

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Jarmo Kekkonen

MITTAUSMENETELMÄN KEHITYS ANTENNISUOJATUOTTEILLE

Opinnäytetyö
Helmikuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2020
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Jarmo Kekkonen

Nimeke
Mittausmenetelmän kehitys antennisuojuatuotteille

Toimeksiantaja
Exel Composites Oyj

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää Exel Composites Oyj:n Kivaran tehtaalla tuotettavien antennisuojujen mittaamista. Tehtaalle oli hankittu käsivarsimittalaite, jonka käyttämiseen tarvittiin mittauspöytä. Pöydän suunnittelun lisäksi työhön kuului tuotekohtaisten jigien ja mittausohjelman suunnittelu yhdelle ennalta valitulle tuotteelle sekä mittauskoulutus tehtaan laaduntarkastajille. Tarve kehitystyölle tuli vanhan mittausmenetelmän suuresta mittausepävarmuudesta.

Työ aloitettiin tekemällä havaintoja vanhasta mittausmenetelmästä ja siinä käytetyistä laitteista. Havaintojen pohjalta tehtiin ratkaisuluonnos, joka toimi pohjana tekniselle toteutukselle. Uuden mittausmenetelmän oli tarkoitus tehdä tarpeettomaksi monien eri mittalaitteiden käyttö ja mitattavien tuotteiden siirtely kesken mittaamisen.

Tekninen osuus toteutettiin systemaattisen suunnittelumetodin mukaisesti. Kyseinen metodi koostuu tehtävän asettelun, luonnostelun, kehittelyn ja viimeistelyn päävaiheista. Metrologian perusteet toimivat teknisen osuuden suunnittelun apuna sekä pohjana tarkastajien kouluttamisessa uuteen mittausmenetelmään.

Tuloksena saatiin mittavarrelle pöytä, antennisuojuille jigit ja uuden mittausmenetelmän hallitsevat laaduntarkastajat. Mittauspöytä osoittautui käyttötarkoitukseensa sopivaksi ja jigeissä käytetty konsepti havaittiin toimivaksi muissakin antennisuojuatuotteissa. Uudella mittausmenetelmällä mittausvälineistöstä ja mittaajista aiheutuvaa mittausepävarmuutta saatiin vähennettyä.

Kieli
suomi

Sivuja 43
Liitteet
Liitesivumäärä

Asiasanat
suunnittelumenetelmät, mittausmenetelmät, koneensuunnittelu, metrologia



THESIS
February 2020
Degree Programme in Mechanical
Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Author(s)
Jarmo Kekkonen

Title
Development of a Measurement Method for Antenna Cover Products

Commissioned by
Exel Composites Oyj

Abstract

The purpose of this thesis was to improve the measurement method of antenna covers that are produced at Exel Composites Plc:s Kivara plant. One part of the task was to design a measuring table for a measuring arm already purchased for the factory. In addition to the table, Other tasks were to design product specific jigs and a measurement program for one pre-selected product, as well as training of the new measuring method for the inspectors. The need for development came from the high measurement uncertainty of the old measurement method.

The work was started by making observations on the old measuring method and the equipment used in it. Based on the findings, a draft solution was prepared, which served as the basis for the technical implementation. The new measurement method was intended to eliminate the need of many different measuring devices and remove the need of transferring the product under measuring.

The technical part was executed according the systematic design method. The selected method contains the main stages of task layout, sketching, development and finishing. The basics of metrology served as the basis for planning the technical part and training the inspectors.

The result was a table for the measuring arm, product specific jigs for the antenna covers, and trained quality controllers. The table proved to be purposeful and the concept used in jigs was working in other antenna cover products as well. The new measurement method was used to reduce measurement uncertainty caused by measuring equipment and quality controllers.

Language
Finnish

Pages 43
Appendices
Pages of Appendices

Keywords
design methods, measurement methods, machine design, metrology

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Metrologian teoriaa	6
2.1	Mittaamisesta yleisesti	6
2.2	Mittaustekniikan käsitteitä	7
2.3	Mittausvirheet	8
2.4	Mittausepävarmuus	9
3	Koneensuunnittelun teoriaa	10
3.1	Koneensuunnittelu yleisesti	10
3.2	Ergonomian perusteet suunnittelussa	11
3.3	Systemaattinen suunnittelumetodi	13
3.3.1	Tehtävänasettelun selvitys ja vaatimuslista luominen	14
3.3.2	Luonnostelu	15
3.3.3	Kehittely	16
3.3.4	Viimeistely	16
4	Mittausmenetelmän kehittämisen lähtökohdat	17
4.1	Mitattavat tuotteet	17
4.2	Antennisuojausten mittalaitteet	18
4.3	Vanha antennisuojausten mittausmenetelmä	20
4.4	Yhteenveto mittausmenetelmästä	21
5	Uuden mittausmenetelmän kehitys	22
5.1	Käsivarsimittalaitteen esittely	23
5.2	Suunnittelun aloitus	24
5.3	Vaatimuslistan luominen	24
5.4	Mittauslaitteen luonnostelu	26
5.4.1	Jigien luonnos	26
5.4.2	Pöytätason luonnos	27
5.4.3	Rungon luonnos	27
5.5	Pöydän kehittäminen	29
5.5.1	Jigien kehittäminen	31
5.5.2	Alumiinikehikko	31
5.5.3	Kiinnityslatat	33
5.5.4	Sähkösuojainen runko	34
5.5.5	Taivutuksen laskenta	36
5.5.6	Profiilin valinta	37
5.6	Mittauspöydän viimeistely	38
5.6.1	Jigien viimeistely	38
5.6.2	Alumiinikehikon viimeistely	39
5.6.3	Lattatangon viimeistely	40
5.6.4	Pääkokoonpanon tarkistus	40
6	Mittausmenetelmän käyttöönotto	41
7	Pohdintaa	42
	Lähteet	43

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aihe on mittausmenetelmän kehitys antennisuojuustuotteille. Kehitystyön tavoite on parantaa antennisuojujien laadunhallintaa kehittämällä niille uusi mittausmenetelmä. Aihe on kiinnostava, koska se sisältää mittauspöydän, tuotejigien ja mittausohjelman suunnittelun sekä käyttökoulutuksen pitämisen laaduntarkastajille. Valitsin tämän aiheen koska laadukkaalla mittaamisella saadaan vähennettyä hävikkiä ja nostettua kyseessä olevan tuotteen kannattavuutta. Uudella mittausmenetelmällä saadaan tarkempia ja nopeampia mittaustuloksia.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Exel Composites Oyj:n Heinävaaran tehdas. Toinen Suomen toimipiste on Mäntyharjussa. Muut toimipisteet sijaitsevat Itävallassa, Belgiassa, Kiinassa, Saksassa, Englannissa ja Yhdysvalloissa. Yritys valmistaa komposiitista muun muassa profiileja, putkia, laminaatteja ja lentokenttä tuotteita.

Keskityn tässä opinnäytetyössä metrologian perusteisiin ja koneen rakennuksen systemaattiseen suunnittelumetodiin niin kuin se kirjassa *Koneensuunnitteluoppi* (Pahl & Beitz 1992) on esitetty. Käsittelen myös ergonomiaa niiltä osin kuin se vaikuttaa koneen suunnitteluun käyttäjän näkökulmasta. Muiden koneensuunnittelun menetelmien tutkimisen olen rajannut pois tästä opinnäytetyöstä. Tavoitteena on oppia perusteet laadukkaasta mittaamisesta sekä koneenrakennuksen periaatteita systemaattisen suunnittelumetodin esittämällä tavalla ergonomiset lähtökohdat huomioiden. Tavoitteet saavutetaan lukiamalla eri kirjoittajien kirjallisuutta laadukkaasta mittaamisesta sekä edellä mainittua koneensuunnittelun teosta ja ergonomia-opasta.

Tässä opinnäytetyössä pääsen käyttämään hyväksi konetekniikan opinnoista erityisesti valmistustekniikan perusteiden, teknisen dokumentoinnin, lujuusopin ja koneensuunnittelun osaamista. Aikaisempi työkokemus tuotannon kehittämisestä tarkoittaa sitä, että osaan etsiä ja hankkia oikeanlaisia materiaaleja ja tarvikkeita teknistä toteutusta varten ja myös tunnen jo yrityksiä, joilta tarvittavia osia ja palveluita voi hankkia. Tulevan ammatin kannalta tämän opinnäytetyön hyöty on siinä, että olen teknistä toteutusta suunnitelllessani saanut paljon tietoa ja uusia kontakteja koneenrakennuksesta sekä omaksunut

koneensuunnittelun, mittaamisen ja ergonomian teoriaa, joka toimii tietoperustana tulevissa suunnittelutehtävissä.

Aion teoriaosuudessa kertoa metrologiasta eli mittaamisen ja mittayksiköiden tieteestä, työpisteen suunnittelusta ergonomian näkökulmasta sekä koneensuunnittelusta systemaattisella menetelmällä. Valitsin metrologiasta aiheita, joiden ymmärtäminen on tärkeää tutkittaessa vanhan mittausmenetelmän mahdollisia kehityskohteita. Uuden mittausmenetelmän toteutuksen piti vähentää mittausepävarmuutta ja mittausvirheiden mahdollisuutta. Ergonomiasta käsitteelin työpisteen mitoitusta koskevaa teoriaa, jota sovelsin mittalaitteen suunnitteluun.

Koneenrakennus systemaattisella menetelmällä on vain yksi tapa suunnitella ja toteuttaa koneita, laitteita ja muita teknisiä luomuksia. Valitsin menetelmän omaan opinnäytetyöhön, koska se on insinöörimäinen lähestymistapa ja yleisesti käytetty koneenrakennuksessa. Menetelmän luojilla on myös asiantuntijuutta teknisten luomusten suunnittelusta. Tärkeimpiä lähteitä työssäni ovat mittaamista, mittausmekaniikkaa ja laatua koskevat teokset sekä aiemmin mainittu *Koneensuunnitteluoppi*.

2 Metrologian teoriaa

Metrologia on tieteenala, joka käsittelee mittaamista kokonaisuudessaan. Metrologia määrittelee mitattavat suureet, niiden mittayksiköt, mittausten menetelmät ja suoritukset, mittaustulosten käsittelyn ja niiden luotettavuuden arvioinnin sekä mittausten inhimilliset tekijät tarkoittaen mittaajan toimintatapaa ja suorituskykyä. (Aumala 2002, 13.)

2.1 Mittaamisesta yleisesti

Mittaaminen on usein tapa hankkia tietoa uudesta esineestä tai ilmiöstä. Pituus on ehkä vanhimpia tunnettuja mittaussuureita. Pituuden avulla voidaan määrittellä myös pinta-alat ja tilavuudet. Mittanauhan lisäksi pituutta mitattaessa tarvitaan myös usein mittapaloja ja kaulaimia, mikrometriruuveja sekä työntötulkkeja. (Aumala 2002, 11.)

Mittaamisesta saatua tietoa käytetään hyväksi tuotesuunnittelussa sekä valmistuksessa. Jotta mittaaminen olisi taloudellisesti kannattavaa, täytyy mitattavien kohteiden olla järjkeitä ja olennaisia kohdistuen kokoonpanon tai toiminnan kannalta olennaisiin mitattaviin kohteisiin. Sarjatuotannossa näitä kohteita ovat terien, CNC-ohjelman ja kappaleiden kiinnitysten oikeellisuus. Mittaamalla ei paranneta valmistuksen laatua, vaan sillä tuotetaan luotettavaa tietoa. (Tikka 2007, 9.)

2.2 Mittaustekniikan käsitteitä

Kalibrointi on joukko toimenpiteitä, joiden tarkoitus on osoittaa mittausvälineiden ja -laitteiden antamien suureiden arvojen välinen yhteys vastaaviin standardeilla toteutettuihin arvoihin eli mittanormaaleihin kussakin määritellyssä mittausympäristössä. Suureella tarkoitetaan ominaisuutta, joka on laadultaan tunnistettavissa ja määrältään mitattavissa. Suureen arvo saadaan, kun kerrotaan saatu tai annettu lukuarvo kyseisellä mittayksiköllä. Mittaussuure tarkoittaa mitattavana kohteena olevaa määriteltyä suuretta. (Andersson & Tikka 1997, 120-121.)

Mittausmenetelmät riippuvat mitattavasta kohteesta. Kun mittaussuureen arvo on välittömästi saatavilla tarvitsematta johtaa sitä muista suureista ja niiden riippuvuuksista, on kyseessä suora mittausmenetelmä. Epäsuoralla mittausmenetelmällä tarkoitetaan sellaista mittausta, jossa mittaussuureen arvo saadaan johtamalla suoralla mittausmenetelmällä mitatuista suureista, joihin mittaussuure on tiettävästi riippuvainen. (Andersson & Tikka 1997, 121.)

Käytössä olevat mittalaitteet ja -välineet vaikuttavat siihen, onko kyse kosketuksettomasta mittausmenetelmästä, jossa anturilla ei kosketeta mitattavaa kappaletta vai kosketuksellisesta mittausmenetelmästä, jossa anturilla pitää koskettaa mitattavaa kohdetta (Andersson & Tikka 1997, 121). Käsivarsimittalaitteessa voidaan käyttää sekä kosketusetonta että kosketuksellista menetelmää riippuen siitä onko varren päässä laserskanneri, jolla kappale skannataan koskettamatta kappaleeseen tai mittauskärki, jolla kosketetaan mitattavaa kappaletta tai sen piirrettä.

Mittauksen toistuvuudella tarkoitetaan saman henkilön peräkkäisten mittaustulosten yhdenmukaisuutta lyhyellä aikavälillä, samoin menetelmin ja mittauslaittein sekä samassa paikassa että olosuhteissa. Mittauksen uusittavuudella tarkoitetaan eri henkilöiden suorittamien yksittäisten mittausten yhteneväisyyttä, kun käytetään eri menetelmiä ja mittauslaitteita erilaisissa ympäristöissä. Mittausmenetelmän tarkkuus tarkoittaa tiettyä menetelmää käyttäen mitattujen suureiden todenmukaisuutta. Mittausmenetelmän epätarkkuudella tarkoitetaan tietyllä menetelmällä saatujen mittauksen suureiden ja todellisten suureiden välistä poikkeavuutta. (Andersson & Tikka 1997, 122.)

