



Karelia-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Konetekniikan koulutus

Vaativan tuotteen mittapöytäkirjojen hallinta

Jarmo Kiviniemi

Opinnäytetyö, joulukuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2023
Konetekniikan koulutus

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

Tekijä(t)
Jarmo Kiviniemi

Nimeke
Vaativan tuotteen mittapöytäkirjojen hallinta

Toimeksiantaja
Turula Engineering Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Turula Engineering Oy:n käytössä olevien mittapöytäkirjojen hallinnointia. Hallinnoinnilla tarkoitetaan tässä asian yhteydessä mittapöytäkirjojen täyttämistä ja dokumentointia, mukaan lukien mittapöytäkirjojen täyttämiseen läheisesti liittyvän tuotteiden tai kappaleiden mitattavuuden.

Kehittämistyö painottui mittapöytäkirjojen kokonaisvaltaiseen kehittämiseen. Mittapöytäkirjojen kehitystyö perustettiin pääosin geometrisen tuotemäärityksen standardeihin, koneenpiirustuksen kirjoihin, sekä ISO 9001 -standardin vaatimuksiin.

Mittapöytäkirjojen kehitystyön tuloksina luotiin parannusehdotuksia. Parannusehdotusten avulla mittapöytäkirjojen täyttämistä sekä dokumentointia voitaisiin viedä hallittavampaan suuntaan. Parannusehdotusten soveltamiseksi, luotiin niiden käyttöä kuvaava tekninen piirustus sekä mittapöytäkirja. Tämän opinnäytetyön mahdollisesti tärkeimpänä parannusehdotuksena voidaan pitää mitallisten elementtien käyttämistä, joiden soveltamista havainnollistettiin luodun esimerkkipiirustuksen yhteydessä.

Kieli
suomi

Sivuja 49
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat
mittapöytäkirja, mitattavuus, ISO 9001, dokumentointi



THESIS
December 2023
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Jarmo Kiviniemi

Title
Management of the dimensional inspection reports for a demanding product

Commissioned by
Turula Engineering Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to develop management of the dimensional inspection reports that are being used by Turula Engineering. Management, in this case, means filling and documentation of dimensional inspection reports, including the measurability of products and articles which relates to dimensional inspection reports closely.

The development work emphasized to develop dimensional inspection reports comprehensively. The development work of the dimensional inspection reports was mainly based on geometrical product specifications standards, mechanical engineering drawing books, and the requirements of the ISO 9001 standard.

As a results of the development work of the dimensional inspection reports, suggestions for improvements were created. With the help of suggestions for improvements, the filling and documentation of dimensional inspection reports could be taken into a more manageable direction. To apply the improvement suggestions, a technical drawing describing their use and a dimensional inspection report were created. The possibly most important suggestion for improvement of this thesis might be the use of linear feature of sizes, which use was illustrated in connection with the example drawing created.

Language
Finnish

Pages 49
Appendices 1
Pages of Appendices 1

Keywords
dimensional inspection report, measurability, ISO 9001, documentation

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön aihe	5
1.2	Toimeksiantajayritys Turula Engineering Oy	6
1.3	Opinnäytetyön toimeksianto.....	7
1.4	Opinnäytetyön rajaus	8
1.5	Opinnäytetyön tavoitteet	8
2	Asiakasvaatimukset ja ISO 9001 standardin vaatimukset.....	9
2.1	Ensimmäisen kappaleen tarkastukset ja niiden vaatimukset	9
2.2	Ensimmäisen kappaleen tarkastusta koskevan mittapöytäkirjan laadinta	11
2.3	ISO 9001:2015 standardin vaatimuksia	12
3	Mitattavuus	13
3.1	Kappaleiden mitoittaminen ja niihin liittyvä mitattavuus	13
3.2	Toleranssit	16
3.2.1	Yleiset mittatoleranssit.....	17
3.2.2	Geometriset toleranssit.....	18
3.3	Mitallinen elementti	20
4	Yleiset mittausvälineet	22
4.1	Yleiset teollisuuskäytössä olevat mittausvälineet.....	22
4.2	Koordinaatti- ja lasermittauskoneet.....	23
5	Mittausepävarmuus.....	24
5.1	Mittausvirheistä yleisesti	24
5.2	Mittauksen mittausvirheen laskenta	25
5.3	MSA-analyysi.....	26
6	Digitalisaation mahdollisuudet	28
6.1	MBD yleisesti	28
6.2	MBD:n käyttö ja hyödyt mitaamisessa	28
7	Mittapöytäkirjojen kehittämistyö	30
7.1	Mittapöytäkirjojen nykytilan yleiskatsaus	31
7.2	Mittapöytäkirjojen dokumentoinnin kehittäminen	32
7.3	Mitattavuuden kehittäminen	35
7.4	Mittausepävarmuuden tutkiminen	40
7.5	Mittausepävarmuuden tulokset.....	41
8	Yhteenveto kehittämistyöstä	44
9	Tulevaisuuden kehittämiskohteet.....	46
	Lähteet.....	48

Liitteet

Liite 1

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön aihe

Asiakkaat ympäri maapallon vaativat tuotteidensa valmistajilta todistuksia valmistuslaadun vaatimustenmukaisuudesta. Yksi tällaisista, vaatimuksia koskevista todistuksista on kokoonpanoon tai sen osaan liittyvä mittapöytäkirja. Mittapöytäkirjojen yleistymisen teollisuudessa tuottaa haasteita valmistajille ja alihankkijoille, sillä niiden sisällyttäminen osaksi tavanomaista tuotantoprosessia on ajoittain hankalaa ja työlästä. Siksi olisikin tärkeää kyetä hyödyntämään olemassa olevat menetelmät ja digitalisaation mahdollisuudet, jotta mittapöytäkirjojen hallinnointi sekä täyttäminen olisi sujuvaa ja prosessinomaisesti toimivaa.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään asiakkaan vaatimusten mukaisten mittapöytäkirjojen hallinnointia. Hallinnointi pitää tässä opinnäytetyössä sisällään kuvauksen mittapöytäkirjoihin liittyvistä asioista, aina niiden täyttämisestä, niihin liittyviin mittauksiin ja niissä esiintyviin haasteisiin. Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimi Turula Engineering Oy, jonka toimintaa on tarkoitus tämän opinnäytetyön aiheen osalta kehittää.

Tarve mittapöytäkirjoihin liittyvälle opinnäytetyölle ilmaantui kesän 2023 aikana. Opinnäytetyö oli tarkoitus aloittaa syyskuussa 2023, mutta aloitin opinnäytetyön teon jo heinäkuun aikana ollessani kyseisessä toimeksiantajayrityksessä töissä. Toimeksiantajan kanssa asetettiin työn aloittamisajankohdaksi syyskuu 2023 ja työn valmistumisajankohdaksi määräytyi joulukuu 2023.

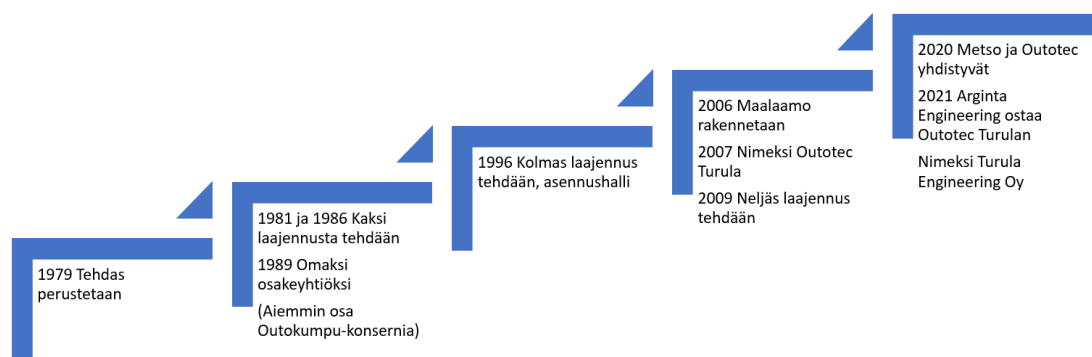
Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään mittapöytäkirjoihin liittyvää tuotteiden mitattavuutta, mittausepävarmuutta sekä niille esitettyjä asiakasvaatimuksia. Teoriaosuudessa käsitellään myös kohdeyrityksen mittapöytäkirjojen tulevaisuutta digitalisaation näkökulmasta. Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa havainnollistetaan mitattavuutta, tutkitaan mittausepävarmuutta sekä käydään läpi, kuinka mittapöytäkirjojen dokumentointia voitaisiin kehittää

toimeksiantajayrityksessä ja millainen toimeksiantajayrityksen mittapöytäkirjojen nykytila on.

1.2 Toimeksiantajayritys Turula Engineering Oy

Turula Engineering Oy on Pohjois-Karjalassa, Outokummun teollisuuskylässä sijaitseva yritys, jonka päätoimialaa on kaivos- ja prosessiteknologian koneiden sekä laitteiden valmistus. Yritys perustettiin nykyiselle sijainnilleen vuonna 1979 Outokumpu Oy:n toimesta, jolloin yritys oli osa Outokumpu-konsernia. Vuonna 1989 yritys listautui omaksi osakeyhtiökseen (kuva 1). (Peinola 2022, 2–3.)

Vuonna 2021 liettualainen Arginta Engineering osti Outotec Turulan, jonka myötä yrityksen nimikin vaihtui. Tätä ennen yritys oli osa Metso Outotec yhtiötä, jolloin yrityksen nimenä toimi Outotec Turula. (Peinola 2022, 6.) Arginta Engineering tekee samanlaista työtä kuin Turula Engineering, mutta sen koneistusmahdollisuudet suurien kappaleiden ja tuotteiden osalta ovat Turulaan verrattuna pienemmät. Arginta on laajentamassa toimintaansa myös erilaisiin teräksien leikkausmenetelmiin tulevaisuudessa, joka lisää yritysten välistä yhteistyötä entisestään.



Kuva 1. Turula Engineering Oy:n historia. Tehtaan tärkeimmät vaiheet (Peinola 2022, 2–6).

Turula Engineering Oy:llä on pitkä historia kaivos- ja prosessiteknologian koneiden, sekä laitteiden parissa. Yritys on keskiraskas konepaja, jonka

erityisosaamista ovat vaativa hitsaus sekä raskaskoneistus. Yrityksessä tehdään myös pintakäsittelyä sekä kokoonpanoa. Turula Engineeringin toimesta valmistetut koneet ja laitteistot pystytään myös tyypillisesti testaamaan ja koeajamaan yrityksen omissa tiloissa, ennen niiden pakkausta ja lähettämistä asiakkaille. (Peinola 2022, 8–11.)

Turula Engineering on laajentanut vuosien saatossa tilojaan, sekä investoinut aktiivisesti laitteistoihin, jonka ansiosta tehdaspinta-alaa on nykyisin 19000 neliometriä alkuperäisen 3000 neliometrinen sijaan. Tehtaan investointeihin kuuluu suuria työstökoneita, joilla kyetään työstämään jopa yli kymmenen metrin mittaisia kappaleita. Työntekijöitä yrityksessä työskentelee tällä hetkellä noin 130 henkilöä alkuperäisen 35 henkilön sijaan. (Peinola 2022, 2–4.)

1.3 Opinnäytetyön toimeksianto

Opinnäytetyön toimeksiantona oli kehittää toimeksiantajayrityksen mittapöytäkirjojen hallintaa. Toimeksiantajayritys halusi, että nykyisin käytössä olevat asiakkaan toimittamat mittapöytäkirjat kyettäisiin täyttämään ja dokumentoimaan tehokkaammin sekä nykyisiä käytäntöjä sujuvammin. Yhtenä lähtökohtana tälle tavoitteelle oli myös kyetä mahdollisesti tarjoamaan asiakkaille yrityksen omaa pohjaa mittapöytäkirjoille.

Toimeksiannon tarkoituksena oli myös, että toimeksiantajayrityksessä mittapöytäkirjojen täyttöön liittyviä ongelmia saataisiin vähennettyä. Tämän lisäksi tarkoituksena oli, että yrityksessä voitaisiin hallita ja varmistaa mittapöytäkirjojen asianmukainen täyttö, säilytys ja palautus, jotta tuotannon aikainen dokumentointi pysyisi tallessa. Tuotannon aikaista dokumentaatiota tarvitaan, jotta asiakkaan tuotteelle tai kappaleelle vaatimat dokumentit ovat toimitettavissa erilaisten projektien päättämisen vaiheissa. Tämän vuoksi tarkoituksena oli myös saada täytettyä dokumentoinnille asetetut asiakasvaatimukset paremmin.

1.4 Opinnäytetyön rajaus

Opinnäytetyö rajattiin toimeksiantajayrityksen puolelta ulottumaan yhden tuotelinjan tuotteeseen, joka on vaativa valmistettava. Lisäksi opinnäytetyö rajattiin koskemaan vain muutamia tämän tuotteen mittapöytäkirjoja, jotta työmäärä ei kertyisi liian suureksi opinnäytetyön suorittamisen kannalta. Tuotteista rajattiin tässä työssä käytäväksi läpi vain mittapöytäkirjoissa tyyppillisesti tarkastellut asiat, kuten pituus- ja kulmamitat, sekä geometriset toleranssit. Näin ollen esimerkiksi pinnankarheutta, kierteitä, sovitteita ja niiden tarkastamista ei tässä työssä käsitellä, vaikka niitä monissa erilaisissa teknisissä piirustuksissa esitetäänkin ja vaikka niiden voidaan katsoa olevan suuri osa koneenrakennusta.

Opinnäytetyöstä rajattiin pois myös sellainen tieto, joka voisi aiheuttaa kilpailuedun heikkenemistä tuotteen omistavalle asiakasyritykselle. Työssä esiteltujen teknisten piirustuksien ja mittapöytäkirjojen tuli olla siis itse tehtyjä havainnekuvia. Asiakasyritys halusi lähtökohtaisesti pysyä opinnäytetyössä nimettömänä, joten kaiken esitellyn tuli olla korkeintaan jäljitelmiä oikeasta, olemassa olevasta tuotteesta tai sen dokumenteista. Muilta osin vaatimuksia opinnäytetyölle ei juuri määritetty, sillä tällaisen opinnäytetyön tuotokset voivat vaihtua fyysisestä tuotteesta kokonaisuun prosessien muutoksiin.

1.5 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli pyrkiä kehittämään mittapöytäkirjojen hallinnointia kokonaisvaltaisesti. Tämän vuoksi yhtenä päätavoitteena oli luoda mittapöytäkirjojen hallintaan ja täyttämiseen selkeät käytännöt ja prosessi, joka voitaisiin kopioida myös muihin tuotteisiin tulevaisuudessa. Yhtenä tavoitteena oli myös pyrkiä parantamaan yhteistyötä asiakkaan kanssa, jotta tämän asettamat asiakasvaatimukset saadaan paremmin täytettyä ja toteutettua. Keskeisenä tavoitteena opinnäytetyölle oli myös kyetä siirtymään paperisista mittapöytäkirjoista niiden sähköiseen täyttämiseen ja digitalisaation hyödyntämiseen.

