. 3D-koordinaattimittalaitteen avulla voidaan mitata niin X-, Y- kuin Z-suuntaisia mittoja. Tämä tarkoittaa että mitattava kappale voi olla käytännössä minkä muotoinen tahansa. Koordinaattimittauksia voi suorittaa useilla eri mittalaitteilla. Koneityyppejä on kolme erilaista: manuaalimittauskone, moottorikäyttöinen mittauskone sekä numeerisesti ohjattava mittauskone. Tässä opinnäytetyössä on tutkittavana manuaalimittauskone.

Koordinaattimittalaitteen tyypillä ei suoranaisesti ole vaikutusta mittausepävarmuuteen. Numeerisesti ohjattava mittauskone ja moottorikäyttöinen mittauskone käyttävät vakiovoimaa mittapään liikuttamisessa, jolloin mittausepävarmuus on vakio. Manuaalisessa mittalaitteessa itse mittaajalla on suuri vaikutus mittausepävarmuuteen. Manuaaliset mittalaitteet eivät tyypillisesti pysty kilpailemaan mittaustarkkuudessa automaattisille mittalaitteille. Manuaalista mittalaitetta ohjataan käyttäjän toimesta, kun taas numeerisesti käytettävää koordinaattimittalaitetta voidaan ohjata automaattisesti, kun mitattavalle kappaleelle on luotu ohjelma. Moottorikäyttöisessä mittauskoneessa mittapäätä ohjataan moottorien avulla. Koordinaattimittauskoneessa on mahdollista käyttää sekä numeerista että koneellista mittausta.

3.3 3D-koordinaattimittalaite Faro Platinum Arm

Spoilerin vaihtokelpoisuusmittaus suoritetaan Faro platinum arm 3D-koordinaattimittalaitteella (kuva 3).



Kuva 3. Patria Aerostructuresin Faro Platinum Arm.

Faro on manuaalinen 3D-koordinaattimittalaite, jonka tarkkuudeksi valmistaja ilmoittaa 0.061 mm yhden pisteen mittauksessa. Farossa on ennalta määritelty mittausala.

Faro-arm on saanut arm-nimensä, koska sen toimintaperiaate muistuttaa ihmisen kättä. Mittalaitetta voidaan liikuttaa ihmisen käden tapaisesti mahdollistaen erikoisten sekä erimuotoisten kappaleiden mittaamisen. Faro kiinnitetään mittaustelineeseen magneettijalan avulla. Magneettijalkaan kiinnitetään Faron ensimmäinen nivel. Tämä nivel mahdollistaa Farolle 360° mittausalaa, nivelen pyöriessä täyden ympyrän sivuttaissuunnassa. Farossa on yhteensä kolme niveltä, joiden avulla saavutetaan hyvä liikkuvuus ja ulottuvuus. Nivelten välissä on kaksi mittavartta, jotka määrittelevät Faron todellisen mittaosalan.

Itse mittaus tapahtuu mittapäissä olevalla mittakärjellä. Mittapää on nivelen avulla liikutettavissa lähes täyden ympyrän verran, jolloin ulottuvuus on suuri. Mittapäänä on lasipallo. Lasipalloja on saatavana useassa eri koossa. Spoilerin mittauksessa käytössä on 4 mm halkaisijalla oleva pallo. Faro on mahdollista hankkia myös lyhemmillä mittavarsilla, kuin kuvassa 3. olevassa Farossa. Lyhemmällä mittavarrella on mahdollista saavuttaa parempi mittatarkkuus, mutta vastaavasti saavutetaan pienempi mitausala. Spoilerin suuresta koosta johtuen Patria Ast on hankkinut Faron, jolla on mahdollista mitata 3,7 m halkaisijaltaan oleva osa.

Spoilerin mittauksessa Faro sijoitetaan erillisessä mittaustelineessä (kuva 4) spoilerin yläpuolelle, jolloin Faron toimintasäde riittää koko spoilerin mittaukseen. Faron telineen tarkoitus on pitää mittalaite liikkumatta mittaustyön aikana ja mahdollistaa mittalaitteen liikuttaminen mitattavan osan vaihtuessa.



Kuva 4. Patrialla oleva Faron kalibrointialusta

Faron virallisen kalibroinnin suorittaa mittalaitteen valmistaja. Kalibrointi suoritetaan vuoden välein ja samalla suoritetaan laitteelle valmistajan määrittelemä vuosihoito, jolloin laite palautetaan uutta vastaavaksi. Mittalaitteelle suoritetaan pienempi kalibrointi vähintään yhden kerran työviikon aikana. Pienemmän kalibroinnin suorittaa mittalaitteen käyttäjä. Pienemmässä kalibroinnissa on kyse enemmänkin virallisen kalibroinnin tarkistamisesta. Kalibroinnissa mittalaitteen mittakärjessä olevalla lasipallolla suoritetaan mittaus kuvassa 4 näkyvälle, alustassa olevalle kalibrointityökälylle. Kalibroinnin voi suorittaa joko pallo- tai reikäkalibrointina. Jos kalibrointi ei syystä tai toisesta mene läpi, on syytä olla yhteydessä valmistajaan, ja laittaa mittalaitte käyttökieltoon, kunnes valmistaja antaa luvan mittalaitteen käytölle.

Patrialla on Faron kanssa sovittuna huoltosopimus. Laite voidaan lähettää aina huoltoon, kun laitteeseen tulee vika, tai on syytä epäillä että mittaustulokset eivät ole luotettavia.

Kuvassa 4 näkyvällä alustalla on asennettuna niin pallokalibrointi- kuin reikäkalibrointikappaleet, ja Faron mittapää on reikäkalibrointikappaleessa. Kalibrointi tapahtuu ottamalla kolmesta eri suunnasta yhteensä 600 mittauspistettä. Mittaus tapahtuu mittapäätä liikuttamalla sivuttaisesta ala-asennosta pystyasentoon. Kun kaikki kolme eri reikää on käyty läpi, laskee mittausohjelmisto kalibroinnin onnistumisen.

3.4 Laser tracker ja Leitz-koordinaattimittakone

Ast:lla on myös kaksi muuta 3D-koordinaattimittalaitetta. Ennen mittausohjelmiston muutosta spoilerin mittaus suoritettiin Leican valmistamalla laser trackerilla, LTD 500 (kuva 5). Tämä on optinen mittalaite, jolla on mahdollista saavuttaa parempi mittaus-tarkkuus kuin Farolla. Laser on omiaan huippuvaativissa mittauksissa, joissa on useita mitattavia muotoja tai pisteitä.