Mittauslaite, joka on mittaamiseen tarkoitettu laite tai väline, voi sisältää esimerkiksi anturin, mittauskärjen ja näyttölaitteen. Anturi on kohteesta mittaustietoa välittävä mittalaitteen osa. Mittauskärjellä tarkoitetaan anturin osaa, joka on usein kosketuksissa mitattavan kappaleen kanssa. Näyttölaite on mittalaitteen osa, joka näyttää mitattujen suureiden arvon. (Andersson & Tikka 1997, 122–123.)

Mittausalueella tarkoitetaan sitä mittaussuureen arvojen aluetta, jossa yksittäisten mittausten virhe ei ylitä sallittuja rajoja. Mittauslaitteen tarkkuudella tarkoitetaan ominaisuutta, jonka johdosta mittauslaite tuottaa tuloksia ilman systemaattisia virheitä. Mittauslaitteen toistotarkkuus tarkoittaa mittalaitteen kykyä saada mitattavan suureen arvolle jatkuvasti sama näyttämä, kun mittaus toistetaan. (Andersson & Tikka 1997, 124–125.)

2.3 Mittausvirheet

Kaikki mittaukset sisältävät virheen. Virhe ja sen suuruus johtuvat mittaamiseen osallistuvista tekijöistä, jotka eivät ikinä ole virheettömiä ja täysin muuttumattomia. Näitä tekijöitä ovat mitattava kohde, mittauslaite, mittaustapa, mittaussympäristön olosuhteet, mittaaja sekä muutokset, joita tapahtuu mittaamisen aikana edellä mainituissa tekijöissä. Aiheutuneet mittausvirheet voidaan jaotella kolmeen luokkaan, jotka ovat systemaattiset, satunnaiset ja karkeat virheet. (Andersson & Tikka 1997, 127.)

Systemaattisella virheellä tarkoitetaan sellaista mittausvirhettä, joka pysyy samoissa olosuhteissa mittausta toistettaessa vakiona tai sen vaihtelu ja suunta on ennustettavissa, kun olosuhteet muuttuvat. Mittauslämpötila, kalibrointi ja mittausvoimat ovat tyypillisimmät

systemaattisiin virheisiin liittyvät tekijät. Satunnainen virhe on sellainen mittausvirhe, jonka suuruuden vaihtelu on ennustamaton, kun mittaus toistetaan, vaikka olosuhteet pysyisivät samankaltaisina mittausten välissä. Karkeat virheet johtuvat usein erehdyksistä ja huolimattomuudesta. Näiden virheiden suuruusluokka voi olla moninkertainen edellä mainittuihin verrattuna. Tällaisia voivat olla muun muassa mittausravon virheellinen lukeminen, virhelähteiden huomioimatta jättäminen, väärän mittaustekniikan valitseminen ja ajatusvirheet. (Andersson & Tikka 1997, 128–130; SFS-OPAS 99, 33.)

2.4 Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuus pitää määritellä, jotta voidaan tarkastella ja verrata eri paikoissa ja eri aikoina tehtyjä mittauksia. Saatua mittaustulosta ilmoitetaan aina mittausepävarmuuden kanssa, jotta mittaustulos olisi täydellinen. (Andersson & Tikka 1997, 147.) Mittausepävarmuutta aiheuttaa mittalaitteen lisäksi ympäristötekijät, käyttäjä, mittauskohde, näytteenotto sekä mittaus- ja laskuvirheet (Hiltunen, Linko, Hemminki, Hägg, Järvenpää, Saarinen, Simonen & Kärhä, 2011, 39–42).

Mittalaitteen valmistaja ilmoittaa laitteen käyttöohjeissa laitteen mittaustarkkuuden. Laitteen valmistajan vaatimuksena annettuun mittaustarkkuuteen on oikeanlainen mittauslaitteen käsittely, käyttöolosuhteiden, huoltojen ja kalibrointien noudattaminen. Ympäristötekijät, kuten lämpötila, suhteellinen ilmankosteus ja ilmanpaine saattavat vaikuttaa mittaustuloksiin. Yleisesti ottaen lämpötilan muutos vaikuttaa kaiken tyyppisiin mittalaitteisiin, ilmankosteus optisiin mittauksiin ja ilmanpaine vain hyvin tarkkoihin mittauksiin. (Hiltunen & ym. 2011, 39–40.)

Käyttäjä saattaa aiheuttaa mittausepävarmuutta mitatessaan mekaanisilla tai analogisilla mittalaitteilla. Eri mittaajilla saattaa olla erilainen mittarin asento ja analogisia viisariasteikkoja luetaan eri tarkkuuksilla. Käytettäessä digitaalisia mittalaitteita, käyttäjän vaikutus mittaustulokseen vähenee. Mittauskohteesta aiheutuu epävarmuutta silloin, jos mitattava kohde on epästabiili tai mitattaessa mittari kuormittaa mitattavaa kohdetta. (Hiltunen & ym. 2011, 41–42.)

Näytteenoton vaikutus mittausepävarmuudessa on merkittävä erityisesti kemian metrologiassa ja testauksessa. Näytteenotto kohteen heterogeenisuus, jolla tarkoitetaan kuinka eri kohdat näytteenotto kohteessa poikkeavat toisistaan, on mahdollinen virhelähde. Mittaus- ja laskuvirheitä, joilla tarkoitetaan inhimillisiä virheitä ovat muun muassa väärin valittu mittalaite, väärin suoritettu mittaus, mittauslaitteiston toimintahäiriöt, väärä asteikon lukeminen, laskuvirheet ja yksiköiden sekoittaminen. (Hiltunen & ym. 2011, 42.)

3 Koneensuunnittelun teoriaa

3.1 Koneensuunnittelu yleisesti

Koneen suunnittelussa tarvittavia tieteen aloja ovat muun muassa matematiikka ja fysiikka. Erityisesti mekaniikka ja termodynamiikka liittyvät olennaisesti koneen suunnitteluun fysiikan puolelta. Myös opit valmistustekniikasta, materiaaleista, koneenosista, yritystaloudesta ja viestinnästä ovat olennaisesti osana koneen suunnittelun perustaa. (Pahl & Beitz 1992, 20.)

Tekninen luomus on ratkaisu tekniseen tehtävään. Tekninen luomus voi olla nimeltään laitos, laite, kone, koje, rakenneryhmä, koneenosa, tai yksittäisosa. Edellä mainitut nimikkeet on lueteltu karkeasti niiden monimutkaisuuden mukaiseen järjestykseen. Nimitysten käyttö vaihtelee sen mukaan, millä erikoisalalla toimitaan ja miltä tasolta teknistä luomusta tarkastellaan. On pyritty standardointi mielessä jakamaan tekniset luomukset energiaa muuttaviin eli koneisiin, ainetta muuttaviin eli laitteisiin ja viestiä muuttaviin eli kojeisiin. (Pahl & Beitz 1992, 20.)

Asetetut tavoitteet ja rajoittavat ehdot ohjaavat ratkaisua tekniseen tehtävään. Tavoitteina voidaan pitää teknisestä toiminnosta suoriutumista, taloudellisissa rajoissa pysymistä ja toiminta ympäristön turvallisuuden ylläpitoa. Edellä mainitut tavoitteet ovat myös edellytyksiä molemmille muille. Teknisen tehtävän ratkaisun on otettava huomioon myös koneen sopivuus käyttäjälle sekä valmistuksen, kuljetuksen ja käyttämisen näkökulmat. (Pahl & Beitz 1992, 33.)

Vaikka tietokoneiden avulla voidaan parantaa koordinaattimittauskoneen käytettävyyttä, ei uusia mittausjärjestelmiä hankittaessa saa unohtaa mekaniikan tai fysiikan perusteita. Heppoinen runko- tai johderakenne ei pysy sille tarkoitettussa tarkkuudessaan ja järjestelmä vaatii jatkuvaa huoltoa. (Tikka 2007, 16.)

3.2 Ergonomian perusteet suunnittelussa

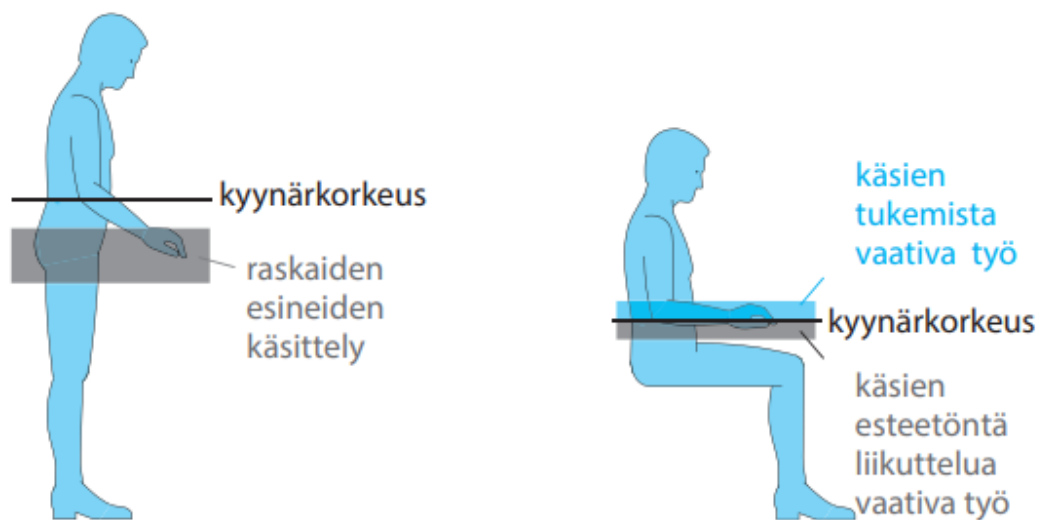
Kun työpiste mitoitetaan tarkoituksenmukaisesti, vaikutetaan sillä positiivisesti työskentelyn tehokkuuteen, mukavuuteen ja sujuvuuteen. Myös väsyminen, rasitusvammat ja tapaturmat saadaan vähentymään työpisteen oikeanlaisella järjestelyllä. Lähtökohtana työpisteen mitoituksessa ja järjestelyssä käytetään tehtävään sopivaa asentoa (taulukko 1) sekä käyttäjien vartaloiden mittoja sekä niiden vaihteluita. Jotta lähtökohdat voidaan määrittää, tarvitaan tietoa työpisteen toimintakokonaisuudesta, käyttäjistä ja työtehtävistä. (Launis & Lehtelä 2011, 147.)

Taulukko 1. Työtason korkeuden suosituksia tehtävän mukaan (Launis & Lehtelä 2011, 151).

tehtävän vaatimukset	työtason korkeus
Suurta näkö tarkkuutta vaativa työkohte pöytäpinnalla <ul style="list-style-type: none"> • esim. tarkka piirtäminen, kellosepän työ ja hyvin pienten esineiden kokoonpano 	10–20 cm kyynärkorkeutta ylempänä
Käsien vakaata tukemista vaativa työ <ul style="list-style-type: none"> • esim. käsin kirjoittaminen, piirtäminen, juotostehtävät ja tarkka kokoonpanotyö 	5–10 cm kyynärkorkeutta ylempänä
Käsien tuettua liikuttelemista vaativa työ <ul style="list-style-type: none"> • esim. näppäimistön käyttö, hiiren käyttö ja tavanomainen kokoonpanotyö 	0–5 cm kyynärkorkeutta ylempänä
Käsien esteetöntä liikuttelua vaativa työ <ul style="list-style-type: none"> • esim. kevyet lajittelu- ja pakkaustehtävät ja kookkaiden esineiden kokoonpano 	0–10 cm kyynärkorkeutta alempana
Raskaiden esineiden käsittely <ul style="list-style-type: none"> • esim. nostotehtävät ja kehon painon käyttöä vaativat tehtävät 	10–30 cm kyynärkorkeutta alempana

Toimintakokonaisuutta varten selvitetään työpisteessä suoritettavat pää- ja oheistehtävät, materiaalien käsittely ja varastointi, puskurialueet, tarvittavat laitteet, välineet, tarvikkeet ja varusteet, tilantarve sekä työpisteen sijoittelu. Työtehtävien määrittelyä varten selvitetään käsiliikkeiden kohteet, liikkeiden määrä, tarvittava voimankäyttö, liikkeiden tarkkuusvaatimus ja laajuus sekä katsottavat kohteet. Lisäksi selvitetään, kuinka usein katsetta siirretään kohteiden välillä ja kuinka suurella tarkkuudella kohteita on katsottava. Käyttäjätiedon määrittelemiseksi selvitetään käyttäjien määrä, sukupuoli sekä henkilökohtaiset erityispiirteet, joilla on vaikutusta työpisteen suunnittelussa. Erityispiirteillä tarkoitetaan esimerkiksi liikuntarajoitteita, poikkeavia kehonmittoja ja huonontunutta näkökykyä. (Launis & Lehtelä 2011, 147–148.)

Edellä mainittujen seikkojen perusteella määritellään työpisteeseen sopiva layout, tehtävään sopiva työskentelyasento, mitoitusperusteet sekä kalusteiden säätötarve. Työpisteen layout eli perussijoittelu sisältää laitteiden, materiaalin ja tarvikkeiden sopivien paikkojen määrittelyn. Työskentelyasento tarkoittaa joko seisoma- tai istuma-asentoa. Mitoitusperusteet tulevat liikkumis-, tukeutumis- ja ulottumistarpeesta (kuva 1). (Launis & Lehtelä 2011, 148.)



Kuva 1. Työtason sopiva korkeus (Launis & Lehtelä 2011, 152).