2 Asiakasvaatimukset ja ISO 9001 standardin vaatimukset

2.1 Ensimmäisen kappaleen tarkastukset ja niiden vaatimukset

First Article Inspection (FAI), eli ensimmäisen kappaleen tarkastukset, ovat asiakkaan esittämiä vaatimuksia tuotettavalle tuotteelle ja tarkemmin ottaen sen valmistuksellisen laadun todentamiselle. Sitä voidaan pitää tuotantoprosessin suunnitteluun, suorittamiseen ja raportointiin liittyvänä prosessina. Ensimmäisen kappaleen tarkastuksia suoritetaan tavallisesti täysin uusien tai uudelleen suunniteltujen tuotteiden yhteydessä. Ensimmäisen kappaleen tarkastukselle määritettävät vaatimukset esitetään tyypillisesti teknisissä piirustuksissa. Tekniset piirustukset pitävät sisällään esimerkiksi osien mitat toleransseineen, raaka-ainevaatimukset ja niihin liittyvät erikoisprosessit, kuten lämpö- tai pintakäsittelyt. (Harkins 2022, 2.)

Ensimmäisen kappaleen tarkastuksia ei vaadita missään normaaleimmissa laadunhallintajärjestelmiä ja niiden vaatimuksia koskevissa standardeissa, mutta asiakkaan vaatimukset yleensä edellyttävät ensimmäisen kappaleen tarkastuksen omaisia prosesseja. Ensimmäisen kappaleen tarkastuksiin ja niiden suorittamiseen antaa ohjeistusta ilmailu- ja avaruusteollisuuden standardi AS9102. Kyseinen standardi antaa ohjeistusta myös ensimmäisen kappaleen tarkastuksessa käytetyn tarkastusraportin täyttämiseen. Englanniksi kyseisen tarkastusraportin nimi on First Article Inspection Report (FAIR). (Harkins 2022, 2.)

Turula Engineering ei ole ilmailu-, avaruus- tai autoteollisuuden toimija, joten sen ei lähtökohtaisesti tarvitse sitoutua noudattamaan näiden toimialojen standardeja. Turula Engineering ja suurin osa sen asiakkaista ovat kuitenkin ISO 9001 -sertifioituja, joten niiden täytyy ottaa toiminnassaan huomioon monia seikkoja ja ohjeistuksia niiden toimintaa koskien, jotka näin ollen ulottuvat myös tässä työssä käsiteltäviin mittapöytäkirjoihin.

Standardi AS9102 vaatii ensimmäisen kappaleen tarkastusraporttiin tiettyjä kohtia, joiden tulee täytyä, jotta kappaleelle tai tuotteelle esitetyt vaatimukset

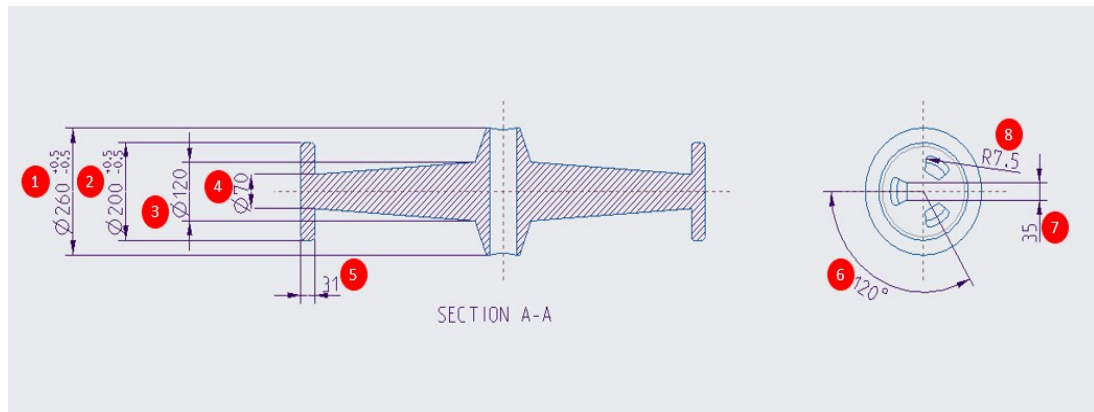
kyetään todentamaan. Näitä kohtia ovat muun muassa osien numeroinnit ja nimet, yksilölliset vaatimuksia kuvaavat numeroinnit ja piirteet niissä esitettyine vaatimuksineen, mittaustulokset, kuittaus hyväksynnästä, sekä hyväksymisen päivämäärä. Standardissa on määritetty myös kohdat, joiden tulee täytyä tietyin ehdoin. Ehdollisesti täytettäviä kohtia ovatkin mittaukseen suunniteltu välineistö ja muun muassa epäyhdenmukaisuutta koskevat kohdat. (SAE International AS9102-B 2014, 20–21.)

Autoteollisuuden standardissa IATF-16946 ei ole myöskään vaatimusta ensimmäisen kappaleen tarkastuksen mukaisen tarkastustavan käyttämiselle. Edellä mainittu Automotive Industry Action Group (AIAG) -standardoimisyhdistyksen laatima standardi määrittelee kuitenkin tarvittavat toimenpiteet lanseerattaessa uusia osia tai prosesseja tuotanto-osien hyväksymisprosessin yhteydessä, joka tunnetaan englannin kielessä nimellä Production Part Approval Process (PPAP). Näitä toimenpiteitä ovat täytettävät mittapöytäkirjat, sekä materiaalin-testaukseen liittyvät todistukset. Näiden toimenpiteiden suorittaminen täyttääkin myös ensimmäisen kappaleen tarkastuksen tarkoituksen. Mikäli yrityksessä noudatetaan ISO 9001 -standardin mukaisia toimia, on ensimmäisen kappaleen tarkastus hyödyllinen tapa täyttää kyseisen standardin luku 8.6, joka koskee tuotteiden ja palveluiden luovuttamista asiakkaalle. (Harkins 2022, 2.)

Ensimmäisen kappaleen tarkastukset ovat hyödyllisiä tuotantoprosesseissa, sillä niiden avulla pystytään valvomaan mahdollista valmistajien oikomista esimerkiksi materiaaleissa ja käytetyissä työmenetelmissä, kun tuotteen tai kappaleen läpivientiin suunnitellut aikataulut ovat tiukkoja. Kuvatakseen tuotantoprosessia ja paljastaakseen siinä mahdollisesti piileviä heikkouksia, tulee ensimmäisen kappaleen tarkastusten mukaisten näytteiden olla aukottomia. (Harkins 2022, 3.)

2.2 Ensimmäisen kappaleen tarkastusta koskevan mittapöytäkirjan laadinta

Ensimmäisen kappaleen tarkastuksen mukaisessa mittapöytäkirjassa laaditaan teknisessä piirustuksessa oleviin mittoihin, standardeihin tai prosesseihin niin sanotut pallot (kuva 2). Nämä pallot ja tarkemmin ottaen niiden osoittamat numerot ja niihin liitetyt suureet tai vaatimukset siirretään piirustuksesta mittaraporttipohjaan, eli mittapöytäkirjapohjaan (taulukko 1). Kyseinen pohja tunnetaan englanninkielisellä nimellä Initial Sample Inspection Report (ISIR). Kyseinen raporttipohja voidaan kasata Excel-ohjelmistolla, mutta myös muita apuohjelmistoja sen tekemiseen on olemassa. (Harkins 2022, 2–3.)



Kuva 2. Piirustuksessa esitetyt pallot ja niiden dimensiot ja spesifikaatiot (mukaillen Harkins 2022, 2).

DIMENSIONAL INSPECTION REPORT

ORGANIZATION: Turula Engineering Oy				PART NUMBER: 345768					
SUPPLIER CODE: 789765				PART NAME: Shaft					
NAME OF INSPECTION FACILITY:				REVISION: C					
				ENGINEERING CHANGE DOCUMENTS:					
ITEM	DIMENSION/ SPECIFICATION	USL	LSL	TEST DATE	MEASUREMENT RESULTS	OK	NOT OK	MEASUREMENT METHOD	NOTE
1	Ø260	0,5	0,5	21.8.2023	260,2	x		Digital caliper	
2	Ø200	0,5	0,5	21.8.2023	200,1	x		Digital caliper	
3	Ø120			21.8.2023	120,3	x		Digital caliper	
4	Ø70			21.8.2023	70,1	x		Digital caliper	
5	31			21.8.2023	31,5		x	Digital caliper	
6	120°			21.8.2023	120	x		Digital caliper	
7	35			21.8.2023	35,1	x		Digital caliper	
8	R 7.5			21.8.2023	R 7.9		x	Digital caliper	
9									
10									
11									
Ø = Diameter USL = Upper specification limit LSL = Lower specification limit					APPROVED: DATE:				

Taulukko 1. Tyypillinen kappaleen mittoja koskeva mittapöytäkirja (mukaillen Harkins 2022, 2).

Edellä mainitussa raportti- ja mittapöytäkirjapohjassa esitetään tyypillisesti teknisestä piirustuksesta periytyvät numeroidut pallot, perusmitat, toleranssit, käytetyt mittavälineet, sekä itse mittaustulokset. Pohja voi sisältää myös merkinnät mittausten hyväksymisestä tai hylkäämisestä. Raportin laatija voi täyttää raporttipohjan nimellimitat ja sallitut toleranssit valmiiksi. Mikäli noudatetaan toimialakohtaisia, eli työtapakohtaisia standardeja, voidaan esimerkiksi dimensions/specifications kohdat sekä toleransseja koskevat kohdat jättää kokonaan täyttämättä. Kun valmistaudutaan ottamaan tuotteesta vastaan tällainen mittausta koskeva mittausraportti tai mittapöytäkirja, pitäisi raportin laatijan myös miettiä, millä mittausvälineillä mitkäkin mittaukset tai tarkastukset suoritetaan. (Harkins 2022, 3.)

2.3 ISO 9001:2015 standardin vaatimuksia

Monissa yrityksissä noudatetaan standardia ISO 9001, jossa esitetyt vaatimukset, koskettavat osaltaan tässä opinnäytetyössä käsiteltäviä mittapöytäkirjoja. Mittapöytäkirjoja koskevat etenkin tässä luvussa esitetyt asiat, sillä mittapöytäkirjojen yksi tarkoitus on osoittaa tuotteen tai kappaleen vaatimustenmukaisuus. Mittapöytäkirjoja koskevat osittain myös edellä mainitun standardin mukaiset asiat jäljitettävyyden ja dokumentoinnin osalta.

Tuotteita ja palveluita luovuttaessa asiakkaalle tulee varmistaa, että kaikki niille suunnitellut järjestelyt on suoritettu hyväksyttävällä tavalla, ellei niistä poikkeamiselle saada hyväksyntää asianomaisilta tahoilta. Organisaation tulee säilyttää luovutukseen liittyvää tietoa tuotteista ja palveluista. Tähän tietoon tulee sisältyä näyttö hyväksymiskriteerien täyttymisestä, sekä jäljitettävyys henkilöön, joka on hyväksynyt tuotteen tai palvelun toimittamisen. Organisaation tulee täyttää myös toimituksen jälkeisiä vaatimuksia, jolloin sen tulee määritellä tarvittavat toiminnot ne täyttääkseen. (SFS-EN ISO 9001 2015, 26.)

Mikäli tuotetta tai palvelua koskevilta mittauksilta edellytetään jäljitettävyyttä, on mittalaitteet kalibroitava tai todennettava. Ne on merkittävä niiden tilan

selvittämiseksi sekä suojattava mahdollisilta virityksiltä ja vaurioilta. Jos mittalaitteen havaitaan olevan käyttökelvoton tai tarkoitukseensa sopimaton, tulee selvittää, onko se vaikuttanut haitallisesti aiempiin mittaustuloksiin ja tehtävien mukaan tarvittavat toimet. (SFS-EN ISO 9001 2015, 17.)

Tuotokset tulee myös yksilöidä, kun se on niiden vaatimustenmukaisuuden varmistamisen kannalta tarpeellista, sekä niiden tila tulee tietää kaikissa tuotantovaiheissa seuranta- ja mittausvaatimusten suhteen. Mikäli tuotteelta edellytetään jäljitettävyyttä, on sen mahdollistavaa tietoa dokumentoitava. (SFS-EN ISO 9001 2015, 25.)

Kun mittausta käytetään todentamaan tuotteen tai palvelun vaatimustenmukaisuus, on organisaation määritettävä ja järjestettävä siihen tarvittavat resurssit. Tarvittavien mittaus tai seurantaresurssien soveltuvuudesta käyttötarkoitukseensa on myös säilytettävä dokumentoitua tietoa. (SFS-EN ISO 9001 2015, 16–17.)

3 Mitattavuus

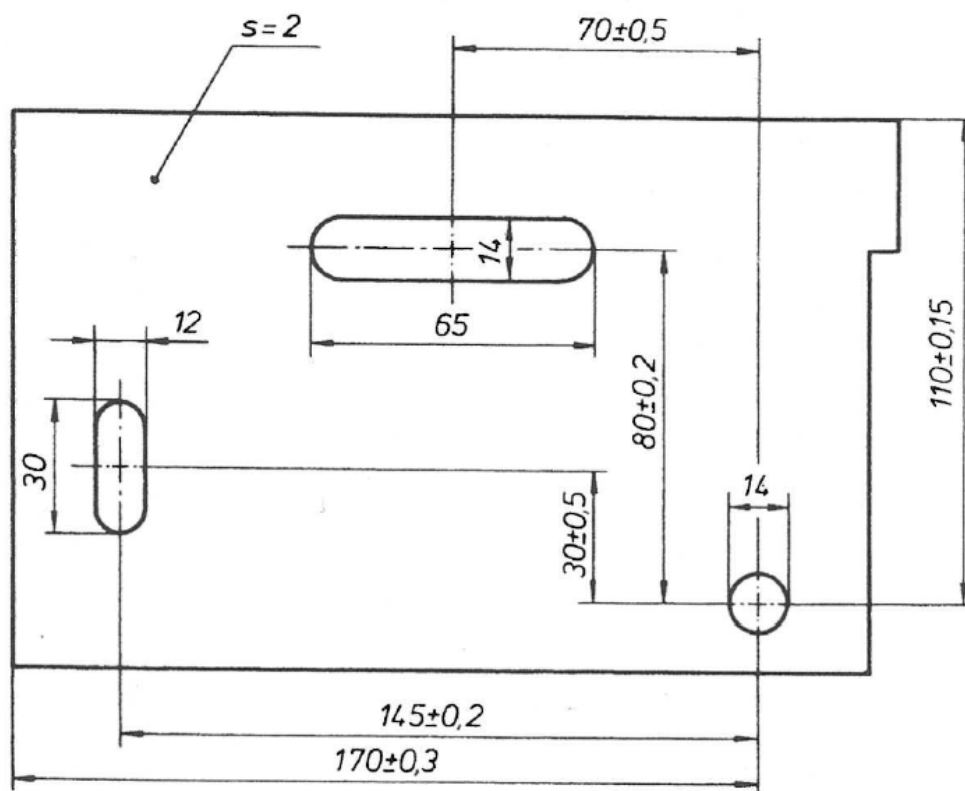
3.1 Kappaleiden mitoittaminen ja niihin liittyvä mitattavuus

Tekniset piirustukset näyttelevät suurta osaa tuotteiden mitattavuudessa, kun pohditaan, miten ja millä mittausprosesseilla tuotteita tai kappaleita kyetään mitaamaan. Mittauksien tarkkuus ja oikeellisuus takaavat valmistettavan tuotteen oikeanlaisen laadun, sekä mahdollistavat niiden korjaamisen. (Keinänen & Järvinen 2014, 5.)