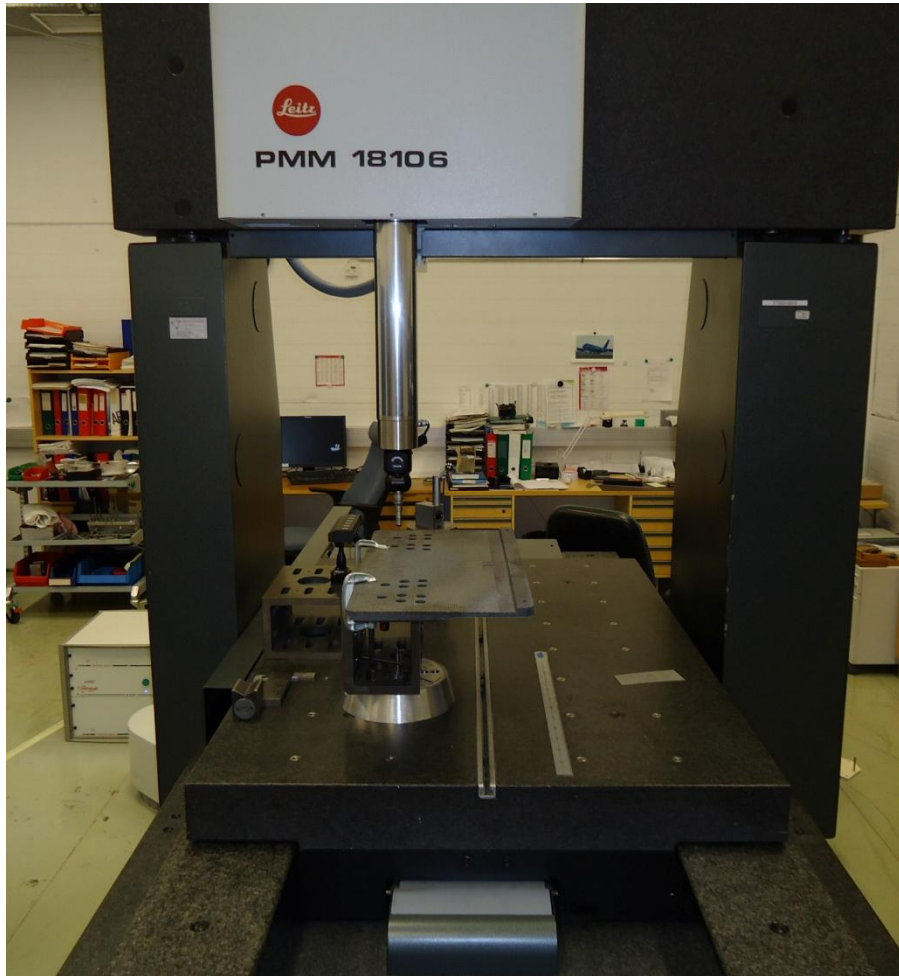


Kuva 5. Laser tracker Leica LTD 500

Itse mittaus tapahtuu laserin avulla: säde ohjataan haluttuun pisteeseen tähyksen avulla, ja tietokoneohjelmisto laskee etäisyyden, hyödyntäen ajan kulumista milloin lasersäde saavuttaa tähyksen. Säde on kuitenkin herkkä olosuhteiden vaihtumiselle, joka lisää vaativuutta mittaukseen. Laserilla on mahdollista saavuttaa jopa 0.02 mm tarkkuus ($\pm 0,02 + L/2000$). Kaavassa L-kirjain on mitattavan kappaleen leveys millimetreinä (mm). Laserin tarkkuus on siis huomattavasti parempi kuin Farolla, ja laserilla on mahdollista mitata todella suuriakin kappaleita. Laserilla mitattavan kappaleen maksimileveys on 70 metriä, koska Patrian laser voi mitata luotettavasti aina 35 metrin etäisyydelle. Laserilla mitataan Ast:lla kokoonpanojigien määräaikaistarkistuksia, avaruusrakenteiden mittaukset sekä muiden käytettävien työkalujen sekä muotien mittaukset.

Mittahuoneessa sijaitsee varsinainen koordinaattimittakone. Mittakone on Leitzin valmistama, Leitz PMM 18 10 6 mittakone (kuva 6). Mittakone toimii niin numeerisesti kuin moottorikäyttöisesti ohjattuna. Mittakoneen maksimaalinen tarkkuus on aksiaalisessa mittauksessa ($1,5 + L/300$) μm , jossa L = mitattavan kappaleen pituus mm. Tämä kone on aivan omassa luokassaan verrattuna laseriin sekä Faroon. Mittakoneella mitataan pääsääntöisesti erityismittauksia, sekä vastaanottotarkistuksia.

Spoilerin mittaus ei onnistu mittakoneessa spoilerin suuresta koosta johtuen, eikä spoilerin vaatimalla toleransseilla ole järkeä mitata näin tarkalla mittalaitteella. Mittakoneella on mahdollista mitata 1800mm * 1000 mm* 600 mm kokoinen kappale. Mittakoneessa on pituussuunnassa liikkuva pöytä, jolle kappaleet asetetaan. Itse mittapää liikkuu ylös ja alas, sekä sivuttaissuunnassa. Mittakoneen mittapäällä pystytään mittamaan jopa 105° kulmassa olevia pisteitä. Mittakoneen mittaukset eivät siis rajoitu vain tasamuotoisiin kappaleisiin. Patrian mittakoneen tyyppi on siltamallinen mittakone.



Kuva 6. Leitz PMM 18106 Koordinaattimittakone

4 MITTAUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1 Mittausolosuhteet

Mittauksessa olisi pyrittävä pitämään kiinteät olosuhteet. Tuotantotilojen lämpötilan tulisi olla $20\text{ °C} \pm 1\text{ °}$. Mittauspisteellä ei saa olla pölyvää tuotantoa, koska pöly voi vaikuttaa mittaustulokseen, ja vaurioittaa erittäin herkkää mittalaitetta. Mitattavat kappaleet ovat suunniteltu mitattavaksi vakio­lämpötiloissa lämpölaajenemiskertoimen takia. Mittausohjelmissa on mahdollista käyttää eri lämpötiloja, ja ohjelma määrittelee lämpölaajenemiskertoimen. Näin ollen mittausolosuhteet eivät vaadi täydellisiä olosuhteita, kunhan mittausohjelmisto on yhdistettynä olosuhdeseuranta-

anturiin. Tärkeintä on seurata lämpötilaa sekä kosteusprosenttia. Kuitenkin usein kappaleissa on kahta eri materiaalia, joilla saattaa olla eri lämpölaajenemiskerroin. Kuva 7 kertoo mitä olosuhteita eritasoisilta mittauksilta ja kalibroinneilta vaaditaan.

Ominaisuus	Korkeatasoinen kalibrointi	Vaativat mittaukset ja tavalliset kalibroinnit	Normaalit mittaukset ja vaatimattomat kalibroinnit	Välttävät mittaukset	
Lämpötila työtasossa	20 °C ± 0,5 °C	20 °C ± 1 °C	19 ... 24 °C	15 ... 25 °C	
Lämpötilaerot tilan eri osissa	Maks. 0,6 °C	Maks. 2 °C	Maks. 4 °C	–	
Lämpötilan vaihtelu tunnissa	Maks. 0,1 °C	Maks. 0,3 °C	Maks. 1 °C	Maks. 1,5 °C	
Lämpötilan vaihtelu vuorokaudessa	Maks. 0,6 °C	Maks. 1 °C	–	–	
Ilman suhteellinen kosteus	35 ... 55 %	35 ... 55 %	20 ... 70 %	Maks. 80 %	
Värähtelyt	Amplitudi/ Taajuus	0,25 µm/200 Hz ... 3 µm/5 Hz	1 µm/20 Hz ... 3 µm/10 Hz	Ei selvästi havaittavaa tärinää	Ei selvästi häiritsevää tärinää
Valaistus		800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	800 ... 1000 lux	500 ... 1500 lux
Puhtaus	Koko	< 0,5 µm	< 5 µm	Puhtaudesta huolehditaan hyvin	Puhtaudesta huolehditaan normaalisti
	Määrä	3 x 10 ⁷ kpl/m ³	1 x 10 ⁷ kpl/m ³		
Ilman virtausnopeus		< 150 mm/min	< 300 mm/min	Ei tuntuvaa vetoa	Ei selvästi tuntuvaa vetoa
Melu		< 40 dBA	< 50 dBA	< 60 dBA	< 90 dBA

Kuva 7. Olosuhdevaatimukset mittaustiloissa (Esala, Lehto, Tikka, 2003, 16)

Spoilerin mittaus suoritetaan aivan tuotannon keskellä, spoilerikokoonpanon välittömässä läheisyydessä. Tämä ei ole mittauksen kannalta optimaalisin mittapisteen sijainti, mutta koska kyseessä on volyymituote, jonka valmistustahti vain nousee, on mittapisteen hyvä sijainti tuotannon kannalta keskeisessä tilassa. Patrialla on tarkkaan määriteltä hallin lämpötila 19–21°C välillä. Lämpötilan määrittely on asiakkaiden vaatimuksesta seurannassa. Jos lämpötilan nousee liian korkeaksi tai matalaksi ja häiriö jatkuu pidempään, joudutaan työt keskeyttämään. Spoilerin mittaus altistuu läheltä kulkevaan henkilöstöön, ja harvinaisempaan trukki liikenteeseen. Spoilerin mittaus on mahdollista suorittaa alle yhden tunnin. Alle tunnin suoritettava mittaus on käytännössä pakollista työpisteen sijainnin vuoksi. Jos tuotannon keskeltä sijaitsevalta työpisteeltä poistuu, ei ole varmuutta siitä, onko mittalaite tai tuote pysynyt liikkumatta.

