



Karelia-ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutus

Tuotannon tarkastusmenetelmien luotettavuustarkastelu ja kehittä- minen

Rasmus Kukkonen

Opinnäytetyö, Kesäkuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2022
Konetekniikan koulutus

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

Tekijä(t)
Rasmus Kukkonen

Nimeke
Tuotannon tarkastusmenetelmien luotettavuustarkastelu ja kehittäminen

Toimeksiantaja
Abloy Oy

Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli tarkastella Abloyn avainvalmistuksessa käytettävien tarkastusmenetelmien luotettavuutta ja luoda havaittujen puutteiden korjaamiseksi kehitysehdotuksia. Työn sisältö rajattiin yhteen tuotteeseen ja sen tarkastuksiin, joille haluttiin löytää ainakin kolme erillistä kehitysehdotusta tarkastuksen eri osa-alueilta.

Toiminnallisessa vaiheessa tarkastusmenetelmiä tutkittiin pääasiassa toistettavuuden ja uusittavuuden osalta. Tutkittaviin mittauksiin kuului tulkkausta, koordinaattimittausta sekä käsimittalaitemittauksia. Toteutettujen testien tuloksena mittauksille löydettiin useita kehitysehdotuksia, jotka liittyivät mittauksen toteutukseen sekä mittalaitteiston suunnitteluun.

Opinnäytetyön voidaan nähdä onnistuneen siltä osalta, että tuotteen tarkastusmenetelmiä saatiin onnistuneesti tutkittua ja niiden toiminnan sekä luotettavuuden tasosta saatiin testeihin ja dataan pohjautuvaa tietoa. Kaikkia tarkastusmittauksia ei saatu työn aikataulun puitteissa tutkittua, mutta työn tuloksien voidaan kuitenkin arvioida antavan hyvän pohjan tuleville tutkimuksille aiheen parissa.

Kieli
suomi

Sivuja 41
Liitteet 1
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
mittaus, tarkastus, tulkki



THESIS
June 2022
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)
Rasmus Kukkonen

Title
A reliability study of inspection measurement systems used in manufacturing

Commissioned by
Abloy Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to study and determine the reliability of measurement systems used in the manufacturing processes at Abloy. The goal of the study was to find parts of the systems that needed improvement and to find ways in which they could be improved.

The measurement systems were studied by performing applicable studies to determine the repeatability and reproducibility of them. The systems included Coordinate measuring, go/no-go gauging, and handheld measuring devices. In the end, some improvement proposals were made. These proposals were based on the findings of the aforementioned studies.

The thesis was able to provide an approximate evaluation on the reliability of these systems and some ways to improve them were found. Even though we were unable to study all of the measurement system parts, the studies performed in this thesis could still be seen as a good basis for future studies.

Language
Finnish

Pages 41
Appendices 1
Pages of Appendices 4

Keywords
measurement, inspection, gauge

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön toimeksiantaja	5
2	Mittaustekniikka	6
2.1	Mittausvirheet ja mittausepävarmuus	6
2.2	Tarkastusmittausmenetelmät	7
2.2.1	Työntömitat	8
2.2.2	Mittakellot	8
2.2.3	Tulkit	9
2.2.4	Koordinaattimittaus	10
3	Lean Six-Sigma	12
3.1	DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmä	12
4	Mittaussysteemin analysointi (MSA)	14
4.1	Testaukseen valmistautuminen	16
4.2	Mittaustarkkuus ja Lineaarisuus	17
4.3	Toistettavuus ja Uusittavuus	18
4.3.1	Gage R&R	18
4.3.2	Attribute Agreement Analysis (Attribute Gage R&R)	19
5	Avainvalmistuksen ja tarkastuksien kuvaus	21
5.1	Avaimen valmistus	21
5.1.1	Työssä tarkasteltavat tarkastusmenetelmät	22
6	Tarkastusmenetelmien luotettavuuden selvitys	23
6.1	Testikappaleiden keräys Gage R&R-testeille	23
6.2	Koodin mittaukset - Koordinaattimittauksen Gage R&R	23
6.3	Koodin mittaukset - Käsimittalaitteiden Gage R&R	26
6.4	Profilointi - Käsimittalaitteiden Gage R&R	27
6.5	Attribuuttitesteihin valmistautuminen	29
6.6	Pääprofiliuran jyrskintävälän tulkkauksen testaus	32
6.7	Avauksen paikan tulkkauksen testaus	34
6.8	Avauksen tulkin muut huomiot	36
7	Tarkastusmenetelmille ehdotetut muutokset tai jatkotoimenpiteet	37
7.1	KMK: Koodin muotomittaus	37
7.2	KMK: Koodin etäisyyden ja keskeisyyden mittaus	37
7.3	Käsimittalaite: Koodin keskeisyyden mittaus (mittakello)	38
7.4	Käsimittalaite: Lyhyen profiilin pituuden mittaus (mittakello)	38
7.5	Tulkki: Pääprofiliurien välimitta	38
7.6	Tulkki: Avauksen paikka 1, etäisyys päästä	39
7.7	Tulkki: Avauksen pituus- ja leveysmitta	39
7.8	Tulkki: Avauksen tulkki yleisesti	40
8	Pohdinta	40
	Lähteet	42

Liitteet

Liite 1 Testikappaleiden mittaustulokset (referenssiarvot)

Lyhenteet

AIAG Automotive Industry Action Group

CMM Coordinate Measuring Machine, Koordinaattimittakone

DMAIC Define, Measure, Analyze, Improve and Control -menetelmä

GRR Gage Repeatability & Reproducibility

KMK Koordinaattimittakone

MSA Measurement System Analysis

SPC Statistical Process Control

1 Johdanto

Työn tavoitteena oli selvittää Abloy Oy:n avainvalmistuksessa valmistettävien avaimien tarkastuksessa käytettävien tulkki- ja mittaustarkastusten luotettavuutta sekä luoda kehitysehdotukset tarkastukselle luotettavuustarkastelusta saatujen tulosten pohjalta.

Testauksen luotettavuustarkastelulla halutaan varmistua siitä, että tarkastusmenetelmät toimivat suunnitellulla tavalla ja niiden avulla voidaan onnistuneesti ja luotettavasti havaita mitattavista kappaleista toleranssialueen ulkopuolelle menevät mitat. Tarkoituksena on siis vähentää virheellisesti hylättyjen kappaleiden määrää sekä varmistaa ettei asiakkaalle lähde virheellisiä tuotteita.

Käytännössä luotettavuustarkastelussa käytettiin Mittaussysteemin Analysointiin (MSA) liittyviä menetelmiä. Näiden menetelmien avulla arvioitiin mittaussysteemin suorituskykyä suorittamalla mittausjärjestelmälle testejä ja analysoimalla niistä saatuja tuloksia. Tarkastelu painottui mittausmenetelmien toistettavuuden ja uusittavuuden selvitykseen.

Työn tarkemmaksi tavoitteeksi muodostui vähintään kolmen kehitysidean löytäminen yhden tuotteen tarkastuksien eri osa-alueilta. Nämä mittauksen osa-alueet pitävät sisällään käsimittalaitemittauksia, koordinaattimittauksia sekä tulkeilla toteutettavia mittaustarkastuksia.

1.1 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Abloy Oy. Abloy on suomalainen lukitus- ja kulunhallintajärjestelmiä valmistava yritys, joka toimii osana ASSA ABLOY -konsernia. Abloyn päätoimipaikkana toimii Joensuun tehdas (Abloy Oy 2021a).

Joensuussa sijaitseva Abloyn tehdas on perustettu vuonna 1968. Tehdas työllistää nykyään noin 800 henkilöä ja toimittaa 3,4 miljoonaa tuotetta vuosittain.

Pinta-alaa tehtaalla on 21300 m^2 . Tehtaalla valmistetaan lukitusjärjestelmiä ja niiden osia, automatiikkaa, ovenkahvoja ja -vetimiä sekä ovensulkijoita. (Abloy Oy 2021b).

2 Mittaustekniikka

2.1 Mittausvirheet ja mittausepävarmuus

Mittauslaitteen ilmoittama tulos on vain arvio oikeasta mitasta (Andersson & Tikka 1997, 147). Mittalaitteiden ilmoittamiin tuloksiin liittyy aina jokin mittalaittekohtainen määrä epävarmuutta. Tämä mittalaittekohtainen epävarmuus vaikuttaa saavutettavaan tarkkuuteen. (Walker ym. 2012, 167.) Mittaukseen liittyy epävarmuutta silloinkin, kun kaikki tunnetut mittausvirheiden lähteet on poistettu (Andersson & Tikka 1997, 147).

Darmodyn (1967) mukaan mittausvirhe määritellään mitatun arvon ja todellisen arvon eroksi. Mittausvirheet voidaan jakaa satunnaisvirheisiin sekä systemaattisiin virheisiin. Satunnaisvirheet ovat virheitä, joita ei voida ennustaa. Tällaiset virheet voivat liittyä esimerkiksi mittausympäristöön tai kappaleen muotoon. Systemaattisiin virheisiin kuuluvat sellaiset virheet, joita ei voida huomata mittauksia toistamalla, eli virheet pysyvät samansuuruisina uusinoista huolimatta. Tällaiset virheet voivat liittyä esimerkiksi mittalaitteen kalibrointiin. (Walker, Elshennawy, Gupta & Vaughn 2012, 166.) Mittausvirheet voivat johtua mittajasta, mittalaitteesta, mitattavasta kohteesta tai ympäristöstä (Andersson & Tikka 1997, 139).

Mittaaja voi toiminnallaan vaikuttaa mittaustuloksen tarkkuuteen. mittaajasta aiheutuvat virheet voivat liittyä ammattitaitoon sekä mittaajan henkilökohtaisiin ominaisuuksiin. (Andersson & Tikka 1997, 143.)

Mittalaitteen aiheuttamia mittausvirheitä voidaan tehokkaasti ehkäistä huolehtimalla laitteen kalibroinnista. Kalibrointivälit riippuvat mittalaittekohtaisista

ominaisuuksista. Muita mittalaitteen mittausvirheen mahdollisia aiheuttajia ovat mittalaitteen eri osien väliset lämpötilaerot ja mittalaitteeseen tai kappaleeseen kohdistuva mittausvoima. Liian suuri mittausvoima saattaa vääristää joko mitattavaa kappaletta tai käytettävää mittalaitetta vaikuttaen näin ollen suoraan mitaustuloksiin. (Andersson & Tikka 1997, 139–140.)

Yleisimmin mitattavan kohteen aiheuttamia mittausvirheitä esiintyy lämpötilan tai kappaleen epäpuhtauden seurauksena (Andersson & Tikka 1997, 139). Kuitenkin myös kappaleen piirteiden muotovaihtelu voi vaikuttaa mitaustuloksien luotettavuuteen. Kappaleessa esiintyvien muotovaihteluiden ymmärtäminen on tärkeä osa mitaustapahtumaa. Mahdollisia muotovirheitä kappaleessa ovat esimerkiksi pyöreys-, samansuuntaisuus-, kartiomaisuus-, tasomaisuus-, profiili- ja sylinterimäisyysvirheet. (AIAG 2010, 167.)

Ympäristöolosuhteista merkittävin on mittauspaikalla vallitseva lämpötila. Muita mitaustapahtumaan mahdollisesti vaikuttavia olosuhdemuuttujia ovat lämpösäteilyä aiheuttava valaistus ja värähtelyt tai värähtelyt. Myös mittauspaikan olosuhteiden stabiiliudesta on tärkeä huolehtia, Stabiileissa olosuhteissa suoritetuista mittauksista saatetaan laskennallisesti poistaa olosuhdemuuttujien vaikutus. (Andersson & Tikka 1997, 144–145.)

2.2 Tarkastusmittausmenetelmät

Geometristen ominaisuuksien tarkastamiseen on olemassa useita menetelmiä, joiden tarkkuus vaihtelee. Piirustukset eivät yleensä määrittele osille mittaus- tai tarkastusmenetelmiä johtuen siitä, että sopivat menetelmät riippuvat käytetystä valmistusmenetelmästä ja myös siitä, että osien tarkastukselle saattaa olla useampia sopivia mitaustapoja. Piirustuksien tulisi kuitenkin toleroida kappaleet tarkasti, jolloin sopivat mitaustavat voidaan määrittää. (Henzold, 2006. 160)

Geometristen vaihteluiden tarkastaminen on teollisuudessa usein kustannustehokkainta epätarkoilla ja nopeilla tarkastusmenetelmillä. Tämän takia on useimmiten suositeltavaa käyttää nopeinta tarkistustapaa ja vaihtaa tarkempiin

mittavälineisiin vain jos tarvitaan tarkempaa arviota kappaleesta. (Henzold, 2006. 160)

2.2.1 Työntömitat

Työntömitat ovat mekaanisia mittalaitteita, joilla voidaan mitata kolmenlaisia eri ominaisuuksia kappaleesta. Niillä voidaan mitata ulkomittoja, sisämittoja sekä syvyyksiä. Työntömitoista on olemassa mekaanisia ja digitaalisia versioita. Mekaanisen työntömitan 1/10–1/50 noonioasteikoiden avulla voidaan saada tarkennettu arvo kappaleesta. Työntömittojen tyypillinen mittausepävarmuus on $\pm(0,05 + 0,0001 * \text{mittapituus})$. (Andersson & Tikka 1997, 183–184.)