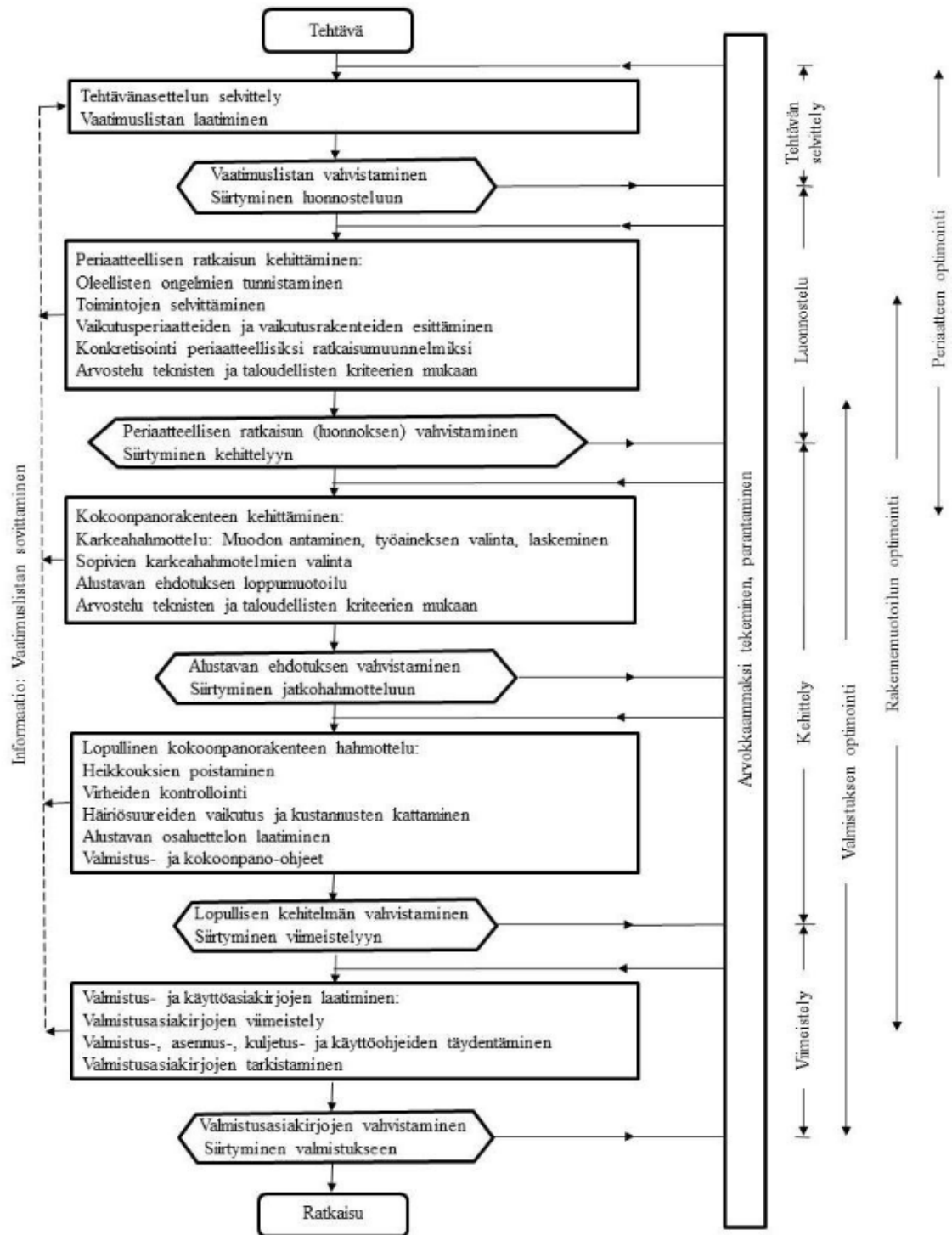
Kalusteiden säädettävyyteen vaikuttaa tuleeko työpiste yhdelle vai useammalle käyttäjälle, miesten vai naisten mittojen mukaan vai molempien (taulukko 2) (Launis & Lehtelä 2011, 148).

Taulukko 2. Kyynärkorkeus eri kokoisille miehille ja naisille (Launis & Lehtelä 2011, 152).

perusasento, miehet/naiset	kyynärkorkeuden antropometrinen vaihtelu		
	P ₅	P ₅₀	P ₉₅
Seisomisasento, miehet	105 cm	113 cm	120 cm
Seisomisasento, naiset	99 cm	107 cm	114 cm
Istumisasento, miehet	57 cm	65 cm	74 cm
Istumisasento, naiset	54 cm	62 cm	70 cm

3.3 Systemaattinen suunnittelumetodi

Yleisten työskentelymetodien ehdotuksista ja suuntaviivoista on seuraavien kappaleiden mukaisesti kehitetty systemaattinen suunnittelumetodi, joka on alasta riippumaton ja käytettävissä yleisesti. Suunnitteluprosessin työnkulku (kuvio 1) voidaan esittää neljässä päävaiheessa, jotka ovat tehtävän selvittely, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Edellä mainitut päävaiheet on luotu Saksan Insinöörien Yhdistyksen (Verein Deutscher Ingenieure) suunnitteluohjetta VDI 2221 mukailleen. (Pahl & Beitz 1992, 44, 47–48.)



Kuvio 1. Konstruoimisen työaskeleet (Pahl & Beitz 1992, 51).

3.3.1 Tehtävänasettelun selvitys ja vaatimuslista luominen

Tehtävänasettelu on tärkeää selvittää mahdollisimman laajasti jo heti suunnitteluprosessin alusta alkaen, jotta työskentelyn aikana tehtävänasetteluun tehtävät muutokset olisivat

mahdollisimman pieniä. Tämän vaiheen tarkoitus on tiedon hankinta ja vaatimuslistan luominen. Vaatimuslista pidetään aina ajan tasalla, ja se on pohjana luonnostelulle ja sitä seuraaville työvaiheille. (Pahl & Beitz 1992, 48, 62–63.)

Vaatimuslista laaditaan ongelmaan perehtymisen jälkeen. Se toimii perustana, kun tehdään ratkaisua koskevia päätöksiä ja arvosteluja. Erilaisia luokkia vaatimuksille on kolme. Kiinteät vaatimukset ovat niitä, joiden on täytyttävä kaikissa ratkaisuisissa. Vähimmäisvaatimukset ovat sellaisia, joiden on oltava vähintään asetetun arvon suuruisia. Toivomuksia toteutetaan, mikäli niistä koituvan lisäkustannuksen ei katsota olevan tarpeettoman suuria. (Tuomaala 1995, 80.) Vaatimuslistaan määritellään suunniteltavan tuotteen geometria, kinematiikka, voimat, energia, aines, signaali, turvallisuus, ergonomia, valmistus, tarkastus, asennus, kuljetus, käyttö, kunnossapito, kustannukset ja aikataulu (Pahl & Beitz 1992, 68–69).

3.3.2 Luonnostelu

Ennen kuin siirrytään luonnosteluvaiheeseen pitää laadittu vaatimuslista vahvistaa ja tarkastella, onko tehtävän asettelu selvitetty riittävän pitkälle vai tarvitseeko tehtävää koskevaa tietoa hankkia lisää. Jos nähdään jo etukäteen, että asetettua tavoitetta ei voida saavuttaa siedettävillä uhrauksilla, pitää palata tehtävän asettelun selvittelyyn ja muuttaa tarvittaessa vaatimuslistaa. Luonnostelun vaihe voidaan myös kokonaan sivuuttaa, mikäli tunnetun ratkaisun pohjalta voidaan siirtyä suoraan kehittely ja viimeistelytyöhön. (Pahl & Beitz 1992, 71.)

Kun vaatimuslista on vahvistettu ja luonnosteluvaiheen läpikäyminen nähdään välttämättömäksi, aloitetaan oleellisten ongelmien havaitsemiseksi abstrahointi eli yleiskäsitteen muodostaminen pelkistämällä. Abstrahointia seuraa toimintorakenteiden esittäminen, vaikutusperiaatteiden haku, vaikutusperiaatteiden yhdistäminen vaikutusrakenteeksi, sopivimpien yhdistelmien valinta, periaatteellisten ratkaisumuunnelmien konkretisointi, arvostelu teknis-taloudellisten kriteerien mukaan ja lopuksi periaatteellisen ratkaisun eli luonnoksen vahvistaminen. Luonnosteluvaiheessa oleellista on ongelman periaatteellinen ratkaisu. (Pahl & Beitz 1992, 72.)

3.3.3 Kehittely

Tuotteen kokoonpanorakenne suunnitellaan ja vahvistetaan teknis-taloudellisten näkökohtien mukaan kehittelyvaiheessa. Kehittelyn tarkoitus on konkretisoida luonnosteluvaiheen periaatteellinen rakennemuotoilu. Konkreettiseen muotoiluun tarvitaan materiaalien ja valmistusmenetelmien valitsemista, päämittojen vahvistamista sekä kolmiulotteisen yhteensopivuuden tutkimista. Jotta saataisiin selville lopullinen kokoonpanon rakenne etuineen ja haittoineen ja päästäisiin tavoiteltuun ratkaisuun, vaatii se monesti useita rinnakkaisia alustavia ehdotuksia. Kokoonpanorakenteen kehittelyn viimeinen vaihe on alustavan ehdotuksen arvostelu teknis-taloudellisten kriteerien mukaan. (Pahl & Beitz 1992, 49, 176.)

Lopullisen kokoonpanorakenteen hahmotteluun siirrytään, kun alustava ehdotus on vahvistettu. Tähän vaiheeseen kuuluu havaittujen heikkouksien poistaminen, virheiden kontrollointi, häiriösuureiden vaikutus ja kustannusten kattaminen, alustavan osaluettelon sekä valmistus- että kokoonpano-ohjeiden laatiminen. Viimeistään tässä vaiheessa on osoitettava, että tuote täyttää vaatimukset, joita on asetettu toiminnoille, kestävyydelle, tilankäytölle ja kustannuksille. (Pahl & Beitz 1992, 49.)

3.3.4 Viimeistely

Viimeistelyn aloituslupa saadaan, kun lopullinen kehitelmä saa vahvistuksen. Tuote saa lopullisen kokoonpanorakenteensa viimeistelyssä. Tuotteen lopullista rakennetta täydennetään muotoa, mitoitusta, materiaaleja, pinnan laatua koskevilla määräyksillä. Myös valmistus- ja käyttömahdollisuudet sekä lopulliset kustannukset tarkistetaan. Määräyksien ja tarkistuksien pohjalta viimeistellään ja tarkistetaan valmistus-, asennus-, kuljetus- ja käyttöohjeet. Tavoite viimeistelyssä on ratkaisun valmistustekninen määrittäminen. (Pahl & Beitz 1992, 50, 458.)

Usein virheiden korjailu alkaa uudestaan viimeistelyvaiheessa, mistä johtuen joudutaan palaamaan aikaisempiin työvaiheisiin ja käymään ne uudestaan läpi. Konstruoimisen työaskeleiden kaaviossa (kuvio 1) painoalueet: periaatteen optimointi, rakennemuotoilun optimointi ja valmistuksen optimointi ovat vuorovaikutuksessa keskenään ja leikkaavat

toisiaan. Siksi jo periaatteellisen ratkaisun kehittämisessä esimerkiksi valmistusnäkökohdat voivat esittää tärkeää osaa. Samoin myös tietyt rakenteenmuotoiluun liittyvät seikat, kuten valmistusmenetelmien, tilankäytön ja materiaalien asettamat rajoitukset, voivat määrittellä periaatteellista ratkaisua. (Pahl & Beitz 1992, 50–51.)

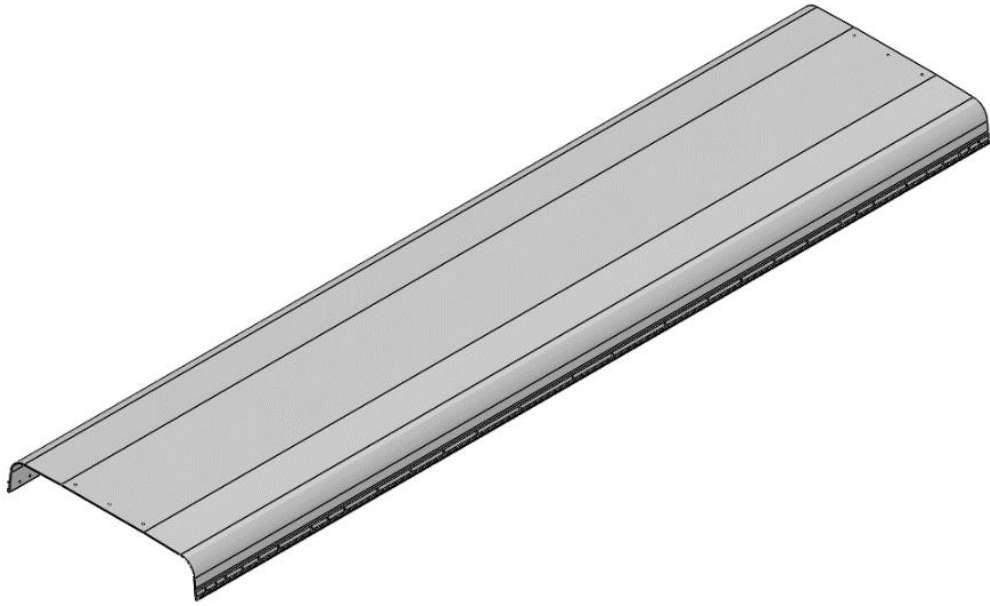
4 Mittausmenetelmän kehittämisen lähtökohdat

Idea opinnäytetyön aiheeseen tuli Heinävaaran tehtaan tuotannonkehityksestä vastaavalta insinööriltä. Antennisuojarahjoitusten hävikki oli ajoittain suuri. Suuren hävikin oli päätelty johtuvan osittain puutteellisesta antennisuojarahjoitusten mittausmenetelmästä. Puutteellinen mittausmenetelmä teki laadunhallinnan vaikeaksi. Vaikean laadunhallinnan takia hävikkiin saattoi joutua arvioiden mukaan myös tuotteita, jotka olisivat läpäisseet asiakkaan vaatimukset. Olemassa olevilla mittausmenetelmillä asiakasvaatimusten mukaisuutta ei pystytty luotettavasti mittaamaan.

Selvitin, mitkä seikat nykyisessä mittausmenetelmässä aiheuttavat mittausepätarkuutta ja -virheitä. Selvityksen perusteella tehtäväni oli suunnitella kehittyneempi mittausmenetelmä. Teknisen ratkaisun kehittämisen lisäksi tehtäväni oli kouluttaa tarkastajia uuden menetelmän osaajiksi. Mittaamisen kehittämiseen oli hankittu jo ennen opinnäytetyöni aloittamista Kreon Ace -käsivarsimitalaitte. Uuden mittausmenetelmän tuli hyödyntää tätä uutta laitetta. Aloitin opinnäytetyön käytännön osuuden selvittämällä mitattavat antennisuojarahjoitukset, käytössä olevat mittalaitteet ja mittausmenetelmät. Selvitys toimi pohjana mittausmenetelmän kehittämiseksi.

4.1 Mitattavat tuotteet

Antennisuojarahjoitukset (kuva 2) ovat yksi tuoteryhmä monista Exel Composites:n valmistamista tuotteista. Niitä käytetään langattomien tukiasemien sisältämän tekniikan säätösuojarahjoitina. Asiakkaat tilaavat suojarahjoitukset monilla eri profiileilla ja eri pituuksilla. Tuotteet valmistetaan pultrusiossa ja ne saavat muotonsa muotista. Niiden materiaali on lasikuitukomposiitti, jonka radioaallot läpäisevät häiriöttä.