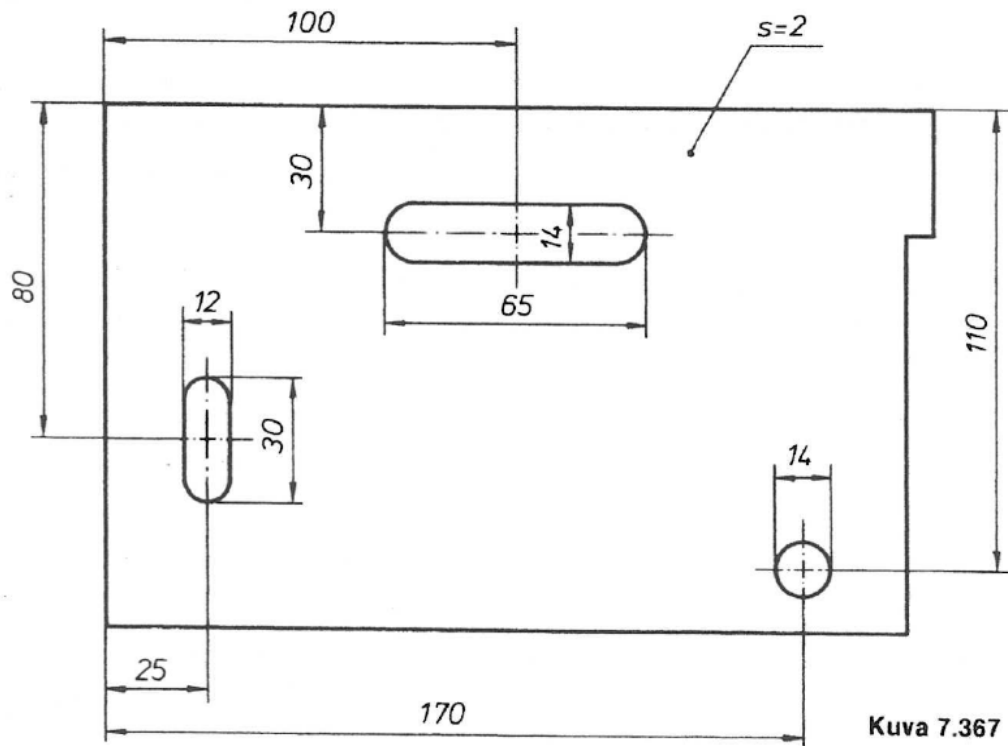
Ennen kuin kappale mitoitetaan, on päätettävä ja selvitettävä oikeanlaiset mitoitustulähtökohdat. Mitoitustulähtökohdaksi täytyy valita kappaleelle toiminnallisesti ensisijainen piste, pinta tai keskiviiva. Mitoitustulähtökohtana tulee välttää toiminnallisesti toissijaisia ja valmistusteknisesti epätarkkoja kohteita. (Pere 2009, 7–17.)

Erilaisille piirustuslajeille on asetettu erilaisia vaatimuksia niiden mitoittamisen suhteen. Eri piirustuslajeissa piirustus voidaan laatia esimerkiksi erillisen osan työpiirustukseksi, työvaihepiirustukseksi, kokoonpanopiirustukseksi, tarjouspiirustukseksi tai vaikka mitoiltaan suuren osan kuljetusta varten. (Pere 2009, 7-24.) Kappaleen mitoittamisen tulee palvella toiminnallisia, valmistusteknisiä ja tarkastuksellisia vaatimuksia (Pere 2009, 7-67). Valmistus- ja tarkastusmenetelmien tuntemus auttaa mitoittamaan piirustuksen oikealla tavalla (Pere 2009, 7-1).

Tehtäessä esimerkiksi suoraan levyyn reikiä, voidaan vaatimukset erilaisten piirustusta koskevien vaatimusten suhteen ottaa huomioon kuvien 7.366 ja 7.367 (kuvat 3 ja 4) mukaisilla tavoilla. Tällaisten mitoitus- ja tarkastustapojen etuna on toiminnallisten vaatimusten huomioon ottaminen, mutta haittana on, että kaikkia tarvittavia mittoja ei saada suoraan teknisestä piirustuksesta. (Pere 2009, 7-67–7-68.)

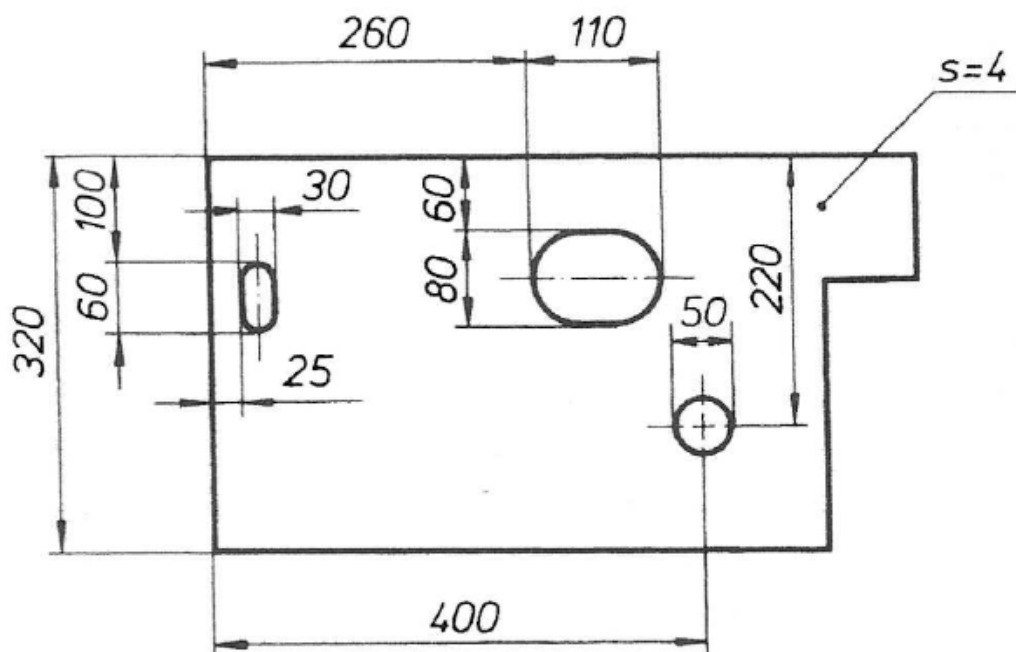


Kuva 3. Kuvan 7.366 mukainen toiminnallisia vaatimuksia palveleva mitoitus- ja tarkastustapa (Pere 2009, 7-68).



Kuva 4. Kuvan 7.367 mukainen toiminnallisia vaatimuksia palveleva mitoitus-tapa (Pere 2009, 7-68).

Mitoitus voidaan tehdä myös kappaleen reunoihin (kuva 5), jolloin mitoitustavan voidaan katsoa palvelevan valmistuksen vaatimuksia. Tällöin myös kappaleen tarkastus on helppoa. Mitoitustapa ei kuitenkaan oikein sovellu toiminnallisesti tärkeisiin kohteisiin, jonka vuoksi sen käyttö tulee harkita tarkkaan. (Pere 2009, 7-69.)



Kuva 7.368

Kuva 5. Kuvan 7.368 mukainen reunamitoitustapa (Pere 2009, 7-69).

Kun piirustuksessa käytetyt toiminnalliset mitat toleransseineen on määritetty ja merkitty piirustukseen, tulee osan mitoitus suorittaa myös valmistuksen ja mahdollisesti tarkastuksen vaatimusten mukaisesti. Tämän periaatteen mukaan valmistajan tulee ilman laskutoimituksia saada käyttöönsä kaikki tarvitsemansa mitat. Työvaiheita varten voidaan laatia työvaihepiirustuksia, joista tulee käydä ilmi kyseisen työvaiheen suorittamiseen tarvittavat mitat. (Pere 2009, 7-24.)

3.2 Toleranssit

Kappaleen todelliset mitat eivät ole koskaan täysin halutun mukaisia. Kappaleen oikeanlaisen toiminnan, osien vaihtokelpoisuuden, sekä kokoonpanon mahdollistamiseksi, joudutaan kappaleen mitoissa käyttämään sallittua mitta- vaihtelua, eli toleranssia. Myös sallitun mittavaihtelun eri yhdistelmiä eli sovitteita voidaan käyttää, kun halutaan sovittaa osia yhteen. Toleranssilla tarkoitetaan mittojen, muotojen, suunnan ja sijainnin sallittua vaihtelua. (Pere 2009, 20-1.) Toleranssia kutsutaan myös valmistustarkkuudeksi, sillä sen avulla

ilmoitetaan sallitun vaihtelun määrä, ilman että kappale muuttuu käyttökelvottomaksi (Keinänen & Järvinen 2014, 27).

Valmistustarkkuus on riippuvainen monista tekijöistä. Esimerkiksi tarkasti valmistettavan reiän valmistustarkkuus riippuu mitta- ja muototarkkuudesta, sekä sijainnin ja suunnan tarkkuuksista. Se riippuu myös pinnankarheudesta, vaikka sen ja toleranssin välistä matemaattista riippuvuutta voidaan pitää epäselvänä. Tarkka valmistusmenetelmä, eli pienet toleranssit tuottavat monesti kuitenkin pienen pinnankarheuden omaavan pinnan. (Pere 2009, 20-1.)

3.2.1 Yleiset mittatoleranssit

Kansainvälisesti standardisoituihin mittatoleransseihin kuuluu esimerkiksi työtapakohtaisia toleransseja, sekä ISO-toleransseja. Erilaisia työtapoja varten on saatavilla valmiiksi laadittuja yleistoleransseja. Piirustuksessa olevien mittojen mittavaihtelut voidaan ilmoittaa myös vapailla toleransseilla, eli suunnittelijan itsensä harkinnan varaisesti päättämällä toleransseilla tai käyttämällä yleistoleransseja. (Pere 2009, 20-35.) Turula Engineeringin tuotannossa käytetään yleisesti ottaen paljon koneistuksen, sekä hitsauksen yleistoleransseja, koska niitä käytetään paljon teknisten piirustusten ja osien valmistuksen yhteydessä.

Koneistuksen pituus- ja kulmamittojen osalta yleistoleranssit on esitetty standardissa SFS-EN 22768-1 ja tätä vastaavat levy- ja hitsattuja rakenteita koskevat yleistoleranssit standardissa SFS-EN-ISO 13920. Nämä yleistoleranssit ovat symmetrisiä, eli ne sallivat samanlaiset heitot ali- ja ylimitoissa perusmittaan nähden. Niissä vaihtelujen sallitut suuruudet ilmoitetaan taulukoissa, aina määrättyllä perusmitta, eli nimellismitta-alueella. (Keinänen & Järvinen 2014, 27.)

Yleistoleransseissa esitettävät tarkkuusluokat (taulukko 2) edustavat tavanomaisen käytössä olevan valmistustarkkuuden toleranssiluokkia. Käyttämällä yleistoleransseja ja niiden toleranssiluokkia saavutetaan lukuisia etuja. Yleistoleranssien oikeanlainen käyttö sujuvoittaa piirustusten lukua ja säästää

suunnittelijan aikaa, kun toleransseja ei tarvitse erikseen laskea. (Pere 2009, 20-35–20-36.)

Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismitta-alueella			
		$> 0,5$ ¹⁾ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120
f	hieno	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$
m	keskikarkea	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
c	karkea	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$

Taulukko 2. Ote koneistuksen pituusmittojen sallitusta vaihtelusta nimellismitta-alueella toleranssiluokittain (SFS-EN 22768-1 1993, 5). Taulukko ei ota kantaa hitsattuihin rakenteisiin tai viistettyihin kulmiin.

Yleistoleransseja käyttämällä laatusuunnittelu helpottuu, kun tuotteen tarkastustaso laskee. Tuotannon suunnittelu helpottuu, ja yleistoleranssin käyttäminen auttaa laadunhallintaa, kun pystytään analysoimaan toiminnallisuudelle tärkeiden mittojen tarkastusvaatimuksia paremmin. Yleistoleranssien käyttö poistaa myös ostajan ja alihankkijan väliset kiistat, kun tiedetään tavanomainen valmistustarkkuus jo ennen sopimuksien tekoa. (Pere 2009, 20-36.)

Konepajan tulisi yleistoleranssien käyttämisen mahdollistamiseksi selvittää mittaamalla, mikä on sen tavanomainen käytettävissä oleva valmistustarkkuus. Tällöin konepajan tulisi myös hyväksyä vain sellaiset piirustukset tuotantoonsa, joihin sen valmistustarkkuus yleistoleranssien osalta riittää. Valmistustarkkuuden säilymistä tavanomaisella tasolla tulisi myös valvoa pistokokein. Yleistoleranssissa esitetyn suureen ylittämisen ei tulisi kuitenkaan johtaa hylkäykseen, mikäli kappaleen toiminta ei heikkene. (Pere 2009, 20-36.)

3.2.2 Geometriset toleranssit

Kappaleilla ja sen kaikilla elementeillä on kaikissa tapauksissa tietynlainen koko ja geometrinen muoto, joiden rajoittaminen on edellytys sille, että ne toimivat halutulla tavalla (Pere 2009, 20-35). Geometrisillä toleransseilla ilmaistaan

piirustuksissa sellaiset rajat, joiden sisällä kappaleessa esitettyjen muotojen, suuntien, sijaintien, sekä heiton toleranssien (taulukko 3) tulee olla (Pere 2009, 20-70). Elementti voi olla piste, viiva, keskiviiva, pinta tai keskitaso. Johonkin edellä esitettyyn elementtiin liitetty geometrinen toleranssi määrää sen toleranssialueen, jonka sisällä elementti saa liikkua (Pere 2009, 20-80).

Määrittely	Ominaisuus	Tunnus
Muoto	Suoruus	—
	Tasomaisuus	□
	Ympyrämäisyys	○
	Lieriömäisyys	∩
	Viivan muoto	∩ ^a
	Pinnan muoto	∩ ^a
Suunta	Yhdensuuntaisuus	//
	Kohtisuoruus	⊥
	Kulma-asento	∠
	Viivan muoto	∩ ^a
	Pinnan muoto	∩ ^a
Sijainti	Paikka	⊕
	Samankeskisyys (keskipisteille)	⊙
	Sama-akselisuus (keskiviivoille)	⊙
	Symmetrisyys	≡
	Viivan muoto	∩ ^a
	Pinnan muoto	∩ ^a
Heitto	Heitto	↗
	Kokonaisheitto	↗↗

Taulukko 3. Ote geometrinen toleranssien, sekä niiden merkitsemistunnuksien taulukosta (SFS-EN ISO 1101 2017, 12).