Digitaalisissa työntömitoissa tulos on luettavissa työntömitan näytöstä. Digitaalisen ilmoitustavan ansiosta mittaajasta aiheutuvien lukemavirheiden todennäköisyys on huomattavasti pienempi. Digitaalisten työntömittojen lukematarkkuus on normaalisti 0,01 mm, mutta mittausepävarmuus on usein sama kuin mekaanisissa työntömitoissa. (Andersson & Tikka 1997, 185.)

2.2.2 Mittakellot

Mittakellot ovat pienten pituuksien tai pituuserojen mittaamiseen käytettäviä laitteita. Mekaanisissa mittakelloissa mittaavan karan lineaariliike muutetaan pyöriväksi liikkeeksi kelloon, josta mittaustulos voidaan lukea viisareiden osoittamalta kohdalta. Mittakellojen mekanismit pitävät sisällään tarkasti valmistettuja hammaspyöriä, joiden avulla mittatieto siirretään kellolle. Yleisin osoitustarkkuus mittakelloille on 0,01 mm ja tarkkuusindikaattoreilla jopa 0,001 mm. (Andersson & Tikka 1997, 189-191.)

Mittakelloja käytettäessä olisi syytä huomioida kellon tukeva kiinnitys. Riittämättömällä kiinnityksellä voidaan huonontaa mittausluotettavuutta. Mittakellojen mittaussuoritusvoimat ovat keskimäärin 0,8N – 1,5N suuruisia, ja yksittäisessä mittakellossa sallitaan 0,4N – 0,8N vaihtelu. Jos mittakellon kiinnitys ei ole riittävän

tukeva, voi mittausvoima taivuttaa kiinnittimiä. Tämä ei kuitenkaan ole suuri ongelma mittausvoiman pysyessä vakiona, mutta tarkkuusongelmia esiintyy mittausvoiman vaihdellessa. (Andersson & Tikka 1997, 190.)

2.2.3 Tulkit

Tulkit ovat mitansiirtoon tai mittausvälineiden asettamiseen käytettäviä laitteita. (Andersson & Tikka 1997, 181). Tulkkitarkastuksessa voidaan soveltaa Taylorin periaatetta. Taylorin periaatteella tarkoitetaan W. F. Taylorin luomia periaatteita, jotka pitävät sisällään kiinteiden tulkkien käyttöön liittyviä sääntöjä. Näitä periaatteita noudattamalla on tarkoitus varmistua siitä, ettei hylättäviä kappaleita hyväksytä tai hyväksyttäviä kappaletta hylätä turhaan. (Andersson & Tikka 1997, 182.)

Taylorin periaatteen mukaan akseleiden menoraja tulisi tarkastaa rengastulkilla, joka on pituudeltaan yhtä pitkä kuin mitattava akseli. Hylkyrajaa tarkastettaessa on akselin mitat tarkastettava erikseen kaksipistemittoina esimerkiksi kitatulkilla. Reikien menorajan tarkastus tapahtuu samankaltaisesti käyttämällä tappitulkkia ja sauvatulkkia. (Andersson & Tikka 1997, 182.)

Monet tässä työssä tarkasteltavat tulkit ovat tyypiltään meno/hylky tulkkeja eli mittaustulos tarkastuksien osalta on joko hyväksytty tai hylätty ottamatta kantaa siihen, miten lähellä toleranssialueen rajoja ollaan. Tulkeilla testataan jotakin tiettyä geometrisesti toleroitua tai mittatoleroitua ominaisuutta kappaleesta. Esimerkiksi kun profiilitulkeilla mitataan avaimen profiilia, jolle on määritelty muoto. Tulkkia käyttäessä kuuluu avaimen mahtua sille määriteltyyn profiiliaukkoon, muttei kuitenkaan muille profiilityypeille määriteltyihin aukkoihin. Samantyyppisiä testauksia on useammille eri ominaisuuksille kappaleissa, ja ne testataan aina erikseen omalla tulkillaan. Tämän tyyppiset tulkit on aina pyritty säätämään niin, että niiden avulla voidaan luotettavasti ja nopeasti määrittää kappaleen vaatimuksenmukaisuus.

Lisäksi tarkastuksissa voidaan käyttää toiminnallisia tulkkeja, jotka eivät välttämättä testaa mitään yksittäistä ominaisuutta, vaan testaavat toimiiko valmistettu kappale sille määritettyyn käyttötarkoitukseen. Näitä voidaan käyttää esimerkiksi lisätarkastuksena toleranssitarkastuksien ohella.

2.2.4 Koordinaattimittaus

Koordinaattimittauksen peruseräperiaatteena on määrittää koordinaatteja joko avaruudessa tai tasossa. Koordinaattimittaukseen on olemassa laajalti erilaisia menetelmiä ja laitteistoa. Yksi näistä laitejärjestelmistä on koordinaattimittauskone eli KMK, englanniksi CMM. (Tikka 2007, 16, 25.)

KMK-laitteistoilla koordinaatteja määritetään joko mekaanisilla tai optisilla antureilla. Mittauskoneita voidaan ohjata motorisoidusti, käsin tai numeerisesti. Käsi-käyttöiset mittauslaitteistot ovat usein näistä halvimpia. Numeerisesti ohjatut koneet ovat arvokkaampia, ja niillä voidaan mitata kappaleita automatisoidusti ilman operaattoria. Koskettavien ja laseria käyttävien koneiden osalta geometria muodostetaan kappaleen pinnalta mitattujen yksittäisten pisteiden avulla. Videomittauksien osalta mittaus tapahtuu usein elementtien reunoilta. Näiden mitaustapojen eroavaisuuksien seurauksena eri menetelmillä mitattujen kappaleiden mitaustulokset voivat poiketa toisistaan. (Tikka 2007, 25.)

Mittakone itsessään ei ymmärrä kappaleen geometriaa, vaan geometria laskeaan tietokoneohjelmiston avulla käyttäen hyödyksi koneen mittaamia pisteitä ja mittausanturin kalibrointitietoja. Ohjelmiston avulla voidaan myös korjata mittauskoneesta tunnistettuja systemaattisia mittausvirheitä. Laskettuja geometrioita ja elementtejä voidaan mittauksen jälkeen verrata ohjelmiston avulla nimellismittoihin ja -muotoihin. (Tikka 2007, 26.)

Koordinaattimittakoneet käyttävät koordinaattien paikoitukseen karteesisista suorakulmaista koordinaatistoa, jossa liikkeiden suunnat ovat X, Y ja Z. Useimmiten näistä X ja Y ovat mitaustason suuntaisesti liikkuvia ja Z korkeussuunnassa liikkuvia. Edellä mainittujen liikesuuntien ympäröivät akselit voidaan ilmoittaa

kirjaimin A, B ja C. Koordinaatiston suunnat mittauskoneessa riippuvat sen valmistajasta, yleisimmin esimerkiksi X ja Y suunnat saattavat vaihdella laitevalmistajien välillä. (Tikka 2007, 29.)

Mitattavaan kappaleen koordinaatisto ja koordinaatiston suunnat voivat poiketa koordinaattimittakoneen koordinaatistosta. Kappaleen koordinaatisto muodostetaan mittaustuloksien avulla, ohjelmistolla asettaen. Koska kappaleelle määritetään oma koordinaatisto, ei kappaleen asemoinnilla koordinaattimittakoneessa ole koneen koordinaatiston puolesta juurikaan merkitystä, ellei kyseessä ole numeerisesti ohjattu laite, jota ajetaan automaattisesti. (Tikka 2007, 30–31.)

Itsessään mittaaminen koordinaattimittakoneella on melko yksinkertaista, mutta mittaukseen liittyy kuitenkin aina valmistelevia toimenpiteitä sekä jälkitoimia. Oikein suoritettu mittaus voidaan tiivistää seuraaviin vaiheisiin: (Tikka 2007, 36–37.)

- Kappaleiden valmistelu mitattavaksi
- Mittaukseen valmistautuminen
- Ohjelmointi
- Mittaus
- Jälkitoimet

Koordinaattimittauksen mittauskyyky on kokonaisuus, johon vaikuttavat ainakin koordinaattimittakone itsessään, työkappale, mittaaja ja ympäristö. Valmistajan ilmoittama epävarmuus on hyvä lähtötaso koneesta aiheutuvan mittaepävarmuuden määrittämiselle. on kuitenkin muistettava, että koneen huolloista ja kalibroinneista on pidettävä huolta koneen mittauskyvyn säilymiseksi. Kalibroidun mittauskoneen vaikutus epävarmuuteen on kuitenkin kokonaisuudessaan pieni. (Tikka 2007, 38–40.)

Suurin vaihtelun aiheuttaja koordinaattimittauksessa on kuitenkin yleensä käyttäjä. Käyttäjän tulisi tuntea mittausmenetelmät, laitteen toimintaperiaatteet, koneen kunto, huollot, kalibroinnit sekä ympäristön vaikutukset epävarmuuden minimoimiseksi. (Tikka 2007, 39.)

3 Lean Six-Sigma

Lean Six Sigma on yhdistelmä Lean -ajattelumallia ja Six Sigmaa. Yhdessä ne muodostavat tehokkaan liiketoiminnan parannusmenetelmän. Lean ja Six Sigma tarkastelevat samaa ongelmaa kahdelta eri näkökannalta ja yhdistettynä täydentävät toisiaan. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 209–210.)

Lean -ajattelumallissa keskeisenä ideana on se, että pyritään parantamaan tehokkuutta poistamalla hukkaa. Käytännössä tämä tarkoittaa kaiken turhan työn poistamista prosesseista. Hukka määritellään virheiden, huonon ohjauksen tai puutteellisen kommunikaation seurauksena syntyvänä turhana työnä. (ASQ 2021a.)

Six Sigma on prosessin parantamiseen tarkoitettu menetelmä, jonka avulla tavoitellaan suorituskyvyn parantamista ja vaihtelun vähentämistä tuotteissa. Usein menetelmän etuina nähdään voittojen, työntekijätyytyväisyyden sekä laadun paraneminen. (ASQ 2021b.)

3.1 DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmä

DMAIC on viisivaiheinen ongelmanratkaisumenetelmä, jonka eri vaiheissa hyödynnetään useita erilaisia laatuteknisiä ja tilastollisia työkaluja (Karjalainen & Karjalainen 2020, 216). DMAIC:in vaiheet ovat (ISO 13053-2:fi 2011, 20-33):

- Define – Määrittely
- Measure – Mittaus

- Analyse – Analysointi
- Improve – Parantaminen
- Control – Ohjaus

Määrittelyvaiheessa määritellään parannusta tarvitseva kohde. Vaiheen tarkoituksena on luoda projekti, määritellä parannettava prosessi, perehtyä asiakasvaatimukseen sekä määritellä prosessin ulostulomuuttujat. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 227.)

Mittausvaiheessa kerätään tietoa olemassa olevasta prosessista ja muodostetaan ymmärrys sen toiminnan tasosta. Yksinkertaistettuna mittausvaihe koostuu prosessin ymmärtämisestä, prosessin sisääntulojen riskianalysoinnista, datan keräämisestä, käytössä olevan mittausjärjestelmän luotettavuuden arvioinnista sekä prosessin tämänhetkisen suorituskyvyn mittauksesta. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 244–245.)

Analyysivaiheessa hyödynnetään mittausvaiheessa kerättyä dataa, päätellään sen pohjalta keskeisiä juurisyitä prosessin ongelmiin ja kehitetään ulostulojen suorituskyyä parantavia muutoksia (Karjalainen & Karjalainen 2020, 280–281). Juurisyiden tunnistamiseen voidaan käyttää joko prosessi- tai datapohjaista lähestymistapaa, joista prosessilähestymistapa sisältää enemmän Lean-työkaluja ja datalähestymistapa Six-Sigman työkaluja (Karjalainen & Karjalainen 2020, 282).

Parannusvaiheessa ideana on viedä analyysivaiheessa kehitellyt suorituskyyä parantavat muutokset toteutettavaksi sekä arvioida niitä. Parannusvaiheessa keskeistä on koesuunnittelu ja parannuksien toimivuuden testaaminen. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 294–296.)

Ohjaus- ja valvontavaihe on DMAIC-menetelmän viimeinen vaihe, ja se perustuu projektin aikana saavutettujen parannuksien ylläpitoon. Ohjausvaiheessa tarkoituksena on viimeistellä ohjaussuunnitelma ja valvoa prosessin pitkäaikaisista suorituskyyä. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 312–313.)

Koska tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena analysoida sekä tarpeen mukaan parantaa mittausjärjestelmää, liittyy tämän työn aihealue olennaisesti nimenomaan DMAIC-menetelmän mittausvaiheeseen.

4 Mittaussysteemin analysointi (MSA)

Osana Lean Six Sigmaa ja DMAIC:in mittausvaihetta on tärkeä määrittää mittausjärjestelmän luotettavuus. Mittausjärjestelmän kyvykkyyden määrittäminen tulee suorittaa erillisenä prosessina. Laatutekniikasta on johdettu kyvykkyyden määrittämiseen ainakin AIAG:n julkaisema MSA eli Measurement System Analysis sekä Donald J. Wheelerin EMP eli Evaluating the Measurement Process. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 270.)

