



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)

Sarjamittauksen käyttöönotto

Markus Kähkönen

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä(t)
Markus Kähkönen

Nimeke
Sarjamittauksen käyttöönotto

Toimeksiantaja
Fodesco Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa mittausjigikokoonpano toimeksiantajayritykselle Fodesco Oy:lle. Mittausjigillä oli tarkoituksena mitata sarjassa 50 tuotetta yhdellä mittauskierrolla. Opinnäytetyöllä pyrittiin optimoimaan mittausprosessia. Sarjamittauksen tavoitteena on keventää mittauksen kuormitusta ja automatisoida sitä.

Keskeisenä sisältönä opinnäytetyössä vertailtiin eri materiaaleja, tarkasteltiin eri työvaiheita, sekä toteutettiin tuotantovaiheita Ulrich-Eppingerin-suunnittelumallia apuna käytäen. Työvaiheiden tarkastelu sisältää tuotannon kaikki vaiheet aina suunnittelusta valmiiseen mittausraporttiin.

Lopputuotteena syntyi mittausjigi, jonka osakokoonpanoa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää toimeksiantajayrityksessä useiden erilaisten mittausjigien valmistuksessa. Sarjamittausjigejä tullaan suunnittelemaan erilaisille tuotteille. Uudet jigit nopeuttavat mitausta ja ohjaavat operoijien mittausaikaa järkevämpään käyttöön.

Kieli
suomi

Sivuja 42
Liitteet 2
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
mittaus, jigit, koordinaattimittaus



THESIS
May 2023
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Markus Kähkönen

Title
Introduction of Series Measurement

Commissioned by
Fodesco Ltd

Abstract

This thesis introduces designing and manufacturing of measuring jig assembly for the client company Fodesco Ltd. With the measuring jig a measuring operator is able to measure up to 50 products with a single measuring round. The aim of the thesis was to optimize the measurement process. Series measurement reduces the measurement load and automates it.

The key points of the thesis are the selection of material, the examination of the different work phases and the implementation of the production phases using Ulrich-Eppinger's design model. The work phases include all production phases from design to the finished measurement report.

The end product is a measuring jig, the subassembly of which can be used in the future in the production of various measuring jigs in the client company. Series measuring jigs will be designed for different products in the future. The new jigs speed up the measurement and direct the operators' measurement time to a more rational use.

Language
Finnish

Pages 42
Appendices 2
Pages of Appendices 4

Keywords
measurement, jigs, coordinate measurement

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Toimeksiantaja.....	6
3	Opinnäytetyön tietoperusta	7
3.1	Koordinaattimittakoneet	7
3.2	Jigit	12
3.3	Mittaaminen	14
4	Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät	18
5	Valmistusvaiheiden kuvaus.....	19
5.1	Suunnittelu.....	19
5.2	Materiaalinvalinta.....	21
5.3	Mallintaminen.....	25
5.4	Ohjelmointi.....	29
5.5	Jigien, paletin ja tolppien koneistaminen valmiiksi	31
5.6	Mittaohjelman teko.....	33
5.7	Tuotteiden mittaaminen jigeissä	36
5.8	Mittatulosten käsittely	37
6	Tulokset	39
7	Pohdinta.....	41
	Lähteet.....	42

Liitteet

Liite 1 2D-piirustukset

Liite 2 Asetuskuvat

Sanastoa

CMM	Koordinaattimittakone
3–2–1-kiinnitys	Kiinnitysmenetelmä, jossa lukitaan kaikki kappaleen vapausasteet erilaisin tuennoin.
Suuntaaminen/Ylösotto	Koneen mittauskärjellä kosketetaan kappaleeseen, muutamia kertoja halutuilta pinnoilta, jonka jälkeen kone kykenee hahmottamaan kappaleen orientaation.
Turvakuutio	(engl. <i>Clearance Plane</i>) Mitattavan kappaleen ympärille ohjelmallisesti luotu kuutio, jonka seinien sisäpuolelle mittauskärki ei liiku muulloin, kuin mittapistettä ottaessa. Rajoittaa pikaliikkeitä liikkumasta esimerkiksi kappaleen läpi.
Kolari	Mittauskärjen hallitsematon osuminen mitattavan kappaleen pintaan tai tuentaan. Syy kolariin on yleensä virheelliset nopeuden tai liikkeiden arvot.
µm	Mikrometri = 0,001 mm
CNC-työstökeskus	Tietokoneohjelmallisesti ohjattu jyrsinkone.
GX-mittausmenetelmä	GX-mittausmenetelmällä todetaan, kuinka suuri akseli todellisuudessa maksimissaan mahtuu reiän sisään. Tämä todetaan ohjelmallisesti mittauspisteistä, joista voidaan selvittää suurin mittauspisteistä luodun ympyrän sisään mahdutettu muoto.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda toimiva sarjamittausjärjestelmä koordinaattimittakoneella mitattaville osille. Apuna eri vaiheissa käytettiin olemassa olevaa kirjallisuutta, Ulrich-Eppingerin-suunnittelumallia sekä yrityksessä olemassa olevaa tietämystä mittauksen, koneistuksen ja suunnittelun osalta. Pysyin soveltamaan mittauksen ja suunnittelun parissa oppimaani työskenneltyäni kyseisissä töissä.

Materiaalin valinta jigeille on keskeinen osa opinnäytetyötä. Muita selvitettäviä asioita olivat muun muassa koordinaattimittakoneen rajoitukset, mittausohjelmiston sarjamittaus toiminnon käyttö/ymmärtäminen sekä mittaustulosten tallentaminen kätevästi.

Opinnäytetyö tuotettiin toimeksiantajayritykselle, Fodesco Oy:lle. Tavoitteena oli luoda toimiva sarjamittauskokonaisuus, jota voidaan toteuttaa mahdollisesti tulevaisuudessa erilaisilla jigeillä, usealle erilaiselle mitattavalle kappaleelle. Sivussa pyrittiin oppimaan muovin työstämisestä ja käyttäytymisestä CNC-työstökeskuksilla operoidessa. Muovin koneistuksessa haettiin oikeita ajoarvoja testaamalla muutamia erilaisia muovilaatuja. Tavoitteena oli myös saada lopullinen mittaus toimimaan ilman operoijaa, mikä vähentäisi mittauskuormitusta olennaisesti.

2 Toimeksiantaja

Toimeksiantaja yrityksenä opinnäytetyölle on Fodesco Oy. Fodesco on perustettu vuonna 1986 ja se toimii alihankkijana muovi- ja metalliteollisuuden toimijoille, erityisesti työkalujen valmistajille ja ruiskupuristajille. Fodescolla valmistetaan standardikomponentteja muotti- ja leikkaintyökaluille, mutta myös asiakaslähtöisiä tilauskohtaisia erikoisosia. (Fodesco Oy 2023.)

Ideologiana Fodescolla on tuottaa lisäarvoa asiakkaiden liiketoimintaan sen omalla palvelukonseptilla sekä antamalla asiakkaille kustannustehokkaita ratkaisuja heidän toimintaansa. Fodescolla tunnetaan asiakkaiden tarpeet, ja tämän avulla voidaan tehdä tuotteiden tilaaminen nopeaksi ja vaivattomaksi asiakkaalle. (Fodesco Oy 2023.)

Fodescon valttikorttina on ydinosaaminen tarkkuuden saralla. Fodescolla valmistetaan päivittäin tuotteita, joiden tarkkuusvaatimus on $\pm 0,0025$ mm. Fodescon toimintaan liittyy myös olennaisesti WebShop-palvelu, jonka kautta asiakas voi koota vaivattomasti tarvittavat komponentit ja suorittaa tilauksen. Palvelussa voit nähdä hinnan päivittyvän reaaliajassa ja nähdä paljon lopullinen hinta tuotteille ja toimitukselle tulee maksamaan. (Fodesco Oy 2023.)

Fodescon tuotanto sijaitsee kahdessa eri toimipisteessä, Lehmossa Kontiolahdella, sekä Joensuun keskustan kupeessa. Päämarkkina-alueena toimii Eurooppa. Asiakaslähtöisen tuotannon tuotteiden valmistus perustuu asiakkaiden 3D-malleihin ja/tai 2D-piirustuksiin. Asiakkaiden tiedostot käsitellään sopivaksi Fodescon tuotantoon ja valmistetaan asiakkaan vaatimalla tavalla. Fodesco tarjoaa myös rouhintapalvelua asiakkaille, jotka eivät halua varata omaa konekantaansa rouhinnalle. Rouhinta suoritetaan jättäen 0,5 mm työvarat. (Fodesco Oy 2023.)

Fodescolla on laaja konekanta. Lehmon yksikössä itsessään on yli 10 kappaletta 3-/5-akselisia CNC-työstökeskuksia, useita hiontayksiköitä, sekä lukemattomia muita työstökoneita. Fodescolla panostetaan myös erityisesti

mittaukseen, jolla voidaan varmistaa koneistustarkkuuden paikkansa pitävyys. Mittauksen osalta todettakoon Fodescon olevan yksi tarkimmista mittauspalveluiden tarjoajista tuotannon alalla. Fodescolla on neljä koordinaattimittakoneita, joista tarkin on Zeiss Prismo Ultra, jonka mittausepävarmuudeksi on osoitettu 0,6 µm, sekä mittausepävarmuudeksi 1,8 µm vastaavia koneita ei Suomesta ja muistakaan pohjoismaista kovin montaa löydy tuotannollisesta käytöstä. Kaikkiin Fodesco tarjoaa asiakkailleen seuraavia palveluita: mittaus, kokoonpano, kiillotus, laserhitsaus, lasermerkintä ja koneistus. Fodescolta löytyy myös nettisivut. Nettisivuilta Fodescon asiakkaat pystyvät lataamaan tuotteiden mittausdokumentteja omilla tunnuksillaan. (Fodesco Oy 2023.)

3 Opinnäytetyön tietoperusta

3.1 Koordinaattimittakoneet

Koordinaattimittakoneita (CMM) on käytetty apuna jo vuosia tuotannossa erilaisien 3D-mittojen ja muotovirheitten mittaamisessa. Ferranti Co toi markkinoille ensimmäisen CMM:n 1950-luvun lopulla. CMM:ien kysyntä ja tarve kasvavat jatkuvasti tuotannon muiden työvälineiden jatkuvan kehityksen ja tarkkuuksien kasvamisen takia. (Fan 2016, XI.) Aiemmin kappaleet sovitettiin toimimaan keskenään. Nykyään ajatusmaailma on muuttunut vaihdettaviin varaosiin, jolloin osien tulee käydä yhteen toistensa kanssa aina, valittiinpa mikä pari tahansa. Tämä ajatusmaailman muutos on tuonut yhä tarkemmat toleranssit tuotantoon. (Fodesco 2023.)

Koordinaattimittakoneiden rungot valmistettiin ennen valuraudasta ja graniitista. Nykyään rungot valmistetaan käyttämällä keraameja, piikarbidia tai muita lujia aineita. Nämä estävät suurimmat rungon vääntyilyt, jotka vähentävät mittausten luotettavuutta ja tarkkuutta. Rungon liikkuvissa osissa käytetään useasti seostettua alumiinia sen keveytensä vuoksi. Keveyden turvin voidaan liikkeitä nopeuttaa, jolloin kokonaismittausaika lyhenee. Alumiinin kanssa on kuitenkin

oltava tarkkana sen suuren lämpölaajenemiskertoimen takia. Lämmönsäätelyn kanssa on oltava erityisen tarkka. (Keinänen & Järvinen 2014, 164–165.)

CMM:iä käytetään tarkkoja mittoja mitatessa ja silloin, kun halutaan saada erittäin luotettavia tuloksia, jopa kymmenestuhannesosamillimetrien (0,0001) tarkkuudella. Tuotanto-tyyppisissä mittauksissa tarkkuustarpeet ovat yleensä tuhannesosamillimetrien tarkkuudella. (Keinänen & Järvinen 2014, 164.) Kappaleista mitattavia kohteita ovat halkaisijat, ympyrämäisyys (engl. *circularity*), sylinterimäisyys (engl. *cylindricity*), etäisyydet (engl. *distance*), tasomaisuudet (engl. *flatness*), kulmat, kohtisuoruudet (engl. *perpendicularity*), samansuuntaisuus (engl. *parallelism*), samanakseliuudet (engl. *coaxiality*), symmetriat (engl. *symmetry*), paikkamittaukset (engl. *position*) ja erilaiset profiilimaisuudet (engl. *profile*). Johteet koordinaattimittakoneissa ovat paineilimalaakeroituja, jotka mahdollistavat sulavat ja tarkat liikkeet eri akseleilla (Keinänen & Järvinen 2014, 166). Akseleita itse koneessa on kolme x-, y- ja z-akselit. Mittapäässä voi itsessään olla lisäksi useampi rotaatioakseli koneen akseleiden lisäksi. Rotaatioakseleista esimerkkinä on muun muassa Zeissin XXT-mittapää, jolla on kaksi rotaatioakselia. (Kuva 1 ja kuva 12) Nämä lisäakselit mahdollistavat mittaamisen helpommin haastavista paikoista sekä mahdollistavat kosketuksen kohtisuorasti mitta-pistettä ottaessa. Mittapistettä ottaessa on otettava huomioon edellä mainittu kohtisuora lähestyminen, jolla ehkäistään sinivirheen mahdollinen syntyminen. Kärjen lähestymisen on myös syytä olla rauhallinen, jottei mittakärkeen ja -pään kohdistu tarpeetonta liikakuormitusta.

Halvemmat ja pienemmät koordinaattimittakoneiden akselit ovat käsin liikuteltavissa. Yleensä akseleita voidaan lukita yksi tai useampi kerrallaan, joka helpottaa mittaamista samalla tarkkuutta parantaen. Pienemmillä koneilla voidaan nopeasti mitata yksittäisiä ja yksinkertaisia kappaleita ja niiden geometrisia piirteitä, mutta kun puhutaan sarjatuotannosta, haastavista kappaleista ja todella tarkoista toleransseista, on tietokoneohjattu koordinaattimittakone omassa luokassaan. Tietokoneohjatuissa mittakoneissa virhetoleranssi pienentyy ohjelmoinnin seurauksena mittakoneen toimiessa aina samalla tavalla samanlaisten kappaleiden välillä. Koordinaattimittaus on teollisuuden näkökulmasta yksi

parhaista, jos ei paras tapa, mitata erilaisia tuotteita tarkkuuden, toistettavuuden ja nopeuden näkökulmasta. (Keinänen & Järvinen 2014, 166.)

Mittakärkien sauvojen materiaalina toimii hiilikuitu tai keraamiseos. Sauvojen päässä on keinotekoiset rubiinit, jotka koskettavat mitattavia pintoja tai vaihtoehtoisesti liukuvat pinnoilla skannaten niitä. Rubiinit kestävät erittäin paljon kulumista ja käyttöä. Rubiinien tilalla on myös mahdollista käyttää timantti ja silikoninitridikärkiä. Edellä mainituista timanttikärjet kestävät kulumista rubiinikärkiä vielä entistä paremmin kulumista ja silikoninitridikärjet mahdollistavat alumiinin mittauksen, jota rubiinilla ei pystytä tekemään. Kulutuskestävyys on avainasemassa skannauksissa, sillä kun mittaus suoritetaan oikein esimerkiksi reikää mitatessa, kohdistuu kulutus aina samalle korkeudelle mittausskuulan pintaan. Oletuksena tälle on, että kosketukset tapahtuvat aina kohtisuorassa pintaan nähden. Skannauksessa yhdestä muodosta otetaan useita satoja, jopa tuhansia pisteitä muutaman sekunnin aikana. Skannauksella voidaan todeta muotovirheet hyvin nopeasti. Skannauksissa täytyy käyttää filttä, joka poistaa mittauksen pisteitä, jotka ovat mahdollisesti virheellisesti mitattuja. (Fodesco 2023.)