4.2 Mittausepävarmuus

Mittauksessa pelkkä tuloksen ilmoittaminen ei ole aina riittävää. Mittaukseen liittyy aina epävarmuus, josta ei pääse eroon mitattaessa edes tarkimmalla koordinaatti-

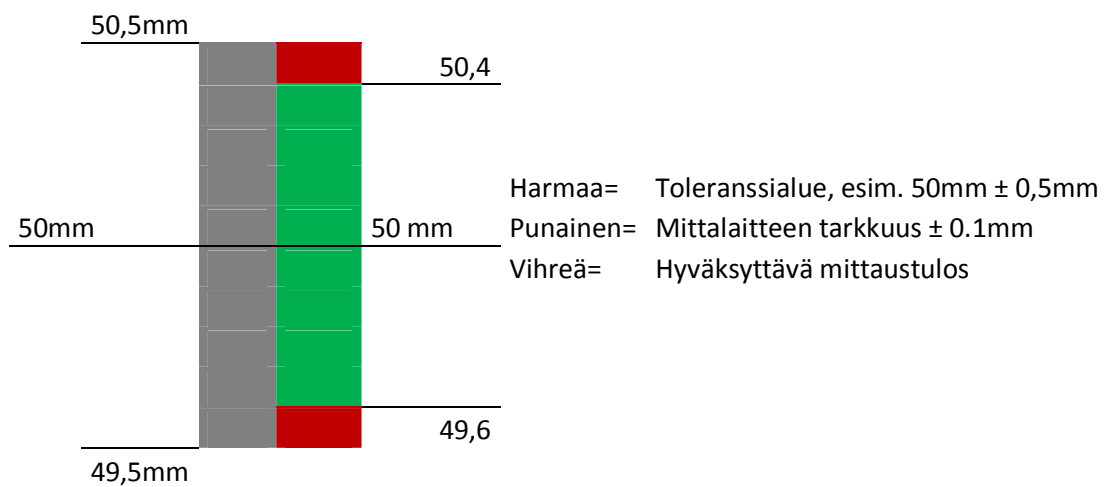
mittalaitteella parhaimmissa mahdollisissa olosuhteissa. Kun kappaleesta on saatu mittaustulos, on tämä vain arvio kappaleen mitasta tai mitoista. Todellinen mittaustulos saavutetaan, kun tuloksessa on ilmoitettu mittausepävarmuus. Näin ollen kun mittatulos yhdistetään mittaepävarmuuden kanssa, saadaan lopullinen ja tarkka mittatulos.

Mittausepävarmuus riippuu:

- mittalaitteesta
- mittaustilanteesta
- mittaajasta
- mittaolosuhteista ja
- käytetystä menetelmästä (Esala, Lehto, Tikka, 2003, 56.)

Mittausepävarmuuden suuret vaikuttajat ovat olosuhteet. Erityisesti laserilla mitattaessa on otettava huomioon tuotantohallin ilmavirtaukset. Jopa käytävällä ohitse kulkevat ihmiset vaikuttavat mittaustulokseen. Mittalaitteiden käsittelyllä voi olla myös suuri vaikutus mittausepävarmuuteen. Mittalaitteiden käsittelyssä on oltava varovainen, koska jo pieni kolahdus voi aiheuttaa mittalaitteelle joko rikkoontumisen tai kalibrointipolkeaman, jolloin mittalaitteella ei saa tarkkaa mittatulosta. Mittalaitetta ei saa käyttää mittaamiseen, jos on epäilystä että laitteen kalibrointi on vaurioitunut kolhussa.

Spoilerin mittauksessa mittausepävarmuutta hallitaan, kun tulokset siirretään asiakkaan vaatimalle mittaraporttipohjalle. Raporttipohjaa laadittaessa on määritetty suurin mahdollinen sallittava mittalaitteen tarkkuus, jolla spoilerin saa mitata. Näin ollen mittausepävarmuutta ei tarvitse laskea jokaiselle mitattavalle spoilerille.



Kuvio 1. Mittausepävarmuus.

Kuvio 1 näyttää yksinkertaisesti mittausepävarmuuden. Mittausepävarmuus poistaa mittaustuloksesta mittalaitteen tarkkuuden määrittelemän alueen pois. Näin ollen yhden millimetrin toleranssialue muuttuu vain 0,8 mm alueeksi, kun käytetään mittalaitetta, jonka tarkkuus on $\pm 0,1$ mm.

Mittausepävarmuus ei ole ainoastaan kiinni mittalaitteesta. Koneen osuus on koskettavassa mittauksessa 5-20 % luokkaa kokonaismittausepävarmuudesta (Tikka, H., 2007, 391). Kokonaismittausepävarmuus on siis riippuvainen monista asioista. Mittausepävarmuus riippuu niin mittaajasta, mittaolosuhteista kuin mitattavasta kappaleestakin. Hyväkään laite ei takaa hyvää mittaustulosta, vaan tarkka mittaustulos vaatii ammattimaisen mittaajan sekä hyvän ja täysin kalibroidun mittalaitteen.

4.3 RR-testi

RR- lyhenne tulee sanoista repeatability ja reproducibility, eli toistettavuus ja uusittavuus. Testin avulla pyritään selvittämään mittausmenettelyn soveltuvuutta tietyn toleranssin tarkastamiseen (Andersson 1997). RR-testin voi suorittaa joko yksi tai useampi mittaaja. Testi suoritetaan yhdellä mittalaitteella. Testissä mitattavat kappaleet mitataan järjestyksessä, josta mittaaja ei ole tietoinen. Mittaus voidaan suorittaa vain kerran, tai halutessa useamman kerran. Testin tuloksena saavutetaan yhden

mittaajan tai mittaajien satunnaisvirhe testissä käytetylle mittalaitteelle 99 % luotettavuudella.

RR-testejä on sekä lyhyitä että pitkiä. Lyhyessä RR-testissä on vain yksi mittaaja ja pidemmissä testeissä on kaksi tai useampia. Koska pitkässä testissä on useita mittaajia, pystytään mittauslaitteesta ja mittaajasta johtuvat virheet erottaa toisistaan. (Esala, Lehto, Tikka, 2003, 61.)

RR- testi ei suoranaisesti liity tähän opinnäytetyöhön, mutta perehdytettäessä uutta mittaajaa, olisi uudelle henkilölle hyvä suorittaa pienimuotoinen RR-testi. Käytännössä tämä tapahtuu, kun kokeneempi mittaaja mittaa spoilerin ensiksi, ja tämän jälkeen uusi mittaaja suorittaa esim. 3 mittausta. Nämä kolme mittausta tulisi tulla koneen toleranssitarkkuuden sisälle. Näitä arvoja voidaan verrata aikaisempiin tuloksiin, jolloin nähdään, onko uusi mittamies saavuttanut halutun mittatuloksen.

Itse spoilerin kehityksessä tehtiin RR-testeihin verrattavia uusintamittauksia, kun spoilerin esiohjelmoinnin toimivuutta tarkistettiin. Tämä uusintamittaus ei ollut suoranainen RR-testi, mutta käytännössä suoritettiin tietämättä pienimuotoinen RR-testi, jonka niin mittalaite kuin mittaajakin läpäisi. Tuloksia ei kirjattu, joten testistä ei ole esittä taulukkotietoja, joita esittää tuloksina. RR-testinä voitaisiin pitää esiohjelmointia, jossa spoileri mitattiin ensiksi normaalisti, ja tämän jälkeen esiohjelmointuna uudelleen.