Tässä työssä hyödynnetään MSA:n mukaisia menetelmiä. Mittaussysteemin analysointi (MSA) pitää sisällään testejä ja analyysimenetelmiä, joiden tarkoituksena on määrittää mittaussysteemin luotettavuus. Sen ideana on selvittää, kuinka paljon prosessin kokonaisvaihtelusta syntyy mittausvirheen seurauksena. MSA:n analysointimenetelmiä tulisi käyttää osana mittalaitteiden tai -järjestelmien hyväksyntää tai hylkäystä tuotannossa. (Karjalainen 2014.) Yleisimpiä vaihtelun lähteitä ovat mittauslaitteet, operaattorit ja mittauskäytännöt (AIAG 2010, 83).

Prosessin kehittämisen kvantitatiivisia menetelmiä koskeva standardi ISO 13053-2:fi (2014) sanoo mittausjärjestelmän analysoinnin merkityksestä seuraavaa: ”Jatkuvien muuttujien mittausepävarmuuden määrittäminen on tärkeä vaihe mittauslaitteen validoinnissa mitattavien tuoteominaisuuksien tai prosessin toleranssien suhteen.” Standardista löytyvät myös yleiset hyväksymisrajat R&R-testeille. Standardi itsessään ei kuitenkaan kerro enempää testien toteuttamistavoista vaan suosittelee hakemaan lisätietoa aiheesta esimerkiksi AIAG:n MSA-julkaisusta. (ISO 13053-2:fi 2011, 62.)

Automotive Industry Action Groupin julkaisemassa MSA Reference Manual -teoksessa esille tuodut analysointimenetelmät pitävät sisällään joukon ohjeellisia menetelmiä mittausten laadun arviointiin. Teos on tarkoitettu antamaan mittausjärjestelmän analysoinnin suorittamiseen vaaditut pohjatiedot ja -menetelmät, muttei sitä ole tarkoitettu rajoittamaan analyysimenetelmien kehitystä. Muitakin vastaavia tapoja on siis mahdollista käyttää. (AIAG 2010, III.) Mittausjärjestelmän virheet pitävät sisällään ainakin seuraavat viisi osa-alueita (Karjalainen & Karjalainen 2020, 271.):

- Toistettavuus
- Uusittavuus
- Stabiilius
- Tarkkuus tai Mittausvirhe (Bias)
- Lineaarisuus

Edellä mainituista mittausjärjestelmän virheistä toistettavuus, lineaarisuus, stabiilius ja tarkkuus ovat mittalaitteesta johtuvia virheitä. Uusittavuus puolestaan on peräisin operaattoreista eli mittaajista. (Karjalainen & Karjalainen, 271.)

AIAG Määrittelee MSA:lle kaksi vaihetta; Ensimmäisessä vaiheessa tarkoituksena on testata mittausjärjestelmän luotettavuutta ja laatua, Kun taas toisessa vaiheessa analysoidaan mittausjärjestelmän jatkuvaa suorituskäytännön ja muutoksia pidemmällä aikavälillä. (AIAG 2010, 69.)

Ennen MSA:n mukaisten testien aloittamista on syytä varmistaa, suoritetaanko tarkasteltava mittaus oikeellisesti ja että mittauksesta saadut tulokset kuvastavat oikein kappaleen ominaisuuksia. Lisäksi on myös määritettävä, millaisia virherajoja mittausjärjestelmälle määritetään hyväksymistä tai hylkäämistä varten. (AIAG 2010, 69.)

Mittausjärjestelmän luotettavuuden ja laadun selvityksessä käytettävien testimenetelmien valinnassa on syytä huomioida ainakin mittausjärjestelmäkohtaiset ominaisuudet, noudatettavat standardit, Testauksen kustannukset ja siihen kuuluva aika. Pitkäaikaisen eli jatkuvan testauksen menetelmiä suunnitellessa on

mietittävä, kuinka usein testejä on suoritettava mittausjärjestelmän suorituskyvyn varmistamiseksi ja ylläpitämiseksi. (AIAG 2010, 71-72.)

4.1 Testaukseen valmistautuminen

Ennen testejä on mietittävä, millainen lähestymistapa sopii parhaiten tarkasteltaville mittauksille. Tämä arviointi pitää sisällään mittaajien vaikutuksen arvioimista, mittauksien ja mittaajien määrän suunnittelua sekä testikappaleiden valikointiperusteiden miettimistä. (AIAG 2010, 73.)

Mittaajan toiminta saattaa vaikuttaa mittauksista saatuihin tuloksiin. Mittaajina olisi suositeltavaa käyttää henkilöitä, jotka ovat normaalisti mukana suorittamassa mittauksia. Tällä tavoin voidaan varmistua, että myös normaalisti mittauksia suorittavien henkilöiden mahdollisten erilaisten menettelytapojen aiheuttama vaihtelu tulee selville testeissä. Vaikutuksen mahdollisuuden arviointi voidaan suorittaa visuaalisesti, arvioiden mittauksista tapahtumaa esitietojen perusteella tai mittausvälinetestien perusteella. (AIAG 2010, 73.)

Mittaajien ja mittauksien määrä tulisi suunnitella etukäteen. Suoritettavien mittauksien ja osallistuvien mittaajien määrään vaikuttavat mittojen tärkeys tuotteen toiminnan kannalta, osan ominaisuudet sekä asiakkaan vaatimukset. Käytännössä pääasiallisena vaikuttajana on se, kuinka varmoja tuloksista halutaan olla. (AIAG 2010, 73.)

Testikappaleiden valinnalla tarkoitetaan sellaisten kappaleiden valintaa, joiden mitat osuvat halutulle osalle toleranssialuetta. Valinta riippuu mittausjärjestelmän käyttötarkoituksesta, siitä minkä tyyppiseen MSA-testiin kappaleet on tarkoitettu ja testikappaleiden saatavuudesta. (AIAG 2010, 73–74.)

Testejä suorittaessa on tärkeää, että mittaukset otetaan satunnaisessa järjestyksessä. Jos mittaaja tietää mikä testikappaleista on mitattavana, saattaa hän myös tietää mitä lopputulosta mittaukselta tai tarkastukselta haetaan. Tällöin mittaajan on myös mahdollista vaikuttaa mittauksen suoritukseen lopputulosta

väärentävällä tavalla. Vaikka mittaajat eivät tiedä mikä kappale on mittauksen kohteena, tulee testin järjestäjällä olla tiedossa tarkalleen mitä kappaleita mikäkin mittaus koskee. Testikappaleiden tulee siis olla eroteltuja toisistaan esimerkiksi antamalla jokaiselle oma numerotunniste. (AIAG 2010, 74.)

Myös mittauslaitteiden erottelukyky on tärkeää huomioida. Mittauslaitteiden tulisi pystyä mittaamaan vähintään kymmenyksen tarkkuudella arvioidusta mitaustuloksien vaihtelusta luotettavien tuloksien saamiseksi. Myös testeissä kirjattujen mitaustuloksien tulisi hyödyntää mittalaitteen täyttä tarkkuutta. (AIAG 2010, 74–75.) Jos analyysiin tekemiseen käytetään Minitab -ohjelmistoa, arvioi se erottelukyvyn GRR-analyysin osana (Karjalainen & Karjalainen 2020, 272).

4.2 Mittaustarkkuus ja Lineaarisuus

Mittaustarkkuus tai toiselta nimeltään mittausharha (Bias) on todellisen arvon ja mitatun arvon erotus (ISO 13053-2:fi 2011, 62; AIAG 2010, 51). Mittaustarkkuuteen voivat vaikuttaa useat ympäristöstä, käyttäjästä tai mittalaitteesta itsestään johtuvat asiat (AIAG 2010, 51).

Lineaarisuudella tarkoitetaan mittausharhan eli tarkkuuden vaihtelua mittausalueen eri kohdissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mittausharha saattaa vaihdella erikokoisia kappaleita tai kappaleen ominaisuuksia mitatessa. (AIAG 2010, 52.)

Mittaustarkkuuden ja Lineaarisuuden määrittämisessä voidaan myös käyttää Minitabia ja sen tarjoamaa Linearity&Bias -ohjelmaa, jonka avulla mittaustarkkuus sekä lineaarisuus voidaan määrittää samalla aikaa (Minitab 2022a).

4.3 Toistettavuus ja Uusittavuus

Repeatability eli toistettavuus kuvastaa yksittäisen mittaajan ja mittausvälineen mittaaman saman ominaisuuden mittaustuloksen vaihtelua. Se tarkoittaa siis vaihtelua, jonka aikana mittauksessa mikään ei muutu eli osa, mittausväline, toimintatavat, operaattori ja ympäristö pysyvät samana mittauksien välissä. (AIAG 2010, 54.)

Reproducibility:llä eli uusittavuudella tarkoitetaan yleisimmin mittaustulosten vaihtelua eri operaattoreiden välillä. Tämä tarkoittaa sitä, että kahden tai useamman eri operaattorin tulokset poikkeavat huomattavasti toisistaan. Operaattoreiden välistä vaihtelua voi esiintyä, jos operaattorin ammattitaito tai henkilökohtaiset ominaisuudet kuten näkökyky voivat vaikuttaa mittauslaitteen käyttöön ja saataviin tuloksiin. Tämä koskee yleisimmin manuaalisia mittausvälineitä. (AIAG 2010, 55.)

4.3.1 Gage R&R

Gage Repeatability and Reproducibility (GRR) on tapa arvioida mittauslaitteen toistettavuuden ja uusittavuuden yhteisvaikutusta mittauksien vaihteluun. (AIAG 2010, 56.)

Vaihtelun määrittämiseen on useita erilaisia menetelmiä. AIAG (2010, 101) kertoo ainakin seuraavista menetelmistä:

- Range -menetelmä
- Average & Range -menetelmä
- ANOVA -menetelmä

Edellä mainituista menetelmistä ANOVA eli Analysis Of Variance -menetelmä on perusteellisin ja usein suositeltava koska se arvioi myös operaattorin sekä mitattavan osan ja mittalaitteen välisestä toiminnasta johtuvan vaihtelun. (AIAG 2010, 101)

Range- menetelmä on tarkoitettu käytettäväksi silloin, kun halutaan nopea arvio mittauksien vaihtelusta. Menetelmä ei tarkemmin erottele toistettavuutta ja uusittavuutta toisistaan. Useimmiten tätä menetelmää käytetään tarkistettaessa, ettei vaihtelun määrässä ole muutoksia. (AIAG 2010, 102.)

Average & Range -menetelmä puolestaan erottelee toistettavuuden ja uusittavuuden toisistaan. Tämäkään menetelmä ei toisaalta anna arviota operaattorin sekä mitattavan osan ja mittalaitteen välisen toiminnan aiheuttamasta vaihtelusta. (AIAG 2010, 103.)

Standardissa ISO 13053-2:fi (2011, 62) määritellään mittausjärjestelmän R&R - testien tuloksien virheprosenttien hyväksyttävyyttä seuraavanlaisesti:

GRR < 10%: hyväksyttävä

10% < GRR < 30%: parantamista vaativa

GRR > 30%: ei sovellu käyttöön

4.3.2 Attribute Agreement Analysis (Attribute Gage R&R)

Attribuutteja eli ominaisuuksia mittaavilla mittajärjestelmillä tarkoitetaan sellaisia, joissa mittauksien tuloksia on rajallinen määrä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi tulkkeja, joiden mittausulos voi olla hyväksytty tai hylätty. Tällaiset mittausjärjestelmät eivät siis kerro, kuinka huonoja tai hyviä osat ovat, vaan ne jaotellaan rajattuun määrään luokkia. Myös visuaaliset tarkastusmenetelmät, joissa tulokset jaotellaan samaan tapaan rajattuun määrään vaihtoehtoja kuuluvat tähän mittausjärjestelmien kategoriaan. (AIAG 2010, 131–132.)

Attribuutti-mittauksen toistettavuutta ja uusittavuutta arvioidessa tulee mittausjärjestelmälle järjestää normaalista Gage R&R-testistä poikkeava testi. (Karjalainen & Karjalainen 2020, 274.) Testiä varten valituille osille tulisi määrittää tarkka vertausarvo esimerkiksi koordinaattimittakoneella mitaten. Ainakin osan

valittavista osista tulisi olla lähellä osien hyväksyntärajoja, esimerkiksi 25 % osista ylärajalla ja 25 % alarajalla. Osien mittajakaumaan vaikuttaa kuitenkin se, miten helppoa tai vaikeaa tällaisia osia on saada tai valmistaa testiä varten. (AIAG 2010, 132) Näytekokoja ei ole tiukasti standardoitu, mutta näytteitä tulisi olla riittävä määrä luotettavan analyysin tuottamiseksi. Kyvykkään prosessin mittausjärjestelmää analysoinnissa voidaan osa näytteistä valikoida toleranssirajoilta satunnaisen valitsemisen sijasta, tällöin varmistutaan siitä, että testeissä ovat mukana myös toleranssin raja-alueet. (AIAG 2010, 140–141.)

Testissä tulisi käyttää useampaa mittaajaa, joista jokainen testaa osan useampaan kertaan. Jokaisella osalla tulisi olla oma tunniste analysointivaihetta varten, jolloin kokeen järjestäjä kykenee erottamaan osat toisistaan, mutta mittajan ei tule kuitenkaan tietää mikä osa on mitattavana. (AIAG 2010, 133; Karjalainen & Karjalainen 2020, 274.)

Tuloksien analysoinnissa käytetään työkaluna ristitaulukointia, jonka perusteella voidaan arvioida mittauskertojen sekä operaattoreiden välistä tuloksien vaihtelua ja tämän kautta myös mittausjärjestelmän toimintavarmuutta (AIAG 2010, 133). Apuna analysoinnissa voidaan myös käyttää erilaisia analysointiin tarkoitettuja ohjelmistoja kuten Minitabia (Karjalainen & Karjalainen 2020, 274).