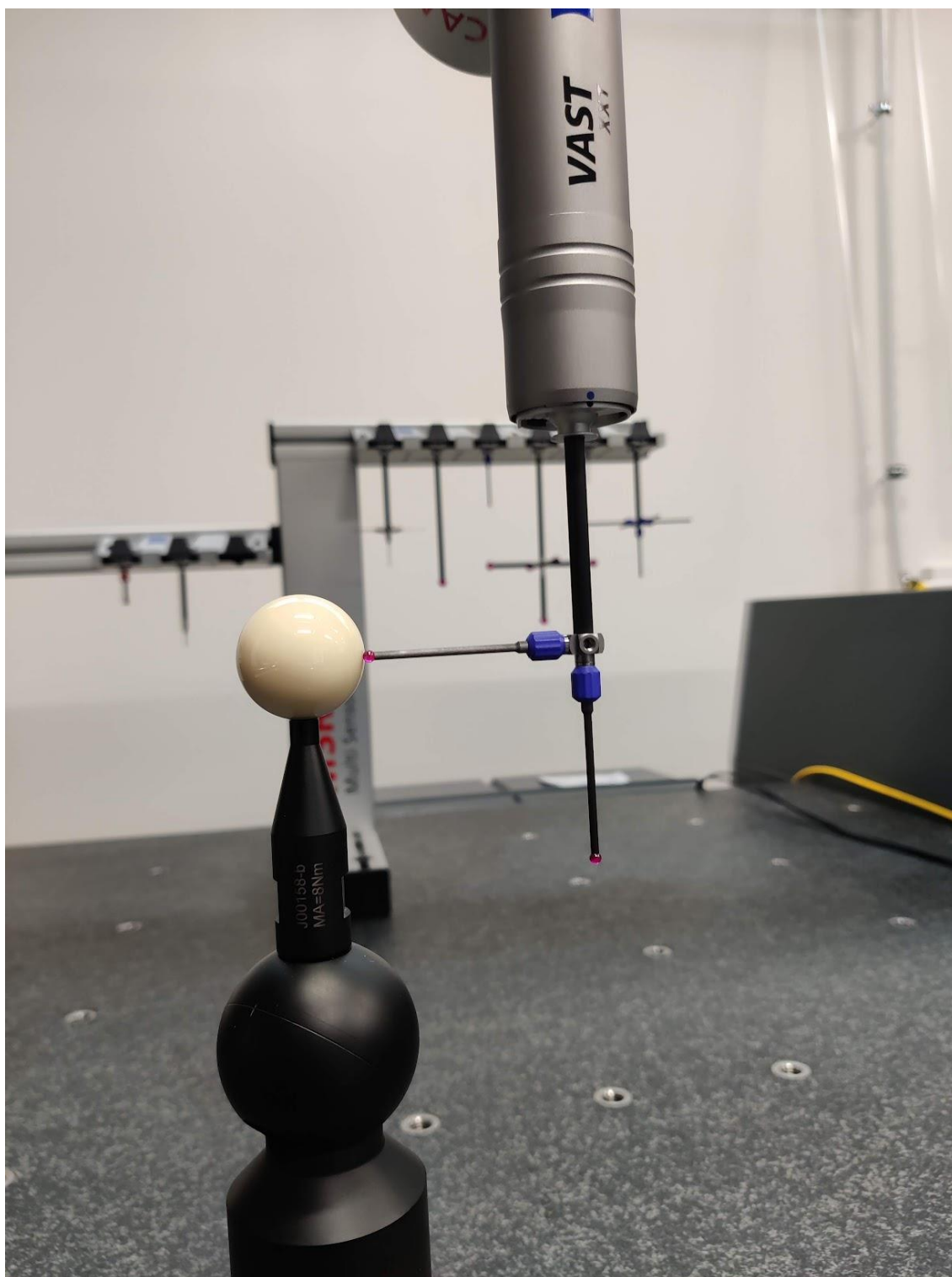
Koordinaattimittakoneen kalibroinnilla osoitetaan mittakoneen mittausepävarmuus. Kalibrointi voidaan jakaa kahdenlaisiin kalibrointeihin. Pääkalibroinnilla tarkoitetaan yleensä laitevalmistajan suorittamaa erittäin yksityiskohtaista kalibrointia. Tämä kalibrointi suoritetaan vuosittain tai harvemmin vaatimusten mukaan. Kalibroinnissa käytetään kalibrointia työkalua apuna, jolle on asetettu oma mittausepävarmuus. Koordinaattimittakoneen tulisi suorittaa tämä kalibrointi onnistuneesti, muuten vaaditaan mittakoneen huoltoa tai muuta tarkastelua. Laitevalmistajalta saa aina kalibrointitodistuksen suoritettua kalibroinnista. Tarkastuskalibroinnilla taas tarkoitetaan työntekijöiden suorittamaa mittausepävarmuuden tarkastelua, jota verrataan laitevalmistajan suorittamaan kalibrointiin. Tämä tarkastus olisi suotavaa suorittaa vähintään kerran viikossa.

On suositeltavaa tarkistaa mittausepävarmuus tasaisin väliajoin. Tarkastuskalibrointi on suoritettava aina kun mittauspöydälle tai kärjille on tapahtunut jotain, esimerkiksi kolari, mikä voi aiheuttaa poikkeamia mittauksissa. CMM:n kalibrointiin

voidaan käyttää monia erilaisia kalibroituja työkaluja. Tämän työkalun tulee olla mitoiltaan vakaa, mekaanisesti vankka, eikä sen pinnanlaatu saa vaikuttaa olennaisesti kalibroinnin suorittamiseen. Näistä työkaluista esimerkkeinä ovat levy/tanko, jossa on kalibrointi kuulia; levy/tanko, jossa on tietynlaisia reikiä; sekä yksittäinen pallomainen kappale. (SFS-EN ISO 10360-2, 2009, 16.) Standardi 10360(-2) ottaa kantaa vain pisteestä pisteeseen mittauksiin, mutta sitä voidaan hyödyntää myös muunlaisissa kalibroinneissa (SFS-EN ISO 10360-2, 2009, 1).

Kalibroinnilla havaitaan kolmea virhetyyppiä. Ensimmäisenä virheenä voidaan todeta geometriset ja termiset poikkeavuudet koordinaattimittakoneessa kahden pisteen välisissä mittauksissa. Toisena todettavana virheenä on mittakärkien mittakuulien koosta johtuvat virheet. Kolmanneksi virhetyypiksi voidaan luokitella toistettavuusvirheet, jotka ilmenevät, kun suoritetaan useita mittauksia yhdestä mitasta/mittapisteestä. Koordinaattimittakoneet ilman lämpökompensatioantureita voivat tuottaa virheellisiä kalibrointituloksia mittaussympäristön tai mitattavan kohteen lämpötilan vaihdellessa mittausten välillä. Myös lämpökompensaation virheellinen käyttö voi tuottaa virheellisiä tuloksia. Laitevalmistajan tulee ilmoittaa yläraja kalibroinnin aikaiselle mittaussympäristölle. Voidaan myös ilmoittaa alaraja mittaussympäristölle, mutta tämä ei ole välttämätöntä. (SFS-EN ISO 10360-2, 2009, 7&18.)

Pisin tarkasteluväli kahden pisteen välillä kalibroinnissa tulisi olla 66 % mittakoneen maksimaalisesta liikeradasta kunkin liikeakselin kohdalla. Jokainen kalibroitava testipituus voi vaihdella merkittävästi toisiinsa nähden. Testausmittaukset tulisi myös suorittaa eri osissa koneen liikeratojen näkökulmasta. Näin saadaan varmistettua mittausepävarmuuden paikkansa pitävyys joka puolella koneen liikeratojen sallimissa rajoissa. (SFS-EN ISO 10360-2, 2009, 7.)



Kuva 1. Opinnäytetyössä käytetyn mittauskärjen kalibrointi kalibroitikuulan avulla. (Kuva: Markus Kähkönen)

3.2 Jigit

Jigit ovat eräänlaisia kiinnittimiä, joiden avulla voidaan tukea ja asettaa mitattava/työstettävä kappale helposti työskentelyalueelle, kyseessä olevan työvaiheen aloittamista varten. Kappale asetetaan ennalta määritellyllä tavalla, ennalta määritellylle paikalle. Kappaleen ollessa oikealla paikallaan, kykenee työstö-/mittakone suorittamaan vähintään yhden operaation kappaleelle. Jigit suunnitellaan mahdollisimman helppokäyttöisiksi. Kappaleiden vaihdon tulee olla sujuva ja nopea toimenpide. Jigit ovat itsessään yhdestä tai useammasta osasta valmistettuja kokoonpanoja. Jigien itsensäkin vaihdon työkonella tulisi olla mahdollisimman yksinkertaista ja helppoa, jotta voidaan tarpeen tullen käyttää useita erilaisia jigejä, esimerkiksi yhdelle valmistettavalle tuotteelle. Jigien päähyöty on niiden tuotespesifi käyttö. (Venkataraman 2015, 19–21.)

Kappaleilla on kuusi vapausastetta, jotka tulee rajata kaikki jigien toimesta. Koordinaatistossa käytetään pääasiassa kolmea vapausastetta X, Y ja Z. Kolme vapausastetta tulee lisää, kun lisätään kiertoaste kaikkien edellä mainittujen ympärille. Kaikkein yksinkertaisimmillaan kaikki vapausasteet voidaan lukita 3–2–1-periaatetta (puhutaan myös kuuden pisteen kiinnityksestä) käyttämällä ja soveltamalla jokaisen tuotteen osalta sopivaksi. Yleensä 3-pisteen kiinnitys sijoitetaan kolmion muotoon mahdollisimman laajalle alalle, kuitenkin siten että jokainen piste on kosketuksissa kappaleen samansuuntaiseen pintaan. 2-pisteen kiinnitys tulee pääasiassa kappaleen pisimmälle sivulle, jolla saadaan kappaleet aina mahdollisimman samansuuntaisesti toisiinsa nähden. 1-pisteen kiinnitys tuetaan siten, että jäljelle jäävä vapausaste lukitaan pois yhdellä pisteellä. Kaikkien vapausasteiden lukitseminen edellyttää kaikkien tuentojen sijaitsevan kappaleen eri tahkoilla/pinnoilla. Jigien olisi hyvä olla myös suunniteltu siten, että kappaletta ei pystyisi sijoittamaan jigiin väärässä asennossa. Mikäli tämä ei toteudu, on luotava selkeät ohjeet jigien käytölle, jottei kappaletta aseteta väärin ja aiheuteta tuotteille, koneille tai jigeille vahinkoa. 3–2–1-kiinnityksessä voidaan ajatella myös todellisuudessa olevan 12 vapausastetta jos otetaan huomioon kaikkien liikesuuntien positiiviset ja negatiiviset liikkeet. Nämä jäljelle jäävät liikkeet kuitenkin pystytään kumoamaan helposti esimerkiksi magneeteilla, ruuveilla tai muilla tuilla. (Venkataraman 2015, 24–25.)

Jigeissä tulee välttää teräviä kulmia, erityisesti silloin kun kyseessä on tuotteen osuva pistemäinen tuki. Näin vältetään tuotteen naarmuuntuminen. Jigi olisi suotavaa olla myös kauttaaltaan tehty siten, että terävät reunat ja nurkat olisi viistetty tai pyöristetty, käytön ja käsittelyn mukavoittamiseksi. Jigien tulee olla kulutuskestäviä ja vankkoja rakenteeltaan, jotta ne kestävät koneistuksessa syntyvät voimat ja rasitukset. Materiaalin valinta on kuitenkin erittäin riippuvainen käyttökohteesta ja -tarkoituksesta. Esimerkiksi mittausjigeissä ei mittaamisen aikana synny ulkoisesti kuormittavia voimia juurikaan, joten tällaisessa tilanteessa voidaan valita pehmeämpi materiaali. Jigit suunnitellaan siten, että tuotteen vaikeimmatkin muodot pystytään työstämään/mittaamaan mahdollisimman vähillä kiinnityskerroilla. Tuotteen koneistus hankaloituu huomattavasti, mikäli se joudutaan toteuttamaan useammalla kiinnityksellä, varsinkin jos tuotteen tulee olla erittäin tarkka mitoiltaan. Jigeissä tullaan työstämään samoja kappaleita yhä uudestaan ja uudestaan, joten olisi suotavaa suunnitella jigit siten, että koko jigi, tai vaihtoehtoisesti osa jigien komponenteista olisi kätevästi vaihdettavissa. Vaihto-osia olisi hyvä olla valmiina olemassa tai niiden valmistaminen olisi mahdollista suorittaa nopeasti. Mitä yksinkertaisempi jigi sen parempi. Yksinkertaiset jigit ovat edullisempia ja helppoja valmistaa. Jos jigi kyetään pitämään yksinkertaisena, mahdollisuudet useamman erilaisen kappaleen käyttöön kasvavat. (Venkataraman 2015, 26–33.)

3.3 Mittaaminen

Mittaaminen on perustyökalu luonnontieteiden kaikilla eri osa-alueilla ja tärkeä työkalu erilaisissa tutkimuksissa. Nykyään olemme riippuvaisia monista erilaisista mittauksista, oli kyseessä esimerkiksi laatuvaatimukset tai varsin arkinenkin asia, kuin ulkolämpötilan mittaaminen. Teknologian kehitys ajaa mittaamista jatkuvasti useampaan käyttökohteeseen ja mittaamiselta vaaditaan yhä enemmän. Teollisuus perustuu nykypäivänä laadukkuuteen ja toistettavuuteen. Näiden seikkojen onnistumiseen mittaaminen on avainasemassa. Kun kaikki edellä mainitut seikat toteutuvat on tuottavuuden mahdollista kasvaa. Mittausta suorittavan ja mittaustuloksia tulkitsevan henkilön tulee olla koulutettu kyseisen menetelmän tiimoilta, jotta tulokset ovat luotettavia ja, että mittaus ylipäätään suoritetaan onnistuneesti ja saadaan tulos/tuloksia. Mittaaminen vaatii monesti mitauskohtaisen ympäristön onnistuakseen. (Finkelstein 2004, viii-x.)

Mittaamisen juuret ulottuvat aina aikaan, kun ihminen on alkanut kommunikoida toisten ihmisten kanssa. Tuona aikana mitattaviksi kohteiksi asettuivat perustarpeiden jakaminen tasaisesti. Mittaamista on tutkittu vuosien varrella erittäin laajasti, sen ollessa perusedellytyksenä eri tieteenaloille, rakentamiselle ja monille muille teknisille ominaisuuksille. Mittaustulos on lähes aina poikkeuksetta ilmoitettu numeroarvolla, yksiköt mittaustuloksen perässä vain muuttuvat. (Regtien 2004, 1–2.)