4.4 Mittauslaitteiden käsittely

Jotta mittauslaitteistoilla saavutetaan valmistajan määrittelemät tarkkuudet, on niitä käsiteltävä todella huolellisesti ja varoen. Mittalaitteen varomaton käsittely voi aiheuttaa mittalaitteelle pahimmassa tapauksessa rikkoontumisen. Jos mittalaite kolhiintuu, on sen kalibrointi aina tarkastettava. Tämä koskee niin työntömittaa, kuin mikrometrejäkin. Koordinaattimittauslaitteiden kanssa on oltava varovainen, koska kalibrointia ei voida yleensä suorittaa yrityksen toimesta. Kalibrointi voidaan kuitenkin tarkistaa yrityksen toimesta, kuten Farolla tehdään aina mittalaitetta siirrettäessä.

Yleisiä mittauslaitteen käsittelyyn liittyviä seikkoja:

- Kalibroinnin voimassaolo on tärkeää
- Kalibroitileiman on oltava nähtävissä laitteessa
- Huollot suoritettava ajoissa
- Mittapäihin ei saisi koskea paljain käsin ja sitä on käsiteltävä varoen
- Mittalaitteen huoltaminen on ammattilaisen työtä
- Säilytettävä puhtaissa tiloissa, ei saisi pölyntyä

Faron käsittely on hyvä suorittaa yllä olevan listan mukaisesti. Faron käsittelyssä suurin vaikeus tulee, kun mittalaite pitää siirtää spoilerin mittauksesta mittapöydälle eri projektin mittauksien suorittamiseen. Tämän siirron aikana laitetta on käsiteltävä varoen, ja Faria saa kuljettaa ainoastaan laitteen mukana tulleella kuljetuslaatikolla, ja on varottava koskemasta laitteen mittapähän.

5 HYVIEN TYÖNOPASTUSOHJEIDEN KRITEERIT JA TYÖNOPASTUS

5.1 Yleisesti

Työnohjeilla ei tarkoiteta suoranaisesti työohjetta. Teollisuudessa työohjeena saattaa toimia pelkästään kokoonpanopiirustus tai pelkkä tekninen työpiirustus. Eri-tyisesti mittauksessa harvemmin käytetään mitään muita työohjeita kuin pelkkä työpiirustus. Tästä syystä yrityksissä on hyvä siirtää tietotaitoa ihmiseltä ihmisellä kehittämällä yrityksen sisäinen työnohjeistus.

Patriassa on käytössä ilmailuteollisuuden vaatimat A-TO-ohjeet. Näitä virallisia ohjeita on noudatettava kun tuotteita valmistetaan, tarkastetaan sekä käsitellään. Näistä työohjeista ei ole luvallista poiketa. Poikkeaminen työohjeen vaatimuksista aiheuttaa tuotteeseen poikkeavan tuotteen käsittelyn, tämän poikkeavan tuotteen hyväksymisestä vastaa asiakas. Näin ollen työohjeiden lisäksi on hyvä luoda viralliset ohjeet, joiden avulla pystytään niin hyvin kuin yksinkertaisten ja lyhyiden ohjeiden avulla näyttämään menettelytapa kuinka työvaihe tehdään.

Työnohjeiden ei ole tarkoitus toimia ainoana virallisena ohjeena, eikä työnohjeiden ole tarkoitus poistaa toisen henkilön antamaa työnohjetta. Tärkein tehtävä työnohjeella on toimia hyvänä pohjamateriaalina uuteen työtehtävään siirryttäessä sekä muistuttaa esim. kesäloman tai pidemmän sairausloman jälkeen, kuinka kyseinen työvaihe suoritetaan. Patria Ast:lla nämä kyseiset työnohjeet ovat salaista materiaalia, eivätkä ohjeet poistu yrityksen tiloista.

5.2 Työturvallisuuslain määräyksiä

Työsuojeluhallinto (2012) määrittelee, mitä uudelle työntekijälle on opetettava perehdytyksen yhteydessä. Tässä opinnäytetyössä ei ole paneuduttu juurikaan toiseen todella tärkeään osioon perehdytyksessä, itse työsuojeluun. Työsuojelulain 14 momentti (<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>) määrittelee hyvin

työntekijälle annettavasta opetuksesta sekä perehdytyksestä. Työnantajan on annettava riittävät tiedot työntekijälle niin haitta- kuin vaaratekijöistä. Työntekijä pitää perehdyttää riittävästi työhön, työpaikan työolosuhteisiin, työ- ja tuotantomenetelmiin ja käytettäviin työvälineisiin ja niiden oikeaan käyttöön. Nämä koskevat uuden henkilön työhön tuloa, tai uusiin työtehtäviin siirtymistä. Tässä opinnäytetyössä mallinnus pyrkii hoitamaan työ- ja tuotantomenetelmät sekä työvälineiden käytön.

5.3 Hyvä työnopastusohje

Hyvällä työnopastusohjeella helpotetaan uuden henkilön perehtymistä uuteen työtehtävään. Hyvän ja toimivan työnopastusohjeen kriteerinä tulisi olla helppolukuisuus, selkeys, ymmärrettävä kieli ja lyhyesti mutta todella ytimekkäästi annettu tieto. Ymmärrettävällä kielellä on todella iso merkitys. Usein yrityksissä, joissa tehdään samaa tuotetta pidemmän aikaa, kehkeytyy tuotteen ympärille täysin oma kielensä. Tämä aiheuttaa ongelman, jossa työnsuunnittelijat, ja muu insinööriväestö puhuu sekä laatii työohjeet omalla kielellään, kun taas työntekijöiden kesken taas asioista puhutaan usein täysin eri nimillä. Näin ollen hyvä työnopastusohje muodostuu hyväksi ja käytettäväksi, kun ohjeen valmistamisessa on mukana käytännössä koko projektin organisaatio, lattiatason työntekijästä projektipäällikköön. Tämä tietenkin toimii parhaiten jakamalla tuotanto-organisaatio pienempiin osiin, jossa ei ole mukana kuin alle parikymmentä henkilöä.

Hyvä työnopastusohje tulee sisältää samat asiat, kuin hyvän työohjeen. Keinänen, T., sekä Kärkkäinen, P. antavat hyvän selvityksen konetekniikan perusteet kirjassaan, s. 274 – 275) mitä hyvän työohjeen tulee sisältää. Työnopastusohjeista tulisi pääsääntöisesti löytyä samat asiat. Sarjatyö-tuotannossa, mihin opinnäytetyö liittyy, olisi hyvä löytyä myös pieniä lisäyksiä tähän listaan. Tämä ohjeistus koskee käytännössä mekaanista asentamista, eli kokoonpanotyötä.

- Työn valmistamiseen tarvittavat työkalut listattuna
- Erikoistyökalut, joita saatetaan tarvita
- Osien asennusjärjestys

- Osien jäljitettävyystietojen merkintä ja tapa
- Työntekotapojen määrittäminen, tärkeää erityisesti hankalissa työvaiheissa, jolloin työvaihe suoritetaan aina samalla tavalla
- Momenttikiristystä vaativien ruuviliitosten kiinnittämisjärjestys sekä avausjärjestys
- Käytettävät materiaalit, ja kaksikomponentti-materiaaleissa näiden sekoitussuhteet sekä tarvittavat määrät
- Kappaleen tarkistusvaiheet, sekä vaadittavat tulokset
- Kappaleiden kiinnittäminen mittauspöydälle, tai mittausjigiin

Itse mittaustyössä on tärkeätä listata asioita ylös, kuten mitä mittalaitetta käytetään, kuinka kappaleelle luodaan origo-piste sekä mitattavat pisteet, sekä mielellään halutut tulokset, jolloin jo mittauksen aikana voidaan varmistaa, mittausvirheiden puuttuminen. Kappaleen kiinnittäminen, erityisesti koordinaattimittakoneessa tulisi tehdä aina samalla tavalla, koska väärin kiinnitettynä kappaleeseen saattaa tulla jännityksiä, jotka tekevät mittaustuloksista virheelliset. Nämä asiat pitäisi löytyä hyvästä työopastusohjeesta. Erityisesti mittakoneita harvoin käytetään sarjatuotantomittaukseen, näin ollen otantamittauksesta sekä kalibrointikappaleiden mittauksesta tulisi tehdä ohjeet, jolloin mittamiehen vaihtuessa, työ mitattaisiin aina samalla tavalla.