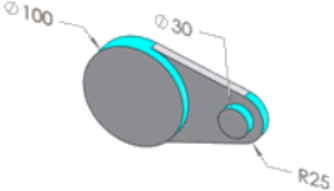
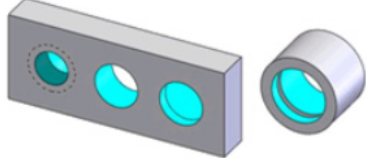
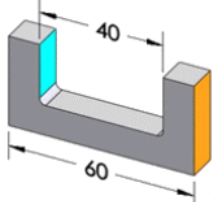
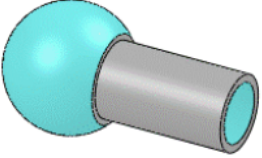
Tietyt geometrinen toleranssit vaativat toimiakseen peruselementin (SFS-EN ISO 1101 2017, 12). Peruselementillä tarkoitetaan teoriassa tarkkaa vertailukohtaa (SFS-EN ISO 5459 2011, 12). Geometrinen toleranssien esittäminen piirustuksissa on mielekästä yleensä, kun valmistettavan osan toimintavaatimus

toteutuu tai kun osa voidaan valmistaa sen materiaalin ja valmistusmenetelmän osalta edullisesti. Yhtenä kriteerinä geometrisen toleranssin esittämiselle piirustuksessa on, että osan tarkastusmenetelmän olisi oltava riittävän yksinkertainen ja tarkoitukseensa soveltuva. (Keinänen & Järvinen 2014, 31.)

Geometrinen toleranssien tarkastus on hankalaa ja suunnittelijan tulee harkita käytettävissä olevat tarkastusmahdollisuudet käyttäessään piirustuksessa muoto- ja sijaintitoleranssivaatimuksia. Tästä syystä tulisi suosia heittotoleranssin käyttöä sen helpon mittauskelpoisuuden takia. Geometrinen toleranssien mittaus riippuu esimerkiksi käytettävissä olevista mittausvälineistä ja vaadituista tarkkuuksista. Yksi vaikuttavista tekijöistä mittauksen suorittamiselle on myös kappaleen koko ja mitat. (Pere 2009, 20-106.)

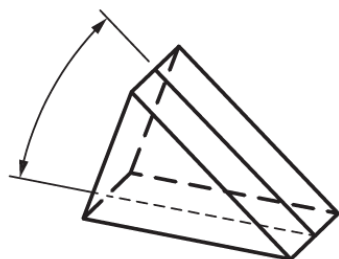
3.3 Mitallinen elementti

Mitallisella elementillä tarkoitetaan geometrista muotoa, joka on määritetty pituus- tai kulmamitalla (SFS-EN ISO 5459 2011, 14). Pituusmitallisia elementtejä (taulukko 4) ovat lieriö, pallo, kaksi yhdensuuntaista vastakkaista tasoa ja suoraa, ympyrä, sekä kaksi vastakkaista ympyrää (SFS-EN ISO 14405-1 2016, 7). Pituusmitta tarkoittaa oletusarvoisesti kahden pisteen välistä etäisyyttä ja se voidaan määrittää yksiselitteisenä ja täysin vain pituusmitallisille elementeille (Metsta 2021, 19).

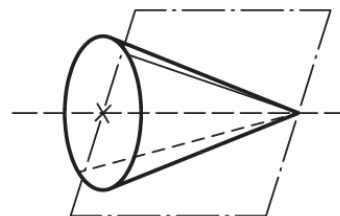
Kuva	Mitallinen elementti	Selitys
	Lieriö (akseli)	Ulkopuolinen lieriöpinta
	Reikä	Sisäpuolinen lieriöpinta
	Yhdensuuntainen tasopari (sisäpuolinen tai ulkopuolinen)	Kaksi yhdensuuntaista tasopintaa, suunnattu toisiaan kohti tai poispäin toisistaan
	Pallo	Sisä- tai ulkopuolinen pallopinta

Taulukko 4. Tyypillisiä pituusmitallisia elementtejä (Metsta 2021, 25). Mitalliset elementit on esitetty kuvissa sinisin tai oranssein värein.

Kulmamitta määritetään elementeistä ja niihin liittyvistä ominaisuuksista, jotka ovat kulmamitallisia elementtejä. Kulmamitallisia elementtejä on kahdenlaista eri tyyppiä ja ne voidaan jakaa pyörähtäviin mitallisiin elementteihin, eli kartioihin ja särmiömäisiin mitallisiin elementteihin eli kiiloihin (kuva 6).



a) Two opposite lines of a wedge



b) Two opposite generatrix lines of a cone

Figure 2 Examples of angular features of size

Kuva 6. Ote kulmamitallisten elementtien esimerkeistä (SFS-EN ISO 14405-3 2017, 8).

Kulmamitta voi olla siis kartio, tai kahden vastakkaisen samassa tasossa olevan suoran tai kahden vastakkaisen, mutta eri suuntaisen tason välinen kulma. Kulmamitallisen elementin kulman mitta ei voi olla 0 tai 180 astetta. (SFS-EN ISO 14405-3 2017, 7.)

4 Yleiset mittausvälineet

4.1 Yleiset teollisuuskäytössä olevat mittausvälineet

Pituudenmittausvälineistä tyypillisimpiä mittausvälineitä teräsrakenne- ja levytyöissä ovat rullamitat, joiden mittauspituudet vaihtelevat normaalisti 2–10 metrin välillä (Keinänen & Järvinen 2014, 43). Jyväskylän yliopiston sivuilla julkaistun taulukon (2020) mukaan rullamitan tarkkuus on noin 0,5 mm.

Työntömitta on monipuolinen, sekä mahdollisesti käytetyin mittausväline pituuden mittauksissa, jotka edellyttävät noin 0,05 millimetrin tarkkuutta ja sillä voidaan tarkastaa myös sisä-, ulko- ja syvyysmittoja. Työntömitan rakenteellinen tarkkuus on kuitenkin vain noin 0,1 mm:n luokkaa, jonka takia sillä ei tulisi pyrkiä tätä tarkempiin mittauksiin. (Keinänen & Järvinen 2014, 55–56.)

Kappaleissa ja tuotteissa esiintyy erilaisia kulmia, joiden mittaamiseen joudutaan käyttämään toisenlaisia mittavälineitä. Tällaisia mittavälineitä ovat esimerkiksi yleiskulmamitat, joilla voidaan tarkastaa kappaleiden kulmia. Yleiskulmamitoilla voidaan tarkastaa jopa 5 kulmaminuutin tarkkuudella, eli asteen kuudeskymmenesosan tarkkuudella. Yleiskulmamitoissa on yleensä siirrettävät viivaimet mittaamisen suorittamista varten. (Keinänen & Järvinen 2014, 69–70.)

Kertamittauksen periaatteeseen perustuvia tulkkeja käytetään mittaamaan, sekä tarkastamaan etenkin reikien ja akseleiden halkaisijoita. Niiden käyttö nopeuttaa tarkastustoimintaa huomattavalla tavalla ja niillä voidaan mitata myös joitain geometrisia toleransseja. (Keinänen & Järvinen 2014, 71.)

Mittakellot ovat tyypillisesti käytettyjä poikkeamamittausvälineitä ja niitä voidaan käyttää mitattaessa geometrisia toleransseja, kuten tasomaisuutta ja ympyrämuotoisuutta, mutta koordinaattimittakoneet ovat syrjäyttämässä niiden käyttöä massatuotannossa (Keinänen & Järvinen 2014, 79–84).

4.2 Koordinaatti- ja lasermittauskoneet

Koordinaattimittakoneet, mittakäsivarret, tuetut laserskannerit, sekä kannateltavat videolaserskannerit mahdollistavat kappaleen mittojen tarkastamisen suurella tarkkuudella ja vähäisillä virheillä. Niitä voidaan käyttää myös käänteiseen suunnitteluun, eli kappaleiden mallintamiseen. Kappaleita mitattaessa mittakoneella, niistä otetaan koordinaattipisteitä, jotka muodostavat paikkatietoja. Näiden pisteiden avulla voidaan luoda muotoja ja siten myös 3D-malli kappaleesta. (Keinänen & Järvinen 2014, 157.)

Mittakoneet voidaan jaotella kahteen eri ryhmään, joita ovat koskettavat ja kosketuksettomat mittakoneet. Näistä koskettavat ovat yleensä tarkempia, mutta laserskannausta, eli kosketuksettomia hitaampia. Laserskannauksen haasteena taas on vääränlainen valaistus tai läpinäkyvät kappaleet. (Keinänen & Järvinen 2014, 164.)

Coordinate Measuring Machine (CMM), eli koordinaattimittauskoneella kyetään mittaamaan, jopa 0,0001 mm:n tarkkuudella, mutta tavallisesti konepajoissa mittatarkkuustarve on enimmillään 0,001 mm. Nivelvarsimittalaitteen voidaan katsoa olevan koordinaattimittakone, mutta siihen voidaan asentaa myös laser-skanneri. Nivelvarsimittalaitteen tarkkuudet vaihtelevat 0,1 mm:n ja 0,005 mm:n välillä. Nivelvarsimittalaitteen voi asettaa johteille, jolloin voidaan mitata pitkiäkin kappaleita ja sen yhtenä etuna voidaankin pitää sen hyvää liikuteltavuutta. (Keinänen & Järvinen 2014, 164–168.)

Laserskannauksessa, lasersäde heijastetaan kappaleen pintaan ja siitä takaisin mitta-antureille. Laserskannereiden tarkkuus on hyvä optimaalisissa olosuhteissa ja niillä päästään jopa 0,0001 mm:n tarkkuuksiin. Konepajateollisuudessa mittausolosuhteet kuitenkin rajoittavat enimmäistarkkuuden hyödyntämistä. Kappaleen etäisyys skannerista vaikuttaa myös mittaustulokseen. Mitä kauempana skannerista oleva kappale on, sitä heikompi on mittauksen tarkkuus. (Keinänen & Järvinen 2014, 170–171.)

5 Mittausepävarmuus

5.1 Mittausvirheistä yleisesti

Mittaustulosta ei voi koskaan pitää täysin oikeana, vaan sitä tulee aina pitää arviona mitattavasta arvosta. Mittausvirheellä tarkoitetaan mittaustuloksen ja mitattavan arvon keskinäistä eroa. Mittausepävarmuus on puolestaan arvio siitä, minkä suuruinen mittausrvirhe voi olla. (Keinänen & Järvinen 2014, 98.)

Mittausvirheet voivat johtua muun muassa mittalaitteesta, mittaajasta, työkalupaleesta ja ympäristötekijöistä. Mittalaitteesta johtuvia virheitä voivat olla esimerkiksi mittaustuloksen lukuvirheet, epäpuhtaudet mittalaitteessa, mittalaitteen heikko kunto ja väärä mittaavoima. Mittaajasta johtuvia virheitä voivat olla muun muassa mittaajan heikko motivaatio tai mittaajan kiireessä ja

huolimattomasti suorittamat mittaukset, tai mittaajan käyttämä liiallinen mittaavoima. Myös tälle laadittu mittaushje voi olla huonosti laadittu.

Työkappaleesta syntyviä virheitä voi olla kappaleen poikkeuksellinen koko tai sen vaikeasti mitattavat muodot. Myös työkappaleen pinnanlaatu voi olla heikko. Työkappaleen materiaalin lämpötila voi olla kohonnut tai materiaali voi olla pehmeää. Ympäristötekijöistä johtuvia virheitä voivat olla mittaushjeen heikko valaistus tai likaiset työolosuhteet. Mittauskohde voi myös päästä liikkumaan ympäristön vaikutuksista. Ympäristöön liittyvä lämpötilan vaihtelu aiheuttaa merkittäviä mittaushjevirheitä, kun mitataan vaativia mittauksia edellyttäviä kohteita. (Keinänen & Järvinen 2014, 96–97.)

5.2 Mittauksen mittaushjevirheen laskenta

Tiedettäessä esimerkiksi vaa’an pystyvän mittaamaan yhden gramman tarkkuudella ja mitattavana suureena toimii kappaleen massa, saadaan selville mittauksen mittaushjevirheen aiheuttama mittaushjevirhe yhtälön 1 esittämällä tavalla (Eloranta 2018, 7). On huomioitava, että tässä luvussa esitetty mittaushjevirhe perustuu vain mittaushjevirheen laskentaan, muita mittaushjevirheitä lisääviä tekijöitä on kuvattu aiemmassa luvussa. Tämä tarkoittaa sitä, että myös muut tekijät lisäävät mittaushjevirheen määrää.

$$m = \text{mitattu tulos} + \Delta m \tag{1}$$

$$m = 200g \pm 1g$$

Yhtälö 1. Mittauksen mittaushjevirheen laskenta (Eloranta 2018, 7).

Yhtälön 1 kaavassa m kirjain tarkoittaa kappaleen massaa grammoina ja delta m tiedossa olevaa mittaustarkkuutta, eli vaa’an tarkkuutta. 200 g, on käytetyn mittalaitteen osoittama lukema. Kaavan voi tulkita tarkoittavan sitä, että vaikka mittalaitteen lukema olisi 200 grammaa, vaihtelee kappaleen todellinen massa vähintään 199–201 gramman välillä. Delta m on kyseisessä esimerkissä siis mittauksen absoluuttinen virhe. (Eloranta 2018, 7.)

Mittauksen suhteellinen virhe, eli mittaustuloksen tarkkuus suhteessa mittausvirheeseen saadaan selvitettyä käyttämällä absoluuttista virhettä ja mittalaitteen osoittamaa lukemaa yhtälön 2 osoittamalla tavalla (Eloranta 2018, 7).

$$\Delta m\% = \frac{\Delta m}{\text{mitattu tulos}} \quad (2)$$

$$\Delta m\% = \frac{1 \text{ g}}{200 \text{ g}} * 100 = 0,5$$

Yhtälö 2. Mittauksen suhteellinen virhe (Eloranta 2018, 8).

Yhtälössä 2, kaava antaisi tuloksen myös desimaalilukuna, mutta kertomalla saatu tulos sadalla, saadaan esitettyä suhteellinen virhe prosentuaalisessa muodossa sen ollessa tässä tapauksessa 0,5 %. (Eloranta 2018, 8).