Mittauksella tarkoitetaan mitattavan asian tai mittaustapahtuman ominaisuuksia eikä niinkään itse asiaa tai mittaustapahtumaa. Mitattavia ominaisuuksia on lukuisia. (Regtien 2004, 1–2.) Tässä kyseisessä projektissa mitattavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi lämpötila, pisteiden välinen etäisyys, pisteen etäisyys pisteistä luodusta tasosta, kahden tason symmetrimäisyys, pintojen tasomaisuus sekä useita kohtisuoruuksia. Jokaiselle mitattavalla ominaisuudella on oma referenssinsä. Esimerkiksi VTT:n (2023) mukaan metri määritellään seuraavalla tavalla: ”Metri on matka, jonka valo kulkee tyhjiössä $1/299\,792\,458$ sekunnissa. Tämä määritelmä kiinnittää metrin luonnonvakioon, valon nopeuteen tyhjiössä.” (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2023.) Kilon referenssinä on toiminut vuosia prototyyppipunnus, joka sijaitsi Ranskassa. Punnuksesta

kuitenkin luovuttiin vuonna 2018 ja kilogramman määrittely suoritetaan nykyisin Planckin vakion avulla. Yhteistä tämän viimeisimmän muutoksen jälkeen on, että kaikki perusyksiköt ja referenssit kyetään ilmoittamaan luonnonvakioiden avulla. (SFS ry 2019.)

Mittaaminen laajentuu jatkuvasti yhä enemmän tietokoneitten ohjelmistoihin pohjautuvaksi, joka vähentää omalta osaltaan manuaalista mittaamista. Ohjelmallisesti kyetään tuottamaan tarkempaa dataa mittauksesta ja mittaukset ovat huomattavasti nopeammin toteutettavissa, toistuvasti. Vaikka ohjelmistopohjaiset mittaustavat ovat valtaamassa kaikkia aloja, ei tule kuitenkaan unohtaa sitä seikkaa, etteivät ohjelmistot itsessään kykene totuttamaan muuta, kuin sille tarkasti asetetut tehtävät. Ohjelmiston käyttäjän on luotava mittaukseen soveltuvat parametrit, joilla kone kykenee operoimaan ”virheettömästi”. Käyttäjän on myös huolehdittava mitattavan kohteen ominaisuuksien vaikutuksesta mittaustapahtumaan, sekä poistettava mahdolliset mittausta haittaavat tekijät. Tästä lisää myöhemmin mittausepävarmuuden tarkastelussa. (Regtien 2004, 7.)

Vaikka nykypäivänä mittakoneet ja mittausmenetelmät ovat kehittyneet huimasti viimeisten vuosien ajan, mikään mitattu tulos ei ole absoluuttisen tarkka. Jokaisessa mittaustuloksessa ilmentyy mittausvirhettä. Mittausvirheellä tarkoitetaan absoluuttisen todellisen (ei tiedossa olevaa) mittaustuloksen ja mittalaitteella todetun tuloksen eroa. Tämä voidaan todeta, esimerkiksi mittaamalla jokin metallinen tuote kymmenen kertaa, eivätkä kaikki mitatut tulokset tule olemaan samoja. Kun mittausta toistetaan useamman kerran, voidaan mittaustulosten perusteella antaa karkea arvio mittausepävarmuudesta. (Keinänen & Järvinen 2014, 95.)

Keinäsen ja Järvisen mukaan: ”Mittausvirheet voidaan jaotella karkeisiin, systemaattisiin ja satunnaisiin virheisiin.” Karkealla virheellä tarkoitetaan virheitä, jotka johtuvat mittakoneesta, tietojen tallennuksessa tapahtuvasta virheestä tai käyttäjäperäisestä virheestä. Tämän tyyppiset virheet osoittautuvat mittaustuloksissa yleensä erittäin karkeana toleranssialueen ylityksenä tai alituksena. Kokenut mittalaitteen operoija tunnistaa nämä virheet hetkessä ja tekee tarvittavat toimenpiteet, jotta saadaan luotettava mittatulos. Yleisin tällainen virhe

metallituotannossa on likainen mitattava osa, sillä pienikin pölyhiukkanen aiheuttaa mittaustulokseen joitakin millin tuhannesosien heittoja. Mikäli mittausta suorittava henkilö ei kykene selittämään aiheutunutta mittauserhoa, ei tuloksia voida mitätöidä. (Keinänen & Järvinen 2014, 95.)

Systemaattisella virheellä tarkoitetaan toistuvaa virhettä, joka johtuu käytettävästä mittaustalitteesta ja/tai -menetelmästä. Systemaattiseksi virheeksi voidaan luokitella esimerkiksi mittaustalitteiden vääränlaisen tai huonoksi todetun kalibroinnin hyväksymisestä johtuva virhe. Esimerkiksi, jos edellä mainitun koordinaattimittakoneen mittakärkien kalibroinnissa ei huomioida huonoa kalibrointitulosta jonkin kärjen osalta, jokainen tällä kärjellä mitattu tulos on virheellinen. Virheellisesti kalibroitu kärki voi esimerkiksi ilmoittaa mittatuloksen aina liian pieneksi todelliseen arvoonsa nähden, kun mitataan kahden pisteen etäisyyttä toisistaan. (Keinänen & Järvinen 2014, 95.)

Satunnaisella virheellä kuvataan virhettä, joka esiintyy pääasiassa erittäin tarkkoilla mittakoneilla mittausta suorittaessa. Tämä virhe ilmoitetaan aina esimerkiksi koordinaattimittakoneen tiedoissa. Valmistaja ilmoittaa virhelukeman yleensä useammalle mitattavalle ominaisuudelle. (Keinänen & Järvinen 2014, 95.) Yleensä kuitenkin puhutaan vain pituuden mittaamisen virheestä, joka tässä työssä käytetyn mittalaitteen osalta voidaan ilmoittaa taulukon 1 avulla.

		7/7/6 to 7/10/6	9/12/8 to 9/16/8	10/12/6 to 10/16/6	12/18/10 to 12/24/10
Length measurement error ¹⁾²⁾ MPE complies with ISO 10360-2:2009	EO / E150 18 °C - 22 °C in µm	1.5 + L/350	1.6 + L/350	1.7 + L/350	2.1 + L/350
	EO / E150 18 °C - 26 °C in µm	1.5 + L/350	2.1 + L/350	1.7 + L/350	2.5 + L/350

Taulukko 1. Standardin ISO 1036-2:2009:n mukainen laskentataulukko. (Kuva: Zeiss 2018, 2)

Taulukko 1 ottaa kantaa pituusvirheen laskemiseen koordinaattimittakoneelle. L-kirjaimen paikalle sijoitetaan mitattava pituus ja tämän avulla voidaan laskea mittausepävarmuus Zeiss Conturan pituusmittauksille. Taulukon yläosassa on määritelty mitattavan kappaleen koko kullekin alempana olevalle laskukaavalle. Myös lämpötilalla on vaikutusta.

Mittausvirheitä aiheuttavat tekijät voidaan jakaa karkeasti neljään eri luokkaan: mittalaitteesta aiheutuva virhe, mittaajasta aiheutuva virhe, työkappaleesta aiheutuva virhe ja ympäristötekijöistä aiheutuva virhe. Mittalaitteesta aiheutuvia virheitä voivat olla muun muassa aiemmin mainittu kalibroinnin virheellisyys, ylipäättään kalibroimattomuus, mittalaitteen lämpeneminen, mittalaitteen komponenttien likaisuus tai rikkoutuneet/kuluneet komponentit. Mittalaitetta tulee huoltaa ja kalibroida aika-ajoin, jotta tulokset pysyvät luotettavina ja mittausepävarmuus saadaan todettua luotettavasti. Jos mittalaite toimii kosketusmittauksella, on olennaista säätää kosketusparametrit oikein. Liian kova kosketusvoima voi pahimmassa tapauksessa rikkoa mittalaitteen tai vaurioittaa mitattavaa kappaletta. (Keinänen & Järvinen 2014, 96.)

Merkittävin tekijä mittausvirheen syntyessä on itse mittaaja. Mittaajalla on suurin vastuu koko mittausprosessissa. Mittaajan tulee olla hyvin koulutettu työhönsä, jotta voidaan tuottaa luotettavia mittaustuloksia. Mittaajan tulee osata tulkita mitaustuloksia. Jos mittaajalla ei ole asiantuntemusta hän voi tietämättään hyväksyä tuotteen, joka ei täytä laatuvaatimuksia. Myös mittaajan henkisillä ja fyysisillä ominaisuuksilla on iso merkitys mittauksen lopputulemaan. Mikäli henkilö ei ole motivoitunut, voi hän laiminlyödä mitattavien kohteiden huolellista käsittelyä, puhdistamista ja mittakoneelle asettelua. Henkilö saattaa myös laiminlyödä mittauslaitteen käytön periaatteet samalla rikkoen mittalaitteen tai mitattavan kohteen. Myös mittaajan näkökyky on merkittävä osa luotettaviin mittatuloksiin. (Keinänen & Järvinen 2014, 96.)

Työkappaleesta johtuvat mittavirheet ovat yleisiä, jos pinnanlaadun kanssa on merkittäviä ongelmia tai tuotteissa esiintyy suuria muotovirheitä. Erilaiset materiaalitkin voivat tuottaa ongelmia mitatessa ominaisuuksiensa johdosta. Muoveja mitatessa tulee ottaa huomioon materiaalin joustavuus. Työkappaleet voivat olla mittauksen osalta väärän lämpöisiä. Metallikomponentteja mitatessa lämpötilan tulisi olla 20°C. Mikäli tämä lämpötila ei toteudu, voidaan esimerkiksi käyttää lämpötila-antureita, jotka kiinnitetään mitattavaan kohteeseen. Lämpötilan hallinnasta aiemmin lisää ”koordinaattimittakone”-osiossa. Mittaajalla on suuri vaikutus myös tämän osion virheisiin, sillä suurimmat virheet ovat ehkäistävissä jo

silmämääräisesti tai lämpötilan mittaamisella kappaleesta. Kappale voidaan joutua mittaamaan hankalassa asennossa, joka tulee ottaa huomioon mittausprosessia suunnitellessa. (Keinänen & Järvinen 2014, 96.)

Ympäristöstä johtuviksi tekijöiksi voidaan sisällyttää esimerkiksi valaistuksen puutteellisuus tai päinvastoin liika valaistus. Tämä ilmenee erityisesti optisilla mittalaitteilla. Mittalaitteiden sijoittelu on avainasemassa luotettavaan mittatulokseen pääsemiseen. Monesti koordinaattimittakoneet ”kelluvat” omalla valetulla alustallaan, mutta jos lähistöllä on suuri jyrsinkone voi värähtelystä aiheutua suuriakin poikkeavuuksia mittaustuloksissa. Mikäli mittauslaite on tuotannon tiloissa, ongelmaksi voi muodostua myös puhtausseikat. Mittausolosuhteet tulisivat olla erittäin puhtaat, kun vaaditaan luotettavia tuloksia. Monet mittaukset kestävät pitkän ajan. Lämpötilan ei tulisi muuttua tämän aikana juuri lainkaan. Mittaukset vaativat lähtökohtaisesti kontrolloidun tilan. (Keinänen & Järvinen 2014, 97.)

4 Opinnäytetyössä käytetyt menetelmät

Opinnäytetyössä käytettiin Ulrich-Eppingerin suunnittelumallia. Malli on ideologialtaan peräkkäismalli, jossa suunnittelun eri vaiheet suoritetaan yksi vaihe kerrallaan vaihe toisensa jälkeen. Malli koostuu kuudesta eri vaiheesta: 1) tuoteohjelman suunnittelu, 2) konseptisuunnittelu, 3) systeemisuunnittelu, 4) detajisuunnittelu, 5) testaus ja 6) tuotteen lanseeraus ja tuotannon käynnistäminen. (Hietikko 2021, luku 3.)

Tuoteohjelman suunnittelussa asetetaan tuotestrategia yrityksen linjausten mukaisesti, samalla asettaen tavoitteet lopputulokselle. Joskus ensimmäisessä työvaiheessa joudutaan pohdiskelemaan, onko projektia järkevää toteuttaa. (Hietikko 2021, luku 3.)

Konseptisuunnittelussa selvitetään asiakastarve. Asiakastarpeiden selvityksen ohessa saadaan selvitettyä tuoteominaisuudet, joista voidaan asettaa

tuotespesifikaatiot. Tuotespesifikaatiot mittaavat tuotteen ominaisuuksia. Konseptisuunnittelussa siirrytään myös luovaan ideointivaiheeseen, jossa ilmoille heitellään kaikki ideat mitä mieleen tulee. Viimeisenä konseptisuunnittelussa todetaan mahdolliset osaongelmat ja päätetään millä idealla jatketaan kehitystyötä. (Hietikko 2021, luku 3.)

Systemisuunnittelussa syvennyttään konseptisuunnittelussa valittuun ideaan ja jatkojalostetaan sitä. Tässä suunnittelun vaiheessa pyritään synnyttämään moduuleita, jotta tuoterakenteesta pystyttäisiin tekemään samalla yksinkertaisempi ja monikäyttöisempi. (Hietikko 2021, luku 3.)

Detaljisuunnittelussa siirrytään yksityiskohtien suunnitteluun. Lopputuloksena detaljisuunnittelussa syntyy kokoonpanon jokaisesta osasta valmis malli/hahmotelma. Työvaiheessa lyödään lukkoon myös materiaalivalinnat ja kaikki työvaiheet. (Hietikko 2021, luku 3.)

Testausvaiheessa prototyyppiä testataan tuotteen toiminnan näkökulmasta ja tutkitaan, voidaanko valmis tuote valmistaa edullisesti. Prototyypitarkastelu voidaan korvata tilannekohtaisesti esimerkiksi 3D-mallin tai pienoismallin analysoinnilla. (Hietikko 2021, luku 3.)

Tuotteen lanseeraus ja tuotannon käynnistämisvaiheessa ensimmäinen erä valmistetaan, samalla työntekijöitä kouluttaen ja opastaen. Työvaiheessa tutkitaan, että kaikki työvaiheet toimivat toivotulla tavalla. (Hietikko 2021, luku 3.)

5 Valmistusvaiheiden kuvaus

5.1 Suunnittelu

Tarkoituksena oli valmistaa jigikokoonpano, jolla saataisiin mitattua mahdollisimman monta samanlaista osaa "X" yhdellä mittausjaksolla. Suunnitteluvaihe aloitettiin ottamalla selvää mittakoneen liikkeiden rajoitukset ääriasennoissa.

Samalla tuli ottaa huomioon käytössä oleva mittauskärki ja sen rajoitukset. Myös mittakoneen pöydällä oleva mittakärkipaletti tuli ottaa huomioon ja pelata varman päälle sen suhteen, ettei mittausta tehdessä mittakärki törmäisi missään nimessä kärkipalettiin. Aluksi päädyttiin ratkaisuun, jossa mitattaisiin tuotteita neljän jigien avulla ja yhdessä jigissä tulisi olemaan yksitoista kappaletta tuotetta "X". Tämä idea kuitenkin muuttui myöhemmin, kun saatiin lupa ostaa ja koota aivan uusi mittakärki, jolla olisi vähemmän rajoitteita liikkeidensä kanssa. Vaihdettiin käytettäväksi mittakärjeksi samanlainen SX030_050-tähtipää kuin aiemmin, mutta tässä mittapäässä käytettäisiin viiden mittaussakaran sijasta vain kahta, sillä kolme muuta sakaraa ovat ylimääräisiä, eikä niitä ohjelmassa tulisi käyttämään. Tämä uudistus mahdollisti jigien sijoittamisen huomattavasti lähemmäs toisiaan. Näin ollen mitattavalle alueelle saadaan mahtumaan viisi jigistä vierekkäin. Yhden jigien mitattavien paikkojen määrä vähennettiin yhdestätoista kymmeneen. Saatiin mitattavien tuotteiden määräksi tasaluku viisikymmentä.