Ristitaulukoinnin avulla voidaan määrittää operaattoreiden välinen yhteisymmärrys hyväksymisestä tai hylkäämisestä sekä operaattorin ja ”oikean” arvon välinen suhde. Tähän operaattoreiden yhteisymmärryksen vertailuun käytetään Fleissin tai Cohenin Kappa -arvoa. Kappa arvo määritetään ristitaulukoinnin pohjalta jokaisen operaattorin välille. Yleisesti hyväksytyt säännöt operaattoreiden yhteisymmärryksen Kappa arvojen hyväksyttävyydelle on määritetty alla: (AIAG 2010, 136–137.)

0.75–1	Hyvä
0.4–0.75	Kohtalainen
Alle 0.4	Huono

Eroina Fleissin ja Cohenin Kappa -arvoille ovat, että Fleissin Kappaa käytetään yleensä silloin, kun testeissä vertaillaan vain yhtä paria tuloksia. Cohenin Kappa on käytettävissä, kun keskenään vertailtavia tulospareja on tätä suurempi määrä. Minitab määrittää automaattisesti, kumpaa arvoista tulisi käyttää. (Minitab 2022b.)

Lisäksi ristitaulukoimalla saadaan laskettua toimintavarmuus mittausjärjestelmälle. Toimintavarmuus saadaan jakamalla oikeiden päätöksien määrä kaikilla päätösmahdollisuuksilla. (AIAG 2010, 139.)

5 Avainvalmistuksen ja tarkastuksien kuvaus

Tässä osiossa tarkastellaan avainvalmistuksen nykytilaa ja yleisesti valmistusprosessin etenemistä yhden tarkasteltavan avaintyyppin osalta.

5.1 Avaimen valmistus

Avaimen valmistus alkaa avainaihion valmistamisesta. yksinkertaistettuna avainaihion valmistus tapahtuu niin, että avainterän perusmuodon muotoisesta profiilitangosta leikataan sopivan pituinen kappale jonka toiseen päähän ruiskuvaletaan avaimen lehti. Tämän jälkeen avainaihiot ovat valmiita yksilöivien piirteiden työstöä varten. Ensimmäinen näistä vaiheista on profilointi.

Profilointivaiheessa avainaihioon työstetään tarvittavalle profiilille ominaiset piirteet. Avainten profiilit koostuvat kahdesta profiilimuodosta, joista lyhyt profiili kattaa vain lyhyen osan avaimen päästä ja pitkä profiili ulottuu koko avaimen toiminnalliselle alueelle. Näiden profiilimuotojen lisäksi avaimen tehdään lähelle avaimen päätä avaus eli ”soikea aukko”, sekä keskiosaan avainterää po-raus.

Profilointivaiheen jälkeen avaimille suoritetaan ensimmäiset tarkastukset. Kaikkia avainaihoita ei tarkasteta profiloinnin jälkeen, vaan tarkastuksia suoritetaan aina asetusten ja huoltojen yhteydessä sekä tietyin väliajoin sarjan aikana. Jos poikkeamia tarkastuksissa ei havaita, voidaan kappaleet vapauttaa seuraavaan vaiheeseen. Tämän vaiheen tarkastuksissa hyödynnetään paljon meno/hylky -periaatteella toimivia tulkkeja mutta mukana käytetään myös mittakelloa ja työntömittaa.

Profiloinnin jälkeen avain on valmis koodijyrsintään, jossa avaimeen jyrsitään sitä vastaavan lukkopesän avaamisen mahdollistava koodi. Koodi koostuu avaimeen tehtävistä viistejyrsinnöistä. Koodijyrsinnän lisäksi tässä vaiheessa avaimeen tehdään tarvittavat leimaukset.

Koodijyrsintävaiheessa avaimista tarkastetaan koordinaattimittakoneella jyrsintöjen keskeisyys, etäisyys, muodot sekä kulmat. Lisäksi suoritettavia tarkastuksia ovat keskeisyyden mittaus mittakellolla sekä pään mitan tulkkkaus. Lisäksi leimauksien oikeellisuus tarkastetaan silmämääräisesti.

5.1.1 Työssä tarkasteltavat tarkastusmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan seuraavia ominaisuuksien tarkastukseen käytettäviä tulkkeja:

1. Avauksen tulkki (profilointi)
2. Pääprofiliuratulkki (profilointi)

Tulkkitarkastuksien lisäksi työssä tarkastellaan myös lyhyen profiilin pituusmitan, pääprofiliuran syvyyden sekä koodin keskeisyyden mittauksiin käytettäviä mittakellomittauksia. Pääprofiliuran syvyyden mittaukseen saatetaan myös vaihtoehtoisesti käyttää työntömittaa.

Koordinaattimittakoneella tarkastettavia mittoja ovat seuraavat:

1. jysintöjen keskeisyys (koodi)
2. jysintöjen etäisyys (koodi)
3. jysintöjen muodot (koodi)
4. jysintöjen kulmat (koodi)

6 Tarkastusmenetelmien luotettavuuden selvitys

6.1 Testikappaleiden keräys Gage R&R-testeille

Gage R&R-testeihin kerätyt kappaleet poimittiin profiloinnin osalta tuotannosta normaalien valmistuserien joukosta. Kappaleita valittaessa huomioitiin valmistusajankohta, ja se että valmistusprosessiin ei ole tullut muutoksia kappaleiden valmistuksen jälkeen. Tällöin kerättyjen kappaleiden mittavaihteluiden voidaan olettaa vastaavan nykytilannetta. Koodijysintöjen avaimien testikappaleina käytettiin ns. mitta- ja kalibrointiavaimia, joiden koordinaattimittaukseen on valmiit ohjelmat mittahuoneella.

6.2 Koodin mittaukset - Koordinaattimittauksen Gage R&R

Koordinaattimittakoneella toteutettavien mittauksien GRR-testit toteutettiin kahden mittaajan toimesta. Molemmat mittaajat mittasivat kappaleet kahdesti. Vaikka yleisesti suositeltava määrä mittaajille testissä on kolme, nähtiin kahdella mittaajalla toteutettu testi hyväksyttäväksi tässä tapauksessa, koska työn tekohetkellä koordinaattimittakoneen käyttäjiä oli vain kaksi. Mittauksissa hyödynnettiin automaattista mittaohjelmaa, jolla tuotannossa tarkastettavia avaimia normaaleissakin olosuhteissa mitataan. Mittaohjelmaan kuuluvat avaimen jyr-sinkulmien mittaus avaimen molemmilta puolilta, jysintöjen muodon mittaus sekä etäisyyden ja keskeisyyden mittaus kolmannen jysintöparin kohdalta.

GRR-testien analysointi tehtiin mittauksista saatujen mittaraporttien pohjalta. Mittatulokset siirrettiin mittaraporteista Exceliin, jossa ne järjesteltiin niin, että niiden hyödyntäminen Minitabissa onnistuu helposti. Tämän jälkeen Minitabilla luotiin analyysit jokaisesta mittausryhmästä.

GRR-analyysien tuloksissa nähtiinärkevimmäksi tarkastella toleranssiin suhteutetun mittausvaihtelun osuutta. Syynä tälle ovat seuraavat:

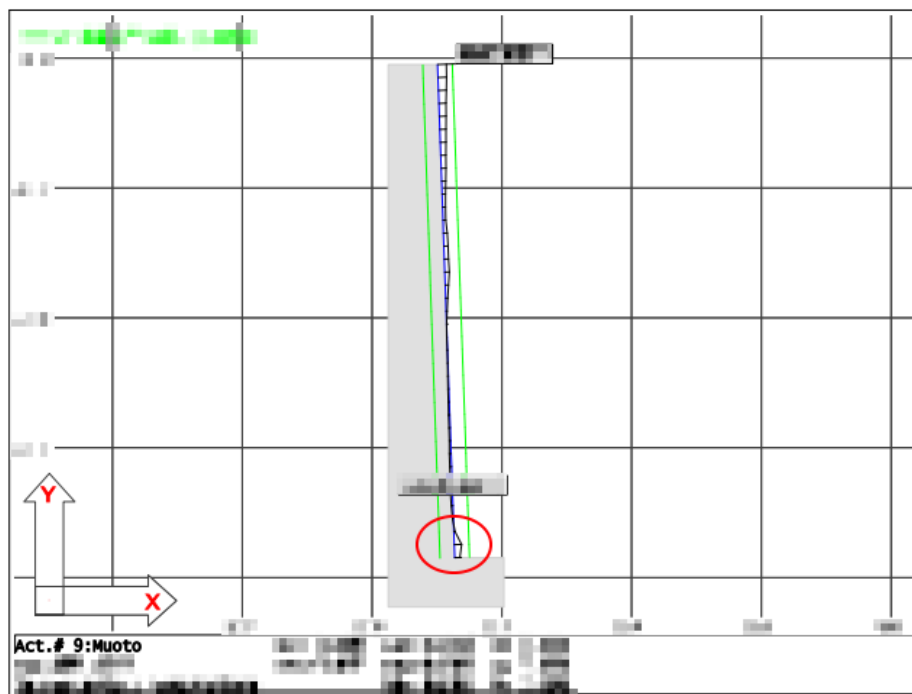
1. Työssä tarkastellaan tarkastusmittauksia.
2. GRR-analyysissä käytettiin prosessivaihtelun määrittämiseen vain mitattuja kappaleita, jolloin kappaleiden mittavaihtelu on määritetty vain kymmentä satunnaisvalittua kappaletta käyttäen. Jos testitulokset haluttaisiin suhteuttaa kappaleiden mittavaihteluun, tulisi vaihtelu määrittää suuremmasta satunnaisotannasta kappaleita.

Testituloksista havaittiin, että etäisyyden ja keskeisyyden mittausvaihteluissa olisi parantamisen varaa. Muoto- ja jyrskikulmamittauksien tulokset näyttivät pääasiassa hyviltä, mutta erään muotomittauksen alarajan mittausvaihtelut olivat muita suurempia. Suurin osa muotomittauksienkin tuloksista osui kuitenkin hyvälle alueelle. Ainakin näiden muista poikkeavien tulosten mittausvaihteluiden lähteitä olisi syytä tutkia.

Erään jyrskintämittauksen etäisyyden sekä keskeisyyden GRR-testituloksia tarkemmin katsoessa voidaan huomata se, että suurimpana vaihtelun lähteenä on toistettavuus. Tämän voidaan arvioida liittyvän mittalaitteen tai mittaustavan aiheuttamaan vaihteluun. Kun tarkastellaan mittatuloksia sekä toleranssialuetta, syyksi voitaisiin olettaa se, että mittauksen resoluutiota voitaisiin parantaa. Mittaraportissa tulokset on ilmoitettu sellaisella tarkkuudella, että pienikin vaihtelu saattaa aiheuttaa suhteellisen suuren muutoksen mittaustulokseen. Tarkempia mittatuloksia ei kuitenkaan ollut saatavilla, joten testi jouduttaisiin uusimaan, jos haluttaisiin toteuttaa sama testaus tarkemmilla arvoilla.

Testituloksien mukaan erään jyrskintämuodon alemman rajan mittauksen vaihtelusta suurin osa johtui toistettavuudesta mutta myös uusittavuusperäistä

vaihtelua esiintyi. Toistettavuuden osuus viittaa mittalaitteen tai mittausmenetelmän vaihteluun. Uusittavuus voisi numeerisesti ohjatussa koordinaattimittauksessa viitata kappaleen asettamiseen liittyvään vaihteluun. Tämä vaihtoehto voitaneen kuitenkin sulkea pois koska samanlaisia vaihteluita ei muissa muotomittauksissa esiinny, eikä mitattavia kappaletta aseteta uudelleen jigiiin muotomittauksien välillä.



Kuva 1. Muotomittauksen mittausvaihtelun oletettu lähde (ympyröity).

Eryteisesti muotomittauksien kohdalla on mahdollista, että kappaleen mitattava muoto tai sen pinnankarheudet saattavat vaikuttaa mitaustapahtumaan ja mitaustuloksiin. Tämän mahdollisuutta vahvistaa myös se, että mitatun muodon 2D-kuvaajaa (Kuva 1) tarkastellessa nähdään muodon toisessa päässä selvä vääristymä. Joillakin mittauskerroilla kuvassa näkyvän muotoprofiilikuvaajan alimmaksi pisteeksi oli mitattu toisistaan poikkeavia mittoja. Testikappaleina käytettyjä avaimia luopilla tarkastellessa huomattiinkin jälkeinpäin, että kyseisen jyrsinän reunassa oli muotovirhe, tässä tapauksessa pieni "kuoppa", joka saattoi aiheuttaa mittausvaihtelua.

Mittaustavan muutokset saattaisivat parantaa mittauksen luotettavuutta. Esimerkiksi jos mittaus muutettaisiin vetomittauksesta pistemittaukseksi,

saattaisivat mittausvaihtelut pienentyä. Työn tuloksena voidaan pitää tältä osin sitä, että tämäntyyppisten muotovirheiden mahdolliset vaikutukset mittaukseen tiedostetaan, ja että niiden lähteitä saattaisi olla aihetta tutkia tarkemmin. Tiukat toleranssialueet kuitenkin kärjistävät toleranssiin suhteutettuja mittausvaihteluita, jolloin todella pienetkin vaihtelut voivat näyttää tuloksia tarkastellessa suurilta. Tiukkojen toleranssien avulla saadaan kuitenkin toimitettua asiakkaalle varmasti toimiva tuote.