5.3 MSA-analyysi

Measurement system analysis (MSA) on mittausjärjestelmän analyysi. Mittausysteemillä tarkoitetaan tarkastus- ja mittaustapahtumaa, joka koskettaa kaikkea siihen liittyvää, kuten mittaajaa, mittausvälineistöä ja apulaitteita. Mittausystemeihin liittyy myös ympäristö sekä mittastandardi. Näin ollen voidaan puhua mittauksen systeemistä, jota analysoimalla, saadaan tietoa siitä, miten siihen liittyvät osat ja asiat vaikuttavat mitattaviin tuloksiin. Mittauksen analysoinnin tarkoituksena on vakuuttaa ostaja siitä, että tämän hankkiman tuotteen ominaisuudet kyetään mittaamaan ja tarkastamaan toimivalla tavalla. Analyysin perimmäisenä tarkoituksena on selvittää mikä on mittausvirheen osuus prosessissa itsessään esiintyvistä vaihtelusta tai mitattavan mitan toleranssista. Yksi perimmäinen tarkoitus on myös selvittää, onko mittausvirheen suuruus hyväksyttävällä tasolla. (Pesonen 2020.)

Mittausjärjestelmän analysointiin voidaan käyttää erilaisia menetelmiä. Tyypillinen menetelmä mittausjärjestelmän analysointiin on Gage R&R tutkimus, jossa tutkitaan, kuinka hyvin mittaussysteemi kykenee toistamaan ja uusimaan mittaustuloksia. Tutkimuksessa saatavien tulosten tulisi osoittaa, että

mittaustulokset ovat lähtökohtaisesti riippumattomia mittaajasta ja uusintakerroista. Tulosten avulla pitäisi pystyä myös erottelemaan mahdollisesti kappaleet toisistaan. (Pesonen 2020.)

MSA menetelmien hyödyntämiseen on olemassa erilaisia Excel-pohjia, mutta yksi kätevästä keinoista on käyttää Minitab Assistantia, jossa on karkeat ohjeet (taulukko 5) Gage R&R-testin tekoon ja joita on hyvä noudattaa (Pesonen 2020).

Ohjeistus Gage R&R testin suorittamisesta	
Gage R&R tutkimuksen valmisteluvaihe	Mitattavia osia pitäisi olla ainakin 10 kappaletta, tai tätä enemmän (10-35)
	Osien tulisi edustaa prosessin vaihtelua
	Mittauksia suorittavia operaattoreita tulisi olla vähintään 3
	Kaikki osat tulisi mitatata 2 kertaa
Gage R&R tutkimuksen suorittaminen	Mittaukset pitäisi suorittaa tyypillisissä olosuhteissa
	Mittaukset tulisi suorittaa satunnaisessa järjestyksessä
Gage R&R tutkimuksen oletukset	Mittalaitteen on oltava kalibroitu
	Osat tulee olla valittuna vakaasta prosessista
	Jotta tiedetään mittaussysteemin soveltuvuus osien hyväksymisprosessiin, tulee määrittää vähintään yksi spesifikaatio

Taulukko 5. Minitab 19 Assistant ohjeistusta Gage R&R-testin tekemiseen Pesosen (2020) mukaan.

Analyysissa pitäisi pyrkiä lopputulokseen, jossa saatuun dataan vaikuttaa eniten mittauksessa mitatut kappaleet, eivätkä mittaajat tai toistokerrat. Tällaisen hyvin suoritettun mittauksen avulla kyetään tunnistamaan prosessin muutokset ja erottelemaan kappaleita toisistaan. Minitab Assistantin avulla saadaan analyysistä helposti luettavat visuaalisesti luettavissa olevat tulokset. (Pesonen 2020.)

6 Digitalisaation mahdollisuudet

6.1 MBD yleisesti

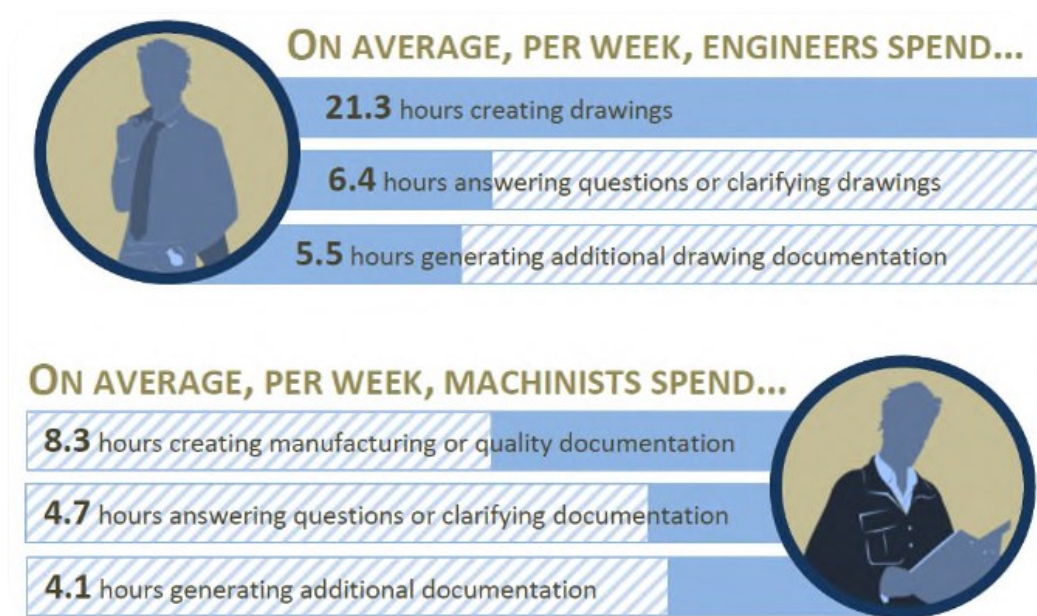
Tuotetta tai kappaletta koskevaa tietoa on dokumentoitu tähän asti kaksiulotteisella teknisellä piirustuksella, vaikka tuotteet on mallinnettu pitkään kolmiulotteisina. Tähän on syynä mitä luultavimmin pitkät perinteet ja toisistaan eriävät tietojärjestelmäalustat. Nykyisin on olemassa myös Model Based Definition (MBD), eli malliperusteinen tuotemäärittely, jossa on ideana upottaa tuotteen täydellinen määrittelytieto 3D-malliin itseensä ja jonka avulla voidaan jättää tekniset piirustukset pois. Nykyiset, suunnitteluun käytetyt ohjelmistot mahdollistavat malliperäisen tuotemäärittelyn tekemisen. (Metsta 2016, 1.)

Tällaiseen malliperusteiseen tuotemalliin voidaan upottaa erilaisia valmistuksessa tarvittavia tietoja, kuten mittoja ja niiden toleransseja, pinnankarheuksia, materiaaleja, sekä leikkaus- ja räjäytyskuvia. MBD-tuotemalli voi sisältää myös esimerkiksi tekstitiedostoja. Termillä Product and Manufacturing Information (PMI) tarkoitetaan tuotetta määritteleviä ominaisuuksia, kuten mittoja, toleransseja ja pinnan ominaisuuksia. Näihin ominaisuuksiin ei kuitenkaan kuulu geometriaa koskeva informaatio. Näin ollen MBD itsessään on laajempi käsite kuin PMI. (Metsta 2016, 2.)

6.2 MBD:n käyttö ja hyödyt mittaamisessa

Malliperustaisen tuotemäärittelyn tekniikoiden avulla voidaan hyvässä tapauksessa automatisoida mitta- ja toleranssitietojen siirtoa CMM-ohjelmiin, eli koordinaattimittauskoneisiin. Automatisoinnin avulla voidaan välttää manuaalisen syöttämisen mukana mahdollisesti tulevat virheet. 2D-piirustukset altistavat niiden virheellisille tulkitsemisille, jotka voivat johtua esimerkiksi 2D-kuvantojen vajavaisista esitystavoista tai piirustusten lukijan tekemistä virheellisistä tulkinnoista. (Metsta 2016, 4.)

Motiivina malliperäisen tuotemäärittelyn käyttöön laadunvarmistuksessa voidaan pitää sitä, että tuotettu kappale voidaan tarkistaa vertailemalla sitä alkuperäiseen 3D-malliin ja mittaraportit voidaan tehdä myös ilman yleisiä 2D-piirustuksia. Ajankäyttöä ei voi pitää nykyisissä prosesseissa kovinkaan kekseliäänä, sillä suunnittelijat tuottavat samaa informaatiota (kuva 7) toistuvasti. (Metsta 2016, 5.)



Kuva 7. Ajankäyttöä nykyisillä käytännöillä ja prosesseilla (Metsta 2016, 5). Kuvasta nähdään, mihin aikaa käytetään nykyisillä käytännöillä.

Laadunvarmistuksessa tehdyt mittausraportit on yleensä tehty hyödyntäen 2D-piirustuksissa esitettyjä numeroituja mittoja, vaikka monissa yrityksissä olisi kyky ottaa vastaan 3D-malleja useissa erilaisissa tiedostoformaateissa. Laadunvarmistus kuitenkin yleensä haluaa 2D-piirustuksia käyttöönsä. (Metsta 2016, 7.)

Laajalle levinneen, tiedostojen jakamisessa yleisesti käytetyn 2D PDF-tiedostoformaatin rinnalle on saatavilla myös 3D PDF-tiedostoformaatti, johon voidaan sisällyttää tietoa 3D-muodossa. PDF-tiedostossa ja siihen liitettyssä osaluettelossa voidaan esittää PMI- ja 3D-malliin liittyvää kuvantotietoa. Samaisessa tiedostossa voidaan esittää myös 3D-malli tai vaikkapa mittapöytäkirja. (Metsta

2016, 8–9.) 3D PDF-tiedostoformaatin katselemiseen tarvitsee ilmaisen Adobe PDF Reader ohjelman.

Tietokoneavusteisesti, eli Computer-Aided Design (CAD) luotuja 3D-malleja, jotka pitävät sisällään PMI-dataa, voidaan hyödyntää koordinaattimittauskoneissa luomaan mittausstrategioita. PMI-data pitää sisällään kaiken tarkistettavaan piirteisiin ja niiden toleransseihin tarvittavan tiedon. PMI-datan käyttö tuo mittauksen suunnittelua lähemmäs tuotesuunnittelijaa ja sen etuna voidaan pitää sen mittauksia yhtenäistäviä käytäntöjä. Se vakioi sitä, miten mittaukset suoritetaan, välittämättä kuitenkaan siitä, kuka mittaa, millä mittaa ja missä mitataan. Käytettäessä PMI-dataa monimutkaisia kappaleita mitatessa, voidaan säästää ajassa 90 % verrattuna perinteiseen mittauskoneen ohjelmointiin. Suuri osa uusista mittauskoneiden ohjelmista kykenee mittausohjelmien luontiin joko puoliautomaattisesti tai automaattisesti. PMI-dataa hyödyntää Euroopassa autoja ilmailuteollisuus osana niiden omia prosessejaan. (Metsta 2016, 13.)

7 Mittapöytäkirjojen kehittämistyö

Mittapöytäkirjoja koskeva kehittämistyö aloitettiin heti, kun toimeksiantosopimus opinnäytetyön tekemisestä oli tehty. Kehittämistyön aikana selvitettiin mittapöytäkirjojen nykytilaa. Nykytilaan liittyviä haasteita selvitettiin yhdessä toimeksiantajayrityksen työntekijöiden kanssa. Kehittämistyön aikana tehtiin parannusehdotuksia mittapöytäkirjojen kehittämiseksi, sillä asiakkaan omistaessa mittapöytäkirjat, ei niihin voitu tehdä itsenäisesti suoria muutoksia. Opinnäytetyössä kehitettiin lähinnä yrityksen mittapöytäkirjojen dokumentointiin ratkaisuehdotuksia, sekä luotiin parannusehdotuksia olemassa olevien mittapöytäkirjojen parantamiseksi ja täyttämiseksi. Myös mittaamiseen liittyviä mittausepävarmuuden asioita pohdittiin mittaussysteemin analyysin yhteydessä.

Asiakkaiden toimittamista mittapöytäkirjoista on olemassa erilaisia versioita ja tässä työssä käsitellään jo tämän työn alkupäässä mainittua ensimmäisen kappaleen tarkistuksen mukaista mittapöytäkirjaa, joihin liittyvät asiat on esitelty

tarkemmin seuraavissa luvuissa. Yrityksessä esiintyy myös geneerisempiä, eli yleisempiä mittapöytäkirjoja. Ne eivät kuitenkaan varsinaisesti ole tämän työn tarkastelun kohteena, sillä niihin voidaan katsoa sovellettavan ainakin pääosin samanlaisia kehitysideoita ja kehitystoimia, kuin tässä opinnäytetyössä käsiteltävään mittapöytäkirjamalliin. Seuraavissa luvuissa esitetyt tekniset piirustukset ja mittapöytäkirjamallit sisältävät tätä työtä havainnollistavia kohtia. Ne ovat löyhiä jäljitelmiä dokumenteista, kappaleista ja niiden piirteistä, joten esimerkiksi mitoitustavat, mittakaavat tai toleranssit eivät ole välttämättä täydellisiä tai hyvien käytäntöjen mukaisia.

7.1 Mittapöytäkirjojen nykytilan yleiskatsaus

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävän mittapöytäkirjan käyttöön liittyvä prosessi toimii niin, että mittauksia varten tulostetaan mittapöytäkirjapohja ja siihen liitetty tekninen piirustus. Tämän jälkeen voidaan katsoa piirustuksesta tarkastettava kohde, joka mitataan sen jälkeen mittausvälineitä apuna käyttäen tuotetusta kappaleesta. Kappaleesta tai tuotteesta saadut mitat kirjataan mittapöytäkirjapohjaan mittauksen yhteydessä. Kun kaikki asiakkaan ennalta määrittelemät kohteet on tarkastettu ja kirjattu, dokumentoidaan ja palautetaan mittapöytäkirjat niille varattuihin tiedostoihin. Mittauksien oikeellisuuden ja mittapöytäkirjan tarkastaa lopuksi esihenkilö tai projektinhoitaja.

Mittapöytäkirjojen täyttämisen ja dokumentoinnin on toimeksiantajayrityksellä jonkin verran haasteita. Mittapöytäkirjojen täyttäminen koetaan haasteelliseksi, sillä jotkin teknisissä piirustuksissa esitettävät mitattavat piirteet ovat hankalasti tai epätarkasti mitattavissa tavanomaisesti käytössä olevin mittausvälinein. Turula Engineering Oy:n tavanomaisimmat käytössä olevat pituudenmittausvälineet ovat konepajoissakin yleisesti käytetyt rulla- ja työntömitat. Yrityksen käytössä on kuitenkin myös nivelvarsimittalaite, jonka käyttö on kuitenkin tällä hetkellä vähäistä, sillä asiakkaat eivät lähtökohtaisesti toimita 3D-malleja kappaleista. Mitattavuuteen liittyviä haasteita koetaan jonkin verran, sillä esimerkiksi mittaukseen käytettävää mittausvälinettä ei välttämättä ole asiakkaan

toimesta ilmoitettu. Myös toleranssien koetaan poikkeavan mittapöytäkirjojen ja niihin liittyvien teknisten piirustusten välillä aiheuttaen jonkin verran ristiriitoja.