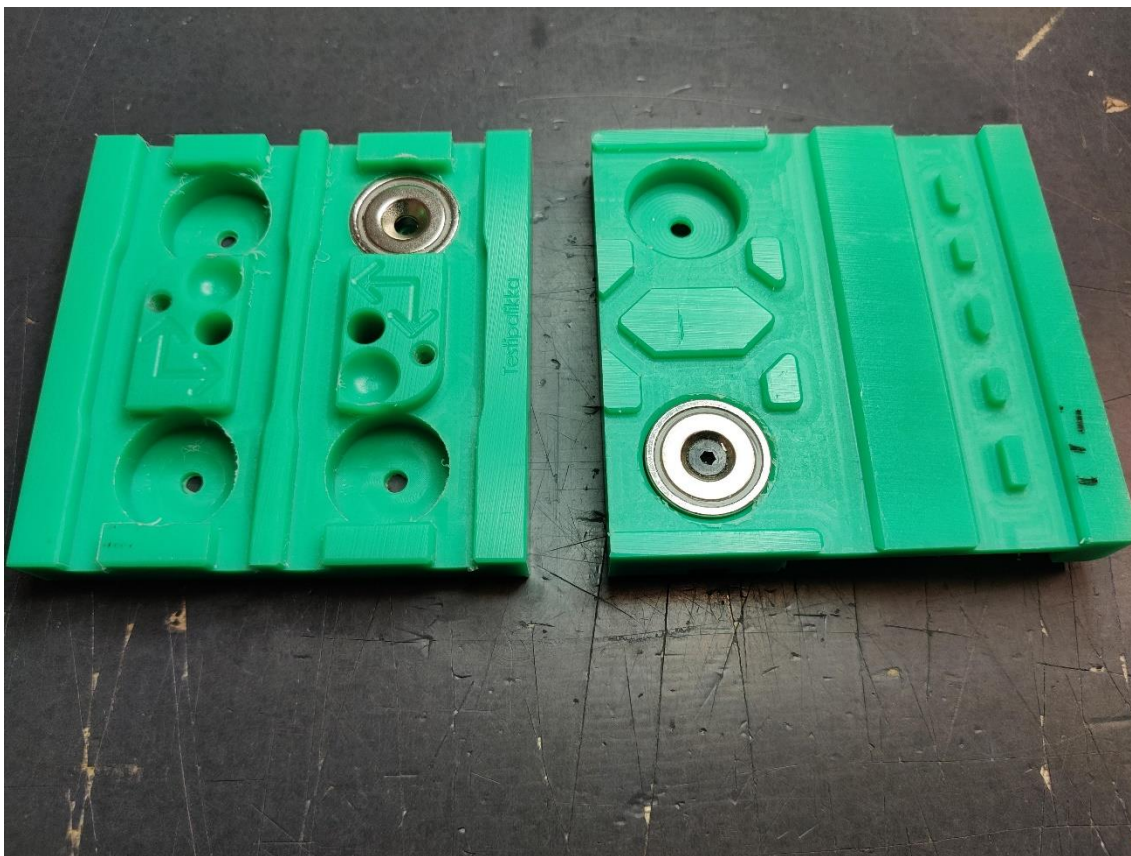
Mittajigit vaativat toimiakseen palettilevyn ja tolpat, joiden päälle jigit tultaisiin sijoittamaan. Paletti haluttiin mahdollisimman kompaktiksi ja yksinkertaiseksi. Paletti suunniteltiin myös siten, jotta sitä voitaisiin käyttää muidenkin osien mittauksessa jigejä vaihtamalla. Tolpat suunniteltiin aluksi kuusikulmion muotoiseksi lieriöksi, mutta Fodescolta sattui löytymään PE-muovista valmistettuja tappeja, joita voitaisiin pienen korjauksen jälkeen käyttää suoraan kokoonpanossa.

Suunnitteluvaiheessa hyödynnettiin Ulrich-Eppingerin suunnittelumallia, tarkemmin tuoteohjelman suunnittelua yrityksen linjauksen mukaisesti ottamalla huomioon mittakoneen ominaisuudet. Tavoitteeksi asetettiin mallin mukaisesti lopputulema, johon suunnittelun muilla vaiheilla halutaan päästä, eli valmiiseen jigikokonaisuuteen. Konseptisuunnittelua sivuttiin myös jo ensimmäisessä valmistusvaiheessa, kun pohdittiin rajoittavia tekijöitä, sekä ideoitiin mitä osia kokoonpanossa tulisi olla.

5.2 Materiaalinvalinta

Materiaaliksi kaikille kokoonpanon osille valikoitui muovi, pois lukien pultit ja kierreinsertit. Muovi todettiin sopivaksi raaka-aineeksi jigille, paletille sekä jigin tolpile, edullisen hintansa ja materiaalin keveyden takia. Suoritettiin koneistus- testejä kahdelle erilaiselle muoville. Nämä muovilaadut olivat polyasetaali (POM) ja polyeteeni (PE). Molemmat osoittautuivat erittäin laadukkaiksi muoveiksi koneistamisen näkökulmasta, joskin PE-muovi sulii hieman helpommin ja jätti jälkeensä ”karvamaista” säiettä (kuva 3). Tämä johtuu PE:n kohtalaisen huonosta lämmönkestosta (Taulukko 2). Sulamisesta päästiin eroon kuitenkin varsin helposti muokkaamalla hieman koneistamisparametrejä. Pienennettiin hieman syöttönopeutta terän liikkeelle ja loput säikeet, mikäli niitä jäi muutama viisteisiin, saatiin poistettua simppelellä raaputtamalla. Testiajojen ideana oli tarkoituksena testata, riittäisivätkö huomattavasti halvemmän PE-muovin koneistusominaisuudet jigien vaatimalle tasolle. Todettiin, että PE-muovi sopii kyseiseen projektiin erittäin hyvin. Kaikki jigien vaatimat koneistuksella tehdyt muodot onnistuivat vaivatta molempiin muoveihin (kuva 2). PE oli myös huomattavasti keveämpää pienemmän tiheydensä ansiosta verrattuna POM:iin. Tämä auttaa kokoonpanon liikuttelussa. PE ei myöskään ime kosteutta itseensä yhtä paljon kuin POM, joka saattaisi pitkällä aikavälillä aiheuttaa muutosta ilmankosteuden vaikutuksesta. Muovien vanhenemisen vaikutukset jigissä tulevat selviämään vasta myöhemmin, jopa vuosien päästä.

Materiaalivalinnan valmistusvaiheessa hyödynnettiin aiemmin mainittua Ulrich-Eppingerin suunnittelumallia. Konseptisuunnittelun avulla heiteltiin ideoita kokoonpanon osien mahdollisista materiaaleista. Seuraavana siirryttiin detajisuunnitteluun, jossa valittiin käytettävä materiaali. Systemisuunnittelun vaihetta materiaalinvalinnassa ei ollut, koska materiaalinvalinta- ja mallintamistyövaiheet suoritettiin limittäin samanaikaisesti ja systemisuunnitteluvaihe sijoittuu mallintamisvaiheeseen.



Kuva 2. Testattiin erilaisten muotojen koneistusta. Kuvassa molemmat osat PE-muovia. (Kuva: Markus Kähkönen).

Kuvassa 2. näkyy upotuksiin sijoitetut magneetit. Magneetit pitävät tuotteen "X" paikallaan mittauksen ajan. Testijigit testattiin mittauksessa, sijoittaen testijigi mittauspöydälle mittauksornin päälle, puristimella kiinnittäen. Jigit suoriutuivat testimittauksesta ongelmitta. Todettiin jigit muoto toimiviksi mittausta varten ja valittiin kuvan 2. oikeanpuoleinen ratkaisumalli valmistettaviin jigeihin.



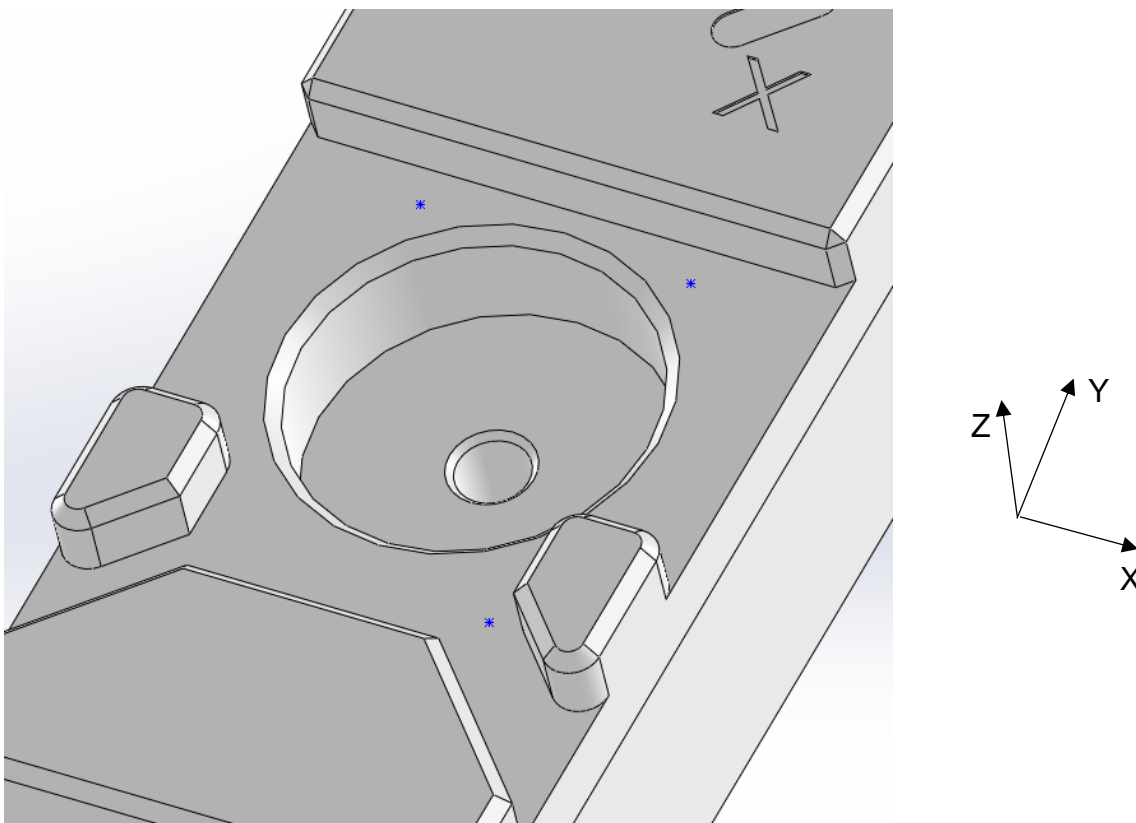
Kuva 3. Koneistuksesta aiheutuneita säikeitä
(kuva: Markus Kähkönen)

	PE-HD	POM-C
Tiheys (g/cm³)	0,95	1,41
Sulamislämpötila (°C)	131	166
Lämpölaajenemis- kerroin (10⁻⁴/°C)	1,3	1,1
Vetomoduuli (MPa)	950	2900
Myötöraja (MPa)	26	65
Venymä myötörajalla %	10	8,5
Kierrätettävyys	Kyllä	Kyllä
Kosteuden imeytymi- nen %	0,01	0,2

Taulukko 2. Materiaalivertailua PE:n ja POM:n välillä (MET 2001, 40 & 58)

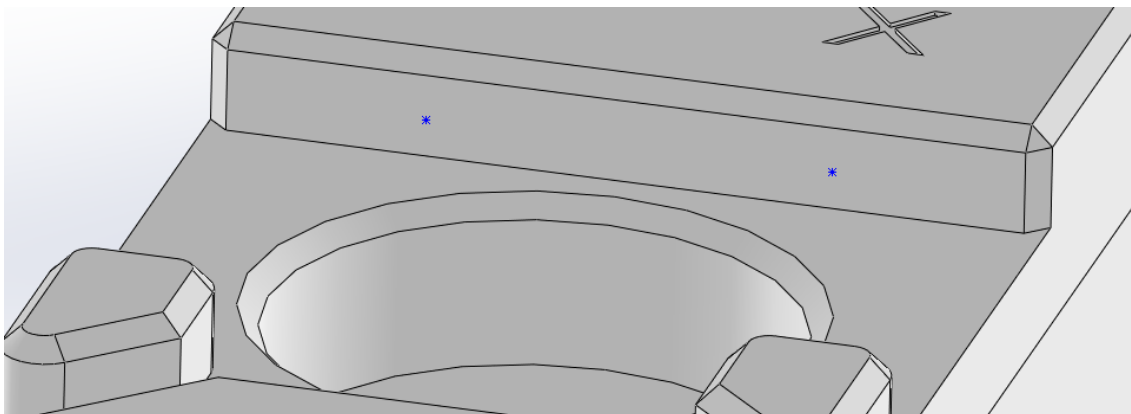
5.3 Mallintaminen

Aikaisempien testien perusteella jigille saatiin havainnointua mitattavaa tuotetta tukeva mallinnusratkaisu. Mallinnuksen periaatteena käytettiin 3-2-1-tuontaa. Pinta, jossa myös magneetin ylätaso tuli olemaan, tukee kappaletta kolmella pisteellä ja lukitsee mittauskoordinaatistossa Z-akselin negatiivisen paikoituksen kappaleelle. Positiivisen liikkeen estää magneetin vetovoima. (Kuva 4)



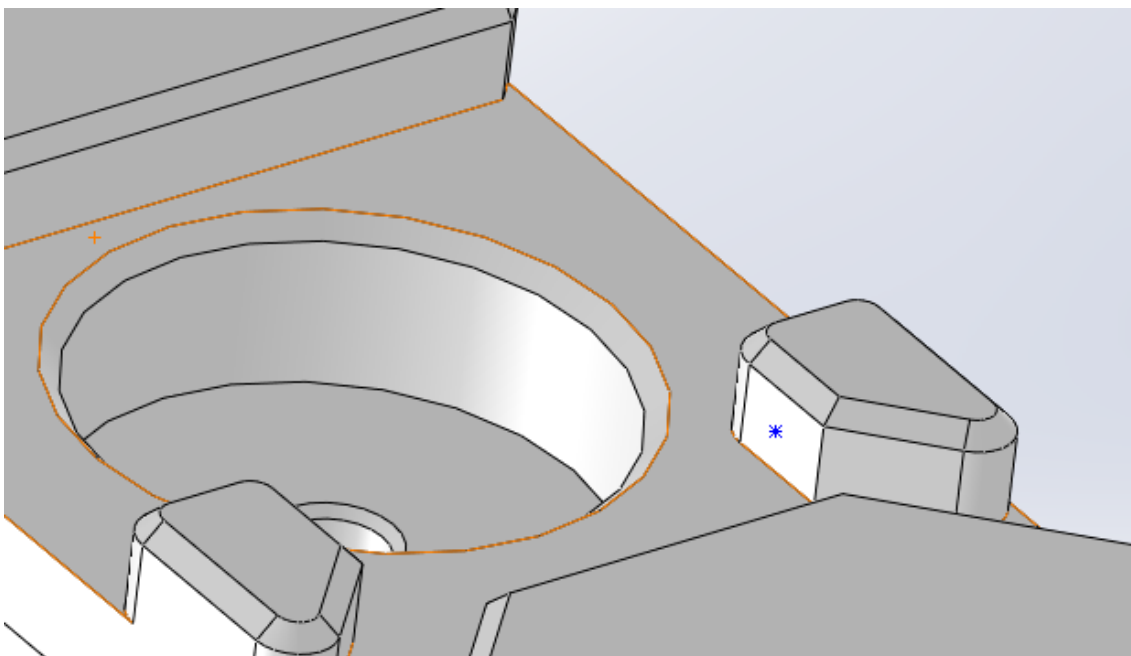
Kuva 4. Hahmotelma esimerkkituontapisteistä, joihin jigiiin sijoitettava tuote mahdollisesti tulisi osumaan ja paikoittumaan samalla lukiten Z-tason suunnan liikkeen. (Kuva: Markus Kähkönen)