Kuva 2. Antennisuojaan 3D malli

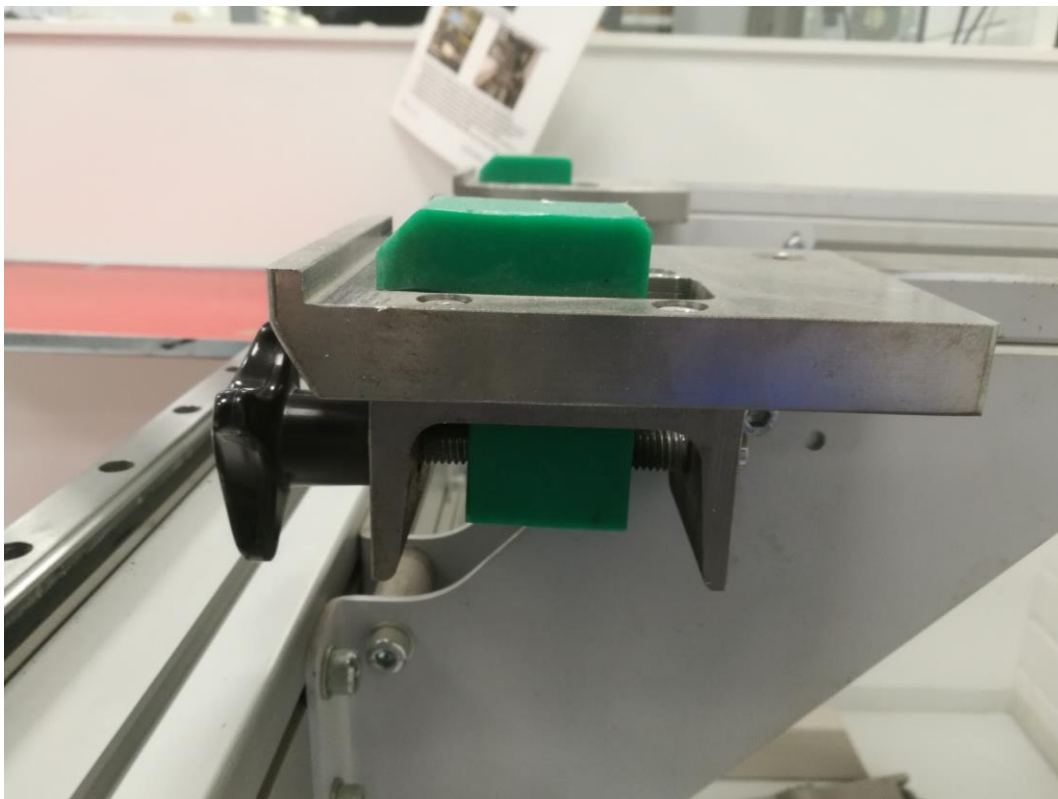
Kuhunkin eri tuotteeseen porataan reikiä tukiaseman laitteiston sekä suojan kiinnitystä varten. Antennisuojaan mitattavat piirteet riippuvat mittauksen kohteena olevasta tuotteesta. Piirteitä voivat olla esimerkiksi tuotteen korkeus, leveys, pituus, tasomaisuus, pyöristykset, ripojen välit, reikien etäisyydet, ainevahvuus ja katkaisun suoruus.

4.2 Antennisuojaan mittalaitteet

Olemassa olevalla reikävälimittalaitteella (kuva 3, 4 & 5) voitiin mitata porattujen reikien keskinäiset etäisyydet kolmiulotteisessa avaruudessa. Muut mittaukset, kuten reikien etäisyys tuotteen ulkoreunasta, tuotteen korkeus, tuotteen leveys, tuotteen pituus, ripojen välit, katkaisukohdan suoruus ja ainevahvuus suoritettiin käsin rullamittaa, työntömittaa, korkeusmittalaitetta, rakotulkkia ja mikrometriruuvia käyttäen. Pyöristyksiä ja tasomaisuutta ei voitu mitata.



Kuva 3. Reikävälimittalaite



Kuva 4. Profiili kiinnitettiin mittaustasolle puristamalla se muovi- ja teräsosan väliin.



Kuva 5. Mittalaitteen kartion malliset kärjet reikävälien mittaamiseen

4.3 Vanha antennisuojausten mittausmenetelmä

Reikävälit mitattiin yhdeltä sivulta kerrallaan, jonka jälkeen tuote irrotettiin, käännettiin ja uudelleen kiinnitettiin. Muut mittaukset, paitsi katkaisukohdan suoruus, voitiin suorittaa samassa työpisteessä reikävälimittausten kanssa. Katkaisukohdan suoruutta mitattaessa tuote siirrettiin toiselle työpisteelle.

Mittauksesta saatua tietoa käytettiin CNC-koneen poranterien säätämiseen. Säätämisen jälkeen uusittu mittaustulos saattoi olla epä johdonmukainen tehtyihin muutoksiin nähden. Selvitin antennisuojausten mittausprosessin ja tein havainnot (taulukko 3). Havainnot liittyivät asioihin, joiden seuraukset vaikuttivat suoraan tai epäsuorasti tuotteen laadukkaaseen mittaamiseen.

Taulukko 3. Havaintoja vanhasta mittausmenetelmästä

	HAVAINTO	SEURAUUS
1	Mittaamiseen käytetään useampaa eri mittalaitetta.	Mittaaminen hidastuu.
		Useampi kalibroitava laite.
2	Mittaamisen aikana tuote joudutaan kääntämään.	Mittaaminen hidastuu.
		Epäergonomisuus lisääntyy
3	Mittaamisen aikana tuote joudutaan siirtämään toiseen työpisteeseen.	Mittaaminen hidastuu.
		Epäergonomisuus lisääntyy
		Työturvallisuus vähenee.
4	Mittaustulokset kirjataan käsin	Mittaaminen hidastuu.
		Kirjoitusvirheet mahdollistuvat.
		Käsialasta ei välttämättä saa selvää.
5	Edellä mainittujen havaintojen (1-4) mahdollisista seurauksista johtuen, mittauksia ei ole mielekäästä uusida montaa kertaa	Systemaattiset mittausvirheet jäävät havaitsematta.
		Satunnaiset mittausvirheet jäävät havaitsematta.
		Karkeat mittausvirheet jäävät havaitsematta.
6	Työntömitalla, rullamitalla, rakotulkilla, korkeusmittalaitteella ja mikrometriruuvilla mitataan käsin	Mahdollisuus eri käyttäjistä johtuviin mittausvirheisiin
		Mahdollisuus mittaussuureen virheelliseen lukemiseen.
7	Tuotetta ei saada kiinnitettyä stabiilisti.	Mitattaessa mittari saattaa kuormittaa kohdetta.
		Tuotteen eri puolten reikien keskinäistä suhdetta ei voida mitata luotettavasti.

4.4 Yhteenveto mittausmenetelmästä

Antennisuojiin piirteiden mittaaminen oli entisillä menetelmillä asiakkaan määrittelemien toleranssien rajoissa epävarma. Mittausepävarmuus johtui tuotteen muodon romahamisesta, puutteellisesta laitteistosta sekä inhimillisistä tekijöistä. Jännitysten vapautuessa sahauksen jälkeen tuotteet olivat hyvin eri muotoisia kuin niiden nimellinen muoto. Käytössä ollut laitteisto ei pakottanut tuotetta muotoonsa eikä vähentänyt mittausepävarmuutta, vaan lisäsi sitä. Inhimillisten tekijöiden vaikutusta mittausvirheeseen oli myös mahdollista vähentää. Mittauksen toistuvuus oli huono, koska tuotetta käännettiin ja siirrettiin kahden yksittäisen mittauksen välissä.

5 Uuden mittausmenetelmän kehitys

Uuden mittausmenetelmän oli tarkoitus vastata edellä mainittuihin havaintoihin, joista seurasi mittausepävarmuutta ja mittausvirheitä. Tein ratkaisuluonnoksen (taulukko 4) vastauksena havaintoihin. Luonnos toimi perusteena mittausmenetelmän kehittämiseksi.

Taulukko 4. Ratkaisuluonnos havaintojen pohjalta

	RATKAISU	SEURAUUS
1	Mittaamiseen käytetään vain yhtä laitetta.	Mittaaminen nopeutuu. Vain yksi kalibroitava laite.
2	Mittaamisen aikana tuotetta ei jouduta kääntämään.	Mittaaminen nopeutuu. Ergonomia lisääntyy.
3	Mittaamisen aikana tuotetta ei jouduta siirtämään.	Mittaaminen nopeutuu. Ergonomisuus lisääntyy Työturvallisuus kasvaa.
4	Mittautulokset kirjautuvat automaattisesti mittausohjelmaan.	Mittaaminen nopeutuu. Kirjoitusvirheet poistuvat. Tulokset selkeästi luettavissa.
5	Edellä mainittujen havaintojen (1-4) mahdollisista seurauksista johtuen, mittaus on mielekkäämpää uusia.	Systemaattiset mittausvirheet voidaan havaita. Satunnaiset mittausvirheet voidaan havaita. Karkeat mittausvirheet voidaan havaita.
6	Työntömitalla, rullamitalla, rakotulkilla, korkeusmittalaitteella ja mikrometriruuville ei enää mitata.	Mahdollisuus eri tyyppisiin mittausvirheisiin vähenee. Mahdollisuus mittaus-, luku- ja laskuvirheeseen vähenee.
7	Tuote kiinnitetään tukevasti muotoa tukeviin jigeihin.	Mitattaessa mittari kuormittaa vähemmän tuotetta. Mittausohjelma kertoo tuotteen eri puolten reikien keskinäisen suhteen luotettavasti.

Osa ratkaisua oli aiemmin mainitun käsivarsimittalaitteen käyttö. Sen tiedettiin pystyvän mittaamaan kaikki piirteet, joihin aiemmalla menetelmällä tarvittiin useita eri mittalaitteita. Mittalaite tarvitsi pöydän, johon se ja tuotteen kiinnitysjiigi asetetaan. Jiigi olisi profiilin muotoa tukeva. Paremman teknisen ratkaisun lisäksi, mittausvirhettä ja mittausepävarmuutta oli tarkoitus vähentää kouluttamalla laaduntarkastajia mittavarren ja

mittausohjelman käyttämiseen sekä mittauksen suorittamiseen. Uudella mittausmenetelmällä olisi myös mahdollista mitata tuotteen tasomaisuutta ja pyöristyksiä.

5.1 Käsivarsimittalaitteen esittely

Käsivarsimittalaite on siirrettävä koordinaattimittalaite. Heinävaaran tehtaalle hankittu mittavarsi on Kreon Ace 7-30 (kuva 6) jossa käyttöalue on kolme metriä. Pidempien kappaleiden mittaamiseen mittavartta voidaan siirtää. Kyseisen seitsemän akselisen mittavarren tarkkuus valitulla käyttöalueella on yksittäisen pisteen kohdalla 0,042mm ja kolmiulotteisen tilavuuden paikoitusvirhe eli kolmen akselin keskimääräinen siirtymävirhe 0,051mm. Tarkkuus on riittävä antennisuojujen mittaamisen joiden toleranssit riippuen mitattavasta piirteestä ovat muutamasta millimetrin kymmenyksestä kahteen millimetriin.



Kuva 6. Kreon Ace 7-30.

5.2 Suunnittelun aloitus

Aloitin pöydän suunnittelun tutustumalla tarkastamossa olemassa oleviin mittauspöytiin, korvattavaan reikävälimittalaitteeseen ja CNC-koneissa käytettyihin jigeihin. Korvattavassa laitteessa profiilit tulivat oksien päälle lepäämään ja ne kiinnitettiin yhdestä reunastaan kiinni mittauspöytään. Kun mitattava tuote oli kiinnitetty, lineaarijohteita pitkin liikuteltava mittalaite paikoitettiin kuhunkin mitattavaan reikään. Muita mittauspöytiä tarkastamossa olivat IPE -palkista valmistettu pituus- ja päänsuoruumittalaite sekä kivitaso, jolle ei ollut enää käyttöä. Kivitasosta voitaisiin mahdollisesti tehdä muokkauksilla sopiva pöytä tulevaan käyttötarkoitukseen.

Olemassa olevat jigit koostuivat pohjalevystä ja sen päälle kiinnitetystä profiilin muotoon jyrsitystä muovikappaleesta. Muovikappale oli joko kupera tai kovera riippuen siitä, miten päin tuote haluttiin asetettavan jigisiin. Antennisuoja kiinnitettiin jigisiin vastakappaleella, jossa oli pikalukitsimet.

5.3 Vaatimuslistan luominen

Tutustuttuani tarkastamon mittalaitteisiin, aloitin vaatimuslistan (taulukko 5) laatimisen. Pöydän kokoon vaikuttivat mitattavien antennisuojiensa koko ja pöydälle suunniteltu tila mittaushuoneessa. Profiileja oli monia eri kokoisia ja pöydän suunnittelu lähti siitä, että selvitin kaikkien valmistettavien tuotteiden mitat. Pisimmät antennisuojat olivat pitkälle yli neljä metriä ja lyhyimmät alle metrin mittaisia. Leveydet vaihtelivat reilusta puolesta metrillä kahteenkymmeneen senttimetriin. Korkein profiili oli noin 20 senttimetriä ja matalin noin 5 senttimetriä korkea.

Taulukko 5. Vaatimuslista pöydälle.