Mittapöytäkirjojen dokumentoinnin koetaan aiheuttavan haasteita, sillä mittapöytäkirjoja joudutaan välillä etsimään toimeksiantajayrityksessä niiden ollessa kadoksissa. Yhtenä niiden dokumentoimisen haasteena ovat myös erimielisyydet siitä, kuka suorittaa mittapöytäkirjan täyttämisen ja missäkin työvaiheessa. Mittapöytäkirjojen täyttäminen tapahtuu tällä hetkellä lähes aina paperille, jonka koetaan olevan myös esteenä sujuvammalle ja nykyaikaisemmalle dokumentoinnille. Tällä hetkellä mittapöytäkirjojen sähköiseen muotoon tallentaminen edellyttääkin paperille täytetyn mittapöytäkirjan skannaamista, jotta sen saa sähköiseen muotoon. Näin ollen henkilöstössä olisi toiveena siirtyä sähköisesti täytettävään asiakirjaan paperisten versioiden sijaan.

7.2 Mittapöytäkirjojen dokumentoinnin kehittäminen

Luvussa 2.2 esitetyt vaatimukset dokumentoinnista eivät välttämättä täyty tämänhetkisten toiminnan osalta, sillä dokumentointi ei ole aina täysin luotettavaa. Sen voi katsoa johtuvan osittain siitä, että dokumentointia ei suoriteta täysin sähköisessä muodossa mittapöytäkirjojen osalta, vaan niistä on olemassa käsin täytettävät paperiset versiot, jotka ovat kokemukseen perustuvan tiedon mukaan riskialttiita häviämislle tai tuhoutumiselle. Paperisia mittapöytäkirjoja on myös hankala hallita, sillä niiden käyttämistä tai palauttamista ei voida valvoa tehokkaasti.

Sujuvan dokumentoinnin osalta yksi rajoittavimmista tekijöistä on mittapöytäkirjojen tiedostomuodot, jotka osaltaan pakottavat tulostamaan mittapöytäkirjasta paperisen version ja näin ollen täyttäminen joudutaan tekemään käsin. Asiakkaan ja toimeksiantajayrityksen välillä käytettävät PDF-tiedostomuodot, joissa mittapöytäkirjat tälläkin hetkellä toimitetaan, eivät yleensä mahdollista tiedostojen sähköistä muokkaamista yksinkertaisella tavalla, jolloin esimerkiksi taulukoita ei voida täyttää sähköisillä tavoilla. Kuten luvussa 2.1.1 todettiin, on

tiedostolle vain 12 kilotavua. Näin ollen tiedosto ei rajoittane juurikaan yritysten tiedonhallinta- ja toimintajärjestelmiä. Pieni tiedostokoko auttaa säilyttämään mittapöytäkirjoja suuria määriä, jolloin voidaan luopua myös paperisten mittapöytäkirjojen säilyttämisestä ja niiden täyttämisestä.

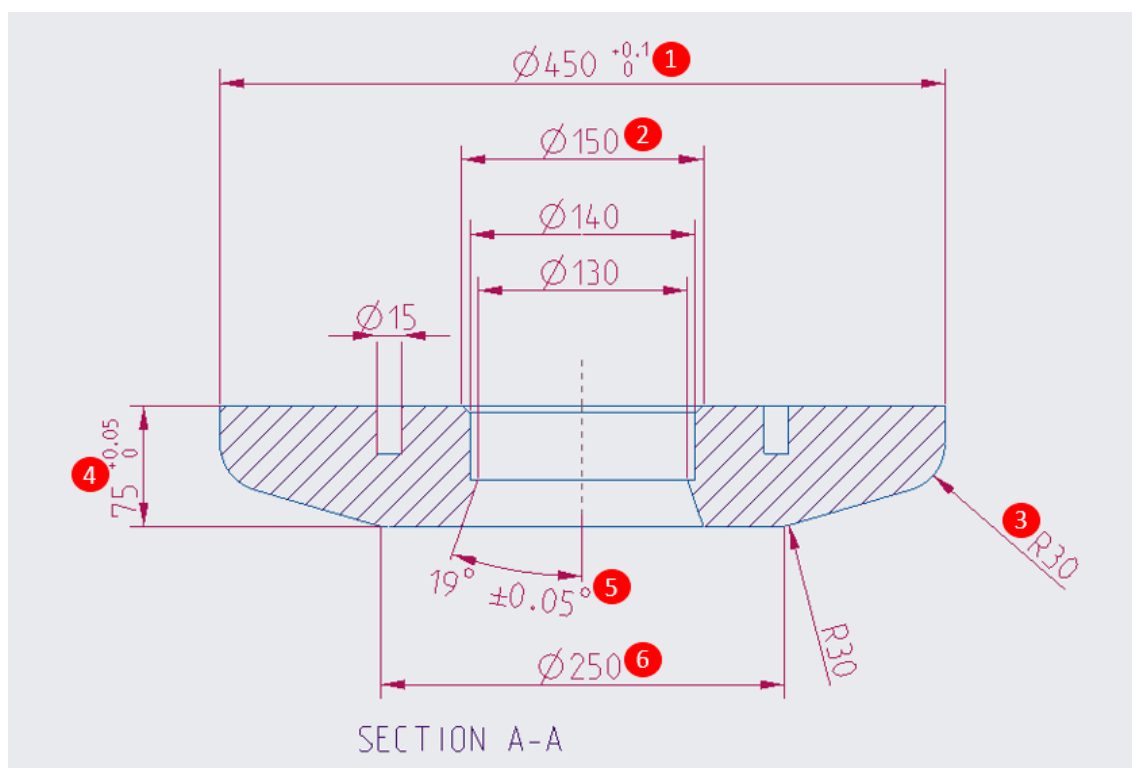
Mikäli voidaan siirtyä sähköiseen mittapöytäkirjojen täyttämiseen, voidaan hyödyntää myös erilaisten toimintajärjestelmien ominaisuuksia täytettyjen mittapöytäkirjojen yhteydessä. Tällaisia ominaisuuksia ovat tiedostojen tallentamisen yhteydessä tapahtuvat niin sanotut vesileimaukset, jotka osoittavat dokumentin dokumentointikelpoisuuden. Tämä tarkoittaa sitä, että koneistajan palauttaessa täyttämäänsä mittapöytäkirjaa toimintajärjestelmään, voi sen määrittää menemään ensin toimintajärjestelmän vastuuhenkilön tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi. Näin ollen täytetylle mittapöytäkirjalle saadaan jopa kaksi nähtävillä olevaa hyväksyntää, jonka voidaan katsoa olevan vahva vakuus siitä, että tuote on vaatimustenmukainen. Mikäli ei käytetä toimintajärjestelmiä, voidaan kaksivaiheinen hyväksyntä tehdä viemällä Excel-tiedostomuodossa täytetty mittapöytäkirja PDF-tiedostomuotoon, jolloin dokumenttiin voidaan tehdä sähköinen allekirjoitus. Sähköistä mittapöytäkirjan täyttämistä tukee myös luvussa 6 esitetty mallipohjaisen tuotemäärittelyn käyttö, sillä esimerkiksi kuvan 2 mukainen tekninen piirustus voidaan esittää 3D-mallina PDF-tiedostomuodossa, johon on kytketty mittapöytäkirjassa esiintyvät numeroidut pallot. Tällaisten tiedostojen luominen on ainakin SolidWorks -mallinnusohjelmistolla mahdollista.

7.3 Mitattavuuden kehittäminen

Yhtenä haasteena mittapöytäkirjojen täyttämiseksi voidaan pitää tuotteiden mitattavuutta, kuten luvussa 7.1 mainittiin. Mittapöytäkirjojen täyttämisen on koettu olevan haasteellista toimeksiantajayrityksessä, sillä jotkin teknisessä piirustuksessa esitetyt tarkastettavat mitat ovat hankalasti mitattavissa ja täten myös hankalasti todennettavissa. Tämän voi katsoa johtuvan osittain luvussa 3.1 esitetyistä asioista, sillä kappale voi sen mukaan olla mitoitettu erilaisten vaatimusten mukaan, jolloin tarkastuksen vaatimukset voivat olla toissijaisia toiminnallisiin vaatimuksiin nähden. Kuten luvussa 7.1 mainittiin, on mittakoneiden käyttö

vähäistä, joten tarkastukset tehdään käyttämällä apuna tavanomaisia pituudenmittausvälineitä. Tavanomaisilla pituudenmittausvälineillä ei pystytä helposti tai luotettavasti tarkastamaan hankalasti mitattavia piirteitä.

Hankalasti mitattavia piirteitä tavanomaisilla pituudenmittausvälineillä koetaan yleisesti olevan esimerkiksi kappaleiden keskiviivaan, sekä vinoihin pintoihin kohdistuvat mitat (kuva 8), joita nähdään teknisissä piirustuksissa hyvin yleisesti. Keskiviivaan mitoitettujen piirteiden tarkastamisesta tekee vaikeaa referenssipintojen puute. Tässä yhteydessä referenssipinnalla tarkoitetaan kappaleen todentamiseen käytetyn mittausvälineen käyttämiä vertailupintoja. Referenssipintojen puute tekee mittaamisesta vaikeaa, sillä mittausvälinettä ei pystytä asemoimaan valmistetussa kappaleessa luotettavasti. Myös kappaleen vinoihin pintoihin tehtävä mittausvälineen aseointi on haasteellista, sillä mittaus-tulos voi muuttua väärällä mittausvälineen asemoinnilla hyvinkin paljon.

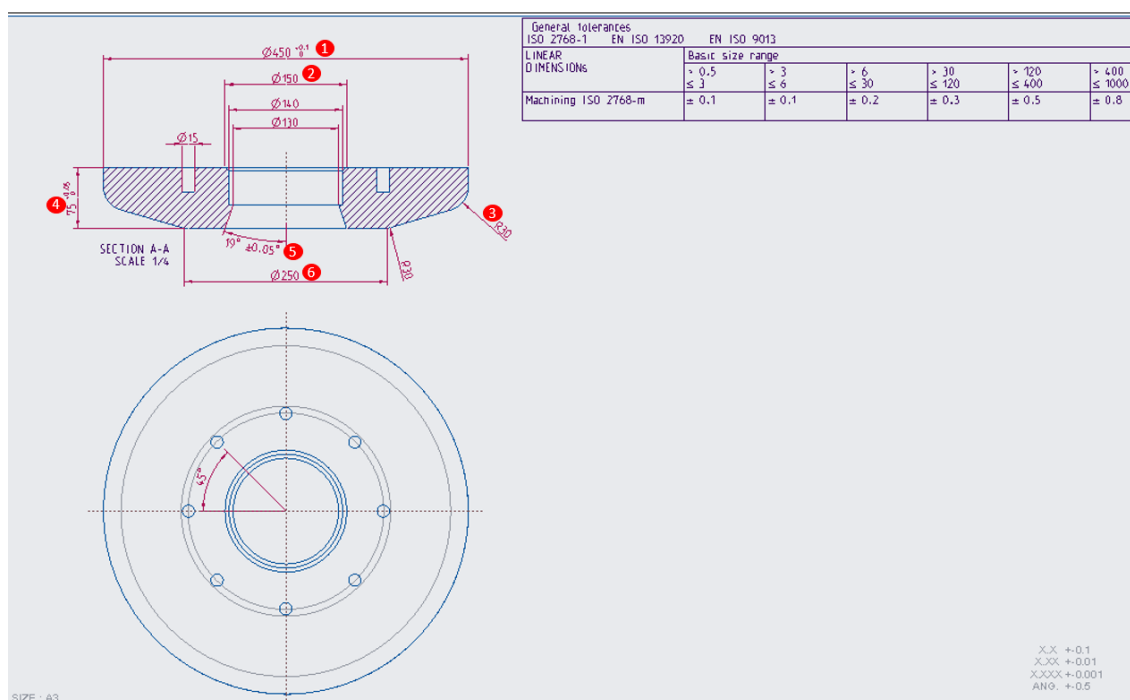


Kuva 8. Havainnekuva mitattavista ominaisuuksista ja niiden piirteistä.

Kuvan 8 tarkastettavista piirteistä vaikeimpina tavanomaisille mittausvälineille, voidaan arvioida olevan mittojen piirteet 2, 3, 5 ja 6, joiden mittaamiseen ei ole tarkkaa vertailukohtaa tai selkeää pintaa käytettäessä esimerkiksi

yleiskulmamittoja tai työntömittaa. Näin ollen niissä tehtävien mittausten voidaan olettaa lisäävän mittauksesta aiheutuvaa virhettä. Kuvasta 8 nähdään myös, että mitan 5 astemitan toleranssi on erittäin tiukka ja se vastaakin noin 3 kulmaminuutin tarkkuutta. Tämän vuoksi kyseisen mitan tarkastamiseen käytettävä väline olisi mietittävä tarkkaan. Tarkat toleranssit kaventavat käytössä olevaa mittausvälineistön valikoimaa luvussa 4 esitettyjen mittausvälineiden tarkkuuksien mukaisesti ja lisäävät näin ollen mittaukseen liittyvää mittausepävarmuutta. Mittausvälineiden tarkkuuksien takia olisi huomioitava mittapöytäkirjoissa myös mittauksiin liittyvä mittausepävarmuus luvussa 5.1 esitettyjen mittausrvirheeseen liittyvien asioiden osalta. Mittausvirhe kaventaa myös käytettävissä olevaa toleranssialuetta, joten mittapöytäkirjan olisi hyvä ottaa kantaa siihen, mitkä ovat kappaleen hyväksyntään käytetyt raja-arvot.