Mittauksen paikoituksen Y-akselin positiivinen ja negatiivinen liike tulitisiin lukitsemaan etu- ja takaseinällä kahdella pisteellä tuettuna. (Kuva 5)



Kuva 5. Hahmotelma esimerkkituentapisteistä, joihin jigiin sijoitettava tuote mahdollisesti tulisi osumaan ja paikoittumaan samalla lukiten Y-suunnan positiivisen liikkeen. (Kuva: Markus Kähkönen)

Viimeisenä lukitaan X-akselin liike tukemalla pieniin koneistettuihin saarekkeisiin. (Kuva 6)

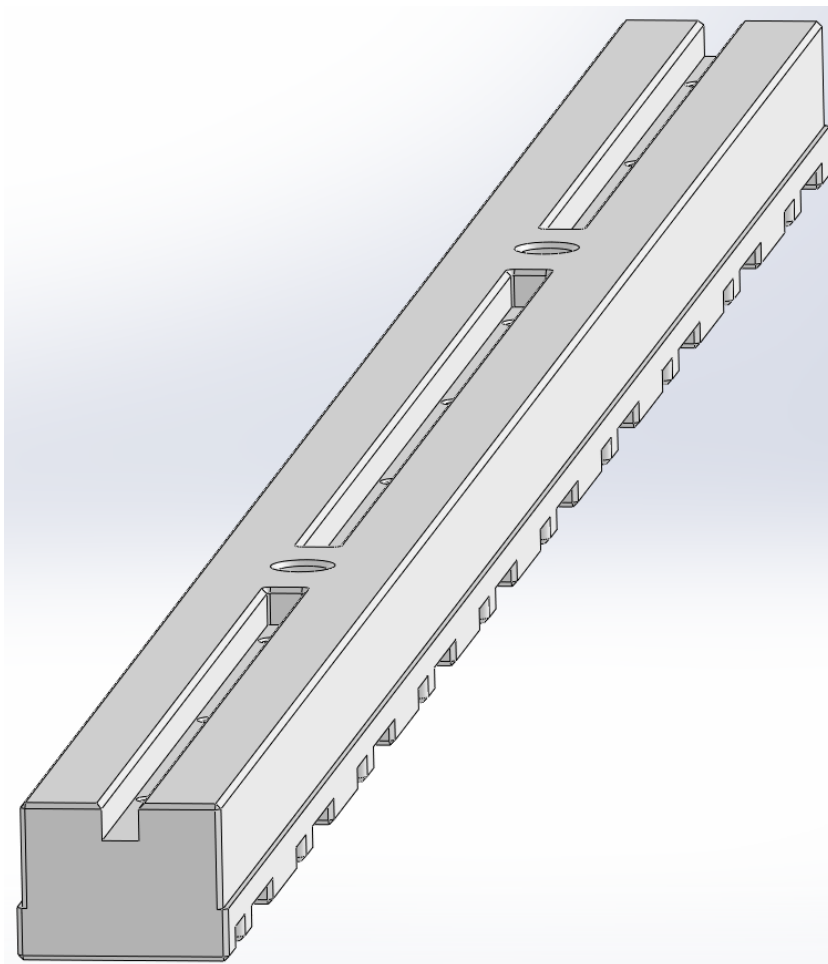


Kuva 6. Hahmotelma esimerkkituentapisteistä, joihin jigiin sijoitettava tuote mahdollisesti tulisi osumaan ja paikoittumaan samalla lukiten X-suunnan positiivisen liikkeen. (Kuva: Markus Kähkönen)

Tuotteen paikat on mitoitettu sen verran tarkasti, ettei tuotteille jää liikkumavaraa kuin muutamia millin kymmenesosia. Vaikka mitoitus on suhteellisen tarkka, se on suunniteltu toimimaan aina kyseisten tuotteiden osalta. Jos tuote ei mahdu sille varattuun koloon, voidaan suoraan tai viimeistään työntömitalla

mitattua todeta, ettei tuote täytä kokonaismoitoiltaan vaadittuja toleranssivaatimuksia.

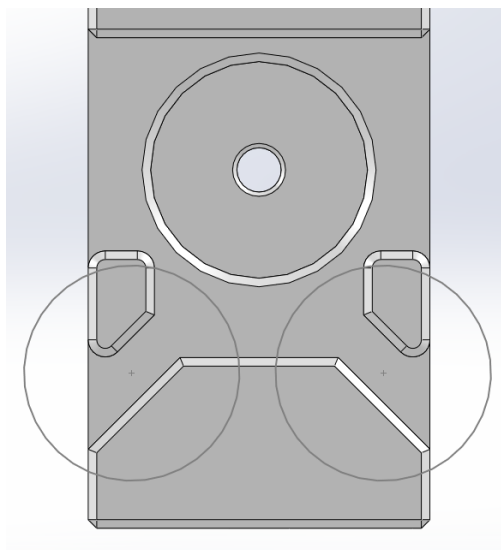
Jigiin mallinnettiin x/y-koordinaatisto havainnollistamaan, kuinka jigi tulee sijoittaa CMM:n mittapöydälle. Jigin pohjapuolelle mallinnettiin ura. Uran ideana on helpottaa magneetin kiinnityksessä käytettävän pultin ja mutterin kiristystä. Mutteri voidaan sormella painaa koloon, lukiten mutterin pyörittämisen. Samalla ruuvataan yläpuolelta pulttia.



Kuva 7. Pohjapuolen ura, joka helpottaa kokoonpanon kasaamista. (Kuva: Markus Kähkönen)

Vinoin syvennyksiin (kuva 8.) päädyttiin kahdesta eri syystä. Ensimmäisenä syynä on magneetin koko, joka vaikutti pieniin sivuilla olevien saarekkeiden sijoitteluun ja kokoon. Ei voitu siis käyttää kuvassa 1. vasemmanpuoleisen testipalikan saareketyyppejä ja jouduttiin siirtämään saarekettä pois päin magneetista. Toisena syynä on, että saarekkeen ja seinän risteymäkohtaan ei myöskään

haluttu jättää materiaalia, koska tämä aiheuttaisi koneistuksessa nurkkaan jäävän pyöristyksen. Näin ollen tuote ei olisi asettautunut halutulla tavalla jigisiin. Avonaisesta muodosta koneistusta varten ja vaadittujen saarekkeiden takia avaus päätettiin tehdä vinoon ja tarpeeksi leveäksi, jotta se olisi koneistuksessa mahdollista suorittaa samalla terällä kuin muiden samalla Z- korkeudella olevien pintojen koneistus. Uran avaus ei olisi kuitenkaan saanut olla liian leveä, sillä tuotteen muodon vuoksi se ei olisi välttämättä kestänyt halutussa paikassa mitausta aloittaessa.



Kuva 8. Mallinnetut vinot syvennykset helpottavat koneistusta. (Kuva: Markus Kähkönen)

Jigin sivuseinään toteutettiin myös ”kevennys”. Kevennyksellä on kaksi funktiota tässä jigissä. Ensimmäinen funktio: Sivuseinät jigissä halutaan koneistaa tarkaksi, sillä mittaohjelmassa tulee jokainen jigi ”ottaa ylös” eli suunnata. Suuntaaminen haluttiin toteuttaa ottamalla pisteitä sivuseinistä, yhdestä päädyistä sekä yläpinnasta. Toinen funktio: Sivuseinän kevennetty osio toimi koneistuksen kiinnityspintana. Tähän pintaan tulisi jäämään jälkiä, mutta koska pinta ei toimi ylösottopintana, eikä sillä ole muuta käyttötarkoitusta, pintavauriot eivät tulisi haittaamaan.

Paletti mallinnettiin hyvin yksinkertaiseksi ja kompaktiksi. Paletin käyttötarkoituksena on toimia aluslevynä, johon tulee tolpat kiinni jigejä varten. Palettiin ei näin ollen mallinnettu muuta, kuin reiät kiinnityspulteille mittakoneen kivipöytään

sekä reiät pulteille, joilla kiinnitetään tolpat palettiin. Tolpat mallinnettiin valmiina olevia aihiota apuna käyttäen. Kaikki mallinnukset lopetettiin tekemällä kaikista komponenteista 2D-piirustukset. (2D-piirustukset: Liite 1)

Mallinnus ja materiaalinvalinta suoritettiin samanaikaisesti. Mallinnuksen valmistusvaiheessa hyödynnettiin Ulrich-Eppingerin suunnittelumallia systeemisuunnittelun osalta. Tässä työvaiheessa luotiin suunnittelumallin mukaisesti moduuleja. Esimerkiksi palettia ja kiinnitystolppia voitaisiin käyttää erilaisten mittausjigien kanssa tulevaisuudessa. Mallintamisvaiheessa myös tutkittiin syvällisemmin valittuja ratkaisuja ja lähdettiin jalostamaan niitä valmiiksi malleiksi. Valmiiden mallien vaihe sisältyy Ulrich-Eppingerin suunnittelumallin detaljisuunnitteluvaiheeseen. Samaan vaiheeseen sisältyy loppujen työvaiheiden lukkoon lyöminen, sekä yksityiskohtien suunnittelu ja niiden mallintaminen valmiiksi.

5.4 Ohjelmointi

Ohjelmoinnissa käytettiin GibbsCam-nimistä tietokoneohjelmaa. Ohjelmalla tehdään koneistusradat aiemmin luodun 3D-mallin piirteiden perusteella. Ennen tietokoneelle siirtymistä kuitenkin tuli valita käytettävät työstöterät. Koska työstettävänä materiaalina on muovi, ei voitu käyttää Fodescolla yleisessä käytössä olevia teriä muihin toimenpiteisiin kuin porauksiin ja viisteisiin. Aiemmin testivaiheessa käytettiin kupariteriä, jotka osoittautuivat erinomaisiksi myös muovin koneistamiseen. Terät olivat kaksi- ja kolmileikkuisia teriä, joissa ainoastaan merkkaukseen käytettävässä terässä oli pyöristetty pallomainen muoto.

Aiempien testiajojen perusteella pystyttiin muokkaamaan koneistusarvot varsin tarkasti. Pääasiassa muotojen koneistukseen käytettiin kierroslukemana reilua 10 000 rpm ja syöttönä 2000 mm/min. Porauksissa arvoja laskettiin roimasti. Koneistettaviin kappaleisiin suunniteltiin työvaroiksi jokaiseen pintaan 3 mm ja tämän mukaiset muoviaihiot myös tilattiin. Koneistukseen valittiin kiinnitystavaksi puristimet, jotka ovat magneetilla kiinni magneettipöydässä. Puristimia

haluttiin asettaa pöydälle neljä kappaletta. Tällä varmistetaan aihion paikallaan pysyminen ja taipumisen estäminen, aihoiden ollessa erityisen pitkiä ja ohuita.

Ohjelmointi aloitettiin paikoittamalla kappale puristimiin ja puristimet magneettipöydälle. Nollapisteeksi asetettiin jigin keskelle x- ja y-suunnassa, sekä yläpintaan (huom. ei aihion vaan valmistuvan kappaleen yläpinta). Kun nolla saatiin sijoitettua halutulle paikalle, voitiin aloittaa ratojen teko. Radat muodostetaan kaikessa yksinkertaisuudessaan ottamalla geometrioita itse tuotteesta ja valitsemalla yhden tai useamman suljetun geometrian viivat. Viivojen avulla voidaan määrittää pintoja ajettavaksi joko suljetun geometrian sisä- tai ulkopuolelta, sekä itse geometriaviivaa pitkin. Jyrsitään myötäjyrsinnällä, jolloin syöttöliike on samansuuntainen kuin pyörintäsuunta. Varsinainen ohjelmointi aloitettiin jigin pohjapuolelta, koska kylkien alaosaan on tehty kevennys, josta voidaan koneistettava kappale kiinnittää välittämättä kiinnityspintaan jäävistä jäljistä, kun suoritetaan yläpuolen muotojen ajo. Aluksi työstettiin työvarat pois, ensin ajamalla 0,2 mm päähän ja tämän jälkeen oikeaan mittaan. Tämä työvara ajettiin kaikkiin muotoihin, ennen viimeistelylastun ajoa. Porauksissa ei jätetty varoja, vaan reiät ajettiin suoraan mitoilleen.

Viimeisenä ohjelmana tehtiin toiselle työstökoneelle paletin ohjelma. Ohjelma piti sisällään vain kaksitoista porausta ja nopeat jyrsinnät ja viisteiden teot pulvinkantojen upotuksille. Paletin ulkolaitoihin ei pystytty viisteitä tekemään kiinnitystavasta johtuen, mutta nämä olisi mahdollista tehdä jälkikäteen esimerkiksi käsityökaluilla.

Työnjäljet tarkastutettiin kokeneemmalla ohjelmoijalla. Ensimmäisen tarkastuskerran jälkeen muutoksia tuli toteuttaa muun muassa lähestymisiin ja koneistusarvoihin. Toisen tarkastuskerran jälkeen kaikki ohjelmat todettiin toimiviksi, ja lopulliset mahdolliset säädöt olisi mahdollista toteuttaa työstökoneella työskennellessä. Ohjelmat siirrettiin lopuksi työstökoneille.

5.5 Jigien, paletin ja tolppien koneistaminen valmiiksi

Koneistusvaihe aloitettiin asettamalla neljä puristinta jyrshintäkoneen magneettipöydälle. Puristimet asetettiin riviin ja ne sijoitettiin luodun asetuskuvan mukaisesti. (Asetuskuvat: Liite 2.) Puristimet aseteltiin suoraan linjaan vatupassia apuna käyttäen. Tämä asettelu ei kuitenkaan saavuttanut vielä haluttua tarkkuutta puristimien välille, joten niiden paikoitukseen käytettiin apuna työstökoneessa olevaa mittakärkeä. Kun puristimet saatiin haluttuun paikkaan, voitiin asettaa ensimmäinen muoviaihiho ajoon. Ensimmäisen puolen ajot onnistuivat varsin mainiosti kaikkiin paitsi yhteen aihioon. Onneksi aihioita oli tilattu muutamia varakappaleita mahdollisten susikappaleiden varalle. Yksi kappale epäonnistui, koska aihio oli epähuomiossa jäänyt yhden puristimista yläpuolelle. Koneistus kerettiin aloittaa ja heti ensimmäisessä työvaiheessa huomattiin materiaalia poistuvan liian paljon ja ajo keskeytettiin.