5.4 Perehdytys

Perehdytys on tärkein asia, mikä uudelle henkilölle uudessa työpaikassa tulee suorittaa. Hyvässä perehdytyksessä esitellään uudelle henkilölle yrityksen toimintamallit, sekä yrityksen toimitilat. Varsinkin teollisuusyrityksissä perehdytyksessä on oltava todella järjestelmällinen, koska yrityksissä on usein varsin erilaisia koneita sekä laitteita, ja nämä mahdollisesti aiheuttavat tai niissä käytetään hyvin myrkyllisiä aineita. Perehdytys on usein esimiesten vastuulla, mutta valitettavan usein esimiehet siirtävät perehdytyksen alaisilleen. Itse työn perehdytystä ei tule aloittaa ennen kuin on läpikäyty uuden henkilön kanssa kaikki yrityksen perusasiat, aina palkanmaksusta työterveyslääkärin sijaintiin asti.

5.5 Perehdytys työtehtäviin

Työtehtäviin perehdyttäminen tulee aloittaa kevyesti sekä antaa henkilön ensiksi sisäistää yrityksen toimintamalleja. Työtehtäviin perehdytyksessä paras henkilö yleensä on henkilö, joka on työskennellyt kyseisissä työtehtävissä. Perehdytyksen periaatteena ei saa olla näyttäminen kuinka työ tehdään ja sen jälkeen jätetään uusi henkilö yksin opettelemaan työnsä. Perehdytys tulee suorittaa kunnolla, sekä antaa henkilön sisäistää työtehtävät. Hyvällä perehdyttämällä voidaan säästää todella paljon niin aikaa kuin rahaa. Virheellisten tuotteiden valmistuminen on huomattavasti epätodennäköisempää. Työtehtäviin perehdytyksessä todella tärkeä asia on työ-
turvallisuus. Useasti tuotantotyössä on omia riskejä, jotka voidaan välttää pitämällä oikea suojavarustus, sekä käsittelemällä materiaaleja varoen. Esim. hartsi, jota komposiittiteollisuudessa käytetään, on todella myrkyllistä. Aine ei aiheuta välittömiä harmeja iholle jouduttuaan, mutta väärinkäyttynä pidemmän aikaa, on mahdollisuutena aina ihottumasta valitettavasti syöpään saakka etenevät työperäiset sairaudet.

Työtehtäviin perehdytystä ei saa unohtaa myöskään talonsisäisessä siirtymisessä työtehtävästä toiseen. Usein yritys kierrättää työntekijöitä eri työtehtävissä, ja jokaiseen työtehtävään yleensä vakiintuu erilaiset käytössä olevat menetelmät, sekä menetelmät, joilla ei työtehtävän tekeminen onnistu. Nämä tiedot on hyvin tärkeä siirtää uudelle henkilölle. Uuteen työtehtävään siirtymisen suurin riski on, kun tekijä käyttää oppimaansa tietoa, ilman varmistusta, onko menetelmä sallittua toisessa työtehtävässä tai onko käytettävät materiaalit samanlaisia. Näin ollen oikein suoritettu työvaihe väärin materiaaliarvojen tiedolla voi aiheuttaa vakavan virheen tuotteessa. Erityisesti ilmailualalla on käytössä useita eri materiaaleja, ja asiakas ei välttämättä ole hyväksynyt tiettyjen materiaalien käyttämistä omissa tuotteissaan. Tämä materiaali saattaa olla käytössä viereisessä työpisteessä, sekä käytännössä samalla tavalla toimiva, mutta yleensä on pieni ja kriittinen ero materiaaleissa, jonka takia, materiaali on joko sallittu tai kielletty kyseisessä työtehtävässä. Patrialla on käytössä kokemustaulukko, jonka avulla voidaan katsoa vähimmäisaika, jolloin henkilö on valmis tekemään työtään täysin itsenäisesti, ilman perehdyttäjän apua. Tämä koskee

tuotannossa niin työntekijätason kuin toimihenkilötason työtä. Tässä on tietenkin mahdollista päästä lyhyemmällä ajalla perehdytys lävitse, kun kyseessä on yrityksessä jo työsuhteessa oleva henkilö.

6 KÄYTETYT KEHITYSMENETELMÄT

6.1 Mittauksen kehitys

Mittauksen kehityksessä päätettiin edetä normaalin työn ohessa. Tärkein työ mittauslaitteen sekä ohjelmiston vaihdossa, oli todentaa mittauksen olevan luotettava. Vasta tämän jälkeen oli mahdollista siirtyä itse työn tekemiseen, eli mittauksen kehittämiseen. Mittauksen kehittämisessä päädyttiin käyttämään työn ohessa tapahtuvaa kehitystä. Ohjelman vaihtuessa, sekä mittalaitteen sekä mittaajan muutos toivat täysin uuden tilanteen, joten kehitys pääsi tapahtumaan tyhjältä pöydältä. Mittauksen kehittäminen aloitettiin miettimällä paras mahdollinen mittausjärjestys. Mittausjärjestyksessä tärkeintä oli aloittaa mallin kiinniottamisella. Malli otetaan kiinni kahdesta pääsaranaasta mitatuista pisteistä, sekä näiden väliin luodusta tasosta. Näin malli saadaan luotettavasti kiinni, sekä origopisteenä toimii sama pääsarana kuin työpiirustus määrittelee. Origopiste on sama, kaikissa saman siiven spoilerissa. Origopiste vaihtuu peilikuvan tapaan toisen siiven spoilereihin. Mittaustapoja tulee käytännössä kaksi erilaista. Mittauksen kehittämisessä ei käytännössä ole merkitystä, onko spoilerissa 4 vai 6 saranaa. Mittausjärjestystä ei pystytty kauheasti erikseen kehittämään, koska mallin kiinniottaminen tuo mittaamiseen tämän alkujärjestyksen. Kaikkien saranoiden paikat pystytään mittaamaan epäjärjestyksessä, tarpeen vaatiessa, mutta pintapisteiden sekä spoilerin äärimittojen mittauksessa mitataan mallia vasten, joten saranoista pitää olla luotuna taso, joka on kiinnittänyt mittalaitteen mitattavaan tuotteeseen. Näin ollen mittaustapa ei itsessään anna kauheasti kehitettävää enää tulevaisuutta ajatellen.

Kun spoilerin mittaukselle oli löydetty hyvä mittausjärjestys, aloitettiin esiohjelmoitujen mittausohjelmien tekeminen. Uusi mittausohjelmisto mahdollistaa esiohjelmoit-

nin helposti. Käytännössä tämä tapahtuu, kun mittausohjelma laitetaan oppimaan, mitä mittapisteitä mitattavasta tuotteesta mitataan. Mittausohjelman opettaminen spoilerin mittaukseen osoittautui hankalaksi, koska tuote mitataan käsimittalaitteella, ja spoilerit ovat suuria. Esiohjelmoituja mittausohjelmia jouduttiin kehittämään jatkuvasti, koska mittapisteitä oli vaikea löytää mitattaessa samaa tuotetta toisella kerralla. Myös koordinaatiston kääntyminen ylösalaisin aiheutti päänvaivaa. Tästä ongelmasta selvittiin helposti, tämä ongelma tuli esiin myös tehdessä mittausta ilman esiohjelmointia.