Muutos päivämäärä	KV	Vaatimusluettelo mittauspöydälle
	VV	
	T	
		Geometria
	KV	Mittauspöydän on mahdollista tarkastamoon.
	VV	Pöytätason on oltava riittävän pitkä pisimmille tuotteille.
	VV	Pöytätason on oltava riittävän leveä mitattavalle tuotteelle ja mittavarrelle.
	KV	Pöytätason korkeus määritellään ergonomian perusteella.
		Kinematiikka
	KV	Mittavarsi on oltava siirrettävissä.
		Voimat
	KV	Mittaustaso ei saa taipua missään suunnassa yli mittalaitteen tarkkuutta vastaavaa arvoa.
		Energia
	KV	Tuotteiden kiinnitys, mittalaitteen siirto ja mittaaminen suoritetaan lihasvoimin.
		Materiaali
	VV	Mittaustason raaka-aineena on teräs tai graniitti.
	VV	Rungon raaka-aineena on teräs.
		Ergonomia
	VV	Kappale on pystyttävä mittaamaan ilman irroittamista mittaamisen aikana.
	VV	Pöytätaaso pitää olla sellaisella korkeudella joka on luonteva tarkastajien mittausasennolle.
	VV	Mittavarren asennuspaikka pitää olla sellaisella paikalla jotta tarkastajat ylettyvät ottamaan mittavarren käyttöön.
		Valmistus
	T	Vältetään koneistusta ja suuri kokoisia komponentteja.
	T	Käytetään loppukokoonpanoon mahdollisimman paljon valmisosia.
		Tarkastus
	T	Vanhaa mittauslaitetta käytetään alussa uuden mittauspöydän kanssa vertailun vuoksi rinnakkain.
		Asennus
	T	Mittauspöytä kokoonpannaan yrityksen omissa tiloissa.
		Kuljetus
		-
		Käyttö
	T	Mittaus oltava nopeasti suoritettavissa.
	T	Tuote oltava helposti vaihdettavissa.
		Kunnossapito
	T	Mittauspöytää ei tarvitse huoltaa
		Kustannukset
	T	Muutamia tuhansia euroja.
		Määräaika
	T	Mittauspöytä ja laite otetaan käyttöön kohdetuotteen valmistusajankohtaan mennessä.

KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus

Tila johon pöytä oli alustavasti suunniteltu, oli jo ennestään melko hyvin täytetty erilaisilla mittalaitteilla ja pöydillä. Pöydän pituudeksi päätettiin tilankäyttöön liittyvistä syistä kolme metriä. Aiemmin mainittu olemassa oleva kivitaso pudotettiin pois vaihtoehtoista koska sen pituus oli vain kaksi metriä. Useimmat tuotteet olivat alle kolme metriä pitkiä ja sitäkin pidempiä pystyttäisiin kolmen metrin pöydällä mittaamaan mittavarren liikuttavuuden ja tuotteen kiinnitysjigien sijoittelun avulla.

Pöydän leveyden määritti mitattavien tuotteiden leveys, rajalliset tilat ja ergonomia. Leveyden vaatimus asetettiin niin että se olisi ergonomisista syistä mahdollisimman pieni, kuitenkin niin että mittalaite ja leveimmät tuotteet mahtuivat pöydälle. Käytettävyyden takia käsivarsimittalaite oli järkevää sijoittaa mitattavan tuotteen taakse. Se tulisi

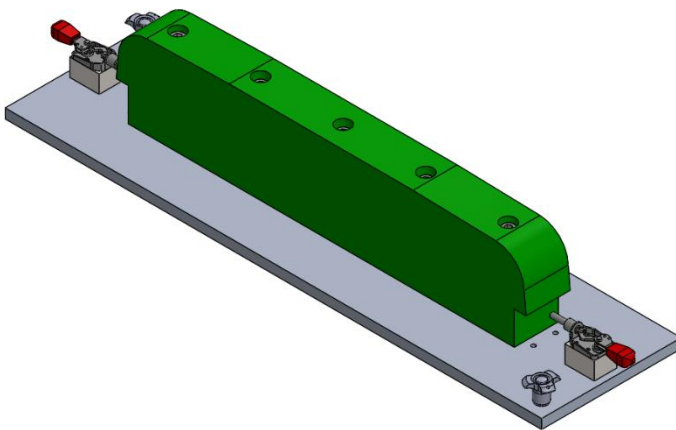
pohjalevyn välityksellä kiinni lineaarijohteisiin. Johteiden ansiosta sen voisi siirtää mitattavan antennisuojan puoliväliin. Yli kolmen metrin tuotteita mitattaessa mittalaitetta voitiin siirtää mittauksen aikana johteita pitkin.

Pöytätason suoruudella ja jäykkyydellä haluttiin minimoida pöydästä aiheutuvat mittausvirheet. Vaihtoehtoina olivat tässä vaiheessa teräs- ja kivitaset. Joidenkin profiilien kiinnitysjiigit tulisivat olemaan hyvin kookkaita. Kiinnitysjiigit tuli sijoittaa pöydän etureunaan, jotta jigien ja mitattavien kappaleiden vaihtaminen olisi mahdollisimman helppoa eikä mittavarsi itsessään olisi edessä.

5.4 Mittauslaitteen luonnostelu

5.4.1 Jigien luonnos

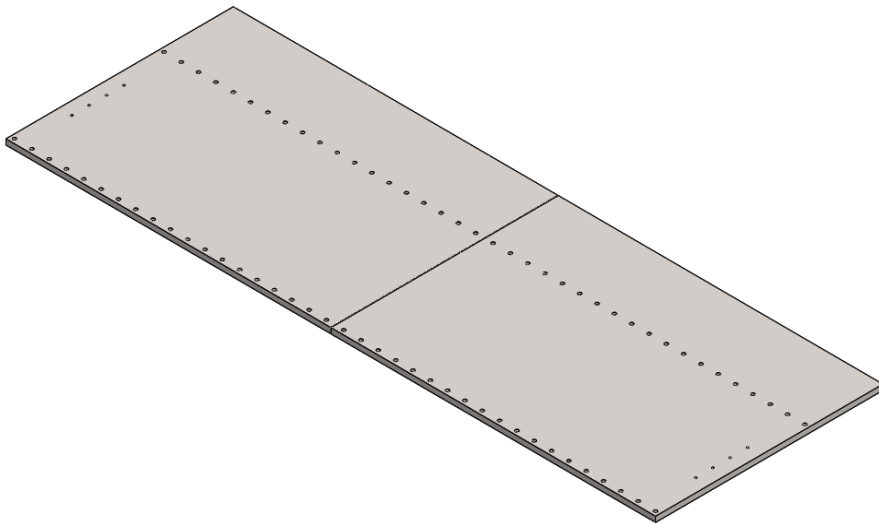
Koska kiinnitysjiigien mitat olivat hyvin määräävässä asemassa pöydän koon suhteen, aloitin pöydän suunnittelun tekemällä luonnoksen niistä. Olemassa olevia jigejä mukailen luonnostelin oman versioni (kuva 7). Pohjalevyksi valitsin alumiinilevyä keveyden takia. Alumiinilevyyn tuli reiät muoviosia sekä pöytään kiinnitystä varten. Levyn tuli olla tarpeeksi paksua, jotta jigi pysyi muodossaan ja kestävä. Paino piti olla alle 15 kg, jotta jigien nostaminen paikalleen oli helppoa. Pikalukitsimilla tuote kiinnitettiin jigiä vasten. Tarkoitus oli suunnitella sellainen jigi, jonka suunnittelu konseptia voitiin käyttää myös kaikissa tulevilla antennisuojaiprofiilien jigeissä.



Kuva 7. Luonnos jigistä

5.4.2 Pöytätason luonnos

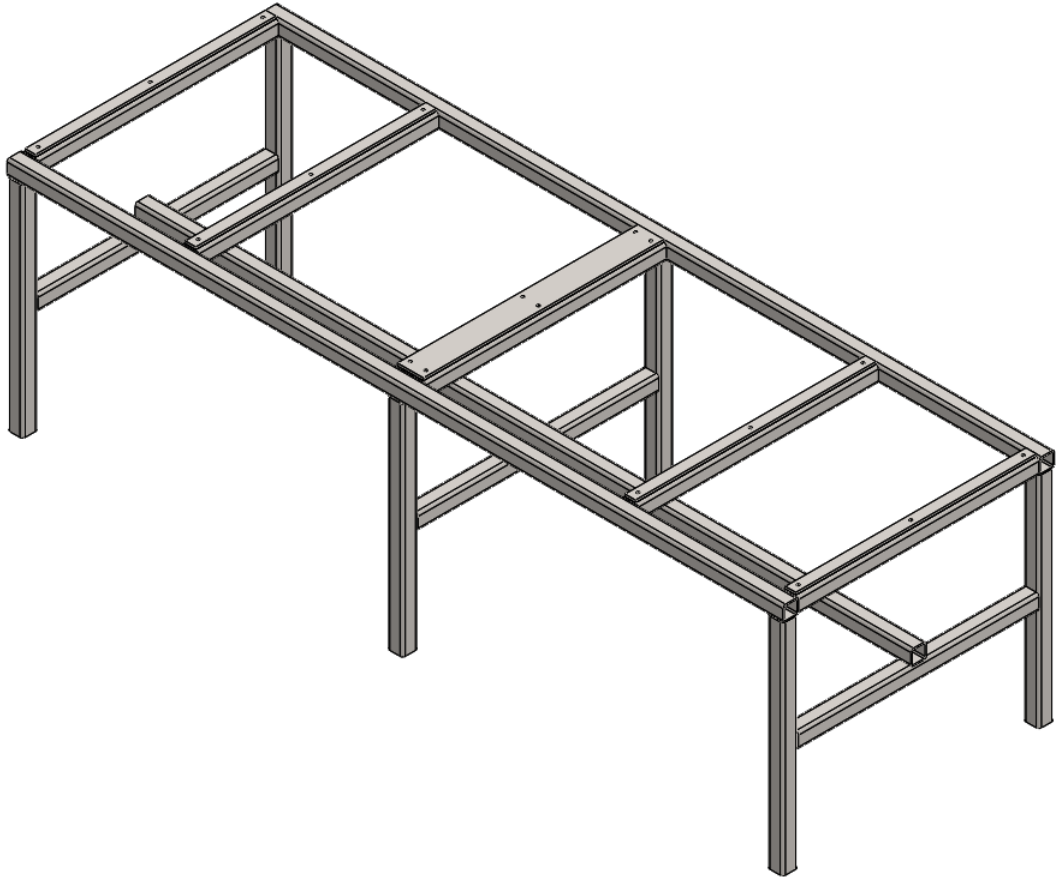
Sopivan mittaisen kivitason hankkiminen olisi tullut hyvin kalliiksi ja riittävään suoruteen päästiin teräksellä. Luonnostelin pöytätason tehtäväksi kahdesta 20mm paksuisesta teräslevystä, joista muodostui noin kolme metriä pitkä ja yhden metrin leveä pöytätaso (kuva 8). Suunnittelin pöytätason layoutin niin että kiinnitysjiigeille tuli reiät leveimmän antennisuojan mukaan. Jigien sijainti oli pöydän etuosassa. Pöydän takareunassa seinän vieressä oli lineaarijohteet, joiden päälle mittavarsi asennettiin. Ergonomisesta syistä pöydän etureunan ja mittalaitteen välinen etäisyys piti olla mahdollisimman lyhyt.



Kuva 8. Luonnos pöytätasosta.

5.4.3 Rungon luonnos

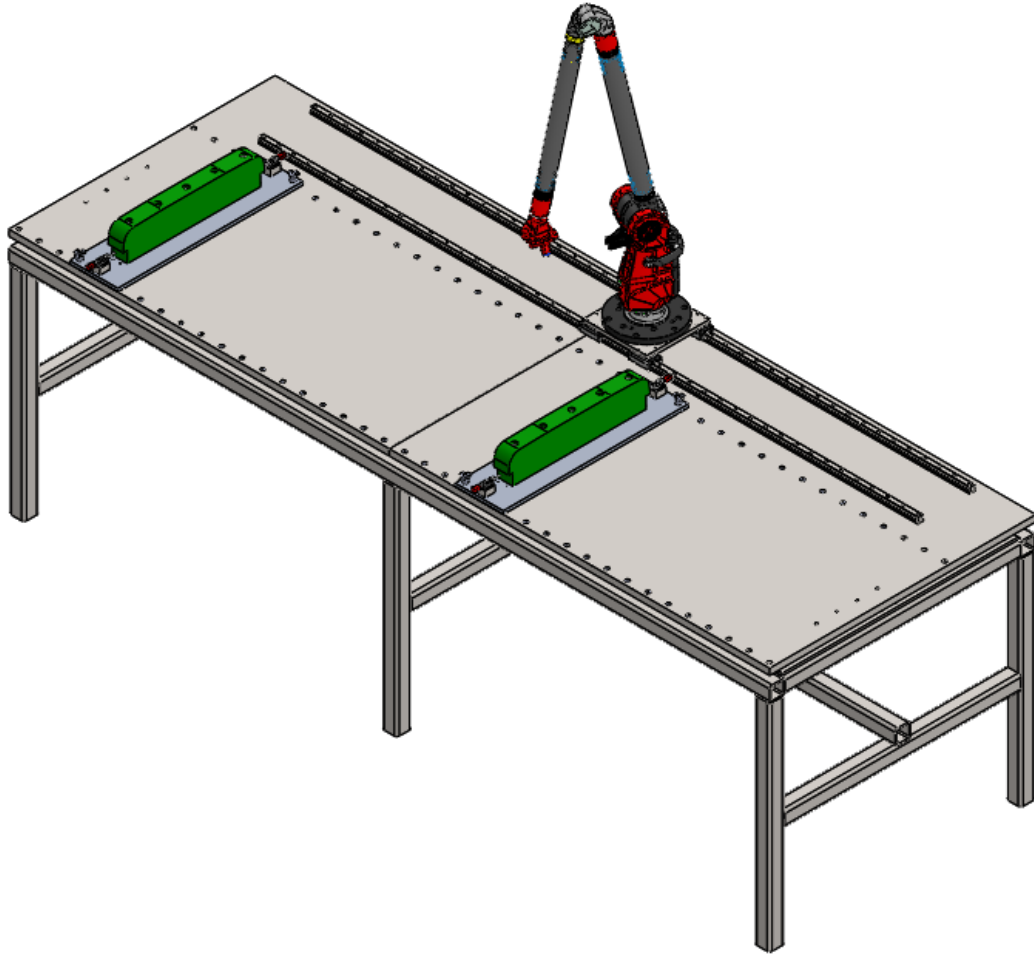
Pöydän rungon (kuva 9) tuli olla tarpeeksi jäykkä painavan teräksisen pöytätason alla. Luonnostelin muutamia erilaisia runkorakenteita eri kokoisia neliö- ja suorakaideputkipalkkeja käyttäen. Rungon suunnittelussa pyrin sujuvaan valmistettavuuteen, jämäkkyyteen ja yksinkertaisuuteen. Otin huomioon myös pöytätason asettelun rungon päälle. Pöytätasoa piti tukea useammasta kohdasta, jotta sain pöytätason omasta painostaan johtuvia taipumia vähennettyä. Rungon alaosaan tuli käsikäyttöiset säätöjalat korkeuden säätöön. Päätin sijoittaa säätötassut myös rungon ja pöytätason väliin, jotta pöytätason suoruus ja taipumat saatiin hallintaan rungon mahdollisista vääntyilyistä ja epäsuoruuksista riippumatta.