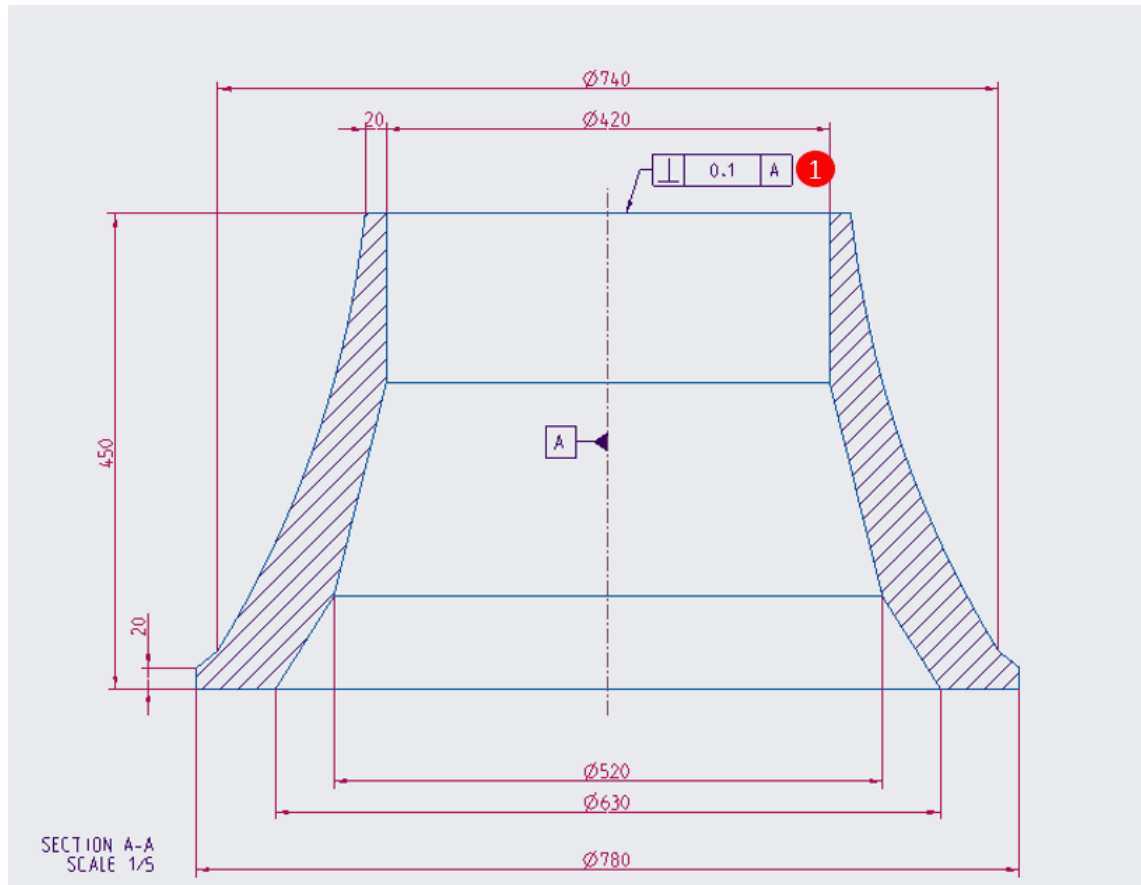
Toleranssien koetaan aiheuttavan hieman ristiriitaisuuksia, sillä teknisessä piirustuksessa esitettyjen yleistoleranssitaulukoiden mukaiset toleranssit (kuva 9), poikkeavat mittapöytäkirjoissa esitetyistä toleransseista, niiden ollessa yleensä teknisessä piirustuksessa esitettyjä tarkempia.



Kuva 9. Tekninen piirustus ja siinä esiintyvä yleistoleranssitaulukko. Kuvan yleistoleranssitaulukko koskee tässä tapauksessa vain koneistuksen mittoja.

Ristiriidan voidaan katsoa syntyvän, kun mitoille, joita yleistoleranssitaulukot koskettavat, määritetään mittapöytäkirjan (taulukko 6) toleransseja koskeviin kohtiin yleistoleranssista poikkeavat tarkemmat arvot. Tästä syntyy piileviä riskejä, sillä mikäli kappale valmistettaisiin esimerkiksi toimeksiantajayrityksen ulkopuolella, voisi kappaleen valmistava yritys hylätä kappaleen tarpeettomasti. Tällainen tilanne voisi syntyä, mikäli mittapöytäkirjoissa esitetyt, teknisestä piirustuksesta poikkeavat toleranssit jäävät valmistusvaiheessa huomioimatta. Näin ollen voi syntyä myös tilanne, jossa luvussa 3.2.1 esitetty tavanomainen valmistustarkkuus ei enää riitä. Pienet toleranssit tuovat valmistuksellisia ja tarkastuksellisia haasteita, sillä kuten luvussa 4 mainittiin mittausvälineiden tarkkuuksista, eivät ne välttämättä riitä enää osoittamaan myöskään tuotteen vaatimustenmukaisuutta. Tiukat toleranssit puoltavat täten myös siirtymistä tarkempien mittausvälineiden, kuten mittakoneiden käyttöön.

Geometrisia toleransseja ei tällä hetkellä tuotteista mitata. Geometriset toleranssit ovat kuitenkin monesti esitetty nykyaikaisissa teknisissä piirustuksissa. Niihinkin liittyy osittain haasteita, kuten luvussa 3.2.2 todettiin. Kyseisessä luvussa mainittu teoriassa tarkka vertailukohta, eli peruselementti on vaikeasti löydettäessä toisinaan, sillä esimerkiksi teoreettisen keskiviivan määrittäminen kappaleesta voi olla vaikeaa (kuva 10).



Kuva 10. Kappaleen teoreettiseen keskiviivaan liitetty peruselementti ja siihen liitetty tarkistettava ominaisuus. Kappaleesta tarkistetaan sen yläpinnan kohtisuoruus suhteessa kappaleen keskiakseliin.

Geometrinen toleranssien mittaamiseen liittyvät haasteet näyttäisivätkin pätevän luvussa 3.2.2 esitettyjen kohtien mukaisesti myös toimeksiantajayrityksessä mitattavien kappaleiden osalta. Niitä ei kuitenkaan tällä hetkellä tarkasteta suuremmassa mittakaavassa, joten niihin liittyvät haasteet ovat suhteellisen pieniä.

Ratkaisuehdotuksena mitattavuuden kehittämiseksi voitaisiin pitää luvussa 3.3 esitettyjen mitallisten elementtien suosimista teknisessä piirustuksessa, mikäli teknistä piirustusta käytetään osoittamaan vaatimustenmukaisuuden toteutuminen yhdessä kappaleen mittapöytäkirjan kanssa. Tämän voi kuitenkin olettaa tuottavan suunnittelijalle haasteita, sillä kuten edellä todettiin, voidaan kappale mittailla eri näkökulmista, luvun 3.1 mukaisesti, jolloin tarkastuksen vaatimukset mittaamisen suhteen voivat jäädä kappaleita mittaessa toissijaisiksi. Tästä syystä on mahdollista, että tekniset piirustukset pitäisi tehdä erikseen tarkastusta varten omana piirustuslajinaan, sekä katselmoita vielä erikseen,

ennen niiden käyttämistä kappaleen vaatimustenmukaisuuden todentamiseen. Suosimalla mitallisia elementtejä, pystytään todennäköisesti mittaukset suorittamaan varmemmin, kun kyetään esimerkiksi tarkastettaville pituusmitoille määrittämään yksiselitteinen pituusmitta luvun 3.3 mukaisesti.

Toleranssien osalta voitaisiin mahdollisesti pyrkiä hyödyntämään laajamittaisemmin yleistoleransseja sen sijaan, että mitoille asetettaisiin erikseen toleranssit mittapöytäkirjaan. Luvussa 3.2.1 esitetyt asiat ja edut yleistoleranssien käytöstä puoltavat tällaisten menetelmien käyttöä. Edellä mainitut toimenpiteet voitaisiin tehdä asettamalla toleranssit niille varattuihin mittapöytäkirjan sarakkeisiin teknisen piirustuksen yleistoleranssitaulukoiden mukaisesti. Tämä voidaan tehdä jättämällä kyseiset sarakkeet tyhjiksi, tai viittaamalla käytettävään yleistoleranssiin esimerkiksi mittapöytäkirjan kohdassa additional data / comments. Kyseiset sarakkeet ja täytettävät kohdat löytyvät taulukosta 6, joka on esitelty jo aiemmin tässä työssä.

Geometrinen toleranssien osalta on hankalaa lähteä tekemään parannusehdotuksia. Mikäli niitä halutaan mitata, tarvitsisi niiden tarkastukseen todennäköisesti miettiä siihen sopivat mittausvälineet. Kuten luvussa 3.2.2 mainittiin, asettaa muun muassa kappaleiden koko ja muoto niiden tarkastusmenetelmille todennäköisesti rajoitteita. Tällöin niiden tarkastaminen voisi olla järkevää esimerkiksi mittakoneilla.

7.4 Mittausepävarmuuden tutkiminen

Mittausepävarmuuden tutkiminen tehtiin tekemällä Gage R&R testi, luvussa 5.2 esitettyjen ohjeiden mukaisesti. Testissä ei voitu käyttää toimeksiantajayrityksen valmistamia tuotteita, joten mitattaviksi kohteiksi otettiin M20 kokoisia kuusiokantaruuveja. Ruuveista mitattiin vastakkaisia, yhdensuuntaisia tasopintoja digitaalista työntömittaa apuna käyttäen (kuva 11). Testin tekoon osallistui 3 koneistajaa, jotka mittasivat 10 ruuvia satunnaisessa järjestyksessä aina samoista tasopinnoista. Jokainen koneistaja mittasi ruuvit kaksi kertaa.



Kuva 11. Gage R&R-testin järjestäminen. Testissä mitattiin M20 koon kuusiokantaruuveja ja niiden tasopintoja digitaalista työntömittaa apuna käyttäen kuvan mukaisella tavalla.

Testin mittaustulokset syötettiin Minitab-ohjelmistoon. Ohjelmistoon voitiin suoraan syöttää mittaustulokset (liite 1) kirjaamisjärjestyksessä, jonka jälkeen voitiin tehdä niistä ohjelmiston avulla Gage R&R testi. Gage R&R testin analysointia varten, asetettiin prosessille toleranssin lukuarvoksi 0,5, jotta nähtiin, kuinka luotettavasti käytetyllä mittausjärjestelyllä kyettäisiin mittaamaan mittauskohteenä olleita kuusiokantaruuveja. Toleranssien valinnan jälkeen suoritettiin analyysi, josta saatiin analysoitavat tulokset.

7.5 Mittausepävarmuuden tulokset

Suoritetusta Gage R&R testistä saatiin analysoitavat tulokset mittaussysteemin arviointia varten. Testistä saatuja tuloksia verrattiin ennalta asetettuun

toleranssirajaan. Minitab 21 Support (2023) sivuston mukaan hyväksyttävä mitaussysteemin vaihtelu on alle 10 % prosessin vaihtelusta ja joissain tapauksissa 10–30 % prosessin vaihtelusta. Analyysi ylitti vain hiukan 10 %:n rajan, kun tarkastellaan toleranssien saraketta (taulukko 9).

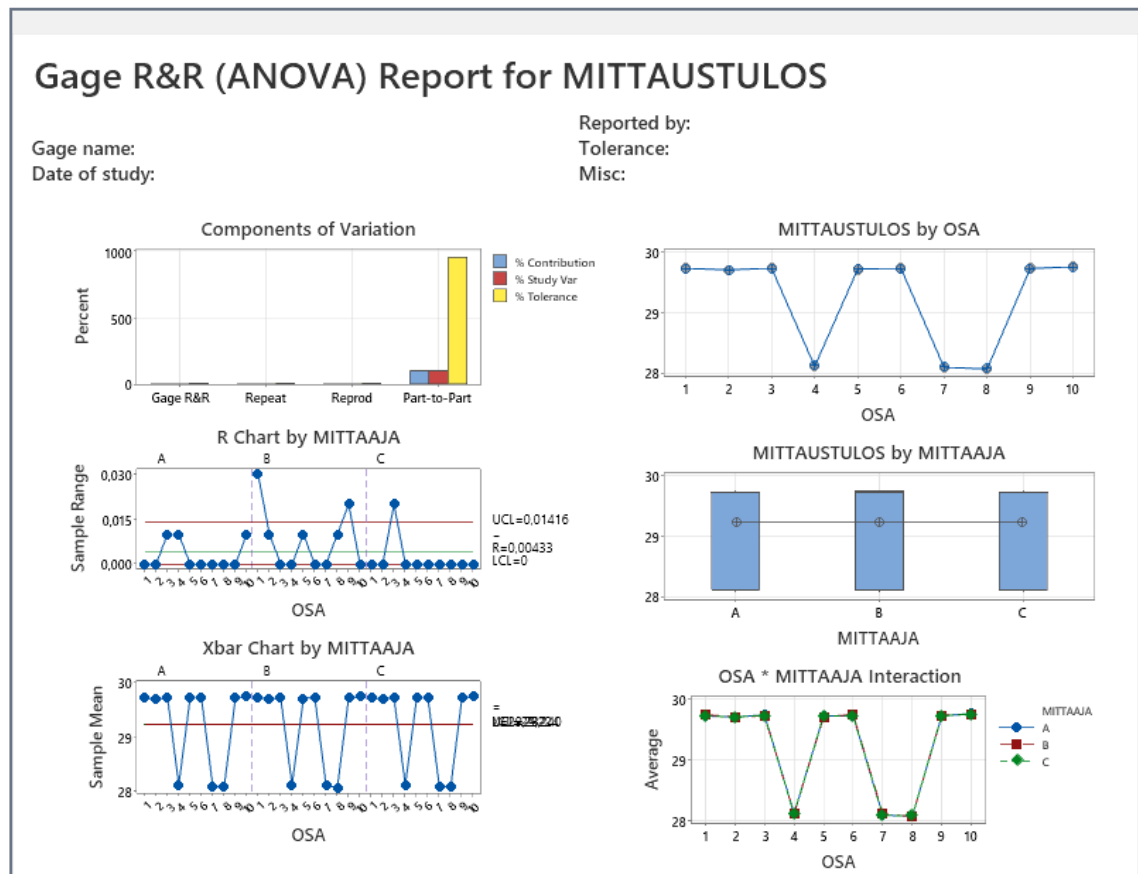
Process tolerance = 0,5

Gage Evaluation				
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,008650	0,05190	1,09	10,38
Repeatability	0,006191	0,03715	0,78	7,43
Reproducibility	0,006040	0,03624	0,76	7,25
MITTAAJA	0,000000	0,00000	0,00	0,00
MITTAAJA*OSA	0,006040	0,03624	0,76	7,25
Part-To-Part	0,793459	4,76075	99,99	952,15
Total Variation	0,793506	4,76104	100,00	952,21

Number of Distinct Categories = 129

Taulukko 9. Mittausjärjestelmän arviointi prosessin toleranssilla 0,5. Mittaussysteemin vaihtelu on hyvin lähellä hyväksyttävää 10 %:n rajaa, kun katsotaan %tolerance -saraketta.

Gage R&R testin tuloksia analysoitaessa on hyvä ottaa huomioon mitatut kappaleet. Ruuvien kannat tasopintoineen eivät olleet koneistettuja, joten mittaus-ten toistettavuus on erittäin hankalaa jo pelkästään mitattavien pintojen vaihteluiden takia, vaikka koneistajat pyrkivät mittaamaan kappaleet samoista kohdista ja samoilla mittausvälineen asemoinneilla. Testissä käytetty 0,5 mm:n toleranssi on todennäköisesti hyvin lähellä mitatun kuusiokantaruuvien todellista valmistuksellista tarkkuutta, joten mittausjärjestelmän analyysia varten asetetun toleranssin voidaan olettaa olevan järkevä. Tämä huomattiin mitatessa, sillä erilaisilla mittauslaitteen asemoinneilla saatiin tulokset heittämään toisiinsa nähden useita sadasosia. Heitoista huolimatta, koneistajat onnistuivat toistamaan hyvin-kin paljon samanlaisia tuloksia (kuva 12).