6.2 Mallinnus

Mallinnuksessa noudatettiin Ast:n voimassa olevaa mallinnuspohjaa. Mallinnus ei tuonut uutta kehitystä Ast:lle, mallinnuksen kehittämisen muodossa, vaan tarkoituksena oli valmistaa materiaali, joka toimii työnopastuksen apuna. Mallinnus on tarkoin varjeltu materiaali, joten tässä raportissa ei ole kuvia eikä tarkempia tietoja, kuinka mallinnus tehtiin.

Mallinnuksen suorittaminen tapahtui myös työn ohessa, joka on hyvin luonnollinen tapa, koska näin ei aiheuteta harmia tuotannon sujumuudelle. Mittauksen kaikki työvaiheet tulevat näin esille, sekä kaikki muu työ, jota mittauksessa joudutaan tekemään. Mallinnuksen suoritti alusta loppuun saakka opinnäytetyöntekijä. Työn virallistamisvaiheessa paikalla olivat kaikki mittauksen henkilöt, mittainsinööri, tuotannon laadunvarmistuksen esimies, MRB-insinööri sekä yrityksen henkilöstökehityspäällikkö.

7 TULOKSET

7.1 Mittauksen kehitys

Mittauksen kehityksessä onnistuttiin luomaan järkevä mittausjärjestys, mikä tekee mittaamisesta joustavaa ja helppoa. Mittauksessa noudatetaan samaa kaavaa jokai-

selle Lh-puoliselle spoilerille sekä Rh-puoliselle spoilerille. Näin ollen mittaustapa on samanlainen kun kyseessä on samaan siipeen tuleva spoileri. Tämä helpottaa mittausta, koska tuotanto pyrkii etenemään tietyssä järjestyksessä, jolloin tavanomaisesti spoilerit valmistuvat siipi kerrallaan. Työpiirustukset on piirretty spoileri hankkeessa Lh (left hand) kuvina. Lh-spoilerit asennetaan valmiissa lentokoneessa vasemmanpuoleiseen siipeen. Rh-puoleiset (right hand) spoilerit ovat peilikuvia lh-puolen spoilerista, ja nämä asennetaan lentokoneen oikeaan siipeen.

Mittauksen kehityksessä saavutettiin siis oikeaoppinen mittausjärjestys. Mittausjärjestyksen vakiinnuttua, kehitettiin jokaiselle 16 spoilerille oma esiohjelmoitu mittausohjelma. Esiohjelmoitun mittausohjelman suurin hyöty tulee, kun ohjelma avaa CAD-mallin automaattisesti, sekä määrittelee mittauspisteet automaattisesti. Mittauspisteiden määrittely automaattisesti poistaa myös inhimillisen mittausvirheen mahdollisuuden. Mittausohjelmat saatiin toimimaan halutun lailla. Tällä hetkellä suurin hyöty esiohjelmoituista mittausohjelmista saavutetaan poikkeavan tuotteen mittauksen tarkistamisessa. Kun mitattavasta tuotteesta löydetään poikkeama, tulee tuotetta mitata uudemman kerran, jotta varmistetaan saman poikkeaman olemassaolo. Tässä tehtävässä esiohjelmointi näyttää hyvin toimivuutensa, sekä nopeutensa verrattuna perinteiseen mittaukseen. Ilmailuteollisuudessa tällaisen mittaustavan muutoksen käyttöönotto on hieman vaikeampaa, kuin normaalissa teollisuudessa. Tämän esiohjelmoinnin käyttöönotto ainoaksi viralliseksi mittausmenetelmäksi vaatii vielä hyväksyntää hankkeen laatupuolen henkilöiltä. Opinnäytetyön raportointivaiheessa tämä vaihe jäi vielä keskeneräiseksi. Esiohjelmointi on tarkoitus ottaa käyttöön, kun tämä hyväksytään virallisesti ja esiohjelmoitut mittausohjelmat käydään läpi, sekä niille annetaan viralliset hyväksynät.

7.2 Mittauksen ajansäästö

Tuloksista ei tehty virallisia raportteja, kuinka paljon mittaus nopeutui. Kuitenkin tässä puhutaan noin. 50 % aikasäästöstä itse mittaustyössä, kun verrataan tapaan jossa kaikki mittapisteet määritetään erikseen, sekä nimetään raportoinnin auttamiseksi mittauksen jälkeen. Mittausta ei ole suotavaa seurata ajallisesti, koska mittauksessa

on kyseessä erikoistyötehtävä. Kuitenkin tällä mittausohjelman vaihdoksella, sekä siihen lisättyinä esiohjelmoiduilla mittausohjelmilla on mahdollista saavuttaa huomattava aikasäästö. Tässä uudessa tavassa kehittyminen ei ole otettu mittaaajan työstä, vaan kaikki kehittyminen on tullut sitä mukaan, kun mittaaajan työtä on helpotettu. Itse mittaustapahtuma on pysynyt luotettavana, sekä mittauksen tarkkuus on pysynyt korkeana. Joten lopputuloksena voi sanoa, että tässä suhteessa on onnistuttu siinä, mitä on haluttu tehdä.

7.3 Ongelmia joita esiintyi esiohjelmoidussa mittaohjelmassa

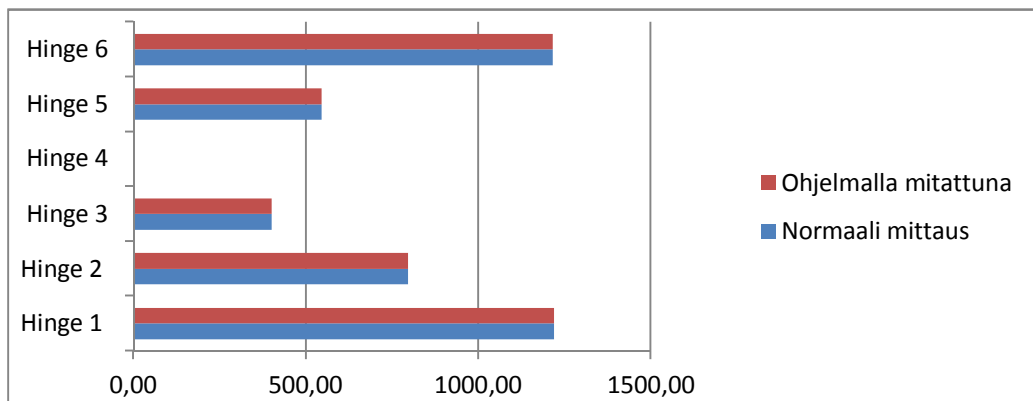
Ongelmilta ei valitettavasti voitu välttyä tässä opinnäytetyössä. Ongelmia aiheutti koordinaatiston luonti. Koordinaatisto kääntyi välillä väärin päin. Koordinaatisto käänsi osan ylösalaisin, vaikka mitatut tulokset eivät näin olleet. Ratkaisuja tällaiseen ongelmaan löytyi kahdenlaisia. Ensimmäisenä ratkaisuna toimi spoilerien mittaaminen ilman ohjelmaa. Mittausohjelma oppi tuntemaan mitattavat mallit, ja näin ollen tarpeeksi usein kun koordinaatisto on käännetty oikean puoleiseksi manuaalisesti, tämä ongelma hävisi. Koordinaatiston kääntäminen manuaalisesti ei tuo käytännössä ollenkaan lisätyötä mittaukseen, mutta ilman erillistä ohjetta, on tämä kääntäminen uudelta mittaajalta käytännössä mahdoton tehtävä. Koordinaatiston kääntämiseen on kirjoitettu yksinkertainen ohje, mutta tämä ohje ei liity kuitenkaan mallinnusmateriaaliin.

7.4 Mittatulosten analyysi

Mittatulosten analyysi päätettiin kirjoittaa vain yhdestä spoilerista, koska esiohjelmoitu mittaohjelma ei muuta tulosten raportointia erilliselle taulukolle millään tavalla. Näin ollen mittaaajan on todennettava mitatut mittapisteen jokaisella mittauskerralla. Mittatulosten analyysissä ei esitetä tuloksia lopullisen raportin muodossa, vaan mittalaitteen antamina mittoina. Mittauksessa saadut tulokset on käännetty kaavioi-

hin. Näin tulosten ymmärtäminen on helppoa, koska kyseessä ei ole Faron tarkkuuden todentaminen. Kyseessä on ainoastaan todentaminen, että mittapisteet ovat ohjelmoitu esiohjelmoituna oikein, eikä tuloksissa ole selvää eroa, mikä paljastaisi virheen ohjelmoinnissa.