Kun kaikki ensimmäiset puolet oli koneistettu valmiiksi, ilmeni muutama ongelma. Ensimmäisenä ongelmana todettiin, etteivät pultin reiät olleet puhjenneet läpi asti. Näistä rei'istä olisi ollut vaivatonta ottaa kappale ylös toisen puolen koneistuksen alussa. Reiät olivat kuitenkin vaivattomia puhkaista läpi akkuporakoneella, jolla myös siistittiin läpimenoaukon reunat viisteterää apuna käyttäen. Toinen ongelma oli, kun oli ajateltu, että rouhintäkoneen mittakärki olisi yltänyt ottamaan kappaleen ylös ajetusta pinnasta. Näin ei kuitenkaan käynyt, sillä korko mistä kappale oli kiinnitetty ensimmäisen puolen ajossa, oli vielä niin leveä, ettei mittakärki osunut mittauskuulalla kappaleeseen, vaan mittakärjen varsi osui kappaleeseen ensin. Jälkeenpäin ajateltuna olisi ollut syytä ohjelmoida kappaleisiin ylösottotasot toisen puolen koneistusta varten. Jouduttiin tekemään korjausohjelma, jolla ajettaisiin ensimmäisen puolen koneistuksesta ylimääräiseksi jäänyt "lippa" lähemmäksi valmista pintaa, jotta mittakärjellä saataisiin suunnattua kappale. Ohjelmanmuutoksen ja korjauksien jälkeen päästiin ajamaan toisen puolen koneistuksia. Ensimmäinen kappale kuitenkin meni suuteen, sillä kappaletta ei ollut kellotettu tarpeeksi suoraan ja toisen puolen ajot eivät olleet samansuuntaisia ensimmäisen puolen ajon kanssa. Virheistä

oppineina saatiin koneistettua loput jigit ja lisäksi yksi kokonaan alusta asti tehty jigi saatiin onnistuneesti valmiiksi.

Paletin koneistus sujui ongelmitta. Yksinkertaisuudessaan koneistus aloitettiin asettamalla aihiolevy koneeseen kiinnitysleukoihin. Asetettiin levy keskelle puristimia ja merkattiin levyn nollapiste. Otettiin levy ylös ensimmäiseltä puolelta sen ulkolaidoista. Ylösoton jälkeen tarkistettiin nollapiste ajamalla ohjelmallisesti mittauskärki nollapisteeseen, jolloin voitiin todeta tussilla merkatusta nollapaikasta ylösotto onnistuneeksi. Suoritettiin ykköspuolen ajo ongelmitta. Tarkistettiin työnjälki ja todettiin sen olevan mainio. Levy irrotettiin koneesta ja käännettiin ympäri, jotta voitiin koneistaa puuttuvat pultinkannan upotukset ja viisteet toiselle puolen levyä.

Kuten aiemmin ”suunnittelu”-osiossa mainittiin, tolpat löytyivät Fodescolta puoli-valmiina. Tolppia lyhennettiin haluttuun mittaan, jonka jälkeen niiden keskelle porattiin reiät läpi. Reikien molempiin päihin sijoitettiin kierreinsertit. Kierreinsertit asetettiin paikoilleen lämmittämällä niitä, jonka jälkeen ne voitiin painaa suoraan paikoilleen muovia sulattaen. Sula muovi myös näin ollen hakeutui insertin ympärille, ja jäähtyttyään se toimi ikään kuin liimana. Jälkeenpäin ajateltuna olisi ollut järkevämpää tehdä tolppien reikiin kierre, johon insertti olisi sitten kierretty ja liimattu paikoilleen. Tämä olisi ollut järkevämpi tapa, sillä kierreinserttejä oli hankala saada suoraan sulattamalla. Pienen muokkaustyön avulla suoristaminen onnistui kuitenkin niin hyvin, ettei työvaihetta tarvinnut tehdä uudestaan. Inserttien ollessa paikoillaan kiinnitettiin jokainen tolppa vielä yksitellen kolmi-leukapakkaan. Tämän jälkeen ajettiin työstökoneella molemmat päät puhtaaksi ja suoraksi, sekä kaikki tolpat tarkasti samanmittaiseksi toisiinsa nähden.

Viimeisenä vaiheena kokoonpantiin kokonaisuus, asetettiin se mittapöydälle ja testattiin komponenttien yhteensopivuus ruuvaamalla kaikki komponentit paikoilleen. Hieman jopa yllätyksellisesti, kaikki osat loksahivat suoraan omille paikoilleen ilman sen kummempia haasteita. Voitiin siirtyä seuraavaan työvaiheeseen ilman korjaustoimenpiteitä.

Koneistamistyövaiheessa käytettiin apuna Ulrich-Eppingerin suunnittelumallin tuotteen lanseeraus ja tuotannon aloitus vaihetta. Tuotanto aloitettiin, kun kaikki suunnitteluvaiheet olivat valmiina ja voitiin aloittaa fyysinen työskentely. Työskentelyn yhteydessä neuvottiin koneistajaa millä tyylillä tuotteet haluttiin valmistaa ja seurattiin muutenkin työskentelyä, sillä kyseessä oli tuotetyyppi, jollaista ei ollut aiemmin valmistettu.

5.6 Mittaohjelman teko

Mittaohjelman teko aloitettiin ostamalla ja fyysisesti kokoamalla uusi mittauskärki, jossa tulisi olemaan vain kaksi sakaraa. Sakarat olivat helposti liitettävissä mittakärkeen simppelellä kierittämällä paikoilleen. Mittakärki tuli ”ajaa sisään” mittakoneelle, monien vaiheiden avulla. Kun mittakärki oli luotu, nimettiin se ”SX30_MOD_052”-nimiseksi. Nimessä SX tarkoittaa tähtipäätä, 30 tarkoittaa mittauskärjen kuulan kokoa, MOD lisäliitettä ja lyhennettä sanasta ”Modified” ja 052 tarkoittaa mittakärkien pituutta. Tämän jälkeen mittakärki kalibroitiin ja lisättiin olemassa olevaan kalibrointiohjelmaan, jossa kalibroidaan jokainen mittakärki.

Tämän jälkeen siirryttiin tietokoneelle. Sama mittakärjen luominen tuli suorittaa simulointikoneelle, jotta sitä voitaisiin käyttää mittaohjelman luonnissa. 3D-mallit tuotiin Calypso-mittaohjelmaan .sat-tiedostona. 3D-mallit jouduttiin kääntämään Solidworksilla oikeaan tiedostomuotoon. Kun mallit oli saatu ohjelman sisään, voitiin tuoda mitattava kappale jigiiin ja aloittaa mittaohjelman luominen. Luominen aloitettiin paikoittamalla mitattava kappale 3-2-1-periaatteen mukaisesti. Tämän jälkeen kappaleesta otettiin tarkempi linjaus, joka tarkentaa mitattavan kappaleen asennon ja sijainnin. Luotiin mitattavat pisteet ja luotiin näiden ympärille tuotteen piirustuksissa vaadittuja piirteitä. Tuotteessa esiintyy muutamia ympyrämäisiä mittauksia. Nämä muodot mitataan skannaamalla pinnat. Asetettiin tuloksen ilmoitusmuodoksi näille rei'ille GX-menetelmä. Tällä varmistetaan osien toimivuus lopullisessa kokoonpanossa. Mittausohjelman luonnin lopuksi mittaus simuloitiin kolarien varalta.

Tietokoneelta siirryttiin mittakoneelle ja asetettiin paletti jigineen pöydälle. Kun kokoonpano oli ruuvattu pöytään kiinni, otettiin käsikäyttöisesti mittakärkeä ohjaamalla jigien pinnoilta linjauspisteitä. Jigien yläpinnoilta otettiin neljä pistettä, mahdollisimman kaukaa toisistaan miltei jigien päistä. Näin saatiin muodostettua Z0-taso mittaajajigeille. Seuraavaksi otettiin pisteet ulkolaidoista miltei jigien kauimmaisista nurkista. Pisteiden välille luotiin 2D-viivat (2D-line). 2D-viivojen avulla luotiin -X ja +X-viivojen välille symmetriaviiva. Sama toistettiin Y-viivoille. Symmetriaviivojen ja Z0-tason avulla voitiin määrittää jigikokoonpanolle keskipiste. Nämä pisteet ajettiin vielä uudestaan automaattiajolla ja tehtiin linjausjigeille. Mittapisteitä ja linjausta tehdessä tuli ottaa huomioon, että toimenpide voitaisiin suorittaa mitattavien tuotteiden ollessa paikoillaan jigeissä ja tämä huomioitiin mittauspisteiden lähestymisessä ja turvakuutiota (engl. *Clearance Plane*) määrittäessä. Aluksi ajateltiin, että jigien suuntaukseen riittäisi vain yhdestä jigistä otettu suuntaus, mutta tämä ei onnistunut halutulla tavalla ja siitä lisää ”Tuotteiden mittaaminen jigeissä”-osiossa.

Kun mittausohjelmat saatiin valmiiksi, voitiin Calypson AutoRun-ominaisuudella luoda .arn (engl. *autorun*)-tiedosto, jossa ilmoitetaan kuinka monta kappaletta mittausohjelmia suoritetaan x- ja y-suunnassa. Myös z-suunnan mittauksia olisi mahdollista luoda, mutta tässä jigissä kappaleita mitataan vain yhdessä z-suunnan tasossa. Tiedostoon myös ilmoitetaan millä kiinnityksellä ja kiinnityksen suuntauksella mittausohjelmaa ajetaan ja mitä mittausohjelmaa ajetaan. Mittausohjelma suunniteltiin siten, että jokainen mitattava kappale on suunnattava erikseen, mutta kaikkien kappaleiden paikoituksessa käytettiin jigikokoonpanon linjausta. (Kuva 9.)

Pallet Parameters

Pallet Name:
No Name

Comment:

Pallet Alignment:

- Regular
- Parts referring to pallet

Part Alignment:

- Base Alignment
- Start Alignment

Pattern in X

Number	Distance
1	0.0000

Pattern in Y

Number	Distance
1	0.0000

Report header data

Apply Reset OK Cancel

Kuva 9. Autorun-tiedoston keskeisimmät säädettävät parametrit.

5.7 Tuotteiden mittaaminen jigeissä

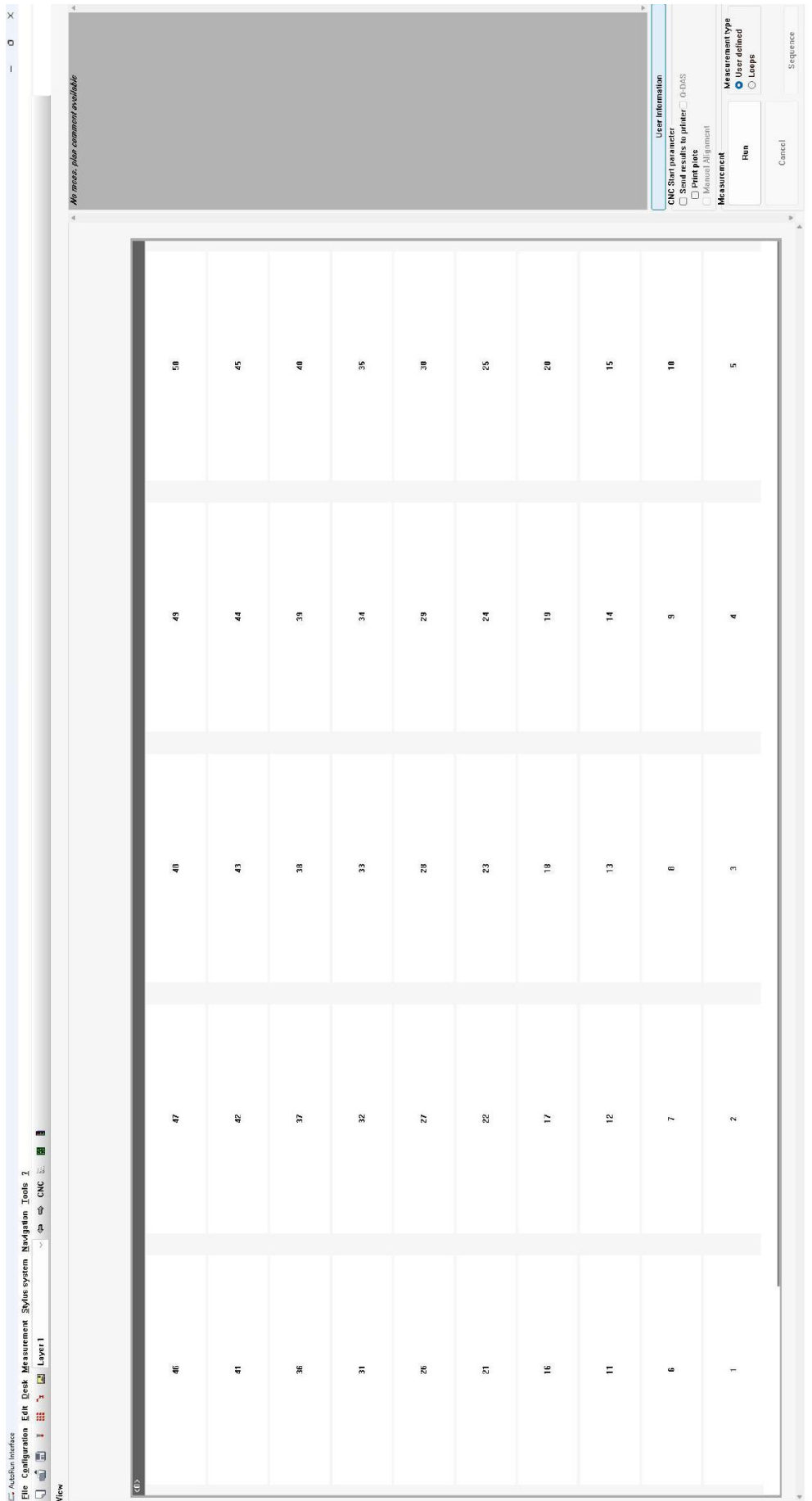
Ohjelmien valmistuttua testattiin niiden toimivuutta käytännössä. Ensimmäisellä testauskerralla jigikokoonpano oli suunnattu vain yhdestä jigistä. Tämä osoittautui vain osittain toimivaksi ratkaisuksi, vain kyseisen suunnatun jigin mitattavat tuotteet ”löytyivät” halutulla tavalla mittaohjelmaa suorittaessa. Tämän jälkeen siirryttiin toiseen vaihtoehtoon, jossa jigikokoonpanon linjaus suoritettiin huomattavasti isommalta alueelta. Testattiin vaihtoehtoa kaksi asettamalla mitattavia tuotteita kaikkein kauimmaisiin paikkoihin jigeissä ja klikkaamalla rastit muiden paikkojen kohdalle ohjelmasta, jottei mittaohjelma mittaisi näitä. Kaikki neljä testattua tuotetta löytyivät mittaohjelmaa suorittaessa ongelmitta.