6.3 Koodin mittaukset - Käsimittalaitteiden Gage R&R

Koodin käsimittalaitteilla suoritettaviin mittauksiin kuului keskeisyyden mittaus mittakellolla. Mittauksen GRR -testi suoritettiin kahden normaalisti kappaleita mittaavan mittaajan kanssa, kahdella toistolla mittaajaa kohden. Yksinkertaistettuna testi toteutettiin niin, että mittaajille annettiin mitattavaksi kappale, mittaaja mittasi kappaleen ja tulos kirjattiin ylös lomakkeelle testin järjestäjän toimesta. Lomakkeen mittausjärjestys oli luotu satunnaisesti, jolloin mittaaja ei voinut päätellä mikä kappale on mitattavana. Mittatulokset kerättiin mittauskerralla avaimen molemmin puolin, jaotellen ne A- ja Y-puoleen, jolloin niiden avulla voidaan määrittää keskeisyys.

Tuloksien GRR-analyysien tuloksista voitiin nähdä, että mittauksessa on parantamisen varaa. Mittausperäisestä vaihtelusta suurempi osa oli peräisin toistettavuudesta. Tämä viittaisi mittalaitte- tai mittaustapaperäiseen vaihteluun. Myös mittaajaperäistä vaihtelua kuitenkin esiintyi testin mukaan, mutta kuitenkin vähemmän kuin toistettavuusperäistä.

Mahdollisena mittausvaihtelun syynä pääteltiin mahdollisesti olevan mittalaitteen mittausresoluution. Tässä mittauksessa toleranssialue on melko pieni, jolloin mittakellonkin olisi syytä olla todella tarkka. Suhteellisesti epätarkemmalla mittakellolla mitatessa voi yhdenkin mittayksikön heitto johtaa suhteellisen suuriin heittoihin tuloksissa.

6.4 Profilointi - Käsimitalaitteiden Gage R&R

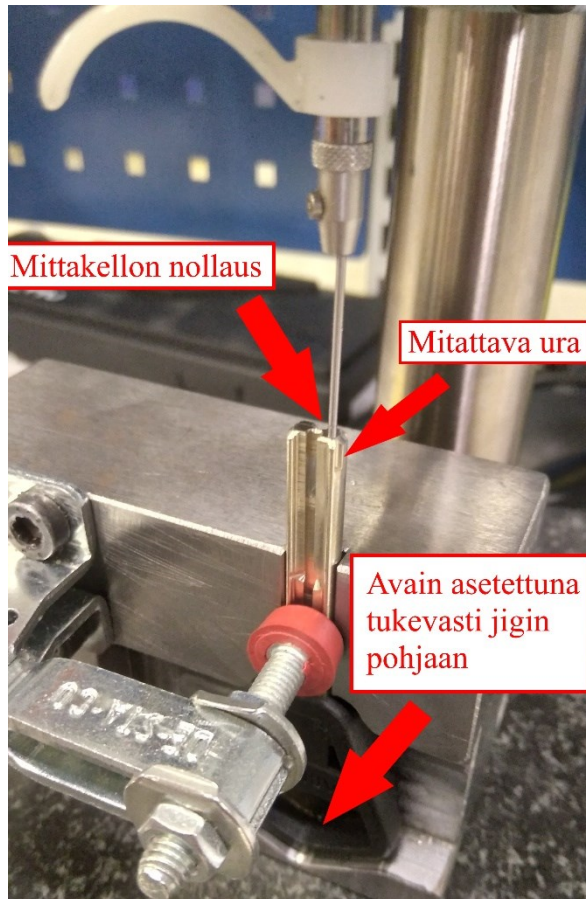
Profiloinnin mittaustesteissä käytettiin mittavälineinä normaalistikin käytössä olevia mittakelloja ja työntömittoja. Mittauksissa noudatettiin samoja periaatteita kuin koodijyrsinnän keskeisyyden mittaustestissäkin. Tarkastettavat ominaisuudet olivat seuraavat:

1. Lyhyen profiilin eli pituus (mittakello)
2. Pääprofiliuran syvyys (mittakello)
3. Pääprofiliurien välinen etäisyys (työntömitta).

Tuloksista voitiin nähdä, että Lyhyen profiilin pituuden mittauksessa on parantamisen varaa. Pääprofiliuran syvyyden mittaus sen sijaan on erittäin hyvällä tasolla, jolloin myös käytetyn mittakellon voidaan arvioida olevan tarpeeksi tarkka mittaukseen. Aiemmin mainituista mittauksista molemmat suoritetaan samalla mittakellolla.

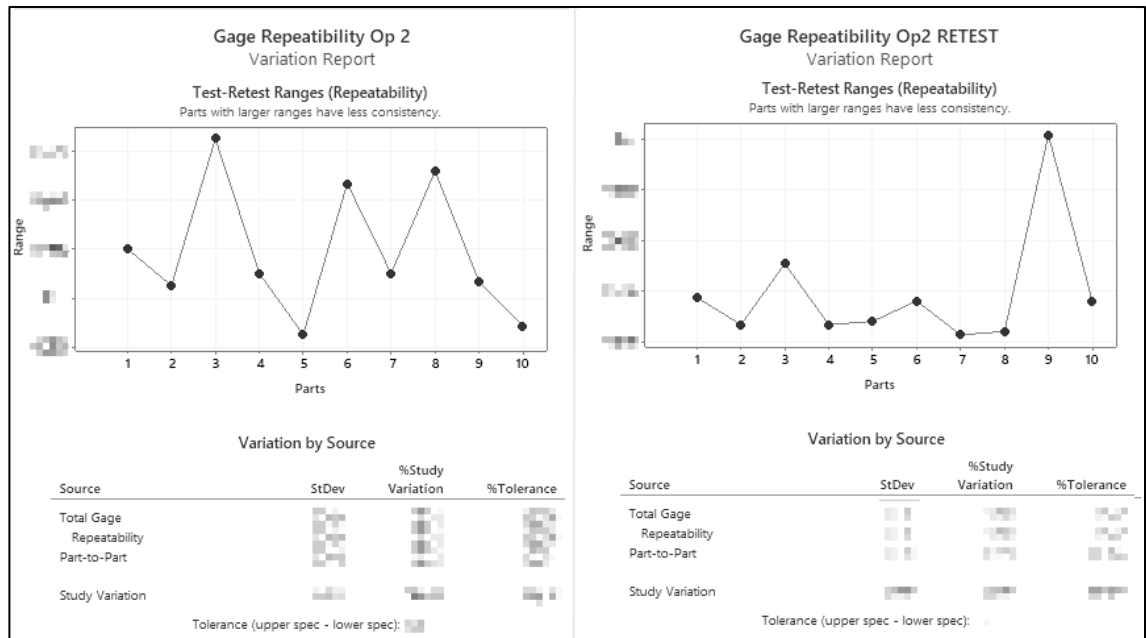
Lyhyen profiilin pituuden mittauksessa suurempi osa vaihtelusta on toistettavuudesta peräisin. Lisäksi pieni osa vaihtelusta on uusittavuusperäistä vaihtelua tarkemmin operaattorista johtuvaa. Lyhyen profiilin pituuden mittauksessa vaihtelun arveltiin alun perin johtuvan mitattavan kappaleen pinnankarheuksista ja muodoista. Mittausta tarkemmin tutkittaessa sekä ylimääräisiä toistettavuustestejä suorittamalla huomattiin kuitenkin mitattavan avaimen jigiin asettamisella ja nollakohdan valinnalla olevan vaikutusta tuloksien luotettavuuteen.

Kun kappale asetettiin uusintatesteissä mittajigin pohjaa vasten huolellisesti sekä nollakohta asetettiin tarkasti määritettyyn kohtaan avaimen päätä (Kuva 2) saatiin mittauksesta aiheutuvaa vaihtelua pienennettyä huomattavasti. Kun nollauksen vaikutus oli todettu toistettavuustestillä, testattiin vielä varmistukseksi nollakohdan asettamisen maksimivaikutus mittaukseen. Tämä testattiin siten, että mittakello nollattiin mittausjigiin ja etsittiin avaimen päästä suurin sekä pienin mitta, joiden kautta saatiin selville nollakohdan maksimivaikutus mittaukseen. Tällä tavoin varmistettiin, että nollakohdan asettamispaikalla on merkitystä avainta mitattaessa.



Kuva 2. Nollaus uuden ohjeen mukaan.

Avaimen jigien asettamisen merkitys puolestaan huomattiin siten, että kun avain asetettiin mittajigien painamatta sitä pohjaan ja mittakellon kärkeä nostettiin pään nollauksien välissä toistuvasti, ei nollakohta pysynyt samana. Kun avain asetettiin tukevasti jigien pohjaa vasten, ei tätä ongelmaa esiintynyt.



Kuva 3. Lähtötilanteen ja uusintatestin tuloksien vertailu

Kun aiemmin mainitut huomiot mittauksesta oli tehty, päätettiin testi uusien mittausohjeistuksen mukaisesti. Mittaajana uusinnassa toimi toinen lähtötilannetestin mittaajista. Muuten uusinta tehtiin samaan tapaan kuin lähtötilannetestikin. Uusintatestin toistettavuuden GRR-tulos ei ollut huomattavasti aikaisempaa parempi (Kuva 3), mutta tämän huomattiin johtuvan siitä, että yhden mittauksen kohdalla tulos oli heittänyt suhteellisen suuresti mittauskertojen välillä. Jos mittauskertojen välisten vaihteluiden alaa tarkastellaan kuvaajasta, voidaan huomata, että vaihteluiden alat ovat 9. osan mittausta lukuun ottamatta huomattavasti pienempiä kuin lähtötilannetestissä.

Uusintatesti operaattorin kanssa vahvistaa jälleen olettamaa siitä, että mittauksen ohjeistuksessa saattaisi olla parantamisen varaa.

6.5 Attribuuttitesteihin valmistautuminen

Attribuuttitesteihin valmistautuminen piti sisällään testikappaleiden valmistamista sekä niiden mittaamista. Jokaiselle testikappaleelle määritettiin myös ID, jonka avulla mittaus- ja testitulokset voitiin yhdistää oikeaan kappaleeseen.

Tulkkitestejä varten kappaleet valmistettiin tarkoituksenmukaisesti eri mittoihin, jolloin pystyttiin varmistumaan siitä, että testikappaleiden mitat kattavat mahdollisimman suuren alueen toleranssista ja sen ympäröivistä alueista. Joidenkin mittojen asettamisen kohdalla törmättiin kuitenkin valmistusteknisiin ongelmiin tai todettiin valmistuslaitteiston asetusmuutoksien olevan mahdotonta tai liian vaikeaa. Työtä päätettiin kuitenkin jatkaa ainakin niiltä osin missä mahdollista. Ensimmäiseen testikappale-erään valmistettiin tai valittiin yhteensä hieman yli 70 avainta.

Valmistuksen ja valikoinnin jälkeen testikappaleet mitattiin ja niille määritettiin referenssiarvot, joiden avulla joukosta voidaan poimia attribuuttitestiin sopivat kappaleet. Referenssiarvoja käytetään myös testeissä keinona määrittää testikappaleiden vaatimuksenmukaisuus.

Valmistettujen sekä valikoitujen avaimien joukosta valittiin mitattavaksi 60kpl sellaisia avaimia, jotka mahdollisesti sopisivat testeihin. Tässä vaiheessa kappaleista mitattavia ominaisuuksia olivat avauksen mitat, profiiliuran mitat sekä porauksen mitat. Edellä mainituista kaikki paitsi porauksen syvyys mitattiin koordinaattimittakoneella. Porauksen syvyyden mittaukseen käytettiin mikrometriä.

Pelkän mittaamisen lisäksi mittauksille suoritettiin toistettavuustesti, jonka avulla saatujen tuloksien luotettavuudesta saatiin käsitys. Toistettavuustesti vastaa käytännössä GRR-testausta, mutta testi suoritettiin yhdellä mittaajalla. Tämä lähestymistapa arvioitiin riittäväksi, koska kappaleet oli mitattu yhden ja saman henkilön toimesta. Lisäksi numeerisesti ohjatussa koordinaattimittauksessa mittaajan vaikutuksen mittaustapahtumaan voidaan jo lähtökohtaisesti arvioida olevan pieni.

Referenssiarvomittaukset olivat pääosin hyväksyttävällä tai erittäin hyvällä tasolla. Tämän mittauksen parantamiseen ei käytetty aikaa, mutta tulokset tulisi tiedostaa attribuuttitesteissä, kun vertaillaan mittaajan ja referenssiarvon välistä yhteisymmärrystä kappaleen hyväksyttävyydestä.

Mittausepävarmuuden vaikutusta testikappaleiden hyväksyttävyyteen voidaan tarkastella siten, että toleranssialueen raja-alueilla olevien kappaleiden mitattuun mittaan lisätään tai vähennetään epävarmuuden osoittama prosenttiarvo. Epävarmuus ei testauksen mukaan vaikuttanut kappaleiden hyväksyttävyyteen tai hylättävyyteen missään suoritettavista attribuuttitesteistä.