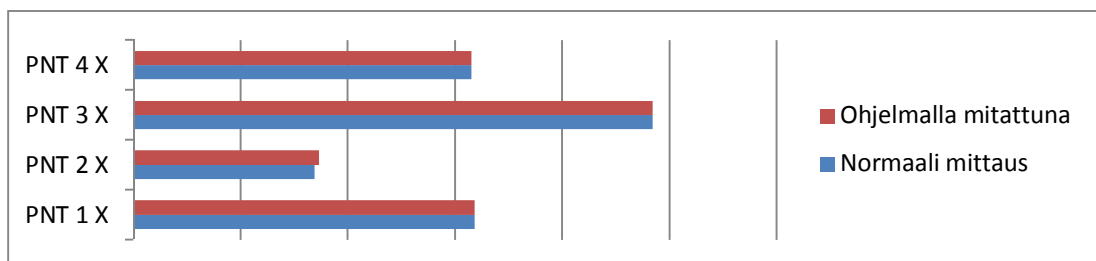
Ensimmäisenä on esitetty kiinnityssaranoiden X-suuntainen mittauspiste.



Kaavio 1. Saranoiden mittaustulokset

Mittaus on suoritettu sekä normaalilla mittaustavalla, sekä esiohjelmoitulla mittausohjelmalla (kaavio 1). Kaavion on tarkoitus todentaa, että mittapisteiden mitoissa ei ole eroa keskenään.

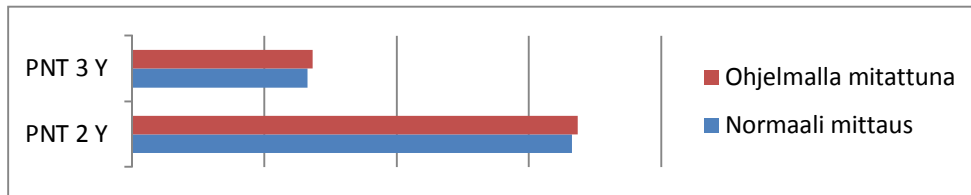
Seuraavaksi on esitetty spoilerin kulmapisteiden mittaustulokset X-suunnalla.



Kaavio 2. Kulmapisteiden mittaustulokset

X-suunnalla tarkoitetaan tässä tuloksissa sivuttaissuunnan mittoja.

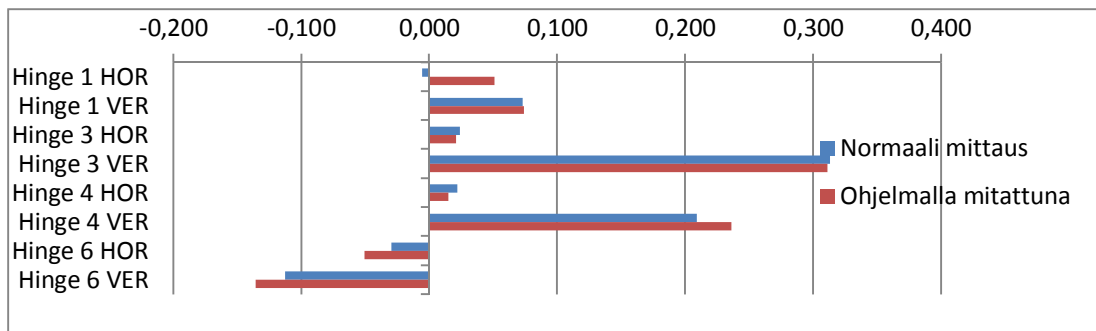
Kulmapisteiden Y-suuntaiset mittatulokset



Kaavio 3. Kulmapisteiden Y-suuntaiset mitat

Y-mitat ovat spoilerin pituusmittoja, kohti jättöreunaa.

Viimeisinä mittaustuloksina esitetään spoilerin etureunan mittapisteeet.



Kaavio 4. Spoilerin etureunan mittapisteeet

Taulukoissa olevat mitat ilmoitetaan spoilerin mittauksessa käytettävissä mittauksissa, eikä tässä työssä olennaista ole mikään muu tieto, kuin että vaihtelut eri mittapisteeissä menevät mittalaitteen toleranssin sisään. Tällä tiedolla vakuutetaan mittapisteeiden olevan oikeat esiohjelmoidussa mittausohjelmassa.

Virallinen mittaraportti sekä tulokset ovat vain Patrian käytettävissä. Tästä syystä ne eivät kuulu osaksi opinnäytetyön raportointia. Näin ollen taulukot eivät paljasta osan kokonaisuutta, vain näyttävät että mittaustulokset ovat samansuuntaiset.

7.5 Mallinnus

Mallinnus materiaalista saatiin laadittua ensimmäinen versio. Ensimmäinen versio vaatii suurimman työn, ja tämän materiaalin pohjalta, on mallinnusmateriaalia mah-

dollista helposti parantaa. Mallinnusmateriaaliin saatiin hyvin yksinkertaisesti selitettyä, mitä ICY-mittauksessa on työtehtävinä. Mallinnusmateriaali paljastaa myös mittausjärjestyksen sekä auttaa nimeämään mittapisteet, jolloin tulosten raportointi on helpompaa. Mallinnusmateriaalin parantaminen tulee eteen kun työpisteelle tulee uusi henkilö mittaamaan spoilereita, jolloin on aiheellista järjestää perehdytystä. Mallinnusmateriaalista on tarkoitus tulostaa työpisteen läheisyyteen A3- kokoinen powerpoint esitelmä, jolloin materiaali on heti käytettävissä, kun tarve materiaalin käytölle ilmenee. Materiaali ei saa päätyä, muun kuin Ast:lla työskentelevän henkilön käyttöön Astin tiloissa.

7.6 Mittauksen kehittäminen tulevaisuudessa

Spoilerin ICY-mittauksen kehittämistä tullaan jatkamaan, koska hanketta on monia vuosia jäljellä. Seuraava kehityskaskel voisi olla siirtyä raportoinnissa Metrologin raporttiin. Tällä hetkellä iso osa ajasta, minkä ICY-mittaus vie, tulee raportoinnista kun mittaustulokset siirretään käsin tällä hetkellä käytetylle raportointipohjalle. Metrolog mahdollistaa tulosten siirtämisen suoraan Excelin taulukkoon. Tämä taulukon muokkaamismahdollisuus kannattaa tutkia, koska tämä kehitys toisi runsaan ajan säästön, sekä käsin näppäiltävän kirjoitusvirheen mahdollisuus poistuu samalla. Itse mittaus-tapaa on hankala kehittää pidemmälle, koska tämä tarkoittaa käytännössä mittapisteiden vähentämistä, tai erillistä ICY-mittatelineettä, johon spoileri nostetaan ja tehdään tarkistus ilman koordinaattimittalaitetta.

Mittatelineellä tarkistus voitaisiin tehdä, kun jokaiselle spoilerille luodaan omat kiinnityspisteet, joihin spoileri asennettaisiin. Mittatelineessä lisähaasteen asettaisi spoilerin jättöreunassa olevat mittapisteet, sekä spoilerin muodon tarkistus. Tämä tarkistus tietenkin voitaisiin tehdä asennusjigeissä. Tämä voi olla vaikea todentaa asiakkaalle, koska ilmailualalla on tiukat laatuvaatimukset. ICY-mittatelineellä saavutettaisiin hurjat aikasäästöt sekä saataisiin vähennettyä kalliiden mittalaitteiden käyttämistä, mutta tämä ei ollut osana opinnäytetyötä, eikä näin ollen tule esille kuin ilmaan heitettyä ideana.