Kun ohjelma oli todettu ainakin muutaman paikan osalta toimivaksi, voitiin kaikki paikat täyttää mitattavilla tuotteilla ja aloittaa kokonaisen ohjelman ajo. Ohjelma tuli valvoa siltä osin kokonaan vierestä, että aina uuteen tuotteeseen siirryttäessä tuli varmistaa, että mittauksen aloittavan perussuuntauksen ensimmäiset kuusi pistettä osuisi tuotteen pintoihin kunnolla, eikä esimerkiksi viisteisiin. Yksi mittaus kesti noin 4,5 min, joten kauas mittakoneen läheisyydestä ei voinut poistua. Jokaiseen perussuuntauksen aloitukseen tuli hiljentää mittakoneen liikkeiden vauhtia, jotta voitiin varmistua siitä, että kosketus tulisi suoritettua oikein. Mittaohjelmaa seurattiin yhteensä noin neljän tunnin ajan. Kun viimeisen tuotteen kohdalle saavuttiin, voitiin todeta mittaohjelma toimivaksi, joka tarkoitti sitä, että mittaohjelma voitaisiin tulevaisuudessa jättää yksinään pyörimään ilman operoijaa.

5.8 Mittatulosten käsittely

Calypsossa voitiin asettaa tulokset tallentumaan haluttuun kansioon automaattisesti. Tämä työvaihe aiheutti eniten pelkoa ennen koko projektin aloittamista, mutta pelko osoittautuikin turhaksi, sillä työvaihe vaati ainoastaan tietynlaisen komentotekstin kirjoittamisen useamman valikon takana olevaan komentokenttään ja halutun väliaikaisen työkansion valitsemisen. Komentokenttään oli myös mahdollista valita useita valmiita komentoja, joilla voitiin muokata syntyvää tiedostonimeä mittaustuloksien pdf-tiedostolle. Näistä valinnoista valittiin ainoastaan tiedostonimeen tulevaksi tuotteen nimi ja juoksevan numeroinnin numero.

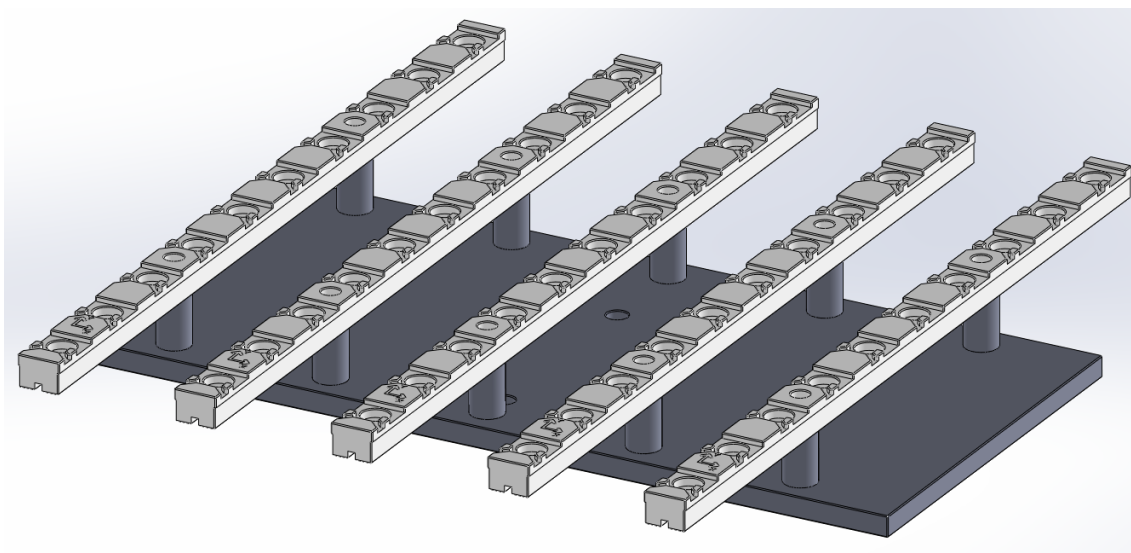
Aina kun yksi tuote oli mitattu autorun-näkymään (kuva 10) ilmestyi kyseisen tuotteen paikalle, joko vihreä tai punainen väri ilmoittamaan olivatko mittaukset toleranssissa vai ei. Tätä ominaisuutta ja kansioon syntyneitä tiedostoja apuna käyttäen voitiin tarkastaa vielä mittausten tulokset ja etsiä mahdolliset virhekohdat mittauksissa. Kun mittaus oli loppunut kaikkien tuotteiden osalta, voitiin vihreällä ilmoitetut paikat tarkastuksen jälkeen kerätä suoraan pois ja jäljelle jäävät punaiset käsiteltiin yksittäin tilanteen vaatimalla tavalla.



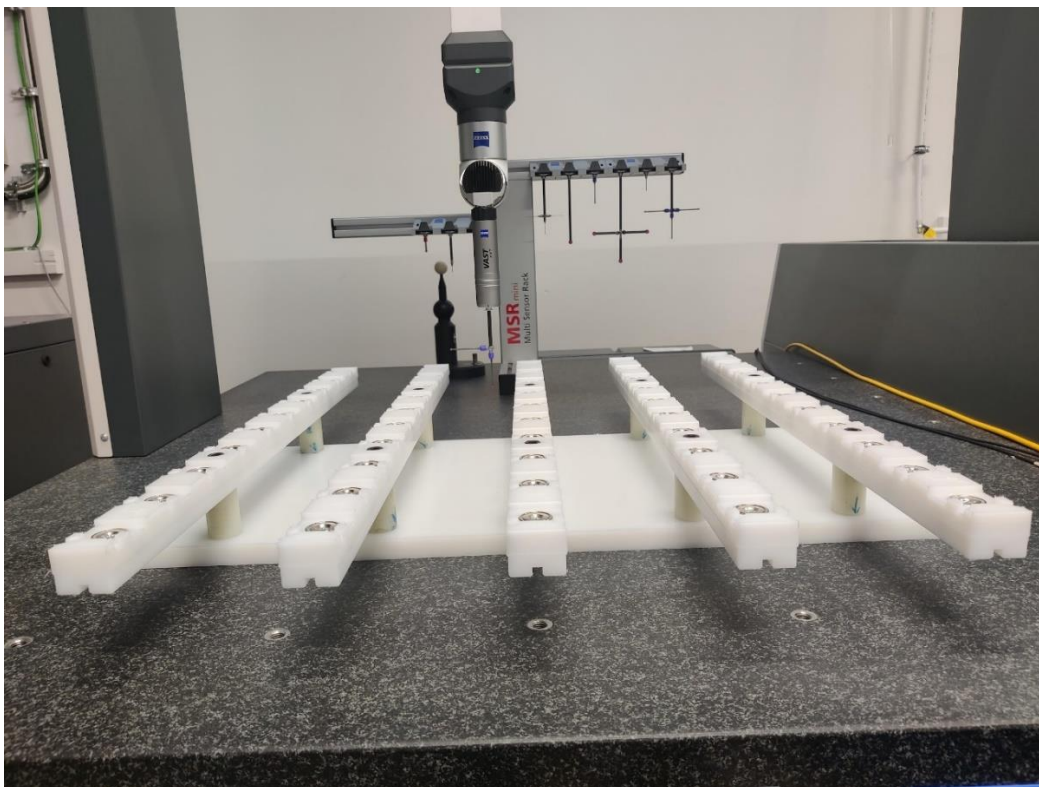
Kuva 10. Autorun näkymän yleiskatsaus. (Kuva: Markus Kähkönen)

6 Tulokset

Opinnäytetyön tuloksena syntyi toimiva jigikonaisuus (Kuvat 11. ja 12.), jota voidaan tulevaisuudessa hyödyntää mittauksissa sellaisenaan tai muutamilla muutoksilla ja uusilla komponenteilla varustettuna lukuisissa eri sarjamittausvariaatioissa. Hyöty Fodescolle sarjamittauksen käyttöönotosta on huomattava mittauksien nopeutumisella, vaikka tulevaisuudessa se aiheuttaakin paljon lisätyötä, jos haluttaisiin mitata sarjassa suurempia komponentteja ja kokonaisuuksia.



Kuva 11. 3D-kokoonpano jigikonaisuudesta (Kuva: Markus Kähkönen)



Kuva 12. Valmistunut jigikokoonpano koordinaattimittakoneen kivipöydällä.
(Kuva: Markus Kähkönen)

Tuote, jonka ympärille koko opinnäytetyö pohjautuu, on hyvin simppele mittauksiensa osalta. Vaikka tuote on yksinkertainen, se on kuormittanut mittausta aika-ajoin runsaasti mittaustapansa takia. Aiemmin sarjan mittaaminen on vienyt aikaa noin yhden työpäivän verran ja sitonut yhden työntekijän koko täksi ajaksi. Opinnäytetyön ja luodun sarjamittauskokonaisuuden takia mittausaika saatiin puolitettua neljään tuntiin ja automatisoitua siihen pisteeseen, että koordinaattimittakone voidaan asettaa mittaamaan viisikymmentä osaa yhtäjaksoisesti ilman taukoja, jopa työvuoron päätyttyä. Tulosten tallentaminen ja lukeminen saatiin ratkaistua mahdollisimman yksinkertaiseksi mittauksen päätyttyä, mikä mahdollistaa jatkotoimenpiteiden helpon aloittamisen.

Fodescolla ei myöskään ollut kovinkaan paljon kokemusta muovien koneistamisesta ja muusta käytöstä. Tämä opinnäytetyö ja siihen käytetyt menetelmät antoivat pientä tuntumaa yritykselle muoveista, niiden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä sitä työstettäessä eri menetelmin. Muovin, tarkemmin PE:n valinta materiaaliksi oli onnistunut niin koneistettavuuden sekä ominaisuuksiensa (pääasiassa keveyden) ansiosta.

7 Pohdinta

Opinnäytetyö onnistui varsin mallikkaasti. Lopputuotteet jigikokoonpanon osalta syntyivät onnistuneesti. Vaikka matkan varrella huomattiin muutamia ongelmakohtia, ne selätettiin varsin nopeasti. Ongelmista otettiin opiksi, ettei vastaavallaisia ongelmakohtia tulisi jatkossa enää tapahtumaan. Työstöarvoista koneistuksen osalta opittiin loppua kohti. Tämän ansiosta pinnanlaatu lopullisissa mittausjigeissä parani olennaisesti. Mittausprosessi saatiin tehtyä erittäin toimivaksi ja käyttäjäystävälliseksi. Sarjamittausta tullaan varmasti hyödyntämään laajemmin tulevaisuudessa.

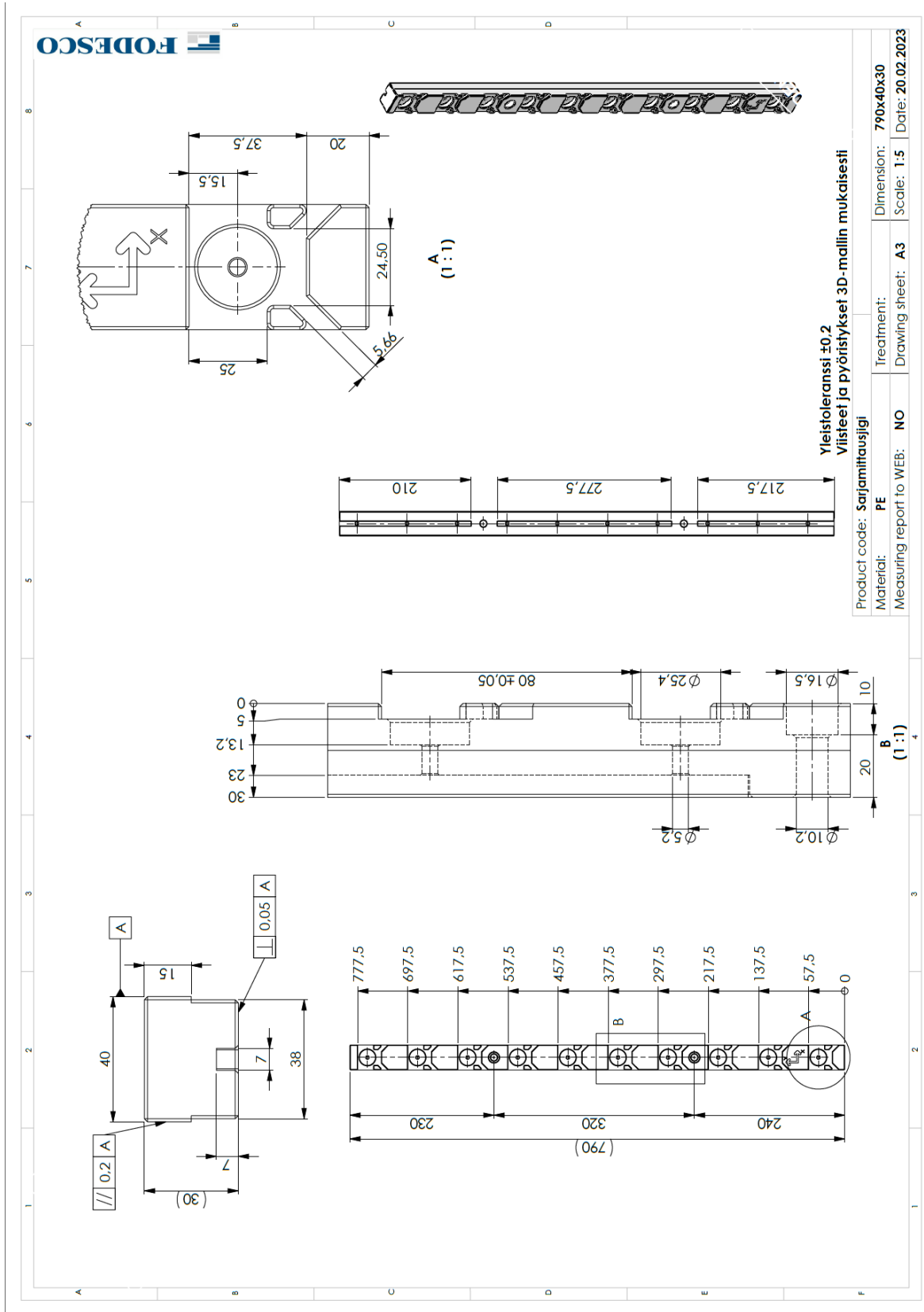
PE:n valinta jigien ja palettilevyn materiaaliksi oli erittäin onnistunut. Muovi toi kokoonpanolle toivottua keveyttä, sen työstäminen oli vaivatonta, sekä sen ominaisuudet soveltuvat mainiosti kannattelemaan kevyitä kappaleita paikoillaan, riittävällä tarkkuudella. Muovin työstämisestä opittiin myös paljon matkan varrella. Muovin kanssa toimiessani, Fodesco sai hyvää dataa sen käyttäytymisestä ja hyödyistä tulevaisuutta ajatellen.

Sain itse paljon kokemusta ja erittäin paljon lisää ymmärrystä suunnittelun osalta opinnäytetyötä tehdessäni. Kaikkien työvaiheiden läpi käyminen tuotannon osalta auttoi avartamaan mieltä suunnittelun osalta. Vastan tuli asioita, joita olisi voinut toteuttaa eri tavalla, jotta eteneminen olisi ollut jouhevampaa. Esimerkiksi jigejä kannatteleviin tolppiin olisi kannattanut tehdä kierteet, joihin kierreinserit olisi voinut helposti kierittää kiinni. Opinnäytetyön osalta insertit sulatettiin paikoilleen ja ne olisivat voineet asettua hieman suurempaan, vaikka kokoonpano kyllä toimiikin. Muovin vanhentuminen ja kuluminen nähdään mahdollisesti vasta vuosien päästä. Operoijalle jää vastuu tarkastaa jigien kunto ennen mittaustapahtumaa.