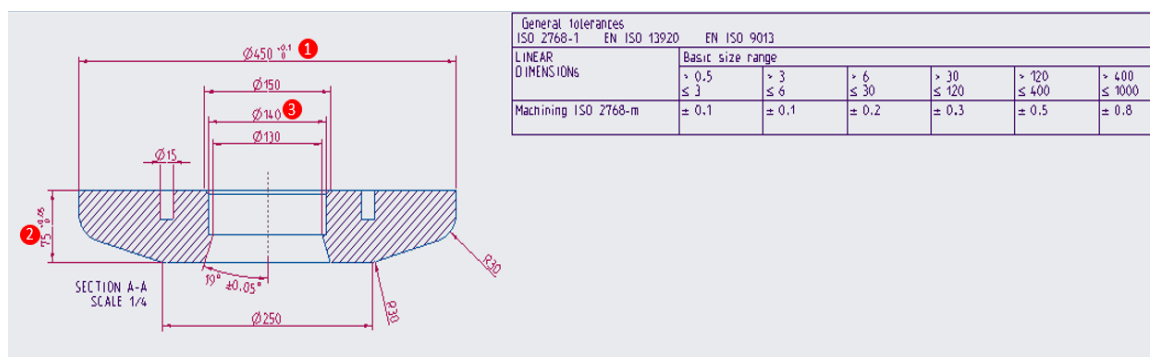
Kuva 12. Minitab -ohjelmiston tuottama raportti testistä. Mittaaja -kaaviosta nähdään, kuinka jokaisen mittaajan tulos seuraa lähes samaa käyrää.

Minitab-ohjelmiston tuottamasta raportista saadaan paljon hyödyllistä dataa. Kuvassa 12 on esitetty raportin yhteenveto, josta nähdään useammastakin kaaviosta, että mittaukset heittävätkin joko hyvin vähän tai eivät ollenkaan, etenkin kun huomioidaan mitatut kappaleet. Analysoituani testiä ja verrattaessa sitä asetettuihin toleranssiarvoihin, voidaan todeta, että koneistajat pystyvät mittaamaan hyvinkin tarkasti ja toistettavasti erilaisia kappaleita. Tämä näyttäisi pätevän, kun on tiedossa, miten ja mistä mitataan. Näin ollen, suoritetun analyysin osalta, voidaan tuloksia pitää hyvinä ja tuloksien avulla voidaan erottaa hyvin erilaisia kappaleita toisistaan. Kuvan 12 Mittaus tulos by osa -kaaviosta nähdäänkin hyvin, kuinka osat 4, 7 ja 8 poikkeavat reilusti muista mitatuista osista, niiden ollessa muita pienempiä.

8 Yhteenveto kehittämistyöstä

SAE 9102 -standardin mukainen mittapöytäkirja ja siihen liitetty tekninen piirustus vaikuttaisi olevan haasteellisuudestaan huolimatta erinomainen ja suhteellisen selkeä tapa selvittää kappaleen vaatimustenmukaisuus, kun tietyt asiat huomioidaan. Käyttäessä teknistä piirustusta mittapöytäkirjan täyttämisen yhteydessä, olisi kuitenkin edellisissä luvuissa esitettyjen seikkojen perusteella mietittävä, millaisia asioita kyseisessä piirustuksessa voitaisiin esittää ja millä tavoilla. Kyseinen asia vaikuttaisi korostuvan etenkin, jos mittapöytäkirjaan täytettävät suuret mitataan tavanomaisia pituudenmittausvälineitä käyttäen.

Mittapöytäkirjojen soveltamiseen luotiin tässä opinnäytetyössä parannusehdotuksia. Parannusehdotuksia tehtiin muun muassa mitattavuuden ja dokumentoinnin kehittämiseen, sekä niiden soveltamiseen. Parannusehdotukset tehtiin nykyisin käytössä oleville menetelmille prosessia liikaa muuttamatta. Parannusehdotuksien pääkohtina voitaisiin pitää mitallisten elementtien hyödyntämistä, sähköiseen täyttämiseen siirtymistä, sekä toleranssikäytäntöjen yhtenäistämistä. Parannusehdotuksista saatiin laadittua niiden käyttöä havainnollistavat pohjat (kuva 13) ja (taulukko 10).



Kuva 13. Tekninen piirustus. Tarkastettavissa piirteissä on suosittu mitallisia elementtejä, eli tässä tapauksessa esimerkiksi kahta lieriöpintaa ja kahta yhdensuuntaista tasopintaa.

1. Part number 3452				2. Part name Plate				3. Serial number	4. FAIR number	
Characteristic Accountability				Inspection / Test Results						
5. Char. No	6. Reference Location	7. Characteristic Designator	8. Requirement	8a. UoM	8b. USL	8c. LSL	9. Results	10. Designed / Qualified Tooling	11. Non-conformance number	14. Additional Data / Comments
1	Drw3452.pdf	Diameter	$\varnothing 450^{+0.1}$	mm	450.1	450.0	450.1	Digital caliper		
2	Drw3452.pdf	Length	$75^{+0.05}$	mm	75.05	75.0	75.03	Micrometer		
3	Drw3452.pdf	Diameter	$\varnothing 14.0$	mm			140.2	Digital caliper		Tolerances ISO 2768-m
12. Signature Jarmo Kiviniemi									13. Date 30.10.2023	

Jorma Silventoinen
Digitally signed by Jorma Silventoinen
DN: cn=Jorma Silventoinen, o=PL
on Ltd, ou=Engineering Div,
email=jorma.silventoinen@plon.fi
Date: 2023.11.09 09:52:40 +0200

Taulukko 10. Täytetty mittapöytäkirja. Mittapöytäkirjaan on siirretty mitattavat kohteet ja kappaletta koskevat tiedot teknisestä piirustuksesta, sekä viitattu toleransseihin yhden mitan osalta.

Kuvassa 13 ja taulukossa 10 on havainnollistettu, kuinka parannusehdotuksia voisi soveltaa mittapöytäkirjoissa, sekä teknisissä piirustuksissa. Esimerkiksi taulukossa 10 mittaukseen käytettävät mittausvälineet on ilmoitettu mittapöytäkirjaan. Kuvassa 13 taas on huomioitu mitallisten elementtien käyttö, jolloin kappaleen tarkastaminen helpottuu. Huomattavaa taulukossa on myös, että mittapöytäkirjan tarkastuksesta löytyy esihenkilön sähköinen allekirjoitus taulukon oikeasta alakulmasta. Allekirjoitus on tehty niin, että mittapöytäkirjan täyttämisen jälkeen on tiedosto ajettu PDF-tiedostoksi, jossa se on voitu sähköisesti allekirjoittaa.

Jos tässä työssä tehtyjä parannusehdotuksia otetaan käyttöön, joko osittaisena tai kokonaan, saadaan muutettua mittapöytäkirjoihin liittyvää prosessia, kuten esimerkiksi täyttämistä ja dokumentointia sujuvampaan ja hallittavampaan suuntaan. Täyttäminen ja dokumentointi helpottuu, kun mitattavat kohteet ovat esimerkiksi koneistajan helposti mitattavissa tämän omalla työpisteellään. Myös mahdollista ristiriitojen syntymistä saadaan vähennettyä pienillä yhtenäistämistoimilla, kun esimerkiksi toleranssit ovat yhtenäisiä teknisen piirustuksen kanssa. On kuitenkin huomattavaa, että esimerkiksi teknistä piirustusta muuttamalla tai tarkastettavia kohteita vähentämällä, saattaa kappaleen tarkastus jäädä puutteelliseksi. Tämän vuoksi mittapöytäkirjoihin tehtävät muutokset olisi luultavasti paras tehdä asiakkaan ja toimeksiantajayrityksen välisenä

yhteistyönä, jolloin voidaan miettiä, millainen mittaus on kappaleen kannalta riittävää. Nykyisten käytäntöjen valossa, nyt mittapöytäkirjoihin tehtävien muutosehdotusten voisi kuitenkin katsoa palvelevan kumpaakin osapuolta, kun tarkastaminen ja dokumenttien teko helpottuu. Tällöin saadaan vähennettyä suurella todennäköisyydellä niihin kuluvaan aikaan, jonka käyttöä on kuvailtu luvussa 6.1.

9 Tulevaisuuden kehittämiskohteet

Tässä opinnäytetyössä esitetyt parannusehdotukset tehtiin nykyisten, mittapöytäkirjoihin liittyvien käytäntöjen pohjalta. Mittapöytäkirjojen tulevaisuutena voisi kuitenkin nähdä 3D-mallien ja mittakoneiden hyödyntämisen kappaleiden vaatimustenmukaisuuden tarkastamisessa. Luvussa 6.1 esitettyä 3D-mallin vertaamista todelliseen kappaleeseen voidaan pitää yhtenä niiden käyttämisen isoimpana etuna, koska tällöin voidaan tarkastaa myös hankalasti mitattavia piirteitä. Hankalien piirteiden tarkastaminen mittakoneilla on mahdollista, koska kuten samaisessa luvussa mainittiin, voidaan mittakoneilla esimerkiksi luoda olemassa olevan kappaleen pohjalta 3D-malli mittaamalla siitä sijaintitietoja. Mittakoneiden käyttö voisi palvella valmistettavan tuotteen omistavaa yritystä, sillä mittakoneiden tuottamista raporteista voidaan mahdollisesti saada myös arvokasta tietoa valmistettavuudesta, kun kyetään analysoimaan valmistetun tuotteen muotoja ja mittoja tarkemmin. Mittakoneiden hyvä tarkkuus puoltaa myös niiden käyttöä vaativien mittausten yhteydessä luvussa 4.1 esitettyjen asioiden pohjalta.

Mittakoneiden käyttöä tällä hetkellä rajoittaa enimmäkseen niiden käytön hitaus, korkea hankintahinta ja vertaukseen käytettävien 3D-mallien puute, jonka takia ne eivät ole valmistaville yrityksille välttämättä kustannustehokkaita. Onkin hyvin todennäköistä, että asiakas ei ole valmis maksamaan mittakoneilla tehtävistä mittauksista, sillä niistä aiheutuvat kulut näkyisivät mitä todennäköisemmin asiakkaan tuotteiden hinnoissa. Myöskään valmistajat eivät ole valmiita käyttämään mittakoneita tarkastamisessa, sillä se tarkoittaisi luultavasti mittakoneiden käytöstä johtuvien kustannusten valumista valmistajan itsensä maksettavaksi.

Kustannuksista huolimatta mittakoneista on kuitenkin paljon hyötyä vaativia mittauksia edellyttävissä kohteissa, joten niiden käyttöä tulevaisuudessa olisi hyvä harkita. Täten sitä voisi pitää yhtenä hyvänä resurssina yrityksen mittausvälineiden joukossa.

Mittausepävarmuuden ja yrityksessä tapahtuvien mittausten osalta toimeksiantajayrityksen voisi olla hyvä miettiä, kuinka se pystyy adaptoimaan, eli sisällyttämään mittausten valvomisen osaksi päivittäistä tekemistään tulevaisuudessa, jotta vaativia tuotteita voidaan mitata luotettavasti jatkossa. Kyseltäessä toimeksiantajayrityksen tavanomaista valmistustarkkuutta, ei asiaan saada yksiselitteistä vastausta. Tästä syystä voisikin olla hyvä, että valmistustarkkuuteen ja sen valvomiseen kiinnitettäisiin huomiota tulevaisuudessa, sillä tarkkoihin ja vaativiin tuotteisiin liittyy selvästi mittausepävarmuus. Näin ollen voidaankin todeta, että mitä tarkemmasta tuotteesta on kyse, sitä enemmän mittausvirheiden merkitys korostuu. Jos mittausepävarmuutta ja valmistustarkkuutta tutkitaan laajemmin, voidaan saada hyödyllistä dataa ja esimerkiksi nyt saatuja MSA-tuloksia. MSA-tulosten avulla voitaisiin osoittaa asiakkaille asioiden olevan kunnossa kappaleiden valmistamiseen ja tarkastukseen liittyvien toimien osalta.

Lähteet

- Eloranta, K. 2018. 2 Mittaamisen perusteita. Jyväskylän Lyseon lukio. <https://peda.net/jao/lyseo/opiskelu2/ojkuo/yjl/fysiikka/ffl/fy-1-9-elok2/2sjm/2majsv/2mp:file/download/b24188df595cab8fe10b0a2e58fde9b9471e541c/2-MittaaminenO20181204.pdf>. Luettu 20.8.2023.
- Harkins, R. 2022. Understanding First Article Inspection (FAI). FIA magazine, 51–53. <https://themanufacturingacademy.com/wp-content/uploads/2023/01/Nov-2022-Understanding-First-Article-Inspection.pdf>. Luettu 29.7.2023.
- Jyväskylän yliopisto. 2020. Mittausvirheistä. <https://www.jyu.fi/science/fi/fysiikka/opiskelu/tyoosasto/mittausvirheista>. Luettu 27.8.2023.
- Keinänen, T., Järvinen, A. 2014. Mittaustekniikka. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy
- Metsta. 2016. Malliperustaisen tuotemäärittelyn (MBD) mahdollisuudet. <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/08/MBD-raportti-2016.pdf>. Luettu 14.8.2023.
- Metsta. 2021. Opastusta mallipohjaisen tuotemäärittelyn (MBD) käyttöönottoon. <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2021/12/MBD-opas.pdf>. Luettu 31.7.2023.
- Minitab 21 Support. 2023. Is my measurement system acceptable. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/21/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/is-my-measurement-system-acceptable/>. Luettu 17.10.2023.
- Peinola, P. 2022. Turula esittely 2022. Turula Engineering Oy:n intranet. Vain sisäiseen käyttöön. 22.3.2022.
- Pere, A. 2009. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.
- Pesonen, M. 2020. Vaatiiko asiakkaasi MSA tuloksia? <https://sixsigma.fi/vaatiiko-asiakkaasi-msa-tuloksia>. Luettu 21.8.2023.
- SAE International AS9102-B. 2014. Aerospace First Article Inspection Requirement. https://www.arrowheadproducts.net/wp-content/uploads/2017/11/AS-9102_B.pdf. Luettu 27.8.2023.
- SFS-EN 22768-1:1993. 1993. Yleistoleranssit. Osa 1: Ilman toleranssimerkintää olevien pituus- kulmamittojen toleranssit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 1101:2017. 2017. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 14405-1:2016. 2016. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Mittatolerointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 14405-3:2017. 2017. Geometrical product specifications (GPS). Dimensional tolerancing. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 5459. 2011. Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometrinen tolerointi. Peruselementit ja peruselementtijärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN ISO 9001:2015. 2015. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Liite 1**Mittaustuloksia Minitab -ohjelmistossa**

	OSA	MITTAAJA	MITTAUSTULOS
1	1	A	29,72
2	1	A	29,72
3	2	A	29,70
4	2	A	29,70
5	3	A	29,74
6	3	A	29,73
7	4	A	28,11
8	4	A	28,10
9	5	A	29,72
10	5	A	29,72
11	6	A	29,72
12	6	A	29,72
13	7	A	28,08
14	7	A	28,08
15	8	A	28,06
16	8	A	28,06
17	9	A	29,72
18	9	A	29,72
19	10	A	29,76
20	10	A	29,75
21	1	B	29,72
22	1	B	29,75
23	2	B	29,70
24	2	B	29,71