8 POHDINTA

Opinnäytetyöni sai alkunsa siirtymisestä uusiin työtehtäviin. Tämä oli hyvä lähtökoh- ta työlle, koska näin sain opinnäytetyöstäni oikeasti hyötyä työelämään. Näin ollen opinnäytetyön voi jakaa vaiheisiin. Ensimmäisessä vaiheessa oli uuden työn opettelu edessä samassa yrityksessä jossa jo olin pidemmän aikaa työskennellyt, sekä opin- näytetyön aiheen hyväksyntä Jyväskylän ammattikorkeakoulun puolelta. Tämän jäl- keen vuorossa oli itse työn osuus. Tähän kuului itse ohjelmointien tekeminen sekä mallinnus. Mittausjärjestyksen kehittäminen kuului uuden työn opettelemiseen. Vii- meisessä vaiheessa oli jäljellä raportointi koululle, sekä mallinnus työnantajalle. Näin ollen on järkevää jakaa työ kolmeen eri vaiheryhmään.

Mittauksen kehittämisessä sekä uuden työn opettelussa pärjäsin omasta mielestäni hyvin. Tässä mittauksen kehittämisessä tosin pystyi hyödyntämään paljon jo käytössä ollutta mittausmenetelmää. Kun uusi mittausohjelma oli tullut tutuksi, tuli selkeä sekä luonnollinen mittausjärjestys kuin itsestään. Tämä vaihe oli kaikkein helpoin tässä työssä, sekä tästä jäi kaikkein vähiten raportointiin liittyvää materiaalia

Toisessa vaiheessa oli vuorossa esiohjelmoitujen mittausohjelmien luominen. Tämä tuntui onnistuvan helposti, mutta ongelmia tuntui riittävän käsittämättömän paljon. Luonnollinen syy näille ongelmille oli kokemattomuus uuden mittausohjelman kans- sa, sekä yleinen kokemattomuus mittauksesta. Tämän osion aikana tuli se todellinen hyöty työelämään. Itse mittajaan työ alkoi aueta mielessäni kunnolla.

Kolmanteen osioon jäikin sitten raportointi sekä mallinnus. Oli itseltäni iso virhe jät- tää raportointi täysin viimeiseksi osaksi työtä. Tässä vaiheessa rupesi jo motivaatio- ongelmat vaivaamaan, sekä täysin simppele kirjoittamistyö rupesi tuntumaan suuren vuoren päälle kiipeämiseltä. Tässä kirjoitustyön välissä suoritin mallinnuksen spoile- rin mittaukseen, ja tämä osio meni omasta mielestäni hyvin. Mallinnus oli helppo suorittaa, koska olin ollut aiemmin mukana kokoonpanotyön mallinnuksessa. Näin ollen työkokemuksesta oli tässä suuri hyöty, sekä ammattikorkeakoululta oppimistani opetuksista. Mallinnuksen raportoinnin poisjättäminen hieman harmittaa itseäni,

koska tämän takia työssä oleva hyvien työnopastusohjeiden kriteerit osio jäi pinnalliseksi sekä vähän tulee sellainen vaikutelma, että tämä on vain turha täyte tässä työssä. Itse mallinnus on kuitenkin iso osa opinnäytetyötä, sekä tästä toivon olevan eniten hyötyä tulevaisuutta varten työpaikallani.

Pohdinta osuuden jäädessä viimeiseksi, muuten jo melkein valmiin työn kanssa, käy valitettavasti ilmi se, että minulla on vielä huomattavasti kehitettävää työn valmistuksessa. Jos olisin keskittynyt täysin työn aikataulun luomiseen, sekä olisin noudattanut tarkkaa suunnitelmaani, olisi koko opinnäytetyöstä tullut parempi. Uskon kuitenkin että saavutin tämän opinnäytetyön jälkeen täyden hyödyn ammattikorkeakoulutuksesta. Opinnäytetyö tuntui todella pahalta saada valmiiksi, mutta tässä tilanteessa voi pitää aina mielessä, että kunhan vain ottaa itsestään kaiken edes pieneksi hetkeksi irti, on mahdollista saavuttaa isojakin päätepisteitä. Uskon että sain suuren opetuksen työelämän sekä opintojen yhdistämisen vaikeudesta.

Mitä tekisin toisin, jos tällä hetkellä alkaisin tällä kokemuksella tehdä opinnäytetyötäni alusta. Ensimmäisenä kiinnittäisin huomion suunnitteluun. Tämän jälkeen varmistaisin että pystyisin noudattamaan luomaani työjärjestystä. Tässä kohdassa tuli suuri hankaluus, kun samaan aikaan mallinnuksen sekä raportoinnin kanssa työnantajalla oli suuria työkiireitä. Työpäivät venähtivät usein yli 8 tuntia kestäviksi, sekä opinnäytetyöhön liittyvät työasiat joutui siirtämään tärkeysjärjestyksessä alaspäin. Tähän kohtaan tietenkään ei ole kauheasti vaikuttamista, ja lopulta kuitenkin kaiken sai tehtyä, ja työnantaja oli hyvin ymmärtäväinen opinnäytetyön suorittamista kohtaan. Raportoinnissa pakottaisin itseni aloittamaan raportin tekemisen samaan aikaan, kuin itse työn. Näin pystyisi keräämään todella paljon teoriaa suoraan raporttiin, josta sitten siivoisi vain turhia asioita pois. Kun itse taas menettelin tavalla, jossa jouduin työn lopussa keräämään tarvittavaa tietopohjaa useista lähteistä. Tässä kohdassa tosin on suurin ero luultavasti nuoriso-opiskelijan sekä aikuisopiskelijan kohdalla. Itselleni on kertynyt 8 työvuoden aikana suuri tieto omasta alasta, sekä suurin lähde tätä työtä tehdessä on ollut työkaverit. Nämä työkaverit ovat oman alansa ammattilaisia, ja lähteenä Patriaa ei voi missään nimessä vähätellä, vaan omasta mie-

lestäni itse työn, ei niin raportin tekemisessä, tämä lähde oli tärkein sekä hyödyllisin itselleni.

Tässä työssä toinen hankaluus joka vaikeutti raportointia, oli se että työ ei ollut tutkimustyö. Näin ollen ei tarvinnut verrata mitään tietoja keskenään, eikä tarvinnut kerätä mittadataa eikä työhön käytettyä aikaa. Näillä tiedoilla olisi saanut raportin huomattavasti paremmaksi. Lopputuloksen saavutin kaiken tehdyksi, mikä oli suunniteltu tehtäväksi. Aikaa meni enemmän, kuin oli suunniteltu. Mutta pääsääntöisesti menttiin työnantajan aikataulujen mukaan, joten aikataulun venyminen ei tässä työssä pitäisi olla mikään huonontava asia.

LÄHTEET

- Andersson, P, H., Tikka, H. 1997 Mittaus- ja laatutekniikat. WSOY, Porvoo
- Esala, V-P., Lehto, H., Tikka, H. 2003 Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Teknologiainfo Teknova Oy, Helsinki
- Finlex. 2012 [viitattu 07.05.2012]
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>
- Keinänen, T., sekä Kärkkäinen, 2010 Konetekniikan perusteet. Sanoma pro, Helsinki
- Mittaukset konepajassa seminaari. 2011. Viipuri
- Patria. 2011. [viitattu 27.12.2011] <http://www.patria.fi>
- Patria Aerostructures. 2004 – 2012.
- Saarela, O., Airismaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M., Komppa, V., 2003, Komposiittirakenteet. Muoviyhdistys ry, Helsinki
- Työsuojeluhallinto. 2012. <http://www.tyosuojelu.fi/fi/>
- Tikka, H. 2007 Koordinaattimittaus. Tampereen yliopistopaino OY – Juvenes Print

LIITTEET

Liite 1. Mittausanalyysi Sp 1 LH (salainen)

Liite 2. Mallinnusmateriaali ICY-mittaukseen. (salainen)