Kuva 9. Luonnos pöydän rungosta.

Koska mittaamisen aikana joudutaan liikkumaan paljon, määrittelin työskentelyn tehtäväksi seisten. Mittalaitteen käyttäjät olivat naisia, joiden kyynärkorkeus seisten oli noin 105 cm. Ergonomisen mitoituksen kannalta, pöydällä suoritettava mittaustyö oli mielestäni lähimpänä kokoonpanoksi laskettavaa työtä. Lisäsin suosituksen mukaiset 5cm kyynärkorkeuteen. Määrittelin kokonaiskorkeuden ylimmästä mitattavasta kohdasta, joka oli jigin päältä. Sen piti olla 110 cm korkeudessa, jolloin pöydän rungon korkeudeksi tuli 90 cm.

Kun olin saanut luonnoksen mittauspöydästä valmiiksi pidin katselmuksen laaduntarkastajille, laatupäällikölle, opinnäytetyötä ohjaavalle tuotannonkehitysinsinöörille ja tehtaantohtajalle. Katselmusta varten olin luonut pöydästä 3D kokoonpanon (kuva 10). Kokoonpano sisälsi alustavan mallin rungosta, pöytätasosta, kiinnitysjiigeistä ja mittavarresta. Katselmuksen tarkoitus oli saada päätöksiä ja arvostelua teknisestä toteutuksesta vaatimuslistan perusteella.



Kuva 10. Luonnos mittauspöydän kokoonpanosta.

5.5 Pöydän kehittäminen

Suunnitelmani ei vastannut kaikilta osin vaatimusluetteloa. Poikkeukset koskivat vaatimusta ergonomiasta sekä toiveita valmistuksesta ja kustannuksista. Olin määritellyt työpisteen korkeuden mitoittamisen teorian pohjalta mutta halutusta työskentelykorkeudesta oltiin eri mieltä. Sen lisäksi tuotetta nostettaessa jigien päälle se olisi saanut olla matalampi ja tuote haluttiin kiinnitettävän kupera puoli alaspäin, jotta ergonomian ehto yhdellä kiinnityksellä tapahtuvasta mittauksesta toteutuu. Valmistettavat pöytälevyt olivat suuria, vaativat koneistusta ja nostivat pöydän kokonaiskustannuksia arvioiden mukaan useilla tuhansilla.

Ergonomian vaatimukseen ratkaisu oli sähköisesti korkeussäädettävä runko ja jigien muuttaminen niin että antennisuoja kiinnitettiin kupera puoli alaspäin. Pöytälevyjen

valmistettavuuden ja kustannusten vähentämisen toiveisiin, ratkaisu oli koneistetut latta-tangot. Tangot suunniteltiin kiinnitettävän valmistettavaan kehikkoon, joka tuli valmiin sähkösäätöisen rungon päälle. Kehikon materiaaliksi valittiin alumiini koska tarpeeksi jäykän teräksisen kehikkoon arveltiin olevan liian painava sähkösäätöiselle rungolle.

Tein vaatimusluetteloon (taulukko 6) muutokset kohtiin ergonomia ja materiaali. Ergonomia kohtaan lisättiin vaatimus pöydän korkeuden sähköisestä säädettävyydestä. Rungon raaka-aineen tarkensin koskemaan sähkösäädettävää runkoa ja sen päälle tulevan kehikon materiaaliksi valitsin alumiinin. Lisätyt vaatimukset tarkoittivat merkittäviä muutoksia suunnitelmaan.

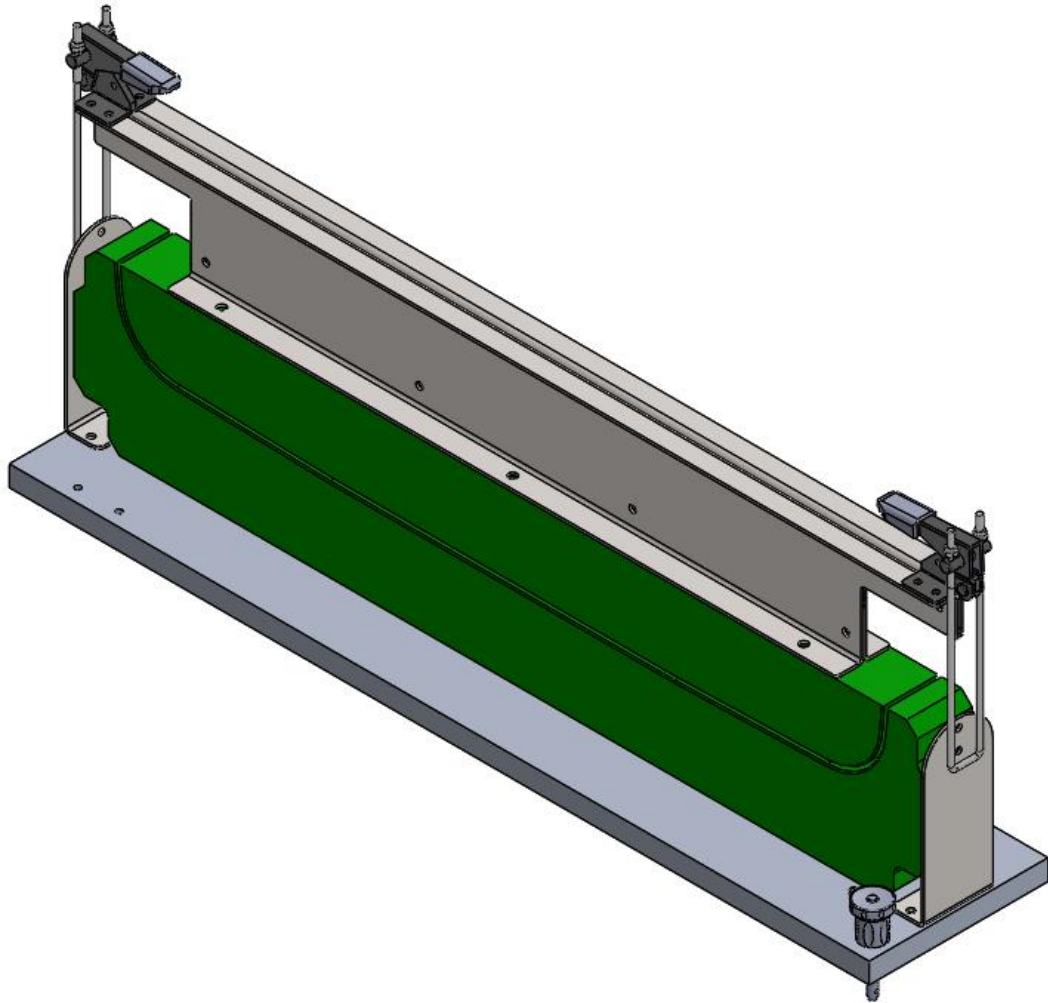
Taulukko 6. Päivitetty vaatimusluettelo.

Muutos päivämäärä	KV	Vaatimusluettelo mittauspöydälle
	VV	
	T	
		Geometria
	KV	Mittauspöydän on mahdollista tarkastamoon.
	VV	Pöytätason on oltava riittävän pitkä pisimmille tuotteille.
	VV	Pöytätason on oltava riittävän leveä mitattavalle tuotteelle ja mittavarrelle.
	KV	Pöytätason korkeus määritellään ergonomian perusteella.
		Kinematiikka
	KV	Mittavarsi on oltava siirrettävissä.
		Voimat
	KV	Mittautaso ei saa taipua missään suunnassa yli mittalaitteen tarkkuutta vastaavaa arvoa.
		Energia
	KV	Tuotteiden kiinnitys, mittalaitteen siirto ja mittaaminen suoritetaan lihasvoimin.
		Materiaali
7.3.2019	VV	Mittautason raaka-aineena on teräs.
7.3.2019	VV	Kehikon raaka-aineena on alumiini.
7.3.2019	VV	Sähkösäätöinen pöydänrunko teräksestä.
		Ergonomia
	VV	Kappale on pystyttävä mittaamaan ilman irroittamista mittauksen aikana.
	VV	Pöytätaaso pitää olla sellaisella korkeudella joka on luonteva tarkastajien mittausasennolle.
	VV	Mittavarren asennuspaikka pitää olla sellaisella paikalla jotta tarkastajat ylettyvät ottamaan mittavarren käyttöön.
7.3.2019	VV	Pöytätason korkeus pitää olla sähköisesti säädettävissä.
		Valmistus
	T	Vältetään koneistusta ja suuri kokoisia komponentteja.
	T	Käytetään loppukokoonpanoon mahdollisimman paljon valmisosia.
		Tarkastus
	T	Vanhaa mittauslaitetta käytetään alussa uuden mittauspöydän kanssa vertailun vuoksi rinnakkain.
		Asennus
	T	Mittauspöytä kokoonpannaan yrityksen omilla tiloilla.
		Kuljetus
		-
		Käyttö
	T	Mittaus oltava nopeasti suoritettavissa.
	T	Tuote oltava helposti vaihdettavissa.
		Kunnossapito
	T	Mittauspöytää ei tarvitse huoltaa.
		Kustannukset
	T	Muutamia tuhansia euroja.
		Määräaika
	T	Mittauspöytä ja laite otetaan käyttöön kohdetuotteen valmistusajankohtaan mennessä.

KV = kiinteä vaatimus, VV = vähimmäisvaatimus, T = toivomus

5.5.1 Jigien kehittäminen

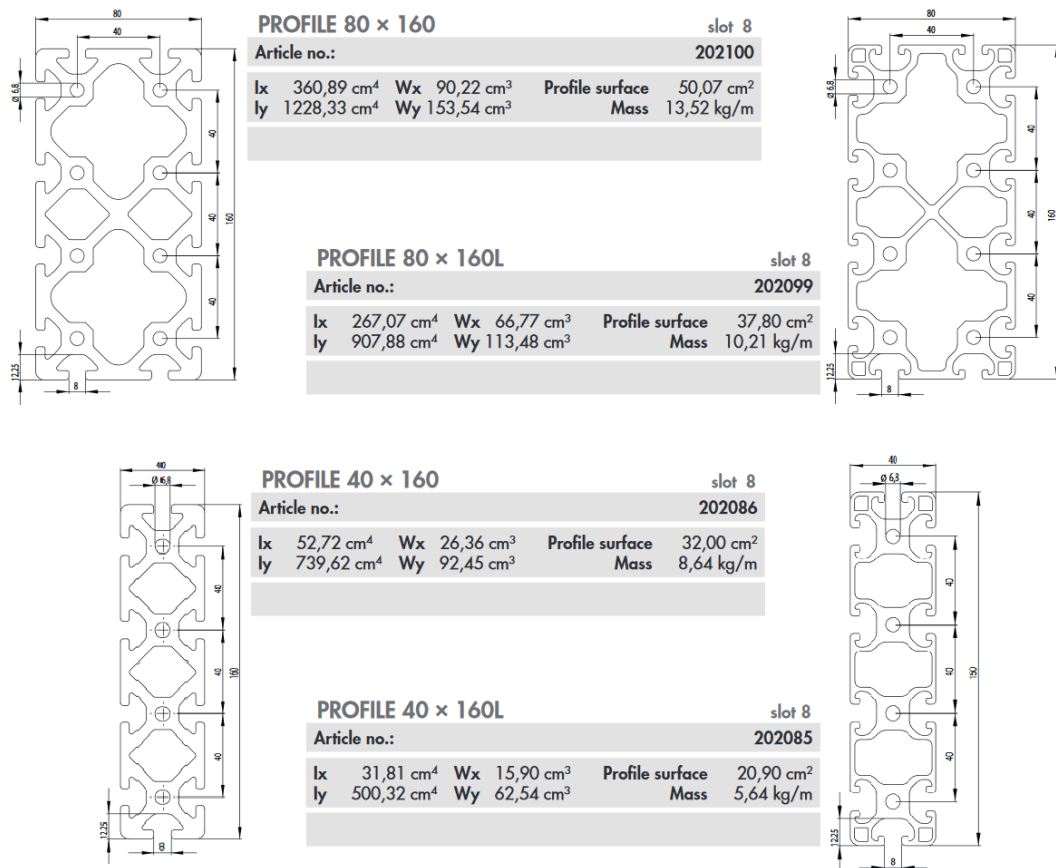
Muutin jigien siten että tuote asetettiin nyt kupera puoli alaspäin. Kiinnitys tapahtui vastakkappaleella puristaen. Uudella ratkaisulla (kuva 11) jigien pituudesta pystyi vähentämään yli 10 cm. Mittauspöydän leveyttä saatiin täten pienemmäksi, joten mittalaite tuli lähemmäksi käyttäjiä ja tilantarve tarkastamossa väheni.



Kuva 11. Kehitysversio jigistä.

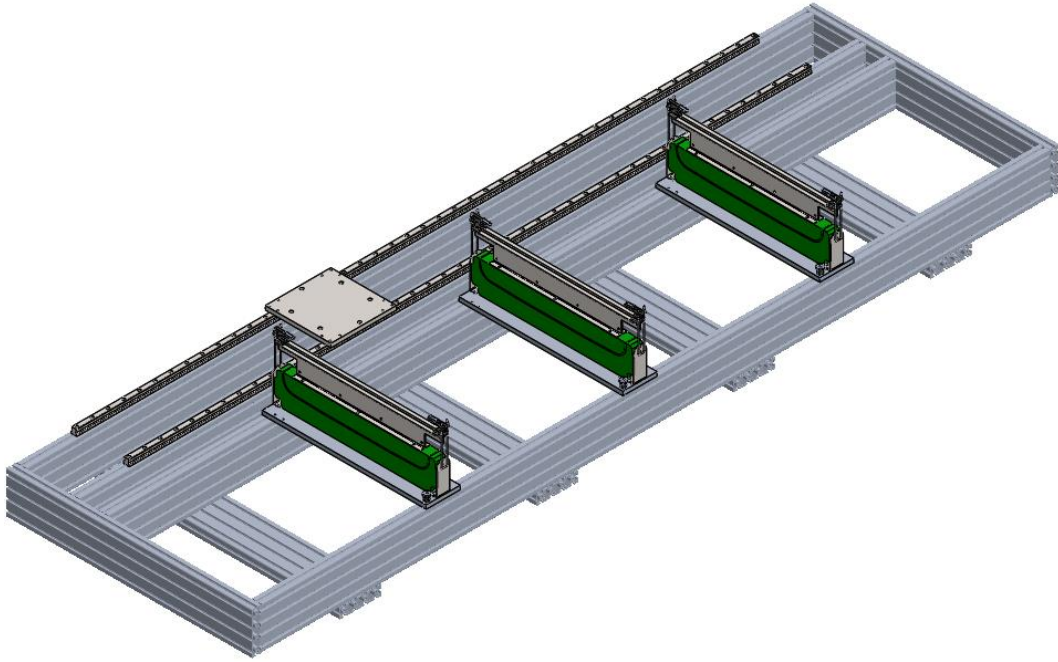
5.5.2 Alumiinikehikko

Kehikon suunnittelussa piti muistaa, että kyse on mittalaitteeseen tulevasta osasta. Se ei saanut olla heppoinen ja toistuvaa huoltoa vaativa. Sopivan alumiiniprofiilin valinnan aloitin tutustumalla saatavilla oleviin vaihtoehtoihin (kuva 12).