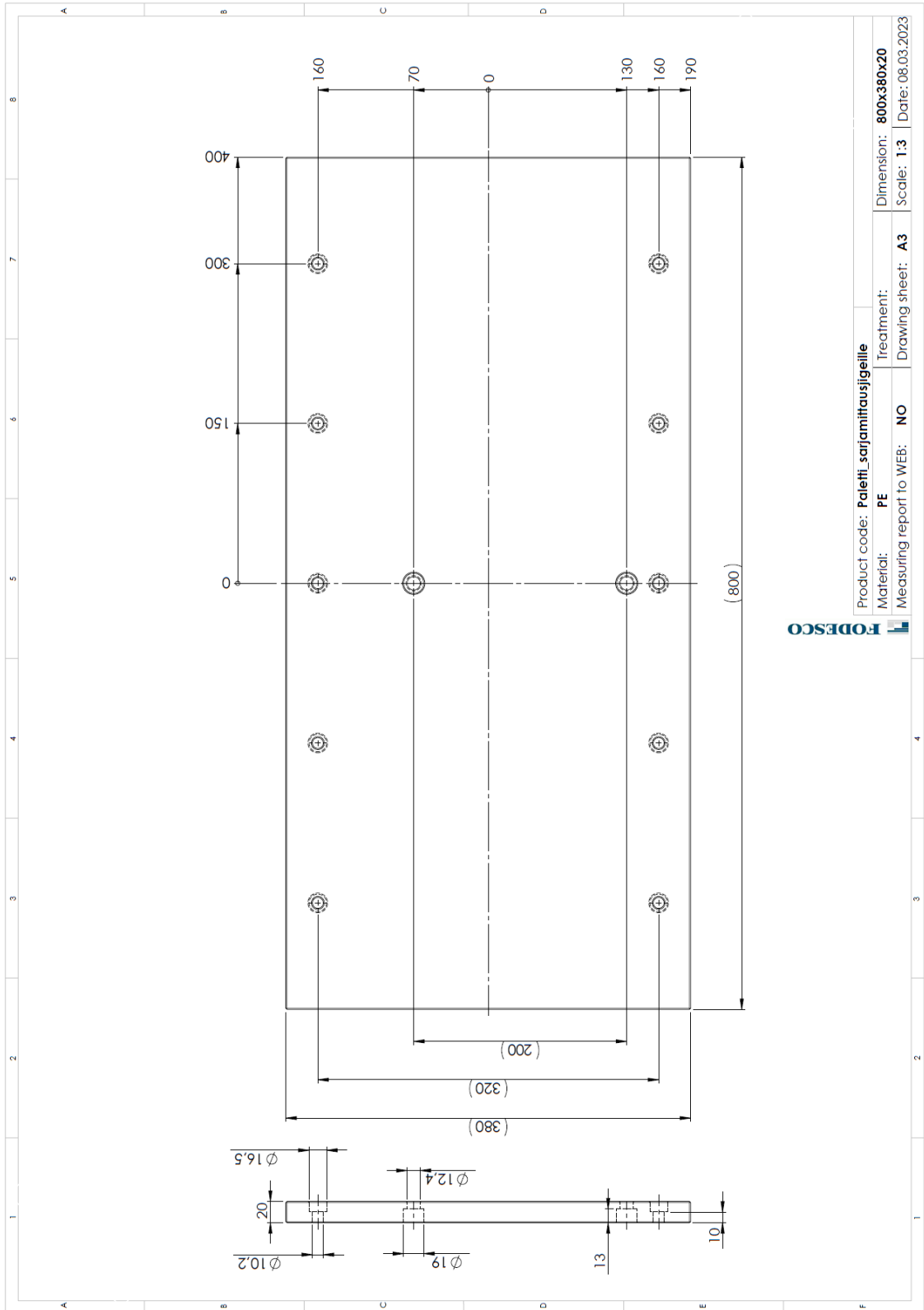
Kehitteillä on jo uusi jigityyppi, jossa on mahdollista mitata vähintään kolmea erilaista tuotetta. Jigi tullaan sijoittamaan saman paletti- ja tolpparatkaisun päälle ja siinä voidaan mitata 50 kappaletta samanlaisia tuotteita kerrallaan.

Lähteet

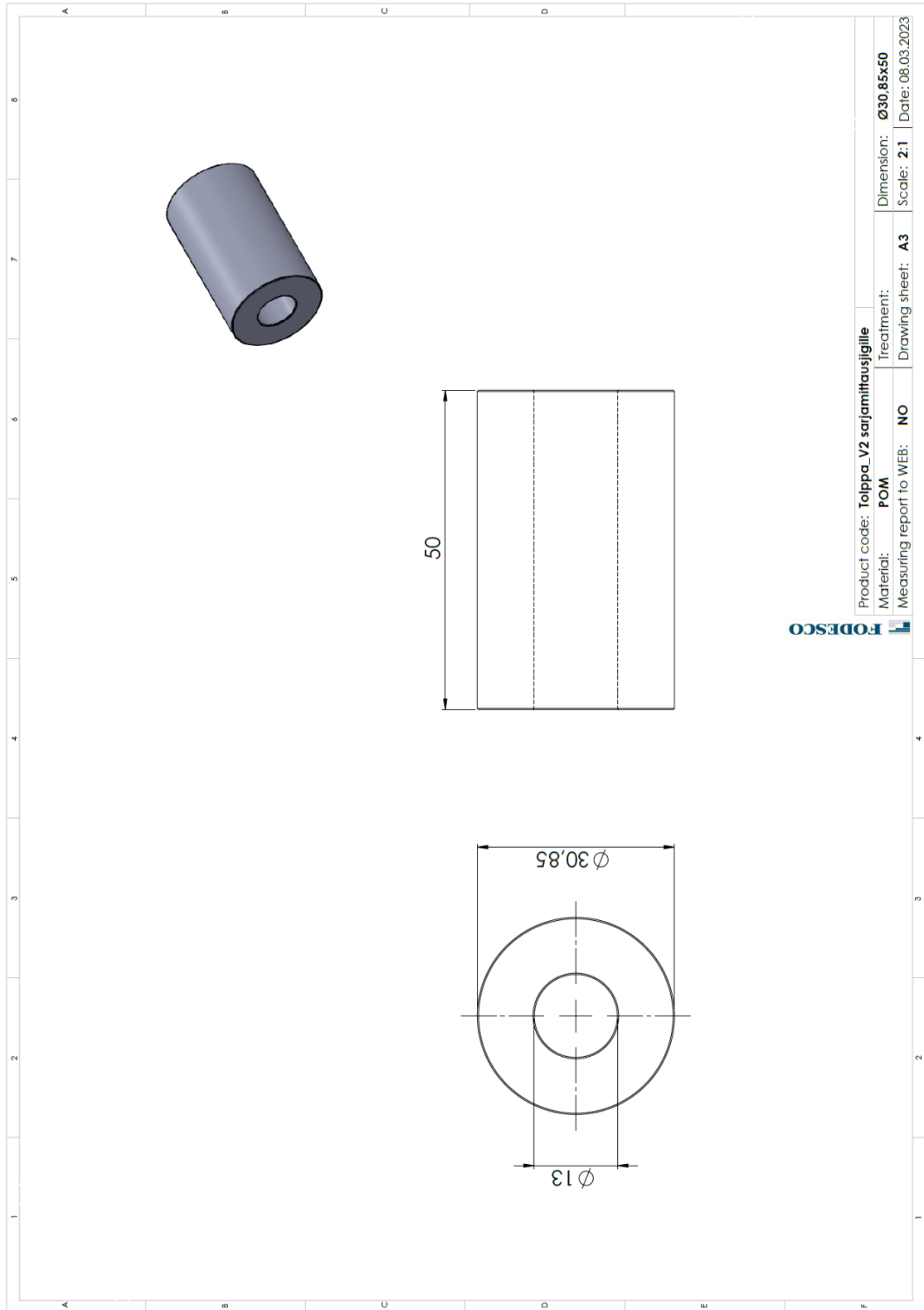
- Carl Zeiss. 2018. Zeiss Contura Specifications <https://www.msiviking.com/documents/ZEISS> 15.3.2023
- Fan, K-C. 2016. Design and Applications of Coordinate Measuring Machines. Basel: MDPI AG.
<https://www.mdpi.com/books/book/233> 5.2.2023
- Fodesco Oy. 2023. Yritys. 22.2.2023
<https://www.fodesco.fi/>
- Hietikko E. 2021. Tuotekehitystoiminta. Suomi. Helsinki: Books on Demand GmbH
- Keinänen T. & Järvinen M. 2014. Mittaustekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. 2001. Muovit ja Kumit. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- SFS-EN ISO 10360-2. 2009. Geometrical product specifications (GPS). Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM). Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 20.5.2019. Kilogramman uusi määritelmä käyttöön.
<https://sfs.fi/kilogramman-uusi-maaritelma-kayttoon/>
11.2.2023.
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2023. SI-mittayksiköt Suomessa, pituus.
<https://www.vttresearch.com/fi/si-mittayksikot-suomessa-pituus> 11.2.2023.
- Venkataraman K. 2015. Design of Jigs, Fixtures and Press Tools. The Atrium, Southern Gate: John Wiley & Sons Ltd.



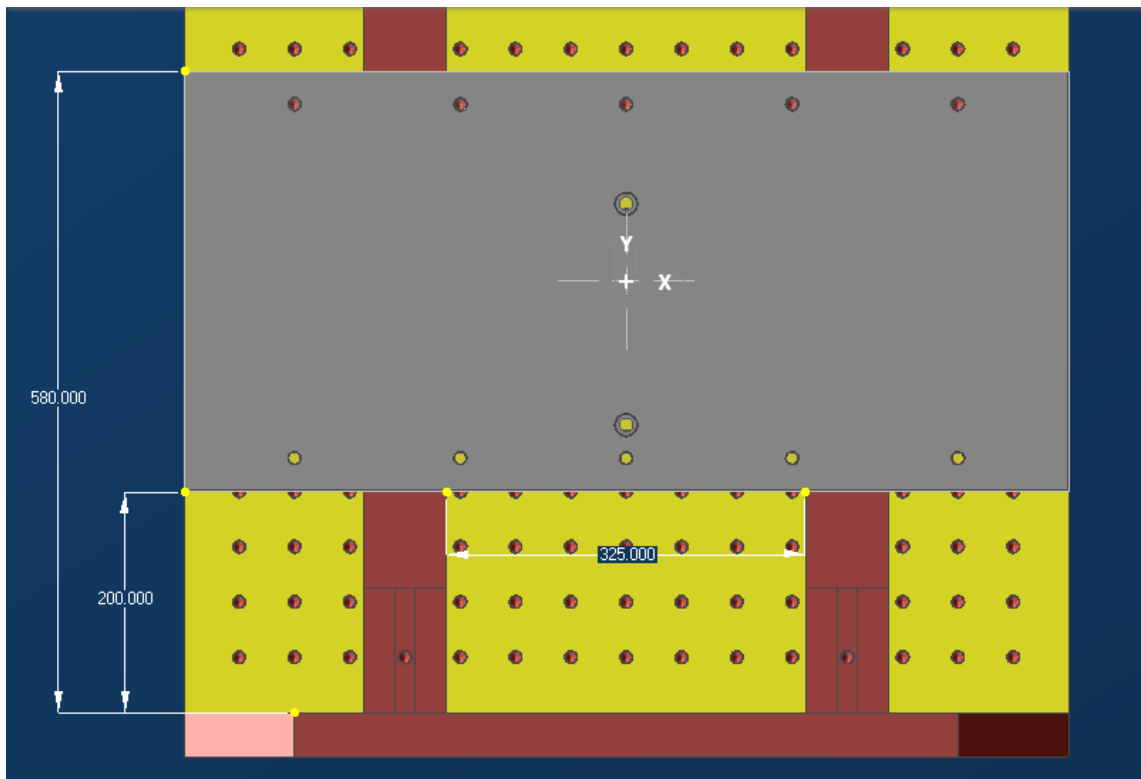
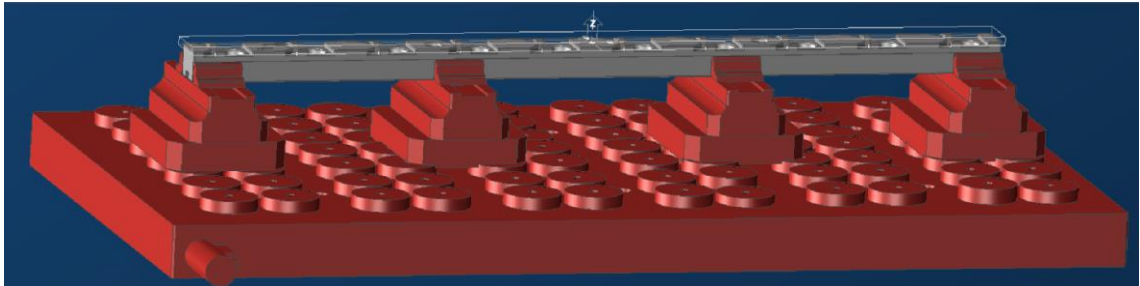
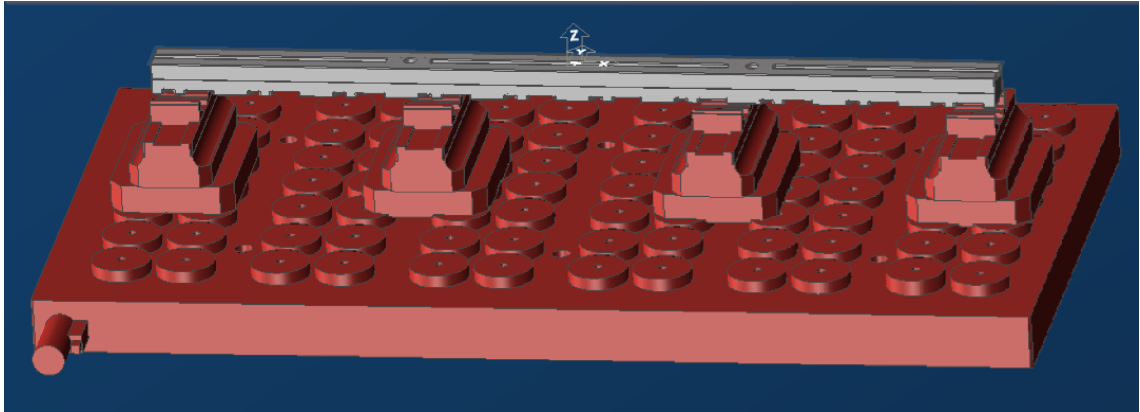
2D-piirustus jigistä (Kuva: Markus Kähkönen)



2D-piirustus paletista (Kuva: Markus Kähkönen)



2D-piirustus tolpasta (Kuva: Markus Kähkönen)



Kuvat työstökoneiden asetuskuvista (Kuvat: Markus Kähkönen)