Kun kaikille potentiaalisille testikappaleille oli määritelty referenssiarvot (Liite 1) ja referenssiarvojen luotettavuus, oli mahdollista määrittää, mitä näistä kappaleista voitaisiin käyttää testeissä. Tässä vaiheessa huomattiinkin, että kyseisillä testikappaleilla voitaisiin suorittaa vain osa testeistä. Muiden testien suorittamiseksi tarvittaisiin testikappaleita lisää sellaisilta alueilta, joita nykyisten testikappaleiden mitat eivät kata, eli pääasiassa testattavan mitta-alueen reuna-alueilta sekä ulkopuolelta.

Testauskelpoisiksi tulkkauksiksi määritettiin seuraavat:

1. Avauksen paikka, etäisyys päästä (hylky)
2. Pääprofiliuran mitta, jyrskintäväli (meno)

Seuraavien tulkkien testauksen määritettiin olevan käytettävissä olevilla testikappaleilla mahdotonta:

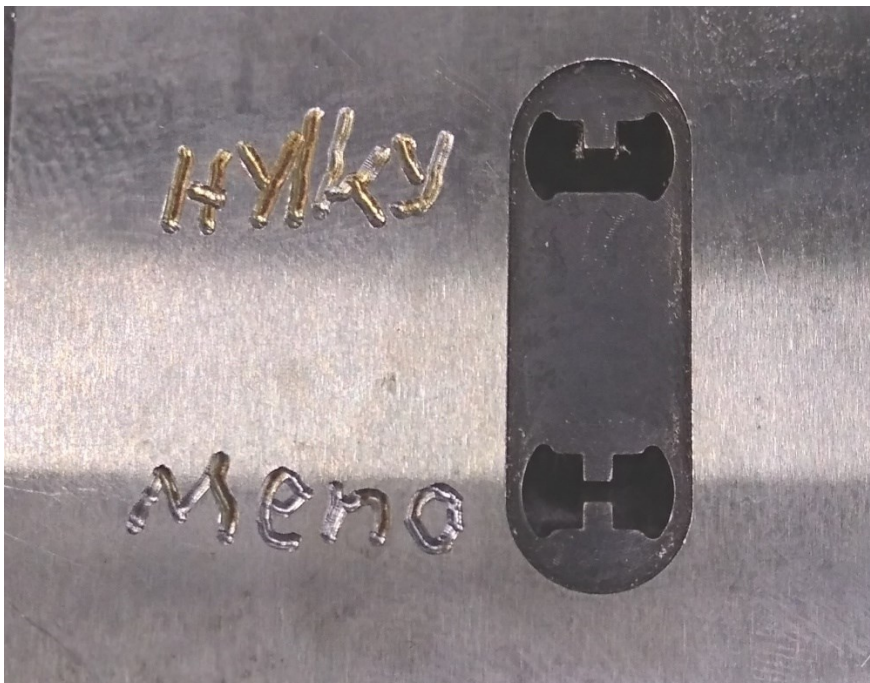
1. Avauksen mitta, pituus
2. Avauksen paikka, etäisyys päästä (meno)
3. Avauksen mitta, leveys
4. Pääprofiliuran mitta, jyrskintäväli (hylky)
5. Pääprofiliuran mitta, leveys
6. Porauksen paikka, etäisyys päästä
7. Profilin muoto

Tämän jälkeen jäljellä oli vain testien suorittaminen siltä osin, kun se oli mahdollista.

6.6 Pääprofiliuran jyrsvntävältn tulkkauksen testaus

Ensimmäisenä attribuuttitestiä (Attribute Agreement Analysis) kokeiltiin pääprofiliuran syvyyttä testaavalle tulkkille. Testissä olivat mukana kaksi normaalisti tulkkia käyttävää operaattoria sekä testin järjestäjä itse. Kaikki kappaleet testattiin tulkillla kahteen kertaan ja kappaleiden testausjärjestys oli satunnainen.

Tulkkauks toimii siten, että profiilijyrsvntä avainta kokeillaan tulkin meno- sekä hylkypuolelle. Toleranssin yläalue tarkastetaan tulkin menopuolella, ja päinvastoin toleranssin ala-alue tarkastetaan hylkypuolella (Kuva 4).



Kuva 4. Pääprofiliuran mittojen tulkki.

Testin järjestäjän mukana oleminen tulee kuitenkin huomioida tai mahdollisesti poistaa analysoidessa tuloksia. Järjestäjän mittaushavaintoihin voivat vaikuttaa esimerkiksi esitiedot kappaleiden hyväksyttävyydestä. Syynä järjestäjän mukana olemiseen oli se, että tällä tavoin voitiin kokeilla testaustapahtumaa ennen operaattoreiden mukaan ottamista ja varmistua siitä, että testi on toteutettavissa.

Testikappaleet valittiin mittaustulosten perusteella siten, että puolet kappaleista oli hyväksyttäviä sekä puolet hylättäviä (Taulukko 1). Kappaleiden mitat eivät siis edusta satunnaisvaihtelua, vaan ne ovat tarkoituksenmukaisesti valikoituja testiä varten. Kappaleita valittiin toleranssin ylä- sekä alaluokalta. Käytännössä valinta tarkoittaa, että samalla testillä tarkasteltaisiin ominaisuuden menon sekä hylkytulkkia.

Tulkkauksen tulokset kirjattiin ylös testaamista varten luodulle lomakkeelle. Kun testi oli saatu tehtyä, siirrettiin tulokset Minitabiin, jolla ne analysoitiin. Analyysi kertoo mittaajan toistojen välisen yhteisymmärryksen (toistettavuus), mittaajien välisen yhteisymmärryksen (uusittavuus) sekä mittaajien tuloksien sekä määrätyn referenssiarvon eli ”standardin” välisen yhteisymmärryksen.

Analyysiä tarkastellessa voidaan havaita tulkkauksien toistettavuuden olevan hyvällä tasolla. Molemmat normaalisti tulkkeja käyttävät operaattorit saavuttivat lähes täyden yhteisymmärryksen toistojensa välillä, joka on erittäin hyvä tulos. Tuloksien mukaan myös uusittavuus oli lähes vastaavan hyvällä tasolla. Kun tulkkitestin tuloksia vertailtiin referenssiarvoihin, voitiin kuitenkin huomata, että tulokkausta voidaan kehittää vielä.

OSA	1	OSA	1
1	-166,00 %	6	-174,00 %
3	-154,00 %	1	-166,00 %
4	-128,00 %	3	-154,00 %
5	-118,00 %	9	-148,00 %
6	-174,00 %	8	-138,00 %
7	-70,00 %	4	-128,00 %
8	-138,00 %	25	-124,00 %
9	-148,00 %	5	-118,00 %
11	136,00 %	7	-70,00 %
14	112,00 %	37	14,00 %
15	288,00 %	39	16,00 %
16	126,00 %	32	22,00 %
18	318,00 %	30	30,00 %
21	182,00 %	42	32,00 %
23	66,00 %	33	46,00 %
25	-124,00 %	36	52,00 %
26	178,00 %	35	56,00 %
30	30,00 %	34	58,00 %
31	120,00 %	40	62,00 %
32	22,00 %	41	64,00 %
33	46,00 %	23	66,00 %
34	58,00 %	38	70,00 %
35	56,00 %	14	112,00 %
36	52,00 %	31	120,00 %
37	14,00 %	16	126,00 %
38	70,00 %	11	136,00 %
39	16,00 %	26	178,00 %
40	62,00 %	21	182,00 %
41	64,00 %	15	288,00 %
42	32,00 %	18	318,00 %

Taulukko 1. Testiä varten valmistetut ja valitut kappaleet

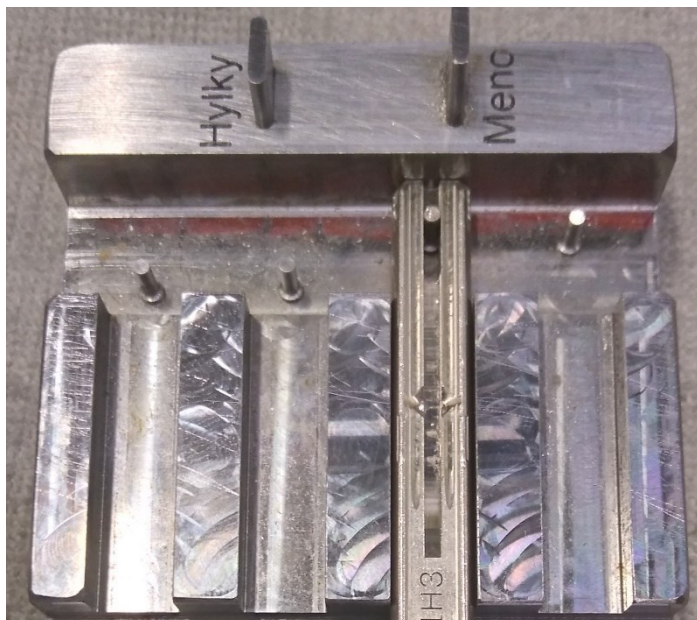
Kun tulkkia ja testituloksia tarkasteltiin tarkemmin, voitiin tulkin toiminnan parannuskohteiksi todeta ainakin seuraavat:

1. Tulkin suunnittelu: Tulkki on suunniteltu tarkastamaan kahta eri mitta samaan aikaan (Pääprofiiliuran välimitta ja leveys), tämä saattaa olla ongelma pääasiassa tulkin hylkyosassa, joka saattaa hyväksyä kappaleen silloinkin, kun kappale ei mene tulkkiin, vaikka vain toinen mitta olisi hyväksyttävä.
2. Tulkin kalibrointi: Jyrsinvälin tarkastukseen tarkoitettu osa tulkista voitaisiin valmistaa tiukemmaksi, eli nykyiseltään tulkin menopuolelle mahtuvat myös kappaleet, joiden välimitta on hieman liian suuri.

6.7 Avauksen paikan tulkkauksen testaus

Avauksen paikan tulkkauksen testaus tapahtui hyvin samaan tapaan kuin pääprofiiliuratulkinkin testaus. Toteutuksessa oli kuitenkin erona se, että koska testikappaleita oli vain toleranssialueen ala-alueelta, testattiin tulkkia pelkästään hylkypuolelta menopuolen testauksen ollessa kyseisillä kappaleilla mahdotonta. Lisäksi kannattaa huomioida se, että toleranssin raja-alueella olevia mittoja ei löytynyt kappaleiden joukosta yhtä kattavasti kuin aikaisemmassa testissä, jolloin tulkin ”harmaan alueen” määrittäminen on huomattavasti epätarkempi.

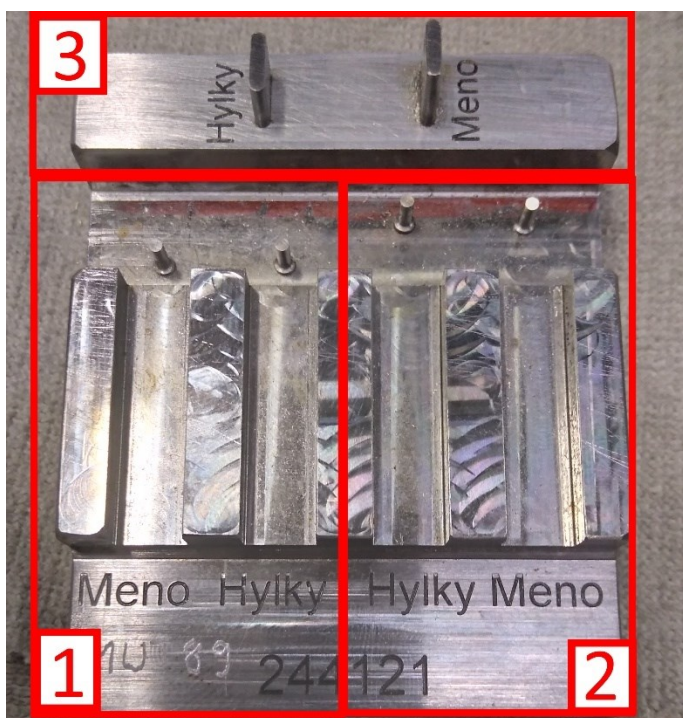
Vaikka tulkki on hyvin erinäköinen profiiliuratulkkiin verrattuna, ovat sen käyttöperiaatteet hyvin samanlaiset. Avainta siis kokeillaan samaan tapaan tulkin meno- sekä hylkypuolille (Kuva 5).



Kuva 5. Hylättävä avain avauksen paikkatulkin hylkypuolella

Tulkki koostuu kolmesta eri osiosta (Kuva 6):

1. Avauksen paikan 2 tulkki
2. Avauksen paikan 1 tulkki
3. Avauksen leveyden ja pituuden tulkki



Kuva 6. Avauksen tulkki ja sen osat numeroituna

Tässä osiossa käsitelty testi koskee avauksen tulkin aluetta 2 ja sen hylkypuolta (Kuva 5, Kuva 6). Tuloksista voitiin nähdä, että toistettavuuden Kappa-arvot ovat molemmilla testaajilla hyvällä tasolla, jokseenkin toisella mittaajista Kappa-arvo poikkesi jonkin verran toisesta mittaajasta. Tässä olisi kuitenkin hyvä huomioida, että toinen mittaajista oli testin järjestäjä, ja että testikappaleita oli melko vähän testattavan mitta-alueen raja-alueelta, jolloin tuloksissa ei näy tulkkauksen harmaan alueen vaikutusta yhtä selvästi.