Kuva 12. Jäykimmät alumiiniprofiilit.

Tein kehikosta luonnoksen (kuva 13). Esivalitsin 40 x 160 profiilin. Leveämmät profiilit olisivat olleet parempia jäykkyyttä ajatellen eikä hintaeroakaan ollut merkittävästi. Kaapeammasta 40 mm profiilista oli kuitenkin huomattavasti yksinkertaisempaa suunnitella kehikko koska 80 mm profiilit olisivat tulleet mittalaitteen alla niin lähelle toisiaan, jotta niiden kiinnittäminen osaksi kehikkoa olisi mennyt hankalaksi. Profiilin valinta tarkastettiin vielä pöydän taipuman laskennassa.



Kuva 13. Luonnos kehiosta osittain kokoonpantuna.

5.5.3 Kiinnityslatat

Pöydän levyjen korvaajaksi löysin Sten EHR esihioottua lattatankoa, jäykän alumiinirungon päälle. Metrin pituisia lattatankoja (kuva 14) tuli pöytään yhteensä kuusi. Näihin lattatankoihin porattiin reiät jiggin ja latan kiinnityksille.



Kuva 14. Kiinnityslatta.

5.5.4 Sähkösäätöinen runko

Sähkösäätöisen pöydän rungon valintaan vaikuttivat sen nostokapasiteetti ja korkeudensäätöalue. Nostokapasiteetti laskettiin kehikon, lattatankojen, mittalaitteen, mittalaitteen aluslevyn, lineaarijohteiden, jigien ja mitattavan kappaleen painosta (taulukko 7).

Taulukko 7. Nostokapasiteetin laskenta

Kohde	Massa
Kehikko	158,83 kg
Lattatangot (6 kpl)	12,66 kg
Kreon Ace 7-30	15,00 kg
Mittalaitteen aluslevy	7,02 kg
Lineaarijohteet (2 kpl)	10,00 kg
Jigit (3 kpl)	27,24 kg
Antennisuoja profiili (2,54 m)	4,36 kg
yhteensä	235,11 kg

Korkeudensäätöalueen määrittelin teoriaosuudessa käsiteltä työpisteen mitoitusta mukaillen. Säätöalueen rajat määrittelin työtason korkeuden suosituksia koskevan taulukon mukaan. Antennisuojat eivät ole painavia mutta ovat suurikokoisia ja hankalia nostaa sekä käsitellä. Alimmasta kyynärkorkeudesta vähensin nostotehtäviä koskevan suosituksen mukaan 15 cm. Ylimpään kyynärkorkeuteen lisäsin 10 cm käsien vakaata tukemista vaativan tehtävän suosituksen mukaan niin kuin aiemmassa kiinteässä rungossakin. Säätöväliksi muodostui siten 85 - 117 cm.

Vaadittavaksi nostokapasiteetiksi asetin 4600 N, joka oli aiemmin lasketun massan yhteispaino kerrottuna varmuuskertoimella 2. Säätöalue piti olla vähintään 365 mm. Valmiita vaatimukset täyttäviä pöydänrunkoja ei ollut. Ainoa vaihtoehto oli tehdä

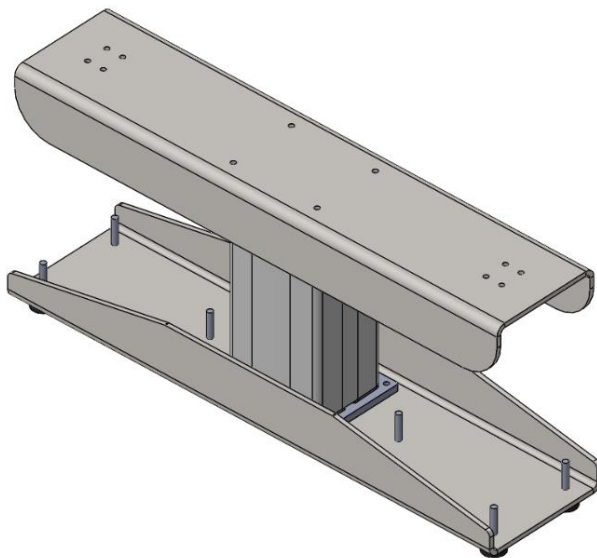
sähkösäädettävä runko itse käyttäen nostopilareita. Kyselin tarjouksia usealta nostopilarien toimittajalta. Vain kaksi tuotetta (taulukko 8) vastasi asettamaani säätöalueen vaatimukseen.

Taulukko 8. Nostopilarien vertailua.

Tuote	Säätöalue	Nostokapasiteetti /pilari	Hinta /pilari
A	500 mm	3000 N	1070,69 €
B	400 mm	2000 N	230,00 €

Päädyn valitsemaan vaihtoehdon B sen huomattavasti alhaisemman hinnan takia. Asettamaani nostokapasiteettiin päästiin lisäämällä pilarien määrä kolmeen. Kolmella pilarilla saatiin samalla mittauspöytää jäməkämmiksi ja taipumia pienemmiksi.

Nostopilareihin suunnittelin 8 mm teräslevystä särmätyt jalat sekä ala- että yläpuolelle. Alapinnan jalkoihin tuli pienet säätötassut lattian mahdollisia epätasaisuuksia tasaamaan sekä värinän vaimennukseksi. Alumiinikehikko kiinnitettiin suoraan nostojalkojen (kuva 15) yläpuolen levyihin.

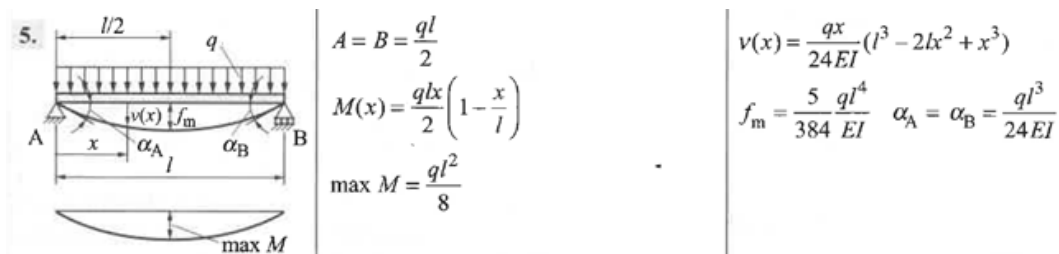


Kuva 15. Nostojalat.

5.5.5 Taipuman laskenta

Vaatimusluettelon mukaan mittaustason oman paino sekä siihen sijoitettavien tuotteiden aiheuttama taipuma pöytätasolle sai olla yhteensä korkeintaan mittalaitteen mittaustarkkuuden suuruinen. Tein laskennan kehikon pituussuuntaisten profiilien y-suuntaisista taipumista. Laskennassa palkin pituus tuli kahden vierekkäisen nostopilarin välisestä etäisyydestä. Asetin laskentaa varten kolme nostopilaria metrin välein.

Alumiiniprofiilin oma massa, kiinnityslatjat ja mitattava tuote aiheuttivat alumiiniprofiilille tasaisen kuormituksen. Näiden yhteinen kuormitus millimetriä kohden oli 0,12 N. Siitä aiheutuvan taipuma laskin kaksitukisen palkin taivutuksen kaavasta (kuva 16).

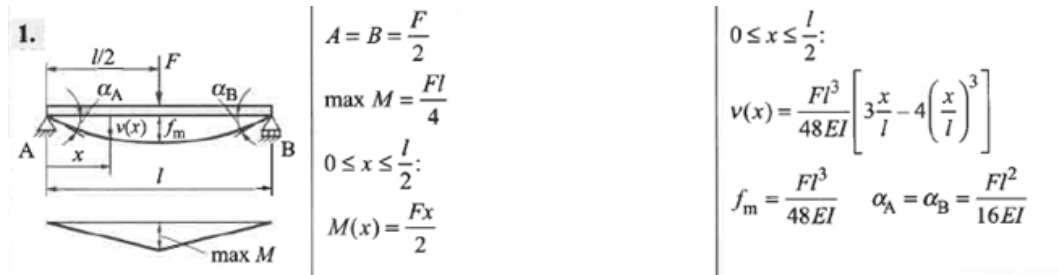


Kuva 16. Kaksitukisen palkin taivutus. 5. kuormitustapaus (Valtanen 2013, 317).

$$f_m = \frac{5}{384} * \frac{ql^4}{EI}$$

$$\frac{5}{384} * \frac{0,12N/mm * (1000mm)^4}{70000MPa * 7396200mm^4} \approx 0,003mm$$

Kiinnitysjigien aiheuttaman taipuman laskin pistekuormana profiilin keskikohtaan (kuva 17). Tein laskennasta epäedullisemmän sijoittamalla kaikki jigit keskelle alumiiniprofiilia. Yksi jigi aiheutti massallaan noin 100 N voiman. Kolmen jigien aiheuttaman voiman jaoin kuormitettavien alumiiniprofiilien määrällä eli kahdella.



Kuva 17. Kaksitukisen palkin taivutus. 1. kuormitustapaus. (Valtanen 2013, 316)

$$f_m = \frac{Fl^3}{48EI}$$

$$\frac{150N \cdot (1000mm)^3}{48 \cdot 70000MPa \cdot 7396200mm^4} \approx 0,006mm$$

Laskin tasaisesti kuormituksesta saadun tuloksen yhteen pistekuormalla saadun tuloksen kanssa. Yhteenlaskettu taipuma oli 0,009 mm, joka oli reilusti asetetun 0,042 mm vaatimuksen.

5.5.6 Profiilin valinta

Suoritin edellä esitetyt laskut myös edellä esitettyä kevyempää 40 x 160L profiilia käyttäen. Yhteenlaskettu taipuma oli 0,0012 mm. Valinnan helpottamiseksi tein taulukon (taulukko 9)

Taulukko 9. Alumiiniprofiilien vertailua

	40 x 160L	40 x 160
kehikon hinta	749,88 €	1281,60 €
kehikon massa	100,42 kg	158,83 kg
I_x jäyhyys	318100 mm ⁴	527200 mm ⁴
I_y jäyhyys	5003200 mm ⁴	7396200 mm ⁴

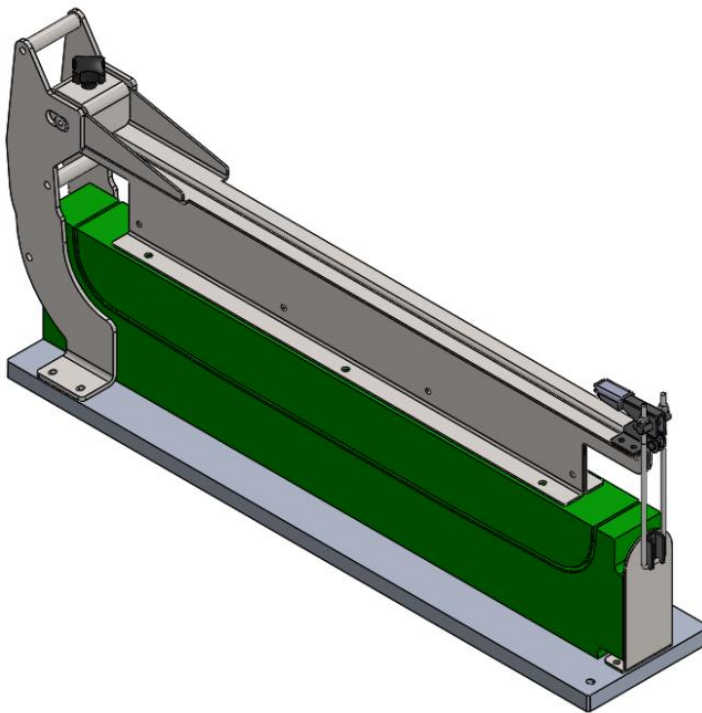
Kevyemmästä profiilista tehty kehikko olisi tullut edullisemmaksi. Pitäydyn kuitenkin valitsemissani alumiiniprofiilissa. Mittalaitteen ollessa kyseessä ei ylimääräisestä massasta ole haittaa sillä se vaimentaa tärinää.

5.6 Mittauspöydän viimeistely

5.6.1 Jigien viimeistely

Muoviosien paksuudeksi valitsin 40 mm, joka oli yleisesti käytetty materiaalin paksuus yrityksen jigeissä ja sitä oli valmistajalla hyllytavarana. Alumiini levyn materiaaliksi valitsin AW-5083 eli niin sanotun merialumiinin. Levy oli valmiiksi hyvä pintaista ja sen paksuudeksi valitsin 12 mm, joka niin ikään oli hyllytavaraa ja myös tarpeeksi jäykkää käyttötarkoitukseen. Alumiini levy kiinnitettäisiin pöydän lattoihin kahdella kuulatapilla.