Mittaajien välisen yhteisymmärryksen Kappa-arvoista voitiin havaita, että mitaajien tavassa käyttää tulkkia on poikkeavuuksia. Tämän havaittiin mahdollisesti johtuvan siitä, että toinen mittaajista ei asettanut kappaletta tulkkiin täysin samalla tavalla kuin toinen mittaajista.

Testituloksia vertaillen referenssiarvoihin voidaan toisen mittaajan kohdalla huomata taas tulkin käyttötavan poikkeavan toisen mittaajan tavasta käyttää tulkkia. Kuitenkin jos Kappa-arvojen ohjerajoja noudatetaan, olisi tulos hyväksyttävällä tasolla.

Yleisesti ottaen tulkki vaikuttaisi testin perusteella olevan melko hyvin kalibroitu kyseisen mitan tarkastamiseen, mutta mittaajien toisistaan poikkeavien tulosten perusteella käyttöohjeistuksessa saattaisi olla parannuksen varaa.

Testeissä ja tulkkia tarkastellessa havaittiin siis yksi parantamisen tarpeessa oleva asia:

1. Tulkin käyttö: Tulkkia käytettäessä on avain mahdollista asettaa tulkkiin hieman eri tavoin, joka puolestaan saattaa aiheuttaa eroja saatuihin tulkkauksituloksiin.

6.8 Avauksen tulkin muut huomiot

Avauksen pituus- ja leveysmitan tulkkauksesta tehtiin myös huomioita. Tätä tulkkauksen osa-aluetta ei pystytty testaamaan attribuuttitestillä, mutta sen

toiminnasta havaittiin kuitenkin parannettavaa. Ongelmaksi tulkkia käytettäessä muodostuu se, että sama osa tulkista testaa yhtä aikaa pituus- sekä leveysmittaa avauksesta. Menopuolella tulkkia tämä ei ole ongelma, mutta hylkypuolella tämä saattaa aiheuttaa sen, että jos edes toinen mitoista on hyväksyttävä, jää toinen mitoista tarkastamatta.

Avauksen tulkkia tutkiessa huomattiin myös se, että sen toimintaperiaatteita oli aikaisemmin tulkittu suunnitellusta tavasta poiketen ja tämän vuoksi saattaisi olla tarpeellista tarkentaa tulkin käytön ohjeistusta.

7 Tarkastusmenetelmille ehdotetut muutokset tai jatkotoimenpiteet

7.1 KMK: Koodin muotomittaus

Koodin koordinaattimittakoneella toteutettavassa muotomittauksessa esiintyneiden vaihteluiden syytä ei saatu tämän opinnäytetyön aikataulun puitteissa täysin selvitettyä. Korjaamiseksi voitaisiin kokeilla esimerkiksi KMK:n mittaustavan muutosta vetomittauksesta pistemittaukseksi. Muutokselle ei kuitenkaan ole tutkittuja perusteluita, joten jatkotutkimuksia olisi syytä toteuttaa muutetulle mittaustavalle esimerkiksi Gage R&R uusintatestien muodossa.

7.2 KMK: Koodin etäisyyden ja keskeisyyden mittaus

Esitetty kehitysehdotus perustuu luvussa 7.2 esitettyihin havaintoihin.

- 1. Ilmoitustarkkuuden tarkentaminen:** Mittaraportissa ilmoitustarkkuutta voitaisiin parantaa erottelukyvyn lisäämiseksi. Toleranssialueen ollessa pieni, saattavat pienetkin heitot muuttaa mittaustulosta suuresti. Voidaan olettaa, että mittaraportin ilmoitustarkkuutta muuttamalla tulos paranisi hyvälle tasolle.

7.3 Käsimitallaite: Koodin keskeisyyden mittaus (mittakello)

Esitetty kehitysehdotus perustuu luvussa 7.3 esitettyihin havaintoihin.

1. Mittakellon vaihto tarkempaan: Jos mittauksen luotettavuutta halutaan parantaa hyvälle tasolle ($GRR < 10\%$), tulisi mittakellon mittaustarkkuuden olla tarkempi. Tämä johtuu mittakellon resoluutiosta ja sen suhteesta toleranssialueen kokoon.

7.4 Käsimitallaite: Lyhyen profiilin pituuden mittaus (mittakello)

Esitetty kehitysehdotus perustuu luvussa 7.4 esitettyihin havaintoihin.

1. Mittausohjeistuksen päivittäminen: Jos mittauksen luotettavuutta halutaan parantaa, voitaisi mittauksen ohjeistukseen ottaa mukaan nollakohdan tarkempi määrittäminen, sekä mittauksen jälkeinen nollakohdan tarkastus.

7.5 Tulkki: Pääprofiliurien välimitta

Tässä osiossa annetut kehitysehdotukset perustuvat luvussa 7.6 havaittuihin tulkkauksen ongelmiin. Kehitysehdotukset on listattu tärkeysjärjestyksessä.

1. Tulkin testaamien mittojen erottaminen (hylky): Tällä hetkellä tulkki testaa kahta eri mittaa samaan aikaan (välimitta sekä leveys). Tämä ei varsinaisesti ole ongelma tulkin menopuolella, koska kappaleen hylkäämiseksi riittää, että toinen mitoista on ulkona toleranssialueelta. Mittojen yhteistestaus voi kuitenkin muodostua ongelmaksi tulkin hylkypuolella, koska kappale ei mene hylkytulkkista läpi, jos edes toinen mitoista on toleranssialueen sisällä. Ratkaisuna tähän olisi mittojen tulkkauksen erottelu erillisiksi osiksi ainakin hylkypuolella tulkkia.

2. Tulkkivälin kalibrointi: Tulkin kalibrointia voitaisiin muuttaa siten, että tulkin tarkkuus parantuisi. Tällä tavoin voitaisiin varmistua siitä, että tulkki hyväksyy vain kappaleita, jotka ovat hyväksyttäviä.

7.6 Tulkki: Avauksen paikka 1, etäisyys päästä

Tässä osiossa annettu kehitysehdotus perustuu luvussa 7.7 havaittuun tulkkauksen ongelmaan.

1. Tarkemman käyttöohjeistuksen tekeminen tulkille: Avaimen asettamisvassa saattaa olla operaattoreiden välillä eroja, tämä saattaa johtaa hieman toisistaan eroaviin mittaustuloksiin samaa kappaletta mitattaessa. Ratkaisuna ongelmaan olisi tarkennettu käyttöohjeistus tulkille.

7.7 Tulkki: Avauksen pituus- ja leveysmitta

Tässä osiossa annettu kehitysehdotus perustuu luvussa 7.8 havaittuun tulkkauksen ongelmaan.

1. Tulkin testaamien mittojen erottaminen (hylky): Käytännössä sama ehdotus kuin pääprofiiliurien välimitan hylkytulkkille. Tulkin hylkypuolen testamat mitat olisi hyvä erotella toisistaan ja tehdä molemmille omat tulkkinsa.

7.8 Tulkki: Avauksen tulkki yleisesti

Tässä osiossa annettu kehitysehdotus perustuu luvussa 7.8 havaittuun tulkkauksen ongelmaan.

1. Tarkemman käyttöohjeistuksen tekeminen tulkille: Tulkin käytössä oli esiintynyt toisistaan poikkeavia tulkintoja sen toimintatavasta. Virhe olisi mahdollista korjata tarkennetulla ohjauksella tulkin käyttöä varten.

8 Pohdinta

Yleisesti ottaen työ onnistui hyvin. Aikataulun tiukkuus toimi työssä rajoittavana tekijänä, mutta tästä huolimatta tarkastusmenetelmien parista löydettiin ongelmia, joista osalle saatiin laadittua kehitysehdotukset. Mielestäni tässä työssä mukana olleista tarkastuksista tehdyt havainnot viittaisivat myös siihen, että tarkastuksia olisi järkevää tutkia laajemminkin.

Erityisesti tulkkitarkastuksista tehdyt havainnot osoittivat tulkkien käytön perehdyttämisen tärkeyttä. Myöskään kappaleiden hylkäys- tai hyväksyntäperusteet eivät tulkkauksessa olleet täysin tarkat, joka puolestaan saattoi johtaa osittain toisistaan eroaviin tuloksiin. Tulkkien käyttöönottoperehdytyksiin ja ohjeistuksiin ehdotettiin tarkennuksia osana opinnäytetyötä.

Työ aloitettiin melko avoimesti ilman tarkkoja tavoitteita, jonka jälkeenpäin ajatellen arvioin vaikeuttaneen työn aloittamista ja etenemistä. Lopulta löysimme kuitenkin rajauksen sekä tavoitteet, jotka sopivat kaikille opinnäytetyön osapuolille. Suurin haaste ja huomattavasti aikaa vievin osa opinnäytetyön etenemisessä oli tulkkitestejä varten tarvittavien testikappaleiden valikointi ja mittaus. Testikappaleiden mittausvaiheeseen kului runsaasti aikaa, mikä puolestaan aiheutti sen, että opinnäytetyön tavoitteita jouduttiin rajaamaan entisestään. Alkuperäinen rajausta aiheelle olikin huomattavasti laajempi kuin lopulliset opinnäytetyön käsittelemät alueet.

Opinnäytetyön voidaan nähdä olevan onnistunut myös siinä mielessä, että se toimi myös tekijälle itselleen oppimistapahtumana. Olen mielestäni työn aikana oppinut mittausjärjestelmien analysointiin liittyvien menetelmien käytännön sovellutuksista paljon. Vaikka ajoittain työn aikana olikin haasteita etenemisen kanssa, on näistä haasteista kuitenkin myös opittu ja seuraavalla kerralla samanlaista tai samantapaista projektia tehdessä tulee tämän työn parissa saatu kokemus varmasti olemaan eduksi. Opinnäytetyön asiasisältöön liittyvän oppimisen lisäksi arvioisin myös kirjoitustaitoni parantuneen huomattavasti raportoinnin aikana.

Parannettavaa opinnäytetyössä olisi mielestäni ollut tekemisen järjestelmällisyydessä. Opinnäytetyö eteni monilta osin edellisten vaiheiden onnistumisien perusteella, ja tavoitteet päivittyivät useampaan kertaan opinnäytetyön aikana. Toiminnallisen vaiheen alkuperäinen suunnitelma oli loppujen lopuksi melko epämääräinen eikä sen aikataulutus pitänyt suunnitellun mukaisesti.

Mielestäni työn tuloksia voidaan pitää melko luotettavina, koska tuloksena olevat tarkastuksien kehitysideat perustuvat suurelta osin testi- ja mittadataan. Testeissä, mittadatassa ja testituloksista johdetuissa päätelmissä on kuitenkin aina mahdollisuus virheille. Testeissä virheitä pyrittiin ehkäisemään siten, että ne pyrittiin mahdollisuuksien mukaan tekemään lähdekirjallisuudessa esitettyjen toteutustapojen mukaisesti. Tulkkitesteissä testikappaleiden hankkiminen jouduttiin kuitenkin tekemään melko pitkälti oman harkinnan mukaan, koska lähdekirjallisuudessa ei tätä vaihetta ollut kovin tarkasti kuvailtu.

Opinnäytetyön merkittävimmät tulokset liittyivät mielestäni tulkeista tehtyihin havaintoihin. Tulkit itsessään vaikuttivat melko hyvin kalibroiduilta mittojen tarkastukseen, mutta niiden suunnittelussa sekä perehdytyksessä huomattiin olevan parantamisen varaa. Työn voidaan siis nähdä luoneen pohjustusta erityisesti tulkkien luotettavuusselvityksille tulevaisuudessa.

Lähteet

- Abloy Oy. 2022a. Yritys. <https://www.abloy.com/fi/yritys/>. 1.2.2022
- Abloy Oy. 2022b. Tehdas. <https://www.abloy.com/global/fi/about-abloy/factory>
1.2.2022
- AIAG. 2010. MSA Reference Manual 4th Edition.
- Andersson, P. Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY.
- ASQ. 2021a. Lean.
<https://asq.org/quality-resources/lean>. 11.12.2021
- ASQ. 2021b. Six Sigma.
<https://asq.org/quality-resources/six-sigma>. 11.12.2021
- Henzold, G. 2006. Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection. Oxford: Elsevier Ltd.
- ISO 13053-2:fi. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 2: Työkalut ja tekniikat. Helsinki: Suomen Standardisoi-
misliitto SFS ry.
- Karjalainen, T. 2014. Informaation luotettavuus on usein kehityksen este - Tunnista mittaussysteemin vaihtelu. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/mittaussysteemin-vaihtelu/>. 12.12.2021
- Karjalainen, E. Karjalainen, T. 2020. Lean Six Sigma 2.0 ja Laatuteknologia. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.
- Minitab. 2022a. What is a gage linearity and bias study? <https://urly.fi/2swb>
7.2.2022
- Minitab. 2022b. Kappa statistics for Attribute Agreement Analysis
<https://urly.fi/2zvc> 13.4.2022
- Walker, F. Elshennawy, A. Gupta, B. & Vaughn, M. 2012. The Certified Quality Inspector Handbook. ASQ Quality Press

Testikappaleiden mittaustulokset (referenssiarvot)

Tässä liitteessä esitetyt testikappaleiden mittaustulokset on suhteutettu toleranssialueeseen. Tällä tavoin on pyritty esittämään työhön liittyvät salauksen alaiset mitat. Seuraavat asiat tulisi huomioida liitettä tarkastellessa:

1. 0% mittaustulos kuvastaa nominaaliarvoa vastaavaa mittaustulosta.
2. Osa mitatuista ominaisuuksista on toleroitu epäsymmetrisesti, tällöin vertailuprosentti on suhteutettu sallittuun ylä – tai alamittaan. Sallittu alue voidaan lukea taulukon "NOMINAL" kohdasta.
3. Tulokset on värikoodattu alla olevan taulukon mukaisesti:

Tol. Sisällä	%
Tol. Alapuolella	%
Tol. Alarajalla (15% alueesta)	%
Tol. Yläpuolella	%
Tol. Ylärajalla (15% alueesta)	%

4. Taulukoiden mittanumerot vastaavat alla olevia mittoja:
 1. Pääprofiliura: jyrstöjen välimitta
 4. Pääprofiliura: jyrstinnän leveys
 5. Avauksen leveys
 7. Avauksen pituus
 8. Avauksen paikka (alkupään etäisyys avaimen päästä)
 10. Porauksen paikka (etäisyys avaimen päästä)
 13. Porauksen syvyys

NOMINAL:		-100%	-100%	-100%	-100%	0%	-100%
		-	-	-	-	-	-
		100%	100%	100%	100%	100%	0%
OSA	5	7	8	1	4	10	
					nABL	nABL	
1	8,00 %	82,00 %	-31,00 %	-166,00 %	8,57 %	-46,00 %	
2	6,00 %	86,00 %	-61,00 %	-184,00 %	8,57 %	-73,00 %	
3	4,00 %	82,00 %	-39,00 %	-154,00 %	0,00 %	-48,00 %	
4	2,00 %	86,00 %	-28,00 %	-128,00 %	4,29 %	-42,00 %	
5	4,00 %	81,00 %	-39,00 %	-118,00 %	8,57 %	-45,00 %	
6	4,00 %	78,00 %	-41,00 %	-174,00 %	-7,14 %	-59,00 %	
7	-46,00 %	39,00 %	-153,00 %	-70,00 %	87,14 %	-15,00 %	
8	6,00 %	72,00 %	-21,00 %	-138,00 %	5,71 %	-36,00 %	
9	-8,00 %	81,00 %	-47,00 %	-148,00 %	1,43 %	-58,00 %	
10	-2,00 %	76,00 %	26,00 %	-158,00 %	2,86 %	19,00 %	
11	6,00 %	58,00 %	6,00 %	136,00 %	10,00 %	-20,00 %	
12	2,00 %	57,00 %	-4,00 %	476,00 %	-1,43 %	-30,00 %	
13	2,00 %	76,00 %	-29,00 %	296,00 %	2,86 %	-54,00 %	
14	6,00 %	68,00 %	14,00 %	112,00 %	7,14 %	-18,00 %	
15	0,00 %	70,00 %	-12,00 %	288,00 %	-2,86 %	-27,00 %	
16	2,00 %	75,00 %	50,00 %	126,00 %	5,71 %	35,00 %	
17	0,00 %	70,00 %	-30,00 %	294,00 %	-2,86 %	-55,00 %	
18	-2,00 %	78,00 %	-15,00 %	318,00 %	-1,43 %	-33,00 %	
19	4,00 %	72,00 %	-59,00 %	494,00 %	-1,43 %	-74,00 %	
20	-4,00 %	83,00 %	71,00 %	-140,00 %	-5,71 %	65,00 %	
21	4,00 %	81,00 %	-18,00 %	182,00 %	1,43 %	-40,00 %	
22	2,00 %	72,00 %	5,00 %	468,00 %	2,86 %	-16,00 %	
23	2,00 %	78,00 %	-42,00 %	66,00 %	-2,86 %	-67,00 %	
24	8,00 %	72,00 %	-27,00 %	420,00 %	1,43 %	-51,00 %	
25	2,00 %	77,00 %	-19,00 %	-124,00 %	-2,86 %	-40,00 %	
26	-2,00 %	77,00 %	65,00 %	178,00 %	1,43 %	59,00 %	
27	-4,00 %	70,00 %	2,00 %	508,00 %	-5,71 %	-18,00 %	
28	4,00 %	76,00 %	-35,00 %	452,00 %	7,14 %	-48,00 %	
29	-2,00 %	45,00 %	18,00 %	118,00 %	5,71 %	-33,00 %	
30	4,00 %	74,00 %	-10,00 %	30,00 %	-5,71 %	-30,00 %	
31	2,00 %	74,00 %	-42,00 %	120,00 %	0,00 %	-73,00 %	
32	-4,00 %	65,00 %	-22,00 %	22,00 %	-51,43 %	-47,00 %	
33	6,00 %	71,00 %	-14,00 %	46,00 %	7,14 %	-43,00 %	
34	4,00 %	78,00 %	-66,00 %	58,00 %	-18,57 %	-84,00 %	
35	2,00 %	76,00 %	-5,00 %	56,00 %	-1,43 %	-37,00 %	
36	0,00 %	80,00 %	-16,00 %	52,00 %	-1,43 %	-38,00 %	
37	-8,00 %	71,00 %	-51,00 %	14,00 %	0,00 %	-81,00 %	
38	0,00 %	73,00 %	-19,00 %	70,00 %	1,43 %	-44,00 %	
39	0,00 %	70,00 %	-48,00 %	16,00 %	-5,71 %	-73,00 %	
40	0,00 %	75,00 %	-3,00 %	62,00 %	2,86 %	-35,00 %	
41	0,00 %	73,00 %	44,00 %	64,00 %	-1,43 %	23,00 %	
42	-2,00 %	75,00 %	-4,00 %	32,00 %	-24,29 %	-26,00 %	
43	-40,00 %	41,00 %	-161,00 %				
44	-52,00 %	41,00 %	-160,00 %				
45	-48,00 %	28,00 %	-63,00 %				
46	-50,00 %	39,00 %	-206,00 %				
47	-52,00 %	40,00 %	-186,00 %				
48	-44,00 %	40,00 %	-160,00 %				
49	-30,00 %	40,00 %	-96,00 %				
50	-54,00 %	35,00 %	-166,00 %				
51	-54,00 %	40,00 %	-176,00 %				
52	-42,00 %	42,00 %	-173,00 %				
53	-52,00 %	36,00 %	-75,00 %				
54	-28,00 %	51,00 %	-177,00 %				
55	-60,00 %	39,00 %	-177,00 %				
56	-32,00 %	43,00 %	-133,00 %				
57	-58,00 %	39,00 %	-65,00 %				
58	-66,00 %	41,00 %	-250,00 %				
59	-36,00 %	44,00 %	-155,00 %				
60	-48,00 %	42,00 %	-138,00 %				

-100%		-100%		-100%		-100%		0%	
ABL	100%	ABL	100%	ABL	100%	ABL	100%	nABL	100%
OSA	5	OSA	7	OSA	8	OSA	1	OSA	4
58	-66,00 %	45	28,00 %	58	-250,00 %	2	-184,00 %	32	-51,43 %
55	-60,00 %	50	35,00 %	46	-206,00 %	6	-174,00 %	42	-24,29 %
57	-58,00 %	53	36,00 %	47	-186,00 %	1	-166,00 %	34	-18,57 %
50	-54,00 %	7	39,00 %	54	-177,00 %	10	-158,00 %	6	-7,14 %
51	-54,00 %	46	39,00 %	55	-177,00 %	3	-154,00 %	20	-5,71 %
44	-52,00 %	55	39,00 %	51	-176,00 %	9	-148,00 %	27	-5,71 %
47	-52,00 %	57	39,00 %	52	-173,00 %	20	-140,00 %	30	-5,71 %
53	-52,00 %	47	40,00 %	50	-166,00 %	8	-138,00 %	39	-5,71 %
46	-50,00 %	48	40,00 %	43	-161,00 %	4	-128,00 %	15	-2,86 %
45	-48,00 %	49	40,00 %	44	-160,00 %	25	-124,00 %	17	-2,86 %
60	-48,00 %	51	40,00 %	48	-160,00 %	5	-118,00 %	23	-2,86 %
7	-46,00 %	43	41,00 %	59	-155,00 %	7	-70,00 %	25	-2,86 %
48	-44,00 %	44	41,00 %	7	-153,00 %	37	14,00 %	12	-1,43 %
52	-42,00 %	58	41,00 %	60	-138,00 %	39	16,00 %	18	-1,43 %
43	-40,00 %	52	42,00 %	56	-133,00 %	32	22,00 %	19	-1,43 %
59	-36,00 %	60	42,00 %	49	-96,00 %	30	30,00 %	35	-1,43 %
56	-32,00 %	56	43,00 %	53	-75,00 %	42	32,00 %	36	-1,43 %
49	-30,00 %	59	44,00 %	34	-66,00 %	33	46,00 %	41	-1,43 %
54	-28,00 %	29	45,00 %	57	-65,00 %	36	52,00 %	3	0,00 %
9	-8,00 %	54	51,00 %	45	-63,00 %	35	56,00 %	31	0,00 %
37	-8,00 %	12	57,00 %	2	-61,00 %	34	58,00 %	37	0,00 %
20	-4,00 %	11	58,00 %	19	-59,00 %	40	62,00 %	9	1,43 %
27	-4,00 %	32	65,00 %	37	-51,00 %	41	64,00 %	21	1,43 %
32	-4,00 %	14	68,00 %	39	-48,00 %	23	66,00 %	24	1,43 %
10	-2,00 %	15	70,00 %	9	-47,00 %	38	70,00 %	26	1,43 %
18	-2,00 %	17	70,00 %	23	-42,00 %	14	112,00 %	38	1,43 %
26	-2,00 %	27	70,00 %	31	-42,00 %	29	118,00 %	10	2,86 %
29	-2,00 %	39	70,00 %	6	-41,00 %	31	120,00 %	13	2,86 %
42	-2,00 %	33	71,00 %	3	-39,00 %	16	126,00 %	22	2,86 %
15	0,00 %	37	71,00 %	5	-39,00 %	11	136,00 %	40	2,86 %
17	0,00 %	8	72,00 %	28	-35,00 %	26	178,00 %	4	4,29 %
36	0,00 %	19	72,00 %	1	-31,00 %	21	182,00 %	8	5,71 %
38	0,00 %	22	72,00 %	17	-30,00 %	15	288,00 %	16	5,71 %
39	0,00 %	24	72,00 %	13	-29,00 %	17	294,00 %	29	5,71 %
40	0,00 %	38	73,00 %	4	-28,00 %	13	296,00 %	14	7,14 %
41	0,00 %	41	73,00 %	24	-27,00 %	18	318,00 %	28	7,14 %
4	2,00 %	30	74,00 %	32	-22,00 %	24	420,00 %	33	7,14 %
12	2,00 %	31	74,00 %	8	-21,00 %	28	452,00 %	1	8,57 %
13	2,00 %	16	75,00 %	25	-19,00 %	22	468,00 %	2	8,57 %
16	2,00 %	40	75,00 %	38	-19,00 %	12	476,00 %	5	8,57 %
22	2,00 %	42	75,00 %	21	-18,00 %	19	494,00 %	11	10,00 %
23	2,00 %	10	76,00 %	36	-16,00 %	27	508,00 %	7	87,14 %
25	2,00 %	13	76,00 %	18	-15,00 %				
31	2,00 %	28	76,00 %	33	-14,00 %				
35	2,00 %	35	76,00 %	15	-12,00 %				
3	4,00 %	25	77,00 %	30	-10,00 %				
5	4,00 %	26	77,00 %	35	-5,00 %				
6	4,00 %	6	78,00 %	12	-4,00 %				
19	4,00 %	18	78,00 %	42	-4,00 %				
21	4,00 %	23	78,00 %	40	-3,00 %				
28	4,00 %	34	78,00 %	27	2,00 %				
30	4,00 %	36	80,00 %	22	5,00 %				
34	4,00 %	5	81,00 %	11	6,00 %				
2	6,00 %	9	81,00 %	14	14,00 %				
8	6,00 %	21	81,00 %	29	18,00 %				
11	6,00 %	1	82,00 %	10	26,00 %				
14	6,00 %	3	82,00 %	41	44,00 %				
33	6,00 %	20	83,00 %	16	50,00 %				
1	8,00 %	2	86,00 %	26	65,00 %				
24	8,00 %	4	86,00 %	20	71,00 %				

nABL	OSA	10
		-100%
		-
		0%
		10
	34	-84,00 %
	37	-81,00 %
	19	-74,00 %
	2	-73,00 %
	31	-73,00 %
	39	-73,00 %
	23	-67,00 %
	6	-59,00 %
	9	-58,00 %
	17	-55,00 %
	13	-54,00 %
	24	-51,00 %
	3	-48,00 %
	28	-48,00 %
	32	-47,00 %
	1	-46,00 %
	5	-45,00 %
	38	-44,00 %
	33	-43,00 %
	4	-42,00 %
	21	-40,00 %
	25	-40,00 %
	36	-38,00 %
	35	-37,00 %
	8	-36,00 %
	40	-35,00 %
	18	-33,00 %
	29	-33,00 %
	12	-30,00 %
	30	-30,00 %
	15	-27,00 %
	42	-26,00 %
	11	-20,00 %
	14	-18,00 %
	27	-18,00 %
	22	-16,00 %
	7	-15,00 %
	10	19,00 %
	41	23,00 %
	16	35,00 %
	26	59,00 %
	20	65,00 %