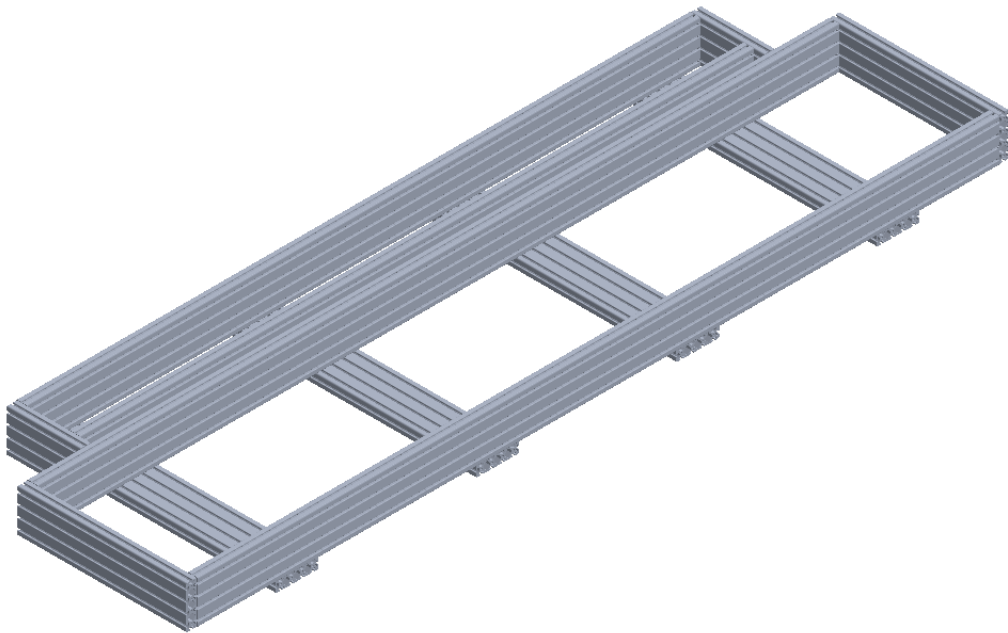
Jigien käyttöä helpotettiin saranoimalla ne toisesta päästään. Tarkastajien työ tulisi kevenemään ja kiinnitys helpottuisi. Saranointi oli yllättävän mutkikas toteuttaa niin että jigien yläosa ei ottanut kiinni alaosaan tai tuotteeseen, kun jigi suljettiin tai avattiin. Saranoinnin toteuttamiseen meni yllättävän paljon aikaa ja mutta työn tuloksena saatiin kompakti, kestävä ja helppokäyttöinen ratkaisu (kuva 18). Seuraavaksi tein jigien eri osista valmistuspiirustukset ja tarkistin ne.



Kuva 18. Valmistukseen hyväksytty jigi

5.6.2 Alumiinikehikon viimeistely

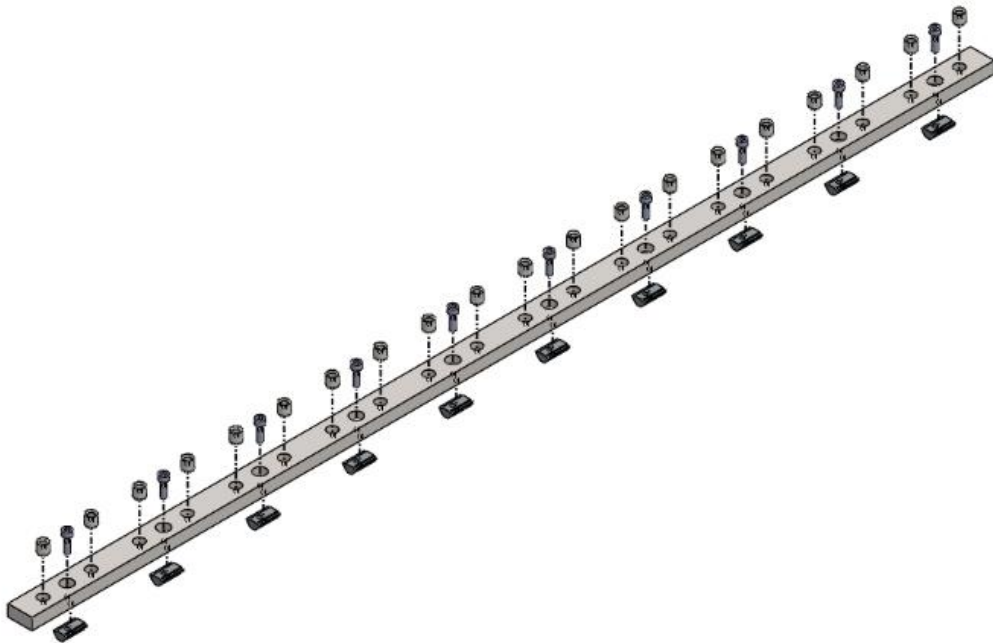
Pöydälle varattu tila vaikutti kehikon lopulliseen muotoon. Kulkutila tarkastamossa uuden mittapöydän, muiden pöytien ja laitteiden välille piti jäädä mahdollisimman suureksi. Suunnitellussa paikassa oli seinustalla rakennuksen kantavia pilareita. Ne tulivat noin 20 cm ulos seinästä ja niiden väli oli alle 3 metriä. Tein alumiinikehikkoon (kuva 19) seinän puoleisen osan kulmiin kolot, jolloin pöydän saisi kiinni seinään. Alumiiniprofiilit tilattiin maahantuojalta sahattuna oikeisiin mittoihin.



Kuva 19. Kehikon lopullinen muoto

5.6.3 Lattatangon viimeistely

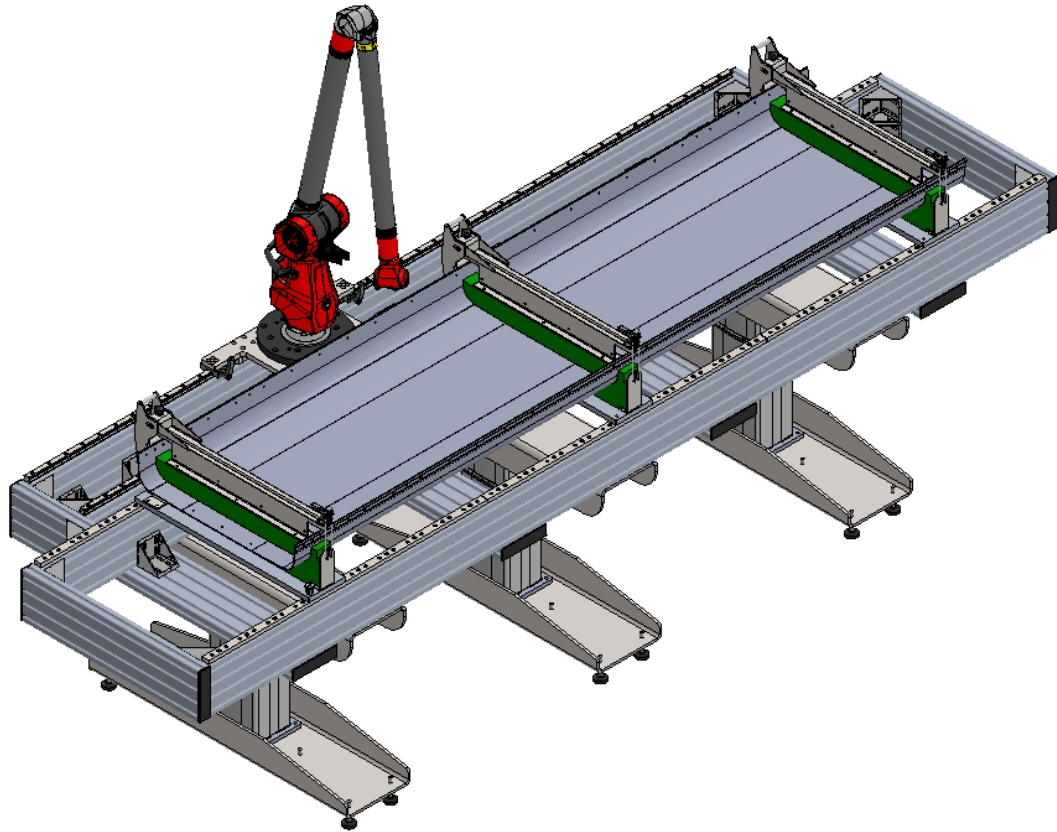
Jigit oli tarkoitus kiinnittää lattatankoihin kuulatappien avulla. Aikaa myöten jigien vaihdosta aiheutuisi kiinnitysreikiin kulutusta ja olisi mahdollista, että reiät menisivät väljiksi. Paransin kiinnitysreikien kulutuskestävyyttä lisäämällä niihin poraholkit, jotka asennettiin ahdistussovitteella (kuva 20). Poraholkit kestäisivät kulutusta paremmin kuin pohjamateriaalina ollut teräs ja ne olisivat helppo vaihtaa tarpeen tullen.



Kuva 20. Lattatangon kokoonpano

5.6.4 Pääkokoonpanon tarkistus

Tein lopullisen kokoonpanomallin pöydästä sisältäen kaikki siihen tulevat osat (kuva 21). Tarkistin kohta kohdalta ratkaisun toimivuuden 3D mallia tutkien. Laadin osaluettelon ja laskin pöydälle lopullisen hinnan saatujen tarjousten sekä hinta-arvioiden perusteella. Tein piirustukset kokoonpanosta sekä yksityiskohtaiset kokoonpano-ohjeet. Viimeistelyvaiheessa ei löytynyt virheitä ja tilaus luvan saatuani laitoin pöydän osat tilaukseen.



Kuva 21. Mittauspöydän valmistettava kokoonpano

6 Mittausmenetelmän käyttöönotto

Perehdytys mittavarren käyttöön aloitettiin myyjäliikkeen edustajan pitämällä koulutuksella jo ennen mittauspöydän suunnittelun aloittamista. Pöydän valmistuttua tein tuotantoon tulevalle tuotteelle mittausohjelman Poly Works Inspector -ohjelmalla ja pidin jatkokoulutuksen tarkastajille. Siirtymävaiheeksi oli annettu kaksi viikkoa, jona aikana vanhaa mittausmenetelmää oli mahdollisuus käyttää uuden menetelmän rinnalla. Tuona aikana piti mittausmenetelmä ja laitteen käyttö saada tarkastajille tutuksi.

Ennen kuin vanha reikävälimittalaite purettiin, tehtiin mittausjärjestelmän analyysi molemmille laitteille. Analyysissä tarkasteltiin mittauksen poikkeamaa ja toistettavuutta kahden mittajan ja neljän mitattavan tuotteen osalta. Mittauksen poikkeamassa tai toistettavuudessa ei ollut merkittävää eroa laitteiden välillä. Sen sijaan reikävälimittalaitteessa havaittiin kumuloituva mittavirhe ja laite poistettiin käytöstä välittömästi.

7 Pohdintaa

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella uusi mittaussuoritusmenetelmä antennisuoja tuotteille ja kouluttaa yrityksen tarkastajat uuden mittaussuoritusmenetelmän osaajiksi. Menetelmän avulla tuotteiden laatu saataisiin mittaamisen avulla paremmin hallintaan. Sen tuli soveltua kaikille antennisuojaustuotteille mikä tuli ottaa huomioon pöydän ja jigien suunnittelussa. Teknisen toteutuksen tuli myös olla mahdollisimman ergonominen mittaussuoritusmenetelmän käyttäjiä ajatellen.

Tuloksena saatiin vaatimuslistan mukainen mittaussuoritusmenetelmä, tuotekohtaisten jigien konsepti sekä uuteen mittaussuoritusmenetelmään koulutetut tarkastajat. Uuden mittaussuoritusmenetelmän avulla mittalaitteista ja käyttäjistä aiheutuvaa mittaussuoritusmenetelmän käyttöä saatiin vähennettyä siirtymällä monesta mittalaitteesta vain yhden laitteen käyttöön, stabiloimalla mitattava kappale jigien avulla, automatisoimalla mittaustulosten kirjaus ja mittaamalla kaikki tuotteen piirteet irrottamatta tuotetta kesken mittauksen.

Opinnäytetyön käytännön osuudessa onnistuttiin luomaan tekninen ratkaisu havaittuun ongelmaan, noudattamalla pääpiirteittäin teoria osuudessa esiteltyä systemaattista suunnittelumenetelmää. Käytännön osuus ei kuitenkaan edennyt täysin lineaarisesti päävaiheesta toiseen vaan usein liukuin vaiheiden välillä johtuen vahvasta intuitiosta jonkin jo valitun tai edessä olevan osaratkaisun parhaasta teknisestä toteutuksesta. Myös se, että kyseessä oli ensimmäinen kyseisellä menetelmällä suunnittelemani laite, tarkoitti sitä, että sisäistin monia teoriassa esitettyjä asioita vasta tehdessäni käytännön osuutta ja saatoin palata täydentämään jotain jo ratkaistua asiaa.

Ennen käytännön osuuden aloittamista oli epävarmaa, kuinka metrologian teoria saadaan liittymään käytännön osuuteen. Mielestäni metrologian käsittely osoittautui kuitenkin erittäin luontevaksi aiheeksi liittyen vahvasti pöydän ja jigien teknisen toteutuksen suunnitteluun, mittaussuoritusmenetelmän käyttöönottoon, mittaussuoritusohjelman suunnitteluun, käyttökoulutukseen että mittaussuoritusmenetelmän analyysiin.

Pääosin suunnittelin ja valitsin toteutettavat ratkaisut itse. Mielestäni koko työn toteutus itsenäisesti oli jälkeen päin ajateltuna riski karkeille ajatusvirheille teknisen ratkaisun

suunnittelussa. Virheiltä kuitenkin vältyttiin mutta tällaisen työn tueksi olisi voinut olla hyötyä ideointi palavereista ja ottaa laitteen käyttäjät paremmin mukaan laitteen suunnitteluun jo alkuvaiheista lähtien.

Mittalaitetta tullaan hyödyntämään jatkossa kaikissa antennisuoja- ja tuoteryhmän tuotteissa. Mittaajien osaaminen kehittyy mittalaitteen käytön myötä ja mittausohjelmien tekijän osaaminen karttuu jokaisen mitattavan tuotteen ollessa omanlaisiaan.

Lähteet

Andersson, P., Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY

Aumala, O. 2002. Mittaustekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto

Hiltunen, E., Linko, L., Hemminki, S., Hägg, M., Järvenpää, E., Saarinen, P., Simonen, S., Kärhä, P. 2011. Laadukkaan mittaamisen perusteet. Espoo: MIKES

Launis, M., Lehtelä, J. 2011. Ergonomia. Helsinki: Työterveyslaitos

Pahl, G., Beitz, W. 1992. Koneensuunnitteluoppi. Porvoo: WSOY

Suomen standardisoimisliitto ry. 2010. SFS-OPAS 99: Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM). Perus- ja yleiskäsitteet sekä niihin liittyvät termit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto ry.

Tikka, H. 2007. Koordinaattimittaus. Tampere: Juvenes Print

Tuomaala, J., 1995. Luova koneensuunnittelu. Tampere: Tammertekniikka

Valtanen, E., 2013. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis-Kirjat Oy